

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da  
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região  
Marinha e Costeira Adjacente**

**RELATÓRIO ANUAL:**

**Anexo 1 – Monitoramento ecotoxicológico dos impactos  
causados pela lama oriunda do rompimento da barragem de  
Mariana (MG) em regiões dulcícolas, estuarinas e marinhas**

**RT-17 RRDM/NOV19**

**Coordenação Geral**

Adalto Bianchini

Alex Cardoso Bastos

Edmilson Costa Teixeira

Eustáquio Vinícius de Castro

Jorge Abdala Dergam dos Santos

Vitória,

Novembro de 2019

## COORDENAÇÕES

### **Anexo 1**

Adalto Bianchini (FURG)

### **Anexo 3**

Edmilson Costa Teixeira (UFES)

Fabian Sá (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

#### **Subprojetos**

Alessandra Delazari Barroso (FAESA)

Alex Cardoso Bastos (UFES)

Ana Cristina Teixeira Bonecker (UFRJ)

Anderson Geyson Alves de Araújo (UFES)

Björn Gücker (UFSJ)

Camilo Dias Júnior (UFES)

Daniel Rigo (UFES)

Eneida Maria Eskinazi Sant'Anna (UFOP)

Gilberto Amado Filho (IPJB) *in memoriam*

Gilberto Fonseca Barroso (UFES)

Iola Gonçalves Boechat (UFSJ)

Leila Lourdes Longo (UFRB)

Leonardo Tavares Salgado (IPJB)

Luís Fernando Loureiro (UFES)

Marco Aurélio Caiado (UFES)

Renato David Ghisolfi (UFES)

Renato Rodrigues Neto (UFES)

Rodrigo Leão de Moura (UFRJ)

Valéria da Silva Quaresma (UFES)

Valéria de Oliveira Fernandes (UFES)

Vanya Marcia Duarte Pasa (UFMG)

### **Anexo 4**

Jacqueline Albino (UFES)

#### **Subprojetos**

Karla Costa (UFES)

Maria Tereza Carneiro (UFES)

### **Anexo 5**

Diolina Moura Silva (UFES)

Mônica Tognella (UFES)

### **Anexo 6**

Agnaldo Silva Martins (UFES)

#### **Subprojetos**

Ana Paula Cazerta Farro (UFES)

Leandro Bugoni (FURG)

Sarah Vargas (UFES)

### **Anexo 7**

Maurício Hostim (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

#### **Subprojetos**

Carlos W. Hackradt (UFSB)

Fabiana Felix Hackradt (UFSB)

Jean-Christophe Joyeux (UFES)

Luis Fernando Duboc (UFV)

### **Anexo 8**

Heitor Evangelista (UERJ)

#### **Coordenação Técnica (CTEC)**

Alex Cardoso Bastos

Lara Gabriela Magioni Santos

Laura Silveira Vieira Salles

Tarcila Franco Menandro

#### **Coordenação Escritório de Projetos**

Eustáquio Vinicius Ribeiro de Castro

Patrícia Bourguignon Soares

Paulo Roberto Filgueiras

Valdemar Lacerda Junior

Walter Luiz Alda Junior

#### **Coordenação Núcleo de Atuação Integrada em Rede (NAIR)**

Edmilson Costa Teixeira

Karla Libardi Gallina

Andressa Christiane Pereira

Anna Paula Lage Ribeiro

Caroline De Marchi Pignaton

Paulo Eduardo Marques

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>109</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA GERAL</b> .....	<b>112</b>
2.1	MALHA AMOSTRAL .....	112
2.2	COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA.....	123
2.3	ANÁLISES DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA E MODELAGEM ECOTOXICOLÓGICA .....	125
2.4	COLETA DE AMOSTRAS DE SEDIMENTO .....	125
2.5	ENSAIOS ECOTOXICOLÓGICOS COM AMOSTRAS DE SEDIMENTO E ÁGUA .....	126
2.6	COLETA DE AMOSTRAS DE BIOTA .....	137
2.7	AVALIAÇÃO DA MICROBIOTA NA ÁGUA, SEDIMENTO E CORAIS .....	145
2.8	COLETA DE AMOSTRAS DE AVES .....	145
2.9	ANÁLISES DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS NAS AMOSTRAS DE ÁGUA, SEDIMENTO E BIOTA .....	147
2.10	ANÁLISES DE BIOMARCADORES EM AMOSTRAS DE PLÂNCTON, INVERTEBRADOS E PEIXES.....	148
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>156</b>
3.1	META 1: MONITORAMENTO ECOTOXICOLÓGICO DO RIO DOCE NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO E ESTUÁRIO .....	156
3.2	META 2: MONITORAMENTO ECOTOXICOLÓGICO DA FOZ DO RIO DOCE E REGIÃO COSTEIRA ADJACENTE.....	318
3.3	META 3: MONITORAMENTO ECOTOXICOLÓGICO DO AMBIENTE PRAIAL .....	554
3.4	META 4: MONITORAMENTO ECOTOXICOLÓGICO DOS MANGUEZAIS .....	637
3.5	META 5: MONITORAMENTO ECOTOXICOLÓGICO DA MICROBIOTA .....	679
3.6	META 6: MONITORAMENTO ECOTOXICOLÓGICO DE AVES.....	762
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO INTEGRADA</b> .....	<b>830</b>
4.1	AMBIENTE DULCÍCOLA.....	831
4.2	AMBIENTE MARINHO .....	840
4.3	AMBIENTE COSTEIRO .....	847

4.4	INTEGRAÇÃO DOS AMBIENTES .....	848
5	RESUMO DO ANEXO .....	860
6	REFERÊNCIAS .....	865

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa com os pontos e áreas de coleta de amostras ambientais e biológicas no âmbito do Anexo 1. ....	113
Figura 2: Mapa amostral das campanhas de monitoramento ecotoxicológico na porção capixaba do Rio Doce, estuário e lagoas adjacentes, realizadas na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019). A nomenclatura das estações amostrais e as respectivas coordenadas encontram-se detalhadas no Quadro 1.....	114
Figura 3: Imagens representativas das estações amostrais ao longo da porção capixaba do Rio Doce, estuário e áreas adjacentes: Rio Guandu (A); Lagoa do Limão (B); Lagoa Nova (C); Lagoa Juparanã (D); trecho do Rio Doce em Linhares (E); trecho do Rio Doce em Regência (F); Lagoa do Areão (G); Lagoa do Areal (H); Lagoa Monsarás (I) e Foz do Rio Doce (J). ....	115
Figura 4: Mapa amostral das 25 estações amostrais da campanha 1 e 2, referente ao Anexo 1- Ecotoxicologia. A nomenclatura das estações amostrais e as respectivas coordenadas geográficas encontram-se descritas no Quadro 2. ....	116
Figura 5: Estações amostrais referente ao monitoramento de praias realizado pelo Anexo 1. A nomenclatura das estações amostrais bem como as respectivas coordenadas geográficas encontram-se descritas no Quadro 3 .....	118
Figura 6: Imagens representativas dos pontos de coleta ao longo da zona costeira: Aracruz Refúgio (A); Aracruz Putiri (B); Barra do Riacho (C); Comboios (D); Regência (E); Povoação (F); Cacimbas (G); Pontal do Ipiranga (H); Urussuquara (I) e Guriri (J). ....	120
Figura 7: Estações amostrais referente ao monitoramento de manguezais realizado pelo Anexo 1. A nomenclatura das estações amostrais e as respectivas coordenadas geográficas encontram-se descritas no Quadro 4. ....	121
Figura 8: Mapa amostral da campanha de monitoramento das aves nas três áreas de coleta no estado do Espírito Santo. ....	123
Figura 9: (A) Coleta de amostras de água em diferentes profundidades com o auxílio de garrafa horizontal Van Dorn na Lagoa Nova, Linhares (ES). (B) Acondicionamento das amostras em frascos plásticos âmbar e (C) Filtragem das amostras de água para determinação das concentrações de metais dissolvidos. ....	124
Figura 10: (A) Coleta de amostras de sedimento com o auxílio de draga do tipo Van Veen. (B) Documentação visual das amostras de sedimento e (C) Acondicionamento das amostras em frascos plásticos.....	126
Figura 11:Preparação das amostras de elutriato de sedimento. ....	128

Figura 12: Imagens dos organismos utilizados e dos ensaios de toxicidade, em amostras do monitoramento dulcícola: (A) cultivo de microalgas *R. subcapitata*; (B) e (C) cultivo e ensaio de toxicidade com *Hyalella* spp, respectivamente; (D), (E) e (F) cultivo de *D. magna* e ensaios de toxicidade com amostras de água e elutriado do sedimento de água doce, respectivamente; (G) cultivo de *D. rerio* em sistema de manutenção; (H) porção anterior da larva e ovo de *D. rerio*; (I) e (J) ensaios de toxicidade com larvas de *D. rerio* expostas à amostras de água superficial e elutriado do sedimento, respectivamente; (K) ensaio de toxicidade com água e elutriado do sedimento de água doce com peixes *D. rerio* adultos. As imagens foram tiradas nas dependências do Instituto de Ciências Biológicas (ICB) da FURG. .... 134

Figura 13: Imagens dos organismos utilizados e dos ensaios de toxicidade, em amostras do monitoramento marinho: (A) ensaio com microalgas *T. pseudonana* e (B) ouriços nos aquários no Laboratório de Ecotoxicologia da Base Oceanográfica/UFES; (C) e (D) aplicação de KCl para liberação de gametas pelo ourio-do-mar *E. lucunter* e liberação de gametas, respectivamente (E) e (F) ovo fecundado e larva de *E. lucunter* desenvolvida (pluteus), respectivamente; (G) e (H) cultivo de *Nitokra* sp em incubadoras no Laboratório de Ecotoxicologia da Base Oceanográfica/UFES e fêmea ovada de *Nitokra* sp, respectivamente; (I) aferição dos parâmetros físico-químicos em ensaio de toxicidade com *Nitokra* sp; (J) ensaio de toxicidade com *Nitokra* sp e (K) ensaio com *Nitokra* sp fixado com formaldeído e o corante rosa de bengala; (L) exemplares de adultos de *P. vivípara* oriundos do sistema de cultivo do Biotério Aquático do Instituto de Ciências Biológicas - FURG..... 135

Figura 14: Imagens representativas da amostragem de plâncton. A – C) Coleta e triagem de amostras de fitoplâncton e zooplâncton na Lagoa Juparanã, Linhares, ES durante a campanha de inverno (campanha 1 - Set/Out 2018)..... 138

Figura 15: Amostragem de peixes, girinos, larvas de quironomídeos e crustáceos: (A). Rede de espera; (B). Rede de cerco; (C), tarrafa; (D). Triagem de sedimento e material orgânico para coleta de quironomídeos; (E) e (F). coleta de camarões com o auxílio de peneiras. .... 139

Figura 16: Fotos das espécies coletadas ao longo da porção capixaba da bacia do Rio Doce, estuário e áreas adjacentes durante monitoramento ecotoxicológico realizado na primeira campanha (setembro e outubro/2018). A = cascudo (*Hypostomus* sp.); B = tucunaré (*Cichla* sp.); C = mandi-amarelo (*Pimelodus maculatus*); D= curimatá (*Prochilodus vimboides*); E = bagre cumbaca (*Trachelyopterus striatulus*); F = lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax* sp.); G= traíra (*Hoplias malabaricus*), H= acará (*Geophagus brasiliensis*); I = pacu manchado (*Metynnis maculatus*); J= cascudo chinelo (*Loricariichthys castaneus*); K= piranha vermelha (*Pygocentrus nattereri*); L= caçari (*Genidens genidens*); M = carapeba (*Eucinostomus* sp.); N = peixe-galo (*Selene vomer*); O= tamboatá (*Hoplosternum litoralle*); P= ticupá (*Pomadasys ramosus*); Q = espécie de girino; R = *Macrobrachium acanthurus*; S= *M. jelskii*; e T = *M. amazonicum*. .... 140

Figura 17: Imagens de organismos coletado durante o monitoramento marinho. A) Camarão Sete Barbas (*Xiphopenaeus kroyer*), coletado com rede de arrasto de fundo em estação amostral localizada na área da Foz do Rio Doce. B e C) Peixes coletados com rede de arrasto de fundo em estação amostral

localizada próximo à cidade de Vitória. D) Coleta de sangue de Peroá (*Balistes capriscus*), coletado com rede de arrasto de fundo. E) Dissecção de um exemplar de peixe para coleta de órgãos internos. F) Mergulho para coleta de corais e hidrocorais em estação amostral localizada dentro da área do Parque Nacional Marinho de Abrolhos. .... 142

Figura 18: Imagens da coleta de organismos durante o monitoramento de praias. A) Pesquisadora coletando microcrustáceos na praia de Urussuquara (Linhares, ES). B) Exemplares de *Ocypode quadrata* (Maria-farinha) coletadas em Pontal do Ipiranga (Linhares, ES). C) *Ocypode quadrata* coletado em Pontal do Ipiranga (Linhares, ES). D) Coleta de Sedimento na Praia de Guriri (São Mateus, ES). .... 143

Figura 19: Imagens da coleta de organismos durante o monitoramento de manguezais. A) Imagem de uma toca de caranguejos com um indivíduo ao fundo no manguezal do Rio São Mateus em Conceição da Barra, ES. B) procedimento de coleta de hemolinfa em um exemplar macho de *Ucides cordatus* em Caravelas BA. C) . Exemplar do caranguejo *Cardissoma guanhamu* recém capturado pelo catador. D) Foto mostrando um das estações amostrais de caranguejos localizado na foz do Rio Doce em Regência, Linhares, ES. .... 144

Figura 20: Concentração de Arsênio total (As) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletadas nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Arsênio total ( $10 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ). .... 170

Figura 21: Concentração de Cádmiio total (Cd) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletadas nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cádmiio total ( $1 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ). .... 171

Figura 22: Concentração de Cromo total (Cr) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletadas nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cromo total ( $50 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ). .... 171

Figura 23: Concentração de Cobre dissolvido (Cu) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletadas nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018

representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cobre dissolvido (9  $\mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ). ..... 172

Figura 24: Concentração de Ferro dissolvido (Fe) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletada nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Ferro dissolvido (300  $\mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ). ..... 172

Figura 25: Concentração de Mercúrio total (Hg) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletada nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Mercúrio total (0,2  $\mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ). ..... 173

Figura 26: Concentração de Manganês total (Mn) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletada nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Manganês total (100  $\mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ). ..... 173

Figura 27: Concentração de Chumbo total (Pb) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletada nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Chumbo total (10  $\mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ). ..... 174

Figura 28: Concentração de Zinco total (Zn) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletada nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Zinco total (180  $\mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho

Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ). ..... 174

Figura 29: Análise de Componentes Principais aplicada para os dados de concentração de Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) na água de fundo na sua forma total (fT) ou dissolvida (fD). Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise categorizados por localidade na campanha 1 (Exp1; em cinza) e na campanha 2 (Exp2; em azul). ..... 176

Figura 30: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na água de fundo na sua forma total (fT) e dissolvida (fD). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5,55\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 177

Figura 31: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na água de fundo na sua forma total (fT) e dissolvida (fD). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5,55\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 178

Figura 32: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 179

Figura 33: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado

componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 179

Figura 34: Concentração de Arsênio total (As) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Outubro 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Arsênio total (5,9 mg/kg peso seco) permitido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco). ..... 184

Figura 35: Concentração de Cádmiu total (Cd) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Outubro 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cádmiu total (0,6 mg/kg peso seco) permitido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco). ..... 184

Figura 36: Concentração de Cromo total (Cr) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Outubro 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cromo total (37,3 mg/kg peso seco) permitido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco). ... 185

Figura 37: Concentração de Cobre total (Cu) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Outubro 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cobre total (35,7 mg/kg peso seco) permitido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco). ... 185

Figura 38: Concentração de Ferro total (Fe) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Outubro 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ). Não há valor limite da concentração de Fe estabelecido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco). ..... 186

Figura 39: Concentração de Mercúriu total (Hg) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Outubro 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Mercúriu total (0,17 mg/kg peso seco) permitido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco). ... 186

Figura 40: Concentração de Manganês total (Mn) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Outubro 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ). Não há valor limite da concentração de Mn estabelecido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco). ..... 187

Figura 41: Concentração de Chumbo total (Pb) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Outubro 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Chumbo total (35 mg/kg peso seco) permitido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco). ..... 187

Figura 42: Concentração de Zinco total (Zn) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Outubro 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Zinco total (123 mg/kg peso seco) permitido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco). ... 188

Figura 43: Análise de Componentes Principais aplicada para os dados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) no sedimento (S) coletado nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade na campanha 1 (Exp1; em cinza) e na campanha 2 (Exp2; em azul). ..... 189

Figura 44: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 190

Figura 45: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 191

Figura 46: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 191

Figura 47: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 192

Figura 48: Variação temporal nas concentrações de Fe dissolvido, Cr total e Mn total ( $\mu\text{g/L}$ ) na água coletada no Rio Doce em Linhares (RDL) e na foz (RDF), monitoradas pelo IEMA (círculos pretos) e pelo PMBA - Anexo 1 (círculos azuis). A linha tracejada laranja separa o período de coleta das amostras em antes e depois da passagem da pluma de rejeitos e a linha vermelha representa a concentração máxima permitida para águas de Classe 1 e 2 preconizadas pela Resolução CONAMA 357/2005. 194

Figura 49: Variação temporal nas concentrações de Fe, Cr e Mn total (mg/Kg) no sedimento coletado no Rio Doce em Linhares (RDL) e na foz (RDF), monitoradas pelo IEMA (círculos pretos) e pelo PMBA - Anexo 1 (círculos azuis). A linha tracejada laranja separa o período de coleta das amostras em antes e depois da passagem da pluma de rejeitos e a linha vermelha representa a concentração máxima permitida para águas de Classe 1 e 2 preconizadas pela Resolução CONAMA. .... 195

Figura 50: Variação temporal nas concentrações de Fe, Cr e Mn total (mg/Kg) no sedimento coletado no Rio Guandu (BRG), no Rio Doce em Linhares (RDL) e na foz (RDF), monitorados pelo PMQQS (círculos pretos) e pelo PMBA - Anexo 1 (círculos azuis)..... 196

Figura 51: Variação temporal nas concentrações de Fe, Cr e Mn total (mg/Kg) no sedimento coletado na Lagoa do Limão (LLI), Lagoa Nova (LNO), Lagoa Juparanã (LJA), Lagoa do Areal (LAL), Lagoa do Areão (LAO) e Lagoa Monsarás (LMO) monitoradas pelo PMQQS (círculos pretos) e pelo PMBA - Anexo 1 (círculos azuis). .... 198

Figura 52: Concentração de cádmio livre em cada estação amostral ao longo da porção capixaba do rio Doce (A e C) e lagoas adjacentes (B e D), previstas a partir do modelo do ligante biótico (BLM). ..... 200

Figura 53: Concentração de cobre livre em cada estação amostral ao longo da porção capixaba do rio Doce (A e C) e lagoas adjacentes (B e D), previstas a partir do modelo do ligante biótico (BLM). ...	201
Figura 54: Concentração de chumbo livre em cada estação amostral ao longo da porção capixaba do rio Doce (A e C) e lagoas adjacentes (B e D), previstas a partir do modelo do ligante biótico (BLM). .....	202
Figura 55: Concentração de zinco livre em cada estação amostral ao longo da porção capixaba do rio Doce (A e C) e lagoas adjacentes (B e D), previstas a partir do modelo do ligante biótico (BLM). ...	203
Figura 56: Ensaios de toxicidade crônica (21 dias) com <i>D. magna</i> (OECD 211) expostas à amostras de água e elutriato do sedimento coletados nos pontos BRG e RDF, nas campanhas 1 (A e C) e 2 (B e D) do Anexo 1 do PMBA. A toxicidade é expressa pela redução significativa do número de neonatos nascidos de progenitores expostos a diferentes concentrações das amostras-teste (amostras ambientais) com relação ao número de neonatos nascidos de animais controles. (*) Indica diferença estatisticamente significativa com relação ao controle. O método estatístico usado foi ANOVA de uma via com teste <i>a posteriori</i> de Dunett's ( $p < 0,05$ ). .....	206
Figura 57: Ensaio de toxicidade aguda (10 dias) realizado com <i>Hyalella</i> spp (ABNT NBR 15470) expostas a amostras de sedimento bruto coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (A) e na campanha 2 (B) do Anexo 1 do PMBA. A toxicidade é medida pela redução significativa na sobrevivência dos animais expostos à amostra ambiental (sedimento bruto) com relação aos animais controles. (*) Indica diferença estatisticamente significativa em relação ao controle. O método estatístico usado foi ANOVA de uma via com teste <i>a posteriori</i> de Dunett's ( $p < 0,05$ ). .....	207
Figura 58: Gráfico com valores de toxicidade para o ponto do Rio Guandu. Os resultados apresentados são referentes a ensaios realizados pelo PMQQS para amostras coletadas em 2017 e 2018, e pelo Anexo 1 do PMBA para amostras coletadas na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019). .....	213
Figura 59: Gráfico com valores de toxicidade para o ponto da foz do Rio Doce. Os resultados apresentados são referentes a ensaios realizados pelo PMQQS para amostras coletadas em 2017 e 2018, e pelo Anexo 1 do PMBA para amostras coletadas na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019). .....	214
Figura 60: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para valores de toxicidade da água e metais (total e dissolvido) medidos em amostras de água coletadas nos pontos BRG e RDF, para a campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise categorizados por localidade. Destaque para a campanha 1 em cinza (E1) e campanha 2 em azul (E2). .....	216
Figura 61: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de água coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha	

indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/19 = 5,2\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

..... 217

Figura 62: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de água coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (1° camp; setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (2° camp; janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 217

Figura 63: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de água coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/19 = 5,2\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

..... 218

Figura 64: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de água coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (1° camp; setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (2° camp; janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 218

Figura 65: Análise de Componentes Principais (PCA) com valores de toxicidade do sedimento e metais medidos em amostras de sedimento coletadas nos pontos BRG e RDF, para a campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise categorizados por localidade. Destaque para a campanha 1 em cinza (E1) e campanha 2 em azul (E2). .... 219

Figura 66: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de sedimento coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse

uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/10 = 10\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 220

Figura 67: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de sedimento coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (1° camp; setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (2° camp; janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 220

Figura 68: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de sedimento coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/10 = 10\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 221

Figura 69: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de sedimento coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (1° camp; setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (2° camp; janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 221

Figura 70: Concentração de Arsênio (As) (mg/kg de peso úmido) no fitoplâncton e zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão. .... 226

Figura 71: Concentração de Cádmio (Cd) (mg/kg de peso úmido) no Fitoplâncton e Zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão. .... 226

Figura 72: Concentração de Cromo (Cr) (mg/kg de peso úmido) no fitoplâncton e zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão. .... 227

Figura 73: Concentração de Cobre (Cu) (mg/kg de peso úmido) no fitoplâncton e zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 228

Figura 74: Concentração de Ferro (Fe) (mg/kg de peso úmido) no fitoplâncton e zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 228

Figura 75: Concentração de Mercúrio (Hg) (mg/kg de peso úmido) no Fitoplâncton e Zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 229

Figura 76: Concentração de Manganês (Mn) (mg/kg de peso úmido) no fitoplâncton e zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 230

Figura 77: Concentração de Chumbo (Pb) (mg/kg de peso úmido) no fitoplâncton e zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 230

Figura 78: Concentração de Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) no fitoplâncton e zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 231

Figura 79: Análise de Componentes Principais aplicada para os dados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmió (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) no fitoplâncton coletado nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade: BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1, em cinza (Exp1), e campanha 2, em azul (Exp2). ..... 232

Figura 80: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmió (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) no fitoplâncton. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. 233

Figura 81: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmió (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) no fitoplâncton. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria 1

/ comprimento (variáveis) =  $1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. 233

Figura 82: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 234

Figura 83: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 234

Figura 84: Análise de Componentes Principais aplicada para os dados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) no zooplâncton coletado nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise categorizados por localidade: BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2). ..... 235

Figura 85: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) no zooplâncton. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. 236

Figura 86: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) no zooplâncton. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria 1

/ comprimento (variáveis) =  $1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. 237

Figura 87: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 237

Figura 88: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 238

Figura 89: Concentração de Arsênio (As) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos ( $n=7$  por local) coletadas nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 240

Figura 90: Concentração de Cádmi (Cd) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos ( $n=7$  por agrupamento) coletadas nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 241

Figura 91: Concentração de Cromo (Cr) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos ( $n=7$  por agrupamento) coletadas nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 241

Figura 92: Concentração de Cobre (Cu) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos ( $n=7$  por agrupamento) coletado nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 242

Figura 93: Concentração de Ferro (Fe) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos ( $n=7$  por local) coletado nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 243

Figura 94: Concentração de Mercúrio (Hg) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos ( $n=7$  por local) coletadas nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 243

Figura 95: Concentração de Manganês (Mn) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos (n=7 por agrupamento) coletadas nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão. ....	244
Figura 96: Concentração de Chumbo (Pb) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos (n=7 por agrupamento) coletadas nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão. ....	245
Figura 97: Concentração de Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) em um agrupamento de larvas de quironomídeos (n=7 por local) coletado nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão. ....	245
Figura 98: Concentração de Arsênio (As) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Octubro 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão. ....	250
Figura 99: Concentração de Cádmiu (Cd) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Octubro 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão. ....	251
Figura 100: Concentração de Cromo (Cr) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Octubro 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão. ....	251
Figura 101: Concentração de Cobre (Cu) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Octubro 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão. ....	252
Figura 102: Concentração de Ferro (Fe) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Octubro 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão. ....	252
Figura 103: Concentração de Mercúrio (Hg) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Octubro 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão. ....	253
Figura 104: Concentração de Manganês (Mn) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Octubro	

2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.....	253
Figura 105: Concentração de Chumbo (Pb) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Octubre 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.....	254
Figura 106: Concentração de Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Octubre 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.....	254
Figura 107: Análise de Componentes Principais aplicada para os dados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) nos tecidos brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarão coletado nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os <i>indivíduos</i> utilizados na análise categorizados por localidade: BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). As amostras de camarão coletadas no ponto no Rio Guandu (BRG) são apresentadas apenas na campanha 2. Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2). .....	256
Figura 108: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na brânquia (metal_b), hepatopâncreas (metal_h) e músculo (metal_m) de camarão. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. ....	257
Figura 109: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na brânquia (metal_b), hepatopâncreas (metal_h) e músculo (metal_m) de camarão. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. ....	258
Figura 110: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL	

(Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). As amostras de camarão coletadas no ponto no Rio Guandu (BRG) são apresentadas apenas na campanha 2. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/19 = 5,2\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 259

Figura 111: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). As amostras de camarão coletadas no ponto no Rio Guandu (BRG) são apresentadas apenas na campanha 2. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/19 = 5,2\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 259

Figura 112: Análise de Componentes Principais aplicada para os dados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) nos tecidos brânquia, fígado e músculo de espécies de peixe onívoro/herbívoro coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade: as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2). .... 271

Figura 113 Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na brânquia (metal\_b), fígado (metal\_f) e músculo (metal\_m) de espécies de peixe onívoro/herbívoro. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 272

Figura 114: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na brânquia (metal\_b), fígado (metal\_f) e músculo (metal\_m) de espécies de peixe onívoro/herbívoro. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 273

Figura 115: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de bioacumulação em peixes onívoros/herbívoros. Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. 274

Figura 116: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de bioacumulação em peixes onívoros/herbívoros. Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. 274

Figura 117: Análise de Componentes Principais aplicada para os dados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiu (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) nos tecidos brânquia, fígado e músculo de espécies de peixe carnívoro coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade: as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2). ..... 276

Figura 118: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiu (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na brânquia (metal\_b), fígado (metal\_f) e músculo (metal\_m) de espécies de peixe carnívoro. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 277

Figura 119: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiu (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na brânquia (metal\_b), fígado (metal\_f) e músculo (metal\_m) de espécies de peixe carnívoro. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 278

Figura 120: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 278

Figura 121: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 279

Figura 122: Análise de Componentes Principais aplicada para os biomarcadores de lipoperoxidação (LPO) e concentração de metalotioneínas (MT) no fitoplâncton e zooplâncton coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade: Rio Baixo Guandu (BRG), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2). ..... 282

Figura 123: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (LPO) e concentração de metalotioneínas (MT) no fitoplâncton e zooplâncton coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 283

Figura 124: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (LPO) e concentração de metalotioneínas (MT) no fitoplâncton e zooplâncton coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 284

Figura 125: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores no fitoplâncton e zooplâncton. Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. 284

Figura 126: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores no fitoplâncton e zooplâncton. Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. 285

Figura 127: Análise de Componentes Principais aplicada para os biomarcadores lipoperoxidação (LPO) na brânquia (DanoLip\_b) e no hepatopâncreas (DanoLip\_h), concentração de metalotioneínas (MT) no hepatopâncreas (Metalto), oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), atividade da  $\text{Na}^+, \text{K}^+$ -ATPase nas brânquias (NKA) e dano no DNA sítio AP na hemolinfa de camarões (DanoDNA) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade: Rio Baixo Guandu (BRG), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2). ..... 288

Figura 128: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (LPO) na brânquia (DanoLip\_b) e no hepatopâncreas (DanoLip\_h), concentração de metalotioneínas (MT) no hepatopâncreas (Metalto), oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), atividade da  $\text{Na}^+, \text{K}^+$ -ATPase nas brânquias (NKA) e dano no DNA sítio AP na hemolinfa de camarões (DanoDNA) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/6 = 16\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 289

Figura 129: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (LPO) na brânquia (DanoLip\_b) e no hepatopâncreas (DanoLip\_h), concentração de metalotioneínas (MT) no hepatopâncreas (Metalto), oxidação de proteínas

carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), atividade da  $\text{Na}^+, \text{K}^+$ -ATPase nas brânquias (NKA) e dano no DNA sítio AP na hemolinfa de camarões (DanoDNA) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/6 = 16\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 290

Figura 130: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores na hemolinfa, brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões. Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 291

Figura 131: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores na hemolinfa, brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões. Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 291

Figura 132: Atividade das enzimas do metabolismo antioxidante celular do fígado de animais coletados no ambiente dulcícola na campanha 1 (estação seca; Set/Out 2018) e campanha 2 (chuvosa; Jan/Fev 2019). A: atividade de SOD nos animais carnívoros (grupo II); B: atividade de SOD nos animais onívoros/herbívoros (grupo I); C: atividade de CAT nos animais carnívoros (grupo II); e D: atividade de CAT nos animais onívoros/herbívoros (grupo I). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  desvio padrão (DP). .... 298

Figura 133: Atividade das enzimas do metabolismo energético do fígado de animais coletados no ambiente dulcícola na campanha 1 (estação seca; Set/Out 2018) e campanha 2 (chuvosa; Jan/Fev 2019). A: atividade de LDH nos animais carnívoros (grupo II); B: atividade de LDH nos animais onívoros/herbívoros (grupo I); C: atividade de MDH nos animais carnívoros (grupo II) e D: atividade de MDH nos animais onívoros/herbívoros (grupo I). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  desvio padrão (DP). .... 299

Figura 134: Atividade das enzimas do metabolismo antioxidante celular de brânquias de animais coletados no ambiente dulcícola na campanha 1 (estação seca; Set/Out 2018) e campanha 2 (chuvosa;

Jan/Fev 2019). A: atividade de SOD nos animais carnívoros (grupo II); B: atividade de SOD nos animais onívoros/herbívoros (grupo I); C: atividade de CAT nos animais carnívoros (grupo II) e D: atividade de CAT nos animais onívoros/herbívoros (grupo I). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  desvio padrão (DP). ..... 300

Figura 135: Atividade das enzimas do metabolismo energético nas brânquias de animais coletados no ambiente dulcícola na campanha 1 (estação seca; Set/Out 2018) e campanha 2 (chuvosa; Jan/Fev 2019). A: atividade de LDH nos animais carnívoros (grupo II); B: atividade de LDH nos animais onívoros/herbívoros (grupo I); C: atividade de MDH nos animais carnívoros (grupo II) e D: atividade de MDH nos animais onívoros/herbívoros (grupo I). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  desvio padrão (DP). ..... 301

Figura 136: Índices de lesões do fígado de animais coletados no ambiente dulcícola na campanha 1 (estação seca; Set/Out 2018) e campanha 2 (chuvosa; Jan/Fev 2019). A: animais carnívoros (grupo II) e B: animais onívoros/herbívoros (grupo I). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  desvio padrão (DP). ..... 302

Figura 137: Alterações morfológicas mais frequentes observadas no fígado dos peixes coletados no ambiente dulcícola durante as estações seca e chuvosa. A: necrose (seta grossa); B: Congestão de vaso sanguíneo (seta fina) e infiltrado inflamatório (seta grossa); C, D e E: alterações nucleares (seta fina), em C foi evidenciado a atrofia nuclear e em D e E foi mostrado hipertrofia nuclear e F: congestão de sinusóide (seta fina). Coloração: Hematoxilina & Eosina. Barras: E = 25  $\mu$ m; A, C, D e F = 50  $\mu$ m e B=100  $\mu$ m. .... 304

Figura 138: Índices de lesões da brânquia de peixes coletados no ambiente dulcícola no período seco (campanha 1; Set/Out 2018) e chuvoso (campanha 2; Jan/Fev 2019). A: animais carnívoros (grupo II) e B: animais onívoros/herbívoros (grupo I). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  desvio padrão (DP). ..... 305

Figura 139: Alterações morfológicas mais frequentes observadas nas brânquias dos peixes coletados no ambiente dulcícola durante as estações seca (campanha 1) e chuvosa (campanha 2). A: hiperplasia total das lamelas secundárias (asterisco) e infiltrado de leucócitos (seta fina); B: aneurisma nas lamelas secundárias (seta grossa); C: descamação do epitélio branquial (seta fina); D: deslocamento da lamela primária (círculo). Coloração: Hematoxilina & Eosina. Barra: A, B, C e D = 50  $\mu$ m. .... 307

Figura 140: Análise de Componentes Principais aplicada para os biomarcadores lipoperoxidação (DanoLip) e concentração de metalotioneínas (Metalo) no fígado, oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), frequência de micronúcleos (MN) e dano no DNA (DanoDNA; sítio AP) no sangue, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH) e malato-desidrogenase (MDH) no fígado (\_f) e brânquia (\_b), e índice de alterações histológicas na brânquia (IH\_b) e no fígado (IH\_f) de peixes do grupo I (onívoros/herbívoros) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade: Rio Baixo Guandu (BRG), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR

(em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2)..... 309

Figura 141: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (DanoLip) e concentração de metalotioneínas (Metalo) no fígado, oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), frequência de micronúcleos (MN) e dano no DNA (sítio AP) no sangue, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH) e malato-desidrogenase (MDH) no fígado (\_f) e brânquia (\_b), e índice de alterações histológicas na brânquia (IH\_b) e no fígado (IH\_f) nos peixes do grupo I (onívoros/herbívoros) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 310

Figura 142: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (DanoLip) e concentração de metalotioneínas (Metalo) no fígado, oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), frequência de micronúcleos (MN) e dano no DNA (DanoDNA; sítio AP) no sangue, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH) e malato-desidrogenase (MDH) no fígado (\_f) e brânquia (\_b), e índice de alterações histológicas na brânquia (IH\_b) e no fígado (IH\_f) nos peixes do grupo I (onívoros/herbívoros) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 311

Figura 143: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores no sangue, brânquia, fígado e músculo de peixes do grupo I (onívoros/herbívoros). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 312

Figura 144: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores no sangue, brânquia, fígado e músculo de peixes do grupo I (onívoros/herbívoros). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão),

LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 312

Figura 145: Análise de Componentes Principais aplicada para os biomarcadores lipoperoxidação (DanoLip) e concentração de metalotioneínas (Metalto) no fígado, oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), frequência de micronúcleos (MN) e dano no DNA (sítio AP) no sangue, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH) e malato-desidrogenase (MDH) no fígado (\_f) e brânquia (\_b), e índice de alterações histológicas na brânquia (IH\_b) e no fígado (IH\_f) de peixes do grupo II (carnívoros) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade: Rio Baixo Guandu (BRG), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2). ..... 314

Figura 146: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (DanoLip) e concentração de metalotioneínas (Metalto) no fígado, oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), frequência de micronúcleos (MN) e dano no DNA (DanoDNA; sítio AP) no sangue, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH) e malato-desidrogenase (MDH) no fígado (\_f) e brânquia (\_b), e índice de alterações histológicas na brânquia (IH\_b) e no fígado (IH\_f) nos peixes do grupo II (carnívoros) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 315

Figura 147: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (DanoLip) e concentração de metalotioneínas (Metalto) no fígado, oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), frequência de micronúcleos (MN) e dano no DNA (Dano DNA; sítio AP) no sangue, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH) e malato-desidrogenase (MDH) no fígado (\_f) e brânquia (\_b), e índice de alterações histológicas na brânquia (IH\_b) e no fígado (IH\_f) nos peixes do grupo II (carnívoros) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, a variável

com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 316

Figura 148: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores no sangue, brânquia, fígado e músculo de peixes do grupo II (carnívoros). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 317

Figura 149: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores no sangue, brânquia, fígado e músculo de peixes do grupo II (carnívoros). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 317

Figura 150: Concentração de arsênio total ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água (fundo) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de arsênio total ( $10 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 336

Figura 151: Concentração de cádmio total ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água (fundo) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de cádmio total ( $5 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 336

Figura 152: Concentração de cromo total ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água (fundo) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de cromo total ( $50 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357

de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 337

Figura 153: Concentração de cobre dissolvido ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água (fundo) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de cobre dissolvido ( $5 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 337

Figura 154: Concentração de ferro dissolvido ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água de fundo (a) e superfície (b) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de ferro dissolvido ( $300 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 338

Figura 155: Concentração de mercúrio total ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água (fundo) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de mercúrio total ( $0,2 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 339

Figura 156: Concentração de manganês total ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água de fundo (a) e superfície (b) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de manganês total ( $100 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 340

Figura 157: Concentração de chumbo total ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água (fundo) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de chumbo total ( $10 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357

de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 341

Figura 158: Concentração de zinco total ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água (fundo) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de zinco total ( $90 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 341

Figura 159: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para os elementos Arsênio (a), Cádmiio (b), Cromo (c), Cobre (d), Ferro (e/f), Mercúrio (g), Manganês (h), Chumbo (i), Zinco (j) presentes nas amostras de água (fundo total [fT] e fundo dissolvido [fD]). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis e os 25 níveis do fator espacial “Estação Amostrai”, discriminando a comparação das estações amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o intervalo de confiança obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 343

Figura 160: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de concentração de metais na água. O código fT e fD indica determinações de metais realizadas em água de fundo nas frações total e dissolvida, respectivamente. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1;CA2;CA3;CA4 e CA5]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) e ABR (Abrolhos [ABR01; ABR02;ABR04 e ABR01]). .... 348

Figura 161: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais na água (fundo total [fT] e fundo dissolvido [fD]). Correlações positivas estão indicadas em azul e negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas. .... 349

Figura 162: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 160). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na água de fundo na sua forma total (fT) e dissolvida (fD). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 350

Figura 163: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 160). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/50 = 2\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo*/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 350

Figura 164: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 160). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na água de fundo na sua forma total (fT) e dissolvida (fD). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/18 \approx 5\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 351

Figura 165: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 160). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos)} = 1/50 = 2\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo*/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 351

Figura 166: Comparação da concentração de ferro dissolvido ( $\mu\text{g/L}$ ) de acordo com dados da literatura e nas amostra de água (fundo) coletadas na região da foz do Rio Doce durante a campanha 1 (PMBA1; Set/Out 2018; círculo cinza) e a campanha 2 (PMBA2; Jan/Fev 2019; círculo azul). Os resultados estão expressos em média e linha vermelha pontilhada indica o momento em que a lama chega na região da foz do Rio doce. .... 353

Figura 167: Concentração de arsênio (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018 ;Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 358

Figura 168: Concentração de cádmio (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 358

Figura 169: Concentração de cromo (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 359

Figura 170: Concentração de cobre (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 359

Figura 171: Concentração de ferro (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 360

Figura 172: Concentração de mercúrio (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 360

Figura 173: Concentração de manganês (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 361

Figura 174: Concentração de chumbo (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 361

Figura 175: Concentração de zinco (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 362

Figura 176: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para a concentração de Arsênio (a), Cádmio (b), Cromo (c), Cobre (d), Ferro (e), Mercúrio (f), Manganês (g), Chumbo (h) e Zinco (i) presentes nas amostras de sedimento (s). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis (campanha 1 [Exp1] e campanha 2 [Exp2]), e os 25 níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das estações amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o intervalo de confiança obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em

relação à “linha de base” escolhida, GUA1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 363

Figura 177: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais no sedimento. O código S indica determinações de metais realizadas no sedimento. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]);CA (Costa das Algas [CA1; CA2; CA3; CA4 e CA5]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) e ABR (Abrolhos [ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1]). .... 367

Figura 178: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais no sedimento (s). Correlações positivas estão indicadas em azul. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) estão indicadas. .... 368

Figura 179: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 177). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na água de fundo na sua forma total (fT) e dissolvida (fD). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = \sim 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 369

Figura 180: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 177). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos)} = 1/50 = 2\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo*/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 369

Figura 181: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 177). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na água de fundo na sua forma total (fT) e dissolvida (fD). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = \sim 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 370

Figura 182: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 177). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (indivíduos)} = 1/50 = 2\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo*/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 370

Figura 183: Ensaio de toxicidade aguda para verificar a fertilização de ovos do ouriço-do-mar *E. lucunter* expostos à amostras de água e elutriato do sedimento coletados nos pontos FRD1 (A, B), FRD6 (C, D), CA1 (E, F) e CA2 (G, H), para a campanha 1 e campanha 2 do Anexo 1 do PMBA. A toxicidade é medida pela redução significativa de óvulos fecundados nos grupos expostos às amostras-teste (amostras ambientais) com relação ao grupo controle. (\*) Indica diferença estatisticamente significativa em relação ao controle. O método estatístico usado foi ANOVA de uma via com teste *a posteriori* de Dunett's ( $p < 0,05$ )..... 375

Figura 184: Ensaio de toxicidade crônica para verificar o desenvolvimento embrio-larval de óvulos fecundados do ouriço-do-mar *E. lucunter* expostos à amostras de água e elutriato do sedimento coletados nos pontos FRD1 (A, B), FRD6 (C, D), CA1 (E, F) e CA2 (G, H), para a campanha 1 e campanha 2 do Anexo 1 do PMBA. A toxicidade é medida pela redução significativa no percentual de larvas desenvolvidas (pluteus) nos grupos expostos a amostras-teste (amostras ambientais) com relação ao controle. (\*) Indicam diferenças estatisticamente significantes em relação ao controle. O método estatístico usado foi ANOVA de uma via com teste *a posteriori* de Dunett's ( $p < 0,05$ )..... 376

Figura 185: Ensaio de toxicidade crônica com fêmeas ovadas de *Nitokra sp* expostas a sedimento controle ou sedimento bruto dos pontos FRD1, CA1 e CA2 (A) e FRD6 (B), para a campanha 1 do Anexo 1 do PMBA. A toxicidade é medida pela redução significativa no número da prole dos organismos expostos a amostras-teste (amostras ambientais) com relação ao controle. (\*) Indicam diferenças estatisticamente significantes em relação ao controle. O método estatístico usado foi ANOVA de uma via com teste *a posteriori* de Dunett's ( $p < 0,05$ ). ..... 377

Figura 186: Ensaio de toxicidade crônica com fêmeas ovadas de *Nitokra sp* expostas à sedimento controle ou sedimento bruto dos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, para a campanha 1 do Anexo 1 do PMBA. A toxicidade é medida pela redução significativa no número da prole dos organismos expostos à amostras-teste (amostras ambientais) com relação ao controle. (\*) Indica diferença estatisticamente significativa em relação ao controle. O método estatístico usado foi ANOVA de uma via com teste *a posteriori* de Dunett's ( $p < 0,05$ )..... 377

Figura 187: Gráfico com valores de toxicidade para o ponto FRD1, referentes aos ensaios realizados com amostras de água e sedimento coletadas na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA..... 383

Figura 188: Gráfico com valores de toxicidade para o ponto FRD6, referentes aos ensaios realizados com amostras de água e sedimento coletadas na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA..... 384

Figura 189: Gráfico com valores de toxicidade para o ponto CA1, referentes aos ensaios realizados com amostras de água e sedimento coletadas na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA..... 385

Figura 190: Gráfico com valores de toxicidade para o ponto CA2, referentes aos ensaios realizados com amostras de água e sedimento coletadas na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA..... 386

Figura 191: Análise de Componentes Principais (PCA) com valores de toxicidade da água e metais (total e dissolvido) medidos em amostras de água dos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, para a campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise categorizados por localidade. Destaque para a campanha 1 em cinza (E1) e campanha 2 em azul (E2). E1= campanha 1 (setembro/outubro de 2018); E2= campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019); fT= Metal total; fD= Metal Dissolvido. .... 387

Figura 192: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de água coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/19 = 5,2\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 388

Figura 193: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de água coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018 - Primavera) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019 - Verão) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 388

Figura 194: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de água coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018 - Primavera) e campanha 2(janeiro/fevereiro de 2019 - Verão) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/19 = 5,2\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 389

Figura 195: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de água coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018 - Primavera) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019 - Verão) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada

vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 390

Figura 196: Análise de Componentes Principais (PCA) com valores de toxicidade do sedimento e metais medidos em amostras de sedimento dos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, para a campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise categorizados por localidade. Destaque para a campanha 1 em cinza (E1) e campanha 2 em azul (E2).S= Sedimento. .... 391

Figura 197: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de sedimento coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/10 = 10\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 392

Figura 198: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de sedimento coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 392

Figura 199: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de sedimento coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/10 = 10\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente. .... 393

Figura 200: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de sedimento coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria

$1/\text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente..... 394

Figura 201: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn nas amostras de fitoplâncton (fit). Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise que foram coletados durante a campanha 1 (Exp1; símbolos cinzas) e a campanha 2 (Exp2; símbolos azuis), categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1; CA2; CA3; CA4 e CA5]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) e ABR (Abrolhos [ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1]). ..... 400

Figura 202: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais nas amostras de fitoplâncton (fit). Correlações positivas estão indicadas em azul. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) estão indicadas. .... 401

Figura 203: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 201). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 402

Figura 204: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 201). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/16 = 6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 402

Figura 205: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 201). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 403

Figura 206: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 201). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (indivíduos)} = 1/16 = 6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 404

Figura 207: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para cádmio (a), manganês (b) e ferro (c) presentes nas amostras de fitoplâncton (fit). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal "Expedição/Campanha" com dois níveis, e os oito níveis do fator espacial "Estação

Amostral”, discriminando a comparação das 8 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1), escolhida como “linha de base”. Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à linha de base, GUA1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha..... 405

Figura 208: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn nas amostras de zooplâncton (z). Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise que foram coletados durante a campanha 1 (Exp1; símbolos cinzas) e a campanha 2 (Exp2; símbolos azuis), categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]);CA (Costa das Algas [CA1; CA2; CA3; CA4 e CA5]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) e ABR (Abrolhos [ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1]). ..... 410

Figura 209: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais nas amostras de zooplâncton (z). Correlações positivas estão indicadas em azul. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas. .... 411

Figura 210: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 208). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 412

Figura 211: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 208). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/16 = 6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 412

Figura 212: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 208). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 413

Figura 213: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 208). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos)} = 1/16 = 6\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo*/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 413

Figura 214: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para cobre (a), zinco (b) e ferro (c) presentes nas amostras de zooplâncton (z). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os oito níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 8 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA1/Exp1) são observados em retângulos localizados à a direita da linha vermelha. .... 414

Figura 215: Comparação entre a concentração de ferro (mg/kg peso úmido) nas amostras de zooplâncton coletados nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica a média geral de ferro nas amostras de zooplâncton coletadas após a chegada da lama (Abril 2016; Bianchini et al., 2016; Bianchini, 2019). Linha verde representa a média geral de ferro nas amostras coletadas antes da chegada da lama (20 de Novembro 2015) na localidade da foz do Rio Doce (Bianchini et al., 2016; Bianchini, 2019). Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. .... 415

Figura 216: Concentração de arsênio (mg/kg peso úmido) nas amostras de músculo de camarão coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de arsênio (1,00 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução - RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013 da agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA 42/2013). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. .... 421

Figura 217: Concentração de cádmio (mg/kg peso úmido) nas amostras de músculo de camarão coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de cádmio (0,50 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução - RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013 da agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA 42/2013). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. .... 422

Figura 218: Concentração de mercúrio (mg/kg peso úmido) nas amostras de músculo de camarão coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de mercúrio (0,50 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução - RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013 da agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA 42/2013). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. .... 422

Figura 219: Concentração de chumbo (mg/kg peso úmido) nas amostras de músculo de camarão coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de chumbo (0,50 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução - RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013 da agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA 42/2013). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. .... 423

Figura 220: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn nas amostras de camarão (brânquia [b], hepatopâncreas [h] e músculo [m]). Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise que foram coletados durante a campanha 1 (Exp1; símbolos cinzas) e a campanha 2 (Exp2; símbolos azuis), categorizados por localidade GUA (VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1 e CA2]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); ITA (Itaúnas [ITA1]). ..... 424

Figura 221: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais nos camarões (brânquias [b], hepatopâncreas [h] e músculo [m]). Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas. .... 425

Figura 222: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 220). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 426

Figura 223: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/10 = 10\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 426

Figura 224: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para manganês (a) e chumbo (b) presentes nas amostras de camarões (hepatopâncreas [h]). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 5 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 427

Figura 225: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado

componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 428

Figura 226: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos)} = 1/10=10\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 428

Figura 227: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para cobre (a) e arsênio (b) presentes nas amostras de camarões (brânquia [b]). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 5 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 429

Figura 228: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para ferro presente nas amostras de camarões de brânquia (a), hepatopâncreas (b) e músculo (c). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 5 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 430

Figura 229: Comparação entre a concentração de ferro (mg/kg peso úmido) nas amostras de camarão brânquia (a), hepatopâncreas (b) e músculo (c) coletados nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica a média máxima de ferro encontradas na literatura em amostras de camarão dos mesmos tecidos em ambientes marinhos considerados contaminados (contaminação por metais)..... 431

Figura 230: Concentração de Arsênio (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo I coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de Arsênio (1,0 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. .... 447

Figura 231: Concentração de arsênio (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo II coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2

(Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de Arsênio (1,0 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. .... 448

Figura 232: Concentração de cádmio (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo I coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de Cádmio (0,10 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. .... 449

Figura 233: Concentração de cádmio (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo II coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de Cádmio (0,10 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. .... 449

Figura 234: Concentração de mercúrio (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo I coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de mercúrio (0,50 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. .... 450

Figura 235: Concentração de mercúrio (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo II coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de mercúrio (0,50 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. .... 450

Figura 236: Concentração de chumbo (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo I coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de chumbo (0,30 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações

amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. .... 451

Figura 237: Concentração de chumbo (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo II coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de chumbo (0,30 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. .... 451

Figura 238: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados dos elementos As, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn nos tecidos (brânquia [b], fígado [f] e músculo[m]) dos peixes grupo trófico I. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1;CA2]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1,FRD3;FRD6;FRD8,FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) e amostrados na campanha 1 (Exp1; símbolos cinzas) e campanha 2 (Exp2; símbolos azuis). .... 452

Figura 239: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais nos peixes grupo trófico I (brânquias [b], fígado [f] e músculo [m]). Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas. .... 453

Figura 240: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 454

Figura 241: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/13 = 7,6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 454

Figura 242: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 455

Figura 243: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor

esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/13 = 7,6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 455

Figura 244: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para mercúrio (a), chumbo (b) e cromo (c) presentes nas amostras de brânquia (b) peixes do grupo I. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os seis níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 456

Figura 245: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para cádmio (a) e ferro (b) presentes nas amostras de brânquia (b) peixes do grupo I. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os seis níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 457

Figura 246: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para ferro nas amostras de fígado (f) e músculo (m) dos peixes do grupo I. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os seis níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 458

Figura 247: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados dos elementos As, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn nos tecidos (brânquia [b], fígado [f] e músculo [m]) dos peixes grupo trófico II. Os símbolos representam os indivíduos/fatores utilizados na análise, categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1;CA2]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1,FRD3;FRD6;FRD8,FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) amostrados durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2). .... 459

Figura 248: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais nos tecidos dos peixes grupo trófico II (brânquias [b], fígado [f] e músculo [m]). Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas. .... 460

Figura 249: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse

uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 461

Figura 250: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/12 = 8,3\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 461

Figura 251: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 462

Figura 252: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 247). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/12 = 8,3\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 463

Figura 253: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para zinco (a) e cobre (b) presentes nas amostras de fígado de peixes do grupo II. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os seis níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 464

Figura 254: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para mercúrio (a) e ferro (b) presentes nas amostras de brânquia de peixes do grupo II. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os seis níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 465

Figura 255: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para ferro presentes nas amostras de fígado (a) e músculo (b) de peixes do grupo II. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os seis níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro

padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 466

Figura 256: Comparação entre a concentração de ferro (mg/kg peso úmido) nas amostras de músculo de peixes do grupo I(a) e do grupo II (b) coletados nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha verde indica a média máxima de ferro encontradas na na localidade da foz do Rio Doce antes da chegada da lama (19 de Novembro de 2015). Linha vermelha indica a média máxima de ferro encontrado na expedição realizada na foz do Rio doce e região costeira adjacente após a chegada da lama (Abril de 2016). .... 468

Figura 257: Resultados de modelos lineares utilizados para avaliar a diferença antes x depois na concentração de Cr, Fe e Mn para zooplâncton (a, b, c) e peixes carnívoros (d,e,f). Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, resultados de organismos coletados ANTES da chegada da lama) são observados em retângulos localizados à direita da linha pontilhada. Médias estimadas estão dispostas no círculo azul, e o intervalo de confiança em linhas pretas. O retângulo expõe os resultados do modelo estatístico (magnitude do efeito em  $\beta$ , e  $p$  valor)..... 470

Figura 258: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de concentração dos elementos As, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn no coral *Mussimilia hartti*. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, que são as estações amostrais ABR1, ABR2, ABR4 e ABRC1 amostrados durante as campanhas 1 [E1] e 2 [E2]. .... 474

Figura 259: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais no coral (*Mussimilia hartti*), ao longo das 4 estações amostrais na localidade de Abrolhos (ABR01, ABR02, ABR04 e ABRC1) nas campanhas 1 (E1) e 2 (E2). Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas. .... 475

Figura 260: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 476

Figura 261: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 476

Figura 262: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9=11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 477

Figura 263: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/8= 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 478

Figura 264: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de concentração dos elementos As, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn no hidrocoral *Millepora alcicornis*. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, que são as estações amostrais ABR1, ABR2, ABR4 e ABRC1 amostradas durante as campanhas 1 [E1] e 2 [E2]..... 479

Figura 265: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais no hidrocoral (*Millepora alcicornes*), ao longo das 4 estações amostrais na localidade de Abrolhos (ABR01, ABR02, ABR04 e ABRC1) nas campanhas 1 (E1) e 2 (E2). Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p<0.05$ ) estão indicadas. .... 480

Figura 266: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9= 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 481

Figura 267: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/8= 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 481

Figura 268: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/9= 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 482

Figura 269: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/8= 12,5\%$ . Para um determinado componente, um

indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 482

Figura 270: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para cromo (a), cádmio (b) e ferro (c) presentes nas amostras de coral *M. hartti*. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os quatro níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 4 estações amostrais com ABRC1 na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, ABRC1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.... 484

Figura 271: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para cromo (a), cádmio (b) e ferro (c) presentes nas amostras de coral *M. alcicornis*. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os quatro níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 4 estações amostrais com ABRC1 na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, ABRC1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.... 485

Figura 272: Comparação entre a concentração de cromo (mg/kg peso seco) nas amostras de corais *M. hartti* coletados nas estações amostrais na localidade de Abrolhos durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha verde indica a média máxima de ferro encontradas na literatura (Taylor, 2017).  
..... 486

Figura 273: Comparação entre a concentração de chumbo (mg/kg peso seco) nas amostras de corais *M. hartti* coletados nas estações amostrais na localidade de Abrolhos durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha verde indica a média máxima de chumbo encontrada na literatura (Taylor, 2017).  
..... 486

Figura 274: Comparação entre a concentração de cádmio (mg/kg peso seco) nas amostras de corais *M. hartti* coletados nas estações amostrais na localidade de Abrolhos durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha verde indica a média máxima de cádmio encontradas na literatura (Taylor, 2017).  
..... 487

Figura 275: Comparação entre a concentração de cobre (mg/kg peso seco) nas amostras de corais *M. hartti* coletados nas estações amostrais na localidade de Abrolhos durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Os resultados estão expressos em média

± erro padrão. Linha verde indica a média máxima de cobre encontradas na literatura (Taylor, 2017).  
 ..... 487

Figura 276: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO) (a) e concentração de metalotioneínas (MT) (b) mensurados em amostras de fitoplâncton (*pool/s*) coletados nas 25 estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média, ± erro padrão. Em negrito destacam-se as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce. .... 492

Figura 277: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO) (a) e concentração de metalotioneínas (MT) (b) mensurados em amostras de zooplâncton (*pool/s*) coletados nas 25 estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média ± erro padrão. Em negrito destacam-se as estações amostrais na foz do Rio Doce..... 493

Figura 278: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de biomarcadores de lipoperoxidação (DanoLip) e concentração de metalotioneínas (Metal) mensurados em amostras de fitoplâncton (fit) e zooplâncton (zoo). Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1; CA2; CA3; CA4 e CA5]); FRD (foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) e ABR (Abrolhos [ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1]) nas campanhas 1 [Exp1; símbolos cinzas] e 2 [Exp2; símbolos azuis]. ..... 494

Figura 279: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, do biomarcadores (lipoperoxidação [DanoLip] e concentração de metalotioneínas [Metal]) nas amostras de fitoplâncton (fit) e zooplâncton (zoo) Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas. .... 495

Figura 280: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 278). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 496

Figura 281: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 278). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/16 = 6,2\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 496

Figura 282: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 278). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 497

Figura 283: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 278). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/16 = 6,2\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 497

Figura 284: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para lipoperoxidação (LPO [a]) concentração de metalotioneínas (Metalto [b]) presentes nas amostras de fitoplâncton (fito). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os oito níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 8 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 498

Figura 285: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para lipoperoxidação (LPO [a]) concentração de metalotioneínas (Metalto [b]) presentes nas amostras de zooplâncton (zoo). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os oito níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 8 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 499

Figura 286: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de biomarcadores, lipoperoxidação (DanoLip; hepatopâncreas e brânquia), concentração de metalotioneínas (Metalto; hepatopâncreas), proteínas carboniladas (DanoProt; músculo) e níveis de sítios AP (DanoDNA; hemolinfa) mensurados em amostras de camarão. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, categorizados por localidade VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]);CA (Costa das Algas [CA1; CA2; CA3]); FRD (foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) nas campanhas marinhas 1 [Exp1; símbolos cinzas] e 2 [Exp2; símbolos azuis]. .... 502

Figura 287: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, dos biomarcadores (lipoperoxidação [DanoLip], concentração de metalotioneínas [Metalto], proteínas carboniladas [DanoProt] e quantificação de sítios AP [DanoDNA]) nas amostras de camarão (brânquia [b], hepatopâncreas [h] músculo [m] e hemolinfa) Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas. .... 503

Figura 288: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 286). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/5 = 20\%$ . Para um

determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 504

Figura 289: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 286). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/10 = 10\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 504

Figura 290: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 286). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/5 = 20\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 505

Figura 291: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 286). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/10 = 10\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 505

Figura 292: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para lipoperoxidação (LPO) presentes nas amostras de brânquia (a) e hepatopâncreas (b) e para níveis de sítios AP (Dano em DNA) (c) de camarões. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 5 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha..... 506

Figura 293: Atividade das enzimas do metabolismo antioxidante celular do fígado de animais coletados no ambiente marinho campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019). A: atividade de SOD nos peixes do grupo I; B: atividade de SOD nos peixes do grupo II; C: atividade de CAT nos peixes do grupo I e D: atividade de CAT nos peixes do grupo II. Os resultados são expressos em média/desvio padrão. .... 515

Figura 294: Atividade das enzimas do metabolismo energético do fígado de animais coletados no ambiente marinho na campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019). A: atividade de LDH nos peixes do grupo I; B: atividade de LDH nos peixes do grupo II; C: atividade de MDH nos peixes do grupo I e D: atividade de MDH nos peixes do grupo II. Os resultados são expressos em média/desvio padrão. .... 516

Figura 295: Atividade das enzimas do metabolismo antioxidante celular de brânquia de animais coletados no ambiente marinho na campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019). A:

atividade de SOD nos animais onívoros/herbívoros (peixes grupo I); B: atividade de SOD nos carnívoros (peixes do grupo II); C: atividade de CAT nos animais peixes do grupo I e D: atividade de CAT nos peixes do grupo II. Os resultados são expressos em média/desvio padrão. .... 517

Figura 296: Atividade das enzimas do metabolismo energético de brânquia de animais coletados no ambiente marinho na campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019). A: atividade de LDH nos animais onívoros/herbívoros (grupo I); B: atividade de LDH nos peixes do grupo II (carnívoros); C: atividade de MDH nos peixes do grupo I e D: atividade de MDH nos peixes do grupo II . Os resultados são expressos em média  $\pm$  desvio padrão..... 518

Figura 297: Índices de lesões do fígado de peixes coletados na campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019). A: animais onívoros/herbívoros (grupo I) e B: animais carnívoros (grupo II). Os dados são médias  $\pm$  desvio padrão. .... 519

Figura 298: Alterações morfológicas mais frequentes observadas no fígado dos peixes coletados no ambiente marinho durante as campanhas marinhas 1 e 2. A, B e C: alterações nucleares (seta fina), em A foi evidenciado a atrofia nuclear e em B e C foi mostrado hipertrofia nuclear; D: necrose (seta grossa), E: esteatose (asterisco), congestão de sinusoide (círculo) e congestão de vaso sanguíneo (seta grossa); F: vacuolização citoplasmática (seta fina); G: atrofia (seta fina) e congestão de vaso sanguíneo (seta grossa). Coloração: Hematoxilina & Eosina. Barras: A, B, C, D, F = 50  $\mu$ m e G= 100  $\mu$ m..... 522

Figura 299: Índices de lesões da brânquia no ambiente marinho, referentes a campanha 1 (Set/Out 2018) e 2 (Jan/Fev 2019). A: animais onívoros/herbívoros (grupo I) e B: animais carnívoros (grupo II). Os dados são médias/desvio. .... 523

Figura 300: Alterações morfológicas mais frequentes nas brânquias dos peixes coletados no ambiente marinho durante a campanha 1 e 2. A: aneurisma (seta grossa); B: deslocamento da lamela primária (círculo); C: fusão da lamela secundária (seta grossa); D: descamação do epitélio branquial (seta fina); E: hiperplasia total das lamelas secundárias (asterisco). Coloração: Hematoxilina & Eosina. Barra: A, B, C, D e F = 50  $\mu$ m. .... 526

Figura 301: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de biomarcadores, lipoperoxidação (DanoLip; brânquia e fígado), concentração de metalotioneínas (Metal; fígado), proteínas carboniladas (DanoProt; músculo), níveis de sítios AP (DanoDNA; sangue), frequência de micronúcleos (MN; sangue), índices médios de lesões do fígado (IH\_f), índices médios de lesões na brânquia (IH\_b) atividade das enzimas catalase (CAT; brânquia e fígado), lactato desidrogenase (LDH; brânquia e fígado), malato desidrogenase (MDH; brânquia e fígado) e superóxido dismutase (SOD; brânquia e fígado) mensurados em amostras de peixes do grupo I. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA2]; VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]);CA (Costa das Algas [CA1;CA2;CA3]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1,FRD3;FRD6;FRD8,FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2] e ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) nas campanhas marinhas 1 [Exp1] e 2 [Exp2]. .... 527

Figura 302: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas de biomarcadores, lipoperoxidação (DanoLip; brânquia e fígado), concentração de metalotioneínas (Metal; fígado), proteínas carboniladas (DanoProt; músculo), níveis de sítios AP (DanoDNA; sangue), frequência de micronúcleos (MN; sangue), índices médios de lesões do fígado (IH\_f), índices médios de lesões na brânquia (IH\_b) atividade das enzimas catalase (CAT; brânquia e fígado), lactato desidrogenase (LDH; brânquia e fígado), malato desidrogenase (MDH; brânquia e fígado) e superóxido dismutase (SOD; brânquia e fígado) mensurados em amostras de peixes do grupo I. Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas. .... 528

Figura 303: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 301). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/15 = 6,6\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 529

Figura 304: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 301). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/13 = 7,6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 529

Figura 305: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 301). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/15 = 6,6\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 530

Figura 306: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 301). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/13 = 7,6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 530

Figura 307: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para os biomarcadores catalase na brânquia (CAT\_b) (a) e malato desidrogenase na brânquia (MDH\_b) (b) de peixes grupo I. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Nenhuma diferença entre áreas amostrais foi observada. .... 531

Figura 308: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para os biomarcadores micronúcleo (MN) (a) sítios AP (DanoDNA) (b) de peixes grupo I. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes

o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA/Exp1) são observados em retângulos localizados à a direita da linha vermelha. .... 532

Figura 309: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de biomarcadores, lipoperoxidação (DanoLip; brânquia e fígado), concentração de metalotioneínas (Metal; fígado), proteínas carboniladas (DanoProt; músculo), níveis de sítios AP (DanoDNA; sangue), frequência de micronúcleos (MN; sangue), índices médios de lesões do fígado (IH\_f), índices médios de lesões na brânquia (IH\_b) atividade das enzimas catalase (CAT; brânquia e fígado), lactato desidrogenase (LDH; brânquia e fígado), malato desidrogenase (MDH; brânquia e fígado) e superóxido dismutase (SOD; brânquia e fígado) mensurados em amostras de peixes do grupo II. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA2]; VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1;CA2;CA3]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1,FRD3;FRD6;FRD8,FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2] e ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) nas campanhas marinhas 1 [Exp1] e 2 [Exp2]. ..... 533

Figura 310: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas de biomarcadores, lipoperoxidação (DanoLip; brânquia e fígado), concentração de metalotioneínas (Metal; fígado), proteínas carboniladas (DanoProt; músculo), níveis de sítios AP (DanoDNA; sangue), frequência de micronúcleos (MN; sangue), índices médios de lesões do fígado (IH\_f), índices médios de lesões na brânquia (IH\_b) atividade das enzimas catalase (CAT; brânquia e fígado), lactato desidrogenase (LDH; brânquia e fígado), malato desidrogenase (MDH; brânquia e fígado) e superóxido dismutase (SOD; brânquia e fígado) mensurados em amostras de peixes do grupo II. Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas. .... 534

Figura 311: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 309). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/15 = 6,6\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 535

Figura 312: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 309). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/13 = 7,6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 535

Figura 313: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 309). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/15 = 6,6\%$ . Para

um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 536

Figura 314: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 309). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/13 = 7,6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 536

Figura 315: Comparações a posteriori (teste de Dunnet) para as enzimas malato desidrogenase na brânquia (MDH\_b) (a) superóxido dismutase (SOD\_b) (b) de peixes do grupo II. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 538

Figura 316: Comparações a posteriori (teste de Dunnet) para a enzima lactato desidrogenase na brânquia (LDH\_b) (a) e o índice de lesão histológica no fígado (b) e na brânquia (c) de peixes do grupo II. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 539

Figura 317: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de biomarcadores (lipoperoxidação (LPO); níveis da enzima anidrase carbônica (AC) atividade da enzima Cálcio-ATPase (Ca) e atividade da enzima Magnésio-ATPase (Mg) mensurados em amostras de corais (*Mussismilia harttii*) e hidrocorais (*Millepora alcicornis*) Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, as estações amostrais na localidade de Abrolhos (ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1) nas campanhas 1 [E1] e 2 [E2]..... 547

Figura 318: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, dos biomarcadores de lipoperoxidação (LPO); níveis da enzima anidrase carbônica (AC); atividade da enzima Cálcio-ATPase (Ca) e atividade da enzima Magnésio-ATPase (Mg) mensurados em amostras de corais (*Mussismilia harttii*) e hidrocorais (*Millepora alcicornis*) coletados nas estações amostrais na localidade de Abrolhos (ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1) Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas. .... 548

Figura 319: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado

componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 549

Figura 320: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 549

Figura 321: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 550

Figura 322: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 550

Figura 323: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para atividade da Anidrase Carbônica (a) e atividade da Ca-ATPase (b) das amostras de corais *M.hartti*. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os quatro níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 4 localidades amostrais com ABRC1 na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, ABRC1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha..... 552

Figura 324: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para atividade da Anidrase Carbônica (a) e atividade da Ca-ATPase (b) das amostras de hidrocorais *M.alcicornes*. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os quatro níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 4 localidades amostrais com ABRC1 na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, ABRC1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha. .... 553

Figura 325: Concentração de ferro dissolvido ( $\mu\text{g/L}$ ) em amostras de água (superfície) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de ferro dissolvido ( $300 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para

água salina. As estações amostrais ao longo do eixo x estão dispostas conforme sua posição geográfica (do Sul para o Norte)..... 560

Figura 326: Concentração de ferro dissolvido ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de ferro dissolvido ( $300 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte. .... 561

Figura 327: Concentração de manganês total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (superfície) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Mn total ( $100 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte. .... 562

Figura 328: Concentração de manganês total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Mn total ( $100 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte. .... 562

Figura 329: Concentração de mercúrio total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (superfície) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Hg total ( $0,2 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte. .... 563

Figura 330: Concentração de mercúrio total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Hg total ( $0,2 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte. .... 564

Figura 331: Concentração de zinco total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Zn total ( $90 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte. .... 565

Figura 332: Concentração de arsênio total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de As total ( $10 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte. .... 566

Figura 333: Concentração de cádmio total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cd total ( $5 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte. .... 566

Figura 334: Concentração de cromo total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cr total ( $50 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte. .... 567

Figura 335: Concentração de cobre dissolvido ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cu dissolvido ( $5 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte. .... 567

Figura 336: Concentração de chumbo total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Pb total ( $10 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte. .... 568

Figura 337: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais na água coletada nas campanhas 1 e 2. O código fT e fD indica determinações de metais realizadas em água de fundo nas frações total e dissolvida, respectivamente. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência); DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri). .... 569

Figura 338: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente. .... 570

Figura 339: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante. .... 571

Figura 340: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente..... 571

Figura 341: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante. .... 572

Figura 342: Concentração de cobre (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cu (34 mg/kg) permitido pela Resolução 454/2012 do CONAMA para sedimento. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte. .... 575

Figura 343: Concentração de ferro (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte..... 576

Figura 344: Concentração de manganês (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte..... 576

Figura 345: Concentração de Chumbo (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte..... 577

Figura 346: Concentração de Cromo (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cr (81 mg/kg) permitido pela Resolução 454/2012 do CONAMA para sedimento. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte..... 577

Figura 347: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais no sedimento coletado nas campanhas 1 e 2. O código S indica determinações de metais realizadas no sedimento. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência); DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri)..... 578

Figura 348: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente..... 579

Figura 349: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante. .... 580

Figura 350: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente..... 580

Figura 351: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante. .... 581

Figura 352: Concentração de Ferro (Fe) e Manganês (Mn) (mg/kg de peso úmido) em anfípodas nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. . 585

Figura 353: Concentração de Arsênio (As), Cobre (Cu) e Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) em anfípodas nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 585

Figura 354: Concentração de Cromo (Cr) e Chumbo (Pb) (mg/kg de peso úmido) em anfípodas nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. . 586

Figura 355: Concentração de Cádmio (Cd) e Mercúrio (Hg) (mg/kg de peso úmido) em anfípodas nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. . 586

Figura 356: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais nos anfípodas (anfip). Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência);

DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri) e amostrados durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2). ..... 587

Figura 357: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente. .... 588

Figura 358: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante. .... 589

Figura 359: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente. .... 590

Figura 360: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante. .... 590

Figura 361: Concentração de Arsênio (As), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) em isópodas nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praiar. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 594

Figura 362: Concentração de Cromo (Cr) e Mercúrio (Hg) (mg/kg de peso úmido) em isópodas nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praiar. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. . 595

Figura 363: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais nos isópodas (isop). Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência); DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri) e amostrados durante a campanha 1 (Exp1) e a campanha 2 (Exp2). .... 596

Figura 364: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado

componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente..... 597

Figura 365: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/17 = 5,8\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante. .... 597

Figura 366: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente..... 598

Figura 367: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/17 = 5,8\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante. .... 598

Figura 368: Concentração de Cobre (Cu), Ferro (Fe), e Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) em poliquetas amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 601

Figura 369: Concentração de Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn) e Chumbo (Pb) (mg/kg de peso úmido) em poliquetas amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 601

Figura 370: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais nos poliquetas (poli). Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência); DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri) e amostrados durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2). .... 602

Figura 371: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente..... 603

Figura 372: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, um

indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.  
 ..... 603

Figura 373: Concentração de Arsênio (As), Cádmiio (Cd) e Mercúrio (Hg) (mg/kg de peso úmido) em poliquetas nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praia. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão. .... 604

Figura 374: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente..... 604

Figura 375: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.  
 ..... 605

Figura 376: Concentração de Manganês (Mn) e Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) em poliquetas nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praia. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão. . 605

Figura 377: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais nos diferentes tecidos do caranguejo *Ocypode quadrata* (hepatopâncreas [h], brânquia [b] e músculo [m]) . Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência); DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri) e amostrados durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2). .... 609

Figura 378: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente..... 610

Figura 379: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.  
 ..... 611

Figura 380: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse

uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente..... 612

Figura 381: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante. .... 612

Figura 382: Concentração de Manganês (Mn) e Chumbo (Pb) no tecido branquial; Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb) no hepatopâncreas (mg/kg de peso úmido) em caranguejos nos pontos amostrados campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão..... 613

Figura 383: Concentração de Cádmio (Cd) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão..... 614

Figura 384: Concentração de Cromo (Cr) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis), a linha vermelha tracejada representa o valor médio de Cr em cada tecido de *Goniopsis cruentata* (Carneiro et al., 2018). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 614

Figura 385: Concentração de Cobre (Cu) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis), a linha vermelha tracejada representa o valor médio de Cu em cada tecido de *U. cordatus* (Merfa et al., 2010). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 615

Figura 386: Concentração de Ferro (Fe) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis), a linha vermelha tracejada representa o valor médio de Cu em cada tecido de *U. cordatus* (Merfa et al., 2010). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 615

Figura 387: Concentração de Mercúrio (Hg) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 616

Figura 388: Concentração de Manganês (Mn) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis), a linha vermelha tracejada (no limite inferior) representa

o valor médio de Cu em cada tecido de *U. cordatus* (Merfa et al., 2010), enquanto a linha vermelha contínua (limite superior) representa as médias nos mesmos tecidos de *Goniopsis cruentata* (Carneiro et al., 2018). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão..... 616

Figura 389: Concentração de Chumbo (Pb) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis), a linha vermelha tracejada representa o valor médio de Pb em cada tecido de *Goniopsis cruentata* (Carneiro et al., 2018). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 617

Figura 390: Concentração de Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis), a linha vermelha tracejada (no limite inferior) representa o valor médio de Zn em cada tecido de *U. cordatus* (Merfa et al., 2010), enquanto a linha vermelha contínua (limite superior) representa as médias nos tecidos de *Goniopsis cruentata* (Carneiro et al., 2018). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 617

Figura 391: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de biomarcadores (DanoLip[LPO] e Metalo [metalotioneína]) em anfípodos (anf), isópodos (iso) e poliquetas (poli). Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência); DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri) amostrados durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2). .... 621

Figura 392: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/6 = 16,6\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente..... 622

Figura 393: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/6 = 16,6\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente..... 623

Figura 394: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) e Componente Principal 1 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante. .... 623

- Figura 395: Níveis de dano oxidativo em lipídios (Lipoperoxidação - LPO) em anfípodas coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão..... 624
- Figura 396: Concentração de Fe dissolvido na água ( $\mu\text{g/L}$ ) e níveis de Fe em anfípodas coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão..... 625
- Figura 397: Níveis de metalotioneínas (MT) em anfípodas coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 625
- Figura 398: Níveis de dano oxidativo em lipídios (Lipoperoxidação - LPO) em isópodas coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão..... 626
- Figura 399: Concentração de Fe ( $\text{mg/kg}$  peso úmido) em isópodas coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 626
- Figura 400: Níveis de metalotioneínas (MT) em isópodas coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 627
- Figura 401: Níveis de dano oxidativo em lipídios (Lipoperoxidação - LPO) e níveis de metalotioneínas (MT) em poliquetas coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão..... 627
- Figura 402: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de biomarcadores (Dano Lip [LPO]; DanoProt [PCO]; Metalo [MT] e DanoDNA [Sítios AP]) nos diferentes tecidos (hepatopâncreas [h]; brânquia; músculo e hemolinfa) dos caranguejos. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência); DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri) e amostrados na campanha 1 (Exp1) e na campanha 2 (Exp2). ..... 630
- Figura 403: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/5 = 20\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente..... 631
- Figura 404: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5,5\%$ . Para um determinado componente, um

indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.  
..... 631

Figura 405: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/5 = 20\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente..... 632

Figura 406: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.  
..... 632

Figura 407: Níveis de dano oxidativo em lipídios (Lipoperoxidação - LPO) nas brânquias do caranguejo *Ocypode quadrata* coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão..... 633

Figura 408: Níveis Fe (ferro) nas brânquias do caranguejo *Ocypode quadrata* coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão ..... 633

Figura 409: Níveis de metalotioneína (MT) no hepatopâncreas do caranguejo *Ocypode quadrata* coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 634

Figura 410: Níveis de proteínas carboniladas (PCO) no músculo do caranguejo *Ocypode quadrata* coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 635

Figura 411: Valores de Sítio AP na hemolinfa do caranguejo *Ocypode quadrata* coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão. .... 636

Figura 412: Níveis de ferro (Fe) nas brânquias de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis cruentata*. Os níveis de Fe são aferidos em mg/kg de peso úmido. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Fe em brânquias de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 646

Figura 413: Níveis de ferro (Fe) no hepatopâncreas de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído

por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Fe são aferidos em mg/kg de peso úmido. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Fe em hepatopâncreas de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 646

Figura 414: Níveis ferro (Fe) no músculo de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Fe são aferidos em mg/kg de peso úmido. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Fe no músculo de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 647

Figura 415: Níveis de manganês (Mn) nas brânquias de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Mn são aferidos em mg/kg de peso úmido. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Mn nas brânquias de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 648

Figura 416: Níveis de manganês (Mn) no hepatopâncreas de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal nas coletas de inverno (Set/Out - 2018) e de verão (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Mn são aferidos em mg/kg de peso úmido. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Mn no hepatopâncreas de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 648

Figura 417: Níveis de manganês (Mn) no músculo de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Mn são aferidos em mg/kg de peso úmido. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Mn no músculo de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 649

Figura 418: Níveis de cromo (Cr) nas brânquias de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Cr são aferidos em mg/kg de peso úmido. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Cr nas brânquias de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 650

Figura 419: Níveis de cromo (Cr) no hepatopancreas de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Cr são aferidos em mg/kg. A linha tracejada em vermelho mostra

a média dos resultados de Cr no hepatopâncreas de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 650

Figura 420: Níveis de cromo (Cr) no músculo de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Cr são aferidos em mg/kg. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Cr no músculo de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 651

Figura 421: Níveis de zinco (Zn) nas brânquias de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Zn são aferidos em mg/kg. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Zn nas brânquias de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 652

Figura 422: Níveis de zinco (Zn) no hepatopâncreas de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Zn são aferidos em mg/kg. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Zn no hepatopâncreas de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 652

Figura 423: Níveis de zinco (Zn) no músculo de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Zn são aferidos em mg/kg. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Zn no músculo de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 653

Figura 424: Níveis de ferro (Fe) dissolvido nos manguezais monitorados através do PMQQS (2017 – 2018). Os resultados são expressos em períodos trienais. A linha tracejada mostra os níveis máximos permitidos pela resolução CONAMA 357/2005. Os níveis de Fe são aferidos em mg/L. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 654

Figura 425: Níveis de ferro (Fe) no sedimento dos manguezais monitorados através do PMQQS (2017 – 2018). Os resultados são expressos em períodos trienais. A linha tracejada mostra a média dos níveis de ferro quantificados do rompimento das barragens em manguezais próximos aos ambientes monitorados. Os níveis de Fe são aferidos em mg/kg. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 654

Figura 426: Níveis de manganês (Mn) nos manguezais monitorados através do PMQQS (2017 – 2018). Os resultados são expressos em períodos trienais. A linha tracejada mostra os níveis máximos

permitidos pela resolução CONAMA 357/2005. Os níveis de Mn são aferidos em mg/l. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 655

Figura 427: Níveis de manganês (Mn) no sedimento dos manguezais monitorados através do PMQQS (2017 – 2018). Os resultados são expressos em períodos trienais. A linha tracejada mostra a média dos níveis de manganês quantificados em estudos de antes e depois do rompimento das barragens em manguezais próximos aos ambientes monitorados. Os níveis de Mn são aferidos em mg/kg. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 655

Figura 428: Níveis de cromo (Cr) nos manguezais monitorados através do PMQQS (2017 – 2018). Os resultados são expressos em períodos trienais. A linha tracejada mostra os níveis máximos permitidos pela resolução CONAMA 357/2005. Os níveis de Cr são aferidos em mg/L. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 656

Figura 429: Níveis de cromo (Cr) no sedimento dos manguezais monitorados através do PMQQS (2017 – 2018). Os resultados são expressos em períodos trienais. A linha tracejada mostra a média dos níveis de manganês quantificados de estudos de antes e depois do rompimento das barragens em manguezais próximos aos ambientes monitorados. Os níveis de cr são aferidos em mg/kg. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 657

Figura 430: Níveis de zinco (Zn) no sedimento dos manguezais monitorados através do PMQQS (2017 – 2018). Os resultados são expressos em períodos trienais. A linha tracejada mostra a média dos níveis de zinco quantificados de estudos de antes e depois do rompimento das barragens em manguezais próximos aos ambientes monitorados. Os níveis de Zn são aferidos em mg/kg. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP ..... 657

Figura 431: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais nos tecidos de caranguejos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) na expedição de inverno (campanha 1; símbolos em cinza) e na expedição de verão (campanha 2; símbolos azuis). Os símbolos representam os pontos amostrados..... 658

Figura 432: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/14 = 7,1\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo/fator* com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. No eixo x os valores se referem aos pontos amostrais como segue: 9 e 2 (RSC), 10 (FRG), 6 (RSM), 8 (RCA). .... 659

Figura 433: Representação gráfica de correlações (Pearson) par a par entre as variáveis estudadas. Correlações positivas são exibidas em azul e negativas na cor vermelha. A intensidade da cor e o tamanho do círculo são proporcionais aos coeficientes de correlação. Apenas correlações significativas ( $p < 0.05$ ) são mostradas. .... 660

Figura 434: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor

esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo*/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 661

Figura 435: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo*/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente..... 661

Figura 436: Lipoperoxidação pelo método de TBARS em hepatopâncreas de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de lipídios peroxidados (LPO) são aferidos em nmol de MDA/mg de proteína. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de MDA por TBARS em hepatopâncreas de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 668

Figura 437: Lipoperoxidação pelo método de TBARS em brânquias de caranguejos (*U. cordatus*, *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de MDA são aferidos em nmol de MDA/mg de proteína. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de MDA por TBARS em brânquias de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 669

Figura 438: Níveis de proteínas carboniladas (PCO) em músculos de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de PCO em músculos de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os níveis de PCO são aferidos em nmol PC/mg de proteína. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP..... 670

Figura 439: Níveis de sítios AP na hemolinfa de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos do ambiente de manguezal nas expedições de inverno (Set/Out – 2018- barra cinza) e de verão (Jan/Fev – 2019 – barra azul). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG), *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de dano de DNA na hemolinfa de caranguejos coletados em ambientes contaminados. O dano de DNA é aferido em níveis de Sítio Ap (ARP/10<sup>5</sup> bp). Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP. .... 671

Figura 440: Níveis de metalotioneína (MT) de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out – 2018- barra cinza) e na campanha 2 (Jan/Fev – 2019 – barra azul). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG), *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados dos

níveis de MT no hepatopâncreas de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os níveis de metalotioneína são aferidos em  $\mu\text{g MT/mg}$  de proteína. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.

..... 672

Figura 441: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de níveis de biomarcadores nos tecidos de caranguejos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) nos diferentes pontos do monitoramento dos manguezais durante a campanha 1 (símbolos em cinza) e na campanha 2 (símbolos azuis). ..... 673

Figura 442: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 441). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/5 = 20\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo/fator* com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 674

Figura 443: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC2) (de acordo com a Figura 441). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/5 = 20\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo/fator* com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. .... 674

Figura 444: Sequência química da reação de Fenton. .... 676

Figura 445: Sequência química da reação de Haber Weiss. .... 677

Figura 446: Localização das estações de coleta no Rio Doce e a abundância relativa dos Filos bacterianos predominantes. Os gráficos de pizza representam da esquerda para direita: água de superfície, água de fundo e sedimento, respectivamente. .... 680

Figura 447: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros". .... 683

Figura 448: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros". .... 683

Figura 449: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros". .... 684

Figura 450: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros". .... 684

Figura 451: Análise de PCA das amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos. ....	685
Figura 452: Análise de PCA das amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos. ....	686
Figura 453: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais frequentemente encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”. ....	688
Figura 454: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais frequentemente encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”. ....	688
Figura 455: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”. ....	689
Figura 456: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”. ....	690
Figura 457: Análise de PCA das amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos. ....	691
Figura 458: Análise de PCA das amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos. ....	692
Figura 459: Classificação taxonômica das amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”. ....	694
Figura 460: Classificação taxonômica das amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”. ....	695
Figura 461: Classificação taxonômica das amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”. ....	696
Figura 462: Classificação taxonômica das amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”. ....	696
Figura 463: Análise de PCA das amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais. ....	698

Figura 464: Análise de PCA das amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais. ....	699
Figura 465: Localização das estações de coleta na foz do Rio Doce e região costeira adjacente, destacando a abundância relativa dos Filos bacterianos predominantes, Os gráficos representam da esquerda para direita: água de superfície, água de fundo e sedimento, respectivamente. ....	701
Figura 466: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	705
Figura 467: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	705
Figura 468: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	706
Figura 469: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	707
Figura 470: Análise de PCA das amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos. ....	708
Figura 471: Análise de PCA das amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos. ....	708
Figura 472: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	713
Figura 473: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	714
Figura 474: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros. ....	715
Figura 475: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	715

Figura 476: Análise de PCA das amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos. ....	716
Figura 477: Análise de PCA das amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos. ....	717
Figura 478: Análise de PCA das amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). sem a presença das amostras FRD01 e FRD10, As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos. ....	718
Figura 479: Classificação taxonômica das amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	721
Figura 480: Classificação taxonômica das amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	722
Figura 481: Classificação taxonômica das amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	723
Figura 482: Classificação taxonômica das amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	724
Figura 483: Análise de PCA das amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos. ....	725
Figura 484: Análise de PCA das amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos. ....	726
Figura 485: Localização das estações de coleta na região de Abrolhos, destacando a abundância relativa dos Filos bacterianos predominantes nas amostras de coral, Os gráficos representam da esquerda para a direita: <i>Milepora alcicornis</i> e <i>Mussismilla hartii</i> , respectivamente. ....	729
Figura 486: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	732

Figura 487: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	733
Figura 488: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	734
Figura 489: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	734
Figura 490: Análise de PCA das amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos. ....	735
Figura 491: Análise de PCA das amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos. ....	736
Figura 492: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	738
Figura 493: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	738
Figura 494: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	739
Figura 495: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	740
Figura 496: Análise de PCA das amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.....	741
Figura 497: Análise de PCA das amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.....	741
Figura 498: Classificação taxonômica das amostras de sedimento da região de Abrolhos (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”. ....	742
Figura 499: Classificação taxonômica das amostras de sedimento da região de Abrolhos (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”. ....	743

Figura 500: Classificação taxonômica das amostras de sedimento da região de Abrolhos (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	744
Figura 501: Classificação taxonômica das amostras de água de sedimento da região de Abrolhos (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	745
Figura 502: Análise de PCA das amostras de sedimento da região de Abrolhos (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais.....	746
Figura 503: Análise de PCA das amostras de sedimento da região de Abrolhos (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais.....	747
Figura 504: Classificação taxonômica das amostras de hidrocoral da espécie <i>Millepora alcicornis</i> (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	749
Figura 505: Classificação taxonômica das amostras de hidrocoral da espécie <i>Millepora alcicornis</i> (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	749
Figura 506: Classificação taxonômica das amostras de hidrocoral da espécie <i>Millepora alcicornis</i> (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	750
Figura 507: Classificação taxonômica das amostras de hidrocoral da espécie <i>Millepora alcicornis</i> (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	751
Figura 508: Análise de PCA das amostras de hidrocoral da espécie <i>Millepora alcicornis</i> (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais.....	752
Figura 509: Análise de PCA das amostras de hidrocoral da espécie <i>Millepora alcicornis</i> (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais.....	753
Figura 510: Classificação taxonômica das amostras de coral da espécie <i>Mussismilia hartii</i> (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	755
Figura 511: Classificação taxonômica das amostras de coral da espécie <i>Mussismilia hartii</i> (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	755
Figura 512: Classificação taxonômica das amostras de coral da espécie <i>Mussismilia hartii</i> (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.....	756

Figura 513: Classificação taxonômica das amostras de coral da espécie <i>Mussismilia hartii</i> (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.	757
Figura 514: Análise de PCA das amostras de coral da espécie <i>Mussismilia hartii</i> (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais.	758
Figura 515: Análise de PCA das amostras de coral da espécie <i>Mussismilia hartii</i> (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais.	759
Figura 516: Rede para captura de aves instalada às margens do manguezal no Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).	779
Figura 517: Rede para captura de aves instalada na foz do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).	779
Figura 518: Instalação de rede para captura de aves sobre canal na foz do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).	780
Figura 519: Rede para captura de aves instalada na foz do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).	780
Figura 520: Rede para captura de aves instalada na região costeira próxima à foz do Rio São Mateus em Conceição da Barra (São Mateus-ES).	780
Figura 521: Rede para captura de aves instalada no local de abrigo de aves costeiras e limnícolas na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).	781
Figura 522: Rede para captura de aves instalada no local de abrigo de aves costeiras e limnícolas na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).	781
Figura 523: Rede para captura de aves instalada na APA Conceição da Barra, no local de abrigo de aves costeiras e limnícolas, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).	782
Figura 524: Ave capturada em rede instalada na campanha 1.	782
Figura 525: Aves contidas em sacos na base de apoio para triagem, manipulação das aves capturadas e coleta de amostras durante a campanha 2 no Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).	782
Figura 526: Base de apoio para triagem, manipulação e coleta das amostras das aves capturadas na campanha 1.	783
Figura 527: Manipulação de ave capturada ( <i>Nyctanassa violacea</i> ) para coleta de dados e amostras durante a campanha 2 no Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).	783
Figura 528: Coleta de dados de ave capturada ( <i>Pluvialis squatarola</i> ) na campanha 2 na praia de Guriri (São Mateus-ES).	783
Figura 529: Coleta de dados e amostras de aves na campanha 2 na foz do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).	784

Figura 530: Coleta de amostra de sangue através da punção na veia ulnar de ave capturada na campanha 1.....	784
Figura 531: Coleta de amostra de sangue através da punção na veia ulnar de ave capturada na campanha 2.....	784
Figura 532: Amostra de sangue coletada através da punção na veia ulnar de ave capturada na campanha 2.....	785
Figura 533: Coleta de amostra de sangue através do corte da unha de ave capturada na campanha 1. ....	785
Figura 534: Coleta de amostra de pena de ave capturada na campanha 1.....	785
Figura 535: Coleta de amostra de pena de ave capturada na campanha 2.....	786
Figura 536: Coleta laboratorial (Base Oceanográfica da UFES) de amostras das aves capturadas na campanha 1.....	786
Figura 537: Coleta laboratorial (Base Oceanográfica da UFES) de amostras das aves capturadas na 2ª campanha.....	786
Figura 538: Determinação laboratorial (Base Oceanográfica da UFES) do sexo de ave coletada na campanha 1, através da visualização da gônada (testículos). ....	787
Figura 539: Determinação laboratorial ( Base Oceanográfica da UFES) do sexo de ave coletada na campanha 2, através da visualização da gônada (ovário).....	787
Figura 540: Exemplos de amostras obtidas em laboratório (Base Oceanográfica da UFES), durante a preparação das aves coletadas na campanha 1. ....	787
Figura 541: Exemplos de amostras obtidas de ave coletada na campanha 1 e prontas para serem congeladas. ....	788
Figura 542: Exemplos de amostras obtidas e pele taxidermizada de ave coletada na campanha 2. ....	788
Figura 543: Carcaça de ave resultante da taxidermia da pele para coleta laboratorial (Base Oceanográfica da UFES) de amostras na campanha 2. ....	788
Figura 544: Aves taxidermizadas e acondicionadas provisoriamente até serem transportadas para Rio Grande- RS, visando o aproveitamento científico e tombamento na Coleção de Aves da FURG.....	789
Figura 545: Aves taxidermizadas e acondicionadas para transporte via terrestre até o Instituto de Ciências Biológicas da FURG (Rio Grande-RS).....	789
Figura 546: Acondicionamento das amostras congeladas para serem transportadas até Rio Grande- RS, visando às análises das mesmas e tombamento das aves taxidermizadas na Coleção de Aves da FURG. ....	789

Figura 547: Rede para captura de aves instalada no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	791
Figura 548: Manguezal sob a influência da maré alta no Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES). .....	791
Figura 549: Rede para captura de ave, fechada devido à maré alta, no Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	791
Figura 550: Indivíduo de <i>Actitis macularis</i> coletado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	792
Figura 551: Indivíduo de <i>Chloroceryle amazona</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	792
Figura 552: Indivíduo de <i>Conirostrum bicolor</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	792
Figura 553: Indivíduo de <i>Dendroplex picus</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	793
Figura 554: Indivíduo de <i>Egretta caerulea</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	793
Figura 555: Indivíduo de <i>Nyctanassa violacea</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	793
Figura 556: Rede para captura de aves instalada em ilha inundável, próxima à foz do Rio Doce (Regência-ES).....	795
Figura 557: Rede para captura de aves instalada em ilha próxima à foz do Rio Doce (Regência-ES). .....	795
Figura 558: Rede para captura de aves instalada na margem de canal do rio, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).....	795
Figura 559: Indivíduo de <i>Eupetionema macroura</i> capturado em rede instalada no canal do rio, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES). .....	796
Figura 560: Indivíduo de <i>Anthus lustescens</i> capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).....	796
Figura 561: Indivíduo de <i>Certhiaxis cinnamomea</i> capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).....	796
Figura 562: Indivíduo de <i>Crotophaga major</i> capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).....	797
Figura 563: Indivíduo de <i>Megaceryle torquata</i> capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).....	797

Figura 564: Indivíduo de <i>Myrmotherula axilaris</i> capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).....	797
Figura 565: Indivíduo de <i>Rallus longirostris</i> coletado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).....	798
Figura 566: Indivíduo de <i>Sporophila collaris</i> capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).....	798
Figura 567: Indivíduo de <i>Stelgitopterix ruficollis</i> capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).....	798
Figura 568: Indivíduo de <i>Vanellus chilensis</i> capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).....	799
Figura 569: Instalação das redes na praia de Guriri, próximo à foz do rio São Mateus e a APA Conceição da Barra (São Mateus-ES). ....	800
Figura 570: Instalação de redes para captura de aves na praia de Guriri, próximo à foz do rio São Mateus e a APA Conceição da Barra (São Mateus-ES).....	800
Figura 571: Indivíduo de <i>Arenaria interpres</i> coletado na praia de Guriri (São Mateus-ES). ....	801
Figura 572: Indivíduo de <i>Thalasseus acutiflavus</i> capturado na praia de Guriri (São Mateus-ES). ...	801
Figura 573: Rede para captura de aves instalada na campanha 2 no Pontal do Piraquê-Açú (Aracruz-ES).....	802
Figura 574: Rede para captura de aves instalada na campanha 2 no Pontal do Piraquê-Açú (Aracruz-ES).....	803
Figura 575: Rede para captura de aves instalada na campanha 2 no Pontal do Piraquê-Açú (Aracruz-ES).....	803
Figura 576: Rede para captura de aves instalada na campanha 2 no Pontal do Piraquê-Açú (Aracruz-ES).....	803
Figura 577: Rede para captura de aves instalada na campanha 2 no Pontal do Piraquê-Açú (Aracruz-ES).....	804
Figura 578: Indivíduo de <i>Actitis macularius</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	805
Figura 579: Indivíduo de <i>Actitis macularius</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açú (Aracruz-ES).....	806
Figura 580: Indivíduo de <i>Amazilia versicolor</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	806

Figura 581: Indivíduo de <i>Conirostrum bicolor</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	806
Figura 582: Macho de <i>Chloroceryle amazona</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	807
Figura 583: Fêmea de <i>Chloroceryle amazona</i> capturada no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	807
Figura 584: Indivíduo de <i>Dendroplex picus</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	807
Figura 585: Indivíduo de <i>Fluvicola nengeta</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	808
Figura 586: Indivíduo de <i>Molothrus bonariensis</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	808
Figura 587: Indivíduo de <i>Nyctanassa violacea</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	808
Figura 588: Indivíduo de <i>Nyctanassa violacea</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	809
Figura 589: Indivíduo de <i>Pitangus sulphuratus</i> capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).....	809
Figura 590: Rede para captura de aves instalada em uma das ilhas da foz do rio Doce em Regência (Linhares-ES). ....	810
Figura 591: Rede para captura de aves instalada no canal da foz do rio Doce em Regência (Linhares-ES).....	810
Figura 592: Fêmea de <i>Amazonetta brasiliensis</i> coletada no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES). ....	812
Figura 593: Indivíduo de <i>Ardea alba</i> ,coletada no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES). ....	812
Figura 594: Indivíduo de <i>Butorides striata</i> capturado no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).....	812
Figura 595: Indivíduo de <i>Caprimulgus parvula</i> capturado no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES). ....	813
Figura 596: Indivíduo de <i>Certhiaxis cinnamomea</i> capturado no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES). ....	813

Figura 597: Fêmea de <i>Chloroceryle amazona</i> capturada no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES). .....	813
Figura 598: Indivíduo de <i>Crotophaga ani</i> capturado no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES). .....	814
Figura 599: Indivíduo de <i>Furnarius figulus</i> capturado no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES). .....	814
Figura 600: Indivíduo de <i>Vanellus cayanu</i> capturado no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES). .....	814
Figura 601: Indivíduo de <i>Vanellus cayanu</i> capturado no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES). .....	815
Figura 602: Rede de captura instalada na campanha 2 no local de abrigo de aves costeiras e limnícolas na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES). .....	817
Figura 603: Rede de captura instalada campanha 2 no local de abrigo de aves costeiras e limnícolas na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES). .....	817
Figura 604: Rede de captura instalada na campanha 2 no local de abrigo de aves costeiras e limnícolas na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES). .....	817
Figura 605: Indivíduo de <i>Charadrius semipalmatus</i> capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES). .....	818
Figura 606: Indivíduo de <i>Actitis macularius</i> capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES). .....	818
Figura 607: Indivíduo de <i>Charadrius collaris</i> capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES). .....	818
Figura 608: Indivíduo de <i>Charadrius semipalmatus</i> capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES). .....	819
Figura 609: Indivíduo de <i>Chordeiles acutipennis</i> capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES). .....	819
Figura 610: Indivíduo de <i>Pluvialis squatarola</i> capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri, (São Mateus-ES). .....	819
Figura 611: Indivíduo de <i>Mimus gilvus</i> capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES). .....	820
Figura 612: Indivíduo de <i>Mimus saturninus</i> capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES). .....	820

Figura 613: Indivíduo de <i>Vanellus chilensis</i> capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).....	820
Figura 614: Indivíduo de <i>Mimus gilvus</i> , espécie ameaçada de extinção no Espírito Santo. Exemplar encontrado atropelado na ES-010, na restinga da praia de Guriri (São Mateus-ES).....	821
Figura 615: Indivíduo de <i>Mimus gilvus</i> , espécie ameaçada de extinção no Espírito Santo. Exemplar encontrado atropelado na ES-010 na restinga da praia de Guriri (São Mateus-ES).....	821
Figura 616: Análise de Componentes Principais (PCA) considerando-se os dados de bioacumulação de metais e o índice de estresse (IBR biomarcador) nos organismos dulcícolas (Plâncton, camarões e peixes) coletados durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2).....	854
Figura 617: Análise de Componentes Principais (PCA) considerando-se os dados de bioacumulação de metais e o índice de estresse (IBR biomarcador) nos organismos marinhos (Plâncton, camarões e peixes) coletados durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2).....	854
Figura 618: Classificação ecotoxicológica das amostras de água e sedimento coletadas nos pontos dulcícolas (BRG e RDF) e marinhos (FRD1, FRD6, CA1 E CA2) durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) e a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa).....	855
Figura 619: Análise de Componentes Principais (PCA) considerando-se os dados de bioacumulação de metais e o índice de estresse (IBR biomarcador) nos organismos (caranguejos e outros invertebrados) do ambiente costeiro (Setor A, B e C) coletados durante as campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2).....	856
Figura 620: Valores de IBR bioacumulação para as aves aquáticas coletadas e analisadas no âmbito do monitoramento costeiro.....	857
Figura 621: Análise de Componentes Principais (PCA) considerando-se os dados de bioacumulação de metais nas aves coletadas no ambiente costeiro (Estuarino, mangue e praias) durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2).....	858
Figura 622: Regiões críticas (“hotspots”) de contaminação ambiental, bioacumulação e efeitos biológicos dentro da malha amostral do ambiente dulcícola, monitorado durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) e campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) no âmbito do PMBA. ....	863
Figura 623: Regiões críticas (“hotspots”) de contaminação ambiental, bioacumulação e efeitos biológicos dentro da malha amostral do ambiente costeiro e marinho, monitorados durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) e campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) no âmbito do PMBA. ....	864

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros físicos da água aferidos nas estações amostrais dulcícolas durante a campanha 1 (Setembro/Outubro 2018). .....	156
Tabela 2: Parâmetros físicos da água aferidos nas estações amostrais dulcícolas durante a campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019). .....	157
Tabela 3: Medidas dos parâmetros químicos (média $\pm$ erro padrão, $n=3$ ) carbono orgânico dissolvido (COD) (mg/L), sulfato (mg/L), alcalinidade (mg $\text{HCO}_3/\text{L}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) (mg/L), magnésio (Mg) (mg/L), sódio (Na) (mg/L), potássio (mg/L) e cálcio (mg/L) analisados na água de superfície (ST = superfície/total, SD = superfície/ dissolvido) e fundo (FT = fundo/total, FD = fundo/dissolvido) das estações amostradas durante a campanha 1 do monitoramento dulcícola (Setembro/Outubro 2018). .....	158
Tabela 4: Medidas dos parâmetros químicos (média $\pm$ erro padrão, $n=3$ ) carbono orgânico dissolvido (COD) (mg/L), sulfato (mg/L), alcalinidade (mg $\text{HCO}_3/\text{L}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) (mg/L), magnésio (Mg) (mg/L), sódio (Na) (mg/L), potássio (mg/L) e cálcio (mg/L) analisados na água de superfície (ST = superfície/total, SD = superfície/dissolvido) e fundo (FT = fundo/total, FD = fundo/dissolvido) das estações amostradas durante a campanha 2 do monitoramento dulcícola (Janeiro/Fevereiro 2019). .....	160
Tabela 5: Concentração dos metais analisados na água de superfície (ST = superfície/total, SD = superfície/dissolvido) e fundo (FT = fundo/total, FD = fundo/dissolvido) das estações amostradas durante a campanha 1 do monitoramento dulcícola (Setembro/Outubro 2018). Para cada metal os valores estão apresentados como média $\pm$ erro padrão da média da concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) ( $n=3$ ). ....	162
Tabela 6: Concentração dos metais analisados na água de superfície (ST = superfície/total, SD = superfície/dissolvido) e fundo (FT = fundo/total, FD = fundo/dissolvido) das estações amostradas durante a campanha 2 do monitoramento dulcícola (Janeiro/Fevereiro 2019). Para cada metal, os valores estão apresentados como média $\pm$ erro padrão da média da concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) ( $n=3$ ). ....	166
Tabela 7: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) para metais na água de fundo, em sua forma total ou dissolvida (de acordo com a Figura 29). .....	176
Tabela 8: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal (campanha), e do fator espacial (localidade) na concentração de metais na água para o monitoramento dulcícola. Permutação de Monte Carlo ( $n=4999$ ). (*) e em vermelho os valores de $p<0,05$ . .....	180
Tabela 9: Concentração dos metais analisados no sedimento das estações amostrais na campanha 1 do monitoramento dulcícola (Setembro/Outubro 2018). Para cada metal os valores estão apresentados como média $\pm$ erro padrão da média da concentração (mg/kg do peso seco) ( $n=4$ ). .....	181

Tabela 10: Concentração dos metais analisados no sedimento das estações amostrais na campanha 2 do monitoramento dulcícola (Janeiro/Fevereiro 2019). Para cada metal os valores estão apresentados como média $\pm$ erro padrão da média da concentração (mg/kg do peso seco) ( $n=4$ ). .....	182
Tabela 11: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado para metais no sedimento (de acordo com a Figura 43). .....	189
Tabela 12: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal (campanha), e do fator espacial (localidade) na concentração de metais no sedimento. Permutação de Monte Carlo ( $n=4999$ ). *e em vermelho destaca os valores de $p<0,05$ . .....	192
Tabela 13: Resultados dos ensaios de toxicidade realizados com amostras coletadas nos pontos BRG e RDF no decorrer da campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. Dos ensaios com sedimento, apenas o ensaio com <i>Hyalella</i> spp foi realizado com sedimento bruto, os demais foram realizados com elutriado do sedimento. Os resultados estão expressos como percentual da amostra-teste que causou toxicidade. ....	204
Tabela 14: Resultados e classificação dos ensaios de toxicidade realizados com amostras de água e sedimento coletadas no ponto BRG e no ponto RDF na campanha 1 (setembro/outubro 2018) do Anexo 1 do PMBA para organismos de diferentes níveis tróficos. O valor de toxicidade foi calculado considerando-se a unidade tóxica (UT) e os índices descritos na metodologia (severidade da resposta observada e sensibilidade dos organismos testados). .....	209
Tabela 15: Resultados e classificação dos ensaios de toxicidade realizados com amostras de água e sedimento coletadas no ponto BRG e no ponto RDF na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA para organismos de diferentes níveis tróficos. O valor de toxicidade foi calculado considerando-se a unidade tóxica (UT) e os índices descritos na metodologia (severidade da resposta observada e sensibilidade dos organismos testados). .....	210
Tabela 16: Resultados dos ensaios de toxicidade realizados com amostras de água e sedimento coletadas pelo Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático da Água e dos Sedimentos (PMQQS) no ponto Baixo Guandu – Guandu 01 e no ponto Linhares - Doce 16 em 2017 e 2018. Estes pontos equivalem aos pontos BRG e RDF amostrados pelo PMBA, respectivamente. O valor de toxicidade foi calculado considerando-se a unidade tóxica (UT) e os índices de severidade da resposta observada e sensibilidade dos organismos testados. ....	211
Tabela 17: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn no zooplâncton (mg/kg de peso úmido) coletado na costa do Espírito Santo antes do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana (MG) (19 e 20/11/2015). Os dados estão expressos como média $\pm$ erro padrão. ....	222
Tabela 18: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn (média $\pm$ erro padrão) em pool de fitoplâncton (mg/kg de peso úmido) coletado nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 1 (setembro/outubro 2018).....	223

Tabela 19: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn ( (média ± erro padrão) em <i>pool</i> de fitoplâncton (mg/kg de peso úmido) coletado nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 2 (janeiro/fevereiro 2019). .....	223
Tabela 20: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn (média ± erro padrão) em pool de zooplâncton (mg/kg de peso úmido) coletado nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 1 (setembro/outubro 2018). .....	224
Tabela 21: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn ( (média ± erro padrão) em <i>pool</i> de zooplâncton (mg/kg de peso úmido) coletado nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 2 (janeiro/fevereiro 2019). .....	225
Tabela 22: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) para metais no fitoplâncton. ....	232
Tabela 23: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) para metais no zooplâncton. ....	235
Tabela 24: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn (média ± erro padrão) em larvas de quironomídeos (mg/kg de peso úmido) coletado nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 2 (janeiro/fevereiro 2019). .....	238
Tabela 25: Concentração de metais em larvas de quironomídeo (mg/kg de peso úmido) compilados da literatura e dos dados obtidos do respectivo relatório (mg/kg de peso úmido). Os dados estão expressos como mínimo e máximo da média oriunda da literatura e mínimo e máximo dos valores brutos oriundos dos dados amostrados no presente relatório. ....	239
Tabela 26: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média ± erro padrão) nos tecidos (T) hepatopâncreas (H), brânquia (B) e músculo (M) de camarões (n=1-6) (mg/kg de peso úmido) coletados nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 1 (setembro/outubro 2018). .....	246
Tabela 27: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média ± erro padrão) nos tecidos (T) hepatopâncreas (H), brânquia (B) e músculo (M) de camarões (n=6) (mg/kg de peso úmido) coletados nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 2 (janeiro/fevereiro 2019). .....	247
Tabela 28: Concentração de metais em brânquia (B), hepatopâncreas (H) e músculo (M) de camarão (mg/kg de peso úmido) compilados da literatura e dos dados obtidos do respectivo relatório. Os dados estão expressos como mínimo e máximo da média oriunda da literatura e mínimo e máximo dos valores brutos oriundos do amostrado no presente relatório. Em vermelho máximas acima das encontradas na literatura. ....	249
Tabela 29: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) para metais nas brânquias, hepatopâncreas e músculo de camarão. ....	256

Tabela 30: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn (média ± erro padrão) nos tecidos (T) fígado (F), brânquia (B) e músculo (M) de espécies de peixes do grupo I (onívoros/herbívoros) ( $n=1-6$ ) (mg/kg de peso úmido) coletado nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 1 (setembro/outubro 2018).....	262
Tabela 31: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn (média ± erro padrão) nos tecidos (T) fígado (F), brânquia (B) e músculo (M) de espécies de peixes do grupo II (carnívoros) ( $n=1-6$ ) (mg/kg de peso úmido) coletados nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 1 (setembro/outubro 2018).....	264
Tabela 32: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn (média ± erro padrão) nos tecidos (T) fígado (F), brânquia (B) e músculo (M) de espécies de peixes do grupo I (onívoros/herbívoros) ( $n=1-6$ ) (mg/kg de peso úmido) coletados nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 2 (janeiro/fevereiro 2019).....	265
Tabela 33: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn (média ± erro padrão) nos tecidos (T) fígado (F), brânquia (B) e músculo (M) de espécies de peixes do grupo II (carnívoros) ( $n=1-6$ ) (mg/kg de peso úmido) coletado nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 2 (janeiro/fevereiro 2019). ....	267
Tabela 34: Dados compilados da concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn na brânquia (B), fígado (F) e músculo (M) de peixes (mg/kg de peso úmido) obtidos da literatura e do amostrado no respectivo relatório. Os dados estão expressos como mínimo e máximo da média encontrada na literatura e da média dos pontos amostrais das campanhas 1 e 2. Em vermelho máximas acima das encontradas na literatura. ....	269
Tabela 35: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) para metais nas brânquias, fígado e músculo de peixes onívoros. ....	271
Tabela 36: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) para metais nas brânquias, fígado e músculo de peixes carnívoros. ....	276
Tabela 37: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; $\mu\text{g MT/mg ptna}$ ) mensurados em amostras de fitoplâncton coletado na campanha 1 (Setembro/Outubro 2018) do monitoramento dulcícola e estuário. Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (EP) ( $n=5$ ). ....	280
Tabela 38: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; $\mu\text{g MT/mg ptna}$ ) mensurados em amostras de fitoplâncton coletados na campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (EP) ( $n=5$ ). ....	280
Tabela 39: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; $\mu\text{g MT/mg ptna}$ ) mensurados em amostras de zooplâncton coletados na	

campanha 1 (Setembro/Outubro 2018) do monitoramento dulcícola e estuário. Os resultados estão expressos como média $\pm$ erro padrão (EP) ( $n=5$ ).....	281
Tabela 40: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; $\mu\text{g}$ MT/mg ptna) mensurados em amostras de zooplâncton coletados na campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os resultados estão expressos como média $\pm$ erro padrão (EP) ( $n=5$ ).....	281
Tabela 41: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) de biomarcadores no fitoplâncton e zooplâncton.....	282
Tabela 42: Concentração de metalotioneínas (MT; $\mu\text{g}$ MT/mg ptna) e atividade da $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase (NKA; $\mu\text{M}$ Pi/mg ptna/h) em larvas de quironomídeos amostradas na campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os resultados estão expressos como média $\pm$ erro padrão (EP) ( $n=5$ ). ...	285
Tabela 43: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) na brânquia (B) e no hepatopâncreas (H), concentração de metalotioneínas (MT; $\mu\text{g}$ MT/mg ptna) no hepatopâncreas, oxidação de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg ptna) no músculo (M), atividade da $\text{Na}^+,\text{K}^+$ -ATPase (NKA; $\mu\text{M}$ Pi/mg ptna/h) nas brânquias e dano no DNA (sítio AP; Sítios AP/ $10^5$ bp) na hemolinfa (HEM) de camarões dulcícolas amostradas na campanha 1 (Setembro/Outubro 2018) do monitoramento dulcícola. Os resultados estão expressos como média $\pm$ erro padrão ( $n = 5$ ). .....	286
Tabela 44: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) na brânquia (B) e no hepatopâncreas (H), concentração de metalotioneínas (MT; $\mu\text{g}$ MT/mg ptna) no hepatopâncreas, oxidação de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg ptna) no músculo (M), atividade da $\text{Na}^+,\text{K}^+$ -ATPase (NKA; $\mu\text{M}$ Pi/mg ptna/h) nas brânquias e dano no DNA (sítio AP; Sítios AP/ $10^5$ bp) na hemolinfa (HEM) de camarões dulcícolas amostradas na campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os resultados estão expressos como média $\pm$ erro padrão (EP) ( $n = 5$ ). .....	287
Tabela 45: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) de biomarcadores na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarão.....	288
Tabela 46: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; $\mu\text{g}$ MT/mg ptna) no fígado (F), oxidação de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg ptna) no músculo (M), frequência de micronúcleos (MN; Frequência ‰), dano no DNA (sítio AP; Sítios AP/ $10^5$ bp) e vitelogenina no sangue (unidade arbitrária), de peixes onívoros/herbívoros amostrados na campanha 1 (Setembro/Outubro 2018) do monitoramento dulcícola. Os resultados estão expressos como média $\pm$ erro padrão (EP). .....	293
Tabela 47: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenas (LDH), malato desidrogenase (MDH) e índices de lesões histopatológicas (IL) nos peixes dulcícolas do grupo I coletados nas estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018). .....	293

Tabela 48: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) no fígado (F), oxidação de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg ptna) no músculo (M), frequência de micronúcleos (MN; Frequência ‰), dano no DNA (sítio AP; Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp) e vitelogenina no sangue (unidade arbitrária), de peixes carnívoros amostrados na campanha 1 (Setembro/Outubro 2018) do monitoramento dulcícola. Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (EP). .....	294
Tabela 49: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenas (LDH) e malato desidrogenase (MDH) nos peixes dulcícolas do grupo II coletados nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018). .....	294
Tabela 50: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) no fígado (F), oxidação de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg ptna) no músculo (M), frequência de micronúcleos (MN; Frequência ‰), dano no DNA (sítio AP; Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp) e vitelogenina no sangue (unidade arbitrária) de peixes onívoros/herbívoros amostrados na campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (EP). .....	295
Tabela 51: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenas (LDH), malato desidrogenase (MDH) e índices de lesões histopatológicas (IL) nos peixes dulcícolas do grupo I coletados nas estações amostrais durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019). .....	296
Tabela 52: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) no fígado (F), oxidação de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg ptna) no músculo (M), frequência de micronúcleos (MN; Frequência ‰), dano no DNA (sítio AP; Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp) e vitelogenina no sangue (unidade arbitrária) de peixes carnívoros amostrados na campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (EP). .....	296
Tabela 53: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenas (LDH) e malato desidrogenase (MDH) nos peixes dulcícolas do grupo II coletados nas estações amostrais durante a Campanha 2 (Jan/Fev 2019). .....	297
Tabela 54: Frequência (%) de alterações morfológicas no fígado de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais do ambiente dulcícola durante a campanha 1 (estação seca; Set/Out 2018). As lesões com frequência acima da média nos diferentes pontos amostrais foram destacadas em negrito. ....	302
Tabela 55: Frequência (%) de alterações morfológicas no fígado de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais do ambiente dulcícola durante a campanha 2 (estação chuvosa; Jan/Fev 2019). As lesões com alta frequência nos diferentes pontos amostrais foram destacadas em negrito. ....	303

Tabela 56: Frequência (%) de alterações morfológicas nas brânquias de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais do ambiente dulcícola durante a campanha 1 (estação seca; Set/Out 2018). As lesões com alta frequência nos diferentes pontos amostrais foram destacadas em negrito. ....	305
Tabela 57: Frequência (%) de alterações morfológicas nas brânquias de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais do ambiente dulcícola durante a campanha 2 (estação chuvosa; Jan/Fev 2018). As lesões com alta frequência nos diferentes pontos amostrais foram destacadas em negrito. ....	306
Tabela 58: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) de biomarcadores na brânquia, fígado e músculo de peixes onívoros.....	309
Tabela 59: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) de biomarcadores na brânquia, fígado e músculo de peixes carnívoros.....	314
Tabela 60: Parâmetros físico-químicos (valores máximos) da água nas estações amostrais marinhas durante a campanha 1 (Set/Out 2018).....	318
Tabela 61: Parâmetros físico-químicos (valores máximos) da água nas estações amostrais marinhas durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019).....	319
Tabela 62: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb; Zn analisados na água (superfície [S] e fundo [F]/total [T] e dissolvido[D]) nas 25 estações amostradas na campanha 1 (Set/Out 2018). Para cada elemento, os valores estão apresentados como média $\pm$ erro padrão ( $n=3$ ), e estão confrontados com os valores máximos estabelecidos pela resolução do CONAMA 357/2005 para águas salinas classe 1 (convertido para unidade $\mu\text{g/L}$ ).....	320
Tabela 63: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb; Zn analisados na água (superfície [S] e fundo [F]/total [T] e dissolvido[D]) nas 25 estações amostradas na campanha 2 (Jan/Fev 2019). Para cada elemento, os valores estão apresentados como média $\pm$ erro padrão ( $n=3$ ), e estão confrontados com os valores máximos estabelecidos pela resolução do CONAMA 357/2005 para águas salinas classe 1 (convertido para unidade $\mu\text{g/L}$ ).....	328
Tabela 64: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 160. ....	348
Tabela 65: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal, Campanha, e do fator espacial, Localidade, na concentração de metais na água. Permutação de Monte Carlo ( $n=4999$ ). ....	352
Tabela 66: Comparações par a par <i>a posteriori</i> da concentração de metais na água, a partir de matriz de distância Euclidiana, com correção de Bonferroni para comparações múltiplas. Permutação de Monte Carlo ( $n=4999$ ). ....	352
Tabela 67: Comparação <i>a posteriori</i> (com correção de Tukey para comparações múltiplas) da concentração de ferro dissolvido na localidade da foz do Rio doce durante a campanha 1 e 2 <i>versus</i> os	

dados obtidos da literatura (Relatório UFES,2017) da concentração de ferro dissolvido antes da chegada da lama.....	353
Tabela 68: Concentração (mg/kg peso seco) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb; Zn analisados no sedimento nas 25 estações amostradas na campanha 1 (Set/Out 2018). Para cada metal, os valores estão apresentados como média $\pm$ erro padrão ( $n=4$ ) e estão confrontados com a legislação vigente CONAMA 454/2012 para sedimento nível 1. ....	354
Tabela 69: Concentração (mg/kg peso seco) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn analisados no sedimento nas 25 estações amostradas na campanha 2 (Jan/Fev 2019). Para cada metal, os valores estão apresentados como média $\pm$ erro padrão ( $n=4$ ) e estão confrontados com a legislação vigente CONAMA 454/2012 para sedimento nível I. ....	356
Tabela 70: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 177. ....	367
Tabela 71: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal, Expedição, e do fator espacial, Localidade, na concentração de metais no sedimento. Permutação de Monte Carlo ( $n=4999$ ). ....	371
Tabela 72: Comparações par a par <i>a posteriori</i> da concentração de metais no sedimento, a partir de matriz de distância Euclidiana, com correção de Bonferroni para comparações múltiplas. Permutação de Monte Carlo ( $n=4999$ ). ....	371
Tabela 73: Resultados dos ensaios de toxicidade realizados com amostras coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2 referentes à campanha 1 (Setembro/Outubro 2018) e à campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do Anexo 1 do PMBA. Dos ensaios com sedimento, apenas o ensaio com <i>Nitokra sp</i> foi realizado com sedimento bruto, os demais foram realizados com elutriado do sedimento. Os resultados estão expressos como percentual de amostra-teste que causou toxicidade. ....	373
Tabela 74: Resultados e classificação dos ensaios de toxicidade realizados com amostras de água e sedimento coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2 na campanha 1 (setembro/outubro de 2018), para organismos de diferentes níveis tróficos. O valor de toxicidade foi calculado considerando-se a unidade tóxica (UT) e os índices descritos na metodologia (severidade da resposta observada e sensibilidade dos organismos testados). ....	379
Tabela 75: Resultados e classificação dos ensaios de toxicidade realizados com amostras de água e sedimento coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2 na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019), para organismos de diferentes níveis tróficos. O valor de toxicidade foi calculado considerando-se a unidade tóxica (UT) e os índices descritos na metodologia (severidade da resposta observada e sensibilidade dos organismos testados). ....	381
Tabela 76: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras ( <i>pool</i> ) de fitoplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados foram expressos em média $\pm$ erro padrão.....	395

Tabela 77: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras ( <i>pool</i> ) de fitoplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados foram expressos em média $\pm$ erro padrão.....	397
Tabela 78: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal, Campanha, e do fator espacial, Localidade, na concentração de metais nas amostras de fitoplâncton. Permutação de Monte Carlo (n=4999). Efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) estão destacados em vermelho.....	399
Tabela 79: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 201. ....	400
Tabela 80: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras ( <i>pool</i> ) de zooplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados foram expressos em média $\pm$ erro padrão.....	405
Tabela 81: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras ( <i>pool</i> ) de zooplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados foram expressos em média $\pm$ erro padrão.....	407
Tabela 82: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal, Campanha, e do fator espacial, Localidade, na concentração de metais nas amostras de zooplâncton. Permutação de Monte Carlo (n=4999). Efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) estão destacados em vermelho.....	409
Tabela 83: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 208. ....	410
Tabela 84: Concentração dos elementos Cromo (Cr), Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Arsênio (As) mensurados nos tecidos (T) dos camarões (média das 2 espécies amostradas), brânquia (B), hepatopâncreas (H) e músculo (M) coletados nas estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados foram expressos em média $\pm$ erro padrão.....	416
Tabela 85: Concentração dos elementos Cromo (Cr), Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Arsênio (As) mensurados nos tecidos (T) dos camarões (média das 2 espécies amostradas), brânquia (B), hepatopâncreas (H) e músculo (M) coletados nas estações amostrais durante a Campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados foram expressos em média $\pm$ erro padrão.....	418
Tabela 86: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 220. ....	424
Tabela 87: Concentração (mg/kg de peso úmido) mínima e máxima dos metais nos camarões (brânquia [B], hepatopâncreas [h] e músculo [M] em todas as estações amostrais, coletados na campanha 1 e na campanha 2 comparados com outros estudos em camarões marinhos compilados a partir da literatura.	

Os dados da literatura estão expressos em valores (mg/kg de peso úmido) mínimos e máximos encontrados em ambientes considerados contaminados. Valores do presente relatório acima dos encontrados na literatura foram destacados em vermelho sublinhado. ....	432
Tabela 88: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras de peixes (grupo I; onívoros/herbívoros) coletados nas estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados foram expressos em média $\pm$ erro padrão. ....	435
Tabela 89: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras de peixes (grupo II/ carnívoros) coletados nas estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados foram expressos em média $\pm$ erro padrão. ....	437
Tabela 90: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras de peixes (grupo I; onívoros/herbívoros) coletados nas estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados foram expressos em média $\pm$ erro padrão. ....	441
Tabela 91: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras de peixes (grupo II; carnívoros) coletados nas estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados foram expressos em média $\pm$ erro padrão. ....	444
Tabela 92: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 238. ....	452
Tabela 93: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 247. ....	459
Tabela 94: Concentração (mg/kg de peso úmido) mínima e máxima dos metais nos peixes do grupo I e II (juntos) (brânquia [B], fígado [F] e músculo [M]) em todas as estações amostrais, coletados na campanha 1 e na campanha 2 comparados com outros estudos em peixes marinhos compilados a partir da literatura. Os dados da literatura estão expressos em valores (mg/kg de peso úmido) mínimos e máximos encontrados em ambientes considerados contaminados. Valores do presente relatório acima dos encontrados na literatura foram destacados em vermelho sublinhado. ....	467
Tabela 95: Concentração (mg/kg de peso seco) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras de corais ( <i>Mussismilia harttii</i> ) e hidrocorais ( <i>Millepora alcicornis</i> ) coletados nas 4 estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados foram expressos em média $\pm$ erro padrão. ....	472
Tabela 96: Concentração (mg/kg de peso seco) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras de corais ( <i>Mussismilia harttii</i> ) e hidrocorais ( <i>Millepora alcicornis</i> ) coletados nas 4 estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados foram expressos em média $\pm$ erro padrão. ....	473
Tabela 97: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 258. ....	474

Tabela 98:Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 264. ....	479
Tabela 99: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) mensurados em amostras de fitoplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados são expressos em média ± erro padrão (n=5).....	488
Tabela 100: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) mensurados em amostras de fitoplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média ± erro padrão (n=5).....	489
Tabela 101: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; mg MT/mg ptna) mensurados em amostras de zooplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados são expressos em média ± erro padrão (n=5).....	490
Tabela 102: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) mensurados em amostras de zooplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média ± erro padrão (n=5).....	491
Tabela 103:Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 278. ....	494
Tabela 104: Análise em diferentes tecidos (brânquia, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa) dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO) e níveis de danos oxidativos no DNA (sítios AP) nos camarões coletados nas estações amostrais durante campanha 1 (Set/Out 2018). ....	500
Tabela 105: Análise em diferentes tecidos (brânquia, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa) dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO) e níveis de danos oxidativos no DNA (sítios AP) nos camarões coletados nas estações amostrais durante campanha 2 (Jan/Fev 2019). ....	501
Tabela 106:Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 286. ....	502
Tabela 107: Análise em diferentes tecidos (fígado, músculo e sangue) dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO) danos oxidativos no DNA (Sítios AP) e frequência de micronúcleos (MN) nos peixes marinhos do grupo I coletados nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018). ....	508
Tabela 108: Análise em diferentes tecidos (fígado, músculo e sangue) dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO)	

danos oxidativos no DNA (sítios AP) e frequência de Micronúcleos (MN) nos peixes marinhos do grupo II coletados nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018).....	509
Tabela 109: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenas (LDH), malato desidrogenase (MDH) e índices de lesões histopatológicas (IL) nos peixes marinhos do grupo I coletados nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018).....	509
Tabela 110: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenas (LDH), malato desidrogenase (MDH) e índices de lesões histopatológicas (IL) nos peixes marinhos do grupo II coletados em estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018). ....	510
Tabela 111: Análise em diferentes tecidos (fígado, músculo e sangue) dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas(PCO), danos oxidativos no DNA (sítios AP) e frequência de micronúcleos (MN) nos peixes marinhos do grupo I coletados em estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019).....	511
Tabela 112: Análise em diferentes tecidos (fígado, músculo e sangue) dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO), danos oxidativos no DNA (sítios AP) e frequência de micronúcleos (MN) nos peixes marinhos do grupo II coletados em estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019).....	512
Tabela 113: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenas (LDH), malato desidrogenase (MDH) e índices de lesões histopatológicas (IL) nos peixes marinhos do grupo I coletados em estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019).....	512
Tabela 114: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenas (LDH), malato desidrogenase (MDH) e índices de lesões histopatológicas (IL) nos peixes marinhos do grupo II coletados em estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019).....	513
Tabela 115: Frequência (%) de alterações morfológicas no fígado de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais da campanha 1 (em Set/Out 2018). As lesões com alta frequência nos diferentes pontos amostrais foram destacadas em negrito. ....	520
Tabela 116: Frequência (%) de alterações morfológicas no fígado de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais do ambiente marinho durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019). As lesões com alta frequência nos diferentes pontos amostrais foram destacadas em negrito. ....	521
Tabela 117: Frequência (%) de alterações morfológicas na brânquia de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais do ambiente marinho durante a campanha 1 (Set/Out 2018).....	524
Tabela 118: Frequência (%) de alterações morfológicas na brânquia de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais do ambiente marinho durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019). ....	525

Tabela 119: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 301. ....	527
Tabela 120: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 309. ....	533
Tabela 121: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna); níveis da enzima anidrase carbônica (AC; Unidade enzimática/mg ptna); atividade da enzima Cálcio-ATPase (Ca-ATPase; mM Pi/mg ptna/min) e atividade da enzima Magnésio-ATPase (Mg-ATPase; mM Pi/mg ptna/min) mensurados em amostras de corais ( <i>Mussismilia harttii</i> ) e hidrocorais ( <i>Millepora alcicornis</i> ) coletados nas estações amostrais na localidade de Abrolhos (ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1) durante a campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados são expressos em média ± erro padrão.....	545
Tabela 122: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna); níveis da enzima anidrase carbônica (AC; Unidade enzimática/mg ptna); atividade da enzima Cálcio-ATPase (Ca-ATPase; mM Pi/mg ptna/min) e atividade da enzima Magnésio-ATPase (Mg-ATPase; mM Pi/mg ptna/min) mensurados em amostras de corais ( <i>Mussismilia harttii</i> ) e hidrocorais ( <i>Millepora alcicornis</i> ) coletados nas estações amostrais na localidade de Abrolhos (ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1) durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média ± erro padrão.....	546
Tabela 123:Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 317. ....	547
Tabela 124: Parâmetros físico-químicos da água aferidos no campo, nos dez pontos amostrados no monitoramento praiial no Estado do Espírito Santo na Campanha 1 (Set/Out 2018). ....	554
Tabela 125: Parâmetros físico-químicos da água aferidos no campo, nos dez pontos amostrados no monitoramento praiial no Estado do Espírito Santo durante a Campanha 2 (Jan/Fev 2019). ....	555
Tabela 126: Concentração (µg/L) dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e ZN analisados na água de superfície (ST = superfície total, SD = superfície dissolvido) e fundo (FT = fundo total, FD = fundo dissolvido) nos diferentes pontos amostrais do monitoramento do ambiente praiial na campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados são expressos em média ± erro padrão (EP, n = 3). Todos os metais estão confrontados com os valores máximos estabelecidos pela resolução do CONAMA 357/2005 para águas salinas classe 1. ....	556
Tabela 127: Concentração (µg/L) dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e ZN analisados na água de superfície (ST = superfície total, SD = superfície dissolvido) e fundo (FT = fundo total, FD = fundo dissolvido) nos diferentes pontos amostrais do monitoramento do ambiente praiial na campanha 2 (Jan/Fev 2018). Os resultados são expressos em média ± erro padrão (EP, n = 3). Os resultados são expressos em µg/L. Todos os metais estão confrontados com os valores máximos estabelecidos pela resolução do CONAMA 357/2005 para águas salinas classe 1. ....	558
Tabela 128: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 337. ....	569

Tabela 129: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal (campanha), e do fator espacial (localidade) na concentração de metais na água. Permutação de Monte Carlo (n=4999). (*) e em vermelho os valores de $p < 0,05$ .....	572
Tabela 130: Concentração (mg/kg) dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn no sedimento nos diferentes pontos amostrais do monitoramento do ambiente praial na Campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados são expressos em média $\pm$ erro padrão. ....	573
Tabela 131: Concentração (mg/kg) dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn no sedimento nos diferentes pontos amostrais do monitoramento do ambiente praial na campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média $\pm$ erro padrão. ....	574
Tabela 132: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 25. ....	578
Tabela 133: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal (campanha), e do fator espacial (localidade) na concentração de metais no sedimento do ambiente praial. Permutação de Monte Carlo (n=4999). (*) e em vermelho os valores de $p < 0,05$ . ..	581
Tabela 134: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média $\pm$ erro padrão) em amostras de anfípodas (n=5, mg/kg de peso úmido) coletados nas estações amostrais do ambiente praial durante a campanha 1 (Set/Out 2018).....	583
Tabela 135: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média $\pm$ erro padrão) em amostras de anfípodas (n=5, mg/kg de peso úmido) coletados nas estações amostrais do ambiente praial durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019). ....	584
Tabela 136: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 356 .....	587
Tabela 137: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média $\pm$ erro padrão) em amostras de isópodas (n=5, mg/kg de peso úmido) coletados nas estações amostrais do ambiente praial durante a Campanha 1 (Set/Out 2018).....	592
Tabela 138: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média $\pm$ erro padrão) em amostras de isópodas (n=5, mg/kg de peso úmido) coletados nas estações amostrais do ambiente praial durante a Campanha 2 (Jan/Fev 2019). ....	593
Tabela 139: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 363. ....	596
Tabela 140: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média $\pm$ erro padrão) em amostras de poliquetas (mg/kg de peso úmido) coletados nas estações amostrais do ambiente praial durante a campanha 1 (Set/Out 2018).....	600

Tabela 141: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média $\pm$ erro padrão) em amostras de poliquetas (mg/kg de peso úmido) coletados nas estações amostrais do ambiente praial durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019). .....	600
Tabela 142: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 370. ....	602
Tabela 143: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn em diferentes tecidos (T) (B = brânquia, H = hepatopâncreas, M = músculo) de caranguejos ( <i>Ocypode quadrata</i> ) coletados na campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados foram expressos em média $\pm$ erro padrão. ....	606
Tabela 144: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn em diferentes tecidos (T) (B = brânquia, H = hepatopâncreas, M = músculo) de caranguejos ( <i>Ocypode quadrata</i> ) coletados na campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados foram expressos em média $\pm$ erro padrão ( $n = 6$ ). ....	607
Tabela 145: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 377. ....	609
Tabela 146: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg proteína) e concentração de metalotioneínas (MT; $\mu\text{g}$ MT/mg proteína) mensurados em amostras de anfípoda, isópoda ( <i>pools</i> ) e poliquetas coletados no monitoramento praial durante a campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados são expressos em média $\pm$ erro padrão.....	619
Tabela 147: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg proteína) e concentração de metalotioneínas (MT; $\mu\text{g}$ MT/mg proteína) mensurados em amostras de anfípoda, isópoda ( <i>pools</i> ) e poliquetas coletados no monitoramento praial durante a Campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média $\pm$ erro padrão.....	620
Tabela 148: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 391. ....	621
Tabela 149: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg proteína), concentração de metalotioneínas (MT; $\mu\text{g}$ MT/mg proteína), níveis de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg proteína) e danos no DNA (Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp) mensurados em diferentes tecidos de caranguejo ( <i>Ocypode quadrata</i> ) (músculo; brânquia; hepatopâncreas e hemolinfa) coletados no ambiente praial durante a campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados são expressos em média $\pm$ erro padrão (EP). ....	628
Tabela 150: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg proteína), concentração de metalotioneínas (MT; $\mu\text{g}$ MT/mg proteína), níveis de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg proteína) e danos no DNA (Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp) mensurados em diferentes tecidos de caranguejo ( <i>Ocypode quadrata</i> ) (músculo; brânquia; hepatopâncreas e hemolinfa) coletados no ambiente praial	

durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média  $\pm$  erro padrão (EP).  
..... 629

Tabela 151: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 80. .... 630

Tabela 152: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Hg e As nas brânquias (B), hepatopâncreas (H) e músculo (M) de *U. cordatus*, *C. guanhamu* e *G. cruentata* nos manguezais da campanha 1 (Set/Out 2018) do monitoramento do manguezal. Ao final são mostrados os valores de referência dos seguintes metais: Cd, Pb, Hg e As de acordo com a resolução Anvisa 42/2013. No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os resultados são expressos em média  $\pm$  erro padrão. .... 638

Tabela 153: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Hg e As nas brânquias (B), hepatopâncreas (H) e músculo (M) de *U. cordatus*, *C. guanhamu* e *G. cruentata* nos manguezais da campanha 2 (Jan/Fev 2019) do monitoramento do manguezal. Ao final são mostrados os valores de referência dos seguintes metais: Cd, Pb, Hg e As de acordo com a resolução Anvisa 42/2013. No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os resultados são expressos em média  $\pm$  erro padrão. .... 642

Tabela 154: Autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado da Figura 431. .... 658

Tabela 155: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal, Campanha, e do fator espacial, Localidade, na concentração de metais nas brânquias, hepatopâncreas e músculo. Permutação de Monte Carlo (n=4999). Em vermelho valores de  $p < 0,05$ .  
..... 662

Tabela 156: Análise em diferentes tecidos (brânquia, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa) dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO) e níveis de danos oxidativos no DNA (sítios AP) nos caranguejos *U. cordatus*, *C. guanhamu* e *G. cruentata* coletados nos manguezais durante a campanha 1 (Set/Out 2018) do monitoramento do manguezal. No ponto da foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os resultados são expressos como média  $\pm$  EP. .... 665

Tabela 157: Análise em diferentes tecidos (brânquia, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa) dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO) e níveis de danos oxidativos no DNA (sítios AP) nos caranguejos *U. cordatus*, *C. guanhamu* e *G. cruentata* coletados nos manguezais durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019) do monitoramento do manguezal. No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os resultados são expressos como média  $\pm$  EP. .... 667

Tabela 158: Autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado da Figura 441. .... 673

Tabela 159: Correlação (Pearson) par a par entre as variáveis estudadas (metais e biomarcadores nos tecidos). Os asteriscos demonstram correlações significativas entre as variáveis. * $p < 0,05$ , ** $p < 0,001$ , *** $p < 0,0001$ .	675
Tabela 160: Identificação dos pontos amostrais para água do Rio Doce e índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 1).	680
Tabela 161: Identificação dos pontos amostrais para sedimento do Rio Doce e índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 1).	681
Tabela 162: Identificação dos pontos amostrais para água do Rio Doce e índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 2).	681
Tabela 163: Identificação dos pontos amostrais para sedimento do Rio Doce e índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 2).	682
Tabela 164: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 1).	687
Tabela 165: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 2).	687
Tabela 166: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 1).	692
Tabela 167: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 2).	693
Tabela 168: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 1).	699
Tabela 169: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 2).	700
Tabela 170: Identificação dos pontos amostrais para água na foz do Rio Doce e região costeira adjacente, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 1).	702
Tabela 171: Identificação dos pontos amostrais para sedimento na foz do Rio Doce e região costeira adjacente, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 2).	703
Tabela 172: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1).	710
Tabela 173: continuação: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1).	710

Tabela 174: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). .....	711
Tabela 175: continuação: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). .....	711
Tabela 176: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). .....	719
Tabela 177: continuação: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). .....	719
Tabela 178: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). .....	720
Tabela 179: continuação: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). .....	720
Tabela 180: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). .....	727
Tabela 181: continuação: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). .....	727
Tabela 182: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). .....	728
Tabela 183: continuação: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). .....	728
Tabela 184: Identificação dos pontos amostrais para água na região de Abrolhos, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 1).....	730
Tabela 185: Identificação dos pontos amostrais para sedimento na região de Abrolhos, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 1). .....	730
Tabela 186: Identificação dos pontos amostrais coral na região de Abrolhos, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 1).....	730
Tabela 187: Identificação dos pontos amostrais para água da região de Abrolhos, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 2).....	731
Tabela 188: Identificação dos pontos amostrais para sedimento na região de Abrolhos, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 2). .....	731

Tabela 189: Identificação dos pontos amostrais coral na região de Abrolhos, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 2).....	731
Tabela 190: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 1). .....	736
Tabela 191: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 2). .....	737
Tabela 192: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 1). .....	742
Tabela 193: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 2). .....	742
Tabela 194: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras sedimento da região de Abrolhos (Campanha 1). .....	747
Tabela 195: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras sedimento da região de Abrolhos (Campanha 2). .....	748
Tabela 196: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de hidrocoral da espécie <i>Millepora alcicornis</i> (Campanha 1). .....	754
Tabela 197: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de hidrocoral da espécie <i>Millepora alcicornis</i> (Campanha 2). .....	754
Tabela 198: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de coral da espécie <i>Mussismilia hartii</i> (Campanha 1). .....	759
Tabela 199: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de coral da espécie <i>Mussismilia hartii</i> (Campanha 2). .....	760
Tabela 200: Esforço realizado para obtenção das amostras de aves na campanha 1 em Aracruz-ES, através do método de captura com auxílio de redes. ....	790
Tabela 201: Esforço realizado para obtenção das amostras de aves na campanha 1 em Regência-ES, com o auxílio de redes de captura. ....	794
Tabela 202: Esforço realizado para a obtenção das amostras de aves na campanha 1 na praia de Guriri (São Mateus-ES), com auxílio de redes de captura. ....	799
Tabela 203: Esforço realizado para obtenção das amostras de aves na campanha 2 em Aracruz-ES, com auxílio de redes de captura. ....	805
Tabela 204: Esforço realizado para obtenção das amostras de aves na campanha 2 em Regência (Linhares-ES), com auxílio de redes de captura. ....	811

Tabela 205: Esforço realizado para obtenção das amostras de aves na campanha 2 na praia de Guriri (São Mateus-ES), através do método de captura com auxílio de redes. ....	816
Tabela 206: Concentrações de metais (mg/L) no sangue das aves amostradas nos diferentes ambientes (mangue, estuário e praia) no período seco (Campanha 1 - setembro/outubro 2018) e no período chuvoso (Campanha 2 - janeiro/fevereiro 2019). Os dados estão expressos como média ± erro padrão. Letras diferentes indicam médias significativamente diferentes entre os ambientes de amostragem das aves, para a mesma campanha e metal analisado (ANOVA, seguida do teste de Tukey; $p < 0,05$ ). *Indica médias significativamente diferentes entre as campanhas, para cada local de amostragem e metal analisado (teste t de Student; $p < 0,05$ ). ....	823
Tabela 207: Concentrações de metais ( $\mu\text{g/g}$ peso úmido) nas penas das aves amostradas nos diferentes ambientes (manguezal, estuário e praia) no período seco (Campanha 1 - setembro/outubro 2018) e no período chuvoso (Campanha 2 - janeiro/fevereiro 2019). Os dados estão expressos como média ± erro padrão. Letras diferentes indicam médias significativamente diferentes entre os ambientes de amostragem das aves, para a mesma campanha e metal analisado (ANOVA, seguida do teste de Tukey; $p < 0,05$ ). *Indica médias significativamente diferentes entre as campanhas, para cada local de amostragem e metal analisado (teste t de Student; $p < 0,05$ ). ....	824
Tabela 208: Concentrações dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (mg/L) no sangue de aves de diferentes guildas tróficas amostradas nos ambientes de estudo (mangue, estuário e praia) no período seco (Campanha 1 - setembro/outubro 2018) e no período chuvoso (Campanha 2 - janeiro/fevereiro 2019). Os dados estão expressos como média e erro padrão (EP). Médias em branco representam ausência de coleta de ave representante da guilda trófica. EP em branco indica que somente um indivíduo da respectiva guilda trófica foi coletado. ....	825
Tabela 209: Concentrações dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (mg/L) nas penas de aves de diferentes guildas tróficas amostradas nos ambientes de estudo (mangue, estuário e praia) no período seco (Campanha 1 - setembro/outubro 2018) e no período chuvoso (Campanha 2 - janeiro/fevereiro 2019). Os dados estão expressos como média e erro padrão (EP). Médias em branco representam ausência de coleta de ave representante da guilda trófica. EP em branco indica que somente um indivíduo da respectiva guilda trófica foi coletado. ....	826
Tabela 210: Valores de IBR de bioacumulação de metais e de IBR de respostas de biomarcadores para os organismos coletados no monitoramento dulcícola. ....	850
Tabela 211: Valores de IBR de bioacumulação de metais e de IBR de respostas de biomarcadores para os organismos coletados no monitoramento marinho. ....	851
Tabela 212: Valores de IBR bioacumulação calculados a partir dos dados de metais determinados no plâncton, camarões e peixes coletados nos monitoramentos dulcícola e marinho, bem como nos corais (corais e hidrocorais) coletados no monitoramento marinho, durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca), a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) e no período pré-rompimento da barragem de Fundão (IBR bioacumulação pretérita). Os valores em vermelho indicam aumento no valor	

do IBR bioacumulação, em relação ao respectivo valor do IBR bioacumulação pretérita. \* Não se aplica.

..... 852

Tabela 213: Valores de IBR bioacumulação e de IBR biomarcador para os organismos coletados e analisados no âmbito do monitoramento costeiro..... 856

Tabela 214: Valores de abundância relativa das famílias bacterianas Anaerolineaceae e Pirellulaceae nas amostras de sedimento dulcícola e marinho e em tecidos de coral. Os valores em vermelho indicam valores superiores aos da campanha anterior. .... 860

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Estações amostrais da campanha dulcícola referente ao Anexo 1. As coordenadas geográficas (latitude e longitude) das dez estações amostrais de coleta estão apresentadas em UTM Sirgas 2000. ....	114
Quadro 2: Estações amostrais da Campanha 1 e 2, referente ao Anexo 1- Ecotoxicologia e posição geográfica (latitude e longitude) das 25 estações amostrais em UTM Sirgas 2000. APA: Área de Proteção Ambiental; Revis: Refúgio de Vida Silvestre; Resex: Reserva Extrativista; ARIE: Área de Relevante Interesse Ecológico. ....	117
Quadro 3: Estações amostrais referente monitoramento de praias realizado pelo Anexo 1. Coordenadas geográficas apresentadas em UTM Sirgas 2000. Revis: Refúgio de Vida Silvestre; ARIE: Área de Relevante Interesse Ecológico. ....	119
Quadro 4: Estações amostrais referente ao subprojeto de monitoramento de manguezais. Coordenadas geográficas apresentadas em UTM Sirgas 2000. APA: Área de Proteção Ambiental; Revis: Refúgio de Vida Silvestre; RDS: Reserva de Desenvolvimento Sustentável. ....	122
Quadro 5: Estações amostrais do Anexo 1 utilizadas para no monitoramento da toxicidade de amostras de água e sedimento e, respectivas localizações geográficas das seis estações amostrais em UTM Sirgas 2000. Revis: Refúgio de Vida Silvestre. ....	127
Quadro 6: Resumo dos ensaios de toxicidade realizados com amostras do monitoramento dulcícola (estações amostrais BRG e RDF). ....	129
Quadro 7: Resumo dos ensaios de toxicidade realizados com amostras do monitoramento marinho (estações amostrais FRD1, FRD6, CA1, CA2). ....	130
Quadro 8: Ensaios de toxicidade realizados com amostras do monitoramento dulcícola, referentes às campanhas 1 e 2 do Anexo 1. ....	132
Quadro 9: Ensaios realizados com amostras do monitoramento marinho, referentes às campanhas 1 e 2 do Anexo 1. ....	132
Quadro 10: Índice de severidade seguindo resposta observada nos ensaios de toxicidade realizados com amostras das campanhas 1 e 2 do Anexo 1. O parâmetro mais tóxico é classificado com maior valor. ....	136
Quadro 11: Índice de sensibilidade dos organismos usados nos ensaios de toxidade, com amostras das campanhas 1 e 2 do Anexo 1. Os valores são inversamente relacionados à sensibilidade dos <b>organismos</b> , sendo, portanto, o maior valor atribuído aos organismos mais sensíveis e o menor valor aos mais tolerantes. ....	136
Quadro 12: Classificação da amostra com relação ao valor de toxicidade. ....	137

Quadro 13: Lista das famílias de aves estuarinas, de manguezais e da região costeira previstas para serem amostradas no monitoramento de contaminantes, com seu respectivo hábito alimentar e exemplo de espécies a serem priorizadas quando presentes na área amostral.....	146
Quadro 14: Limite de detecção e limite de quantificação do método utilizado no presente estudo para a determinação das concentrações de metais nos tecidos (pena e sangue) das aves. ....	147
Quadro 15: Lista dos biomarcadores analisados nas amostras de organismos coletados nas diferentes áreas de monitoramento. ....	149
Quadro 16: Classificação das alterações histopatológicas do fígado e brânquia quanto ao tipo de lesão e grau de importância de acordo com Bernet et. al (1999).....	155
Quadro 17: Lista das espécies de peixes amostradas nas campanhas dulcícolas 1 e 2 categorizadas em dois grupos conforme seu índice trófico obtido via plataforma <i>FISHBASE</i> (Froese & Pauly, 2017). ....	260
Quadro 18: Lista das espécies de peixes amostrados nas campanhas marinhas 1 e 2 categorizados em dois grupos conforme seu índice trófico obtido via plataforma <i>FISHBASE</i> (Froese & Pauly, 2017). ....	434
Quadro 19: Locais amostrados e respectivos métodos de coleta utilizados em cada local durante o período de 16 de setembro a 11 de outubro de 2018, na execução da campanha 1 do Anexo 1. ....	762
Quadro 20: Locais amostrados e respectivos métodos de coleta utilizados em cada local durante o período de 15 a 30 de janeiro de 2019, na execução da campanha 2 do Anexo 1. ....	763
Quadro 21: Amostras de aves obtidas durante as campanhas do Anexo 1 realizadas de 16/09/2018 a 11/10/2018 (campanha 1) e de 15 a 30/01/2019 (campanha 2).....	765
Quadro 22: Identificação dos setores utilizados para a análise integrada dos dados ecotoxicológicos. ....	830
Quadro 23: Síntese dos resultados integrados de bioacumulação (IBR bioacumulação), efeitos biológicos (IBR biomarcador) e toxicidade das amostras ambientais (Índice de Toxicidade) nos diferentes grupos de organismos dos ambientes dulcícola, marinho e costeiro. Os organismos coloridos em laranja ou azul representam os maiores valores de IBR ou de toxicidade para a campanha 1 (set/out 2018) e campanha 2 (jan/fev 2019), respectivamente, para cada ambiente monitorado.....	862

## **ANEXO 1 – Monitoramento ecotoxicológico dos impactos causados pela lama oriunda do rompimento da barragem de Mariana (MG), em regiões dulcícolas, estuarinas e marinhas**

### **1 INTRODUÇÃO**

No dia 5 de novembro de 2015, a barragem de rejeitos de Fundão, localizada no município de Mariana (MG), pertencente à mineradora Samarco, rompeu-se, liberando aproximadamente 50 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos. Cerca de 10% desse montante ficou retido dentro da própria área da mineradora, e o restante, desceu pelo córrego Santarém e seguiu pelos rios Gualaxo do Norte, do Carmo e Doce até atingir o oceano na costa do estado do Espírito Santo. No seu trajeto, cerca de 20 milhões de m<sup>3</sup> deste material se espalhou por calhas, margens e planícies dos cursos de água até a usina hidrelétrica Risoleta Neves, a 113 km de distância de Fundão. Calcula-se, que 10,5 de milhões de m<sup>3</sup> tenham se depositado ao longo deste reservatório e a outra metade que passou pelas comportas era a parte mais fina do rejeito, que por sua vez percorreu cerca de 550 km, depositando-se ao longo da calha do rio Doce e em seu estuário até alcançar o mar (Renova, 2018). De acordo com Pires et al. (2013) os rejeitos provenientes do rompimento da barragem de Fundão eram compostos principalmente por Fe (57,2%), SiO<sub>2</sub> (14,1%), Al (1,3%) e metais traço (Cr, Cd e Pb). Durante a sua dispersão a jusante, os rejeitos acumularam-se ao longo das margens ribeirinhas, criando depósitos com mais de 40 cm de espessura (GIAIA, 2016).

Em função do risco ambiental que a emissão dos metais pode apresentar ao ambiente aquático e à biota associada, o lançamento destes contaminantes químicos está regulamentado. Em diversos países, inclusive no Brasil, os níveis de emissão de metais estão baseados na concentração total ou dissolvida do metal no efluente ou no ambiente aquático. No Brasil, esta regulamentação é dada pela Resolução 357 de 17/03/2005, alterada pelas Resoluções 410/2009 e 430/2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005). Estas legislações dispõem sobre a classificação dos corpos de água e definem as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelecem as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dão outras providências. Considerando que a área avaliada no presente programa de monitoramento é bastante abrangente, incluindo regiões de água doce, salobra e salgada, ressalta-se que a Resolução 357 do CONAMA adota as seguintes definições: (a) águas doces - águas com salinidade igual ou inferior a 0,5‰; (b) águas salobras - águas com salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰; e (c) águas salinas - águas com salinidade igual ou superior a 30‰. Destaca-se, ainda, que a Resolução 357 do CONAMA classifica as águas segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes nas seguintes classes: classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4. A Resolução 357 do CONAMA estabelece as respectivas condições e padrões de qualidade para cada classe de água, estabelecendo limites individuais para cada substância em cada uma das classes. Esta Resolução estabelece, ainda, que eventuais interações entre substâncias, especificadas ou não naquela legislação, não poderão conferir às águas características capazes de

causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia dos seres vivos. A mesma legislação define ainda que o conjunto de parâmetros de qualidade de água selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento deverá ser monitorado periodicamente pelo Poder Público, sendo que, também, deverão ser monitorados os parâmetros para os quais haja suspeita da sua presença ou não conformidade. Por fim, ressalta-se que a Resolução 357 do CONAMA estabelece que a qualidade dos ambientes aquáticos possa ser avaliada por indicadores biológicos, quando apropriado, utilizando-se organismos e/ou comunidades aquáticas. Assim, a Resolução 357 CONAMA serviu como base para comparação dos resultados obtidos no presente estudo, no que se refere às concentrações dos elementos As, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn na água, visando à detecção de resultados em não conformidade com a legislação vigente, bem como a aplicação de respostas biológicas para avaliação de possíveis impactos associados à contaminação das águas nas mais diversas estações amostrais da área de estudo.

Numa perspectiva global, os impactos dos rejeitos de mineração sobre os ecossistemas aquáticos ainda são pouco estudados, e os resultados encontrados na literatura científica são incipientes (Nicolaidou et al., 1989; Olsgard e Hasle, 1993; Burd, 2002; Lancellotti e Stotz, 2004; Josefson et al., 2008). Dentre os impactos negativos que estes rejeitos podem trazer aos ecossistemas, podemos destacar, por exemplo, impactos agudos, que ocorrem numa curta escala temporal, como o soterramento da comunidade aquática bentônica, até efeitos a longo prazo decorrentes da contaminação crônica, incluindo a bioacumulação e a biomagnificação de metais ao longo da cadeia trófica (Olsgard e Hasle, 1993; Burd, 2002; Caccia et al., 2003; Josefson et al., 2008).

Visto que os organismos aquáticos são expostos aos metais diretamente através da sua fração dissolvida na água ou indiretamente via dieta, elevadas concentrações destes elementos no ambiente (água e/ou biota) podem levar ao seu acúmulo em vários tecidos, incluindo brânquias, fígado e músculo (Wood et al., 2011), que por sua vez, em muitos casos, serve como alimento à população humana. De uma forma geral, a toxicidade de metais é atribuída a alterações em funções bioquímicas, como, por exemplo, em sistemas enzimáticos. Portanto, é possível que o mecanismo de toxicidade destes contaminantes em invertebrados e vertebrados expostos ao metal esteja associado a uma interferência nas trocas gasosas, no equilíbrio iônico e osmótico, na excreção de compostos nitrogenados e no transporte de oxigênio e/ou metabolismo energético (Wood et al., 2011). Os efeitos que metais causam nos indivíduos podem ser utilizados como biomarcadores para avaliar o impacto deste contaminantes na qualidade ambiental e na saúde do organismo (Wells et al., 2001). Um biomarcador pode ser definido como "uma variação bioquímica, celular, fisiológica ou comportamental que pode ser mensurada no tecido ou em amostras de fluidos corporais ou ao nível do organismo e que fornece evidências de exposição e/ou efeitos de um ou mais poluentes químicos" (Depledge, 1993). Sendo assim, os biomarcadores podem ser considerados ferramentas integradoras, complementares às análises químicas e ecotoxicológicas classicamente usadas no monitoramento ambiental (Vieira et al., 2019), e já têm sido utilizados com o objetivo de aperfeiçoar o entendimento a respeito das interações dos metais com os organismos aquáticos e avaliar os seus potenciais danos à biota (Bianchini et al., 2003; 2005;

2007; Pedroso et al., 2007; Pinho et al., 2007; Paganini et al., 2008; Paganini e Bianchini, 2009; Lopes et al., 2011; Prazeres et al., 2011, 2012; Machado et al., 2013; Silva et al., 2016).

Diante de eventos de impacto ambiental de grandes proporções, como o rompimento da barragem de Fundão e a consequente liberação de milhões de metros cúbicos de rejeito de mineração no ambiente, tornou-se indispensável e de fundamental importância o emprego de um programa de biomonitoramento que englobasse tanto a dosagem de metais em diferentes matrizes ambientais (água, sedimento e biota) até a avaliação dos impactos causados por estes elementos em sistemas biológicos, através de ensaios toxicológicos e da utilização de biomarcadores. Cabe ressaltar que o monitoramento deve ser realizado de forma periódica, uma vez que os ambientes naturais são muito dinâmicos e flutuações relacionadas à entrada, à dissipação, à degradação e à bioacumulação de compostos tóxicos são esperadas, além de fatores sazonais que interferem na dinâmica da contaminação local. Sendo assim, o monitoramento ecotoxicológico, no âmbito do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática na Área Ambiental I (PMBA), na sua primeira fase de execução (Ano I), teve como objetivos:

- (a) investigar os efeitos causados pela exposição aguda e crônica ao sedimento e à água de regiões dulcícolas, estuarinas e marinhas, através de ensaios de toxicidade em laboratório utilizando organismos dulcícolas, estuarinos e marinhos como bioindicadores;
- (b) determinar as concentrações de metais na água, no sedimento e em organismos dulcícolas, estuarinos e marinhos de diferentes níveis da cadeia trófica, incluindo os produtores primários (fitoplâncton) e secundários (zooplâncton), e os recursos pesqueiros (peixes e crustáceos) das regiões dulcícola, estuarina e marinha, bem como a avifauna estuarina, de manguezais e costeira;
- (c) analisar biomarcadores de exposição e efeito de metais em organismos dulcícolas, estuarinos e marinhos de diferentes níveis da cadeia trófica;
- (d) avaliar a composição da microbiota e detectar bioindicadores de impactos ambientais no sedimento e na água na Área Ambiental 1 e na região costeira adjacente à foz do Rio Doce, bem como em corais de recifes próximos ao sul do Parque Nacional Marinho de Abrolhos, e em recifes-controle fora de possíveis rotas de dispersão dos sedimentos oriundos do rompimento da barragem em Mariana (MG).

O presente documento apresenta as atividades desenvolvidas pelos colaboradores do Anexo 1 – “Monitoramento ecotoxicológico dos impactos causados pela lama oriunda do rompimento da barragem de Mariana (MG) em regiões dulcícolas, estuarinas e marinhas”, durante o primeiro e segundo semestre do PMBA. Para uma melhor apresentação e visualização das atividades realizadas no âmbito do monitoramento realizado pelo Anexo 1, o presente documento está subdividido em 6 grandes metas, definidas no TR4, a saber:

- Meta 1 - Monitoramento ecotoxicológico do Rio Doce no estado do Espírito Santo e estuário.
- Meta 2 - Monitoramento ecotoxicológico da foz do Rio Doce e região costeira adjacente.
- Meta 3 - Monitoramento ecotoxicológico do ambiente praias.

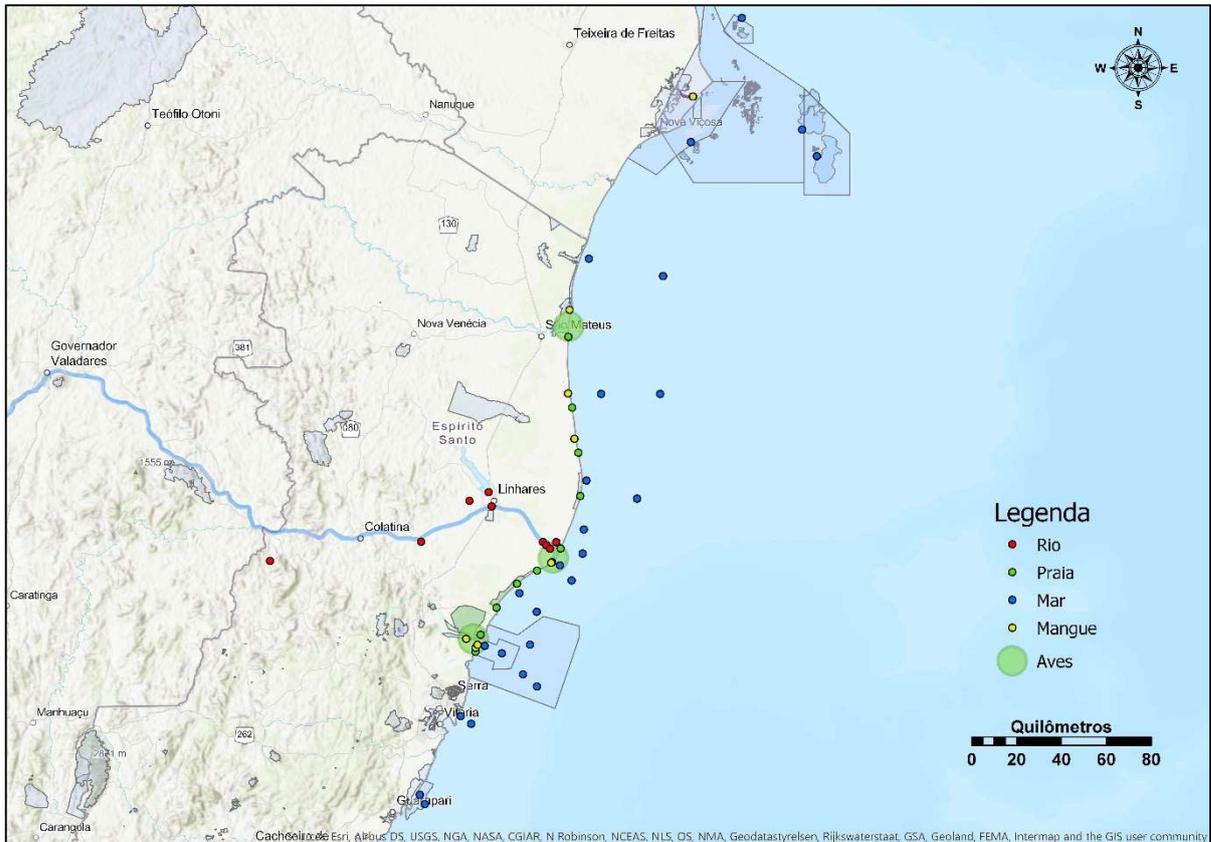
- Meta 4 - Monitoramento ecotoxicológico dos manguezais.
- Meta 5 - Monitoramento ecotoxicológico da microbiota.
- Meta 6 - Monitoramento ecotoxicológico de aves.

## **2 METODOLOGIA GERAL**

### **2.1 MALHA AMOSTRAL**

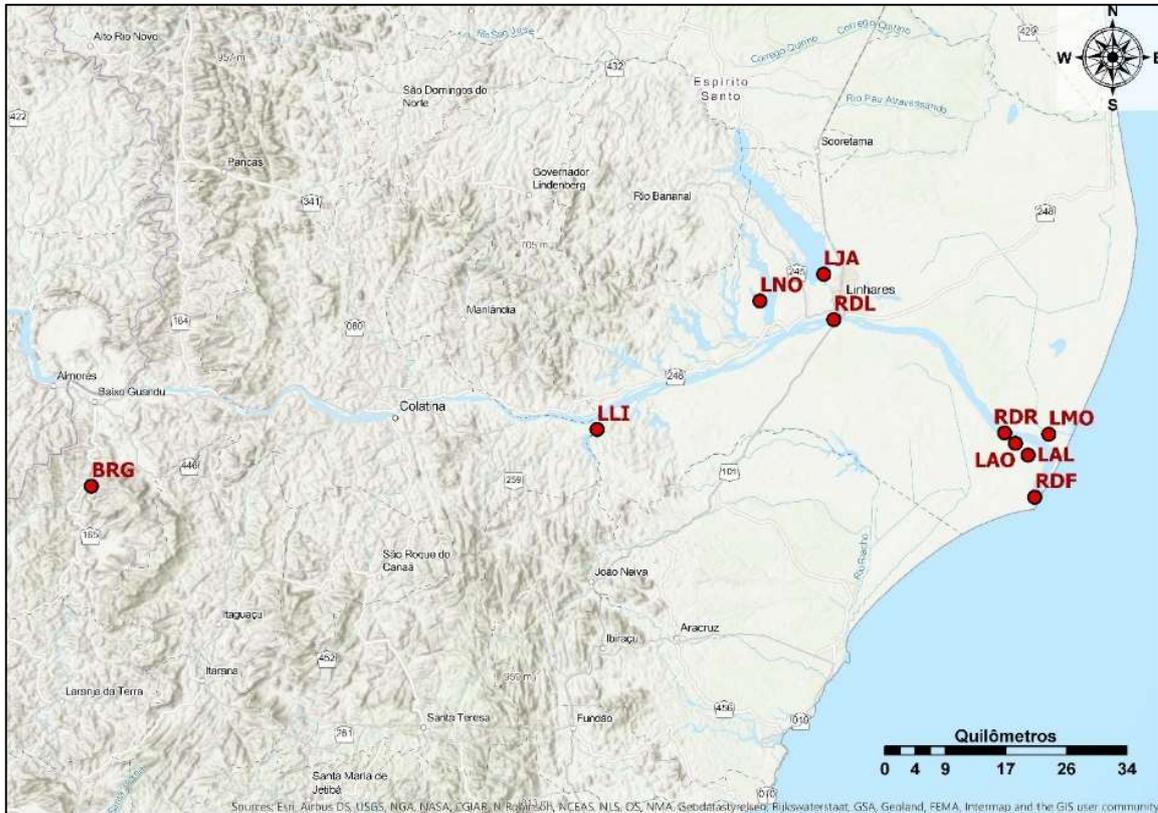
Como estabelecido no Plano de Trabalho, o monitoramento ecotoxicológico está sendo realizado sazonalmente (inverno/período seco e verão/período chuvoso, campanhas 1 e 2 respectivamente). No presente relatório serão descritos os resultados obtidos, a partir das análises das amostras de água, sedimento e biota coletadas no período seco (setembro-outubro/2018) e chuvoso (janeiro-fevereiro/2019). Conforme definido no Anexo 1 do TR4 e, posteriormente, na Nota Técnica nº 3/2017/CTBio/DIBIO/ICMBio, as amostras de água, sedimento e biota foram coletadas em diversos pontos de amostragem ao longo de quatro ambientes: dulcícola (Rio Doce), marinho (foz do Rio Doce e região costeira adjacente), praias e manguezal. Por sua vez, as amostras de aves foram coletadas em três regiões na costa do ES: Regência, Aracruz e Guriri. As amostras coletadas encontram-se devidamente armazenadas nos laboratórios da Universidade Federal do Rio Grande - FURG (Rio Grande, RS), Universidade Federal do Espírito Santo - UFES (São Mateus, ES) e Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ (Rio de Janeiro, RJ). Todas as atividades de campo (período seco e período chuvoso) foram realizadas conforme autorização para atividades com finalidade científica emitida em 30/08/2018 pelo ICMBio/MMA (no 64261-1), com revalidação em 30/08/2019. As atividades que envolvem captura, coleta e manipulação de vertebrados possuem autorização da Comissão de Ética em Uso Animal (CEUA) da FURG (Certificado no. Pq015/2018). As áreas de coleta de amostras de água, sedimento e biota, nos quatro ambientes descritos acima, bem como de coleta de amostras de aves nas três áreas mencionadas acima, estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1: Mapa com os pontos e áreas de coleta de amostras ambientais e biológicas no âmbito do Anexo 1.



Conforme definido no Anexo 1 do TR4, o monitoramento dulcícola e estuarino do presente estudo incorporou a amostragem de dez estações amostrais no decurso do Rio Doce, lagoas adjacentes e estuário no estado de Espírito Santo (Figura 2) durante setembro/outubro de 2018 (campanha 1) e janeiro/fevereiro de 2019 (campanha 2). Os detalhamentos das estações amostrais, como nome, código da estação amostral e posição geográfica, estão apresentados no Quadro 1 e as imagens representativas de cada ambiente estão reunidas na Figura 3.

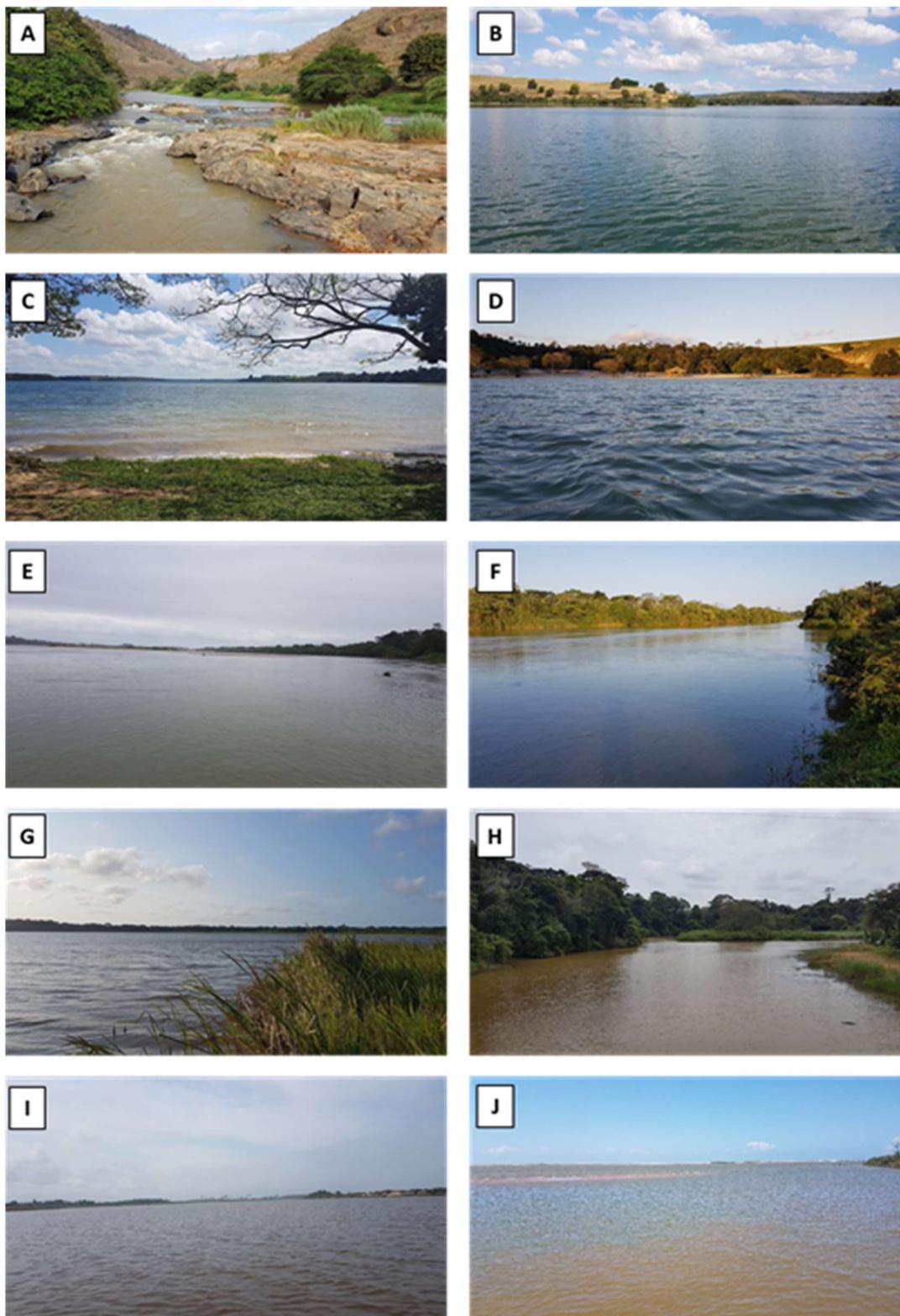
Figura 2: Mapa amostral das campanhas de monitoramento ecotoxicológico na porção capixaba do Rio Doce, estuário e lagoas adjacentes, realizadas na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019). A nomenclatura das estações amostrais e as respectivas coordenadas encontram-se detalhadas no Quadro 1.



Quadro 1: Estações amostrais da campanha dulcícola referente ao Anexo 1. As coordenadas geográficas (latitude e longitude) das dez estações amostrais de coleta estão apresentadas em UTM Sirgas 2000.

NOME DA ESTAÇÃO AMOSTRAL	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	COORDENADAS UTM (datum SIRGAS 2000)	
			LATITUDE	LONGITUDE
17 - Rio Guandu	BRG	-	7828746,17	288351,08
18 - Lagoa do Limão	LLI	-	7837447,02	355688,84
19 - Lagoa Nova	LNO	-	7855827,03	377287,60
20 - Lagoa Juparanã	LJA	-	7859664,14	385766,88
21 - Rio Doce	RDL	-	7853249,98	387144,67
22 - Rio Doce	RDR	-	7837309,00	410025,62
23 - Lagoa do Areão	LAO	-	7835831,65	411472,58
24 - Lagoa do Areal	LAL	-	7834176,33	413154,34
25 - Lagoa Monsarás	LMO	-	7837161,08	415912,93
26 - Foz do Rio Doce	RDF	-	7828234,12	414079,86

Figura 3: Imagens representativas das estações amostrais ao longo da porção capixaba do Rio Doce, estuário e áreas adjacentes: Rio Guandu (A); Lagoa do Limão (B); Lagoa Nova (C); Lagoa Juparanã (D); trecho do Rio Doce em Linhares (E); trecho do Rio Doce em Regência (F); Lagoa do Areão (G); Lagoa do Areal (H); Lagoa Monsarás (I) e Foz do Rio Doce (J).

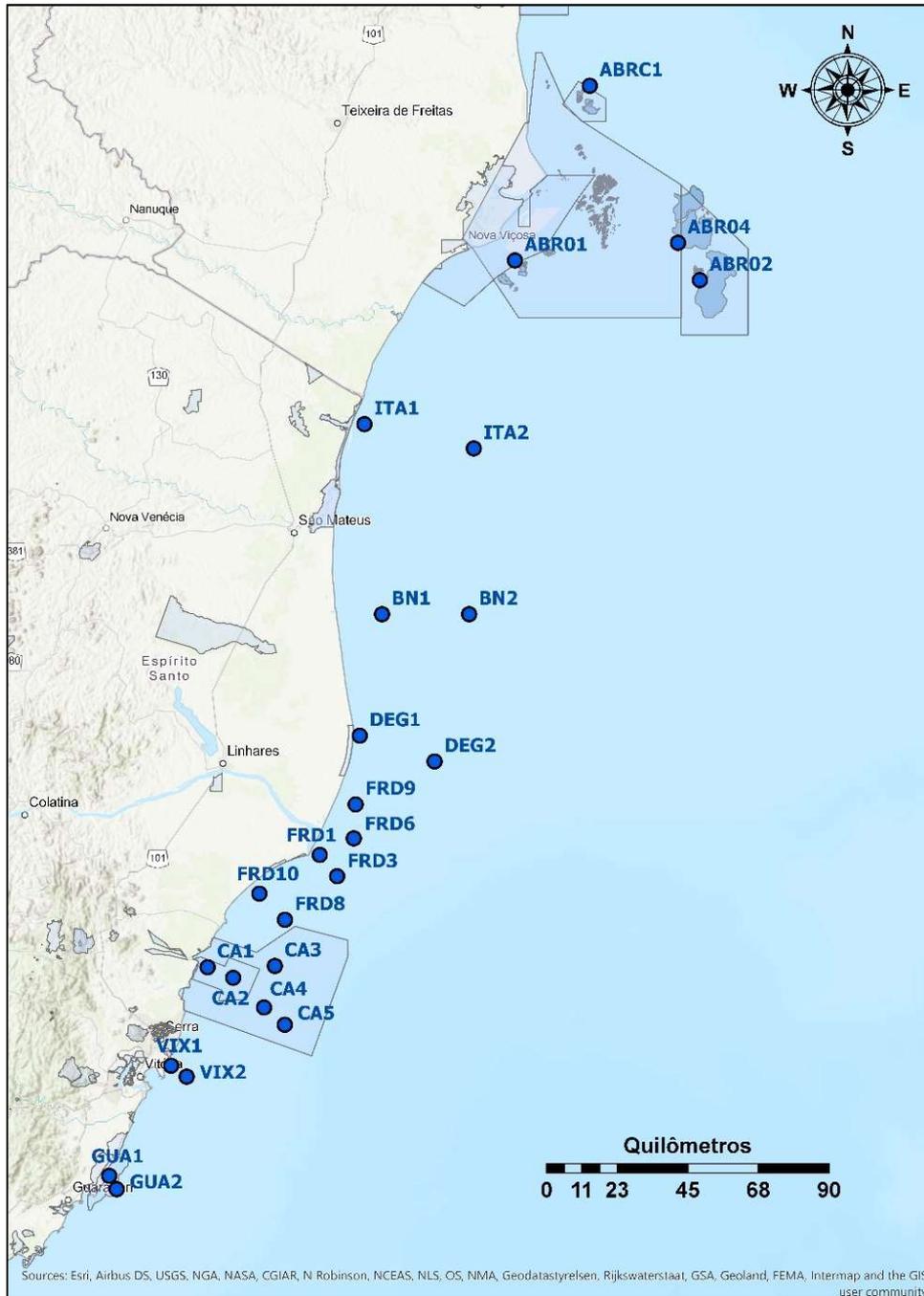


Fonte: Carlos Eduardo Delfino Vieira.

Conforme definido no Anexo 1 do TR4, a Campanha Marinha contemplou 25 estações amostrais desde regiões marinhas próximas a Guarapari (ES) até o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (BA). O

nome e código da estação amostral e posição geográfica, estão apresentados na Figura 4 e no Quadro 2.

Figura 4: Mapa amostral das 25 estações amostrais da campanha 1 e 2, referente ao Anexo 1- Ecotoxicologia. A nomenclatura das estações amostrais e as respectivas coordenadas geográficas encontram-se descritas no Quadro 2.

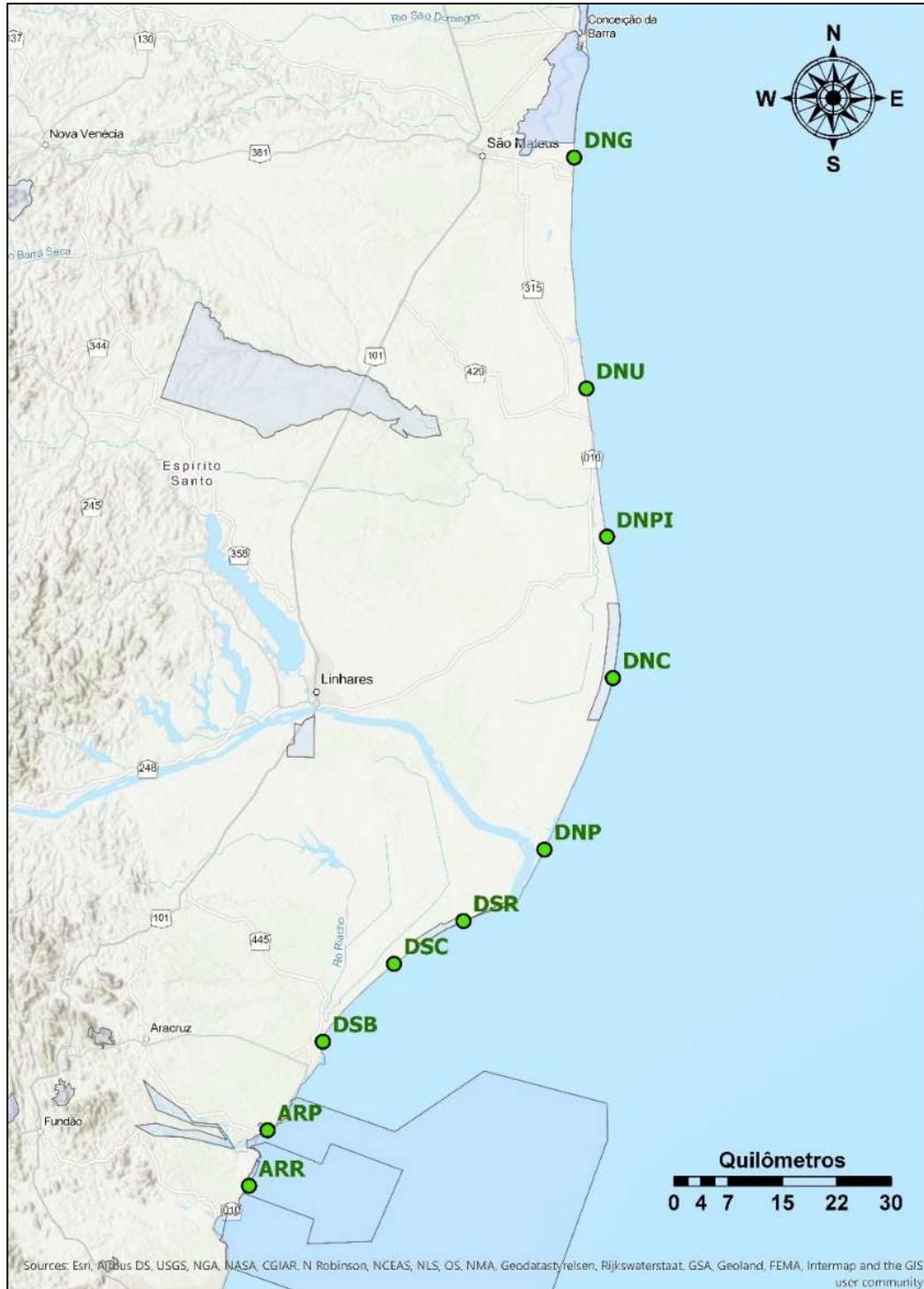


Quadro 2: Estações amostrais da Campanha 1 e 2, referente ao Anexo 1- Ecotoxicologia e posição geográfica (latitude e longitude) das 25 estações amostrais em UTM Sirgas 2000. APA: Área de Proteção Ambiental; Revis: Refúgio de Vida Silvestre; Resex: Reserva Extrativista; ARIE: Área de Relevante Interesse Ecológico.

NOME DA ESTAÇÃO AMOSTRAL	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	COORDENADAS UTM (datum SIRGAS 2000)	
			LATITUDE	LONGITUDE
Guarapari 1	GUA1	APA de Setiba	7723667,77	355156,85
Guarapari 2	GUA2	APA de Setiba	7719405,95	357393,32
Vitoria 1	VIX1	-	7759040,18	373370,92
Vitoria 2	VIX2	-	7755589,67	378037,01
Costa das Algas 1	CA1	Revis Santa Cruz	7790616,41	384042,73
Costa das Algas 2	CA2	Revis Santa Cruz	7787276,74	391745,12
Costa das Algas 3	CA3	APA Costa das Algas	7791153,28	404234,57
Costa das Algas 4	CA4	APA Costa das Algas	7787200,53	401010,39
Costa das Algas 5	CA5	APA Costa das Algas	7771576,57	411733,92
Foz do Rio Doce 1	FRD1	-	7826708,46	417558,23
Foz do Rio Doce 3	FRD3	-	7819938,12	422768,53
Foz do Rio Doce 6	FRD6	-	7832036,66	427720,85
Foz do Rio Doce 8	FRD8	-	7805922,41	407208,69
Foz do Rio Doce 9	FRD9	-	7842923,74	428268,74
Foz do Rio Doce 10	FRD10	-	7814269,72	399458,35
Barra Nova 1	BN1	-	7903774,11	435969,74
Barra Nova 2	BN2	-	7903846,12	462242,81
Degredo 1	DEG1	ARIE do Degredo	7864891,21	429405,3
Degredo 2	DEG2	-	7856730,3	451968,3
Itaúnas 1	ITA1	Parque Estadual de Itaúnas	7964547,9	430449,2
Itaúnas 2	ITA2	-	7956840,44	463552,34
Abrolhos 1	ABR01	Resex de Cassurubá	8017006,73	475936,13
Abrolhos 2	ABR02	Parque Nacional Marinho de Abrolhos	8010704,39	532065,56
Abrolhos 4	ABR04	APA Ponta da Baleia/Abrolhos	8022616,67	525452,4
Abrolhos Controle 1	ABRC1	-	8072874,16	498657,66

O monitoramento das praias adjacentes à desembocadura do Rio Doce foi realizado com coletas de água, sedimento e biota para análises da contaminação por metais e resposta de biomarcadores. A área de abrangência do monitoramento do ambiente praias ao longo do litoral do Espírito Santo (ES) foi entre os municípios de Aracruz e São Mateus. Foram estabelecidas 10 estações amostrais ao longo deste litoral (Figura 5 e Quadro 3). As imagens representativas de cada estação amostral da malha amostral de praias estão reunidas na Figura 6.

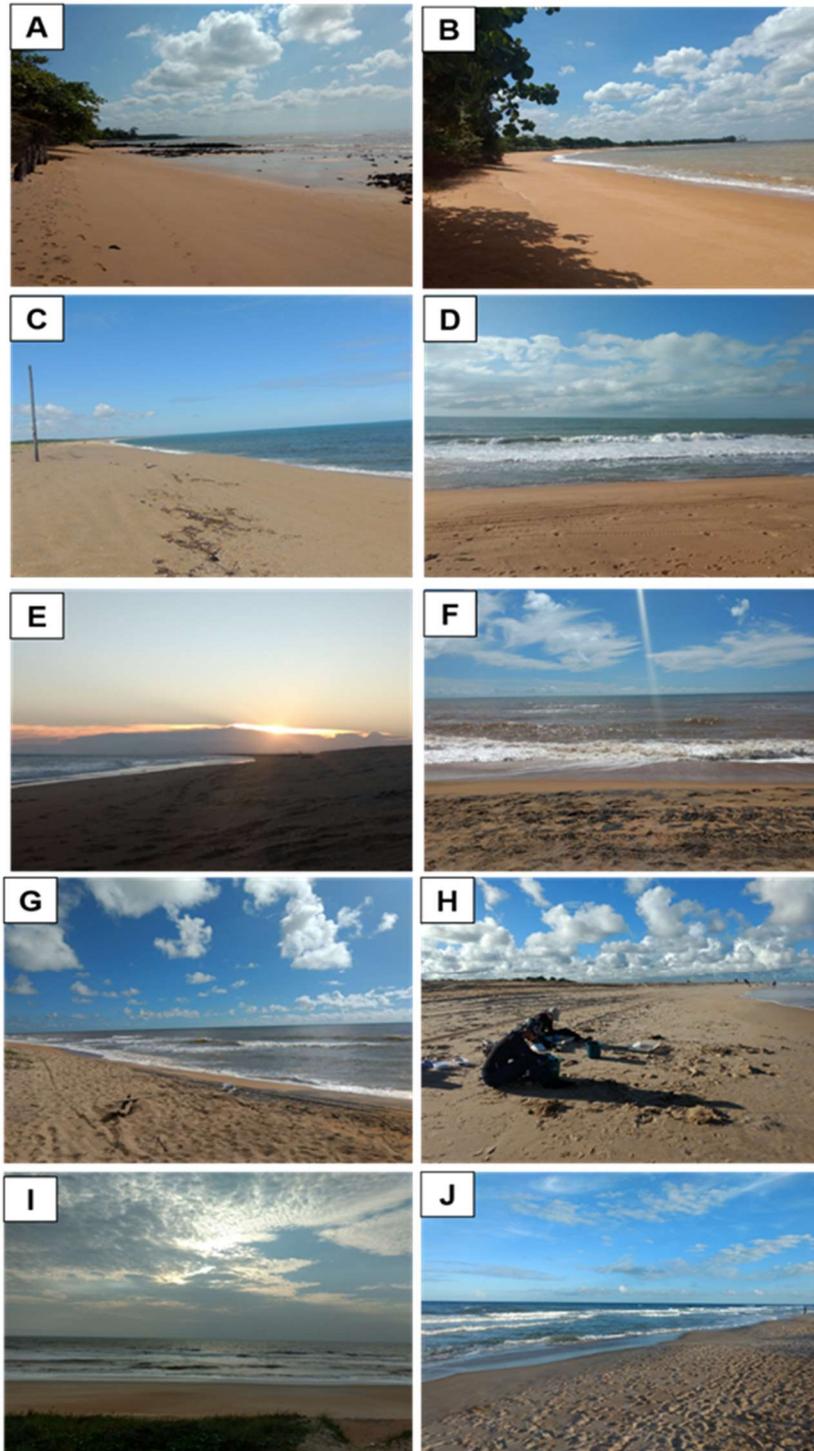
Figura 5: Estações amostrais referente ao monitoramento de praias realizado pelo Anexo 1. A nomenclatura das estações amostrais bem como as respectivas coordenadas geográficas encontram-se descritas no Quadro 3



Quadro 3: Estações amostrais referente monitoramento de praias realizado pelo Anexo 1. Coordenadas geográficas apresentadas em UTM Sirgas 2000. Revis: Refúgio de Vida Silvestre; ARIE: Área de Relevante Interesse Ecológico.

NOME DA ESTAÇÃO AMOSTRAL	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	COORDENADAS UTM (datum SIRGAS 2000)	
			LATITUDE	LONGITUDE
Aracruz 1 - Refúgio	ARR	Revis Santa Cruz	7787892,37	379908,15
Aracruz 2 - Putiri	ARP	Revis Santa Cruz	7795558,41	382269,99
Doce Sul 1 - Barra do Riacho	DSB	Reserva Indígena de Comboios	7807767,56	389346,33
Doce Sul 2 - Comboios	DSC	Reserva Indígena de Comboios	7818546,19	398483,36
Doce Sul 3 - Regência	DSR	Reserva Biológica de Comboios	7824460,93	407416,09
Doce Norte 1 - Povoação	DNP	-	7834350,26	417863,32
Doce Norte 2 – Vila de Cacimbas	DNC	ARIE do Degredo	7857980,26	426646,32
Doce Norte 3 - Pontal do Ipiranga	DNPI	-	7877396,26	425784,32
Doce Norte 4 - Urussuquara	DNU	-	7897769,26	423026,32
Doce Norte 5 - Guriri	DNG	-	7929528,26	421308,32

Figura 6: Imagens representativas dos pontos de coleta ao longo da zona costeira: Aracruz Refúgio (A); Aracruz Putiri (B); Barra do Riacho (C); Comboios (D); Regência (E); Povoação (F); Cacimbas (G); Pontal do Ipiranga (H); Urussuquara (I) e Guriri (J).



Fonte: Cinthia Carneiro da Silva.

No que se refere aos manguezais, conforme descrito no Apêndice V (Alterações Ecológicas na Dinâmica dos Manguezais e Vegetação de Restinga sob Influência dos Sedimentos Provenientes do Rio Doce), o monitoramento ecotoxicológico foi realizado na área de influência direta do rompimento da barragem (foz do Rio Doce), bem como nas áreas de influência consideradas atualmente como

indiretas, a saber: confluência dos rios Piraquê Açú e Mirim, manguezais de franja na área do Revis de Santa Cruz, Rio Urussuquara, Rio Mariricu, Rio São Mateus, e Rio Caravelas. Durante a execução do monitoramento, houve a necessidade de inclusão de um novo ponto de coleta na região de Revis Santa Cruz (RSC2). Isso se deve ao fato de que o crustáceo da espécie *Cardisoma guanhamu* não foi encontrada no ponto RSC1. Neste sentido, o ponto RSC2 foi adicionado ao monitoramento, sendo monitoradas ao total 8 regiões de manguezal (Figura 7 e Quadro 4). Considerando a proximidade entre RSC1 e RSC2, os resultados para estes pontos serão unidos e apresentados como um ponto único (RSC).

Figura 7: Estações amostrais referente ao monitoramento de manguezais realizado pelo Anexo 1. A nomenclatura das estações amostrais e as respectivas coordenadas geográficas encontram-se descritas no Quadro 4.

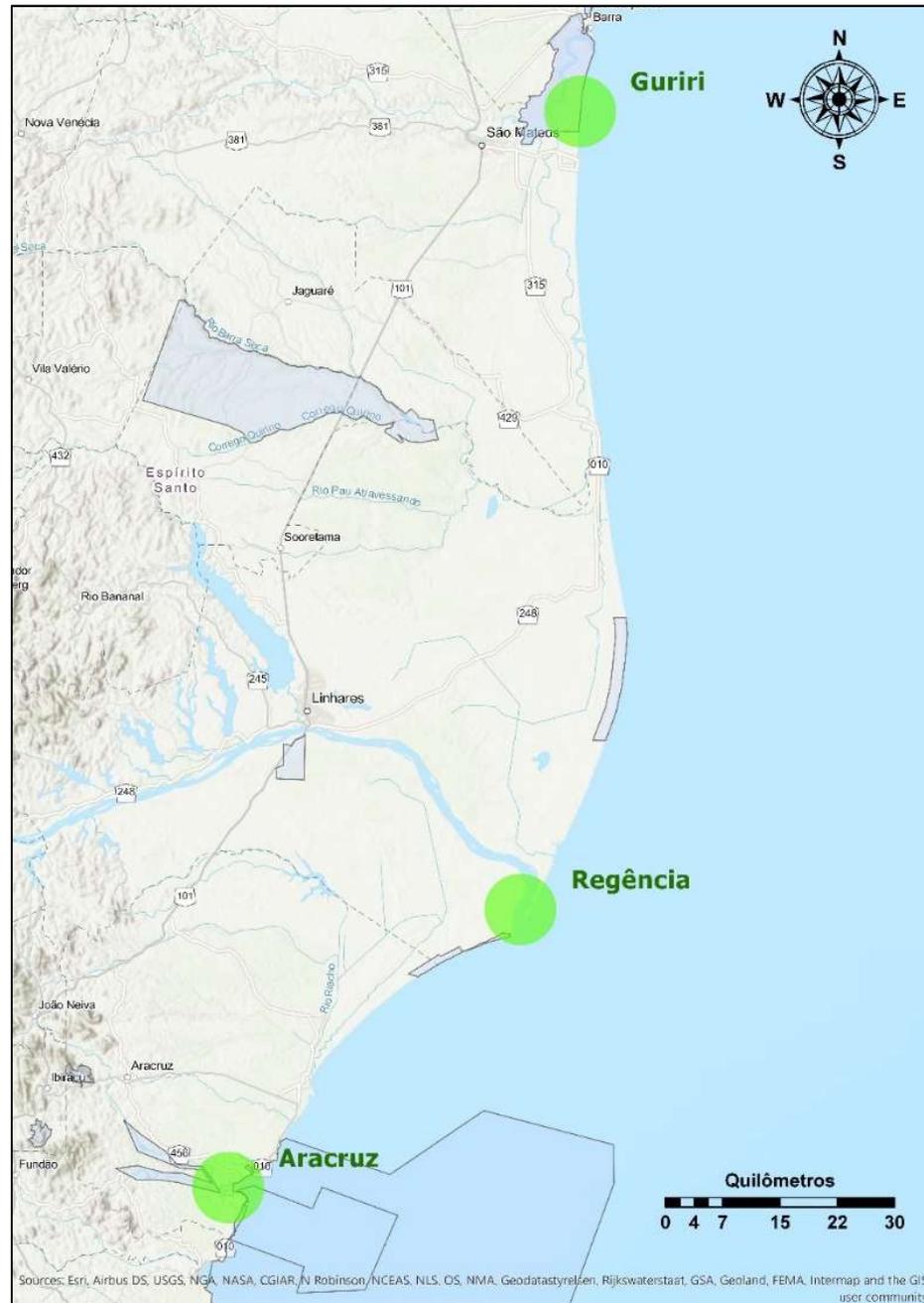


Quadro 4: Estações amostrais referente ao subprojeto de monitoramento de manguezais. Coordenadas geográficas apresentadas em UTM Sirgas 2000. APA: Área de Proteção Ambiental; Revis: Refúgio de Vida Silvestre; RDS: Reserva de Desenvolvimento Sustentável.

NOME DA ESTAÇÃO AMOSTRAL	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	Unidade de Conservação	COORDENADAS UTM (datum SIRGAS 2000)	
			LATITUDE	LONGITUDE
Rio Piraquê-açú	PAM	RDS Municipal Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim	7793773,70	375807,78
RVS Santa Cruz 1	RSC1	Revis Santa Cruz	7789712,90	380046,67
RVS Santa Cruz 2	RSC2	Revis Santa Cruz	7791054,80	380874,96
Foz de Regência	FRG	-	7827888,28	413724,67
Rio Urussuquara	RUR	-	7883642,67	423977,15
Rio Maricú	RMA	-	7904064,17	421175,81
Rio São Mateus	RSM	APA Conceição da Barra	7941617,31	421850,06
Rio Caravelas	RCA	APA Ponta da Baleia/Abrolhos	8037464,47	476880,37

A coleta de amostras de aves foi realizada conforme os hábitos alimentares das mesmas, nos ambientes de estuário, mangues e litoral em três áreas amostrais: estuário do Rio Doce - Linhares (ES), manguezal na foz do Rio Piraquê-açú – Aracruz (ES), e costa adjacente à foz do Rio Doce Norte e Sul (Figura 8).

Figura 8: Mapa amostral da campanha de monitoramento das aves nas três áreas de coleta no estado do Espírito Santo.

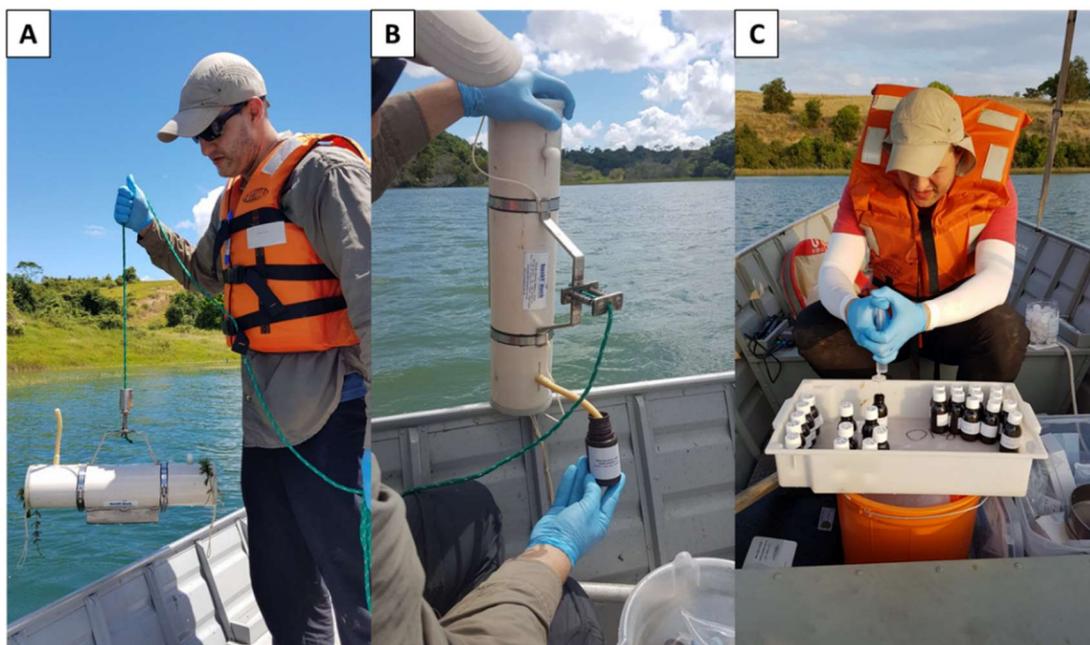


## 2.2 COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA

Como previsto no TR4, foram coletadas amostras de água em 10 estações amostrais na bacia do Rio Doce no estado do Espírito Santo, incluindo sua região estuarina (Quadro 1), bem como em 25 estações amostrais na foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Quadro 2) e em 10 estações amostrais no ambiente praiado (Quadro 3). As coletas de água, ao longo da coluna d'água, foram realizadas utilizando-se uma garrafa horizontal Van Dorn (Figura 9A e Figura 9B). Em todas as estações amostrais foram coletadas 6 amostras de água (3 amostras de superfície e 3 amostras de fundo; 50

mL de cada amostra) para a análise das concentrações de metais totais e 6 amostras (3 amostras de superfície e 3 amostras de fundo; 50 mL de cada amostra) de água filtrada (filtro de 0,45 µm de malha; Figura 9C) para a análise das concentrações de metais dissolvidos. As coletas foram realizadas nas seguintes profundidades: de 0 a 15 cm da superfície para amostras de água superficial, e cerca de 50 cm acima do fundo para amostras de água de fundo. Imediatamente após a coleta, alíquotas das amostras para a determinação das concentrações totais e dissolvidas de metais foram acidificadas com ácido nítrico Suprapur® (HNO<sub>3</sub>, concentração final de 1%) e mantidas refrigeradas. Em todas as amostras de água foram analisados os seguintes elementos: arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), mercúrio (Hg) e zinco (Zn). Por apresentar características químicas intermediárias entre metais e não metais, o Arsênio é classicamente classificado como um elemento do grupo dos metaloides. Entretanto, este elemento apresenta um comportamento toxicológico muito semelhante aos elementos metálicos. Por esta razão, para fins do presente relatório, o elemento Arsênio será considerado dentro do grupo dos metais. No caso das amostras de água do Rio Doce (incluindo o estuário e lagoas adjacentes) no estado do Espírito Santo, também foi realizada a análise da concentração de carbono orgânico dissolvido em amostras de água filtrada, bem como alcalinidade e concentração de sulfatos em amostras de água não filtrada, visando a modelagem (Modelo do Ligante Biótico - *Biotic Ligand Model* - BLM) da biodisponibilidade e toxicidade dos metais, conforme descrito posteriormente.

Figura 9: (A) Coleta de amostras de água em diferentes profundidades com o auxílio de garrafa horizontal Van Dorn na Lagoa Nova, Linhares (ES). (B) Acondicionamento das amostras em frascos plásticos âmbar e (C) Filtragem das amostras de água para determinação das concentrações de metais dissolvidos.



Fonte: Carlos Eduardo Delfino Vieira.

### 2.3 ANÁLISES DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA E MODELAGEM ECOTOXICOLÓGICA

No momento da coleta das amostras de água no Rio Doce no estado do Espírito Santo (incluindo seu estuário e lagos adjacentes), na foz do Rio Doce e região costeira adjacente, bem como no ambiente praiar, foram realizadas as medidas da temperatura, condutividade elétrica, salinidade, pH e oxigênio dissolvido, utilizando-se uma sonda multiparâmetros (*YSI Professional Plus*). Nas amostras do Rio Doce, no estado do Espírito Santo, a concentração de carbono orgânico dissolvido foi determinada nas amostras de água filtradas (0,45 µm de malha) utilizando-se um analisador de carbono total (TOC). Os demais parâmetros químicos foram determinados nas amostras de água não filtradas. A concentração de sulfatos foi determinada por meio de um *kit* comercial de reagentes (*Vacu-vials* Sulfato, CHEMetrics, EUA), baseado no método turbidimétrico (Tabatabai, 1974). A alcalinidade total foi determinada por titulação com solução padrão ácida, empregando-se um *kit* comercial de reagentes (Teste de Campo Titulométrico de Alcalinidade, *Merck Millipore Brazil*, Brasil), baseado no método titrimétrico (APHA, 1989). A composição iônica (concentrações de Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Na<sup>+</sup>) foi determinada por espectrofotometria de absorção atômica no modo chama. A concentração de cloretos foi analisada por meio de um *kit* comercial de reagentes (*Vacu-vials* Cloreto, CHEMetrics, EUA), baseado no método do tiocianato férrico.

Com base nos resultados obtidos nas análises das amostras de água doce provenientes do Rio Doce no estado do Espírito Santo foi realizada a modelagem ecotoxicológica dos dados, visando à previsão da biodisponibilidade e à toxicidade de metais em ambientes dulcícolas. Esta modelagem foi realizada tendo em vista a versão mais recente do Modelo do Ligante Biótico - BLM (*Freshwater & Marine version* 3.16.2.41). Para tal, foram considerados os resultados das análises de pH, temperatura, concentrações de íons (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>-</sup>), carbono orgânico dissolvido e alcalinidade total. A modelagem ecotoxicológica para cada estação amostral, em cada campanha de coleta (campanhas 1 e 2) foi calibrada considerando-se a concentração máxima permitida, preconizada pela Resolução CONAMA 357/2005, para cada um dos quatro metais calibrados no âmbito do BLM para águas doces de Classe 1 e 2, a saber: Cd (1 µg/L), Cu (9 µg/L), Pb (10 µg/L), e Zn (180 µg/L). Assim, buscou-se com o BLM identificar quais as estações amostrais da malha dulcícola apresentariam a maior concentração do íon livre, a forma considerada mais tóxica para a biota aquática, para cada um dos metais acima mencionados, considerando as características físico-químicas particulares de cada local, em um cenário com os limites máximos permitidos pela legislação conforme mencionado anteriormente.

### 2.4 COLETA DE AMOSTRAS DE SEDIMENTO

Em todas as estações amostrais utilizados para a coleta de água (10 estações amostrais no monitoramento dulcícola, 25 estações amostrais no monitoramento marinho, e 10 estações amostrais no monitoramento praiar) foram coletadas também amostras de sedimento com auxílio de pá ou draga do tipo *Van Veen* (Figura 10A), dependendo do local de coleta. Em cada local de amostragem foram coletadas 4 amostras de sedimento. As amostras foram abertas em caixas plásticas, buscando-se gerar

um mínimo de perturbação na superfície do sedimento e fotografadas imediatamente após a coleta, a fim de registrar as características visuais do sedimento (Figura 10B). Para a análise de metais, as amostras coletadas, com o auxílio de espátula de plástico, raspando-se apenas os primeiros centímetros (0-5 cm) da amostra de sedimento, obtendo-se, assim, apenas o sedimento superficial. Para cada amostra, foram coletados aproximadamente 50 g de sedimento, os quais armazenados em potes plásticos (Figura 10C) e mantidos congelados até o momento das análises. Em todas as amostras de sedimento foram analisados os seguintes elementos: arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), mercúrio (Hg) e zinco (Zn).

Figura 10: (A) Coleta de amostras de sedimento com o auxílio de draga do tipo Van Veen. (B) Documentação visual das amostras de sedimento e (C) Acondicionamento das amostras em frascos plásticos.



Fonte: Carlos Eduardo Delfino Vieira.

## 2.5 ENSAIOS ECOTOXICOLÓGICOS COM AMOSTRAS DE SEDIMENTO E ÁGUA

### 2.5.1 Estações amostrais

Conforme definido no Termo de Referência 4 (TR4), a área de estudo onde foi realizado o monitoramento através de ensaios ecotoxicológicos, incluiu seis pontos de amostragem: dois pontos utilizados no monitoramento dulcícola, sendo um no Baixo Rio Guandú (BRG) e outro no estuário do Rio Doce (RDF) (Figura 2), e quatro pontos utilizados no monitoramento marinho, sendo dois pontos na sua foz do Rio Doce (FRD1 e FRD6) e dois pontos na região da Costa das Algas (localizados dentro

da área do Revis Santa Cruz) (CA1 e CA2) (Figura 4). Nos seis pontos foi feita a coletadas de amostras de água e sedimento em setembro/outubro de 2018 (campanha 1) e janeiro/fevereiro de 2019 (campanha 2). O Quadro 5 apresenta informações dos pontos da malha amostral do Anexo 1, coletadas para os ensaios de toxicidade.

Quadro 5: Estações amostrais do Anexo 1 utilizadas para no monitoramento da toxicidade de amostras de água e sedimento e, respectivas localizações geográficas das seis estações amostrais em UTM Sirgas 2000. Revis: Refúgio de Vida Silvestre.

Ambiente	Nome da Estação	Código da Estação Amostrai	Unidade de Conservação	COORDENADAS UTM (datum SIRGAS 2000)	
				Latitude	Longitude
Dulcícola/estuarino	17 – Rio Guandu	BRG	-	7828746,17	288351,08
	26 - Foz do Rio Doce	RDF	-	7828234,12	414079,86
Marinho	Costa das Algas 1	CA1	Revis Santa Cruz	7790616,41	384042,73
	Costa das Algas 2	CA2	Revis Santa Cruz	7787276,74	391745,12
	Foz do Rio Doce 1	FRD1	-	7826708,46	417558,23
	Foz do Rio Doce 6	FRD6	-	7832036,66	427720,85

## 2.5.2 Ensaios de toxicidade

Os ensaios realizados com organismos de diferentes níveis tróficos cumpriram com as condições dispostas no TR4 que rege o Anexo 1 do PMBA. Todos os ensaios com amostras dulcícolas foram realizados nos laboratórios no Instituto de Ciências Biológicas (ICB) da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, assim como alguns ensaios com amostras coletadas em ambiente marinho, como é o caso dos ensaios com a microalga *Thalassiosira pseudonana* e o peixe *Poecilia vivipara*. Os demais ensaios realizados com amostras coletadas em ambiente marinho, como os ensaios com *Echinometra lucunter* e *Nitokra sp*, desenvolvidos no laboratório de Ecotoxicologia, localizado na Base Oceanográfica da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. O Quadro 6 e o Quadro 7 apresentam um resumo dos ensaios de toxicidade efetivados com água e sedimento coletados nos ambientes dulcícola e marinho, respectivamente. Vale ressaltar que a coleta e armazenamento das amostras seguiram rigorosamente os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 15469 (2016). Para os ensaios executados com água e elutriato do sedimento, testou-se as seguintes concentrações de exposição: 3,1; 6,2; 12,5; 25; 50 e 100 % da amostra. Elutriato pode ser definido como uma solução aquosa obtida após adição de água de diluição a uma amostra sólida submetida à agitação e posterior decantação, ou se necessário, centrifugação ou filtração, ou seja, é a solução obtida a partir da lavagem de um sedimento. As amostras de elutriato foram preparadas em proporção 1:4 (sedimento: água), a mistura foi agitada por 30 minutos e decantada por, pelo menos, 1 hora (Figura 11). Todos os ensaios contaram com um grupo controle, composto apenas por água de diluição. No caso do sedimento, além do elutriato, analisou-se a toxicidade do sedimento bruto para organismos bentônicos, tendo estes ensaios apenas 2 grupos experimentais: controle e sedimento bruto. O sedimento controle foi composto por areia peneirada em malha de 10 mm, seca a temperatura ambiente e encharcada com água de diluição, ou substrato artificial. Com relação aos organismos cultivados em laboratório, as condições

abióticas dos ensaios, como pH, dureza, concentração de oxigênio dissolvido na água, temperatura e salinidade, com condições iguais de aclimação dos organismos, e seguiram especificidades das normas apontadas no Quadro 6 e no Quadro 7.

Figura 11:Preparação das amostras de elutriato de sedimento.



Fonte: Cássia Nascimento.

Quadro 6: Resumo dos ensaios de toxicidade realizados com amostras do monitoramento dulcícola (estações amostrais BRG e RDF).

	Microalga	Crustáceo	Crustáceo	Peixe	Peixe	Peixe
Organismo utilizado	 <i>Raphidocelis subcapitata</i> <sup>1</sup>	 <i>Daphnia magna</i> <sup>2</sup> (cladóceros)	 <i>Hyalella spp</i> <sup>2</sup> (anfípoda)	 <i>Danio rerio</i> (embrião) <sup>2</sup>	 <i>Danio rerio</i> (larva) <sup>2</sup>	 <i>Danio rerio</i> (adulto) <sup>3</sup>
Procedência do organismo	Coleção de Cultivo de Microalgas Dulciaquícolas (CCMD) – CH012 – ICB/FURG	Laboratório de Toxicologia do ICB/FURG	Laboratório de Toxicologia do ICB/FURG	Biotério Aquático do ICB/FURG	Biotério Aquático do ICB/FURG	Fornecedor comercial
Matriz	Água Superficial/Elutriato de Sedimento	Água Superficial/Elutriato de Sedimento	Sedimento Bruto	Água Superficial/Elutriato de Sedimento	Água Superficial/Elutriato de Sedimento	Água Superficial/Elutriato de Sedimento
Tipo do teste	Crônico	Agudo/Crônico	Agudo/Crônico	Agudo	Crônico	Agudo
Método	ABNT NBR 12648	ABNT NBR 12713/OECD 211	ABNT NBR 15470	OECD 236	ABNT NBR 15499	ABNT NBR 15088
Duração do Ensaio	72 h	48 h/21 dias	10 dias	96 h	7 dias	48 h
Indicador de toxicidade	Inibição da multiplicação das algáceas	Mortalidade/Número de neonatos viáveis	Mortalidade/Peso	Coagulação de ovos	Mortalidade	Mortalidade

Legenda: <sup>1</sup> <https://alchetron.com/Raphidocelis-subcapitata>; <sup>2</sup> Acervo do projeto; <sup>3</sup> <http://zfin.org/>.

Quadro 7: Resumo dos ensaios de toxicidade realizados com amostras do monitoramento marinho (estações amostrais FRD1, FRD6, CA1, CA2).

	Microalga	Crustáceo	Ouriço-do-mar	Peixe
Organismo utilizado	 <i>Thalassiosira pseudonana</i> <sup>1</sup>	 <i>Nitokra sp</i> <sup>2</sup> (copépode)	 <i>Echinometra lucunter</i> <sup>3</sup>	 <i>Poecilia vivipara</i> <sup>4</sup>
Procedência do organismo	Banco de Microrganismos Aidar & Kutner – BMAK 172 – IO/USP	Laboratório de Ecotoxicologia da Base Oceanográfica/UFES	Ambiente Natural – Coqueiral/ES	Biotério Aquático do ICB/FURG
Matriz	Água Superficial/Elutriato de Sedimento	Sedimento Bruto	Água Superficial/Elutriato de Sedimento	Água Superficial/Elutriato de Sedimento
Tipo do teste	Crônico	Crônico	Agudo/Crônico	Agudo
Método	ABNT NBR 16181	Métodos em Ecotoxicologia Marinha: Aplicações no Brasil	Métodos em Ecotoxicologia Marinha: Aplicações no Brasil/ ABNT NBR 15350	OECD 203
Duração do ensaio	72 h	10 dias	2 h/48 h	96 h
Indicador de toxicidade	Inibição da multiplicação das algáceas	Número de fêmeas/prole	Óvulos fecundados/Larvas desenvolvidas	Mortalidade

Fonte:<sup>1</sup> <https://ncma.bigelow.org/ccmp1014#.XW5t-yMrK1t>; <sup>2</sup> [http://v3.boldsystems.org/index.php/Taxbrowser\\_Taxonpage?taxid=683171](http://v3.boldsystems.org/index.php/Taxbrowser_Taxonpage?taxid=683171); <sup>3</sup> Acervo do projeto; <sup>4</sup> <http://museunacional.ufrj.br/hortobotanico/Peixes/Poeciliavivipara.html>.

O número de ensaios realizados em ambas as campanhas com amostras coletadas na porção capixaba do Rio Doce está apresentado no Quadro 8, enquanto o Quadro 9 apresenta o número de ensaios feitos com amostras coletadas na região costeira. Em resumo, foram realizados 124 ensaios, sendo 52 ensaios com amostras coletadas no ambiente dulcícola/estuarino e 72 com amostras coletadas na região costeira adjacente ao Rio Doce. Dentre estes, 8 ensaios com a microalga *Raphidocelis subcapitata*, sendo 1 ensaio com água e 1 com elutriato de sedimento para cada estação amostral e para cada campanha; 16 ensaios com o crustáceo *Daphnia magna*, sendo 8 ensaios agudos e 8 ensaios crônicos efetivados com água e elutriato de cada estação amostral. Ademais, para cada campanha; 4 ensaios com o anfípoda *Hyalella* spp, 1 ensaio para cada estação amostral e para cada campanha apenas com sedimento bruto; e 24 ensaios com *Danio rerio* nas fases de embrião, larva e adulto, testando-se água e elutriato para cada estação amostral em ambas as campanhas. Dos 72 ensaios com amostras coletadas na região costeira adjacente ao Rio Doce, 16 ensaios foram feitos com a microalga *Thalassiosira pseudonana*, 1 ensaio com água e 1 com elutriato de sedimento para cada uma das 4 estações amostrais nas campanhas 1 e 2. Seguindo, houveram 32 ensaios com ouriço do mar *Echinometra lucunter*, 16 desses agudos, para verificação da fertilização, e 16 ensaios crônicos para avaliação do desenvolvimento embrio-larval, sendo que cada um desses ensaios foram realizados com água e elutriato de sedimento de amostras coletadas nas 4 estações amostrais e nas 2 campanhas; 8 ensaios com o copépode *Nitokra* sp, correspondente a 1 ensaio para cada estação amostral apenas com sedimento bruto e em ambas as campanhas. Por fim, 16 ensaios com o peixe *Poecilia vivipara* com aproximadamente 2 cm de comprimento total, 1 ensaio com água e 1 com elutriato de sedimento para cada uma das 4 estações amostrais coletadas nas campanhas 1 e 2.

Após a coleta, as amostras de água e sedimento foram estocadas a -20 °C até o momento do ensaio. Um dia antes de cada ensaio, as amostras permaneceram a 20 °C para descongelamento. No caso das amostras de água, foi utilizada água descongelada sem nenhum processamento, exceto para os ensaios com microalgas, onde a água descongelada e filtrada em malha de 0,47 µm (Filtro GF 5), para retirada de componentes que poderiam interferir no ensaio como partículas maiores que 0,47 µm, microalgas e outros microrganismos. Cabe ressaltar que os metais dissolvidos na água medem menos que 0,45 µm e, portanto, com a filtragem não houve remoção desta fração da amostra. Como mencionado anteriormente, o sedimento fora testado na sua forma bruta e como elutriato. O elutriato também foi filtrado apenas para os ensaios com microalgas. A Figura 12 e a Figura 13 apresentam uma série de imagens referentes aos cultivos e ensaios realizados no âmbito deste subprojeto com amostras coletadas em ambientes de água doce e marinho, respectivamente.

Quadro 8: Ensaio de toxicidade realizados com amostras do monitoramento dulcícola, referentes às campanhas 1 e 2 do Anexo 1.

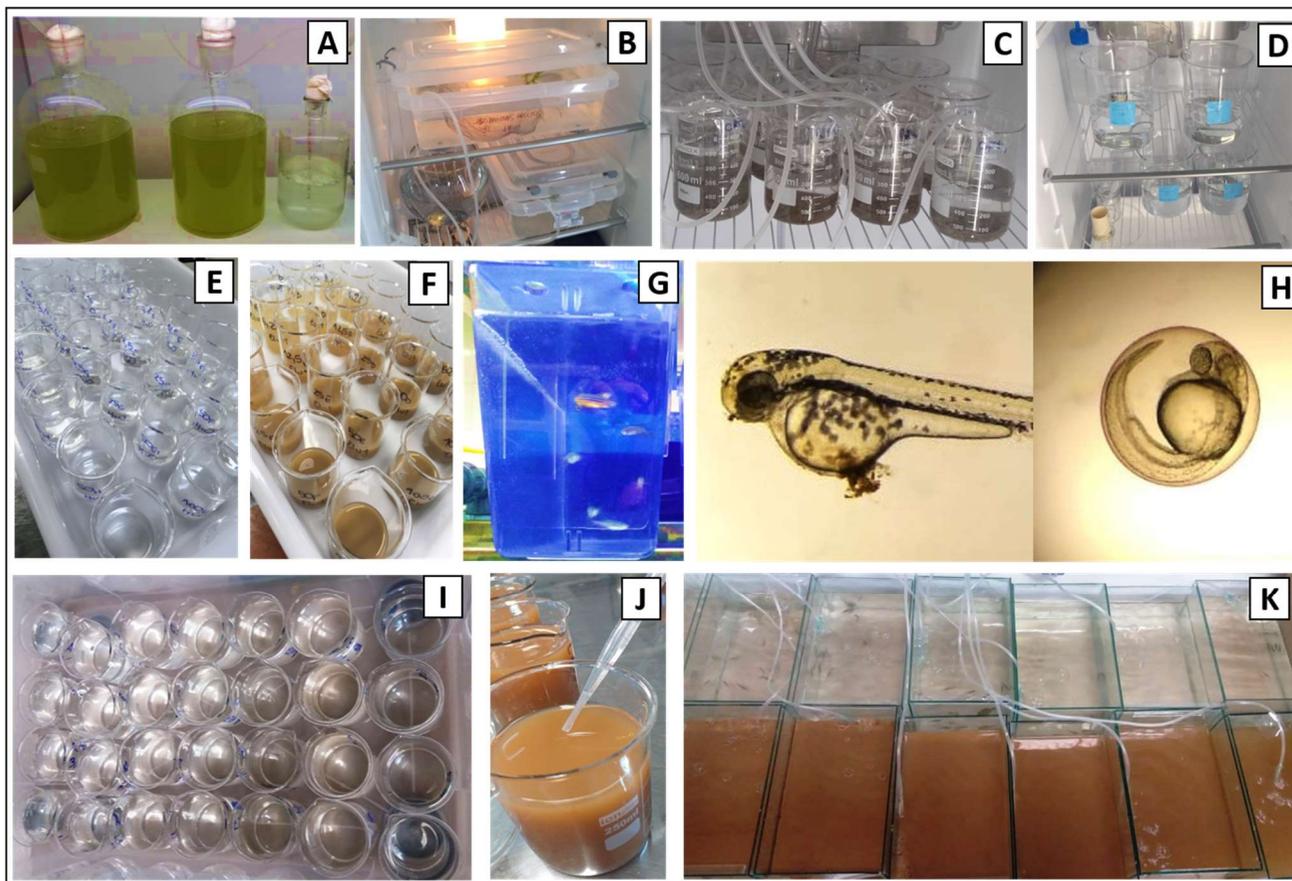
Ensaio de toxicidade - Monitoramento Dulcícola				
Código da Estação Amostral	Campanha	Período	Matriz	Número de ensaios
BRG	1	Setembro/outubro de 2018	Água	6
			Elutriato do Sedimento	6
			Sedimento bruto	1
	2	Janeiro/fevereiro de 2019	Água	6
			Elutriato do Sedimento	6
			Sedimento bruto	1
RDF	1	Setembro/outubro de 2018	Água	6
			Elutriato do Sedimento	6
			Sedimento bruto	1
	2	Janeiro/fevereiro de 2019	Água	6
			Elutriato do Sedimento	6
			Sedimento bruto	1
<b>Número total de ensaios</b>				<b>52</b>

Quadro 9: Ensaio realizados com amostras do monitoramento marinho, referentes às campanhas 1 e 2 do Anexo 1.

Ensaio de toxicidade – Monitoramento Marinho				
Código da Estação Amostral	Campanha	Período	Matriz	Número de ensaios
FRD1	1	Setembro/outubro de 2018	Água	4
			Elutriato do Sedimento	4
			Sedimento bruto	1
	2	Janeiro/fevereiro de 2019	Água	4
			Elutriato do Sedimento	4
			Sedimento bruto	1

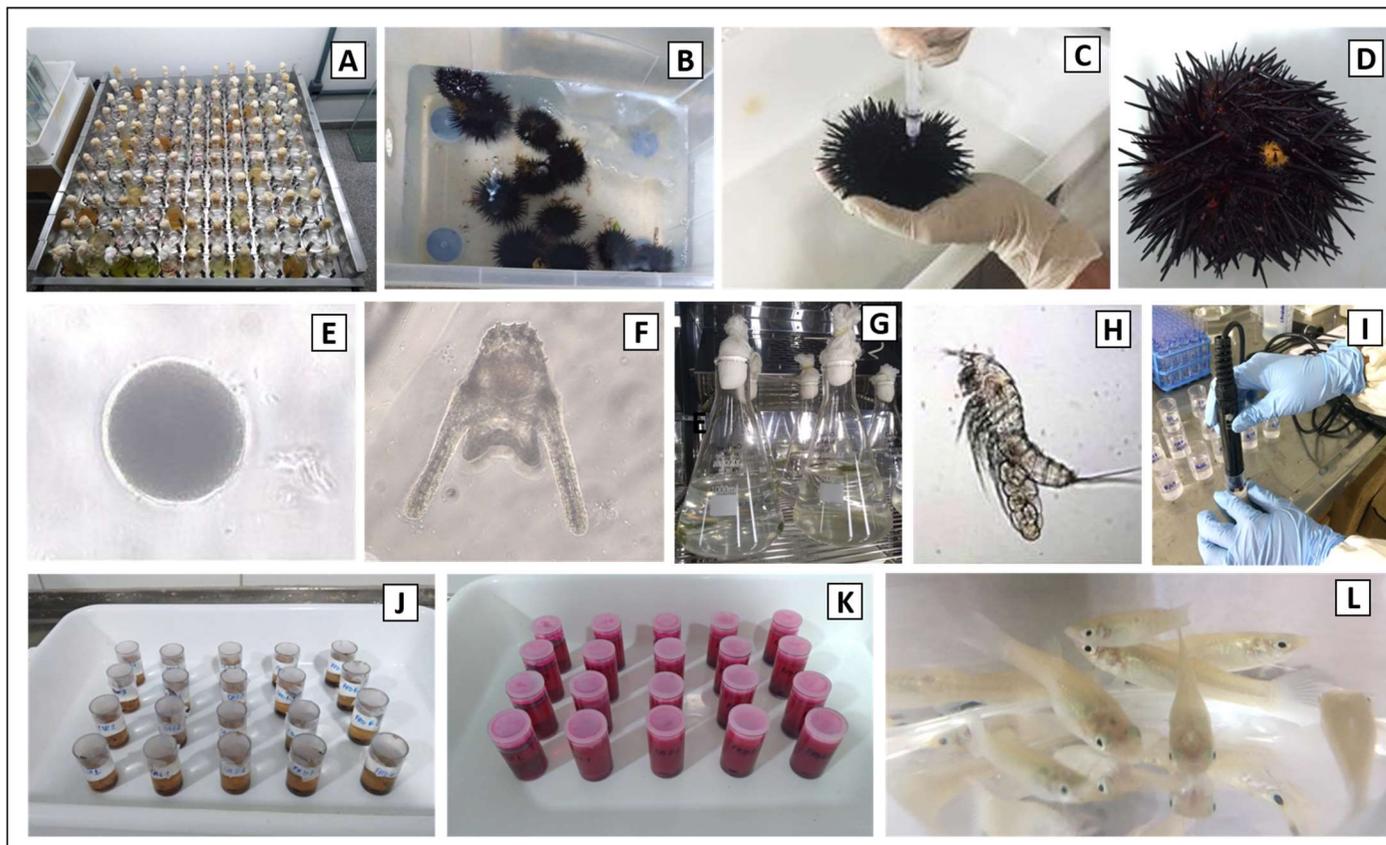
Ensaio de toxicidade – Monitoramento Marinho				
Código da Estação Amostral	Campanha	Período	Matriz	Número de ensaios
FRD6	1	Setembro/outubro de 2018	Água	4
			Elutriato do Sedimento	4
			Sedimento bruto	1
	2	Janeiro/fevereiro de 2019	Água	4
			Elutriato do Sedimento	4
			Sedimento bruto	1
CA1	1	Setembro/outubro de 2018	Água	4
			Elutriato do Sedimento	4
			Sedimento bruto	1
	2	Janeiro/fevereiro de 2019	Água	4
			Elutriato do Sedimento	4
			Sedimento bruto	1
CA2	1	Setembro/outubro de 2018	Água	4
			Elutriato do Sedimento	4
			Sedimento bruto	1
	2	Janeiro/fevereiro de 2019	Água	4
			Elutriato do Sedimento	4
			Sedimento bruto	1
<b>Número total de ensaios</b>				<b>72</b>

Figura 12: Imagens dos organismos utilizados e dos ensaios de toxicidade, em amostras do monitoramento dulcícola: (A) cultivo de microalgas *R. subcapitata*; (B) e (C) cultivo e ensaio de toxicidade com *Hyalella* spp, respectivamente; (D), (E) e (F) cultivo de *D. magna* e ensaios de toxicidade com amostras de água e elutriado do sedimento de água doce, respectivamente; (G) cultivo de *D. rerio* em sistema de manutenção; (H) porção anterior da larva e ovo de *D. rerio*; (I) e (J) ensaios de toxicidade com larvas de *D. rerio* expostas à amostras de água superficial e elutriado do sedimento, respectivamente; (K) ensaio de toxicidade com água e elutriado do sedimento de água doce com peixes *D. rerio* adultos. As imagens foram tiradas nas dependências do Instituto de Ciências Biológicas (ICB) da FURG.



Fonte: Cássia Nascimento.

Figura 13: Imagens dos organismos utilizados e dos ensaios de toxicidade, em amostras do monitoramento marinho: (A) ensaio com microalgas *T. pseudonana* e (B) ouriços nos aquários no Laboratório de Ecotoxicologia da Base Oceanográfica/UFES; (C) e (D) aplicação de KCl para liberação de gametas pelo ourio-do-mar *E. lucunter* e liberação de gametas, respectivamente (E) e (F) ovo fecundado e larva de *E. lucunter* desenvolvida (pluteus), respectivamente; (G) e (H) cultivo de *Nitokra* sp em incubadoras no Laboratório de Ecotoxicologia da Base Oceanográfica/UFES e fêmea ovada de *Nitokra* sp, respectivamente; (I) aferição dos parâmetros físico-químicos em ensaio de toxicidade com *Nitokra* sp; (J) ensaio de toxicidade com *Nitokra* sp e (K) ensaio com *Nitokra* sp fixado com formaldeído e o corante rosa de bengala; (L) exemplares de adultos de *P. vivipara* oriundos do sistema de cultivo do Biotério Aquático do Instituto de Ciências Biológicas - FURG.



Fonte: Cássia Nascimento.

Para a classificação ecotoxicológica dos ambientes amostrados, selecionou-se como resposta de toxicidade a Concentração de Efeito Observado (CEO), que corresponde à menor concentração de efeito observado. A CEO foi estimada para todos os ensaios, exceto para o ensaio com larvas de *D. rerio*, cujo valor de toxicidade considerado como Valor Crônico, estimado (VCest), que corresponde à  $CL_{15} * 0,3$  ( $CL_{15}$  é a concentração letal mediana para 15 % dos organismos). Para os ensaios agudos com *D. magna*, *D. rerio* adulto e *P. vivipara*, considerou-se a CEO como a menor concentração, onde se observa mortalidade dos indivíduos acima de 10%. Para os demais ensaios, obteve-se a CEO através de análise estatística, utilizando-se a análise de variância de uma via (ANOVA) seguida de teste de Dunnett's. A CEO ou o VCest foram convertidos para unidade tóxica (UT), a partir da equação:  $100/CEO$  ou  $100/VCest$  ( $CL_{15} * 0,3$ ), de forma a se obter uma relação linear positiva entre o valor de toxicidade e o efeito observado. Quando a concentração de efeito não observado (CENO) foi maior que 100% da concentração da amostra, consideramos a CEO como zero (0). Além da UT, obtida a partir da CEO ou VCest, levou-se em conta o grau de severidade da resposta observada (Quadro 10) e a sensibilidade dos organismos usados nos ensaios (Quadro 11). Valores maiores foram atribuídos para respostas mais severas e para organismos considerados como sendo mais sensíveis. A partir da multiplicação da UT pelos valores dos índices de severidade e sensibilidade, obteve-se o que denominamos como “valor de toxicidade” para cada ensaio, o qual foi confrontado com o índice representado no Quadro 12 para classificar a amostra desde não tóxica a muito tóxica. Adicionalmente, valores médios de toxicidade foram calculados para cada matriz para classificar a água e o sedimento dos pontos amostrados para os ensaios ecotoxicológicos no âmbito das campanhas 1 e 2 do Anexo 1 do PMBA.

Quadro 10: Índice de severidade seguindo resposta observada nos ensaios de toxicidade realizados com amostras das campanhas 1 e 2 do Anexo 1. O parâmetro mais tóxico é classificado com maior valor.

Resposta observada	Índice de severidade
Letal	2
Subletal (desenvolvimento, crescimento, fecundação e reprodução)	1

Quadro 11: Índice de sensibilidade dos organismos usados nos ensaios de toxicidade, com amostras das campanhas 1 e 2 do Anexo 1. Os valores são inversamente relacionados à sensibilidade dos **organismos**, sendo, portanto, o maior valor atribuído aos organismos mais sensíveis e o menor valor aos mais tolerantes.

Organismo-teste	Índice de sensibilidade
Plâncton (microalgas, microcústeos, embriões e larvas de peixes)	3
Peixes juvenis	2
Peixes adultos	1

Quadro 12: Classificação da amostra com relação ao valor de toxicidade.

Valor de Toxicidade	Classificação das Amostras
>100	Altamente tóxica
51 - 100	Tóxica
26 - 50	Moderadamente tóxica
2 - 25	Levemente tóxica
≤1 ou NE	Não tóxica

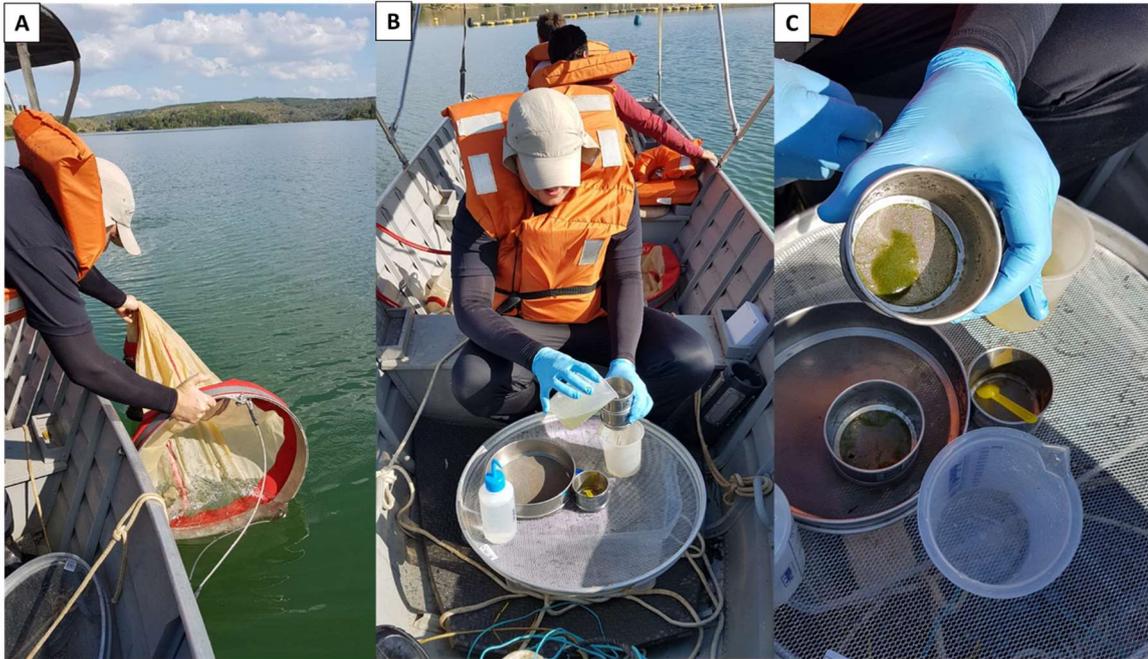
Fonte: Adaptado de Bulich, 1982.

## 2.6 COLETA DE AMOSTRAS DE BIOTA

Com o objetivo de avaliar possíveis efeitos biológicos decorrentes da contaminação da água por metais e consequente acumulação desses metais nos organismos de diferentes níveis tróficos e diferentes habitats, foram realizadas coletas de organismos típicos das regiões a serem monitoradas.

No ambiente de água doce, coletou-se amostras de fitoplâncton, zooplâncton, larvas de quironomídeos (apenas na segunda campanha), girinos de anfíbios, uma espécie de crustáceo (camarão de água doce) e quatro espécies de peixes (espécies originalmente previstas: tucunará *Cichla* sp., bagre *Pimelodus maculatus*, curimatá *Prochilodus* sp. e cascudo *Hypostomus affinis*). No ambiente estuarino (calha do Rio Doce próximo à sua foz), amostrou-se fitoplâncton, zooplâncton, uma espécie de crustáceo (camarão) e 4 espécies de peixes (espécies originalmente previstas: carapicu *Eucinostomus* sp., corvina *Pachyurus adspersus*, bicudo *Pomadasys ramosus* e bagre caçari *Genidens genides*). Nos pontos em que não tenha sido possível a coleta das espécies de peixes listadas acima, as mesmas acabaram sendo substituídas por outras espécies de peixes que ocupassem o mesmo habitat e o mesmo nicho trófico. Apanhou-se as amostras de fitoplâncton através de arrastos com rede de malha de 60 µm e diâmetro de boca de 60 cm (Figura 14). Por sua vez, as coletas de zooplâncton, de larvas de quironomídeos e de girinos de anfíbios, fez-se através de arrastos com rede tipo WP-2 de 60 cm de diâmetro de boca e malha de 200 µm. A coleta de crustáceos e peixes foi feita da forma mais abrangente possível, com utilização dos mais diversos petrechos de pesca (redes de cerco, redes de arrasto, redes de espera, puçás, peneiras e armadilhas do tipo covó), de acordo com o tipo de ambiente (Figura 15). A Figura 16 reúne imagens dos principais organismos coletados durante o monitoramento ecotoxicológico na estação seca (campanha 1 - Set/Out 2018) e chuvosa (campanha 2 - Jan/Fev 2019) na porção capixaba do Rio Doce, estuário e lagos adjacentes. A coleta de girinos e de larvas de quironomídeos prevista no Plano de Trabalho (TR4), durante a primeira campanha, não foi contemplada em sua totalidade e em todas as estações amostrais. Como os dados são incipientes, não serão apresentados no presente relatório, uma que vez estes organismos não ocorreram em todos os pontos da malha amostral pela sua baixa abundância no período seco do ano. Na segunda campanha (período chuvoso), um maior número larvas de quironomídeos pôde ser coletado, em todas as estações amostrais previstas no TR4.

Figura 14: Imagens representativas da amostragem de plâncton. A – C) Coleta e triagem de amostras de fitoplâncton e zooplâncton na Lagoa Juparanã, Linhares, ES durante a campanha de inverno (campanha 1 - Set/Out 2018).



Fonte: Carlos Eduardo Delfino Vieira.

Figura 15: Amostragem de peixes, girinos, larvas de quironomídeos e crustáceos: (A). Rede de espera; (B). Rede de cerco; (C), tarrafa; (D). Triagem de sedimento e material orgânico para coleta de quironomídeos; (E) e (F). coleta de camarões com o auxílio de peneiras.



Fonte: Carlos Eduardo Delfino Vieira.

Para as análises das concentrações de metais nos organismos do Rio Doce e região estuarina, apanhou-se, em cada um dos 10 pontos de monitoramento, amostras em quantidades suficientes para a realização das análises [5 *pools* de fitoplâncton com aproximadamente 0,5 g em cada *pool*; 5 *pools* de zooplâncton com aproximadamente 0,5 g em cada *pool*; 5 *pools* de larvas de quironomídeos com aproximadamente 0,5 g em cada *pool*; 5 *pools* de girinos de anfíbios com aproximadamente 0,5 g em cada *pool*; 6 exemplares da espécie de camarão (Nota Técnica nº 3/2017/CTBio/DIBIO/ICMBio); e 6 exemplares de cada uma das 4 espécies de peixes em estudo (Nota Técnica nº 3/2017/CTBio/DIBIO/ICMBio)]. Após a biometria, anestesiámos os crustáceos, adequadamente. A hemolinfa de cada indivíduo, coletada por punção hemolinfática e o organismo foi então dissecado para coleta de músculo, brânquias e hepatopâncreas. Com relação aos peixes, após a biometria, os mesmos adequadamente anestesiados e coletamos o sangue de cada indivíduo por punção venosa, sendo o organismo posteriormente dissecado para a coleta de músculo, brânquias e fígado. As amostras de hemolinfa dos crustáceos e de sangue dos peixes foram imediatamente preparadas para as análises de biomarcadores de dano no material genético, conforme será descrito posteriormente.

Figura 16: Fotos das espécies coletadas ao longo da porção capixaba da bacia do Rio Doce, estuário e áreas adjacentes durante monitoramento ecotoxicológico realizado na primeira campanha (setembro e outubro/2018). A = cascudo (*Hypostomus* sp.); B = tucunaré (*Cichla* sp.); C = mandi-amarelo (*Pimelodus maculatus*); D = curimatá (*Prochilodus vimboides*); E = bagre cumbaca (*Trachelyopterus striatulus*); F = lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax* sp.); G= traíra (*Hoplias malabaricus*), H= acará (*Geophagus brasiliensis*); I = pacu manchado (*Metynnis maculatus*); J= cascudo chinelo (*Loricariichthys castaneus*); K= piranha vermelha (*Pygocentrus nattereri*); L= caçari (*Genidens genidens*); M = carapeba (*Eucinostomus* sp.); N = peixe-galo (*Selene vomer*); O= tamboatá (*Hoplosternum litoralle*); P= ticupá (*Pomadasys ramosus*); Q = espécie de girino; R = *Macrobrachium acanthurus*; S= *M. jelskii*; e T = *M. amazonicum*.



Fonte: Carlos Eduardo Delfino Vieira.

No caso dos pontos amostrais localizados na foz do Rio Doce e região costeira adjacente, sempre que possível, coletou-se os seguintes organismos, em cada um dos 25 pontos de amostragem: fitoplâncton (coleta com rede de fitoplâncton); zooplâncton (coleta com redes de zooplâncton); macrocrustáceos (coleta com rede de arrasto ou armadilha); peixes (coleta com redes de arrasto, emalhe ou outra arte de pesca). As espécies de macrocrustáceos incluíram o camarão-rosa (*Farfantepenaeus paulensis* ou *F. brasiliensis*) e o camarão sete barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*). Por sua vez, as espécies de peixes incluíram o roncadour *Conodon nobilis*, a pescadinha *Cynoscion* sp., o peroá *Balistes caprisacus* e o linguado sem mancha. Caso não tenha sido possível a coleta destas espécies de peixes, substituiu-se as mesmas por outras espécies de peixes que já foram coletadas e analisadas nas 5 expedições de pesquisa e monitoramento ecotoxicológico promovidas pelo ICMBio (janeiro/2016 - fevereiro/2018), na foz do Rio Doce e região costeira adjacente. Quanto às amostras de corais e hidrocorais (coleta manual por mergulho autônomo), apanhou-se nos quatro pontos amostrais na região de Abrolhos, conforme realizado nas 5 expedições de pesquisa e monitoramento ecotoxicológico promovidas pelo ICMBio

(janeiro/2016 - fevereiro/2018) na foz do Rio Doce e região costeira adjacente. Em alguns pontos amostrais na Campanha Marinha não foram coletados peixes e camarões no número previsto ( $n=6$ ) ou não foram encontrados na estação amostral estabelecida. Exemplares de poliquetas e moluscos também não coletados nas campanhas marinhas 1 e 2, devido às dificuldades metodológicas durante a coleta e triagem minuciosa do sedimento nas condições da embarcação. Cabe mencionar que estes organismos já não haviam sido encontrados nas expedições anteriores ao PMBA.

Para as análises de concentrações de metais nas amostras dos organismos da Foz do Rio Doce e região costeira adjacente, em cada ponto de monitoramento, coletou-se amostras em quantidade suficiente para a realização das análises. Considerando a decisão da Câmara Técnica de Biodiversidade (Nota Técnica nº 3/2017/CTBio/DIBIO/ICMBio) em adotar um número reduzido de exemplares de crustáceos e peixes dulcícolas e estuarinos para as análises das concentrações de metais e dos biomarcadores. A necessidade, para fins de análise e modelagem estatística, de balanceamento entre o número de amostras a serem analisadas nos diferentes ambientes (dulcícolas, estuarinos, marinhos, praias e manguezais); a viabilidade de aplicação de modelos estatísticos empregados em ecotoxicologia, bem como os resultados positivos obtidos com o número amostral, já utilizado anteriormente nas 5 expedições de pesquisa e monitoramento ecotoxicológico promovidas pelo ICMBio (janeiro/2016 - fevereiro/2018) na foz do Rio Doce e região costeira adjacente. Sendo assim, adotou-se os seguintes números de amostras: fitoplâncton (5 amostras por ponto de coleta, sendo cada amostra constituída de *pools* de no mínimo 3 arrastos diferentes com duração entre 10 e 15 min); zooplâncton (5 amostras por ponto de coleta, cada amostra constituída de *pools* de no mínimo 3 arrastos diferentes com duração entre 10 e 15 min); hidrocorais (6 fragmentos de *Millepora alcicornis* por ponto de coleta); corais (6 fragmentos de *Mussismilia harttii* por ponto de coleta); macrocrustáceos (6 indivíduos por ponto de coleta e por espécie); peixes (6 indivíduos por ponto de coleta e por espécie). Após a biometria, os crustáceos foram adequadamente anestesiados. Logo após, coletou-se a hemolinfa de cada indivíduo e dissecou-se o organismo para coleta de músculo, brânquias e hepatopâncreas. Por sua vez, os peixes, também, adequadamente anestesiados. O sangue de cada indivíduo fora coletado e o organismo foi, então, dissecado para coleta de músculo, brânquias e fígado. Da mesma forma que descrito para as amostras oriundas da foz do Rio Doce e região costeira adjacente, as amostras de hemolinfa dos crustáceos e de sangue dos peixes, preparou-se, então, imediatamente, para as análises de biomarcadores de dano no material genético, conforme será descrito posteriormente. A Figura 17 apresenta imagens de alguns organismos apanhados, durante a primeira campanha (setembro e outubro de 2018) na foz do Rio Doce e região costeira adjacente.

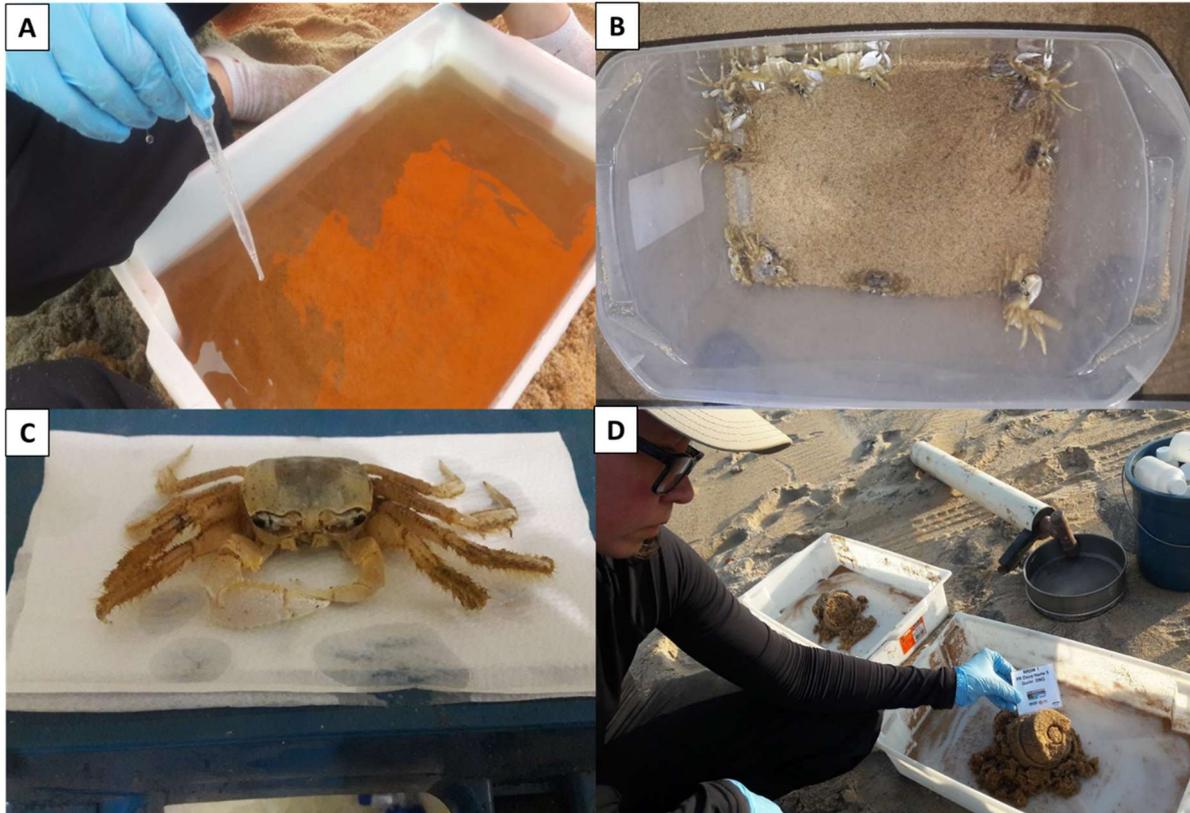
Figura 17: Imagens de organismos coletado durante o monitoramento marinho. A) Camarão Sete Barbas (*Xiphopenaeus kroyer*), coletado com rede de arrasto de fundo em estação amostral localizada na área da Foz do Rio Doce. B e C) Peixes coletados com rede de arrasto de fundo em estação amostral localizada próximo à cidade de Vitória. D) Coleta de sangue de Peroá (*Balistes capriscus*), coletado com rede de arrasto de fundo. E) Dissecção de um exemplar de peixe para coleta de órgãos internos. F) Mergulho para coleta de corais e hidrocorais em estação amostral localizada dentro da área do Parque Nacional Marinho de Abrolhos.



Fonte: Joseane Marques e Mariana Angonese.

No ambiente praial, coletamos nos 10 pontos de amostragem, os seguintes organismos: 1 espécie de poliqueto (triagem manual do sedimento; 6 indivíduos por ponto de coleta), 1 espécie de anfípodo (triagem manual do sedimento; 5 *pools* por ponto de coleta; no mínimo 5 indivíduos por *pool*), o isópodo *Excirolana* sp. (triagem manual do sedimento; 5 *pools* por ponto de coleta; no mínimo 5 indivíduos por *pool*) e o caranguejo *Ocypode quadrata* (coleta manual; 6 indivíduos por ponto de coleta). Após a biometria, os crustáceos foram adequadamente anestesiados. A hemolinfa de cada indivíduo foi coletada e o organismo, então, dissecado para retirada de músculo, brânquias e hepatopâncreas. As amostras de hemolinfa seguiram, imediatamente, para a preparação para as análises de biomarcadores de dano no material genético, conforme será descrito posteriormente. A Figura 18 reúne imagens dos principais organismos coletados durante o monitoramento ecotoxicológico na estação seca (campanha 1 - Set/Out 2018) e chuvosa (campanha 2 - Jan/Fev 2019) na região praiial adjacente à foz do Rio Doce.

Figura 18: Imagens da coleta de organismos durante o monitoramento de praias. A) Pesquisadora coletando microcrustáceos na praia de Urussuquara (Linhares, ES). B) Exemplos de *Ocypode quadrata* (Maria-farinha) coletadas em Pontal do Ipiranga (Linhares, ES). C) *Ocypode quadrata* coletado em Pontal do Ipiranga (Linhares, ES). D) Coleta de Sedimento na Praia de Guriri (São Mateus, ES).



Fonte: Cinthia Carneiro da Silva e Patrícia Costa.

Nos manguezais, apanhamos caranguejos guaiamu (*Cardisoma guanhumí*) e caranguejos-uçá (*Ucides cordatus*) nos pontos de amostragem, conforme os procedimentos descritos no Apêndice V (*Estudo e monitoramento de manguezais - Alterações Ecológicas na Dinâmica dos Manguezais sob influência dos sedimentos provenientes do Rio Doce: Barra Nova a Aracruz*). Para os manguezais de franja sobre lateritos do Revis de Santa Cruz, foram coletadas espécies de crustáceos decápodes predominantes naqueles ambientes. Considerando os mesmos argumentos apresentados para as coletas de organismos na foz do Rio Doce e região costeira adjacente, o número mínimo amostral ( $n \geq 5$ ) estabelecido no Anexo 5 do TR4, para as amostragens de caranguejos nos manguezais, foi aumentado para 6 indivíduos para cada espécie em cada ponto amostral. Durante a execução do monitoramento, houve a necessidade de inclusão de uma nova espécie (apenas para o ponto na foz do Rio Doce), pertencente ao mesmo nível trófico das outras, conhecida popularmente como caranguejo vermelho (*Goniopsis cruentata*) ( $n=6$ ). A inclusão desta nova espécie se deve ao fato da inexistência de *U. cordatus* no ponto referente à foz do Rio Doce. Após a biometria, os caranguejos foram adequadamente anestesiados, a hemolinfa de cada indivíduo coletada e o organismo dissecado para coleta de músculo, brânquias e hepatopâncreas. As amostras de hemolinfa, imediatamente preparadas, seguiram para as análises de biomarcadores de dano no material genético, utilizando-se pelo menos duas técnicas de

avaliação, conforme será descrito posteriormente. A Figura 19 apresenta imagens da coleta de organismos durante o monitoramento de manguezais.

Figura 19: Imagens da coleta de organismos durante o monitoramento de manguezais. A) Imagem de uma toca de caranguejos com um indivíduo ao fundo no manguezal do Rio São Mateus em Conceição da Barra, ES. B) procedimento de coleta de hemolinfa em um exemplar macho de *Ucides cordatus* em Caravelas BA. C) Exemplar do caranguejo *Cardissoma guanhamu* recém capturado pelo catador. D) Foto mostrando um das estações amostrais de caranguejos localizado na foz do Rio Doce em Regência, Linhares, ES.



Fonte: Márcio Geihs e Liziane Cardoso Marube.

Todas as amostras biológicas coletadas nos quatro ambientes (dulcícola, marinho, praiial e manguezal) foram acondicionadas em frascos plásticos previamente limpos com ácido nítrico Suprapur® e enxaguados em água MilliQ. Estas amostras, imediatamente congeladas, seguiram para o transporte para o laboratório, onde mantiveram-se congeladas em freezer comum (-20 °C) até o momento das análises de metais. Nestas amostras, analisou-se os seguintes elementos: arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), mercúrio (Hg) e zinco (Zn), conforme será descrito posteriormente. As amostras dos organismos coletados para as análises de biomarcadores foram acondicionadas em tubos criogênicos e congeladas em nitrogênio líquido (em campo) e freezer -80°C (após serem transportadas para o laboratório), para posterior análise de biomarcadores de exposição e de efeito de metais. Realizou-se as análises dos biomarcadores realizadas em tecidos específicos dos organismos, considerando-se a natureza de cada biomarcador, conforme detalhado mais adiante.

## 2.7 AVALIAÇÃO DA MICROBIOTA NA ÁGUA, SEDIMENTO E CORAIS

O monitoramento da comunidade microbiana total em amostras de água, sedimento e associada aos corais, foi coletada, utilizando-se triplicatas das amostras em cada ponto de coleta. Realizamos as coletas de água e sedimento nos 10 pontos de amostragem do Rio Doce e lagos adjacentes no estado do Espírito Santo (Quadro 1) e nos 25 pontos de amostragem na foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Quadro 2). Por sua vez, apanhamos as amostras de corais, nos quatro pontos de monitoramento na região de Abrolhos, incluindo um recife-controle, fora de possíveis rotas de dispersão dos sedimentos. Logo após, realizamos a análise da microbiota total em amostras de água, sedimento e associada aos corais, através da extração do DNA total, utilizando o *PowerSoil DNA isolation kit* (MoBio, USA), e posterior sequenciamento de DNA, utilizando-se sequenciadores de nova geração. As leituras geradas e processadas, utilizando o programa *Mothur* v.1.33. A análise das sequências obtidas permitiu a avaliação do core microbiano e os microrganismos presentes nas diferentes amostras, nos diferentes pontos e nas diferentes campanhas, correlacionando estatisticamente os resultados de diversidade microbiana obtidos, com as demais análises realizadas no programa de monitoramento. Essa avaliação é importante não apenas para indicar possíveis alterações ambientais temporais e/ou pontuais, como ainda para apontar bioindicadores microbianos específicos da presença de sedimento e/ou de impactos nas diferentes áreas amostradas, que podem ser rastreados em áreas adjacentes.

## 2.8 COLETA DE AMOSTRAS DE AVES

O monitoramento ecotoxicológico das aves está baseado em determinações laboratoriais das concentrações de metais e de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio em amostras de sangue e penas de contorno de aves capturadas vivas; ou através de determinações laboratoriais das concentrações de metais e de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio em amostras de sangue, músculo peitoral, fígado, penas de contorno e osso, bem como do conteúdo estomacal de aves abatidas ou encontradas mortas.

Conforme definido no Plano de Trabalho, o monitoramento ecotoxicológico das aves foi realizado sazonalmente. No presente relatório, estão descritos os resultados obtidos a partir das análises das amostras de aves coletadas no período seco (setembro-outubro/2018) e no período chuvoso (janeiro/2019).

As atividades de campo para coleta das amostras de aves foi realizada pela TEIA – Projetos Ambientais Ltda, em regiões estuarinas, manguezais e costeiras, nos municípios de Aracruz, Linhares e São Mateus, no estado do Espírito Santo (Figura 8). A execução destas atividades foi realizada conforme o contrato nº 032/2018 celebrado com a Fundação de Apoio à Universidade do Rio Grande (FAURG), através do Processo Licitatório nº 462/2018 – Dispensa de Licitação, art. 24, XXI.

Realizou-se as capturas e coletas das aves nos locais amostrados, conforme Autorização para atividades com finalidade científica, emitida pelo ICMBio/MMA (nº 64261-1 e nº 64261-2), com revalidação prevista para 01/12/2019. A presente autorização contempla a coleta de no máximo 20

aves em cada uma das 3 áreas amostradas. Para as amostras de penas e sangue, poderia ser coletado independentemente do método de coleta, um máximo de 60 espécimes por ano, considerados todas as localidades e estações do ano. Assim que a meta das amostras coletadas foi atingida, a amostragem foi interrompida. Além disso, as capturas e coletas das aves, do presente, estudo foram realizadas conforme o Certificado P036/2018 da Comissão de Ética em Uso Animal (CEUA) da Universidade Federal do Rio Grande - FURG.

A coleta de amostras foi realizada conforme os hábitos alimentares das aves relacionadas aos ambientes de estuário, manguezais e litoral, em três áreas amostrais: estuário do Rio Doce - Linhares (ES); manguezal na foz do Rio Piraquê-açu – Aracruz (ES); e praias da costa adjacente à foz do Rio Doce Norte e Sul (Figura 8). A representatividade das amostras seguiu os exemplos e prioridades estabelecidas no Plano de Trabalho do Anexo 1 - Ecotoxicologia (Quadro 13). Porém, quando não se observou a ocorrência de representante de uma determinada guilda, esta foi substituída por outras guildas, desde que seus representantes possuíssem hábitos alimentares relacionados em ambientes dulcícola e estuarino, nos ambientes de estudo (estuário, manguezais e praias). Com isso, optou-se por substituir espécies de aves que contemplavam algumas guildas tróficas (i.e. filtradores e malacófagos) e que, de fato, não ocorreram em certas áreas amostradas, por outras espécies com representatividade em seus hábitos alimentares, tais como: onívoros, consumidores de invertebrados, pequenos vertebrados e frutos [exemplos: Cuculidae (*Crotophaga major*), Tyrannidae (*Pitangus sulphuratus*); Mimidae (*Mimus gilvus*); Thraupidae (*Conirostrum bicolor*); e Icteridae (*Icterus jamacaii*)] e insetívoros, consumidores de insetos aquáticos e terrestres [exemplos: Dendrocolaptidae (*Dendroplex picus*); Tyrannidae (*Fluvicola nengeta*); Furnariidae (*Furnarius figulus* e *Certhiaxis cinnamomeus*); Hirundinidae (*Tachycinetta albiventer* e *Stelgidopteryx ruficollis*); e Caprimulgidae (*Nannochordeiles pusillus*)]. As espécies aqui citadas possuem associação com ambientes de mangue, restinga, corpos d'água e/ou podem estar presentes em ambientes dulcícola e estuarino (SICK, 1996; SIGRIST, 2006). Metodologias específicas para a captura de cada espécie ver item 3.6 na seção Resultados.

Quadro 13: Lista das famílias de aves estuarinas, de manguezais e da região costeira previstas para serem amostradas no monitoramento de contaminantes, com seu respectivo hábito alimentar e exemplo de espécies a serem priorizadas quando presentes na área amostral.

Hábito Alimentar/Guilda Trófica	Famílias	Espécies priorizadas
Invertebrados aquáticos, ovos e larvas de anfíbios, pequenos vertebrados e de origem vegetal.	Anseridae, Rallidae, Charadriidae, Scolopacidae	<i>Charadrius collaris</i> , <i>Actitis macularius</i> , <i>Aramides saracura</i> , <i>Gallinula galeata</i>
Filtradores, plantas aquáticas e invertebrados	Anatidae	<i>Dendrocygna autumnalis</i> , <i>Dendrocygna viduata</i> , <i>Amazonetta brasiliensis</i>
Peixes e invertebrados aquáticos	Podicipedidae, Ardeidae, Cerylidae	<i>Egretta caerulea</i> , <i>Egretta thula</i> , <i>Chloroceryle americana</i>
Piscívoras	Phalacrocoracidae, Sternidae, Rhynchopidae, Alcedinidae	<i>Phaetusa simplex</i> , <i>Rynchops niger</i>

No presente monitoramento, foram conduzidas análises das concentrações de chumbo (Pb), cromo (Cr), cobre (Cu), cádmio (Cd), arsênio (As), ferro (Fe), manganês (Mn) e mercúrio (Hg) nas amostras de penas e sangue das aves amostradas nas duas campanhas do PMBA/RRDM. Os procedimentos adotados para as análises das amostras estão descritos em detalhe no Plano de Trabalho do Anexo 1 do PMBA/RRDM. Os limites de detecção e de quantificação do método utilizado estão apresentados na Quadro 14.

Quadro 14: Limite de detecção e limite de quantificação do método utilizado no presente estudo para a determinação das concentrações de metais nos tecidos (pena e sangue) das aves.

<b>Metal</b>	<b>LDi µg/L</b>	<b>LQi µg/L</b>
Mn	0,015	0,050
Cu	0,015	0,050
Cr	0,001	0,004
Pb	0,023	0,075
Cd	0,001	0,004
Hg	0,009	0,030
As	0,015	0,050
Zn	0,015	0,050

## 2.9 ANÁLISES DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS NAS AMOSTRAS DE ÁGUA, SEDIMENTO E BIOTA

A análise das concentrações dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn e Zn, nas amostras de água, sedimento, invertebrados (indivíduos inteiros ou tecidos), peixes (tecidos) e aves (tecidos) foram realizadas, utilizando-se forno de grafite acoplado a espectrômetro de absorção atômica de alta resolução com fonte contínua. Por sua vez, realizou-se a análise da concentração de Hg nestas amostras pelo método de vapor frio, utilizando-se um espectrômetro de absorção atômica (AAS) ou de fluorescência atômica (AFS; Mercur; Analytik-Jena). Para as análises de As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn e Zn, as amostras de água filtradas e não filtradas oriundas dos pontos amostrais da Foz do Rio Doce e região costeira adjacente foram dessalinizadas, a fim de minimizar um possível "efeito matriz" associado às altas concentrações de íons presentes na água salgada (Nadella et al., 2009). As concentrações totais e dissolvidas dos metais nas amostras de água estão expressas em µg/L e comparadas com a Resolução CONAMA 357/2005 (CONAMA, 2005), respeitando-se o tipo (água doce, salobra ou marinha) e as classes de qualidade de cada amostra de água em análise. Para verificar a acurácia e exatidão das análises, foram realizados controles de qualidade analíticos. Para tal, analisamos "brancos", onde todos os procedimentos para a preparação e análise das amostras foram igualmente realizados, porém na ausência da amostra. Além disso, utilizou-se as soluções padrão, certificadas do Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá (NRCC) para os metais analisados nos diferentes tipos de águas (NASS-6: água marinha; SLEW-3: água salobra; SLRS-6: água doce).

As amostras de material biológico foram previamente secas em estufa (45-60°C) até peso seco constante e digeridas em ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) ultrapuro (Suprapur®, Merck) na proporção de 1 g de peso seco de material biológico para 2 mL de ácido nítrico e, assim, o teor de água, para cada amostra, calculado. Dessa maneira, submeteu-se as amostras à digestão ácida lenta em tubos plásticos tipo Eppendorf, os quais foram devidamente lacrados e mantidos em estufa incubadora (45-60°C) até a completa digestão das mesmas. As concentrações dos elementos no material biológico foram expressas em µg/g de peso úmido (mg/kg de peso úmido) ou µg/g de peso seco (mg/kg de peso seco).

Tratou-se as amostras de sedimento com digestão ácida, conforme os procedimentos descritos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 1996). As concentrações dos metais no sedimento, expressas em µg/g de peso úmido (mg/kg de peso úmido) ou µg/g de peso seco (mg/kg de peso seco), a fim de verificar a acurácia e exatidão das análises, foram realizados controles de qualidade analíticos. Para tal, foram analisados "brancos", onde todos os procedimentos para a preparação e análise das amostras, igualmente, realizados, porém na ausência da amostra. Além disso, utilizamos material de referência certificado do Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá (NRCC) para os metais a serem analisados (MESS-4). Amostras deste material foram tratadas e analisadas da mesma forma que as amostras de sedimento coletadas no monitoramento, conforme descrito anteriormente.

## 2.10 ANÁLISES DE BIOMARCADORES EM AMOSTRAS DE PLÂNCTON, INVERTEBRADOS E PEIXES

Biomarcadores são alterações biológicas que expressam a exposição e os efeitos tóxicos dos poluentes presentes no ambiente e podem ser mensuradas em nível molecular, celular ou fisiológico (Walker et al., 1996). Portanto, os biomarcadores selecionados para um programa de monitoramento ambiental devem detectar a exposição do organismo aos contaminantes, através de qualquer alteração biológica mensurável (biomarcadores de exposição) e/ou a magnitude de resposta do organismo aos contaminantes (biomarcadores de efeito). Assim, os biomarcadores foram analisados de forma seletiva nas amostras de plâncton, invertebrados e peixes coletados no presente programa de monitoramento, considerando-se os potenciais efeitos biológicos dos metais (desequilíbrio iônico e osmótico, inibição enzimática, oxidação de biomoléculas, e danos morfológicos) nos respectivos tecidos e organismos a serem analisados. Ademais, a quantidade de amostra disponível para a realização das análises em questão e os resultados já obtidos nas 5 expedições de pesquisa e monitoramento ecotoxicológico promovidas pelo ICMBio (janeiro/2016 - fevereiro/2018), na foz do Rio Doce e região costeira adjacente. As metodologias empregadas para as análises dos biomarcadores listados no Quadro 15 encontram-se descritas abaixo. Para fins de praticidade e rapidez na realização das análises e de precisão e reprodutibilidade dos dados, sempre que possível foram utilizados *kits* comerciais de reagentes específicos que utilizem metodologia semelhante àquelas descritas abaixo, para a determinação dos respectivos biomarcadores.

Quadro 15: Lista dos biomarcadores analisados nas amostras de organismos coletados nas diferentes áreas de monitoramento.

<b>Amostra biológica</b>	<b>Biomarcador</b>
Fitoplâncton	Concentração de metalotioneínas (exposição) Peroxidação lipídica (efeito)
Zooplâncton	Concentração de metalotioneínas (exposição) Peroxidação lipídica (efeito) Composição iônica corporal (efeito)
Larvas de quironomídeos	Concentração de metalotioneínas (exposição) Composição iônica corporal (efeito) Atividade da Na,K-ATPase (efeito)
Girinos de anfíbios	Concentração de metalotioneínas (exposição) Composição iônica corporal (efeito) Atividade da Na,K-ATPase (efeito)
Poliquetos, anfípodos, isópodos e moluscos	Concentração de metalotioneínas (exposição) Peroxidação lipídica (efeito)
Hemolinfa de camarões dulcícolas e estuarinos	Composição iônica hemolinfática (efeito) Danos de DNA (efeito)
Hemolinfa de camarões marinhos e de caranguejos de manguezais e de praias.	Danos de DNA (efeito)
Brânquias de camarões dulcícolas e estuarinos	Atividade da Na,K-ATPase (efeito) Peroxidação lipídica (efeito)
Brânquias de camarões marinhos e de caranguejos de manguezais e de praias	Peroxidação lipídica (efeito)
Hepatopâncreas de camarões e caranguejos	Concentração de metalotioneínas (exposição) Peroxidação lipídica (efeito)
Sangue de peixes	Composição iônica plasmática (efeito) Danos de DNA (efeito) Desreguladores endócrinos (efeito)
Brânquias de peixes	Atividade de enzimas antioxidantes (efeito) Atividade de enzimas do metabolismo energético (efeito) Danos morfológicos (efeito)
Fígado de peixes	Concentração de metalotioneínas (exposição) Peroxidação lipídica (efeito) Atividade de enzimas antioxidantes (efeito) Atividade de enzimas do metabolismo energético (efeito) Danos morfológicos (efeito)
Músculo de camarões, caranguejos e peixes	Oxidação de proteínas (efeito)
Corais e hidrocorais	Peroxidação lipídica (efeito) Atividade de enzimas envolvidas na calcificação (efeito)

### **2.10.1 Concentração de metalotioneínas (MT)**

A determinação da concentração de metalotioneínas nas amostras especificadas no Quadro 15 foi realizada por meio de um *kit* comercial de reagentes (*Fish Metallothionein ELISA Kit*, fornecido pela MyBiosource), cujo princípio de análise utiliza um método espectrofotométrico em microplaca. Os procedimentos analíticos para determinação da concentração de MT seguiram aqueles descritos pela fabricante. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{g MT/mg}$  proteína.

### **2.10.2 Atividade da Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>-ATPase (NKA)**

Preparou-se as amostras de material biológico para a determinação da atividade da Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>-ATPase, com base nos procedimentos descritos por Péqueux e Chapelle (1982), e as amostras foram homogeneizadas em tampão SI (sacarose - Imidazol em pH 7,6) e centrifugadas (5.000 rpm, 5°C, por 5 min). O sobrenadante obtido foi coletado para determinação da atividade da Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>-ATPase, a e determinada utilizando-se um método colorimétrico. Para tal, foram usados 100  $\mu\text{L}$  do sobrenadante do homogeneizado, onde foram adicionados 2,5 mL de uma solução salina A contendo 77 mM de NaCl, 20 mM de KCl, 6 mM de MgCl<sub>2</sub> e 3 mM de ATP. O pH da solução foi ajustado a 7,6 com tampão Tris-HCl 0,1 mM. Incubamos as amostras, durante 60 min a 25°C no escuro. A mesma reação foi realizada com 100  $\mu\text{L}$  de sobrenadante e 2,5 mL de uma solução salina B contendo 83 mM de NaCl, 6 mM de MgCl<sub>2</sub>, 3 mM de ATP e 1 mM de ouabaína. Ambas as reações, mantidas por 1 h, quando então foram paradas pela adição de ácido tricloroacético 50%. A quantidade de fósforo produzido em cada reação foi determinada utilizando-se um *kit* de reagentes específicos para a determinação do fósforo e a leitura foi realizada a 620 nm. A diferença na produção de fósforo entre as duas reações realizadas acima foi então considerada como sendo aquela atribuída à atividade da Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>-ATPase. A concentração da proteína no homogeneizado, determinada colorimetricamente, com base no método de Bradford, usando-se albumina de soro bovino como padrão. Logo, a atividade da enzima foi expressa em mmoles Pi/mg proteína/hora.

### **2.10.3 Atividade de enzimas envolvidas na calcificação**

A preparação das amostras de fragmentos de coral para análise dos parâmetros de calcificação foi realizada macerando-se as amostras em nitrogênio líquido. Para cada análise, as amostras foram homogeneizadas em tampão específico (1:1; peso/volume) com o auxílio de um sonificador. As amostras homogeneizadas, centrifugadas (10.000 g, 20 min, 4°C) e o sobrenadante, coletado para as análises da atividade enzimática (Ca<sup>2+</sup>-ATPase, Mg<sup>2+</sup>-ATPase e anidrase carbônica). A quantificação de proteínas totais nas amostras homogeneizadas foi efetivada, baseando-se no método de Bradford.

A determinação da atividade da anidrase carbônica (AC) foi realizada medindo-se a redução de pH associada à catálise da hidratação do CO<sub>2</sub>, com a correspondente liberação de H<sup>+</sup> (Henry, 1991). O tampão utilizado para homogeneização das amostras foi constituído de Tris-Base (10 mM, pH 8,5), sacarose (75 mM), inibidor de proteases (fluoreto de fenilmetanosulfonil - PMSF 1 mM) e ditritioetitol (DTT 1 mM). Para isso, 15  $\mu\text{L}$  do homogeneizado foram adicionados a 3 mL de uma solução de reação composta por Tris-Base (10 mM, pH 8,5), sacarose (75 mM), manitol (225 mM) e fosfato (10 mM). Em seguida, adicionados 280  $\mu\text{L}$  de substrato (água destilada saturada com CO<sub>2</sub>) e o decréscimo de pH

registrado a cada 5 s, durante 30 s, com o auxílio de um pHmetro de bancada. Paralelamente, foram realizadas determinações do "branco de reação", onde 15 µL do tampão de homogeneização, adicionados à solução de reação e ao substrato. Utilizando-se o modelo de regressão linear (variável dependente: pH; variável independente: tempo) para determinar a declividade das retas de reação. Normalizou-se os resultados, considerando a quantidade de proteínas nas amostras e expressos em Unidades de anidrase carbônica/mg proteína.

A determinação das atividades da Ca<sup>2+</sup>-ATPase e da Mg<sup>2+</sup>-ATPase foi realizada utilizando-se o método descrito por Vajreswari et al. (1983), com modificações. O homogeneizado da amostra, preparado, utilizando-se tampão composto por Tris-HCl (100 mM, pH 7,6), sacarose (500 mM), DTT (1 mM) e PMSF (1 mM). O homogeneizado foi centrifugado (20 min, 10.000 g, 4°C) e 20 µL do sobrenadante foram utilizados para as análises. O meio de reação utilizado na análise da atividade da Ca<sup>2+</sup>-ATPase foi composto por NaCl (189 mM), MgCl<sub>2</sub> (5 mM), CaCl<sub>2</sub> (5 mM) e Tris-HCl (20 mM, pH 7,6). A incubação ocorreu a 30°C por 30 min. Por sua vez, o meio de reação utilizado na análise da atividade da Mg<sup>2+</sup>-ATPase foi composto por NaCl (189 mM), MgCl<sub>2</sub> (5 mM), EGTA (0.2 mM) e Tris-HCl (20 mM, pH 7,6). A incubação da reação, realizada a 30°C por 30 min. No início da incubação, ATP (3 mM) e ouabaína (1mM) foram adicionados aos meios de reação. Determinou-se a concentração de fosfato inorgânico (Pi) liberada pela atividade das enzimas no meio de reação foi, utilizando-se o método colorimétrico (630 nm). Os resultados foram normalizados considerando a quantidade de proteínas nas amostras e expressos em mM Pi/mg proteína/minuto.

#### **2.10.4 Composição iônica corporal, hemolinfática ou plasmática**

Para a determinação da composição iônica corporal, os microinvertebrados apanhados foram rapidamente (30 s) lavados em água tipo MilliQ, pesados, anestesiados e eutanasiados. Após 96 h de secagem em estufa (70°C), determinou-se o peso seco do material e foi digerido em ácido nítrico 65% (SupraPur®, Merck). Após completa digestão, as amostras foram apropriadamente diluídas para a análise da composição iônica (Ca, K, Mg e Na), a qual determinada por espectrofotometria de absorção atômica no modo chama. Por sua vez, a concentração de cloretos foi analisada, com auxílio de um *kit* comercial, pelo método de formação de cianeto férrico de enxofre. Os resultados foram expressos em mg/g de peso úmido. No que se refere à composição iônica hemolinfática e plasmática, analisadas nas amostras de hemolinfa (crustáceos) e sangue (peixes) que foram coletadas, durante o monitoramento, conforme descrito acima, tendo sido expressas em mg/L.

#### **2.10.5 Atividade das enzimas do metabolismo energético**

As atividades da lactato desidrogenase (LDH) e malato desidrogenase (MDH) foram analisadas em homogeneizados das amostras de brânquias e fígado dos peixes coletados durante o monitoramento dulcícola e marinho. Os homogeneizados, realizados por maceração mecânica em mistura de tampão fosfato de potássio pH 7,46 e inibidor de protease. Após centrifugação, o sobrenadante obtido foi utilizado para as análises das atividades da LDH e MDH. A avaliação da atividade de LDH foi realizada através do *kit* comercial Desidrogenase Láctica LDH UV® fornecida pelo Bioclin®. Para a determinação da atividade da MDH foram adicionados a alíquotas de sobrenadante dos homogeneizados uma

solução contendo ácido oxaloacético (0,4 mM), MgCl<sub>2</sub> (20 mM), NADH (150 µM) em tampão Tris-HCl (50 mM, pH 7,4). Os procedimentos para as análises enzimáticas são aqueles descritos pelo fabricante Bioclin® e Childress e Somero (1979) para LDH e MDH, respectivamente, e adaptada por Ribeiro et al. (2015). A taxa de oxidação de NADH na reação catalisada pelas enzimas foi determinada por espectrofotometria UV em 340 nm. A dosagem de proteínas totais dos homogeneizados foi efetivada pelo método de Bradford. As atividades enzimáticas foram expressas em Unidades enzimáticas/mg de proteína.

#### **2.10.6 Atividade de enzimas antioxidantes**

Analisou-se as atividades da catalase (CAT) e da superóxido dismutase (SOD), nos homogeneizados de tecidos preparados conforme descrito no item acima. A atividade da CAT foi determinada através da análise do decréscimo da concentração de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), conforme descrito por Aebi (1984). Por sua vez, a atividade da SOD foi medida através da taxa de inibição da auto-oxidação do pirogalol, de acordo com o protocolo de Marklund e Marklund (1974). A dosagem de proteínas totais dos homogeneizados foi efetivada pelo método de Bradford. As atividades enzimáticas foram expressas em Unidades enzimáticas/mg de proteína.

#### **2.10.7 Lipoperoxidação**

A peroxidação lipídica ou lipoperoxidação (LPO) foi determinada nas amostras do material biológico utilizando-se um método espectrofotométrico em microplaca, seguindo as recomendações do *kit* comercial *TBARS Assay Kit*, fornecido pela Chayman Chemical. Este método quantifica os danos em lipídios por meio da reação do malondialdeído (MDA), produto da peroxidação lipídica, com o ácido tiobarbitúrico. Esta reação ocorre em condições de acidez e alta temperatura (95°C), gerando um cromógeno fluorescente. A fluorescência gerada (excitação: 520 nm; emissão: 580 nm) foi medida utilizando-se um espectrofluorímetro. Calculamos os dados, com base em uma curva construída com soluções padrão de MDA e os resultados, normalizados em relação ao conteúdo de proteínas nas amostras, o qual foi determinado utilizando-se o método de Bradford e expressos em nmol MDA/mg proteína.

#### **2.10.8 Oxidação de proteínas**

Para fins de praticidade e rapidez na realização das análises, bem como de precisão e reprodutibilidade dos dados, os danos oxidativos em proteínas foram determinados de acordo com um *kit* comercial de reagentes *OxiSelect™ Protein Carbonyl Fluorometric Assay*, fornecido pela MyBiosource. Durante o ensaio, as proteínas carboniladas (oxidadas), inicialmente derivatizadas com um fluoróforo específico, que se liga ao grupo carbonila da proteína na proporção de 1:1. As proteínas foram precipitadas com ácido tricloroacético (TCA) e o fluoróforo livre removido após a lavagem do precipitado proteico com acetona. Após a solubilização do precipitado proteico em hidrocloreto de guanidina, a absorbância do produto proteína-fluoróforo foi determinada fluorimetricamente (emissão: 485; excitação: 538 nm), e o conteúdo de proteínas carboniladas, subseqüentemente calculado. Os resultados foram expressos em nmol PC/mg proteína.

### 2.10.9 Danos de DNA

O Anexo 1 do TR4 estipula a realização de, pelo menos, duas das cinco metodologias diferentes previstas avaliação de danos à molécula de DNA (detecção de sítios AP através de *kit* comercial, ensaio do vermelho neutro, teste de micronúcleo, ensaio cometa, e detecção de caspases por imunohistoquímica). Considerando que todas estas metodologias estão associadas ao mesmo biomarcador de efeito (danos ao DNA) e, portanto, fornecem dados semelhantes, as amostras coletadas, nos pontos mencionados anteriormente, foram testadas através de duas técnicas sensíveis, a análise de sítios AP e o teste do micronúcleo (MN).

Para a análise de sítios AP (sítios apurínicos/apirimídicos) no material genético, o DNA genômico foi previamente isolado, utilizando-se um *kit* de reagentes para isolamento de DNA (*DNA isolation kit*, fornecido pela PromoKine, Promocell©). A análise propriamente dita de sítios AP foi realizada, utilizando-se uma sonda capaz de reagir com o grupo aldeído destes sítios, a qual foi detectada por colorimetria (450 nm) em uma leitora de microplacas. Para tal, foi utilizado um *kit* de reagentes de detecção de dano de DNA, seguindo-se as instruções do fabricante (*DNA Damage Detection Kit*, fornecido pela Promokine, Promocell©; ou outro *kit* similar). Os resultados, expressos em sítios AP / 10<sup>5</sup> pares de bases (bp).

Para a avaliação do dano no material genético através do ensaio de micronúcleo (MN) foram utilizadas as amostras de hemolinfa dos crustáceos e de sangue dos peixes coletadas durante as campanhas, conforme descrito acima. Tais amostras, coletadas com seringas (1 mL), munidas de agulhas 21 gauge, para evitar danos às células e, logo, transferidas para tubos e centrifugados em microcentrifuga (1.000 rpm, por 5 min), com retirada de 50 µL com micropipeta, colocada junto ao fundo do tubo. Este volume de material foi gotejado na lateral da lâmina, sendo espalhado por esfregaço com outra lâmina. Para o sangue, as amostras foram diretamente colocadas sob a lâmina e espalhado por esfregaço com outra lâmina. O procedimento foi realizado individualmente, com a obtenção de três lâminas/indivíduo, as quais foram secas ao ar e fixadas com solução metanol, por cerca de 20 min, com nova secagem a temperatura ambiente. Em seguida, as lâminas, coradas com solução de Giemsa 2%, preparada em tampão fosfato pH 8,0 (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), também por 20 min. Após este procedimento, as lâminas foram lavadas com água deionizada, secas ao ar e montadas com lamínulas e Entellan® (Merck©). Posteriormente, examinou-se as lâminas, sob microscópio óptico comum, integrado a um sistema de análise de imagens por computador, com contagem das células micronucleadas pelo programa KS300® (Carl Zeiss, Alemanha) ou alternativamente o programa livre *ImageJ*. As três lâminas de cada indivíduo foram avaliadas em aumento de 1.000X, com avaliação de 1.000 células em cada lâmina, sendo, então, quantificado o número de células micronucleadas por 1.000 células analisadas (frequência em ‰). Entretanto, devido às dificuldades metodológicas enfrentadas no campo, durante o processamento das lâminas de hemolinfa, as mesmas não puderam ser devidamente analisadas, visto o baixo número de hemócitos e a integridade estrutural destas células, o que inviabilizou a apresentação do resultado de MN, para as espécies de crustáceos coletadas nos quatro ambientes distintos.

### 2.10.10 Danos morfológicos

Efeitos histopatológicos foram avaliados nas amostras de brânquias e fígado dos peixes coletados durante o monitoramento, conforme descrito acima. Fragmentos de fígado e brânquias foram imersos em solução de Bouin por 8 h, desidratados em concentrações crescentes de álcool, diafanizados em xilol e incluídos em *paraplast*. O material foi seccionado em micrótomo rotativo. As secções obtidas foram coradas com hematoxilina/eosina e tricômio de Mallory. Algumas lâminas foram submetidas à técnica de coloração PAS, para isso, banhadas em ácido periódico 1% por 10 min, lavadas em água destilada e mergulhadas em Reativo de Schiff, por 20 min. Em seguida, efetivou-se uma nova lavagem em água corrente por 10 min, seguida de coloração com hematoxilina de Harris, por 3 min, lavagens em água destilada, desidratação e montagem. As alterações de fígado e brânquia foram determinadas de acordo com o método proposto por Bernet e colaboradores (1999). Esse método, baseia-se na relevância patológica e na extensão das lesões observadas nos órgãos analisados. As alterações foram classificadas em cinco padrões de reação e cada lesão possui um grau de importância (Quadro 16). O Índice do Órgão (Iorg) representa o grau de dano apresentado pelo órgão e foi calculado pela fórmula:  $I_{org} = \sum r_p \sum a_l t (a \times w)$ , onde:  $r_p$  = padrão de reação,  $a_l t$  = alteração,  $a$  = extensão da lesão e  $w$  = grau de importância. Já o Índice de Reação (Irp), avalia a gravidade das alterações identificadas e foi obtido pelo somatório do produto da multiplicação do tamanho da lesão pela relevância patológica ( $I_{rp} = \sum a_l t (a \times w)$ , onde  $r_p$  = padrão de reação,  $a_l t$  = alteração,  $a$  = extensão da lesão e  $w$  = grau de importância).

Quadro 16: Classificação das alterações histopatológicas do fígado e brânquia quanto ao tipo de lesão e grau de importância de acordo com Bernet et. al (1999).

<b>Alterações histopatológicas hepáticas e branquiais</b>	<b>Grau de importância</b>
<b>1. Distúrbios circulatórios</b>	
Aneurisma	I
Congestão de vasos sanguíneos	I
Congestão de sinusóide	I
<b>2. Mudanças regressivas</b>	
Alterações citoplasmáticas	I
Inclusões citoplasmáticas	I
Descamação do epitélio	I
Deslocamento da lamela primária	I
Fusão das lamelas secundárias	I
Alterações nucleares	II
Atrofia	II
Necrose	III
<b>3. Mudanças progressivas</b>	
Hipertrofia	II
Hiperplasia das células interlamelares	I
<b>4. Inflamação</b>	
Centro de Melanomacrófagos	I
Infiltração de leucócitos	II
<b>5. Tumor</b>	
Benigno	II
Maligno	III

Fonte: Modificado de Bernet et al. (1999).

#### **2.10.11 Biomarcadores de desregulação endócrina**

Também foram realizadas análises de biomarcadores de desregulação endócrina: vitelogenina (Vtg) e proteínas da zona radiata (Zrp), em amostras de plasma sanguíneo dos peixes coletados durante o monitoramento. Para fins de praticidade e rapidez na realização das análises, bem como de precisão e reprodutibilidade dos dados, foi utilizado um *kit* comercial de reagentes (*Semi-Quantitative Biomarker ELISA Component Kit For Fish Samples*, Cayman Chemical, Ann Harbour, MI, EUA), cujo princípio de análise utiliza um método espectrofotométrico em microplaca.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 META 1: MONITORAMENTO ECOTOXICOLÓGICO DO RIO DOCE NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO E ESTUÁRIO

##### 3.1.1 Parâmetros físico-químicos na água do Rio Doce no estado do Espírito Santo e estuário

Os parâmetros físicos da água, tais como temperatura (°C), salinidade (‰), condutividade elétrica (µS/cm), pH e oxigênio dissolvido (mg/L), foram aferidos nos dez pontos amostrados no Rio Doce, estuário e lagoas adjacentes na campanha 1 (Setembro/Outubro 2018), por meio do analisador multiparâmetro AKSO AK88 (Tabela 1) e do analisador multiparâmetro YSI (*Professional Plus*), na campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) (Tabela 2). O modelo de multiparâmetro YSI não prevê a medida da salinidade e, conseqüentemente, não serão apresentados tais valores nos dados da segunda campanha. A ausência desse parâmetro não traz prejuízo à análise, visto que salinidade e condutividade elétrica são medidas equivalentes.

A mensuração dos parâmetros químicos, posteriormente realizada em laboratório, a partir de amostras coletadas em todos os pontos do ambiente dulcícola. Dentre os parâmetros químicos avaliados na água estão: carbono orgânico dissolvido (COD) (mg/L), sulfato (mg/L), alcalinidade (mg/L HCO<sub>3</sub>) e concentração iônica [cloreto (Cl<sup>-</sup>), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K) e cálcio (Ca)] (mg/L). Os dados obtidos para estes parâmetros químicos na primeira e segunda campanhas são apresentados na Tabela 3 e Tabela 4, respectivamente.

Tabela 1: Parâmetros físicos da água aferidos nas estações amostrais dulcícolas durante a campanha 1 (Setembro/Outubro 2018).

Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)					
Estação amostral	Temperatura (°C)	Salinidade (‰)	Condutividade (µS/cm)	pH	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
BRG	24,7	0,04	71,2	7,30	7,85
LLI	25,7	0,06	110,4	7,05	7,40
LNO	27,0	0,04	88,5	7,03	7,90
LJA	25,4	0,04	85,3	7,15	7,90
RDL	26,4	0,04	86,9	6,45	5,20
RDR	28,4	0,04	69,0	7,44	7,80
LAO	27,6	0,05	86,6	6,90	6,80
LAL	28,7	0,07	135,0	6,64	6,70
LMO	27,2	0,17	324,0	6,70	3,90
RDF	28,6	0,08	148,0	7,00	7,30

Tabela 2: Parâmetros físicos da água aferidos nas estações amostrais dulcícolas durante a campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019).

Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)					
Estação amostral	Temperatura (°C)	Salinidade (‰)	Condutividade (µS/cm)	pH	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
BRG	28,2	*	81,9	7,50	7,25
LLI	31,8	*	113,5	7,25	6,29
LNO	30,6	*	103,1	7,37	6,90
LJA	30,2	*	85,0	7,83	7,61
RDL	32,1	*	87,1	7,12	6,50
RDR	33,5	*	84,8	7,54	6,78
LAO	32,6	*	107,3	6,94	6,58
LAL	31,9	*	163,8	7,03	5,69
LMO	30,1	*	532,6	7,02	4,10
RDF	28,7	*	183,0	7,17	7,17

\*Medida do parâmetro salinidade não fornecida pelo analisador multiparâmetro YSI (Professional Plus).

Para fins comparativos, apresentaremos os resultados dos parâmetros físicos da água doce (<0,5 ‰) de ambas as campanhas, particularmente pH e O<sub>2</sub> dissolvido, confrontados com a resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, para águas doces de Classe 2. A concentração de oxigênio dissolvido encontrada na maior parte das estações amostrais foi maior na campanha 1 do que na campanha 2, exceto para as estações amostrais RDL e LMO, onde esta relação foi inversa. De acordo com os limites de concentração de oxigênio recomendados pela legislação (> 5 mg/L O<sub>2</sub>), a única estação amostral que esteve em desacordo com o estabelecido foi a LMO. O leve aumento observado na campanha 2 no oxigênio dissolvido, no ponto LMO, em relação à campanha 1 (de 3,9 para 4,10 mg/L O<sub>2</sub>) não foi suficiente para se ajustar ao preconizado pelo CONAMA.

A temperatura, condutividade elétrica e pH aferidos na superfície da água de todas as estações amostrais foram mais baixos durante a campanha 1 quando comparados aos valores obtidos durante a campanha 2. A temperatura da água variou entre 24,7 e 28,7°C durante o inverno (campanha 1) e 28,2 a 33,5°C durante o verão (campanha 2). Para a condutividade elétrica, destaca-se o aumento observado de 208,6 µS/cm na estação amostral LMO (Lagoa Monsarás) da primeira para a segunda campanha. Apesar dos maiores valores de pH observados na campanha 2 em relação à campanha 1, os valores obtidos em todas as estações amostrais e em ambas as campanhas estão dentro dos limites estabelecidos pela resolução 357/2005 do CONAMA (pH entre 6 e 9). Todos os parâmetros químicos mensurados (COD, sulfato, alcalinidade e composição iônica) na água das estações dulcícolas estão de acordo com o estabelecido na resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, para águas doces de Classe 2.

Tabela 3: Medidas dos parâmetros químicos (média  $\pm$  erro padrão,  $n=3$ ) carbono orgânico dissolvido (COD) (mg/L), sulfato (mg/L), alcalinidade (mg HCO<sub>3</sub>/L), cloreto (Cl<sup>-</sup>) (mg/L), magnésio (Mg) (mg/L), sódio (Na) (mg/L), potássio (mg/L) e cálcio (mg/L) analisados na água de superfície (ST = superfície/total, SD = superfície/ dissolvido) e fundo (FT = fundo/total, FD = fundo/dissolvido) das estações amostradas durante a campanha 1 do monitoramento dulcícola (Setembro/Octubre 2018).

Campanha 1 (Setembro/Octubre 2018)									
Estação amostral	Amostra água	COD	Sulfato	Alcalinidade	Cl <sup>-</sup>	Mg	Na	K	Ca
		(mg/L)							
BRG	ST	*	2,33 $\pm$ 0,88	36,61 $\pm$ 0,00	4,53 $\pm$ 1,29	15,14 $\pm$ 4,81	8,00 $\pm$ 2,08	1,77 $\pm$ 0,39	3,77 $\pm$ 0,53
	SD		2,29 $\pm$ 0,26	**	**	**	**	**	**
	FT	*	4,67 $\pm$ 0,67	36,61 $\pm$ 0,00	10,36 $\pm$ 3,60	13,72 $\pm$ 4,01	11,67 $\pm$ 0,88	2,30 $\pm$ 0,00	3,23 $\pm$ 0,23
	FD		2,89 $\pm$ 0,49	**	**	**	**	**	**
LLI	ST	*	6,33 $\pm$ 0,33	32,54 $\pm$ 2,03	10,36 $\pm$ 1,71	1,55 $\pm$ 0,58	22,33 $\pm$ 1,86	3,13 $\pm$ 0,30	3,57 $\pm$ 0,30
	SD		3,85 $\pm$ 0,71	**	**	**	**	**	**
	FT	*	6,33 $\pm$ 0,33	32,54 $\pm$ 2,03	9,06 $\pm$ 0,65	1,45 $\pm$ 0,04	23,33 $\pm$ 1,67	3,47 $\pm$ 0,23	4,13 $\pm$ 0,72
	FD		3,97 $\pm$ 1,38	**	**	**	**	**	**
LNO	ST	*	6,67 $\pm$ 0,33	36,61 $\pm$ 0,00	6,43 $\pm$ 0,63	2,07 $\pm$ 0,84	15,67 $\pm$ 0,33	2,70 $\pm$ 0,00	1,57 $\pm$ 0,59
	SD		2,57 $\pm$ 0,42	**	**	**	**	**	**
	FT	*	6,33 $\pm$ 0,33	36,61 $\pm$ 0,00	8,38 $\pm$ 1,71	0,67 $\pm$ 0,25	14,67 $\pm$ 0,33	2,70 $\pm$ 0,00	1,67 $\pm$ 0,49
	FD		1,91 $\pm$ 0,31	**	**	**	**	**	**
LJA	ST	*	7,00 $\pm$ 1,00	32,54 $\pm$ 2,03	3,83 $\pm$ 1,13	0,72 $\pm$ 0,20	19,67 $\pm$ 0,67	3,80 $\pm$ 0,10	3,67 $\pm$ 0,49
	SD		3,42 $\pm$ 0,40	**	**	**	**	**	**
	FT	*	6,33 $\pm$ 1,20	32,54 $\pm$ 2,03	10,97 $\pm$ 0,63	0,36 $\pm$ 0,10	18,33 $\pm$ 1,20	3,33 $\pm$ 0,20	3,80 $\pm$ 0,10
	FD		5,10 $\pm$ 0,69	**	**	**	**	**	**
RDL	ST	*	6,33 $\pm$ 0,67	28,48 $\pm$ 4,07	5,48 $\pm$ 3,18	0,48 $\pm$ 0,23	15,67 $\pm$ 2,96	3,33 $\pm$ 0,67	2,43 $\pm$ 1,07
	SD		2,29 $\pm$ 1,12	**	**	**	**	**	**

Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)

Estação amostral	Amostra água	COD	Sulfato	Alcalinidade	Cl <sup>-</sup>	Mg	Na	K	Ca
		(mg/L)							
	FT	*	6,67 ± 1,20	30,51 ± 3,52	10,93 ± 1,71	1,09 ± 0,20	18,33 ± 0,33	3,57 ± 0,13	2,77 ± 0,29
	FD		5,09 ± 0,65	**	**	**	**	**	**
RDR	ST	*	7,00 ± 1,00	36,61 ± 0,00	5,18 ± 1,71	31,57 ± 9,84	17,67 ± 0,88	1,90 ± 0,10	3,57 ± 0,43
	SD		1,63 ± 0,24	**	**	**	**	**	**
	FT	*	5,33 ± 0,33	36,61 ± 0,00	11,27 ± 0,20	26,97 ± 5,69	19,67 ± 0,33	2,30 ± 0,00	2,23 ± 0,62
	FD		2,37 ± 0,14	**	**	**	**	**	**
LAO	ST	*	6,67 ± 1,20	24,41 ± 0,00	9,71 ± 4,04	1,18 ± 0,86	18,67 ± 1,86	2,47 ± 0,39	3,90 ± 0,95
	SD		10,76 ± 1,66	**	**	**	**	**	**
	FT	*	7,67 ± 0,33	22,37 ± 2,03	7,77 ± 0,00	3,68 ± 0,69	14,67 ± 4,49	2,00 ± 0,68	4,13 ± 0,30
	FD		7,50 ± 3,67	**	**	**	**	**	**
LAL	ST	*	9,00 ± 1,73	26,44 ± 2,03	5,18 ± 2,33	92,07 ± 11,03	25,00 ± 0,58	1,67 ± 0,20	1,33 ± 0,52
	SD		13,69 ± 1,00	**	**	**	**	**	**
	FT	*	9,00 ± 1,16	26,44 ± 2,03	8,41 ± 1,29	69,89 ± 11,94	27,67 ± 0,67	1,70 ± 0,00	3,90 ± 0,10
	FD		10,94 ± 2,14	**	**	**	**	**	**
LMO	ST	*	13,00 ± 0,58	56,95 ± 4,07	5,10 ± 1,30	151,67 ± 28,72	47,67 ± 0,88	3,10 ± 0,10	4,10 ± 0,20
	SD		5,35 ± 0,48	**	**	**	**	**	**
	FT	*	14,00 ± 1,73	61,02 ± 0,00	5,13 ± 0,67	3,35 ± 0,16	48,33 ± 2,33	3,23 ± 0,29	4,57 ± 0,43
	FD		6,24 ± 0,85	**	**	**	**	**	**
RDF	ST	*	10,00 ± 0,00	36,61 ± 0,00	9,67 ± 1,93	66,56 ± 1,45	25,00 ± 0,00	2,43 ± 0,13	2,13 ± 0,30
	SD		3,12 ± 0,51	**	**	**	**	**	**

**Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)**

Estação amostral	Amostra água	COD	Sulfato	Alcalinidade	Cl <sup>-</sup>	Mg	Na	K	Ca
		(mg/L)							
	FT	*	10,33 ± 0,33	36,61 ± 0,00	7,07 ± 0,63	15,71 ± 2,50	26,67 ± 3,76	2,13 ± 0,30	2,23 ± 0,79
	FD	2,55 ± 0,13	**	**	**	**	**	**	**

\*dosagem não prevista para a fração total

\*\*dosagem não prevista para a fração dissolvida.

Tabela 4: Medidas dos parâmetros químicos (média ± erro padrão,  $n=3$ ) carbono orgânico dissolvido (COD) (mg/L), sulfato (mg/L), alcalinidade (mg HCO<sub>3</sub>/L), cloreto (Cl<sup>-</sup>) (mg/L), magnésio (Mg) (mg/L), sódio (Na) (mg/L), potássio (mg/L) e cálcio (mg/L) analisados na água de superfície (ST = superfície/total, SD = superfície/dissolvido) e fundo (FT = fundo/total, FD = fundo/dissolvido) das estações amostradas durante a campanha 2 do monitoramento dulcícola (Janeiro/Fevereiro 2019).

**Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

Estação amostral	Amostra água	COD	Sulfato	Alcalinidade	Cl	Mg	Na	K	Ca
		(mg/L)							
BRG	ST	*	2,12 ± 0,00	36,72 ± 0,00	5,95 ± 0,01	11,96 ± 0,34	9,12 ± 0,00	2,12 ± 0,00	2,55 ± 0,13
	SD	4,86 ± 0,87	**	**	**	**	**	**	**
	FT	*	4,12 ± 0,00	36,73 ± 0,00	7,60 ± 0,16	16,54 ± 0,00	13,12 ± 0,00	2,42 ± 0,00	3,15 ± 0,03
	FD	5,66 ± 0,78	**	**	**	**	**	**	**
LLI	ST	*	6,12 ± 0,00	32,66 ± 2,03	13,72 ± 0,00	1,51 ± 0,00	22,45 ± 1,86	3,12 ± 0,00	3,32 ± 0,10
	SD	6,17 ± 0,06	**	**	**	**	**	**	**
	FT	*	6,12 ± 0,00	32,66 ± 2,03	9,84 ± 0,03	1,57 ± 0,04	24,45 ± 0,67	3,74 ± 0,00	2,85 ± 0,03
	FD	7,77 ± 1,21	**	**	**	**	**	**	**
LNO	ST	*	7,12 ± 0,00	36,73 ± 0,00	5,92 ± 0,00	2,82 ± 0,10	15,79 ± 0,33	2,82 ± 0,00	1,75 ± 0,07
	SD	4,79 ± 0,73	**	**	**	**	**	**	**
	FT	*	6,12 ± 0,00	36,72 ± 0,00	7,82 ± 0,00	0,92 ± 0,01	14,79 ± 0,33	2,82 ± 0,00	2,32 ± 0,10
	FD	4,69 ± 0,40	**	**	**	**	**	**	**

Campanha 2 (Janeiro/Feveireiro 2019)

Estação amostral	Amostra água	COD	Sulfato	Alcalinidade	Cl	Mg	Na	K	Ca
		(mg/L)							
LJA	ST	*	6,12 ± 0,00	32,66 ± 2,03	3,92 ± 0,00	0,75 ± 0,01	19,79 ± 0,67	3,64 ± 0,00	4,12 ± 0,00
	SD		6,12 ± 0,52	**	**	**	**	**	**
	FT	*	4,12 ± 0,00	32,66 ± 2,03	11,72 ± 0,00	0,58 ± 0,02	18,45 ± 1,20	3,52 ± 0,00	3,82 ± 0,00
	FD		5,54 ± 0,49	**	**	**	**	**	**
RDL	ST	*	5,12 ± 0,00	28,61 ± 4,06	3,92 ± 0,00	0,40 ± 0,03	18,79 ± 0,88	4,12 ± 0,00	3,42 ± 0,00
	SD		5,14 ± 0,63	**	**	**	**	**	**
	FT	*	5,12 ± 0,00	27,31 ± 1,77	11,72 ± 0,00	1,14 ± 0,03	18,45 ± 0,33	3,69 ± 0,13	2,42 ± 0,00
	FD		4,61 ± 0,60	**	**	**	**	**	**
RDR	ST	*	7,12 ± 1,00	36,73 ± 0,00	5,94 ± 0,01	22,77 ± 0,75	17,79 ± 0,88	2,23 ± 0,00	4,12 ± 0,00
	SD		3,21 ± 0,29	**	**	**	**	**	**
	FT	*	5,12 ± 0,00	36,73 ± 0,00	11,39 ± 0,20	21,42 ± 0,18	19,79 ± 0,33	2,34 ± 0,00	3,12 ± 0,00
	FD		4,66 ± 0,57	**	**	**	**	**	**
LAO	ST	*	6,12 ± 0,58	24,58 ± 0,00	13,06 ± 1,30	0,50 ± 0,01	20,45 ± 0,33	3,11 ± 0,00	2,12 ± 0,00
	SD		11,81 ± 0,69	**	**	**	**	**	**
	FT	*	8,12 ± 0,00	25,85 ± 1,30	7,88 ± 0,00	2,09 ± 0,01	18,12 ± 1,53	2,44 ± 0,00	3,82 ± 0,00
	FD		10,95 ± 1,42	**	**	**	**	**	**
LAL	ST	*	9,12 ± 0,00	25,83 ± 1,40	4,40 ± 0,05	71,72 ± 0,84	25,12 ± 0,58	1,49 ± 0,00	1,42 ± 0,00
	SD		12,86 ± 1,13	**	**	**	**	**	**

Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Estação amostral	Amostra água	COD	Sulfato	Alcalinidade	Cl	Mg	Na	K	Ca
		(mg/L)							
	FT	*	9,12 ± 0,00	25,83 ± 1,40	4,40 ± 0,01	71,72 ± 0,56	25,12 ± 0,67	1,49 ± 0,00	1,42 ± 0,00
	FD	12,86 ± 1,24	**	**	**	**	**	**	**
LMO	ST	*	13,12 ± 0,00	60,41 ± 0,73	3,92 ± 0,00	144,01 ± 2,12	47,79 ± 0,88	2,88 ± 0,00	3,82 ± 0,00
	SD	15,30 ± 1,50	**	**	**	**	**	**	**
	FT	*	15,12 ± 1,00	61,14 ± 0,00	5,25 ± 0,67	3,47 ± 0,16	48,45 ± 2,33	2,85 ± 0,00	5,12 ± 0,00
	FD	17,30 ± 1,23	**	**	**	**	**	**	**
RDF	ST	*	10,12 ± 0,00	36,72 ± 0,00	9,79 ± 1,93	64,92 ± 0,66	25,12 ± 0,00	2,47 ± 0,00	2,12 ± 0,00
	SD	3,36 ± 0,40	**	**	**	**	**	**	**
	FT	*	11,12 ± 0,00	36,72 ± 0,01	5,92 ± 0,00	17,88 ± 0,49	26,79 ± 3,76	2,13 ± 0,00	2,42 ± 0,00
	FD	4,65 ± 0,14	**	**	**	**	**	**	**

\*dosagem não prevista para a fração total.

\*\*dosagem não prevista para a fração dissolvida.

### 3.1.2 Concentração de metais na água do Rio Doce no estado do Espírito Santo, estuário e lagoas adjacentes

A determinação da concentração dos metais na água coletada em profundidades distintas, especificamente superfície e fundo, em sua forma total e dissolvida, em ambas as campanhas, consistiu na análise dos elementos: Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Chumbo (Pb), Manganês (Mn), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg). Os resultados obtidos para estas análises estão apresentados na Tabela 5 e na Tabela 6.

Tabela 5: Concentração dos metais analisados na água de superfície (ST = superfície/total, SD = superfície/dissolvido) e fundo (FT = fundo/total, FD = fundo/dissolvido) das estações amostradas durante a campanha 1 do monitoramento dulcícola (Setembro/Octubre 2018). Para cada metal os valores estão apresentados como média ± erro padrão da média da concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) ( $n=3$ ).

Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)

Estação amostral	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		(µg/L)								
BRG	ST	0,71 ± 0,14	0,22 ± 0,01	0,04 ± 0,00	0,06 ± 0,00	10,90 ± 2,22	0,099 ± 0,001	0,40 ± 0,07	0,10 ± 0,03	4,50 ± 2,30
	SD	0,12 ± 0,02	0,20 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,05 ± 0,00	2,31 ± 0,92	0,096 ± 0,001	0,11 ± 0,04	0,04 ± 0,00	1,25 ± 0,42
	FT	0,78 ± 0,56	0,20 ± 0,02	0,03 ± 0,00	0,06 ± 0,01	16,70 ± 1,25	0,089 ± 0,002	4,01 ± 0,75	0,26 ± 0,07	1,90 ± 0,41
	FD	0,37 ± 0,34	0,18 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,00	2,05 ± 0,58	0,080 ± 0,001	1,16 ± 0,10	0,09 ± 0,02	0,69 ± 0,00
LLI	ST	1,57 ± 0,22	0,23 ± 0,02	0,03 ± 0,00	0,07 ± 0,00	2,81 ± 0,69	0,028 ± 0,001	0,17 ± 0,04	0,20 ± 0,01	1,01 ± 0,15
	SD	0,78 ± 0,07	0,15 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,06 ± 0,00	0,60 ± 0,26	0,020 ± 0,002	0,11 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,63 ± 0,00
	FT	0,62 ± 0,26	0,20 ± 0,02	0,03 ± 0,00	0,06 ± 0,00	3,28 ± 0,43	0,118 ± 0,001	0,44 ± 0,07	0,19 ± 0,05	5,67 ± 1,16
	FD	0,30 ± 0,05	0,18 ± 0,02	0,02 ± 0,00	0,05 ± 0,00	0,84 ± 0,39	0,098 ± 0,003	0,09 ± 0,01	0,10 ± 0,00	1,69 ± 0,39
LNO	ST	0,43 ± 0,13	0,30 ± 0,03	0,08 ± 0,02	0,90 ± 0,08	6,12 ± 0,15	0,088 ± 0,001	8,29 ± 1,14	1,49 ± 0,02	2,53 ± 0,23
	SD	0,12 ± 0,03	0,20 ± 0,05	0,07 ± 0,02	0,50 ± 0,05	1,10 ± 0,08	0,081 ± 0,003	2,43 ± 0,05	1,43 ± 0,02	1,15 ± 0,27
	FT	0,53 ± 0,06	0,28 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,76 ± 0,09	6,34 ± 0,90	0,090 ± 0,000	5,29 ± 1,24	1,52 ± 0,04	0,58 ± 0,31
	FD	0,13 ± 0,09	0,25 ± 0,00	0,07 ± 0,01	0,68 ± 0,06	4,22 ± 0,34	0,086 ± 0,001	2,45 ± 0,14	1,46 ± 0,06	0,30 ± 0,18
LJA	ST	0,62 ± 0,34	0,21 ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,08 ± 0,01	4,23 ± 0,40	0,152 ± 0,001	0,09 ± 0,04	0,12 ± 0,03	7,63 ± 1,61

Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)

Estação amostral	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		(µg/L)								
	SD	0,18 ± 0,04	0,19 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,07 ± 0,01	0,94 ± 0,44	0,144 ± 0,000	0,03 ± 0,01	0,06 ± 0,00	1,40 ± 0,77
	FT	0,64 ± 0,21	0,21 ± 0,02	0,03 ± 0,00	0,07 ± 0,00	10,44 ± 4,71	0,155 ± 0,000	0,35 ± 0,12	0,64 ± 0,05	2,82 ± 0,94
	FD	0,49 ± 0,26	0,18 ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,06 ± 0,00	1,34 ± 0,92	0,148 ± 0,003	0,15 ± 0,02	0,34 ± 0,13	0,75 ± 0,38
RDL	ST	0,55 ± 0,13	0,21 ± 0,00	0,08 ± 0,01	0,07 ± 0,00	11,79 ± 2,84	0,160 ± 0,004	0,36 ± 0,03	0,44 ± 0,05	0,96 ± 0,33
	SD	0,33 ± 0,05	0,17 ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,07 ± 0,00	4,95 ± 0,33	0,153 ± 0,004	0,25 ± 0,05	0,11 ± 0,01	0,59 ± 0,27
	FT	1,29 ± 0,10	0,26 ± 0,03	0,03 ± 0,00	0,06 ± 0,01	15,88 ± 1,29	0,157 ± 0,002	0,60 ± 0,02	0,18 ± 0,01	1,48 ± 0,45
	FD	0,63 ± 0,05	0,18 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,06 ± 0,01	4,01 ± 0,79	0,137 ± 0,009	0,55 ± 0,03	0,09 ± 0,01	0,55 ± 0,01
RDR	ST	1,07 ± 0,29	0,24 ± 0,02	0,02 ± 0,00	0,06 ± 0,00	3,52 ± 0,53	0,086 ± 0,001	0,87 ± 0,06	0,07 ± 0,01	3,22 ± 0,57
	SD	0,25 ± 0,03	0,21 ± 0,02	0,02 ± 0,00	0,05 ± 0,01	1,04 ± 0,48	0,069 ± 0,002	0,46 ± 0,06	0,04 ± 0,00	1,53 ± 0,73
	FT	0,69 ± 0,02	0,27 ± 0,03	0,04 ± 0,00	0,07 ± 0,00	7,72 ± 1,37	0,099 ± 0,001	0,80 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,59 ± 0,04
	FD	0,46 ± 0,13	0,19 ± 0,02	0,03 ± 0,00	0,06 ± 0,00	1,77 ± 0,66	0,083 ± 0,001	0,66 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,27 ± 0,00
LAO	ST	0,97 ± 0,44	0,55 ± 0,29	0,03 ± 0,00	0,06 ± 0,00	36,93 ± 6,46	0,136 ± 0,002	0,40 ± 0,10	0,07 ± 0,02	3,32 ± 0,78
	SD	0,28 ± 0,23	0,16 ± 0,08	0,02 ± 0,00	0,06 ± 0,00	19,66 ± 2,00	0,115 ± 0,003	0,22 ± 0,06	0,04 ± 0,01	1,90 ± 0,38

Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)

Estação amostral	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		(µg/L)								
	FT	0,90 ± 0,19	0,25 ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,05 ± 0,01	41,86 ± 6,38	0,068 ± 0,012	0,41 ± 0,08	0,27 ± 0,13	5,06 ± 0,44
	FD	0,53 ± 0,04	0,19 ± 0,03	0,02 ± 0,00	0,05 ± 0,01	25,95 ± 2,04	0,040 ± 0,003	0,29 ± 0,04	0,10 ± 0,01	3,34 ± 0,19
LAL	ST	1,22 ± 0,36	0,21 ± 0,03	0,02 ± 0,00	0,06 ± 0,00	89,36 ± 1,44	0,125 ± 0,046	1,37 ± 0,17	0,18 ± 0,12	4,16 ± 0,29
	SD	0,24 ± 0,23	0,15 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,06 ± 0,00	30,51 ± 4,50	0,043 ± 0,002	0,73 ± 0,10	0,02 ± 0,01	0,70 ± 0,02
	FT	0,62 ± 0,06	0,17 ± 0,03	0,02 ± 0,00	0,05 ± 0,01	101,75 ± 11,66	0,034 ± 0,002	1,90 ± 0,67	0,08 ± 0,03	2,55 ± 1,16
	FD	0,52 ± 0,04	0,12 ± 0,02	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,00	32,02 ± 4,60	0,029 ± 0,002	0,82 ± 0,03	0,04 ± 0,01	1,62 ± 1,39
LMO	ST	0,74 ± 0,25	0,19 ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,07 ± 0,00	77,10 ± 3,81	0,081 ± 0,000	0,22 ± 0,04	0,24 ± 0,10	1,53 ± 0,38
	SD	0,21 ± 0,08	0,12 ± 0,00	0,02 ± 0,01	0,07 ± 0,00	4,52 ± 0,42	0,076 ± 0,002	0,10 ± 0,01	0,06 ± 0,00	0,90 ± 0,19
	FT	0,81 ± 0,09	0,99 ± 0,14	0,08 ± 0,00	0,78 ± 0,14	3,84 ± 0,92	0,087 ± 0,000	187,20 ± 25,06	1,50 ± 0,01	1,52 ± 0,44
	FD	0,26 ± 0,10	0,46 ± 0,16	0,06 ± 0,02	0,38 ± 0,11	1,07 ± 0,01	0,081 ± 0,004	107,27 ± 0,88	1,38 ± 0,07	0,83 ± 0,03
RDF	ST	0,68 ± 0,23	0,23 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,06 ± 0,01	15,11 ± 0,96	0,167 ± 0,001	0,52 ± 0,04	0,24 ± 0,06	2,61 ± 0,27
	SD	0,34 ± 0,17	0,21 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	1,80 ± 0,76	0,137 ± 0,003	0,43 ± 0,01	0,08 ± 0,02	0,51 ± 0,31
	FT	0,67 ± 0,06	0,19 ± 0,02	0,03 ± 0,00	0,07 ± 0,00	1,47 ± 0,05	0,081 ± 0,001	0,40 ± 0,12	0,17 ± 0,04	2,26 ± 0,82

Campanha 1 (Setembro/Octubre 2018)										
Estação amostral	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		(µg/L)								
	FD	0,24 ± 0,06	0,15 ± 0,02	0,03 ± 0,00	0,06 ± 0,00	1,23 ± 0,09	0,070 ± 0,002	0,25 ± 0,04	0,12 ± 0,01	1,29 ± 0,79

Tabela 6: Concentração dos metais analisados na água de superfície (ST = superfície/total, SD = superfície/dissolvido) e fundo (FT = fundo/total, FD = fundo/dissolvido) das estações amostradas durante a campanha 2 do monitoramento dulcícola (Janeiro/Fevereiro 2019). Para cada metal, os valores estão apresentados como média ± erro padrão da média da concentração (µg/L) (n=3).

Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Estação amostral	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		(µg/L)								
BRG	ST	0,89 ± 0,02	0,34 ± 0,01	0,05 ± 0,00	0,09 ± 0,00	9,89 ± 0,07	0,049 ± 0,001	0,56 ± 0,03	0,10 ± 0,01	2,26 ± 0,03
	SD	0,05 ± 0,00	0,08 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,75 ± 0,06	0,040 ± 0,001	0,07 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,51 ± 0,02
	FT	0,47 ± 0,03	0,32 ± 0,02	0,04 ± 0,00	0,08 ± 0,01	16,15 ± 0,89	0,039 ± 0,002	4,80 ± 0,24	0,19 ± 0,01	2,69 ± 0,17
	FD	0,04 ± 0,01	0,06 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,37 ± 0,02	0,034 ± 0,000	0,49 ± 0,04	0,04 ± 0,01	0,29 ± 0,00
LLI	ST	1,31 ± 0,10	0,35 ± 0,02	0,05 ± 0,00	0,10 ± 0,00	3,63 ± 0,06	0,022 ± 0,001	0,25 ± 0,01	0,24 ± 0,01	1,33 ± 0,06
	SD	0,30 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,88 ± 0,03	0,008 ± 0,001	0,05 ± 0,00	0,04 ± 0,01	0,26 ± 0,00
	FT	1,17 ± 0,12	0,35 ± 0,02	0,05 ± 0,00	0,09 ± 0,00	3,40 ± 0,22	0,068 ± 0,001	0,62 ± 0,01	0,26 ± 0,02	4,55 ± 0,13
	FD	0,13 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,74 ± 0,01	0,041 ± 0,002	0,04 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,88 ± 0,01
LNO	ST	0,65 ± 0,03	0,42 ± 0,03	0,12 ± 0,01	0,85 ± 0,02	5,57 ± 0,20	0,038 ± 0,001	8,11 ± 0,32	0,52 ± 0,02	2,98 ± 0,04

Campanha 2 (Janeiro/Febrero 2019)

Estação amostral	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		(µg/L)								
	SD	0,05 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,21 ± 0,02	2,03 ± 1,68	0,033 ± 0,002	1,02 ± 0,02	0,15 ± 0,02	0,42 ± 0,05
	FT	0,65 ± 0,06	0,40 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,85 ± 0,02	5,46 ± 0,26	0,040 ± 0,000	4,74 ± 0,06	0,56 ± 0,04	1,26 ± 0,01
	FD	0,02 ± 0,01	0,10 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,29 ± 0,03	0,81 ± 0,07	0,035 ± 0,000	1,03 ± 0,06	0,35 ± 0,01	0,05 ± 0,00
LJA	ST	0,41 ± 0,04	0,33 ± 0,01	0,04 ± 0,00	0,10 ± 0,01	4,68 ± 0,08	0,011 ± 0,004	0,18 ± 0,01	0,15 ± 0,03	9,34 ± 0,04
	SD	0,08 ± 0,02	0,08 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,91 ± 0,09	0,060 ± 0,000	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,14 ± 0,01
	FT	0,54 ± 0,02	0,32 ± 0,01	0,05 ± 0,00	0,09 ± 0,00	6,56 ± 0,72	0,040 ± 0,015	0,57 ± 0,03	0,65 ± 0,03	2,61 ± 0,11
	FD	0,10 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,88 ± 0,03	0,062 ± 0,001	0,06 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,16 ± 0,00
RDL	ST	0,57 ± 0,04	0,33 ± 0,00	0,10 ± 0,01	0,10 ± 0,00	11,48 ± 0,56	0,071 ± 0,004	0,48 ± 0,03	0,44 ± 0,02	1,42 ± 0,01
	SD	0,14 ± 0,02	0,07 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,92 ± 0,03	0,064 ± 0,002	0,08 ± 0,00	0,05 ± 0,00	0,22 ± 0,01
	FT	1,41 ± 0,10	0,35 ± 0,00	0,05 ± 0,00	0,09 ± 0,00	17,00 ± 0,30	0,052 ± 0,004	0,76 ± 0,01	0,22 ± 0,01	1,43 ± 0,01
	FD	0,26 ± 0,02	0,08 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,77 ± 0,07	0,057 ± 0,004	0,23 ± 0,01	0,04 ± 0,00	0,23 ± 0,00
RDR	ST	1,53 ± 0,05	0,36 ± 0,02	0,03 ± 0,00	0,09 ± 0,00	3,64 ± 0,16	0,036 ± 0,001	0,93 ± 0,01	0,11 ± 0,01	2,34 ± 0,09
	SD	0,11 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,68 ± 0,12	0,029 ± 0,001	0,19 ± 0,02	0,02 ± 0,00	0,13 ± 0,01

Campanha 2 (Janeiro/Febrero 2019)

Estação amostral	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		(µg/L)								
	FT	0,81 ± 0,02	0,36 ± 0,01	0,09 ± 0,00	0,09 ± 0,00	6,84 ± 0,37	0,049 ± 0,001	0,92 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,75 ± 0,01
	FD	0,16 ± 0,03	0,08 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,82 ± 0,03	0,035 ± 0,000	0,28 ± 0,01	0,04 ± 0,00	0,11 ± 0,00
LAO	ST	1,33 ± 0,05	0,34 ± 0,01	0,04 ± 0,00	0,09 ± 0,00	36,72 ± 1,15	0,046 ± 0,002	0,56 ± 0,01	0,13 ± 0,01	4,33 ± 0,07
	SD	0,12 ± 0,10	0,03 ± 0,02	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,78 ± 0,03	0,048 ± 0,001	0,08 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,63 ± 0,02
	FT	0,84 ± 0,03	0,36 ± 0,01	0,04 ± 0,00	0,08 ± 0,01	49,98 ± 0,65	0,026 ± 0,010	0,58 ± 0,04	0,17 ± 0,01	5,35 ± 0,02
	FD	0,22 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,69 ± 0,11	0,004 ± 0,001	0,13 ± 0,01	0,04 ± 0,00	1,41 ± 0,08
LAL	ST	1,67 ± 0,12	0,29 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,09 ± 0,00	89,48 ± 1,44	0,031 ± 0,006	1,24 ± 0,06	0,09 ± 0,01	4,47 ± 0,06
	SD	0,04 ± 0,02	0,06 ± 0,00	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,82 ± 0,01	0,018 ± 0,001	0,31 ± 0,04	0,01 ± 0,00	0,34 ± 0,03
	FT	0,74 ± 0,06	0,32 ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,08 ± 0,01	95,87 ± 0,71	0,016 ± 0,002	1,42 ± 0,09	0,13 ± 0,01	1,91 ± 0,04
	FD	0,22 ± 0,02	0,05 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,35 ± 0,02	0,012 ± 0,001	0,35 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,81 ± 0,02
LMO	ST	0,69 ± 0,10	0,31 ± 0,01	0,04 ± 0,00	0,09 ± 0,01	83,89 ± 0,64	0,031 ± 0,000	0,38 ± 0,01	0,15 ± 0,02	1,92 ± 0,01
	SD	0,05 ± 0,02	0,05 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,90 ± 0,03	0,025 ± 0,002	0,04 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,44 ± 0,02
	FT	0,89 ± 0,06	1,08 ± 0,09	0,09 ± 0,00	0,68 ± 0,06	5,29 ± 0,18	0,037 ± 0,000	3,65 ± 0,34	0,53 ± 0,01	1,29 ± 0,03

Campanha 2 (Janeiro/Febrero 2019)										
Estação amostral	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		(µg/L)								
RDF	FD	0,08 ± 0,01	0,13 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,13 ± 0,02	4,44 ± 0,39	0,034 ± 0,001	2,54 ± 0,17	0,48 ± 0,03	0,35 ± 0,01
	ST	1,09 ± 0,08	0,35 ± 0,02	0,14 ± 0,01	0,09 ± 0,01	15,56 ± 0,68	0,053 ± 0,001	0,74 ± 0,02	0,26 ± 0,01	2,96 ± 0,04
	SD	0,06 ± 0,01	0,09 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,70 ± 0,11	0,057 ± 0,002	0,18 ± 0,00	0,03 ± 0,01	0,46 ± 0,01
	FT	0,79 ± 0,06	0,32 ± 0,01	0,05 ± 0,00	0,09 ± 0,00	1,60 ± 0,04	0,031 ± 0,001	0,45 ± 0,01	0,16 ± 0,00	2,25 ± 0,01
	FD	0,10 ± 0,03	0,07 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,84 ± 0,04	0,031 ± 0,001	0,10 ± 0,02	0,05 ± 0,01	0,42 ± 0,01

Visando facilitar a visualização, alguns resultados foram apresentados, também, na forma de gráfico. Para isto, foram selecionados aqueles parâmetros que apresentam limites estabelecidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA. De maneira geral, pode-se destacar que:

- As concentrações de As, Hg, Pb e Zn total (µg/L) (Figura 20, Figura 25, Figura 27 e Figura 28, respectivamente) mensuradas na água de fundo e as concentrações de Cu e Fe dissolvido (µg/L) (Figura 23 e Figura 24, respectivamente) mensuradas também na água de fundo, de todas as estações amostrais e de ambas as campanhas, estão em conformidade com o estabelecido na resolução CONAMA 357/2005.
- A concentração de Cd total na água de fundo, na estação amostral LMO, esteve próxima ou levemente acima ( $0,99 \pm 0,14$  µg/L e  $1,08 \pm 0,09$  µg/L nas campanhas 1 e 2, respectivamente) do preconizado pela resolução referida (1 µg/L de Cd) (Figura 21).
- A concentração de Mn total na água de fundo, na estação amostral LMO na campanha 1, foi mais alta do que a encontrada na campanha 2 e esteve acima ( $187,2 \pm 25,06$  µg/L) do limite recomendado pela referida resolução (180 µg/L Mn) (Figura 26).

Algumas diferenças e padrões encontrados na concentração de determinados metais na água de fundo do ambiente dulcícola pareceram estar relacionadas com a sazonalidade da amostragem, ou locais amostrados. Neste sentido, destacam-se os seguintes pontos:

- Os níveis de As dissolvido em todas as estações amostrais nas campanhas 1 e 2 foram próximos entre si (Figura 20).

- A média das concentrações de Cd e Cr totais na campanha 2 foi levemente mais alta do que os valores mensurados na campanha 1 (Figura 21 e Figura 22), em todas as estações amostrais.
- O contrário foi observado para Cu, Hg e Zn, em que a concentração destes metais foi mais elevada na campanha 1 do que na campanha 2 (Figura 23, Figura 25 e Figura 28), também em todas as estações amostrais.
- O nível de Fe encontrado na campanha 1, nas estações amostrais LAO ( $41,86 \pm 6,38 \mu\text{g/L}$ ) e LAL ( $101,75 \pm 11,66 \mu\text{g/L}$ ), foi maior do que o encontrado na campanha 2 ( $49,98 \pm 0,65$  e  $95,87 \pm 0,71 \mu\text{g/L}$  em LAO e LAL, respectivamente) (Figura 24).
- A concentração de Pb foi mais alta na campanha 1, nas estações amostrais LNO ( $5,29 \pm 1,24 \mu\text{g/L}$ ) e LMO ( $1,50 \pm 0,01 \mu\text{g/L}$ ), do que na campanha 2 ( $0,56 \pm 0,04$  e  $0,53 \pm 0,01 \mu\text{g/L}$  em LNO e LMO, respectivamente) (Figura 27).

Figura 20: Concentração de Arsênio total (As) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletadas nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Arsênio total ( $10 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ).

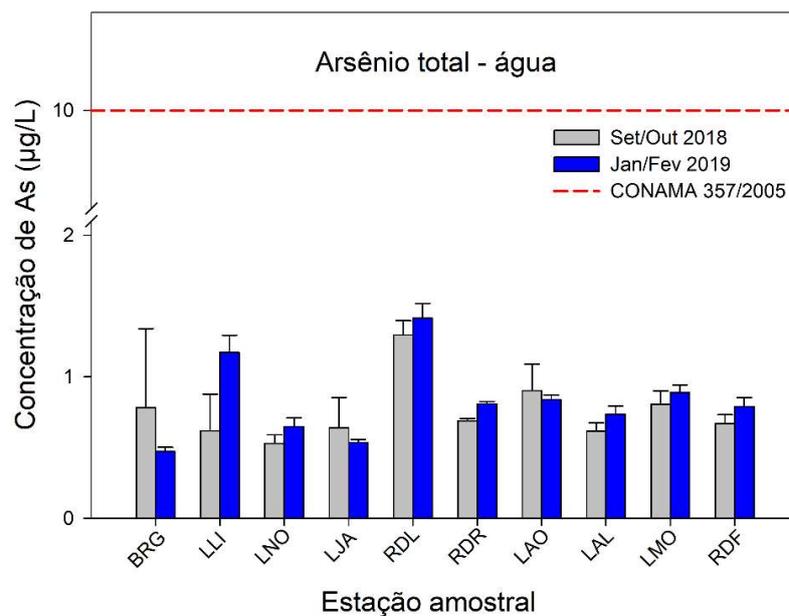


Figura 21: Concentração de Cádmio total (Cd) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletadas nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cádmio total ( $1 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ).

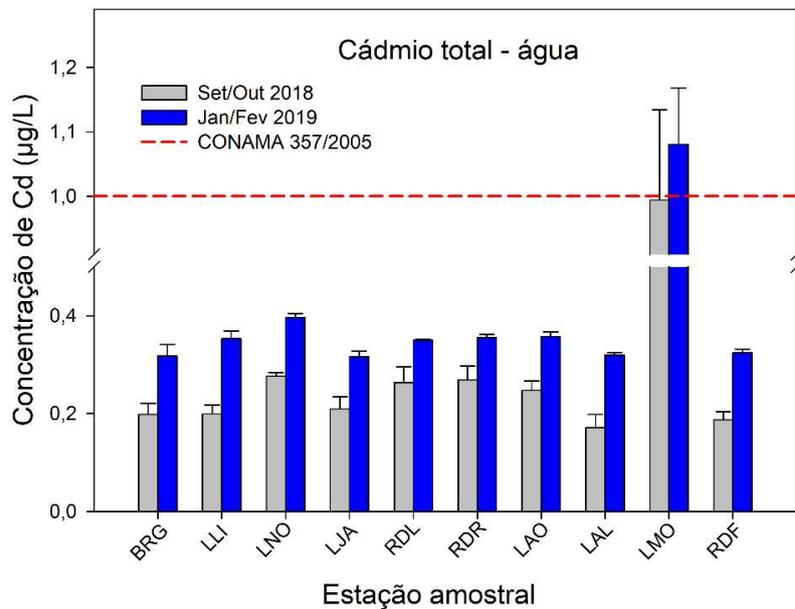


Figura 22: Concentração de Cromo total (Cr) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletadas nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cromo total ( $50 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ).

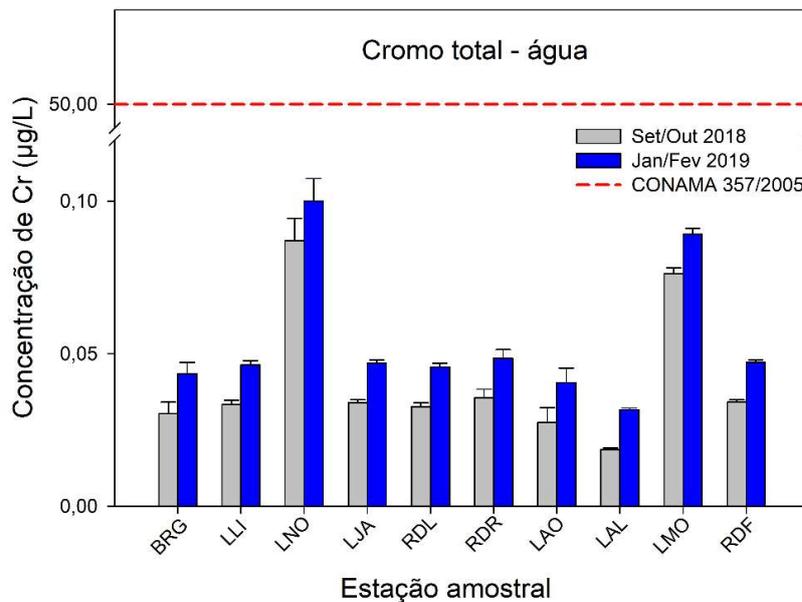


Figura 23: Concentração de Cobre dissolvido (Cu) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletadas nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cobre dissolvido ( $9 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ).

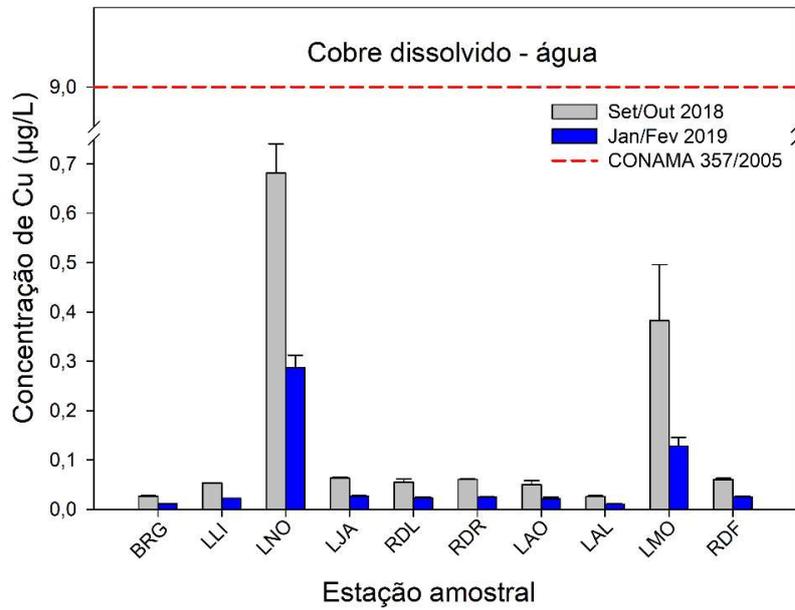


Figura 24: Concentração de Ferro dissolvido (Fe) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletada nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Ferro dissolvido ( $300 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ).

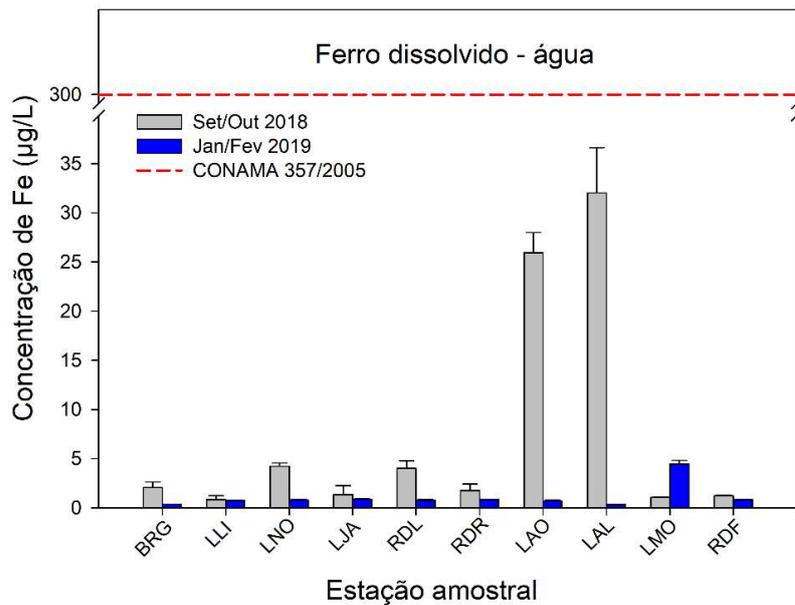


Figura 25: Concentração de Mercúrio total (Hg) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletada nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Mercúrio total ( $0,2 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ).

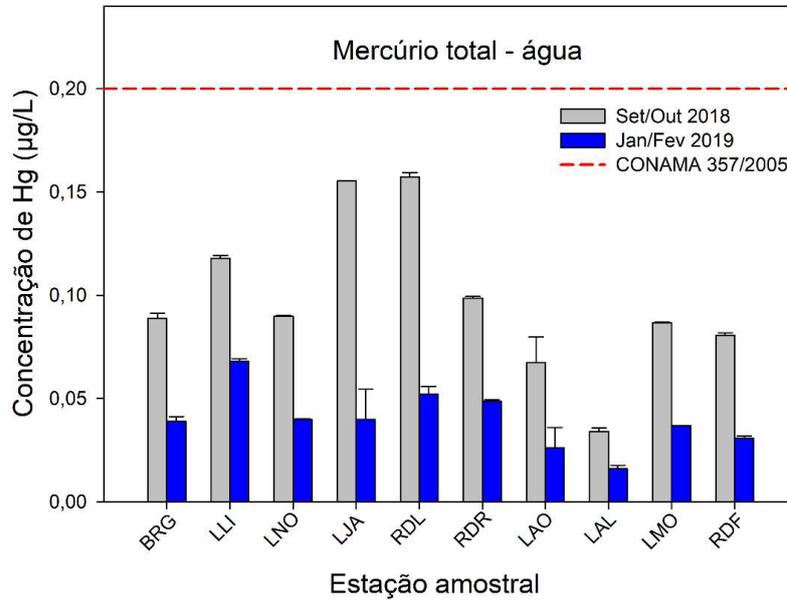


Figura 26: Concentração de Manganês total (Mn) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletada nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Manganês total ( $100 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ).

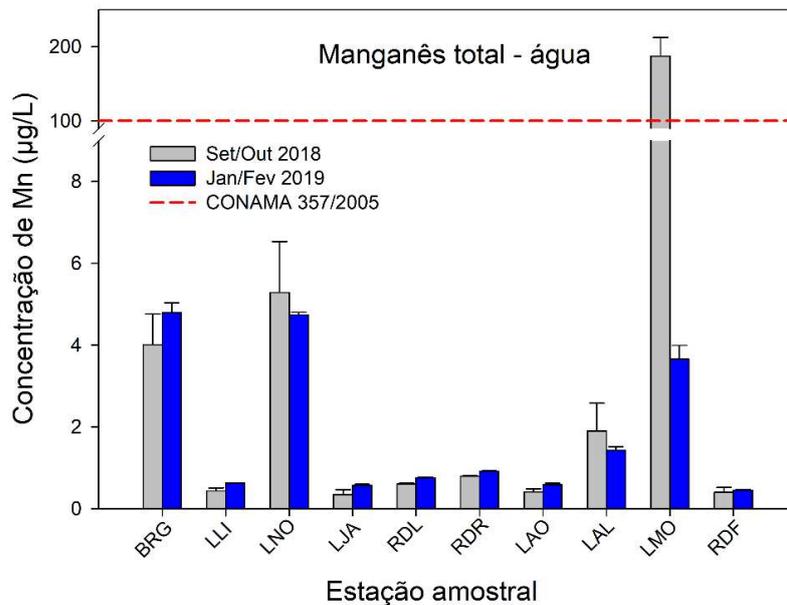


Figura 27: Concentração de Chumbo total (Pb) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletada nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Chumbo total ( $10 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ).

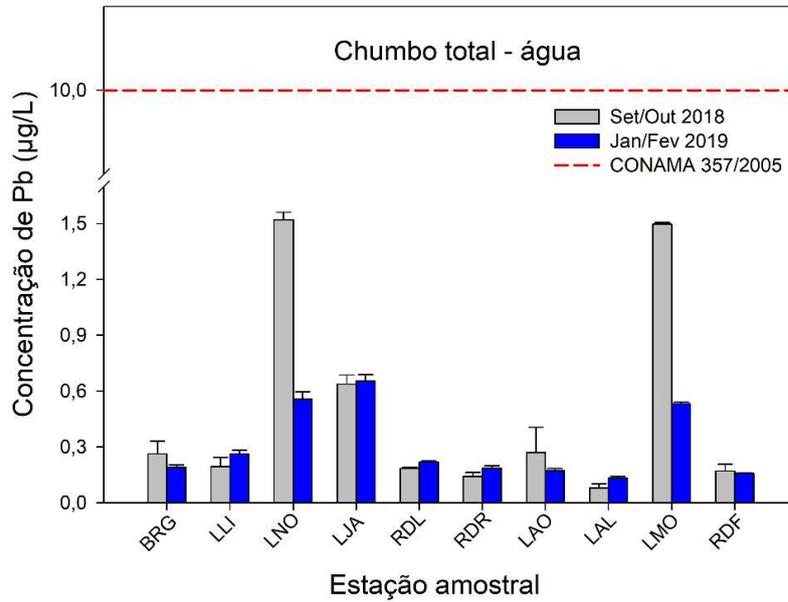
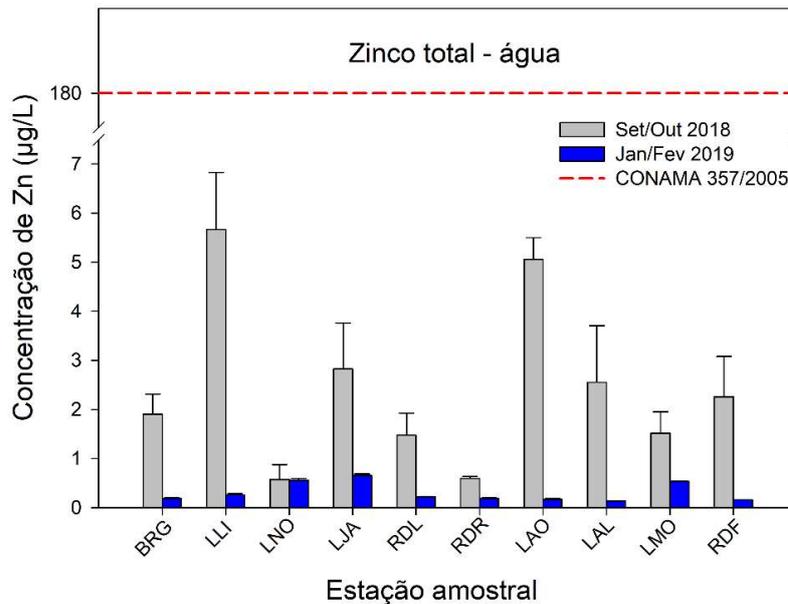


Figura 28: Concentração de Zinco total (Zn) ( $\mu\text{g/L}$ ) nas amostras de água de fundo coletada nas 10 estações amostrais durante as campanhas dulcícolas (campanha 1 - Setembro/Outubro 2018 representada pelas barras cinzas; campanha 2 - Janeiro/Fevereiro 2019 representada pelas barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Zinco total ( $180 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água doce Classe 2 (convertido para a unidade  $\mu\text{g/L}$ ).



A fim de identificar um perfil sazonal, ou em função da localidade nos dados de concentração de metais na água, utilizou-se a Análise de Componentes Principais (PCA). As variáveis utilizadas nesta análise (representadas por setas) foram as médias das concentrações de As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Zn e Hg na fração total (fT) e dissolvida (fD) da água de fundo coletada nas dez estações amostrais, nas duas campanhas dulcícolas. As localidades ou estações amostrais representam os indivíduos utilizados na análise e estão representadas por símbolos cinzas (campanha 1) e azuis (campanha 2) (Figura 29).

Como resultado primário, a PCA forneceu variabilidade dos dados de 60,3% nas duas primeiras dimensões, tendo o componente principal 1 (Dim1) sumarizado 41,4% dos dados (Figura 29 e Tabela 7). Os metais que mais contribuíram com o agrupamento obtido no componente principal 1 foram Pb, Cr, Cu e Mn em sua forma total e dissolvido, e Cd na sua forma dissolvida (Figura 30). Esses metais estão agrupados a leste na PCA, enquanto os metais As, Fe e Zn foram agrupados a oeste. O *biplot* dividiu as campanhas 1 e 2, de todas as estações amostrais, em norte e sul, estando a campanha 1 exclusivamente ao norte (cinza) e a campanha 2 ao sul (azul) (Figura 29). O componente principal 2 sumarizou 18,9% dos dados. Os metais que mais contribuíram com o agrupamento obtido no componente principal 2 foram As, Cd e Zn (dissolvido), Hg (total e dissolvido) e Cr (total) (Figura 31). Agrupou-se os metais As e Zn (dissolvido) e Hg (total e dissolvido), ao norte da PCA (Figura 29).

Figura 29: Análise de Componentes Principais aplicada para os dados de concentração de Arsênio (As), Cádmiu (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) na água de fundo na sua forma total (fT) ou dissolvida (fD). Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise categorizados por localidade na campanha 1 (Exp1; em cinza) e na campanha 2 (Exp2; em azul).

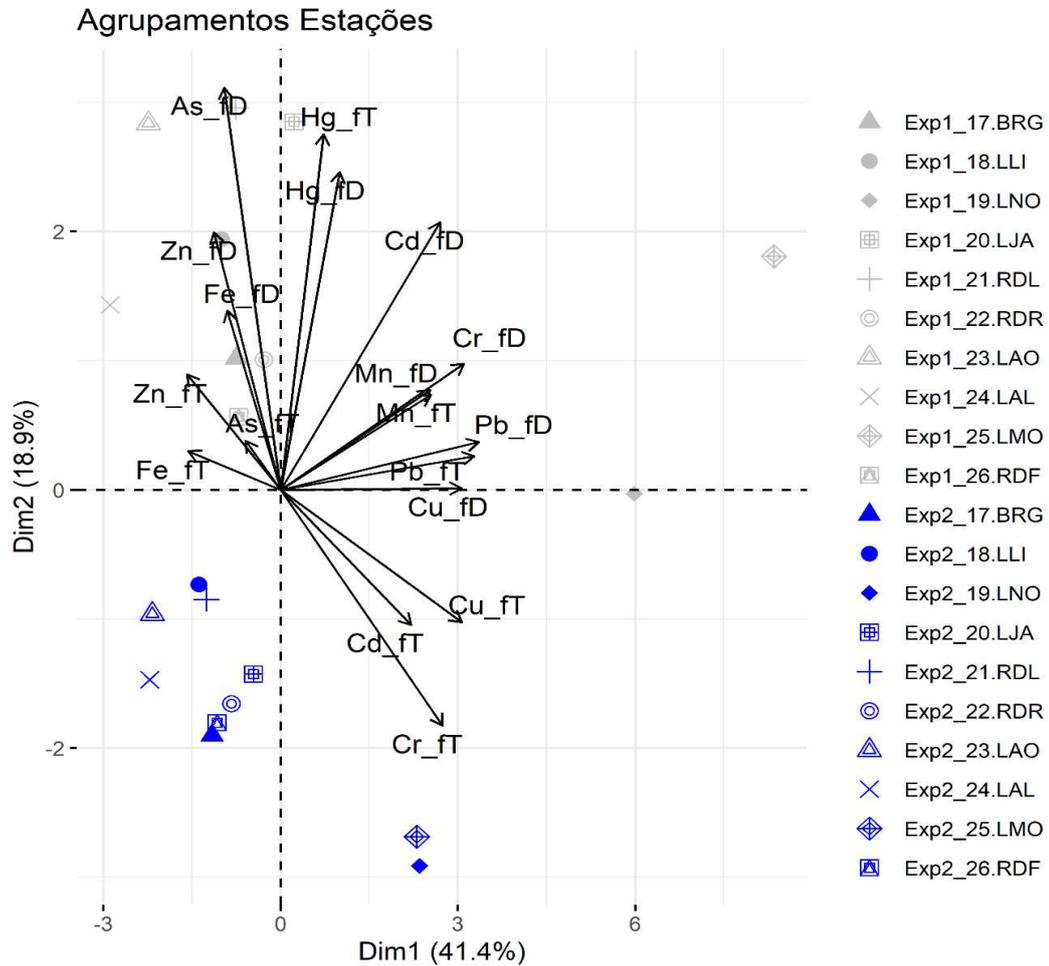


Tabela 7: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) para metais na água de fundo, em sua forma total ou dissolvida (de acordo com a Figura 29).

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de variância</b>	<b>Percentual de variância acumulativa</b>
Dim.1	7,45	41,42	41,42
Dim.2	3,40	18,91	60,33
Dim.3	2,40	13,34	73,67
Dim.4	1,63	9,05	82,72
Dim.5	1,10	6,08	88,80
Dim.6	0,88	4,89	93,69
Dim.7	0,42	2,33	96,01
Dim.8	0,28	1,55	97,56
Dim.9	0,18	1,00	98,56
Dim.10	0,14	0,80	99,37

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.11	0,05	0,27	99,63
Dim.12	0,04	0,20	99,84
Dim.13	0,02	0,09	99,92
Dim.14	0,01	0,04	99,96
Dim.15	0,01	0,03	99,99
Dim.16	0,00	0,01	100,00

Figura 30: Contribuição em porcentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmi (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na água de fundo na sua forma total (FT) e dissolvida (fD). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5,55\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

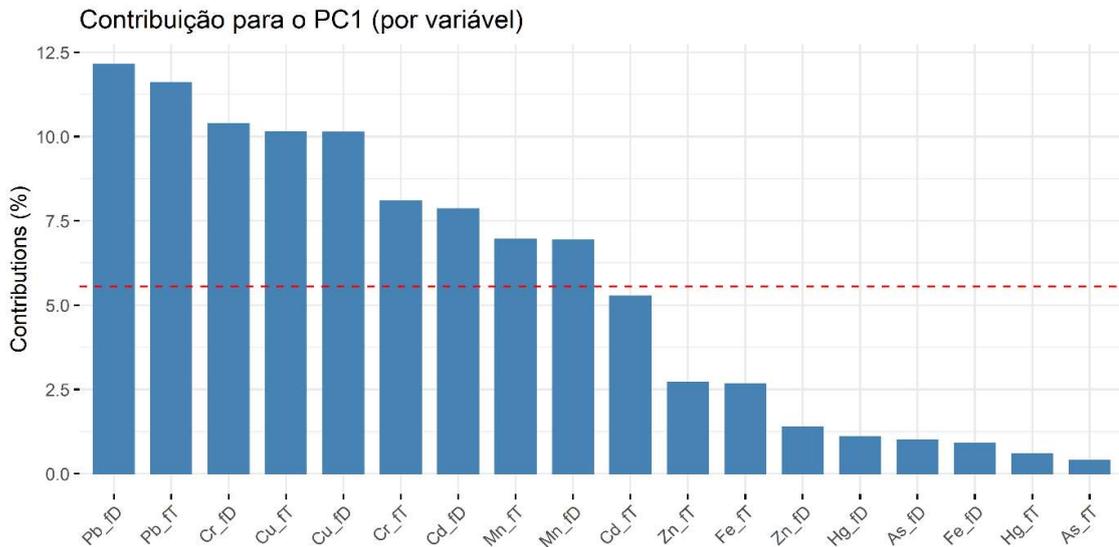
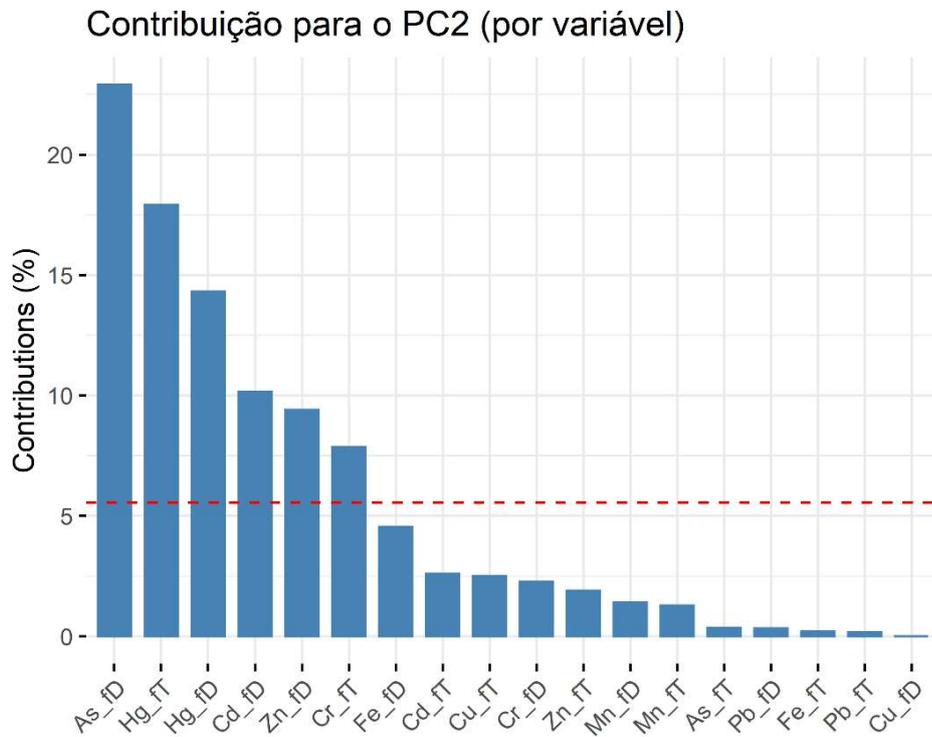


Figura 31: Contribuição em porcentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na água de fundo na sua forma total (fT) e dissolvida (fD). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/18 = 5,55\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.



As estações amostrais que mais contribuíram com o agrupamento dos dados do componente principal 1 foram as lagoas LMO, LNO e LAL (Figura 32). Relativo ao componente principal 2, as estações com maior contribuição foram o ponto no Rio Doce em Linhares (RDL), as lagoas LNO, LJA, LAO, LMO, LLI e o ponto no Rio Baixo Guandu (BRG) (Figura 33).

Figura 32: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

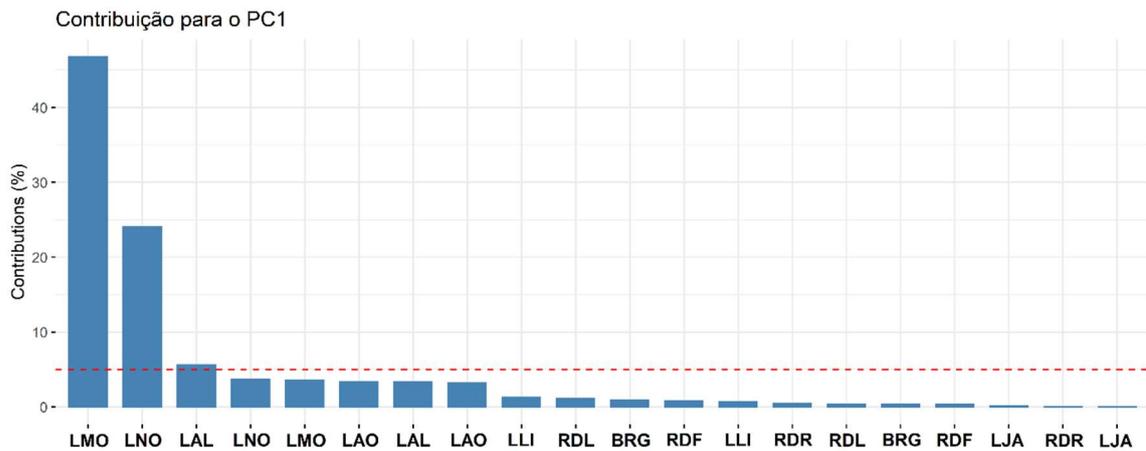
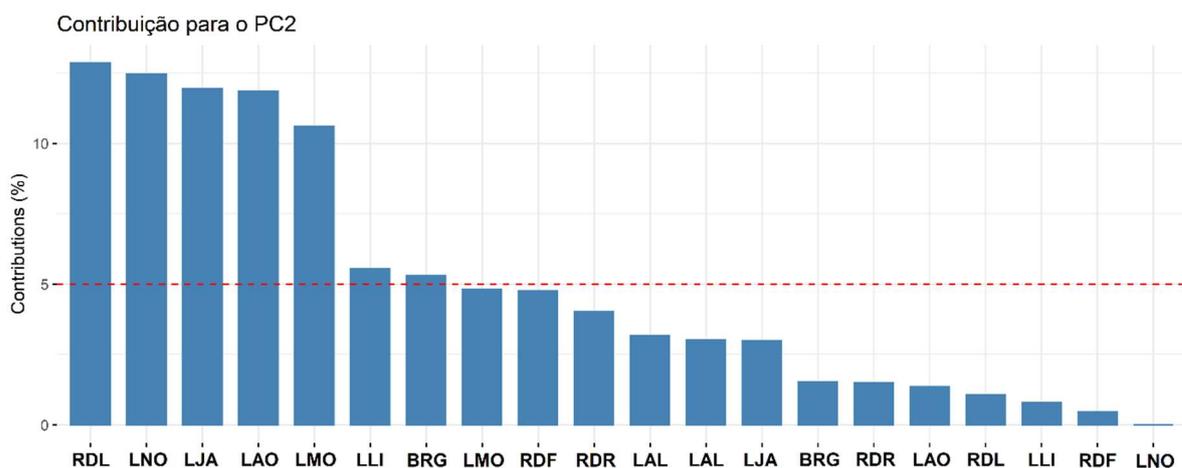


Figura 33: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.



As interações observadas na PCA consolidam o efeito da concentração de metais na maioria das estações amostrais, durante a campanha 1. Os metais As, Fe e Zn, na forma total e dissolvida, mensurados na campanha 1 agruparam-se a maioria das estações amostrais a oeste, exceto as lagoas LMO e LNO. Os metais Cd e Cr dissolvido, e Mn e Pb total e dissolvido agruparam-se a leste junto das estações amostrais LMO e LNO. Na campanha 2, grande parte dos metais não acompanhou alguma

estação amostral, exceto as lagoas LMO e LNO que foram acompanhadas por Cd, Cr e Cu na forma total.

O padrão ilustrado pelos resultados exploratórios da PCA indica que a sazonalidade teve grande contribuição no agrupamento dos dados de concentração de metal, campanha e algumas estações amostrais no ambiente dulcícola. Esse padrão foi reforçado pelos resultados da PERMANOVA que apontaram significância para o efeito da sazonalidade (campanha) e da localidade sobre a concentração de metal ( $p=0,0002$ ) (Tabela 8).

Tabela 8: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal (campanha), e do fator espacial (localidade) na concentração de metais na água para o monitoramento dulcícola. Permutação de Monte Carlo ( $n=4999$ ). (\*) e em vermelho os valores de  $p<0,05$ .

	<b>Graus de liberdade</b>	<b>SQ</b>	<b>F</b>	<b>P valor</b>
Campanha	1	156,78	47,3	0,0002*
Localidade	9	623,34	20,9	0,0002*
Campanha x Localidade	9	149,29	5,0	0,0002*
Resíduos	40	132,59		
Total	59	1062,00		

Os eventos observados pela comparação pontual entre a concentração de metal nas estações amostradas para as duas campanhas podem ser ampliados adicionando dados pretéritos e inferências cronológicas à análise. Reuniu-se dados gerados por outros grupos de pesquisa e relatórios de monitoramento em anos anteriores, a fim de estimar o efeito cronológico da variação e disponibilidade de metais em pontos coincidentes e não coincidentes da malha amostral no Rio Doce, estuário e lagoas adjacentes, que serão apresentados juntos com os resultados de sedimento, no final da próxima seção.

### **3.1.3 Concentração de metais no sedimento do Rio Doce no estado do Espírito Santo, estuário e lagoas adjacentes**

A concentração de As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Hg e Zn (mg/kg de peso seco), mensurada na fração total do sedimento de todas as estações amostrais do monitoramento dulcícola, está de acordo com o nível 1 estabelecido na Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012), para sedimento de ambiente dulcícola. Para os metais Fe e Mn não existe limite estabelecido na mesma resolução. Os resultados obtidos para a determinação de metais no sedimento estão apresentados na Tabela 9 e Tabela 10.

Tabela 9: Concentração dos metais analisados no sedimento das estações amostrais na campanha 1 do monitoramento dulcícola (Setembro/Octubre 2018). Para cada metal os valores estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão da média da concentração (mg/kg do peso seco) ( $n=4$ ).

Campanha 1 (Setembro/Octubre 2018)									
Estação amostral	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Mn	Zn	Hg
	(mg/kg peso seco)								
BRG	0,002 $\pm$ 0,001	0,007 $\pm$ 0,004	2,491 $\pm$ 1,073	0,545 $\pm$ 0,172	61,125 $\pm$ 7,583	0,478 $\pm$ 0,236	62,244 $\pm$ 26,177	3,304 $\pm$ 1,760	0,0049 $\pm$ 0,0015
LLI	0,042 $\pm$ 0,024	0,007 $\pm$ 0,003	11,854 $\pm$ 3,102	2,737 $\pm$ 0,623	166,556 $\pm$ 65,771	1,698 $\pm$ 0,573	236,140 $\pm$ 98,749	11,886 $\pm$ 2,572	0,0279 $\pm$ 0,0102
LNO	0,008 $\pm$ 0,003	0,004 $\pm$ 0,002	5,648 $\pm$ 1,546	1,496 $\pm$ 0,697	129,812 $\pm$ 20,013	0,541 $\pm$ 0,101	168,016 $\pm$ 70,041	4,656 $\pm$ 1,818	0,0187 $\pm$ 0,0050
LJA	0,006 $\pm$ 0,001	0,002 $\pm$ 0,000	1,871 $\pm$ 0,367	0,895 $\pm$ 0,622	56,376 $\pm$ 5,674	0,475 $\pm$ 0,179	44,080 $\pm$ 13,638	1,667 $\pm$ 0,368	0,0039 $\pm$ 0,0005
RDL	0,253 $\pm$ 0,058	0,021 $\pm$ 0,003	22,557 $\pm$ 1,138	5,956 $\pm$ 1,741	326,848 $\pm$ 0,034	6,034 $\pm$ 0,499	649,508 $\pm$ 58,976	17,087 $\pm$ 0,980	0,0524 $\pm$ 0,0047
RDR	0,018 $\pm$ 0,007	0,001 $\pm$ 0,001	6,004 $\pm$ 2,120	0,893 $\pm$ 0,358	37,047 $\pm$ 16,294	0,660 $\pm$ 0,226	37,780 $\pm$ 24,810	2,894 $\pm$ 0,847	0,0054 $\pm$ 0,0014
LAO	0,019 $\pm$ 0,010	0,006 $\pm$ 0,002	26,138 $\pm$ 3,889	5,901 $\pm$ 0,836	130,543 $\pm$ 27,264	3,395 $\pm$ 0,803	271,114 $\pm$ 46,602	10,443 $\pm$ 1,842	0,0246 $\pm$ 0,0036
LAL	0,075 $\pm$ 0,068	0,011 $\pm$ 0,005	12,354 $\pm$ 5,307	1,248 $\pm$ 0,577	88,944 $\pm$ 54,497	0,287 $\pm$ 0,125	103,877 $\pm$ 58,753	12,423 $\pm$ 3,707	0,0278 $\pm$ 0,0118
LMO	0,043 $\pm$ 0,011	0,139 $\pm$ 0,133	3,242 $\pm$ 0,255	0,508 $\pm$ 0,085	82,523 $\pm$ 8,983	0,376 $\pm$ 0,017	69,014 $\pm$ 5,964	2,483 $\pm$ 0,178	0,0059 $\pm$ 0,0006
RDF	0,022 $\pm$ 0,005	0,002 $\pm$ 0,000	3,690 $\pm$ 1,081	0,591 $\pm$ 0,161	60,707 $\pm$ 5,129	0,378 $\pm$ 0,088	75,814 $\pm$ 3,709	1,924 $\pm$ 0,134	0,0050 $\pm$ 0,0002

Tabela 10: Concentração dos metais analisados no sedimento das estações amostrais na campanha 2 do monitoramento dulcícola (Janeiro/Fevereiro 2019). Para cada metal os valores estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão da média da concentração (mg/kg do peso seco) ( $n=4$ ).

Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)									
Estação amostral	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Pb	Mn	Zn	Hg
	(mg/kg peso seco)								
BRG	0,006 $\pm$ 0,001	0,016 $\pm$ 0,011	2,491 $\pm$ 0,132	0,280 $\pm$ 0,023	54,085 $\pm$ 1,031	0,302 $\pm$ 0,030	69,956 $\pm$ 1,187	1,674 $\pm$ 0,216	0,0009 $\pm$ 0,0002
LLI	0,015 $\pm$ 0,001	0,012 $\pm$ 0,001	12,482 $\pm$ 1,061	2,451 $\pm$ 0,186	91,434 $\pm$ 4,511	1,459 $\pm$ 0,185	128,350 $\pm$ 1,013	8,663 $\pm$ 0,471	0,0033 $\pm$ 0,0007
LNO	0,014 $\pm$ 0,001	0,012 $\pm$ 0,000	4,031 $\pm$ 0,441	0,549 $\pm$ 0,043	161,408 $\pm$ 2,900	0,499 $\pm$ 0,020	119,536 $\pm$ 1,915	3,484 $\pm$ 0,548	0,0031 $\pm$ 0,0008
LJA	0,006 $\pm$ 0,001	0,003 $\pm$ 0,000	1,496 $\pm$ 0,083	0,222 $\pm$ 0,025	53,911 $\pm$ 5,217	0,512 $\pm$ 0,032	45,276 $\pm$ 1,945	2,732 $\pm$ 0,226	0,0008 $\pm$ 0,0001
RDL	0,154 $\pm$ 0,004	0,027 $\pm$ 0,000	23,584 $\pm$ 0,195	5,467 $\pm$ 0,762	321,043 $\pm$ 8,460	6,963 $\pm$ 0,576	626,288 $\pm$ 11,924	23,626 $\pm$ 0,690	0,0086 $\pm$ 0,0008
RDR	0,030 $\pm$ 0,002	0,003 $\pm$ 0,000	2,709 $\pm$ 0,139	0,366 $\pm$ 0,029	17,357 $\pm$ 0,742	0,442 $\pm$ 0,023	15,733 $\pm$ 1,766	2,374 $\pm$ 0,179	0,0009 $\pm$ 0,0002
LAO	0,025 $\pm$ 0,001	0,004 $\pm$ 0,000	23,633 $\pm$ 0,922	5,402 $\pm$ 0,539	121,204 $\pm$ 2,865	2,918 $\pm$ 0,307	317,997 $\pm$ 13,249	12,982 $\pm$ 0,821	0,0040 $\pm$ 0,0006
LAL	0,017 $\pm$ 0,002	0,014 $\pm$ 0,001	7,095 $\pm$ 0,315	0,709 $\pm$ 0,128	27,889 $\pm$ 1,872	0,181 $\pm$ 0,023	68,483 $\pm$ 9,239	9,633 $\pm$ 0,408	0,0027 $\pm$ 0,0003
LMO	0,047 $\pm$ 0,001	0,008 $\pm$ 0,001	3,892 $\pm$ 0,306	0,594 $\pm$ 0,099	79,894 $\pm$ 6,523	0,434 $\pm$ 0,019	112,768 $\pm$ 9,744	3,324 $\pm$ 0,238	0,0010 $\pm$ 0,0001
RDF	0,018 $\pm$ 0,002	0,003 $\pm$ 0,000	3,181 $\pm$ 0,150	0,609 $\pm$ 0,035	61,130 $\pm$ 1,641	0,582 $\pm$ 0,012	131,379 $\pm$ 1,681	2,551 $\pm$ 0,157	0,0008 $\pm$ 0,0000

Para facilitar a visualização, alguns resultados foram apresentados também na forma de gráfico. Abaixo, destacam-se as principais observações do padrão da concentração dos metais no sedimento nas campanhas 1 e 2, em todas as estações amostrais:

- Os maiores valores de As foram encontrados no sedimento da estação amostral RDL, na campanha 1 ( $0,253 \pm 0,058$  mg/kg peso seco), seguido pelo encontrado na campanha 2 ( $0,154 \pm 0,004$  mg/kg peso seco), no mesmo ponto amostral (Figura 34).
- A concentração de Cd encontrada no sedimento coletado foi maior na estação LMO, durante a campanha 1 ( $0,139 \pm 0,133$  mg/kg peso seco), quando comparado ao obtido na campanha 2 ( $0,008 \pm 0,001$  mg/kg peso seco) e nas outras estações amostrais (Figura 35).
- O nível de Cr esteve alto nas estações amostrais LAO ( $26,14 \pm 3,89$  e  $23,63 \pm 0,92$  mg/kg peso seco na campanha 1 e 2, respectivamente) e RDL ( $22,56 \pm 1,14$  e  $23,58 \pm 0,19$  mg/kg peso seco na campanha 1 e 2, respectivamente), seguido por LLI ( $11,85 \pm 3,10$  e  $12,48 \pm 1,06$  mg/kg peso seco na campanha 1 e 2, respectivamente) e LAL ( $12,35 \pm 5,31$  e  $7,09 \pm 0,32$  mg/kg peso seco na campanha 1 e 2, respectivamente) (Figura 36).
- Os maiores valores de Cu foram encontrados na estação amostral RDL ( $5,96 \pm 1,74$  e  $5,47 \pm 0,76$  mg/kg peso seco na campanha 1 e 2, respectivamente) e LAO ( $5,90 \pm 0,84$  e  $5,40 \pm 0,54$  mg/kg peso seco na campanha 1 e 2, respectivamente) (Figura 37).
- A concentração de Fe foi notadamente elevada na estação amostral RDL em ambas as campanhas  $326,85 \pm 50,03$  e  $321,04 \pm 8,46$  mg/kg peso seco na campanha 1 e 2, respectivamente) (Figura 38).
- Os valores encontrados para Hg na campanha 1, em todas as estações amostrais, foram superiores aos encontrados na campanha 2. Por exemplo, em RDL a concentração encontrada na campanha 1 foi  $0,052 \pm 0,005$  mg/kg peso seco, enquanto na campanha 2 foi de  $0,009 \pm 0,001$  mg/kg peso seco (Figura 39).
- A concentração de Mn foi elevada em ambas as campanhas, nas estações amostrais RDL ( $649,51 \pm 58,98$  e  $626,29 \pm 11,92$  mg/kg peso seco nas campanhas 1 e 2, respectivamente) e LAO ( $271,11 \pm 46,60$  e  $318,00 \pm 13,25$  mg/kg peso seco nas campanhas 1 e 2, respectivamente) (Figura 40).
- O Pb esteve presente em maior concentração, na estação amostral RDL ( $6,03 \pm 0,50$  e  $6,96 \pm 0,58$  mg/kg peso seco nas campanhas 1 e 2, respectivamente), seguido por LAO ( $3,40 \pm 0,80$  e  $2,92 \pm 0,31$  mg/kg peso seco nas campanhas 1 e 2, respectivamente) (Figura 41).
- O Zn esteve em alta concentração na estação RDL, sendo mais abundante na campanha 2 ( $23,63 \pm 0,69$  mg/kg peso seco) do que na campanha 1 ( $17,09 \pm 0,98$  mg/kg peso seco). Outros pontos com níveis altos de Zn foram LAO, LAL e LLI, no entanto os valores em LAO foram mais elevados na campanha 2 ( $12,98 \pm 0,82$  mg/kg peso seco) do que na campanha 1 ( $10,44 \pm 1,84$  mg/kg peso seco) e o contrário foi encontrado em LAL e LLI ( $12,42 \pm 3,71$  e  $9,63 \pm 0,41$  mg/kg peso seco em LAL; e  $11,89 \pm 2,57$  e  $8,66 \pm 0,47$  mg/kg peso seco, campanha 1 e 2, respectivamente) (Figura 42).

Figura 34: Concentração de Arsênio total (As) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Outubro 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Arsênio total (5,9 mg/kg peso seco) permitido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco).

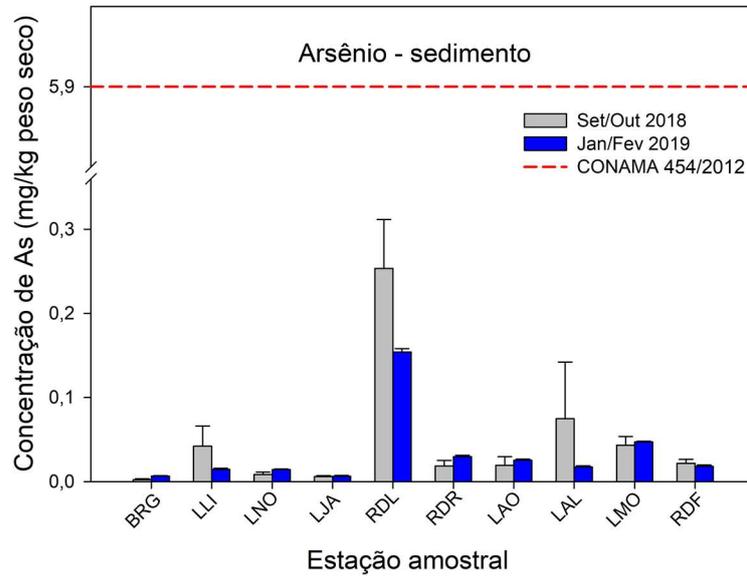


Figura 35: Concentração de Cádmiu total (Cd) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Outubro 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cádmiu total (0,6 mg/kg peso seco) permitido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco).

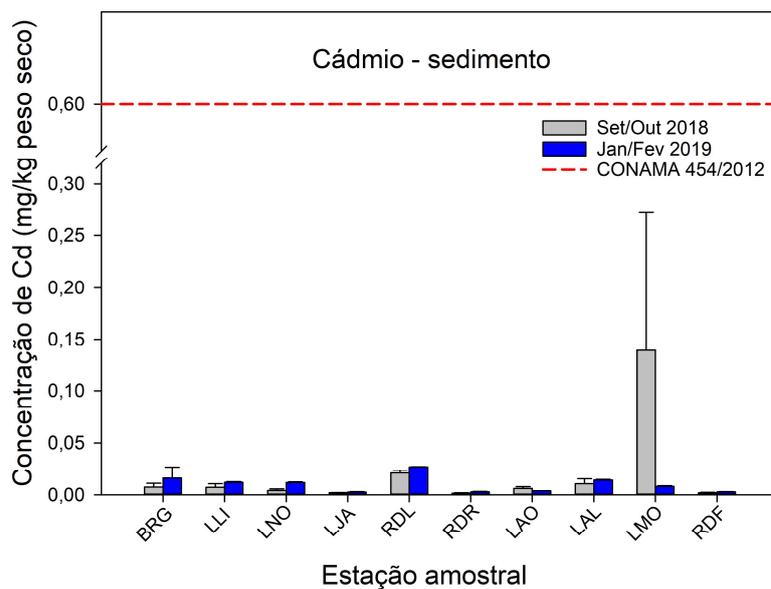


Figura 36: Concentração de Cromo total (Cr) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Octubre 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média ± erro padrão ( $n=4$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cromo total (37,3 mg/kg peso seco) permitido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco).

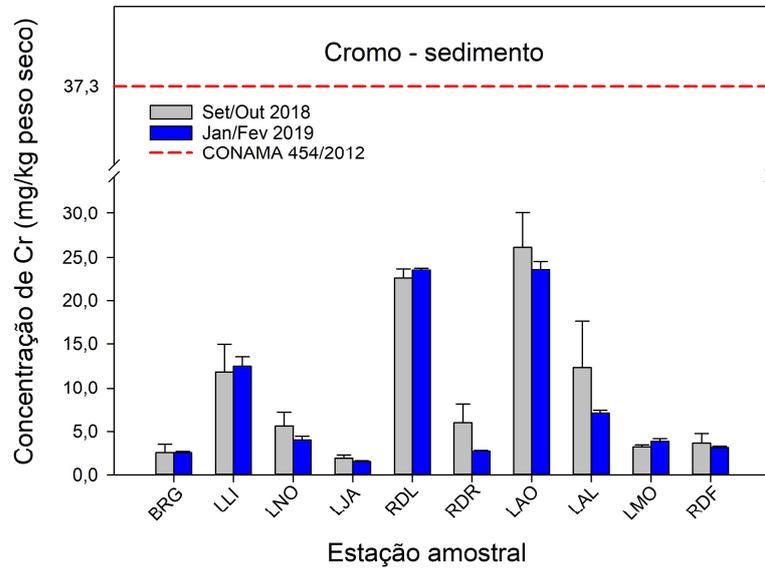


Figura 37: Concentração de Cobre total (Cu) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Octubre 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média ± erro padrão ( $n=4$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cobre total (35,7 mg/kg peso seco) permitido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco).

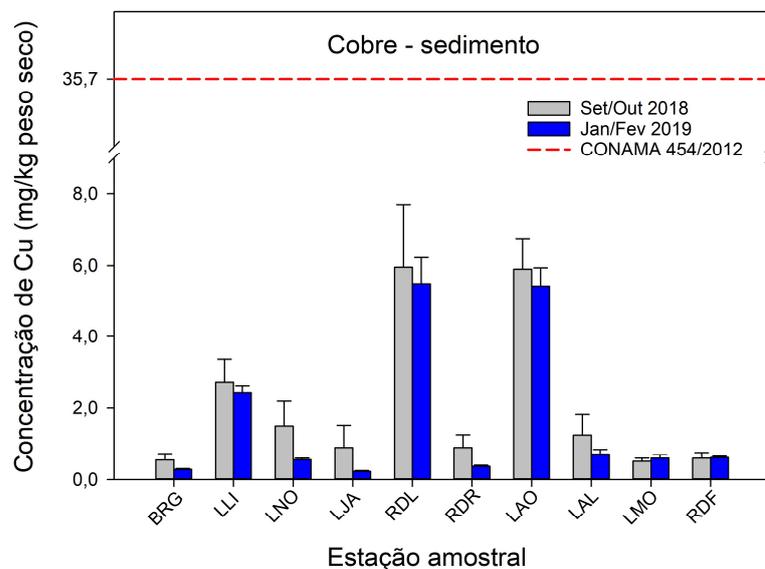


Figura 38: Concentração de Ferro total (Fe) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Outubro 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ). Não há valor limite da concentração de Fe estabelecido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco).

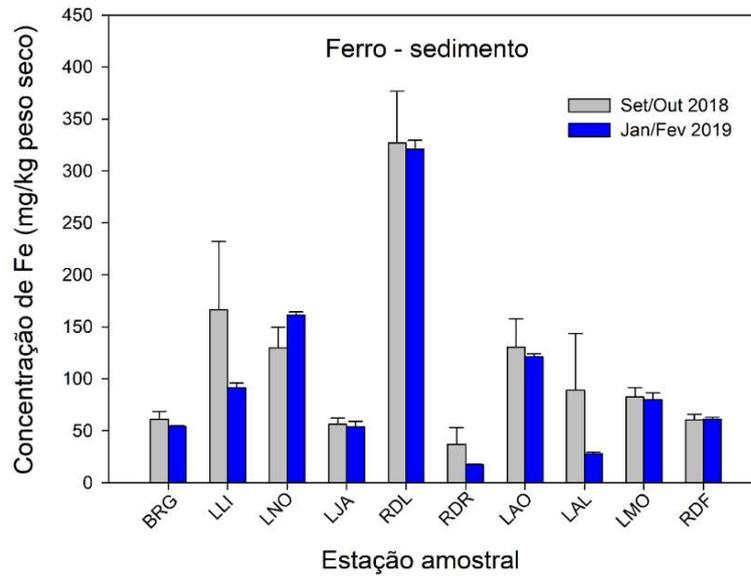


Figura 39: Concentração de Mercúrio total (Hg) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Outubro 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Mercúrio total (0,17 mg/kg peso seco) permitido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco).

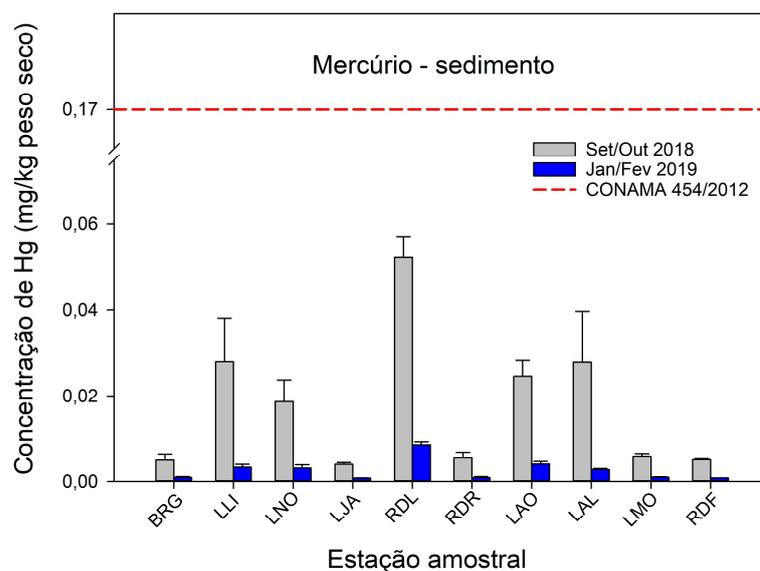


Figura 40: Concentração de Manganês total (Mn) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Outubro 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Febrero 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (n=4). Não há valor limite da concentração de Mn estabelecido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco).

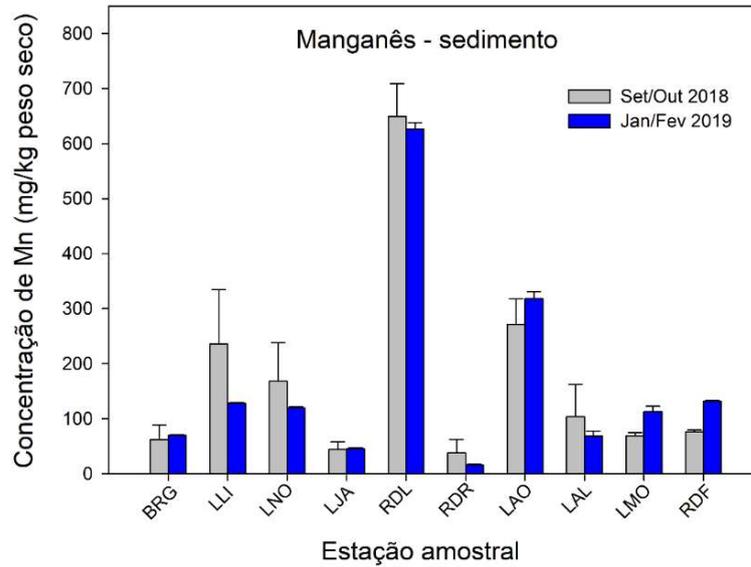


Figura 41: Concentração de Chumbo total (Pb) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Outubro 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Febrero 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (n=4). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Chumbo total (35 mg/kg peso seco) permitido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco).

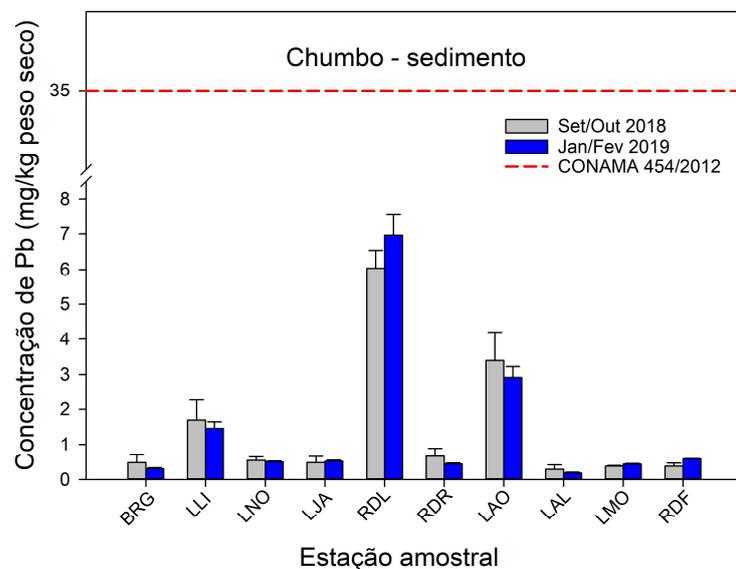
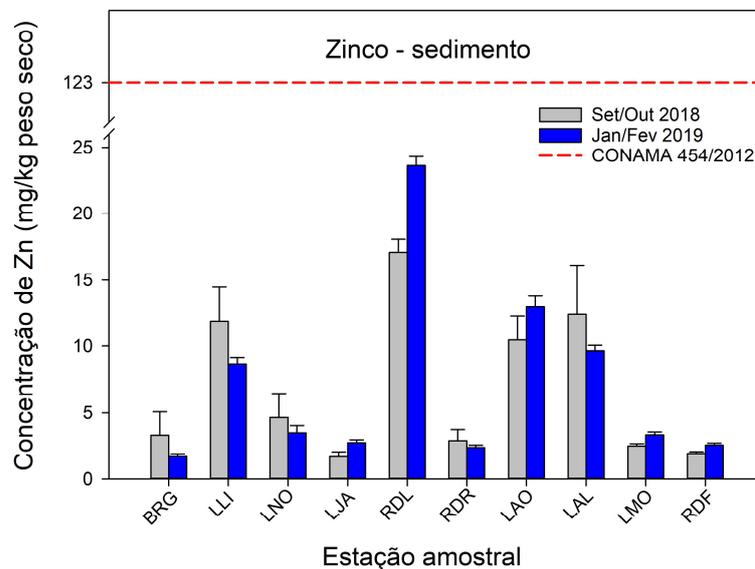


Figura 42: Concentração de Zinco total (Zn) (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento total coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha dulcícola 1 (Setembro/Octubre 2018; Barras cinzas) e a campanha dulcícola 2 (Janeiro/Fevereiro 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ). A linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Zinco total (123 mg/kg peso seco) permitido pela Resolução 454 de 01/11/2012 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 454/2012) para sedimento de ambiente dulcícola (mg/kg peso seco).



A análise de Componentes Principais (PCA) exploratória foi também utilizada na tentativa de detectar padrões de efeito sazonal ou espacial sobre a concentração de metais no sedimento. As variáveis utilizadas nesta análise (representadas por setas) foram as médias das concentrações dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Zn e Hg no sedimento coletado, nas dez estações amostrais em duas campanhas. As localidades ou estações amostrais representam os indivíduos utilizados na análise e estão representadas por símbolos na cor cinza (campanha 1) e azul (campanha 2) (Figura 43).

Como resultado primário, a PCA de metais no sedimento amostrado no ambiente dulcícola e estuário forneceu variabilidade dos dados de 87,5% nas duas primeiras dimensões. O componente principal 1 sumarizou 75,5% dos dados e os elementos As, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn a leste (Figura 43 e Tabela 11). Destes, os elementos que mais contribuíram com o resultado da PC1 foram Mn, Pb, Zn, Hg, Fe, Cu e Cr (apresentados em ordem de maior contribuição, Figura 44). O Biplot agrupou as médias das campanhas 1 e 2 e das estações amostrais BRG, LJA, RDR e RDF a oeste, e a estação amostral LAO e RDL a leste. As médias das campanhas 1 e 2 da estação amostral LMO mantiveram-se a oeste, porém separadas em centro e norte. O componente principal 2 sumarizou 12% dos dados, agrupando o metal Cd ao norte (Figura 43), sendo este metal o mais contributivo com o resultado da PC2 (Figura 45).

A estação amostral que mais contribuiu com o agrupamento dos dados do componente principal 1 foi o ponto no Rio Doce, em Linhares (RDL) (Figura 46). Relativo ao componente principal 2, as estações com maior contribuição foram as lagoas LMO e LAO (Figura 47).

As interações observadas na PCA eliminam o efeito da sazonalidade sobre a concentração de metais na maioria das estações amostrais, exceto para LMO. Esse padrão foi reforçado pelo resultado da PERMANOVA que não encontrou significância para um efeito da sazonalidade ( $p=0,1086$ ) e nem efeito combinado da sazonalidade e localidade ( $p=0,3496$ ) sobre a concentração dos metais no sedimento. Já as estações amostrais do ambiente dulcícola, tiveram efeito sobre a concentração dos metais no sedimento, demonstrando-se significativo na PERMANOVA ( $p=0,0002$ ) (Tabela 12).

Figura 43: Análise de Componentes Principais aplicada para os dados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) no sedimento (S) coletado nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade na campanha 1 (Exp1; em cinza) e na campanha 2 (Exp2; em azul).

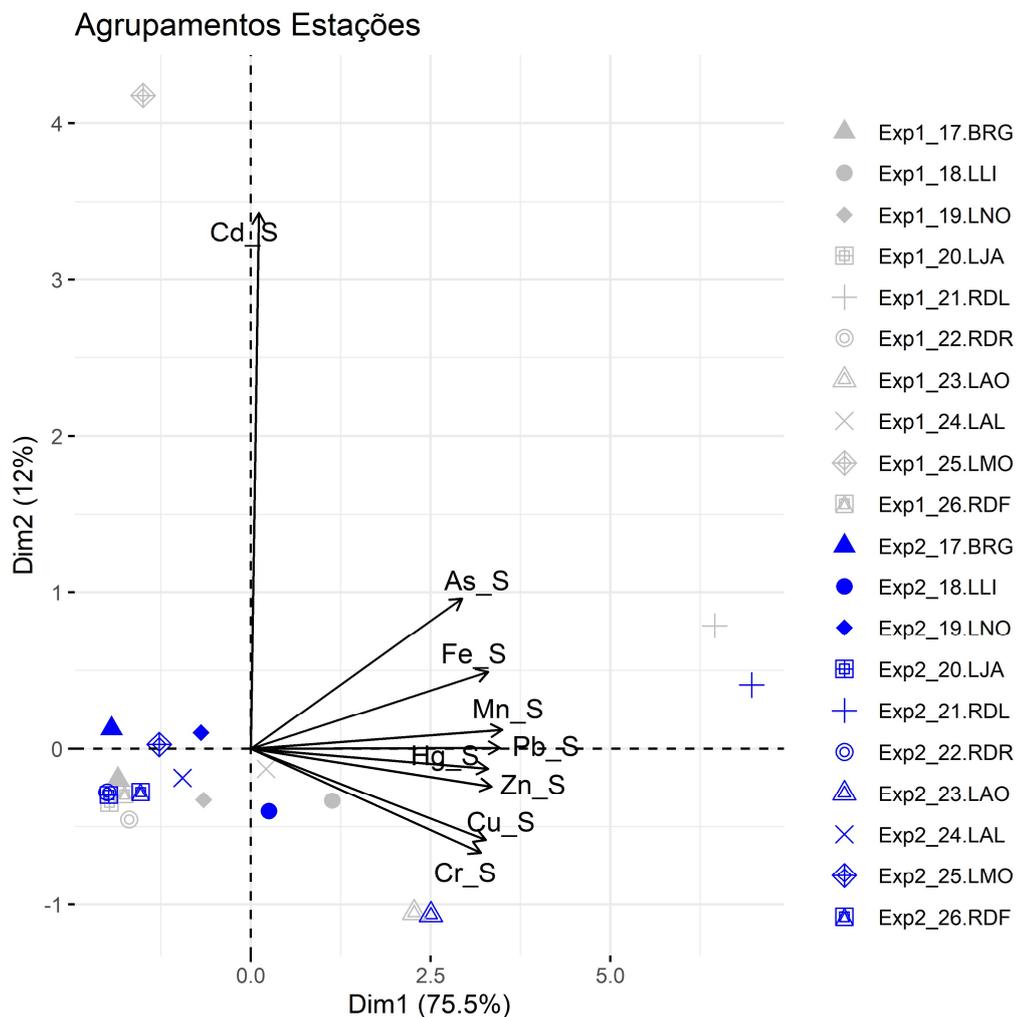


Tabela 11: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado para metais no sedimento (de acordo com a Figura 43).

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de variância</b>	<b>Percentual de variância acumulativa</b>
Dim.1	6,80	75,51	75,51
Dim.2	1,08	12,01	87,51

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.3	0,54	6,00	93,52
Dim.4	0,29	3,26	96,77
Dim.5	0,18	1,96	98,73
Dim.6	0,07	0,74	99,47
Dim.7	0,03	0,30	99,77
Dim.8	0,02	0,17	99,94
Dim.9	0,01	0,06	100,00

Figura 44: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmi (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

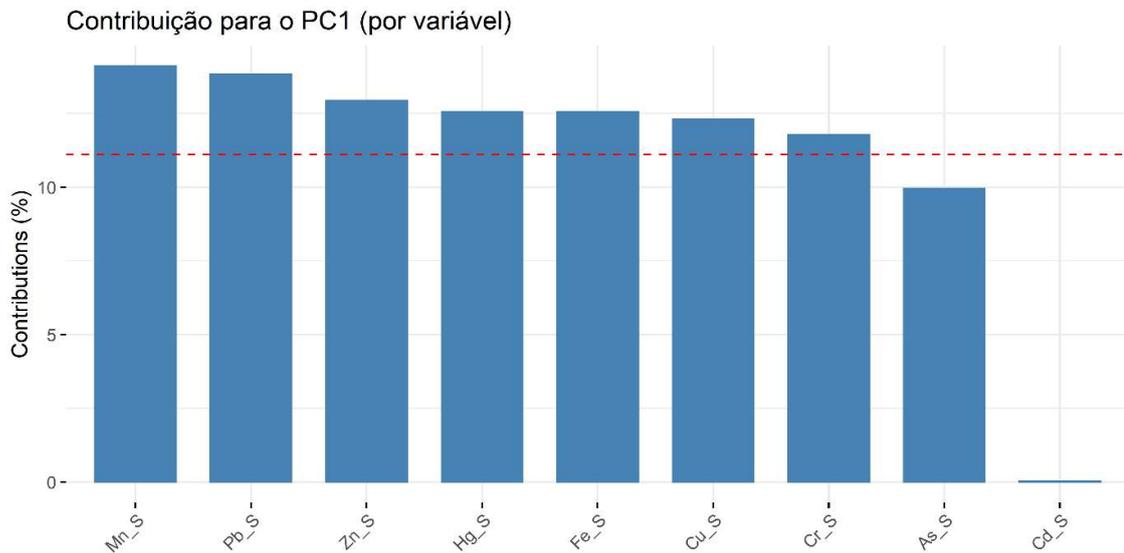


Figura 45: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

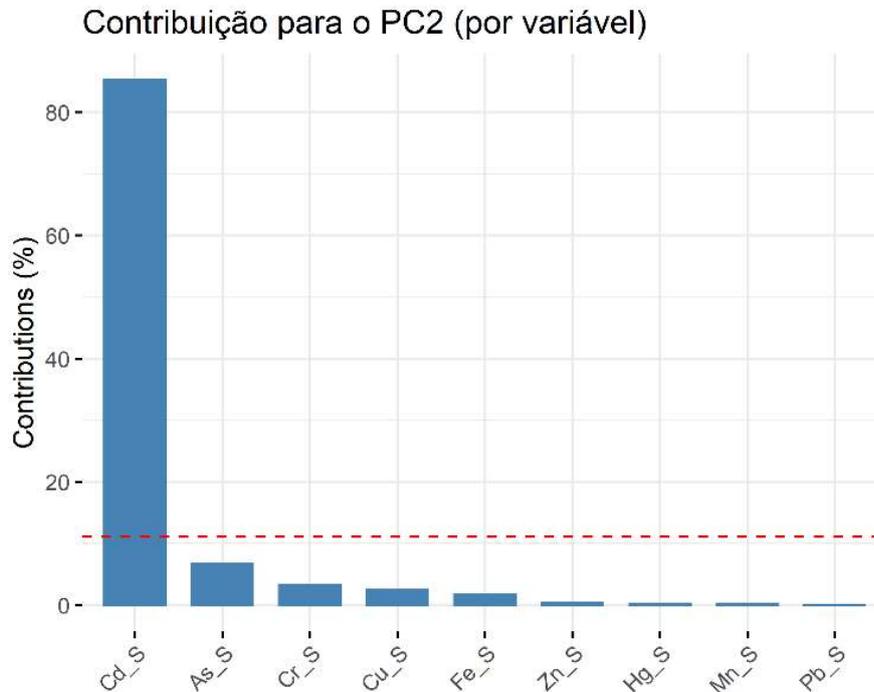


Figura 46: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

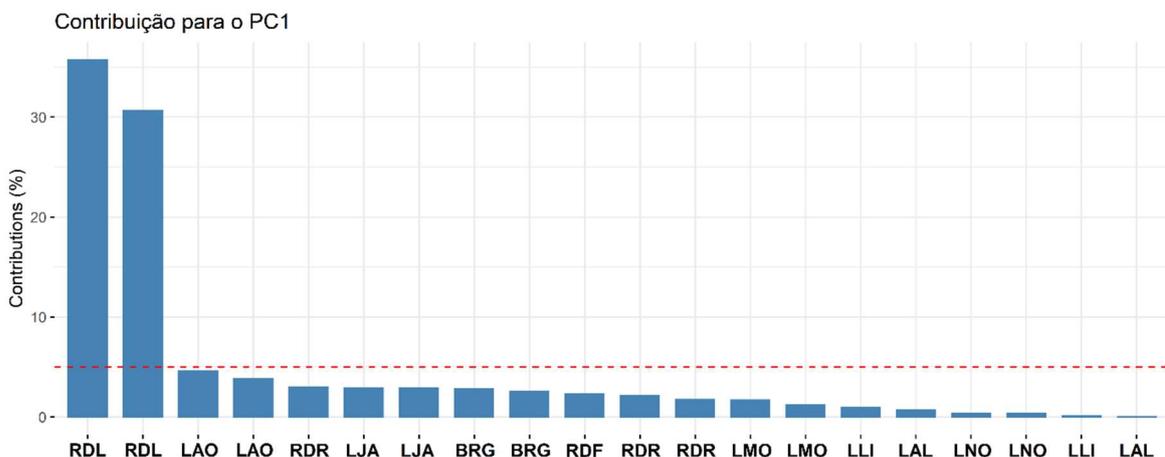


Figura 47: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

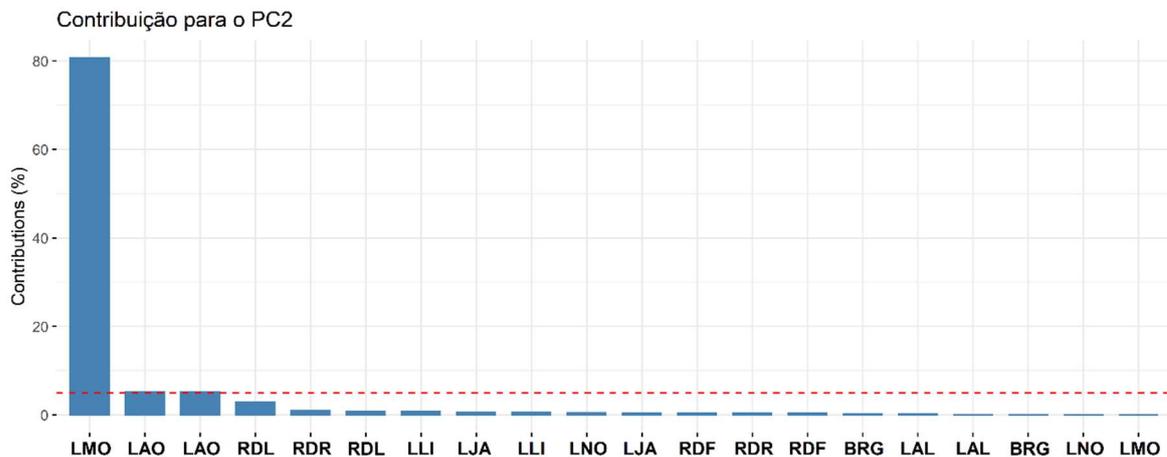


Tabela 12: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal (campanha), e do fator espacial (localidade) na concentração de metais no sedimento. Permutação de Monte Carlo (n=4999). \*e em vermelho destaca os valores de  $p < 0,05$ .

	dF	Sq	Mq	F	P valor
Campanha	1	5,97	5,97	2,23	0,1086
Localidade	9	517,78	57,53	21,46	0,0002*
Campanha*Localidade	9	26,39	2,93	1,09	0,3496
Resíduos	60	160,86	2,68		
Total	79	711,00			

Abaixo, serão apresentados alguns dados comparativos referentes à determinações pretéritas das concentrações dos principais metais associados ao rejeito proveniente de Fundão (Fe, Cr e Mn), a fim de tentar traçar um perfil temporal de resposta de contaminação:

- Nas estações amostrais RDL e RDF, coincidentes com os pontos monitorados pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente do estado do Espírito Santo (IEMA), foi possível observar um aumento nas concentrações de Fe, Cr e Mn na água, logo após a passagem da pluma de rejeitos (Figura 48). Uma diminuição temporal nas concentrações destes três metais, também, pode ser evidenciada, sendo que os níveis destes metais, na água monitoradas, no âmbito do PMBA - Anexo 1 (Set/Out 2018 e Jan/Fev 2019) encontram-se próximos aos valores monitorados pelo IEMA pré-rompimento.
- Nas estações amostrais localizada no Rio Doce em Linhares (RDL), coincidente com a estação monitorada pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente do estado do Espírito Santo (IEMA), foi possível

observar um aumento nas concentrações de Cr no sedimento após a passagem da pluma de rejeitos, em novembro de 2015 (Figura 49). De acordo com os dados do presente programa de monitoramento, estas concentrações de Cr no sedimento continuam elevadas em RDL comparadas àquelas detectadas num momento pretérito ao rompimento. Para o Fe, as concentrações determinadas no âmbito do PMBA (2018/2019) apontam para uma redução temporal, tanto em RDL quanto na foz do Rio Doce (RDF), a partir dos meses mais próximos à chegada da lama, até o momento atual. Todavia, um padrão semelhante ao cromo foi detectado para o Mn, que continua apresentando um padrão de aumento em RDL, de acordo com os resultados deste anexo em comparação aos dados pretéritos, assim como observado em RDF.

Figura 48: Variação temporal nas concentrações de Fe dissolvido, Cr total e Mn total ( $\mu\text{g/L}$ ) na água coletada no Rio Doce em Linhares (RDL) e na foz (RDF), monitoradas pelo IEMA (círculos pretos) e pelo PMBA - Anexo 1 (círculos azuis). A linha tracejada laranja separa o período de coleta das amostras em antes e depois da passagem da pluma de rejeitos e a linha vermelha representa a concentração máxima permitida para águas de Classe 1 e 2 preconizadas pela Resolução CONAMA 357/2005.

Fonte: Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA).

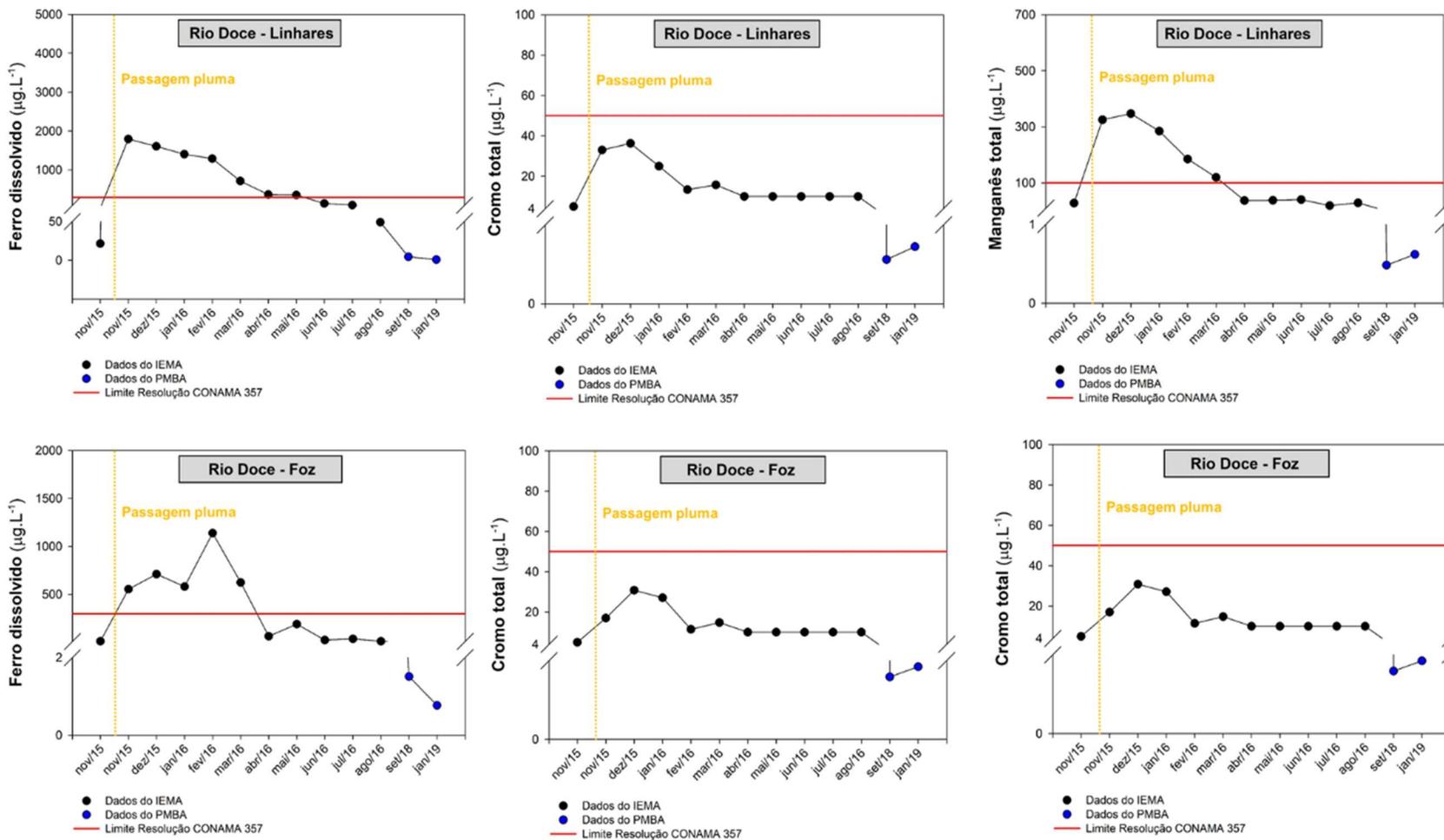
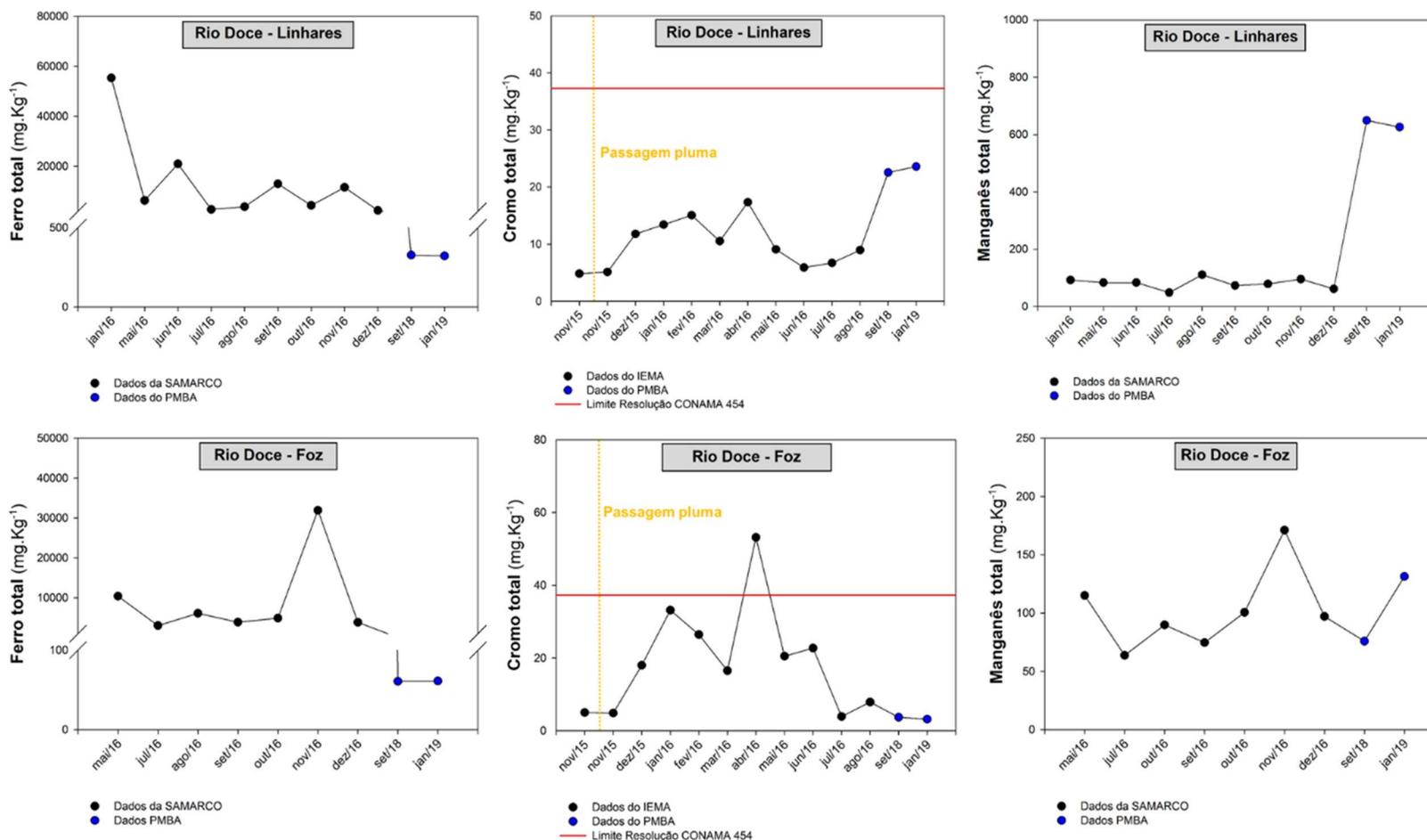


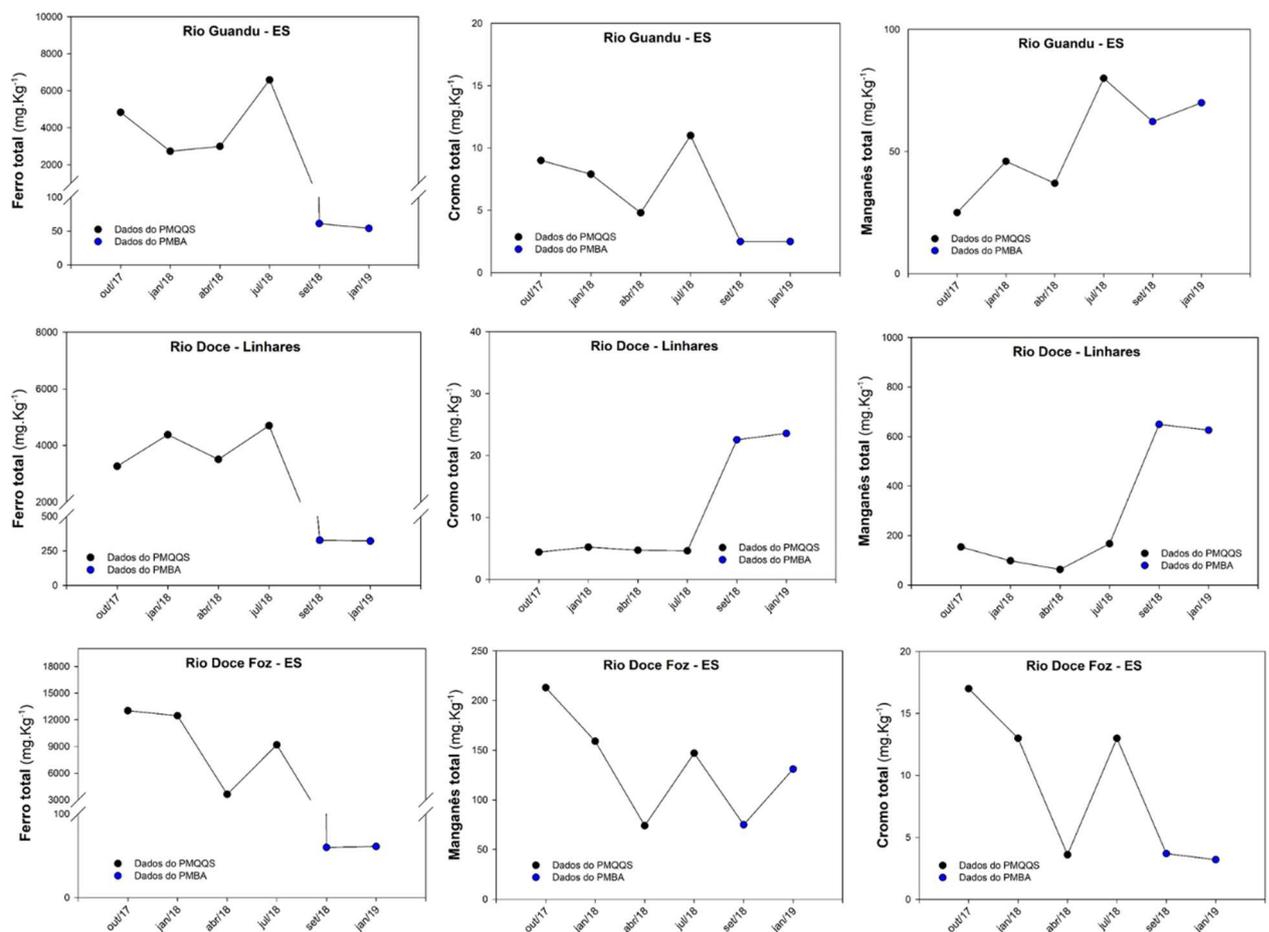
Figura 49: Variação temporal nas concentrações de Fe, Cr e Mn total (mg/Kg) no sedimento coletado no Rio Doce em Linhares (RDL) e na foz (RDF), monitoradas pelo IEMA (círculos pretos) e pelo PMBA - Anexo 1 (círculos azuis). A linha tracejada laranja separa o período de coleta das amostras em antes e depois da passagem da pluma de rejeitos e a linha vermelha representa a concentração máxima permitida para águas de Classe 1 e 2 preconizadas pela Resolução CONAMA.



Fonte: Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA).

- A concentração de metais no sedimento monitorados pelo PMBA - Anexo 1 também foi comparada aos dados gerados pelo Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) permanente de água e sedimento da bacia do Rio Doce (Figura 50). Para os metais Fe e Cr, os resultados apontam para uma diminuição temporal na concentração destes elementos no sedimento do rio Guandu (afluente do Rio Doce), enquanto o Mn apresenta um comportamento inverso. No sedimento da estação amostral, localizada na calha do rio doce em Linhares (RDL), o Fe também apresenta um padrão de diminuição temporal, também observado na estação mais próxima à foz do rio (RDF), enquanto o Cr e o Mn continuam aumentando, em relação aos dados mais anteriores coletados pelo PMQQS.

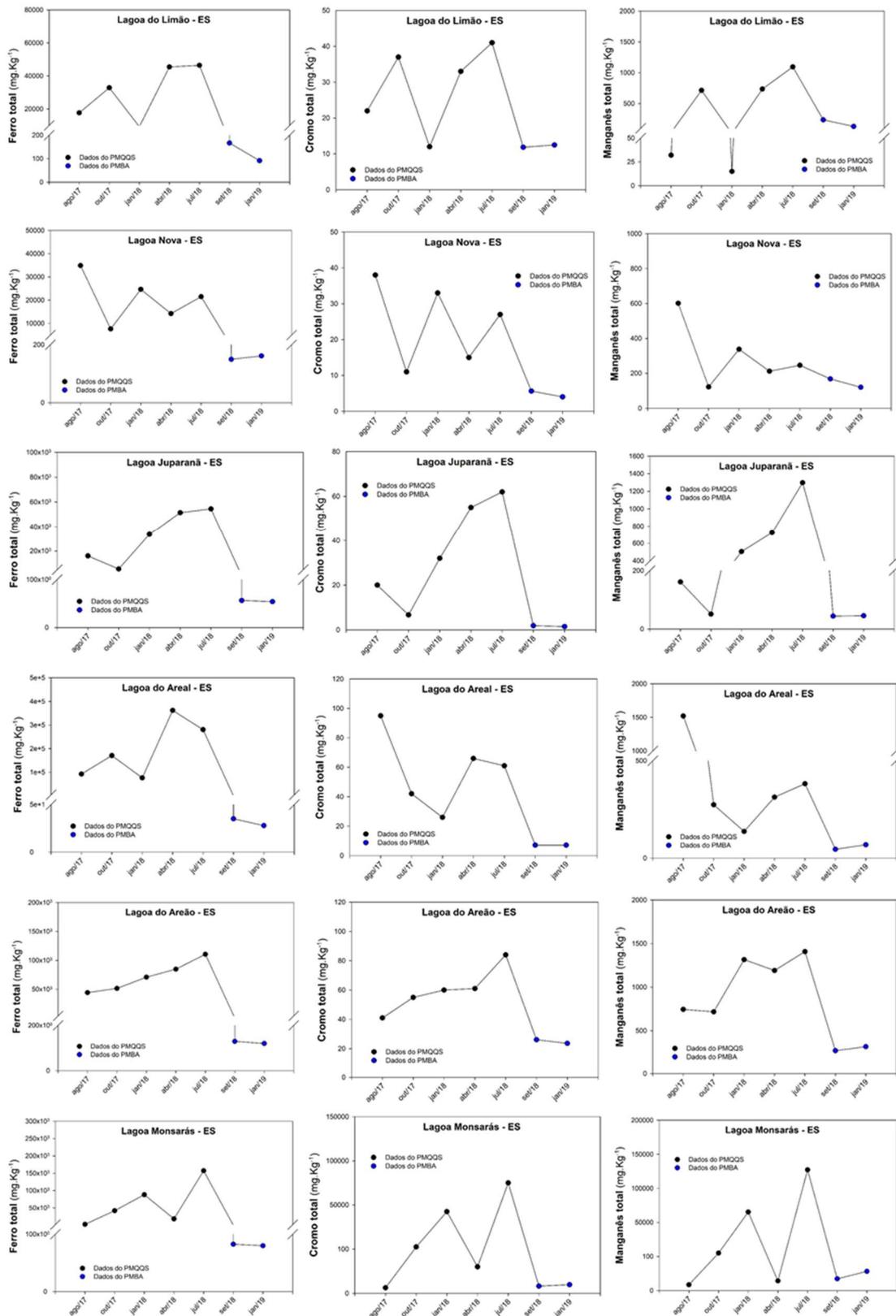
Figura 50: Variação temporal nas concentrações de Fe, Cr e Mn total (mg/Kg) no sedimento coletado no Rio Guandu (BRG), no Rio Doce em Linhares (RDL) e na foz (RDF), monitorados pelo PMQQS (círculos pretos) e pelo PMBA - Anexo 1 (círculos azuis).



Fonte: PMQQS e Anexo 1, TR4.

- A concentração de metais no sedimento das lagoas adjacentes ao Rio Doce monitorados pelo PMBA - Anexo 1 também foi comparada aos dados gerados pelo PMQQS (Figura 51). De maneira geral, para os três metais comparados entre os dois programas de monitoramento (Fe, Cr e Mn) os resultados apontam para uma diminuição na concentração destes elementos no sedimento, em todas as lagoas adjacentes ao Rio Doce monitoradas durante as campanhas 1 (Set/Out 2018) e 2 (Jan/Fev 2019) do PMBA, quando comparados aos meses anteriores de monitoramento, realizados pelo PMQQS, embora os resultados apontem para variações transitórias na concentração destes metais, numa escala temporal.

Figura 51: Variação temporal nas concentrações de Fe, Cr e Mn total (mg/Kg) no sedimento coletado na Lagoa do Limão (LLI), Lagoa Nova (LNO), Lagoa Juparanã (LJA), Lagoa do Areal (LAL), Lagoa do Areão (LAO) e Lagoa Monsarás (LMO) monitoradas pelo PMQGS (círculos pretos) e pelo PMBA - Anexo 1 (círculos azuis).



Fonte: PMQGS e Anexo 1, TR4.

### **3.1.4 Modelagem (Modelo do Ligante Biótico - BLM) da biodisponibilidade e toxicidade de metais (Cd, Cu, Pb e Zn) na água do Rio Doce no estado do Espírito Santo**

Como descrito no item 2.3, a partir dos resultados obtidos nas análises das amostras de água doce provenientes do Rio Doce e das lagoas adjacentes no estado do Espírito Santo foi realizada a modelagem ecotoxicológica dos dados, visando a previsão da biodisponibilidade e toxicidade de metais em ambientes dulcícolas. A modelagem ecotoxicológica para cada estação amostral, em cada campanha de coleta (seca e chuvosa), foi calibrada considerando-se a concentração máxima permitida preconizada pela Resolução CONAMA 357/2015 para cada um dos quatro metais calibrados no âmbito do BLM, para águas doces de Classe 1 e 2, a saber: Cd: 1 µg/L, Cu: 9 µg/L, Pb: 10 µg/L e Zn: 180 µg/L. Além disso, foram considerados os resultados das análises de pH, temperatura, concentrações de íons ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^-$ ), carbono orgânico dissolvido (amostra filtrada), e alcalinidade total (amostra não filtrada).

De maneira geral, os resultados do BLM sugerem uma maior concentração do íon livre para os metais não-essenciais Cd (Figura 52) e Pb (Figura 54) em todas as estações amostrais durante a campanha 1 (período seco - Set/Out 2018), quando comparado à campanha 2 (período chuvoso – Jan/Fev 2019). Também, observa-se um padrão espacial de biodisponibilidade destes metais, onde o modelo previu maiores concentrações de íons livres (Cd e Pb), nas estações amostrais mais próximas da foz do Rio Doce, incluindo as lagoas adjacentes mais próximas da desembocadura do rio, em especial a Lagoa do Areal (LAL) e a Lagoa Monsarás (LMO).

Por outro lado, previu-se um padrão sazonal contrário para a biodisponibilidade dos metais essenciais Cu (Figura 53) e Zn (Figura 55), onde as maiores concentrações do íon livre destes metais foram previstas para a campanha 2 (estação chuvosa – Jan/Fev 2019), quando comparadas aquelas previstas para a campanha 1 (estação seca – Set/Out 2019). Além disso, observa-se um padrão espacial, com destaque para a campanha 1, onde as concentrações de íon livre para Cu e Zn aumentam no sentido à foz do rio Doce, incluindo as lagoas adjacentes mais próximas à foz do rio.

Conforme apresentado na seção 3.1.1, as lagoas LAL, LAO, LMO, bem como a estação amostral localizada na foz do rio Doce (RDF) apresentaram os menores valores pH durante a campanha 1 e campanha 2, em comparação às demais estações amostrais monitoradas. É importante ressaltar que o pH é um fator extremamente importante para a especiação dos metais, afetando a biodisponibilidade dos mesmos.

Figura 52: Concentração de cádmio livre em cada estação amostral ao longo da porção capixaba do rio Doce (A e C) e lagoas adjacentes (B e D), previstas a partir do modelo do ligante biótico (BLM).

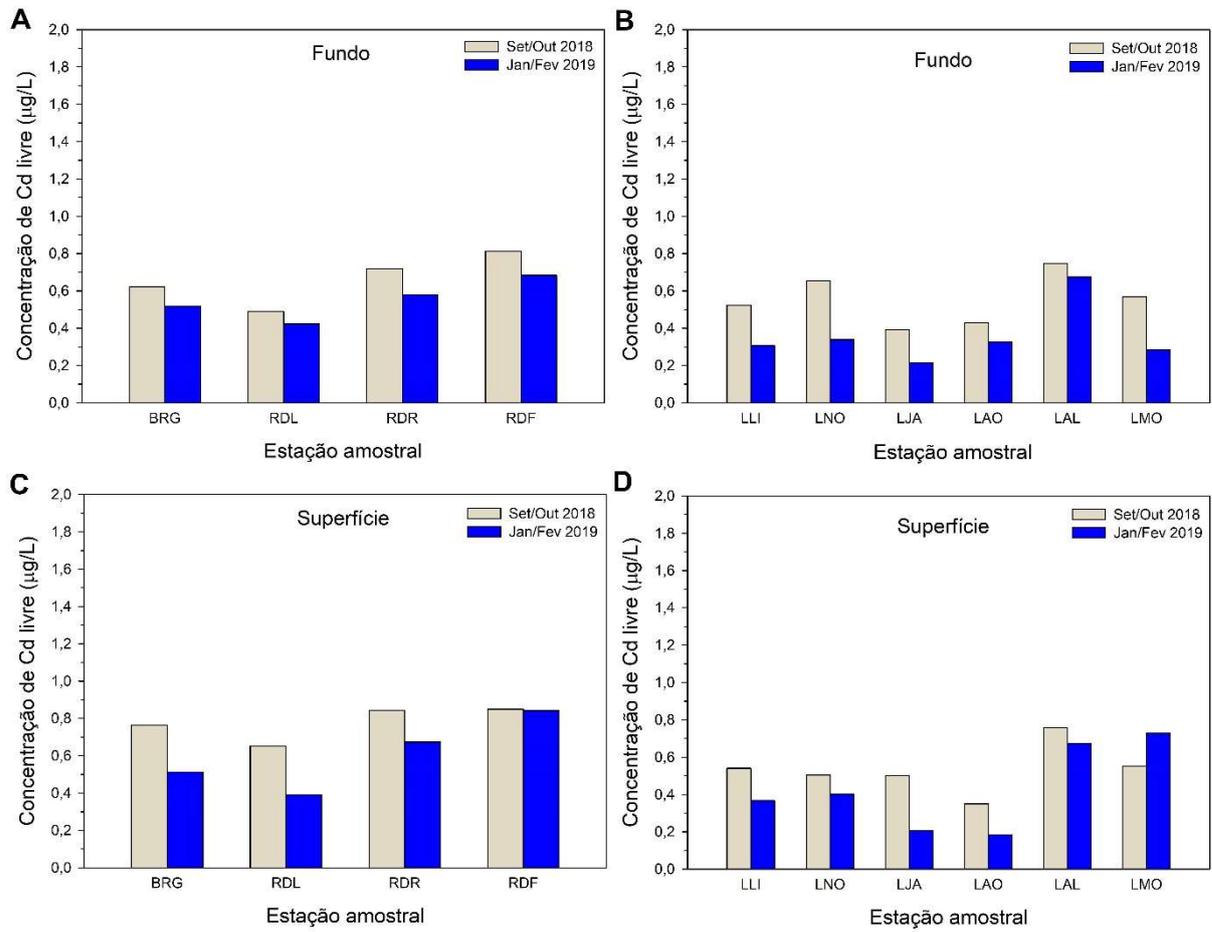


Figura 53: Concentração de cobre livre em cada estação amostral ao longo da porção capixaba do rio Doce (A e C) e lagoas adjacentes (B e D), previstas a partir do modelo do ligante biótico (BLM).

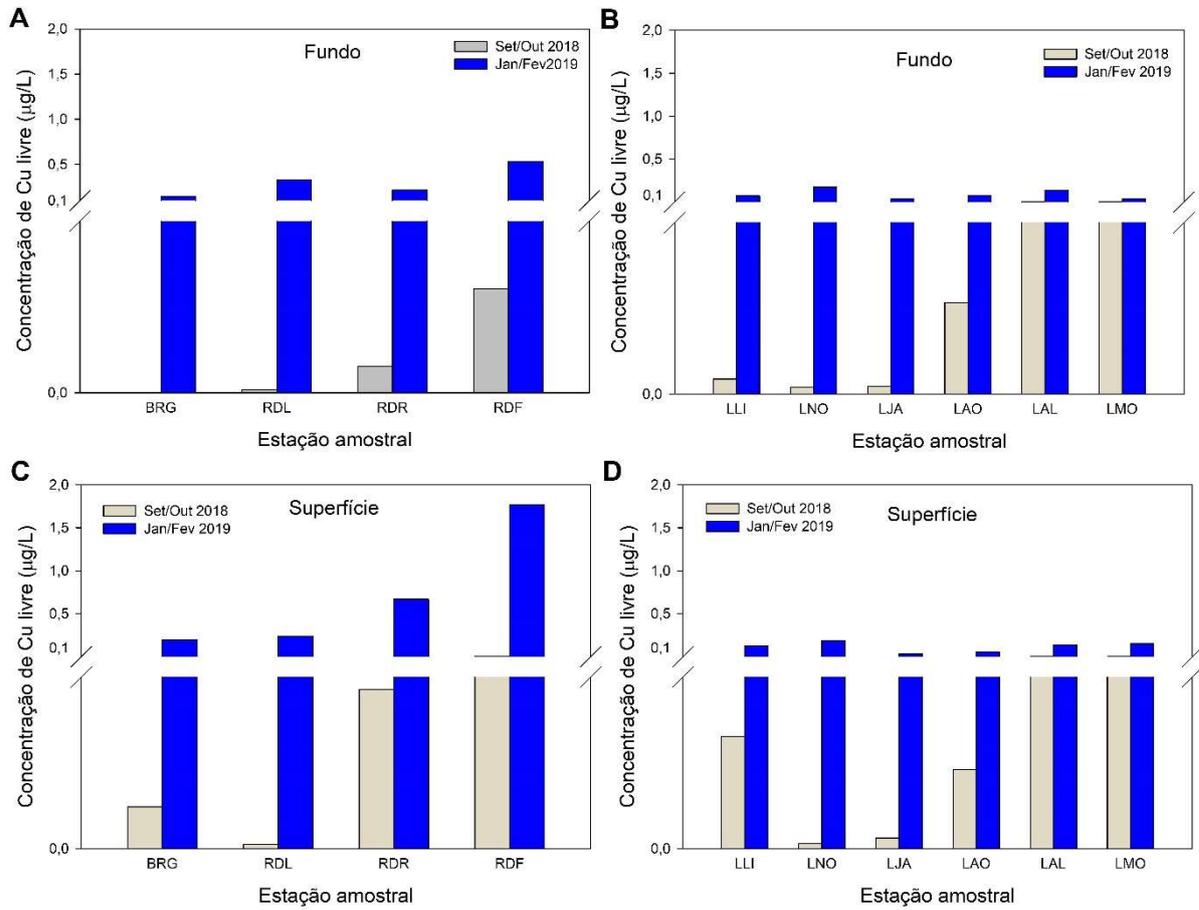


Figura 54: Concentração de chumbo livre em cada estação amostral ao longo da porção capixaba do rio Doce (A e C) e lagoas adjacentes (B e D), previstas a partir do modelo do ligante biótico (BLM).

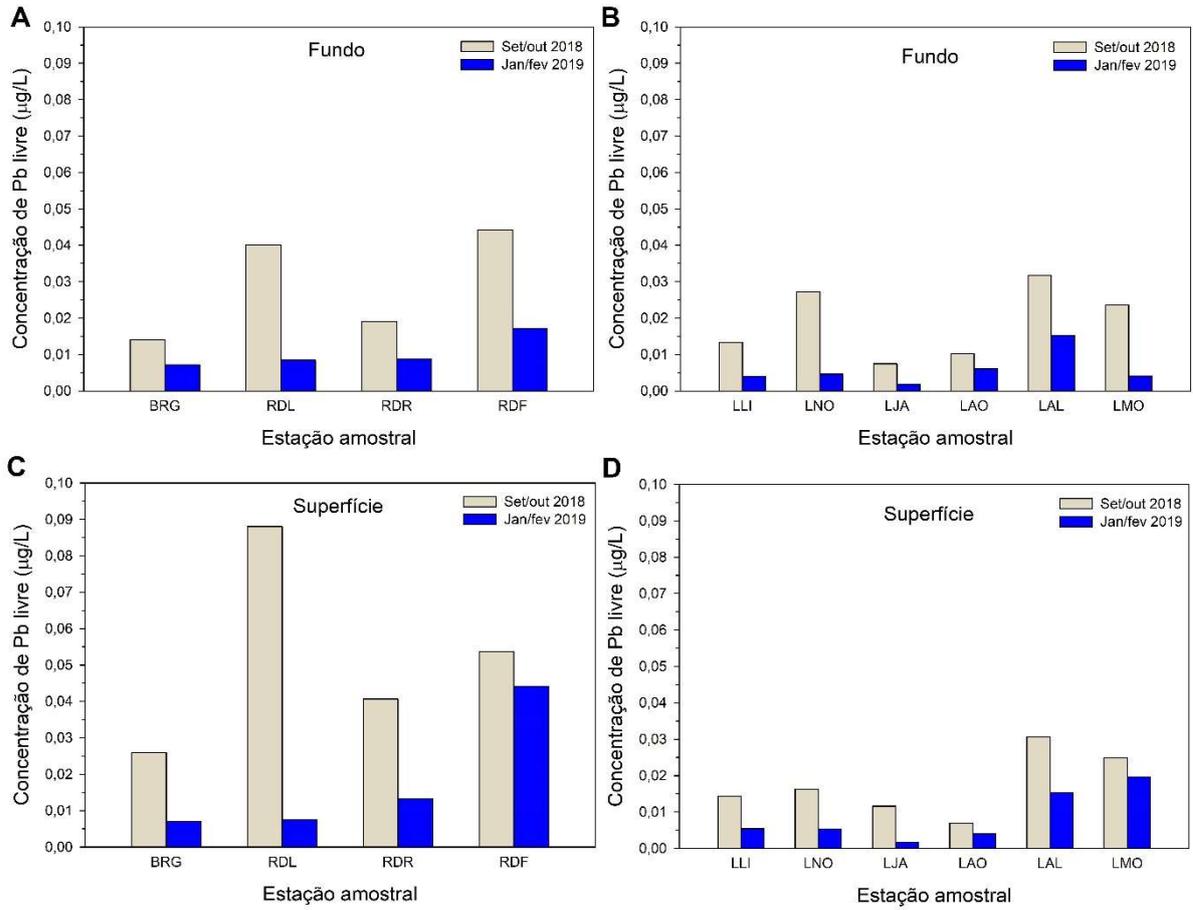
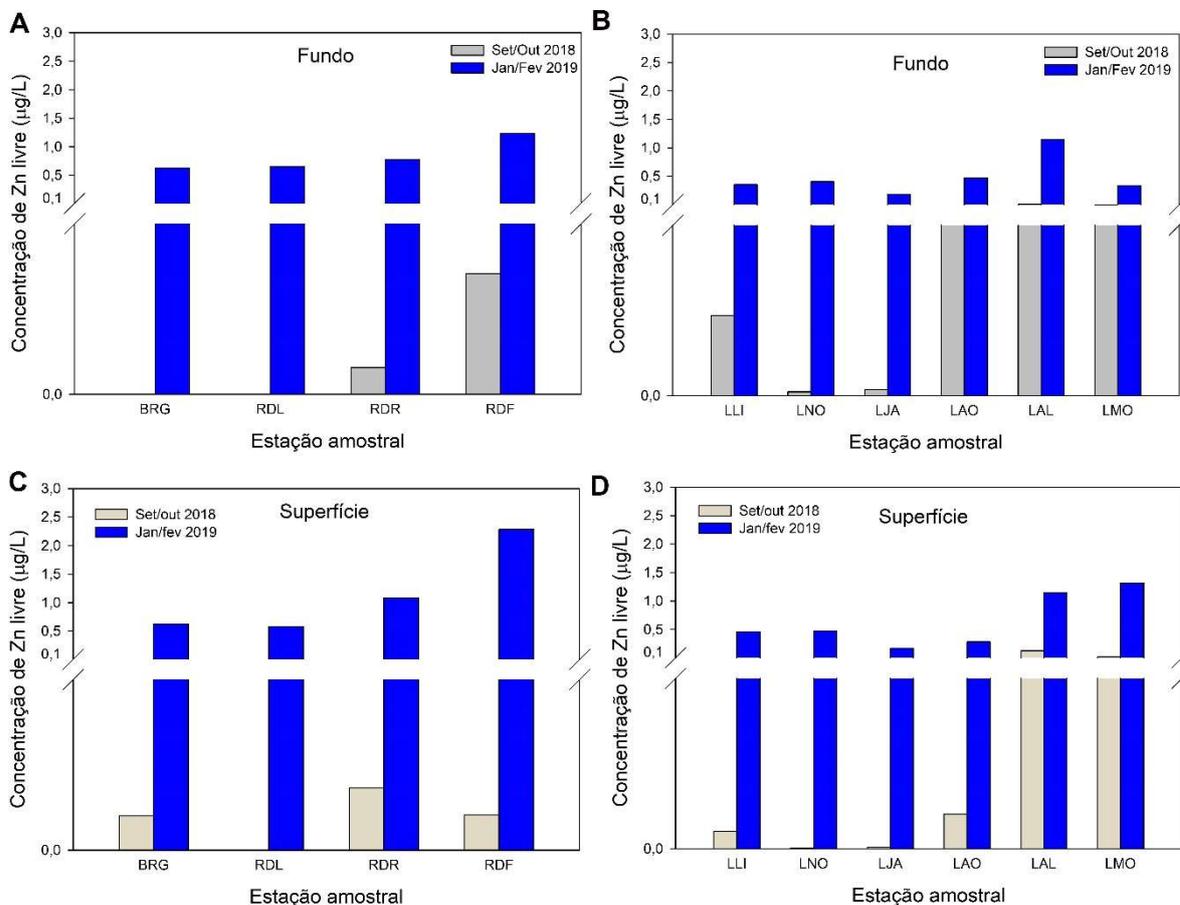


Figura 55: Concentração de zinco livre em cada estação amostral ao longo da porção capixaba do rio Doce (A e C) e lagoas adjacentes (B e D), previstas a partir do modelo do ligante biótico (BLM).



### 3.1.5 Avaliação da toxicidade aguda e crônica de amostras de água, elutriato do sedimento e sedimento bruto coletadas no Rio Doce no estado do Espírito Santo e estuário.

Os ensaios de toxicidade foram realizados com o objetivo de investigar os efeitos letais e subletais causados pela exposição aguda e crônica de organismos de diferentes níveis tróficos (microalgas, microcrustáceos e peixes em diferentes estágios de desenvolvimento) à água, ao elutriato do sedimento e ao sedimento bruto, coletados no afluente do Rio Doce, na região de Baixo Guandu (estação amostral BRG), e no seu estuário (estação amostral RDF) (Figura 2). A Tabela 13 apresenta os resultados dos ensaios de toxicidade realizados com amostras dos pontos BRG e RDF, para as campanhas 1 e 2 do Anexo 1 do PMBA (setembro/outubro de 2018 e janeiro/fevereiro de 2019, respectivamente), enquanto que a Figura 56 e a Figura 57 apresentam gráficos relativos aos ensaios de toxicidade crônica realizados com o cladóceros *D. magna* e de toxicidade aguda, realizados com o anfípoda *Hyalella* spp, respectivamente.

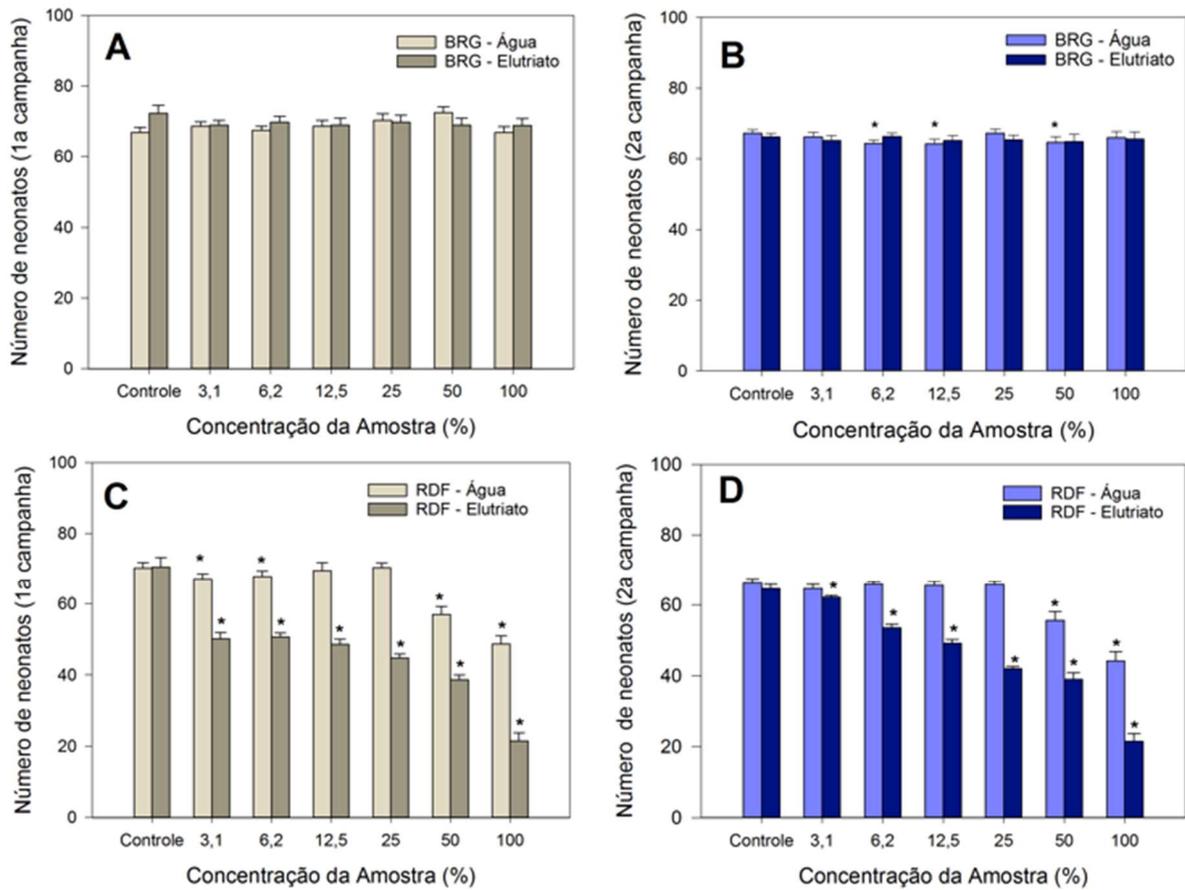
Tabela 13: Resultados dos ensaios de toxicidade realizados com amostras coletadas nos pontos BRG e RDF no decorrer da campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. Dos ensaios com sedimento, apenas o ensaio com *Hyalella* spp foi realizado com sedimento bruto, os demais foram realizados com elutriado do sedimento. Os resultados estão expressos como percentual da amostra-teste que causou toxicidade.

Ensaio de toxicidade aguda e crônica – água e sedimento do Rio Doce					
Ensaio	Campanha	BRG - água	BRG - sedimento	RDF - água	RDF – sedimento
<i>R. subcapitata</i> (ABNT NBR 12648)	1	NE	NE	NE	NE
	2	NE	NE	NE	NE
<i>D. magna</i> (ABNT NBR 12713 - ensaio agudo)	1	CENO: >100%	CENO: >100%	CENO: >100%	CENO: 25% / CEO: 50%
		CL50: NC	CL50: NC	CL50: NC	CL50: 100%
	2	CENO: >100%	CENO: >100%	CENO: >100%	CENO: 25% / CEO: 50%
		CL50: NC	CL50: NC	CL50: NC	CL50: 79%
<i>D. magna</i> (OECD 211 - ensaio crônico)	1	CL50: NC	CL50: NC	CL50: NC	CL50: 32,01%
		CENO: >100%	CENO: >100%	CENO: <3,1% / CEO: 3,1%	CENO: <3,1% / CEO: 3,1%
		CI50: NC	CI50: NC	CI50: NC	CI50: 48,54%
	2	CL50: NC	CL50: NC	CL50: NC	CL50: 60,74%
		CENO: 3,1% / CEO: 6,2%	CENO: >100%	CENO: 25% / CEO: 50%	CENO: <3,1% / CEO: 3,1%
		CI50: NC	CI50: NC	CI50: NC	CI50: 60,8%
<i>D. rerio</i> embrião (OECD 236)	1	NE	NE	NE	NE
	2	NE	NE	NE	NE
<i>D. rerio</i> larva (ABNT NBR 15499)	1	VCEST: NC	VCEST: 44,97%	VCEST: NC	VCEST: 35,25%
	2	VCEST: NC	VCEST: NC	VCEST: NC	VCEST: 63,7%
<i>D. rerio</i> adulto (ABNT NBR 15088)	1	CENO: >100%	CENO: >100%	CENO: >100%	CENO: 25% / CEO: 50%
	2	CENO: >100%	CENO: >100%	CENO: >100%	CENO: 50% / CEO: 100%
<i>Hyalella</i> spp (ABNT NBR 15470)	1	NR	NT	NR	T
	2	NR	NT	NR	T

Legenda: NE: não estimável (quando não foi possível estimar a toxicidade por inconsistências na análise); NC: não calculável (quando não foi possível calcular o valor de toxicidade, mas a análise se apresentou consistente); CL50: concentração letal mediana para 50% dos indivíduos; CE50: concentração mediana que causa efeito em 50% dos indivíduos; CI50: concentração mediana que causa 50% de inibição no crescimento ou reprodução dos indivíduos; CENO: concentração de efeito não observado; CEO: concentração de efeito observado; VCEST: valor crônico estimado (CL15

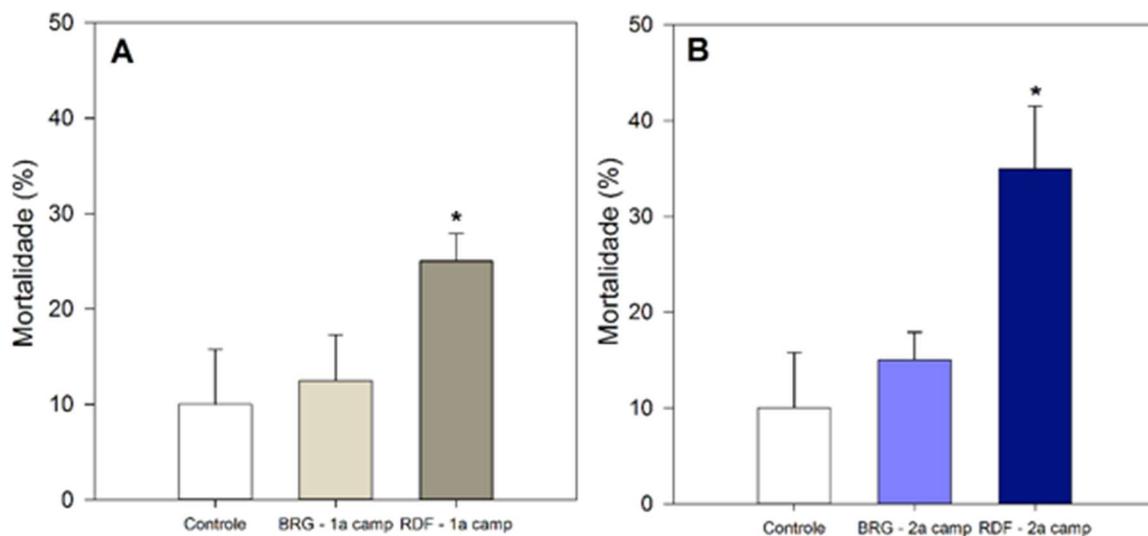
\* 0,3, sendo que a CL15 corresponde a concentração letal mediana para 15% dos indivíduos); NR: não realizado (quando o teste não foi realizado); NT: não tóxico; T: tóxico. Para o ensaio crônico com *D. magna*, o valor de CEO representa redução estatisticamente significativa ( $p > 0,05$ ) do número de neonatos dos organismos expostos à amostras-teste com relação ao controle (resultado relativo à reprodução). A classificação como tóxico no ensaio com *Hyalella spp* representa redução estatisticamente significativa na sobrevivência dos organismos ( $p > 0,05$ ), enquanto a classificação não tóxico é atribuída quando não há diferença estatística, sempre em relação ao controle. Ver metodologia para maiores esclarecimentos.

Figura 56: Ensaios de toxicidade crônica (21 dias) com *D. magna* (OECD 211) expostas à amostras de água e elutriado do sedimento coletados nos pontos BRG e RDF, nas campanhas 1 (A e C) e 2 (B e D) do Anexo 1 do PMBA. A toxicidade é expressa pela redução significativa do número de neonatos nascidos de progenitores expostos a diferentes concentrações das amostras-teste (amostras ambientais) com relação ao número de neonatos nascidos de animais controles. (\*) Indica diferença estatisticamente significativa com relação ao controle. O método estatístico usado foi ANOVA de uma via com teste *a posteriori* de Dunett's ( $p < 0,05$ ).



Considerando os resultados dos ensaios de toxicidade executados com amostras do Rio Doce (BRG e RDF), o mais sensível foi o ensaio crônico conduzido com o cladóceros *D. magna*, no qual o efeito tóxico expresso pelo decréscimo significativo no número de neonatos, já foi observado na mais baixa concentração testada (3,1% de amostra) para água e elutriato do sedimento, principalmente do ponto RDF. Além disso, este foi o ensaio que respondeu a mais amostras, inclusive, sendo o único que indicou toxicidade para água amostrada no ponto BRG na campanha 2 (Figura 56). Com relação à sobrevivência de *D. magna*, apenas amostras de elutriato do sedimento do ponto RDF afetaram este parâmetro, em ambas as campanhas, tanto no ensaio agudo como no crônico (48h e 21 dias de exposição, respectivamente), sendo possível estimar valores de CL<sub>50</sub> para as amostras. Outro organismo que se mostrou sensível foram as larvas de *D. rerio*, que morreram quando expostas à amostras de elutriato do sedimento do ponto BRG na campanha 1 e do ponto RDF nas campanhas 1 e 2. Na mesma linha, os ensaios com *D. rerio* adultos e *Hyalella* spp indicaram toxicidade apenas para o sedimento do ponto RDF, sendo o *D. rerio* exposto ao elutriato do sedimento e a *Hyalella* spp ao sedimento bruto (Tabela 13 e Figura 57, respectivamente).

Figura 57: Ensaio de toxicidade aguda (10 dias) realizado com *Hyalella* spp (ABNT NBR 15470) expostas a amostras de sedimento bruto coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (A) e na campanha 2 (B) do Anexo 1 do PMBA. A toxicidade é medida pela redução significativa na sobrevivência dos animais expostos à amostra ambiental (sedimento bruto) com relação aos animais controles. (\*) Indica diferença estatisticamente significante em relação ao controle. O método estatístico usado foi ANOVA de uma via com teste *a posteriori* de Dunett's ( $p < 0,05$ ).



Os ensaios com microalgas e embriões de *D. rerio* não responderam satisfatoriamente, pois não apresentaram um padrão dose-resposta evidente, o que é necessário para a validação dos ensaios. Assim, desconsiderou-se estes ensaios para a classificação das amostras, seguindo gradiente de toxicidade.

A Tabela 14 e a Tabela 15 apresentam valores de toxicidade calculados considerando-se a Unidade Tóxica (UT), severidade do efeito observado e sensibilidade dos organismos, para as campanhas 1 e 2, respectivamente. Cabe lembrar que a UT corresponde à equação: 100/CEO (concentração de efeito

observado), sendo que para os ensaios com larvas de *D. rerio*, considerou-se o VCest (valor crônico estimado) no lugar da CEO. Adicionalmente, quando não foi possível estimar a CEO, atribuiu-se o valor zero a este parâmetro. Os valores de toxicidade foram usados para classificar as amostras em diferentes graus de toxicidade, variando de não-tóxico a altamente tóxico (ver metodologia item 2.5).

De maneira geral, os resultados apresentados nesta seção indicam toxicidade mais acentuada na região estuarina do Rio Doce (ponto RDF) do que no afluente Rio Guandu (BRG), e esta está associada, principalmente, ao sedimento do ponto RDF. O ponto BRG, apresentou-se como não-tóxico na campanha 1 (Tabela 14) e levemente tóxico na campanha 2 (Tabela 15). Já o ponto RDF, apresentou-se moderadamente tóxico na campanha 1 e levemente tóxico na campanha 2. Porém, na campanha 2 o valor de toxicidade do ponto RDF ficou à margem da classificação “moderadamente tóxica” (valor de toxicidade de 24, sendo que a partir de 26 o ponto ou a amostra é classificado como moderadamente tóxico).

A Tabela 16 apresenta valores de toxicidade calculados para amostras de água e sedimento coletadas em 2017 e 2018 pelo Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático da Água e dos Sedimentos (PMQQS), nos mesmos pontos amostrados pelo Anexo 1 do PMBA: afluente do Rio Doce (ponto denominado “Gaundu 01” pelo PMQQS e “BRG” pelo PMBA) e estuário (ponto denominado “Doce 16” pelo PMQQS e “RDF” pelo PMBA). Realizou-se os ensaios do PMQQS com a microalga *R. subcapitata* e o microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia* (ABNT NBR 13373), e foram analisadas amostras de água e elutriato do sedimento. A Figura 58 e a Figura 59 mostram um panorama geral dos valores de toxicidade calculados para os ensaios disponibilizados pelo PMQQS e para os ensaios realizados pelo Anexo 1 do PMBA, nas campanhas 1 e 2, perfazendo o período de 2017 a 2019. Estas figuras, novamente, indicam baixa toxicidade nas amostras do ponto do Rio Guandu (Figura 58), onde apenas alguns ensaios, com água, foram classificados como moderadamente tóxicos (à margem da classificação tóxica). Os ensaios que indicaram algum nível de toxicidade para este ponto foram os testes crônicos realizados com *C. dubia* no caso do PMQQS e com *D. magna* no caso do PMBA. Apesar de serem diferentes espécies, podemos considerar tais ensaios como equivalentes do ponto de vista ecotoxicológico, uma vez que são crônicos e usam cladóceros como organismo-teste. Com relação à ao ponto da foz do Rio Doce (Figura 59), em 2017, o PMQQS registrou valores de toxicidade relativamente altos (classificados como moderadamente tóxicos, à margem de tóxicos) para água em ensaio de 7 dias com *C. dubia*. No entanto, os maiores valores de toxicidade foram registrados nos anos de 2018 e 2019 (campanhas 1 e 2 do Anexo 1, respectivamente) para ensaios crônicos com *D. magna* expostas, por 21 dias, ao elutriato de sedimento do ponto RDF e para ensaios agudos com *Hyalella* spp expostas, por 10 dias, ao sedimento bruto do mesmo ponto. Os resultados destes ensaios foram classificados como tóxicos; porém a maioria dos ensaios realizados com amostras do ponto na foz do Rio Doce ficou na faixa do levemente tóxico e alguns ainda foram classificados como não-tóxicos.

Tabela 14: Resultados e classificação dos ensaios de toxicidade realizados com amostras de água e sedimento coletadas no ponto BRG e no ponto RDF na campanha 1 (setembro/outubro 2018) do Anexo 1 do PMBA para organismos de diferentes níveis tróficos. O valor de toxicidade foi calculado considerando-se a unidade tóxica (UT) e os índices descritos na metodologia (severidade da resposta observada e sensibilidade dos organismos testados).

Ponto	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
BRG	Água	<i>D. magna</i> agudo	0	2	3	0	NT	0	NT	1	NT
		<i>D. magna</i> crônico	0	1	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				
	Sedimento	<i>D. magna</i> agudo (elutriato)	0	2	3	0	NT	3	LT		
		<i>D. magna</i> crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	2,2	2	3	13,2	LT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	0	2	1	0	NT				
		<i>Hyalella</i> spp.(sedimento bruto)	-	-	-	0	NT				
RDF	Água	<i>D. magna</i> agudo	0	2	3	0	NT	25	LT	36	MT
		<i>D. magna</i> crônico	33	1	3	99	T				
		<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				
	Sedimento	<i>D. magna</i> agudo (elutriato)	2	2	3	12	LT	46	MT		
		<i>D. magna</i> crônico (elutriato)	33	1	3	99	T				
		<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	2,8	2	3	16,8	LT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	2	2	1	4	LT				
		<i>Hyalella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				

Legenda: UT: unidade tóxica, NT: não tóxica, LT: levemente tóxica, MT: moderadamente tóxica, T: tóxica.

Tabela 15: Resultados e classificação dos ensaios de toxicidade realizados com amostras de água e sedimento coletadas no ponto BRG e no ponto RDF na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA para organismos de diferentes níveis tróficos. O valor de toxicidade foi calculado considerando-se a unidade tóxica (UT) e os índices descritos na metodologia (severidade da resposta observada e sensibilidade dos organismos testados).

Ponto	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
BRG	Água	<i>D. magna</i> agudo	0	2	3	0	NT	12	LT	5	LT
		<i>D. magna</i> crônico	16	1	3	48	MT				
		<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				
	Sedimento	<i>D. magna</i> agudo (elutriato)	0	2	3	0	NT	0	NT		
		<i>D. magna</i> crônico (elutriato)	0	1	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	0	2	1	0	NT				
		<i>Hyalella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-	0	NT				
RDF	Água	<i>D. magna</i> agudo	0	2	3	0	NT	2	LT	24	LT
		<i>D. magna</i> crônico	2	1	3	6	LT				
		<i>D. rerio</i> crônico - larvas	0	2	3	0	NT				
		<i>D. rerio</i> agudo	0	2	1	0	NT				
	Sedimento	<i>D. magna</i> agudo (elutriato)	2	2	3	12	LT	45	MT		
		<i>D. magna</i> crônico (elutriato)	33	1	3	99	T				
		<i>D. rerio</i> crônico – larvas (elutriato)	1,6	2	3	9,6	LT				
		<i>D. rerio</i> agudo (elutriato)	1	2	1	2	LT				
				<i>Hyalella</i> spp. (sedimento bruto)	-	-	-				

Legenda: UT: unidade tóxica, NT: não tóxica, LT: levemente tóxica, MT: moderadamente tóxica, T: tóxica.

Tabela 16: Resultados dos ensaios de toxicidade realizados com amostras de água e sedimento coletadas pelo Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático da Água e dos Sedimentos (PMQQS) no ponto Baixo Guandu – Guandu 01 e no ponto Linhares - Doce 16 em 2017 e 2018. Estes pontos equivalem aos pontos BRG e RDF amostrados pelo PMBA, respectivamente. O valor de toxicidade foi calculado considerando-se a unidade tóxica (UT) e os índices de severidade da resposta observada e sensibilidade dos organismos testados.

Ponto	Mês/Ano	Ensaio (Matriz)	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio
Baixo Guandu – Guandu 01	Ago/2017	<i>R. subcapitata</i> (água)	1	2	3	6	LT
		<i>C. dúbia</i> (água)	0	1	3	0	NT
	Nov/2017	<i>R. subcapitata</i> (água)	0	2	3	0	NT
		<i>C. dúbia</i> (água)	16	1	3	48	MT
	Out/2017	<i>C. dúbia</i> (elutriato do sedimento)	0	1	3	0	NT
	Fev/2018	<i>R. subcapitata</i> (água)	0	2	3	0	NT
		<i>C. dúbia</i> (água)	4	1	3	12	LT
	Mai/2018	<i>R. subcapitata</i> (água)	0	2	3	0	NT
		<i>C. dúbia</i> (água)	0	1	3	0	NT
	Jan/2018	<i>C. dúbia</i> (elutriato do sedimento)	0	1	3	0	NT
	Abr/2018	<i>C. dúbia</i> (elutriato do sedimento)	1	1	3	3	LT
Jul/2018	<i>C. dúbia</i> (elutriato do sedimento)	0	1	3	0	NT	
Linhares – Doce 16	Ago/2017	<i>R. subcapitata</i> (água)	0	2	3	0	NT
		<i>C. dúbia</i> (água)	0	1	3	0	NT
	Nov/2017	<i>R. subcapitata</i> (água)	1	2	3	6	LT
		<i>C. dúbia</i> (água)	16	1	3	48	MT
	Out/2017	<i>C. dúbia</i> (elutriato do sedimento)	1	1	3	3	LT
	Fev/2018	<i>R. subcapitata</i> (água)	2	2	3	12	LT
		<i>C. dúbia</i> (água)	16	1	3	48	MT
	Mai/2018	<i>R. subcapitata</i> (água)	1	2	3	6	LT
		<i>C. dúbia</i> (água)	16	1	3	48	MT
	Jan/2018	<i>C. dúbia</i> (elutriato do sedimento)	0	1	3	0	NT

Ponto	Mês/Ano	Ensaio (Matriz)	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio
	Abr/2018	<i>C. dúbia</i> (elutriato do sedimento)	0	1	3	0	NT
	Jul/2018	<i>C. dúbia</i> (elutriato do sedimento)	0	1	3	0	NT

Fonte de dados: PMQQS

Legenda: UT: unidade tóxica, NT: não tóxica, LT: levemente tóxica, MT: moderadamente tóxica, T: tóxica.

Figura 58: Gráfico com valores de toxicidade para o ponto do Rio Guandu. Os resultados apresentados são referentes a ensaios realizados pelo PMQQS para amostras coletadas em 2017 e 2018, e pelo Anexo 1 do PMBA para amostras coletadas na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019).

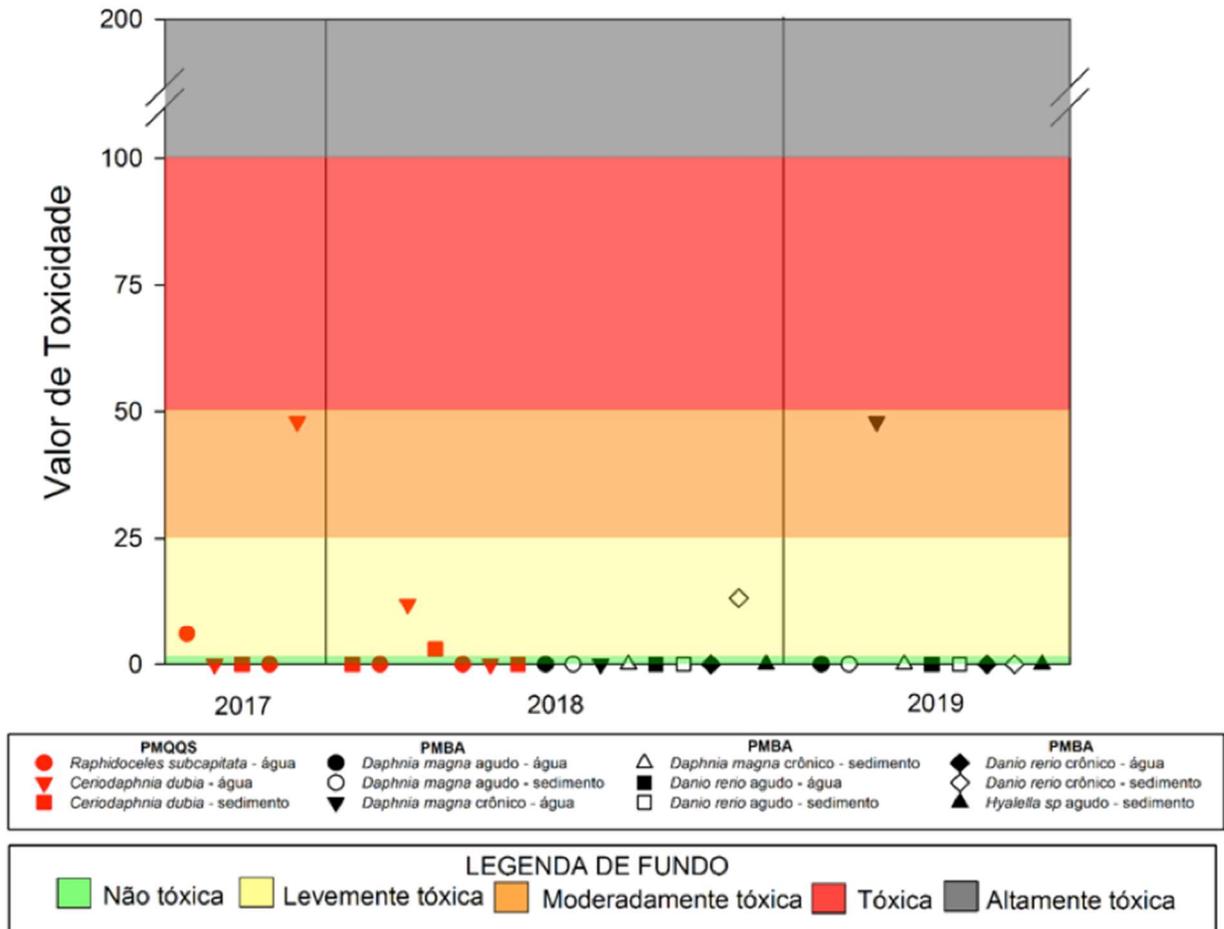
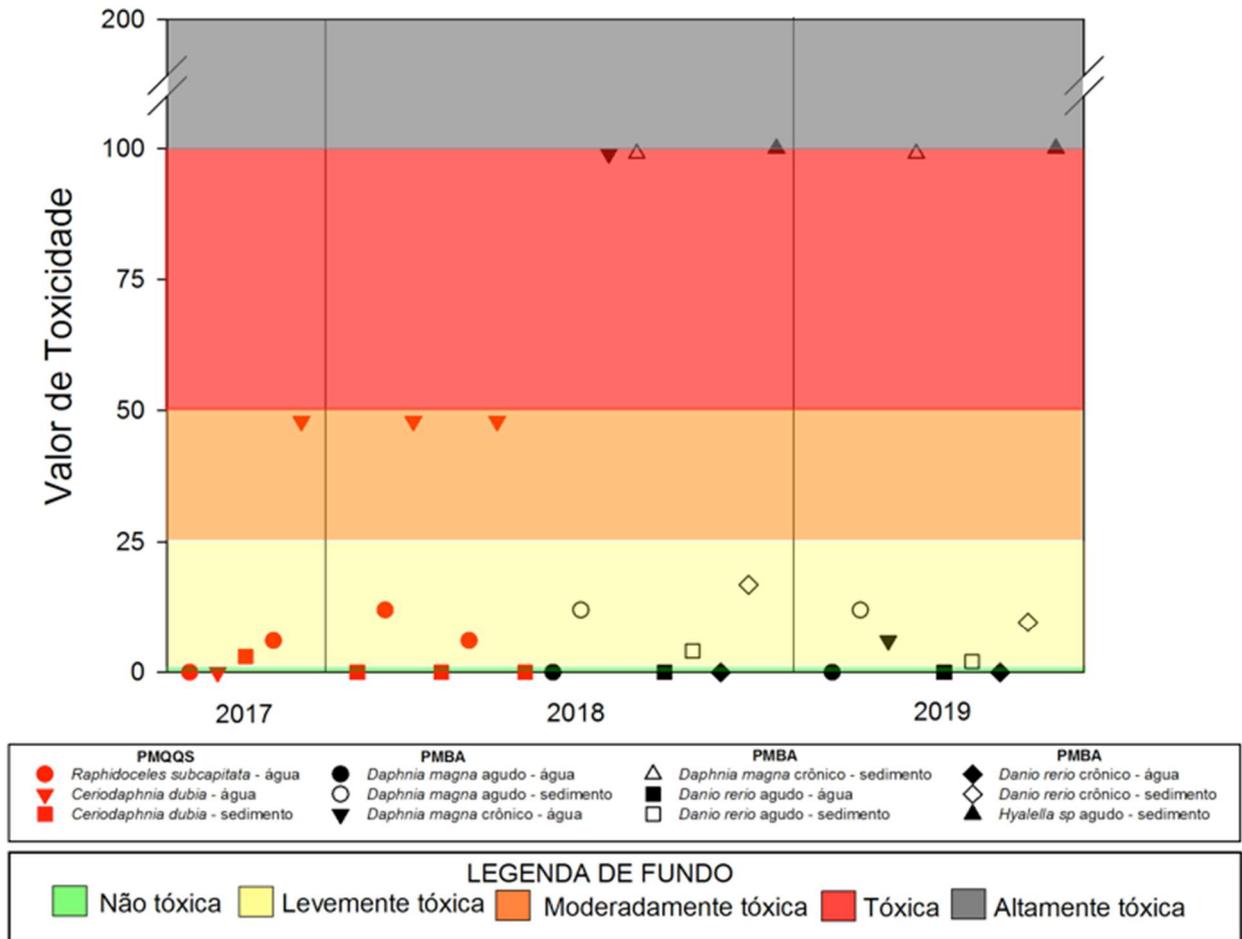


Figura 59: Gráfico com valores de toxicidade para o ponto da foz do Rio Doce. Os resultados apresentados são referentes a ensaios realizados pelo PMQQS para amostras coletadas em 2017 e 2018, e pelo Anexo 1 do PMBA para amostras coletadas na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019).



As figuras abaixo, apresentam dados oriundos da Análise de Componentes Principais (PCA) realizada com amostras de metais e valores de toxicidade estimados para água e sedimento, separadamente. Para água, a Figura 60 mostra que os eixos 1 (PC1/Dim1) e 2 (PC2/Dim2) juntos explicam 87,6% da variação total dos resultados. Nesta PCA, os pontos amostrais ficaram em quadrantes distintos, inclusive com relação às diferentes campanhas. Os elementos Fe (total e dissolvido), Mn (total e dissolvido), Pb (total), As (dissolvido), Hg (total e dissolvido) e Cd (total e dissolvido) foram correlacionados ao ponto BRG; enquanto que os elementos Cr (total e dissolvido), Cu (total e dissolvido), Zn (total e dissolvido), As (total) e Pb (dissolvido) foram correlacionados, juntamente com a “Toxicidade da Água”, ao ponto RDF. De fato, a variável “Toxicidade da Água” ficou associada aos elementos Cu, Zn, Pb e Cr dissolvidos e As total e ao ponto RDF - campanha 1 (setembro/outubro de 2019), cujo valor de toxicidade calculado para água também foi maior (ver Tabela 14 e Tabela 15). Com relação aos eixos, o primeiro eixo (PC1) é responsável por 61,2% da variação total da análise, indicando as variáveis que mais influenciaram nos resultados de toxicidade. A Figura 61 mostra que os níveis dos metais Cd (total e dissolvido), Hg (total e dissolvido), As (dissolvido), Cr (total e dissolvido), Cu (total), Fe (dissolvido), Pb (dissolvido) e Zn (total) presentes na água representaram as variáveis com maior contribuição para a PC1, respectivamente, sendo esta contribuição dada, principalmente, pelo teor de metal dissolvido. As amostras coletadas no ponto BRG nas campanhas 1 e 2, indicaram a maior contribuição para este mesmo eixo (PC1), respectivamente (Figura 62). O segundo eixo (PC2) é responsável por 26,4% da variação total dos resultados na água e a Figura 63 mostra que os metais Fe (total), Mn (total e dissolvido), Pb (total), Cu (dissolvido) e Zn (dissolvido) foram as variáveis com maior contribuição para esse eixo, juntamente com a variável “Toxicidade da Água”. O ponto RDF (campanha 1) e BRG (campanha 1) apresentaram a maior contribuição para este eixo (Figura 64).

Figura 60: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada para valores de toxicidade da água e metais (total e dissolvido) medidos em amostras de água coletadas nos pontos BRG e RDF, para a campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise categorizados por localidade. Destaque para a campanha 1 em cinza (E1) e campanha 2 em azul (E2).

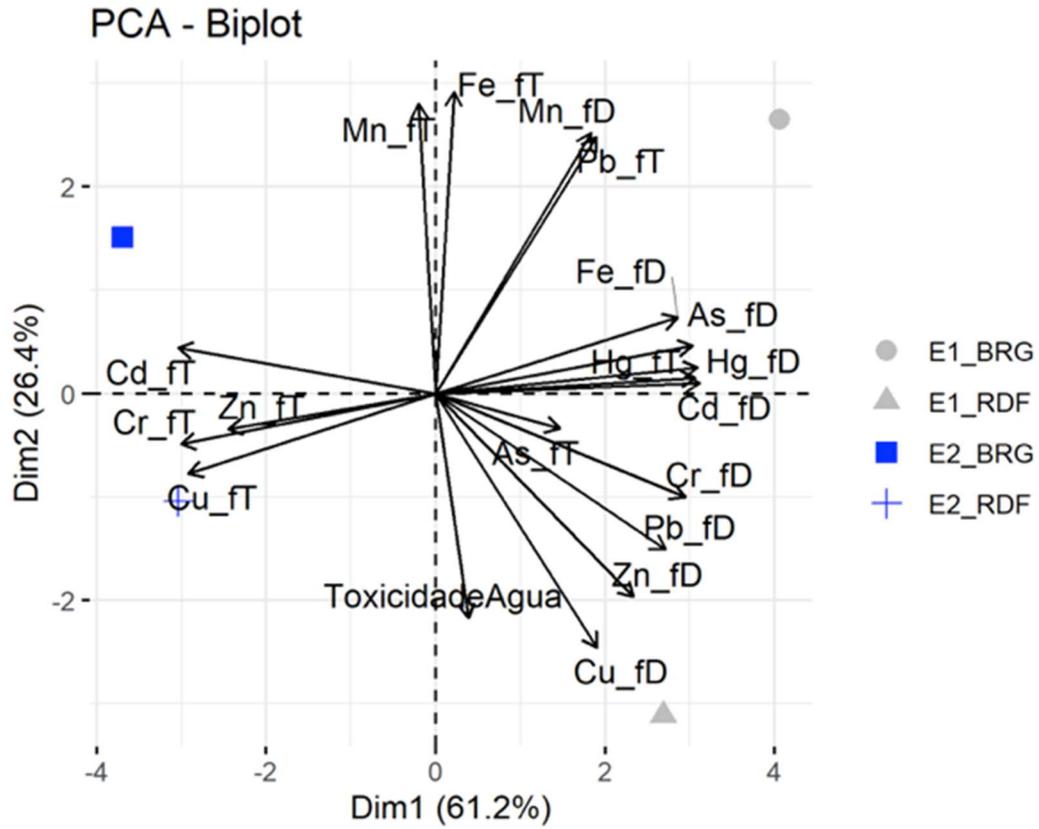


Figura 61: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de água coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/19 = 5,2\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

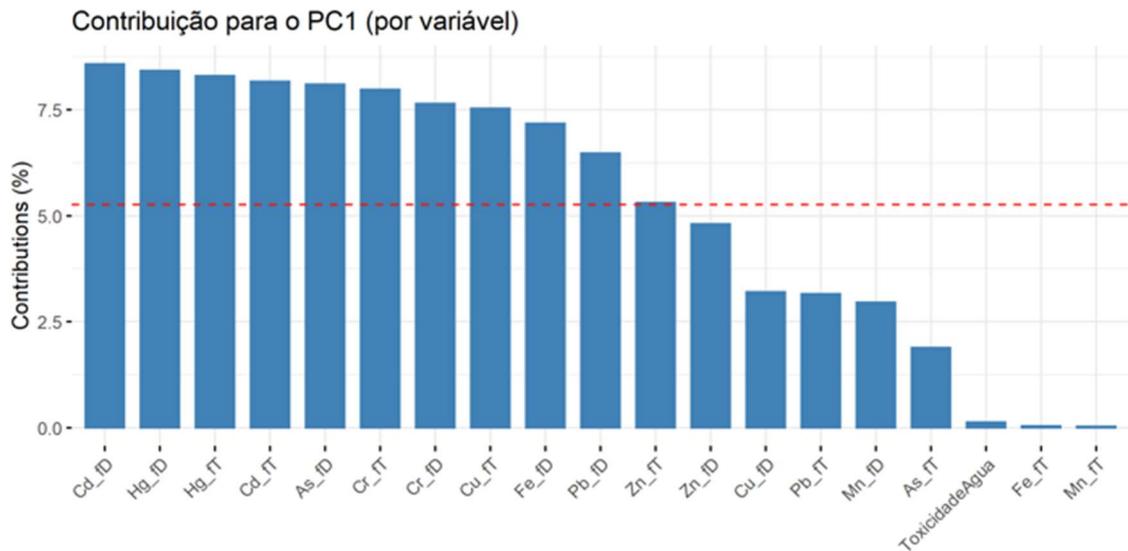


Figura 62: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de água coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (1º camp; setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (2º camp; janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

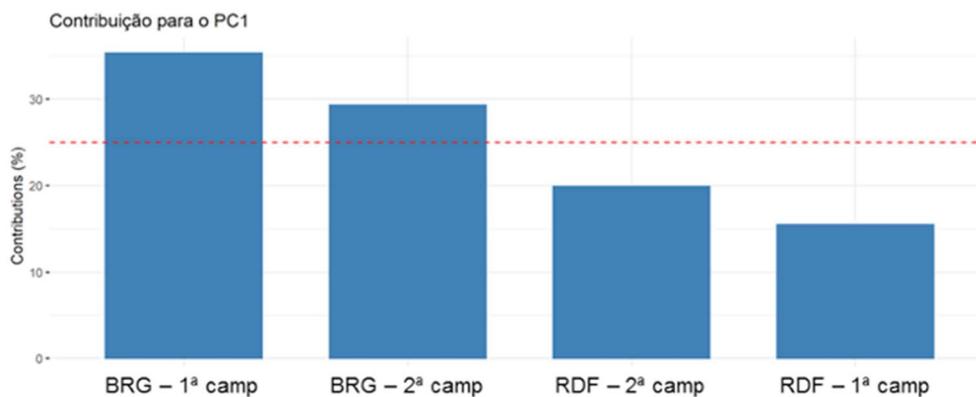


Figura 63: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de água coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/19 = 5,2\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

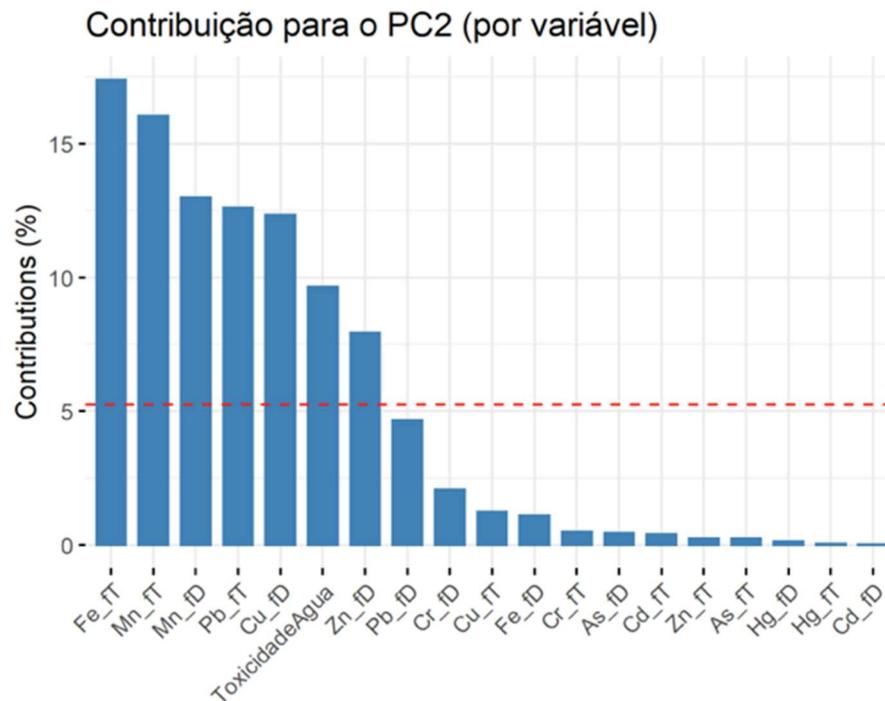
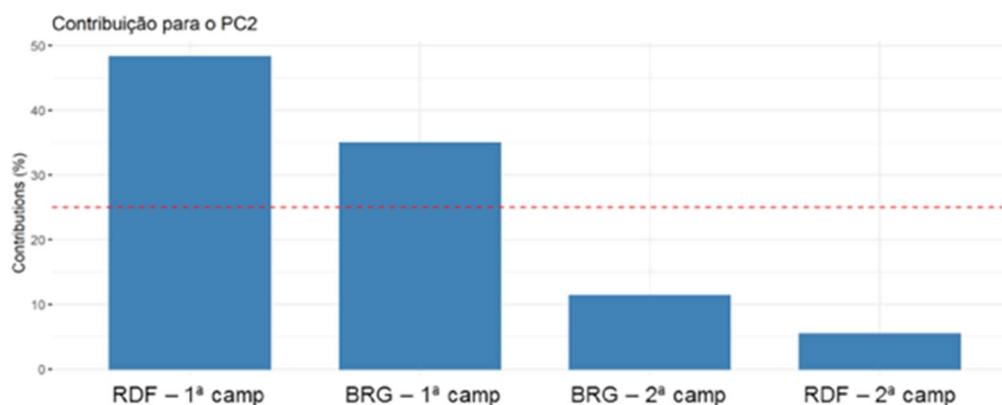


Figura 64: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de água coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (1º camp; setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (2º camp; janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.



Considerando a PCA aplicada com os valores de metais (total) presentes nas amostras de sedimento e a toxicidade encontrada para os pontos BRG e RDF, é possível observar que os eixos 1 (PC1) e 2 (PC2) explicam, juntos, 83,6% da variação total dos resultados. Além disso, a PCA mostrou que o ponto BRG nas campanhas 1 e 2 estão em quadrantes distintos; todavia o ponto RDF das duas campanhas está no mesmo quadrante (Figura 65). O ponto BRG – campanha 1 não ficou associado a nenhum metal, enquanto que na campanha 2 associou-se à presença de Hg e Cd no sedimento. Os elementos As, Cr e Mn foram correlacionados à “Toxicidade do Sedimento” e ao ponto RDF para as duas campanhas. Com relação à PCA aplicada aos dados de sedimento, o primeiro eixo (PC1) é responsável por 57,3% da variação total, indicando as variáveis que mais influenciaram na composição dos pontos amostrados. A Figura 66 mostra que os níveis de metais Cd, Cu, Fe e Cr, juntamente com a “Toxicidade do Sedimento” representaram as variáveis com maior contribuição para esse eixo. O ponto BRG – campanha 2, indicou a maior contribuição para este eixo também (Figura 67). O segundo eixo (PC2) é responsável por 26,3% da variação total dos dados. Os elementos Zn, As e Hg foram as variáveis com maior contribuição para esse eixo, sendo a maior contribuição dada pelo Zn (Figura 68). O ponto BRG – campanha 1 representa a maior contribuição para o PC2 (Figura 69).

Figura 65: Análise de Componentes Principais (PCA) com valores de toxicidade do sedimento e metais medidos em amostras de sedimento coletadas nos pontos BRG e RDF, para a campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise categorizados por localidade. Destaque para a campanha 1 em cinza (E1) e campanha 2 em azul (E2).

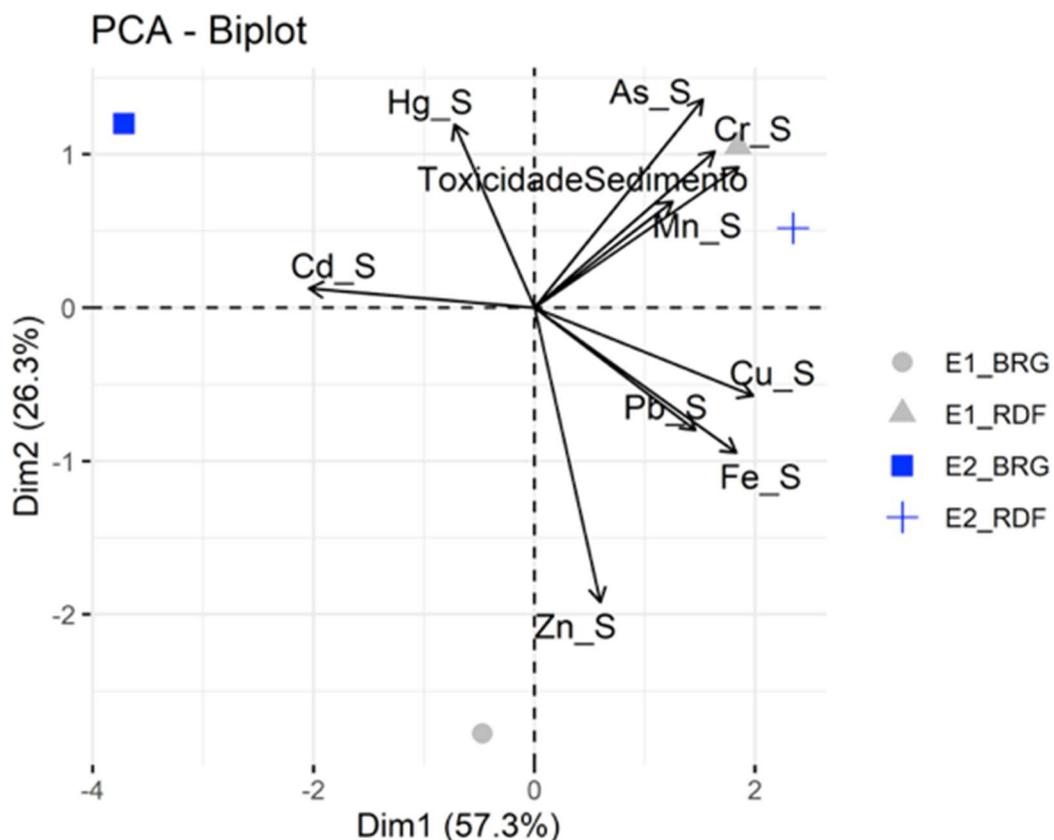


Figura 66: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de sedimento coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/10 = 10\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

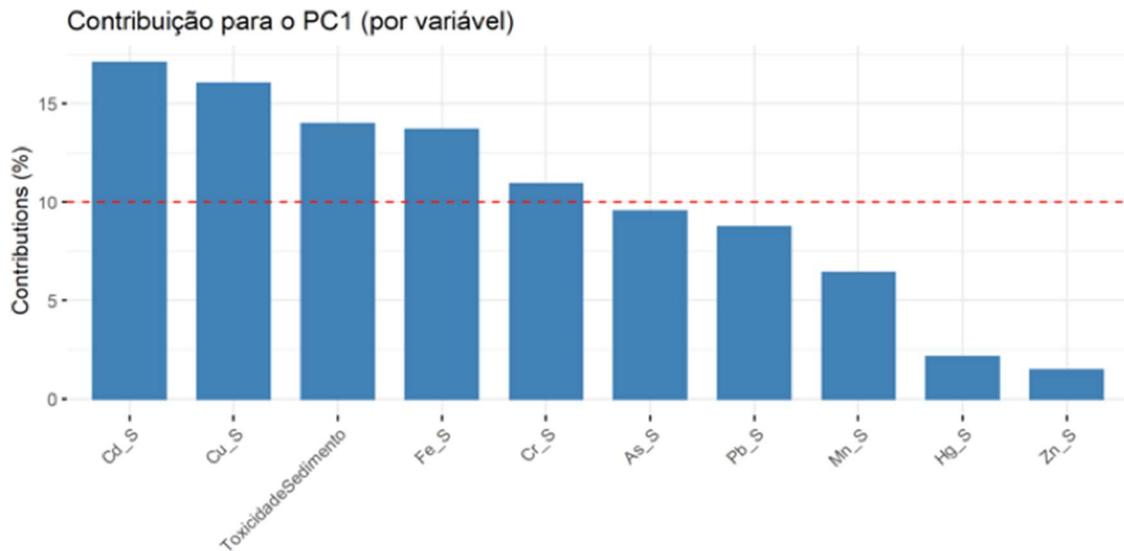


Figura 67: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de sedimento coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (1° camp; setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (2° camp; janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

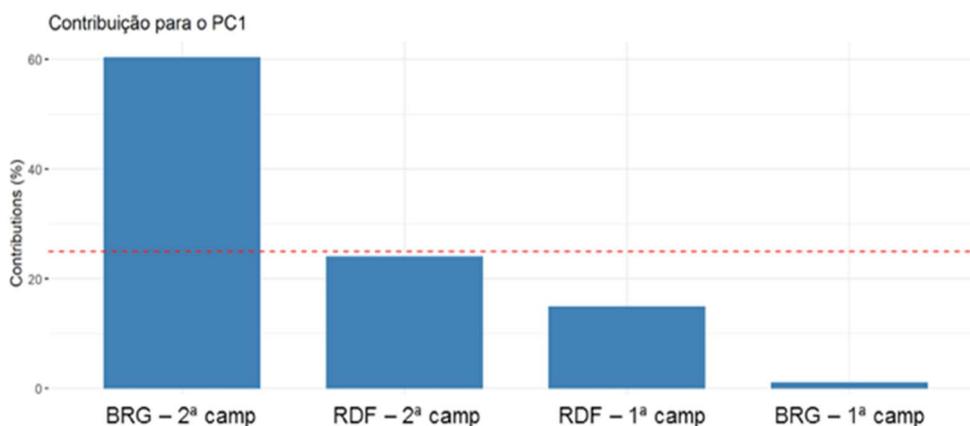


Figura 68: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de sedimento coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/10 = 10\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

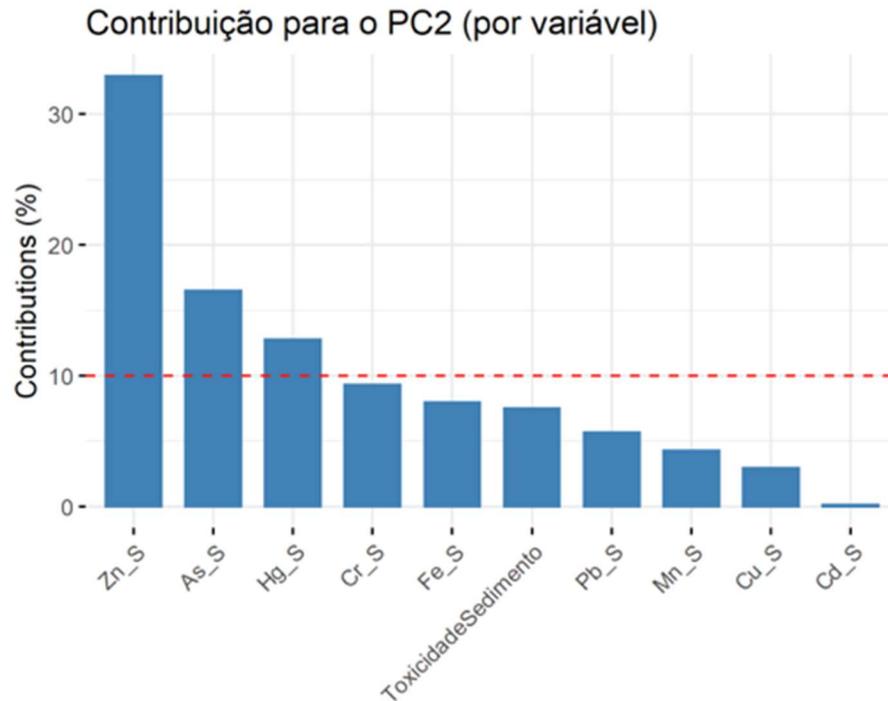
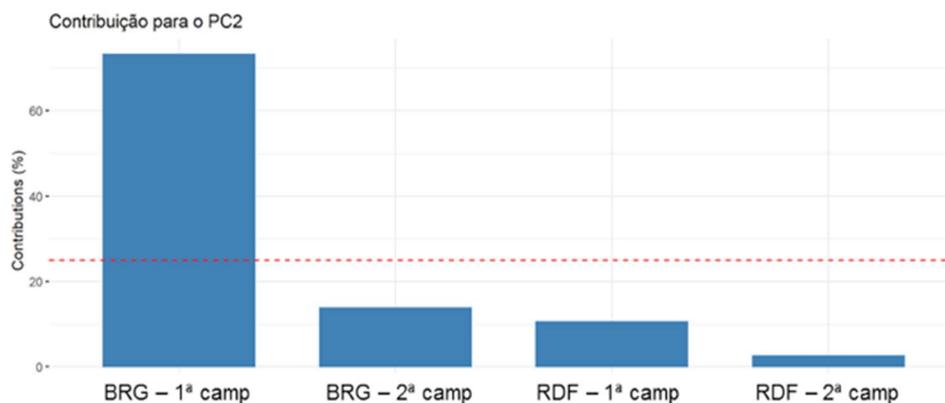


Figura 69: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de sedimento coletadas nos pontos BRG e RDF, na campanha 1 (1° camp; setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (2° camp; janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.



### 3.1.6 Concentrações de metais em organismos do Rio Doce no estado do Espírito Santo e estuário

A análise de concentração dos metais na biota, de modo geral, pode fornecer uma resposta mais clara do comportamento dos metais mensurados nos pontos amostrados, ao longo da escala temporal do monitoramento. Uma apreciação cautelosa dos dados de bioacumulação nas espécies dulcícolas foi executada, a fim de verificar as relações entre causa e efeito da disponibilidade de metais e biomarcadores e será apresentado subsequentemente.

O monitoramento dulcícola abarcou espécies representantes de diferentes níveis tróficos, podendo dividi-los em três subgrupos principais: (i) coleta de *pool* de fitoplâncton e zooplâncton; (ii) coleta de espécies de camarão do gênero *Macrobrachium*, discriminando os principais tecidos para análise, tais como brânquia, hepatopâncreas e músculo; e (iii) coleta de diferentes espécies de peixes, considerando diferentes hábitos alimentares (agrupados em onívoros/herbívoros e carnívoros), e retirando os principais tecidos para análise de metal, como brânquia, fígado e músculo. A coleta de girinos e larvas de quironomídeos, prevista no Plano de Trabalho (TR4), não foi contemplada em sua totalidade durante a campanha 1, sendo os dados incipientes e não apresentados no presente relatório. A coleta de larvas de quironomídeos durante a campanha 2 teve êxito e a concentração de metais nestes organismos será apresentada posteriormente.

#### 3.1.6.1 Concentração de metais em fitoplâncton e zooplâncton

A concentração de metal obtida tanto no fitoplâncton quanto no zooplâncton indicou semelhante perfil espacial e sazonal, considerando as duas campanhas de monitoramento executadas. A tabela abaixo (Tabela 17) resume a concentração de metais no zooplâncton (mg/kg de peso úmido) coletado na costa do Espírito Santo antes do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana (MG) e será usada como base comparativa para discutir os resultados encontrados para fitoplâncton e zooplâncton do presente relatório.

Tabela 17: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn no zooplâncton (mg/kg de peso úmido) coletado na costa do Espírito Santo antes do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana (MG) (19 e 20/11/2015). Os dados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão.

Matriz	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb
	mg/kg peso úmido							
Zooplâncton	0,121 $\pm$	0,0011 $\pm$	0,150 $\pm$	0,069 $\pm$	15,55 $\pm$	0,0008 $\pm$	6,684 $\pm$	0,0053 $\pm$
	0,004	0,0003	0,031	0,006	4,10	0,0003	1,564	0,0008

Fonte: Bianchini, 2019.

A Tabela 18 e a Tabela 19 apresentam os resultados das concentrações de metais determinadas nas amostras de fitoplâncton coletadas durante a campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019) do monitoramento ecotoxicológico, na porção capixaba do Rio Doce e lagoas adjacentes. A Tabela 20 e a Tabela 21 apresentam os resultados das concentrações de metais determinadas nas amostras de zooplâncton, coletadas durante a campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019) do monitoramento ecotoxicológico, na porção capixaba do Rio Doce e lagoas adjacentes.

Tabela 18: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn (média ± erro padrão) em pool de fitoplâncton (mg/kg de peso úmido) coletado nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 1 (setembro/outubro 2018).

Fitoplâncton - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)										
Ponto	Plâncton (pool)	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
BRG	N = 5	0,033 ± 0,014	0,115 ± 0,067	8,036 ± 2,732	2,994 ± 1,105	196,139 ± 106,377	0,0156 ± 0,0084	762,744 ± 349,248	0,093 ± 0,044	93,281 ± 62,410
LLI	N = 5 (n=3 para As)	0,024 ± 0,008	0,045 ± 0,015	0,067 ± 0,018	0,392 ± 0,162	1054,670 ± 763,798	0,0021 ± 0,0002	1,357 ± 0,734	0,256 ± 0,194	15,365 ± 6,056
LNO	N = 5	0,008 ± 0,002	0,032 ± 0,005	0,017 ± 0,007	0,578 ± 0,055	78,375 ± 31,272	0,0215 ± 0,0029	1,389 ± 0,176	0,096 ± 0,043	12,158 ± 4,880
LJA	N = 4	0,043 ± 0,028	0,001 ± 0,000	0,102 ± 0,084	0,339 ± 0,016	6,439 ± 2,692	0,0037 ± 0,0019	0,454 ± 0,287	0,071 ± 0,043	1,200 ± 0,379
RDL	N = 5	0,016 ± 0,005	0,007 ± 0,001	0,002 ± 0,001	0,111 ± 0,055	0,346 ± 0,164	0,0049 ± 0,0011	1,006 ± 0,347	0,014 ± 0,004	0,268 ± 0,145
RDR	N = 5	0,015 ± 0,008	1,461 ± 0,147	18,40 ± 8,667	3,800 ± 3,577	5,372 ± 4,413	0,0025 ± 0,0004	0,034 ± 0,014	0,025 ± 0,008	834,908 ± 165,335
LAO	N = 5	0,027 ± 0,011	0,013 ± 0,002	0,035 ± 0,015	0,060 ± 0,010	9,991 ± 2,411	0,0037 ± 0,0006	0,075 ± 0,020	0,015 ± 0,006	0,111 ± 0,018
LAL	N = 5	0,047 ± 0,017	0,058 ± 0,010	0,119 ± 0,038	0,360 ± 0,099	258,419 ± 42,306	0,0048 ± 0,0010	4,478 ± 0,584	0,102 ± 0,033	0,596 ± 0,092
LMO	N = 5	0,030 ± 0,008	0,005 ± 0,001	0,012 ± 0,003	0,725 ± 0,328	5,262 ± 2,367	0,0026 ± 0,0002	0,071 ± 0,018	0,010 ± 0,004	0,095 ± 0,029
RDF	N = 5	0,038 ± 0,012	0,016 ± 0,013	0,023 ± 0,018	0,039 ± 0,019	6,721 ± 4,003	0,0029 ± 0,0009	0,226 ± 0,086	0,015 ± 0,008	0,109 ± 0,038

Tabela 19: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn (média ± erro padrão) em pool de fitoplâncton (mg/kg de peso úmido) coletado nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 2 (janeiro/fevereiro 2019).

Fitoplâncton - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto	Plâncton (pool)	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
BRG	N = 5	0,085 ± 0,030	0,040 ± 0,013	0,359 ± 0,155	0,392 ± 0,048	164,191 ± 32,526	0,0009 ± 0,0003	27,114 ± 6,501	0,008 ± 0,002	10,292 ± 3,265
LLI	N = 5	0,065 ± 0,012	0,016 ± 0,002	0,234 ± 0,128	0,309 ± 0,073	8,333 ± 0,641	0,0015 ± 0,0001	1,791 ± 0,098	0,008 ± 0,003	3,357 ± 0,139
LNO	N = 5	0,008 ± 0,002	0,026 ± 0,003	0,011 ± 0,003	0,649 ± 0,194	12,955 ± 2,072	0,0006 ± 0,0001	4,044 ± 0,561	0,004 ± 0,001	3,086 ± 0,396
LJA	N = 5	0,077 ± 0,026	0,110 ± 0,027	0,027 ± 0,008	0,004 ± 0,003	28,885 ± 5,865	0,0002 ± 0,0001	1,339 ± 0,255	0,012 ± 0,007	2,176 ± 0,279

**Fitoplâncton - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

Ponto	Plâncton (pool)	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
RDL	N = 5	0,065 ± 0,009	0,005 ± 0,001	0,008 ± 0,005	0,901 ± 0,403	45,848 ± 11,851	0,0004 ± 0,0001	2,344 ± 0,392	0,009 ± 0,002	5,408 ± 1,557
RDR	N = 5	0,267 ± 0,079	0,015 ± 0,008	1,443 ± 0,416	22,339 ± 4,753	132,600 ± 19,076	0,0004 ± 0,0001	55,806 ± 11,223	0,021 ± 0,006	3,578 ± 1,188
LAO	N = 5	1,015 ± 0,284	0,057 ± 0,026	0,094 ± 0,010	19,984 ± 7,934	209,838 ± 83,310	0,0004 ± 0,0000	3,599 ± 0,362	0,017 ± 0,005	1,285 ± 0,387
LAL	N = 5	0,021 ± 0,007	0,012 ± 0,004	0,042 ± 0,016	0,142 ± 0,086	46,270 ± 8,120	0,0016 ± 0,0004	10,079 ± 3,234	0,466 ± 0,120	1,142 ± 0,138
LMO	N = 5	0,146 ± 0,069	0,076 ± 0,016	0,006 ± 0,002	0,028 ± 0,006	48,597 ± 9,556	0,0003 ± 0,0001	4,014 ± 1,079	0,040 ± 0,006	7,392 ± 2,791
RDF	N = 5	0,236 ± 0,152	0,031 ± 0,010	0,061 ± 0,043	0,015 ± 0,001	155,696 ± 44,248	0,0008 ± 0,0001	40,544 ± 13,401	0,006 ± 0,001	9,825 ± 1,178

Tabela 20: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn (média ± erro padrão) em pool de zooplâncton (mg/kg de peso úmido) coletado nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 1 (setembro/outubro 2018).

**Zooplâncton - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)**

Ponto	Plâncton (pool)	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
BRG	N = 5	0,193 ± 0,140	0,107 ± 0,027	5,148 ± 1,046	2,284 ± 0,693	123,562 ± 37,254	0,0054 ± 0,0021	124,649 ± 62,343	0,073 ± 0,037	46,755 ± 18,054
LLI	N = 5	0,008 ± 0,002	0,024 ± 0,010	0,039 ± 0,019	0,293 ± 0,163	27,062 ± 7,658	0,0017 ± 0,0002	1,029 ± 0,515	0,199 ± 0,184	13,018 ± 5,715
LNO	N = 5	0,036 ± 0,015	0,028 ± 0,007	0,014 ± 0,006	0,120 ± 0,009	9,001 ± 1,165	0,0215 ± 0,0042	1,383 ± 0,128	0,018 ± 0,009	11,598 ± 7,322
LJA	N = 4	0,012 ± 0,007	0,002 ± 0,001	0,041 ± 0,003	0,160 ± 0,054	6,510 ± 1,357	0,0055 ± 0,0015	0,341 ± 0,061	0,049 ± 0,009	1,775 ± 0,273
RDL	N = 5	0,033 ± 0,018	0,008 ± 0,001	0,003 ± 0,001	0,043 ± 0,015	0,540 ± 0,307	0,0037 ± 0,0006	0,889 ± 0,145	0,015 ± 0,004	0,776 ± 0,637
RDR	N = 5	0,138 ± 0,050	0,440 ± 0,145	0,042 ± 0,014	0,096 ± 0,022	0,887 ± 0,398	0,0040 ± 0,0008	0,422 ± 0,213	0,060 ± 0,033	0,444 ± 0,118
LAO	N = 5	0,074 ± 0,032	0,033 ± 0,008	0,096 ± 0,040	2,255 ± 1,200	17,180 ± 4,169	0,0118 ± 0,0031	0,149 ± 0,026	0,032 ± 0,024	1,333 ± 0,698
LAL	N = 5	0,336 ± 0,268	0,035 ± 0,007	0,122 ± 0,044	0,593 ± 0,216	666,534 ± 496,170	0,0035 ± 0,0008	3,143 ± 0,734	0,248 ± 0,210	0,395 ± 0,049
LMO	N = 5	0,021 ± 0,003	0,008 ± 0,003	0,011 ± 0,003	0,492 ± 0,317	4,568 ± 0,890	0,0026 ± 0,0006	0,053 ± 0,029	0,004 ± 0,002	0,084 ± 0,019
RDF	N = 4	0,195 ± 0,148	0,028 ± 0,014	0,030 ± 0,015	0,157 ± 0,081	917,159 ± 326,668	0,0041 ± 0,0019	0,070 ± 0,021	0,061 ± 0,044	0,402 ± 0,205

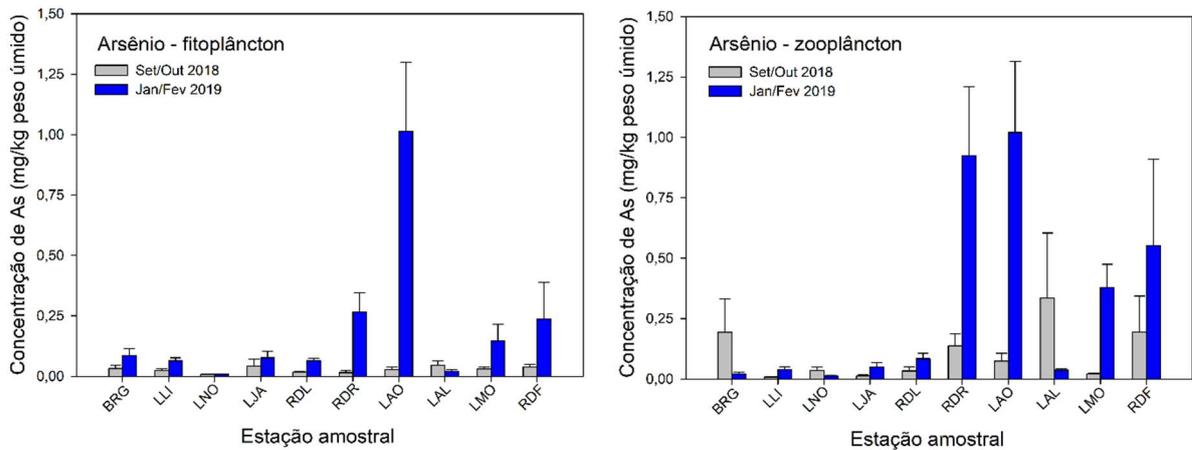
Tabela 21: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn ( média  $\pm$  erro padrão) em *pool* de zooplâncton (mg/kg de peso úmido) coletado nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 2 (janeiro/fevereiro 2019).

Zooplâncton - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto	Plâncton ( <i>pool</i> )	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
BRG	N = 5	0,022 $\pm$ 0,006	0,030 $\pm$ 0,003	0,029 $\pm$ 0,012	3,277 $\pm$ 0,566	107,327 $\pm$ 24,255	0,0007 $\pm$ 0,0001	20,289 $\pm$ 3,726	0,014 $\pm$ 0,003	12,870 $\pm$ 3,461
LLI	N = 5	0,039 $\pm$ 0,012	0,013 $\pm$ 0,001	0,090 $\pm$ 0,015	0,215 $\pm$ 0,073	4,775 $\pm$ 0,662	0,0014 $\pm$ 0,0001	1,203 $\pm$ 0,159	0,024 $\pm$ 0,015	4,586 $\pm$ 0,920
LNO	N = 5	0,012 $\pm$ 0,003	0,075 $\pm$ 0,030	0,016 $\pm$ 0,006	0,371 $\pm$ 0,103	28,704 $\pm$ 7,742	0,0008 $\pm$ 0,0000	4,757 $\pm$ 1,196	0,015 $\pm$ 0,005	4,046 $\pm$ 0,526
LJA	N = 5	0,049 $\pm$ 0,020	0,058 $\pm$ 0,008	0,040 $\pm$ 0,018	0,006 $\pm$ 0,003	10,879 $\pm$ 2,201	0,0002 $\pm$ 0,0000	1,493 $\pm$ 0,287	0,007 $\pm$ 0,002	1,056 $\pm$ 0,254
RDL	N = 5	0,084 $\pm$ 0,022	0,008 $\pm$ 0,003	0,032 $\pm$ 0,012	2,404 $\pm$ 0,326	166,939 $\pm$ 50,788	0,0007 $\pm$ 0,0001	24,041 $\pm$ 3,259	0,024 $\pm$ 0,013	10,629 $\pm$ 4,757
RDR	N = 5	0,924 $\pm$ 0,286	0,048 $\pm$ 0,021	0,077 $\pm$ 0,007	164,215 $\pm$ 42,288	306,888 $\pm$ 91,828	0,0007 $\pm$ 0,0002	56,017 $\pm$ 9,177	0,027 $\pm$ 0,009	5,224 $\pm$ 1,225
LAO	N = 5	1,020 $\pm$ 0,294	0,027 $\pm$ 0,009	0,003 $\pm$ 0,001	30,977 $\pm$ 9,586	325,277 $\pm$ 100,653	0,0004 $\pm$ 0,0001	6,502 $\pm$ 1,249	0,006 $\pm$ 0,004	1,032 $\pm$ 0,281
LAL	N = 5	0,037 $\pm$ 0,006	0,010 $\pm$ 0,002	0,018 $\pm$ 0,008	0,069 $\pm$ 0,033	250,834 $\pm$ 24,841	0,0011 $\pm$ 0,0002	10,711 $\pm$ 0,730	0,420 $\pm$ 0,132	1,321 $\pm$ 0,514
LMO	N = 5	0,379 $\pm$ 0,096	0,092 $\pm$ 0,020	0,003 $\pm$ 0,001	0,022 $\pm$ 0,006	220,893 $\pm$ 41,331	0,0004 $\pm$ 0,0001	9,166 $\pm$ 1,970	0,081 $\pm$ 0,019	4,531 $\pm$ 1,090
RDF	N = 5	0,552 $\pm$ 0,358	0,003 $\pm$ 0,001	0,010 $\pm$ 0,006	0,019 $\pm$ 0,005	121,768 $\pm$ 10,717	0,0004 $\pm$ 0,0001	43,517 $\pm$ 13,474	0,016 $\pm$ 0,007	9,540 $\pm$ 2,645

A análise das tabelas acima indica que o nível de As no fitoplâncton teve pico na estação amostral LAO, na campanha 2 (1,015  $\pm$  0,284 mg/kg peso úmido). No zooplâncton, a concentração de As foi alta em LAO na campanha 2 (1,020  $\pm$  0,294 mg/kg peso úmido), mas também elevada em RDR (0,924  $\pm$  0,286 mg/kg peso úmido), RDF (0,552  $\pm$  0,358 mg/kg peso úmido) e LMO (0,379  $\pm$  0,096 mg/kg peso úmido). Nestes pontos, os valores encontrados na campanha 2 foram mais altos do que os valores obtidos na campanha 1 (Figura 70).

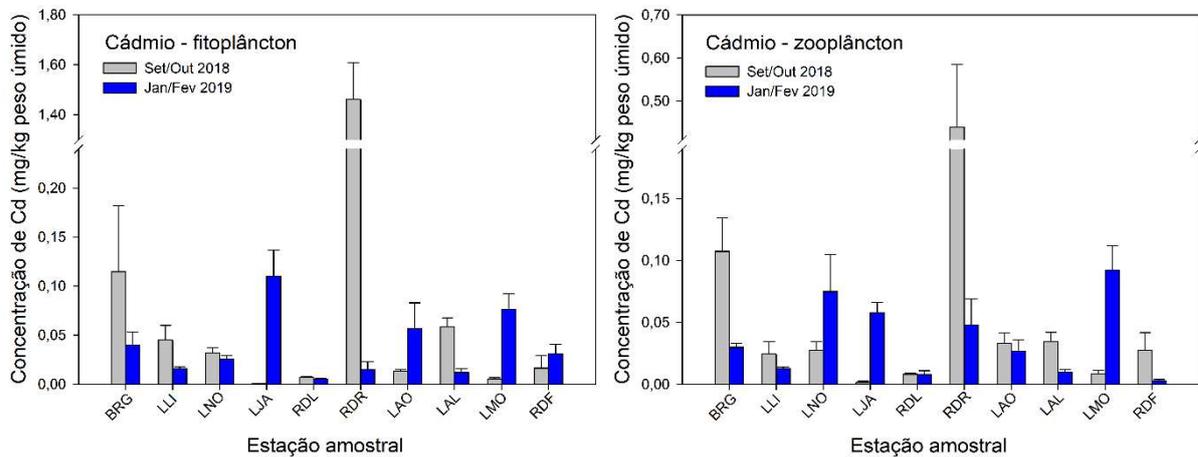
Ao comparar os dados obtidos nas campanhas 1 e 2 com os dados de acúmulo de metais no zooplâncton pretéritos ao rompimento da Barragem, conclui-se que a concentração de As do fitoplâncton e do zooplâncton amostrados nas estações RDR, LAO, LMO e RDF, principalmente na campanha 2 (Tabela 18 à Tabela 21), estão acima do nível de As descrito nas amostras de antes da lama chegar no local (0,121 mg/kg peso úmido) (Tabela 17).

Figura 70: Concentração de Arsênio (As) (mg/kg de peso úmido) no fitoplâncton e zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Octubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



Os níveis de Cd destacaram-se no fitoplâncton ( $1,461 \pm 0,147$  mg/kg peso úmido) e no zooplâncton ( $0,440 \pm 0,145$  mg/kg peso úmido) amostrados em RDR na campanha 1 (Figura 71). Todos os valores de Cd encontrados no fitoplâncton e no zooplâncton estão acima ou igual ao valor mensurado em momento pretérito ao rompimento da barragem ( $0,0011$  mg/kg peso úmido) (Tabela 17).

Figura 71: Concentração de Cádmi (Cd) (mg/kg de peso úmido) no Fitoplâncton e Zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Octubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.

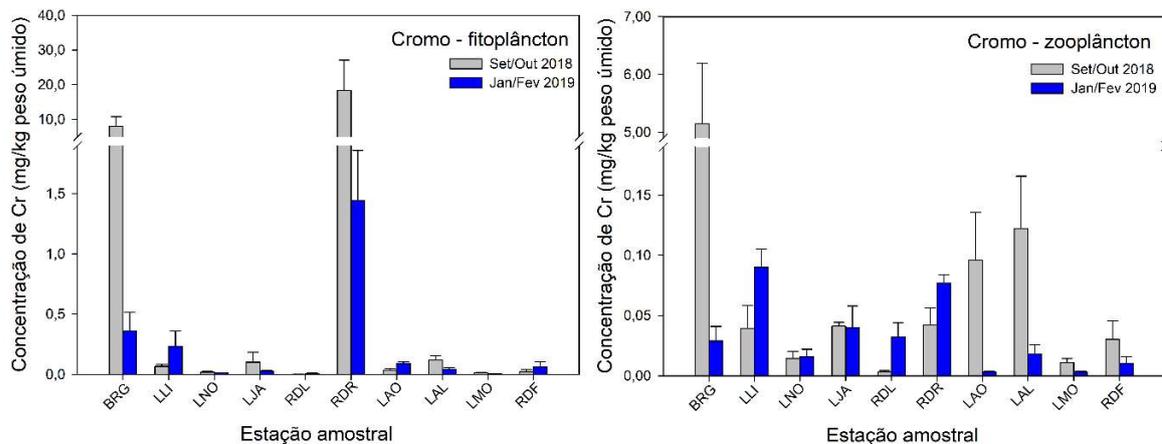


Particularmente no fitoplâncton, os maiores níveis de Cr foram encontrados em RDR ( $18,406 \pm 8,667$  mg/kg peso úmido), seguido de BRG ( $8,036 \pm 2,732$  mg/kg peso úmido) coletados na campanha 1 (Tabela 18). No entanto, o valor encontrado em BRG ( $0,359 \pm 0,155$  mg/kg peso úmido), na campanha 2, reduziu em 20x quando comparado ao encontrado na campanha 1, enquanto que em RDR diminuiu em aproximadamente 13x ( $1,443 \pm 0,416$  mg/kg peso úmido). A concentração de Cr determinada no zooplâncton foi mais baixa do que a encontrada no fitoplâncton, sendo a maior concentração obtida no

ponto BRG, na campanha 1 ( $5,148 \pm 1,046$  mg/kg peso úmido), na qual houve redução dos níveis encontrados na segunda campanha em aproximadamente 177 vezes ( $0,029 \pm 0,012$  mg/kg peso úmido) (Figura 72).

Os valores que estão acima do demonstrado na análise pretérita de Cr no zooplâncton ( $0,150$  mg/kg peso úmido, Tabela 17) são do fitoplâncton amostrado na estação BRG e RDR, nas campanhas 1 e 2, e em LLI, na campanha 2, e no zooplâncton amostrado em BRG durante a campanha 1.

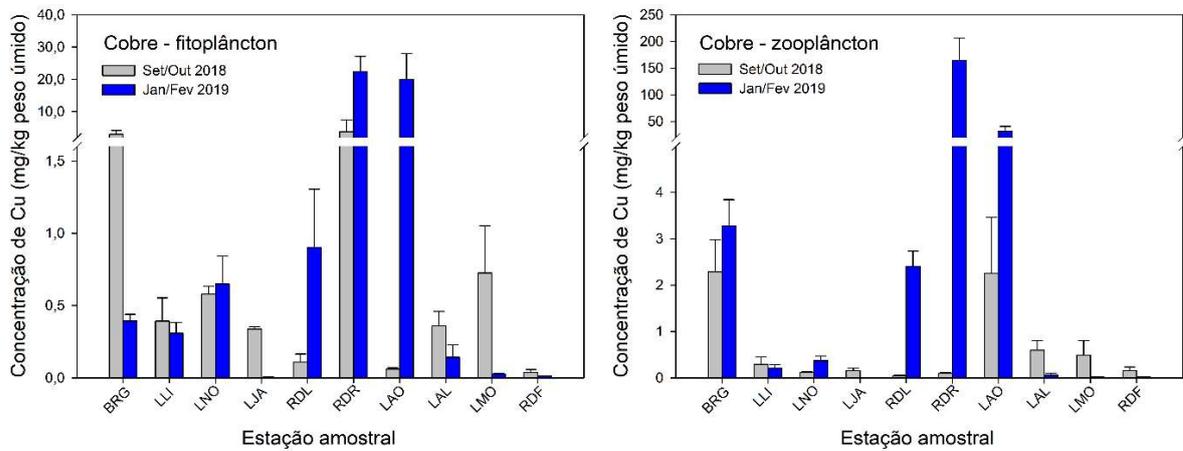
Figura 72: Concentração de Cromo (Cr) (mg/kg de peso úmido) no fitoplâncton e zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



A concentração de Cu foi marcadamente elevada em RDR e LAO no zooplâncton ( $164,215 \pm 42,288$  e  $30,977 \pm 9,586$  mg/kg peso úmido, respectivamente) (Tabela 21) e no fitoplâncton ( $22,339 \pm 4,753$  e  $19,984 \pm 7,934$  mg/kg peso úmido, respectivamente) (Tabela 19) amostrados na campanha 2. O fitoplâncton também apresentou maiores valores de Cu em RDR ( $3,800 \pm 3,577$  mg/kg peso úmido) e BRG ( $2,994 \pm 1,105$  mg/kg peso úmido) na campanha 1 (Figura 73).

O valor de Cu mensurado no fitoplâncton de grande parte das estações amostrais foi maior do que o descrito em momento pretérito ao rompimento da barragem ( $0,069$  mg/kg peso úmido) (Tabela 17), exceto em LAO e RDF na campanha 1 e LJA, LMO e RDF na campanha 2. O mesmo acontece para o zooplâncton, com exceção dos valores encontrados em RDL, na campanha 1 (Tabela 20), e em LJA, LAL, LMO e RDF, na campanha 2 (Tabela 21).

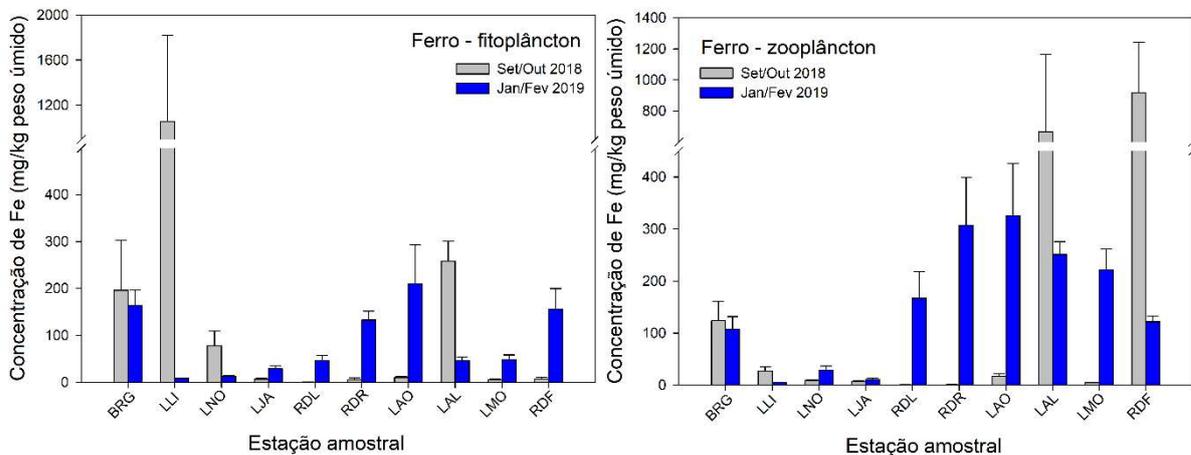
Figura 73: Concentração de Cobre (Cu) (mg/kg de peso úmido) no fitoplâncton e zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Octubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



O nível de Fe foi marcadamente mais alto em LLI (1054,67 ± 763,80 mg/kg peso úmido) no fitoplâncton. Valores elevados também são encontrados em LAL (666,53 ± 496,17 mg/kg peso úmido) e RDF (917,16 ± 326,67 mg/kg peso úmido) no zooplâncton, para a campanha 1 (Figura 74).

Os valores de Fe encontrados no fitoplâncton (Tabela 19) e zooplâncton (Tabela 21), coletados na campanha 2, foram mais altos na maioria das estações amostrais, quando comparado ao valor mensurado que antecede o rompimento da barragem (15,55 mg/kg peso úmido) (Tabela 17), exceto em LLI e LNO no fitoplâncton e LLI e LJA no zooplâncton. Dentre os valores encontrados nas estações amostrais da campanha 1 (Tabela 18 e Tabela 20), apenas os pontos BRG, LLI e LAL apresentaram valores de acúmulo de Fe acima do encontrado em 2015 (Tabela 17), tanto no fitoplâncton quanto no zooplâncton.

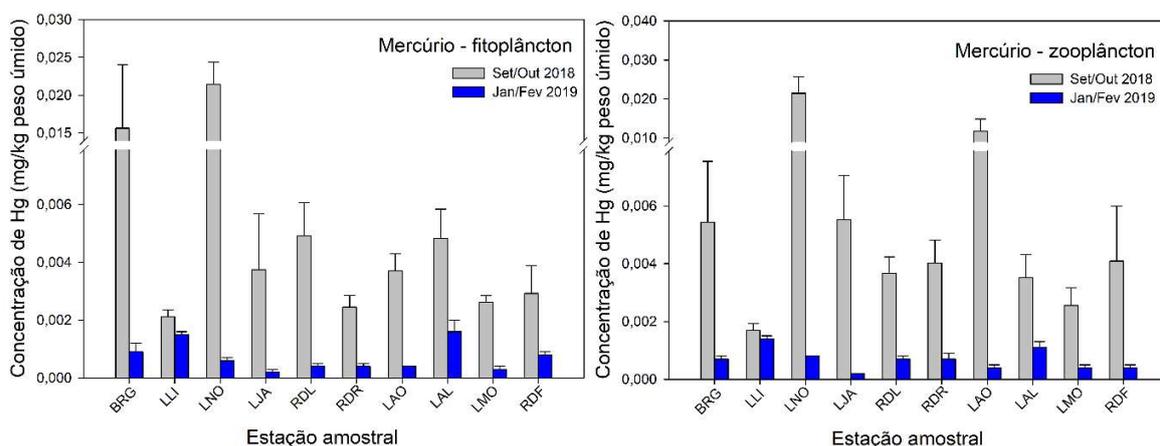
Figura 74: Concentração de Ferro (Fe) (mg/kg de peso úmido) no fitoplâncton e zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Octubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



Os níveis de Hg foram marcadamente mais altos no fitoplâncton e zooplâncton coletados na campanha 1 (Tabela 18 e Tabela 20, respectivamente), quando comparados com os níveis encontrados para a campanha 2 (Tabela 19 e Tabela 21) em todas as estações amostrais, exceto em LLI, onde os níveis foram semelhantes em ambas as campanhas (no fitoplâncton  $0,0021 \pm 0,0002$  da campanha 1 e  $0,0015 \pm 0,0001$  mg/kg peso úmido da campanha 2; no zooplâncton  $0,0017 \pm 0,0002$  da campanha 1 e  $0,0014 \pm 0,0001$  mg/kg peso úmido da campanha 2) (Figura 75).

Os valores de Hg mensurados no fitoplâncton e zooplâncton, (Tabela 18 e Tabela 20, respectivamente) em todas as estações amostrais durante a campanha 1, estiveram acima do encontrado no zooplâncton coletado na foz do Rio Doce, em 2015 ( $0,0008$  mg/kg peso úmido) (Tabela 17). Na campanha 2, os valores acima do estimado anteriormente foram encontrados em LLI e LAL, tanto para fitoplâncton quanto para zooplâncton (Tabela 19 e Tabela 21).

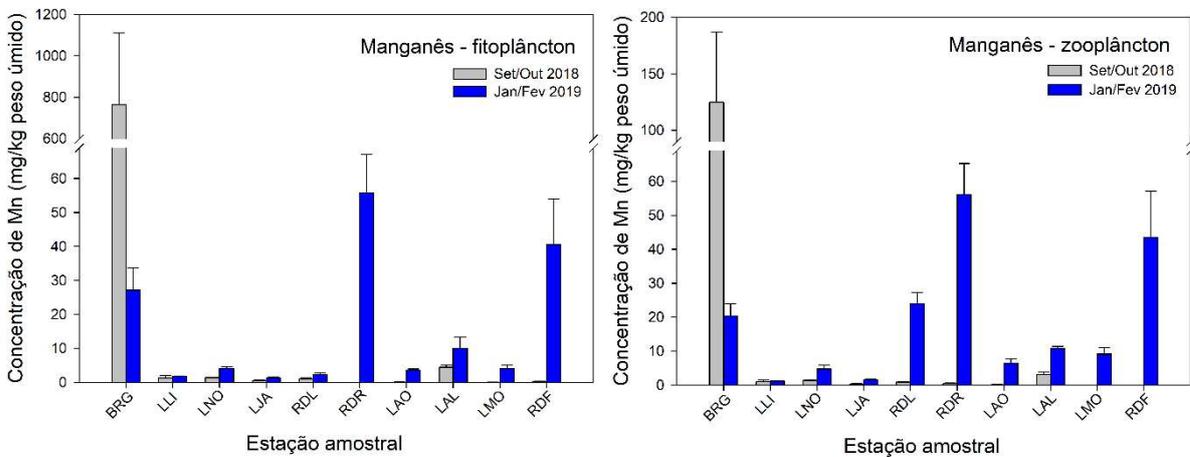
Figura 75: Concentração de Mercúrio (Hg) (mg/kg de peso úmido) no Fitoplâncton e Zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



A concentração de Mn foi destacadamente maior na estação amostral BRG tanto no fitoplâncton ( $762,744 \pm 349,248$  mg/kg peso úmido) quanto no zooplâncton ( $124,649 \pm 62,343$  mg/kg peso úmido) amostrados na campanha 1 (Figura 76). Os valores encontrados em ambos organismos também foram altos em RDR e RDF, na campanha 2, em relação às demais estações amostrais (Tabela 19 e Tabela 21).

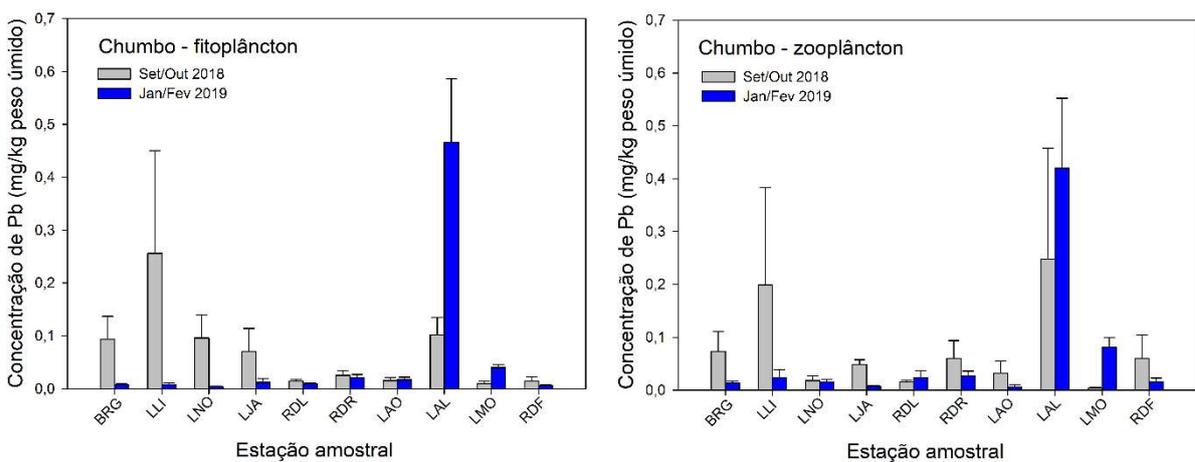
O valor de Mn mensurado no fitoplâncton e zooplâncton da maioria das estações amostrais da campanha 1 estiveram abaixo do encontrado no zooplâncton antes do rompimento da barragem ( $6,884$  mg/kg peso úmido) (Tabela 17), exceto em BRG. Na campanha 2, a concentração de Mn em BRG, RDR, LAL e RDF esteve acima do encontrado em 2015 no fitoplâncton e zooplâncton. Ainda, para o zooplâncton o nível de Mn esteve acima, também, em RDL e LMO (Tabela 21), em relação aos dados pretéritos.

Figura 76: Concentração de Manganês (Mn) (mg/kg de peso úmido) no fitoplâncton e zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



A concentração de Pb apresentou destaque no fitoplâncton ( $0,466 \pm 0,120$  mg/kg peso úmido) e zooplâncton ( $0,420 \pm 0,132$  mg/kg peso úmido) coletados em LAL durante a campanha 2 (Figura 77). Quando comparado ao valor de Pb encontrado no zooplâncton, amostrado em 2015 ( $0,0053$  mg/kg peso úmido), as concentrações de Pb do fitoplâncton e zooplâncton estiverem acima na maioria dos pontos da campanha 1 e 2, exceto para o fitoplâncton em LNO e LMO na campanha 2 e para o zooplâncton em LMO na campanha 1.

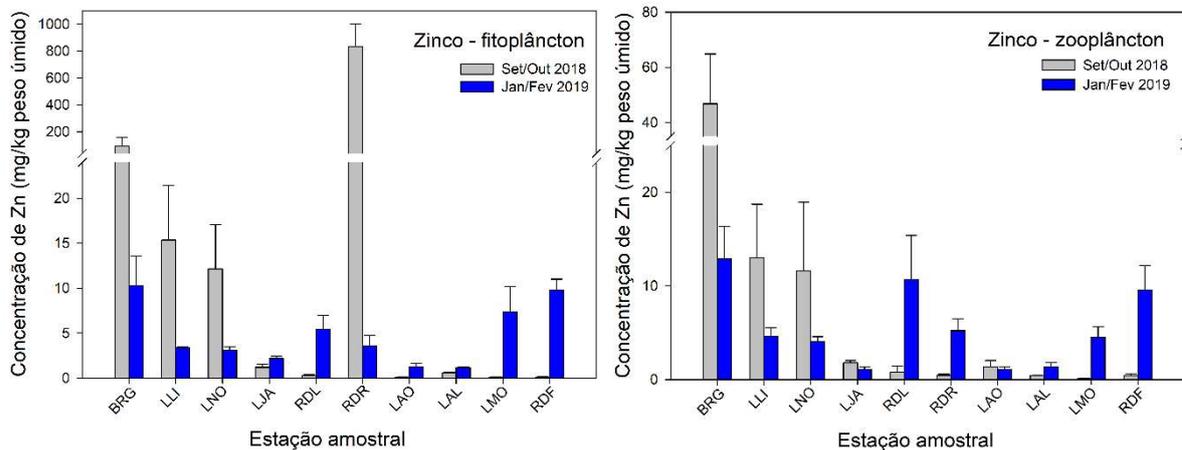
Figura 77: Concentração de Chumbo (Pb) (mg/kg de peso úmido) no fitoplâncton e zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



Os valores de Zn foram elevados no fitoplâncton amostrados em RDR ( $834,908 \pm 165,335$  mg/kg peso úmido) na campanha 1. Outros pontos também apresentaram valores mais altos no fitoplâncton e zooplâncton, coletados na campanha 1, do que na campanha 2, tal como em BRG, LLI e LNO. Já os

pontos RDL, LMO e RDF apresentaram valores mais altos de Zn na campanha 2, do que na campanha 1 (Figura 78).

Figura 78: Concentração de Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) no fitoplâncton e zooplâncton nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



Da mesma forma que foi realizada para água e sedimento, a análise de Componentes Principais (PCA) exploratória foi também utilizada na tentativa de detectar padrões de efeito sazonal ou espacial sobre a concentração de metais no fitoplâncton e zooplâncton. As variáveis utilizadas nesta análise foram as médias das concentrações dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Pb, Mn e Zn no fitoplâncton e zooplâncton coletados nas dez estações amostrais, nas duas campanhas de monitoramento. As localidades ou estações amostrais representam os indivíduos utilizados na análise e estão representadas por símbolos na cor cinza (campanha 1) e azul (campanha 2) (Figura 79).

Como resultado primário, a PCA do acúmulo de metais no fitoplâncton amostrado no ambiente dulcícola e estuário forneceu variabilidade dos dados de 55%, nas duas primeiras dimensões. O componente principal 1 sumarizou 33,3% dos dados e agrupou os metais Cd, Cr e Zn junto da estação amostral RDR da campanha 1, a leste (Figura 79 e Tabela 22). Estes metais foram os que mais contribuíram com o resultado da PC1 (Figura 80). O componente principal 2 sumarizou 21,7% dos dados, agrupando os metais As e Cu ao norte junto das localidades LAO e RDR da campanha 2. Ao sul do biplot estão agrupados os metais Pb, Hg e Mn. O Fe agrupou-se principalmente com as estações amostrais da campanha 1. Dentre os metais que mais contribuíram com a PC2 estão o As, Cu e Hg (Figura 81).

A estação amostral que mais colaborou com o agrupamento dos dados do componente principal 1 foi o ponto no Rio Doce em Regência (RDR) (Figura 82). Relativo ao componente principal 2, as estações com maior contribuição foram LAO, RDR, BRG e LNO (Figura 83).

Figura 79: Análise de Componentes Principais aplicada para os dados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) no fitoplâncton coletado nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade: BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1, em cinza (Exp1), e campanha 2, em azul (Exp2).

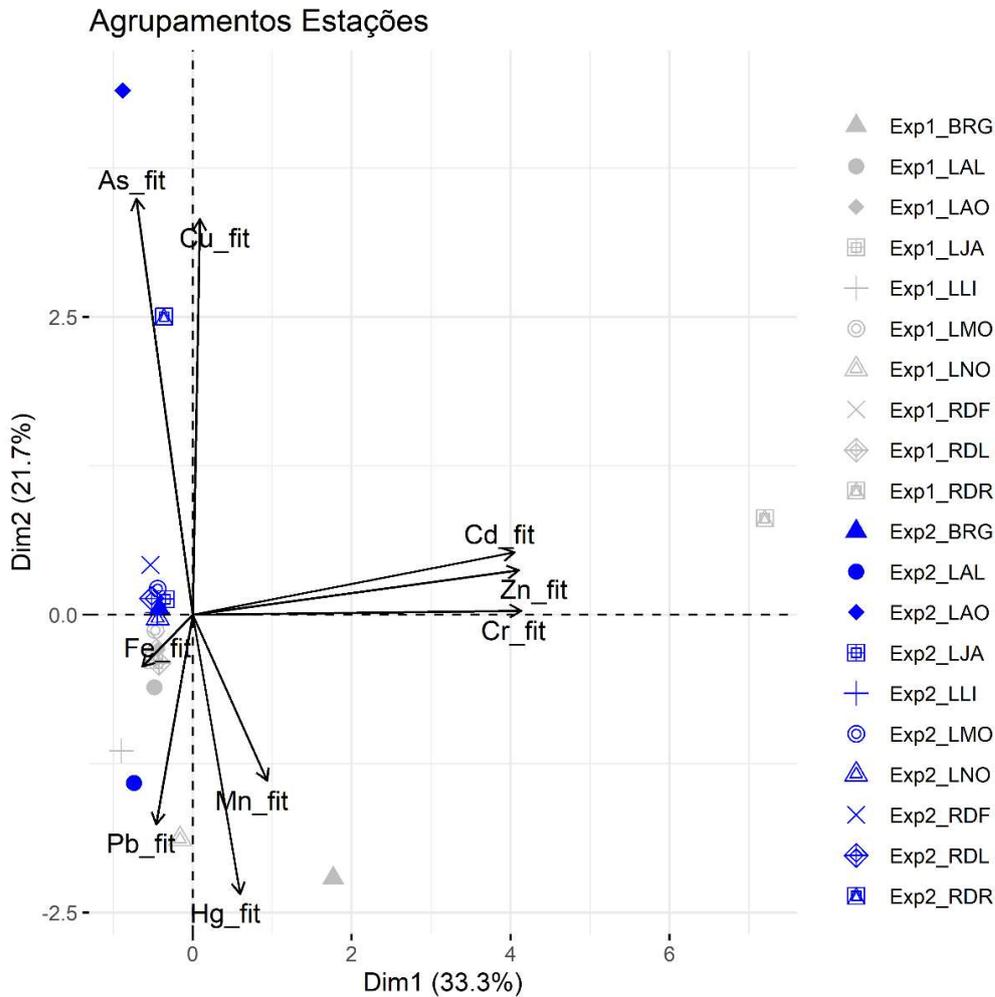


Tabela 22: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) para metais no fitoplâncton.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de variância</b>	<b>Percentual de variância acumulativa</b>
Dim.1	3,00	33,28	33,28
Dim.2	1,96	21,73	55,01
Dim.3	1,50	16,64	71,64
Dim.4	1,28	14,27	85,91
Dim.5	0,57	6,31	92,22
Dim.6	0,47	5,22	97,44
Dim.7	0,23	2,52	99,96
Dim.8	0,00	0,04	100,00

Figura 80: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) no fitoplâncton. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

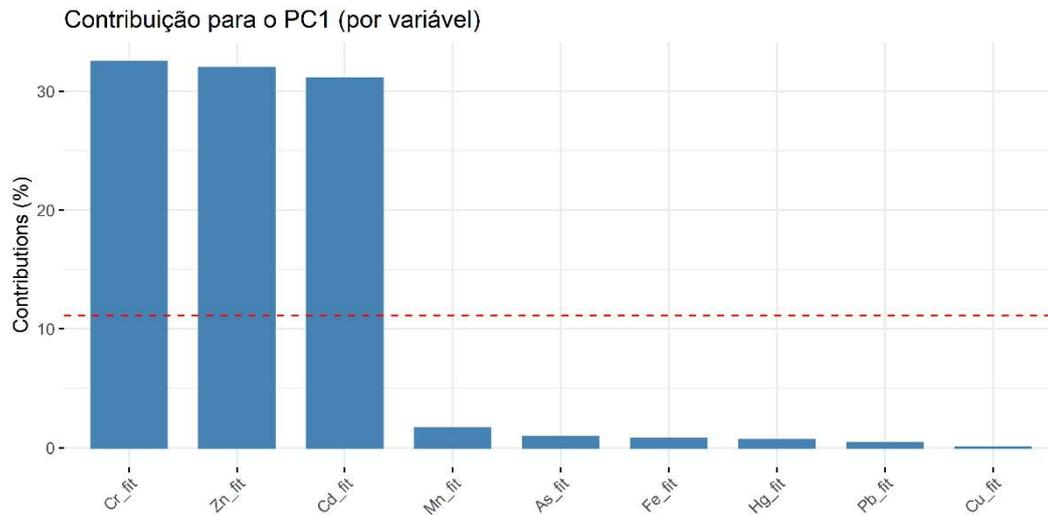


Figura 81: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) no fitoplâncton. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

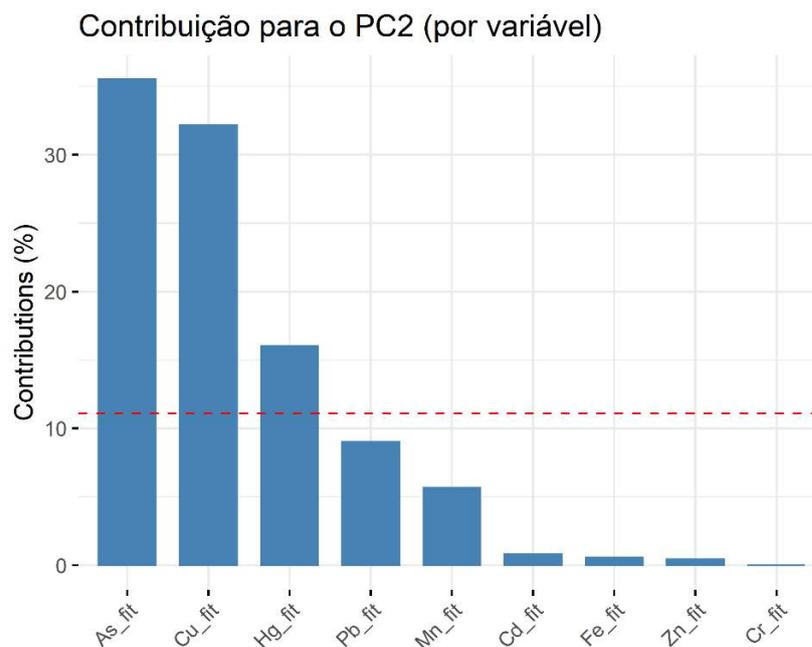


Figura 82: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

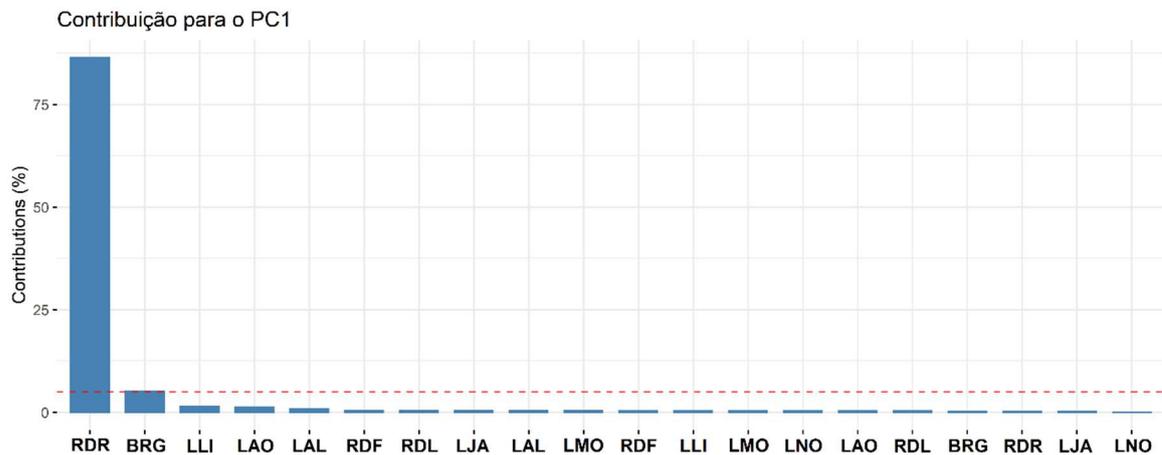
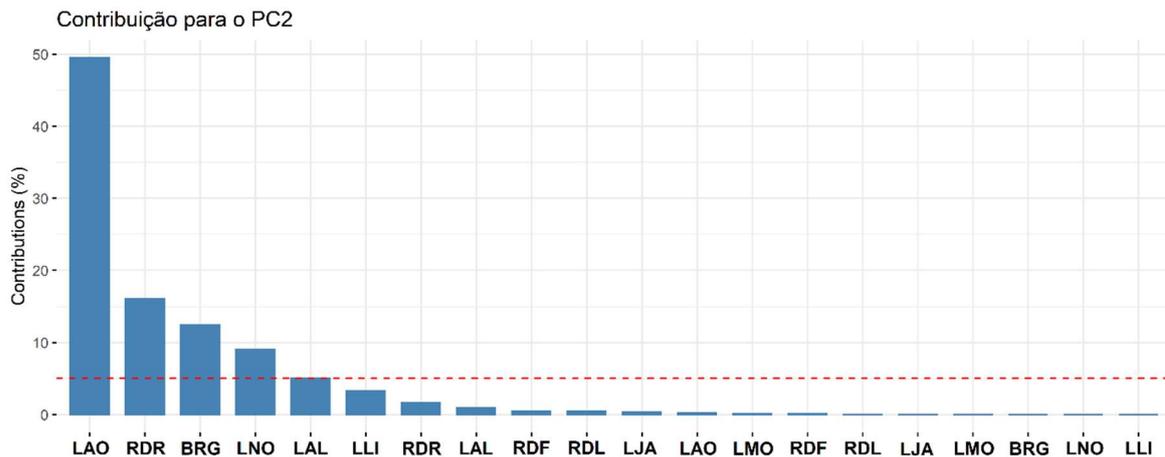


Figura 83: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.



Como resultado primário, a PCA do acúmulo de metais no zooplâncton amostrado no ambiente dulcícola e estuário forneceu variabilidade dos dados de 53,9%, nas duas primeiras dimensões (Figura 84). O componente principal 1 integrou 31% dos dados e agrupou os metais Cr, Mn e Zn, junto da estação amostral BRG da campanha 1, a leste. Estes metais foram os que mais contribuíram com o resultado da PC1 (Figura 85). O componente principal 2 sumarizou 22,9% dos dados, agrupando ao

norte os metais As e Cu, com forte interação com a localidade RDR da campanha 2, e Fe acompanhando a estação amostral LAO na campanha 2. Ao sul do biplot, estão agrupados o metal Hg seguindo a estação amostral LNO. Dentre os metais que mais contribuíram com a PC2 estão o As, Cu e Fe (Figura 86). A estação amostral que mais cooperou com o agrupamento dos dados do componente principal 1 foi BRG (Figura 87) e as estações com maior contribuição para o componente principal 2 foram RDR, LAO e LNO (Figura 88).

Figura 84: Análise de Componentes Principais aplicada para os dados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmi (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) no zooplâncton coletado nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise categorizados por localidade: BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2).

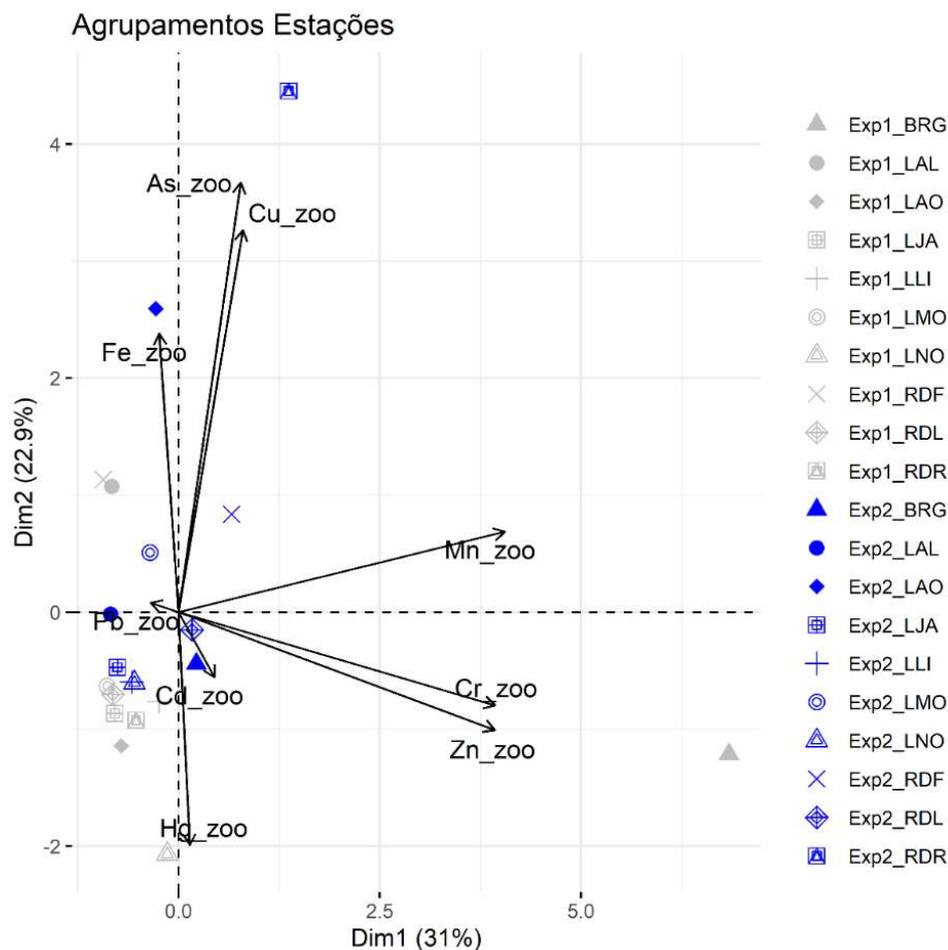


Tabela 23: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) para metais no zooplâncton.

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.1	2,79	30,99	30,99
Dim.2	2,06	22,91	53,90
Dim.3	1,32	14,66	68,56

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.4	1,00	11,13	79,69
Dim.5	0,85	9,45	89,14
Dim.6	0,59	6,52	95,66
Dim.7	0,26	2,88	98,54
Dim.8	0,09	0,95	99,49
Dim.9	0,05	0,51	100,00

Figura 85: Contribuição em porcentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) no zooplâncton. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

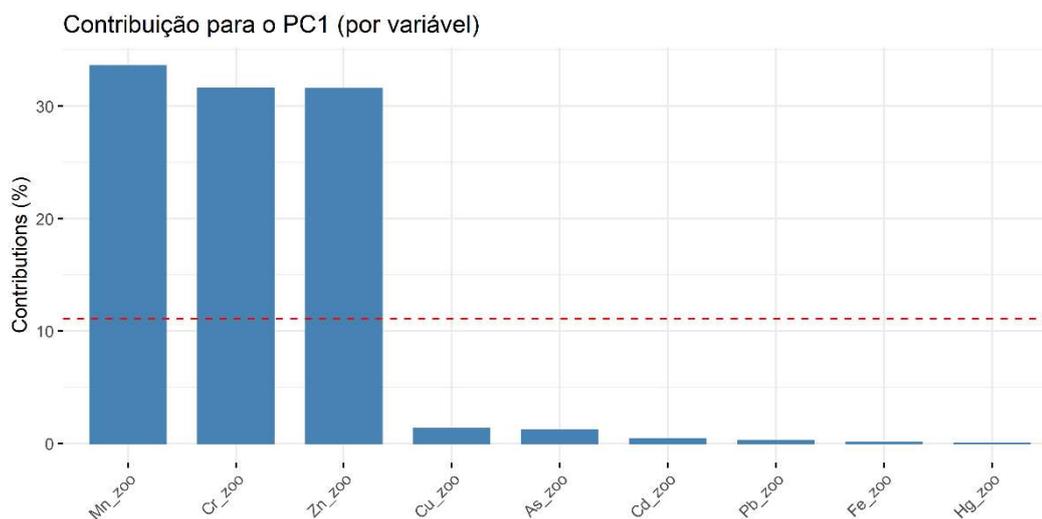


Figura 86: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) no zooplâncton. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

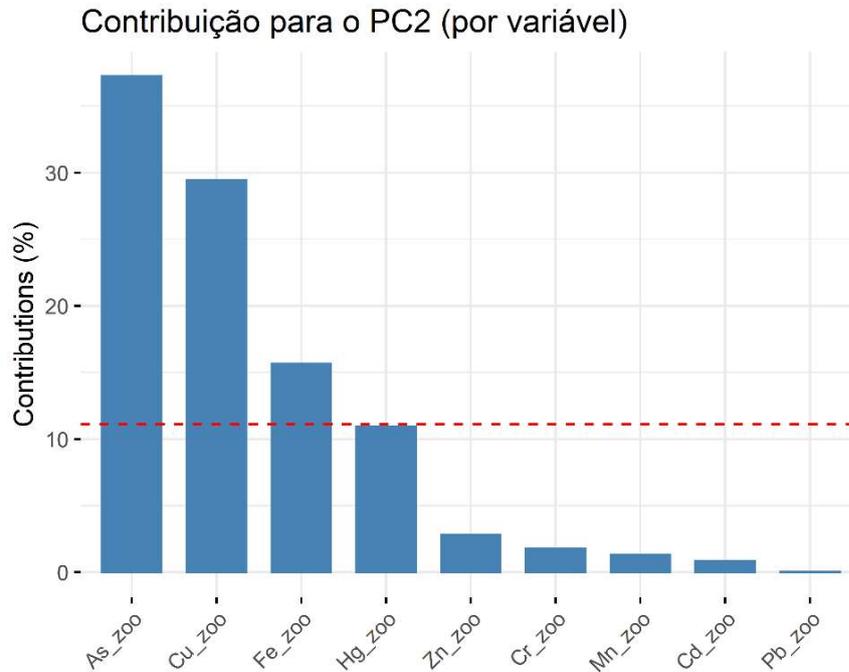


Figura 87: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

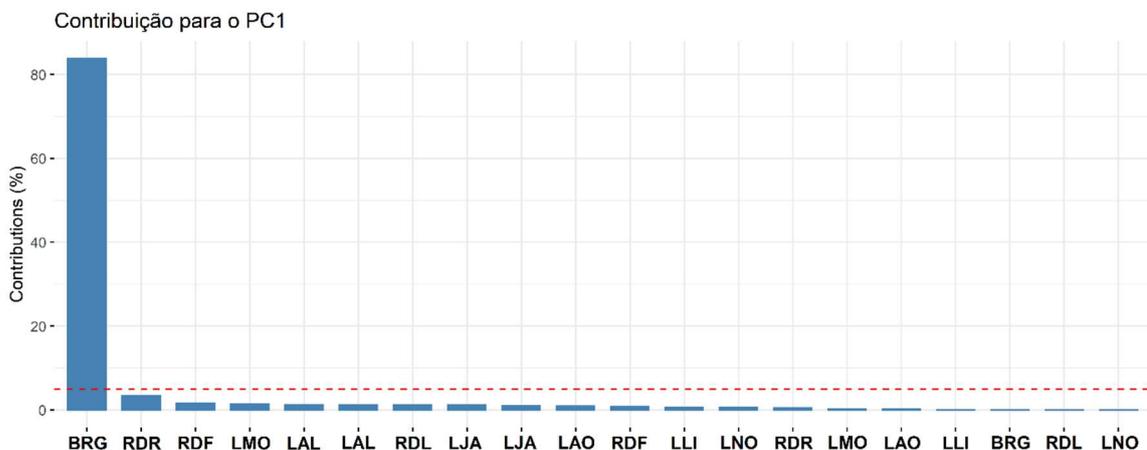
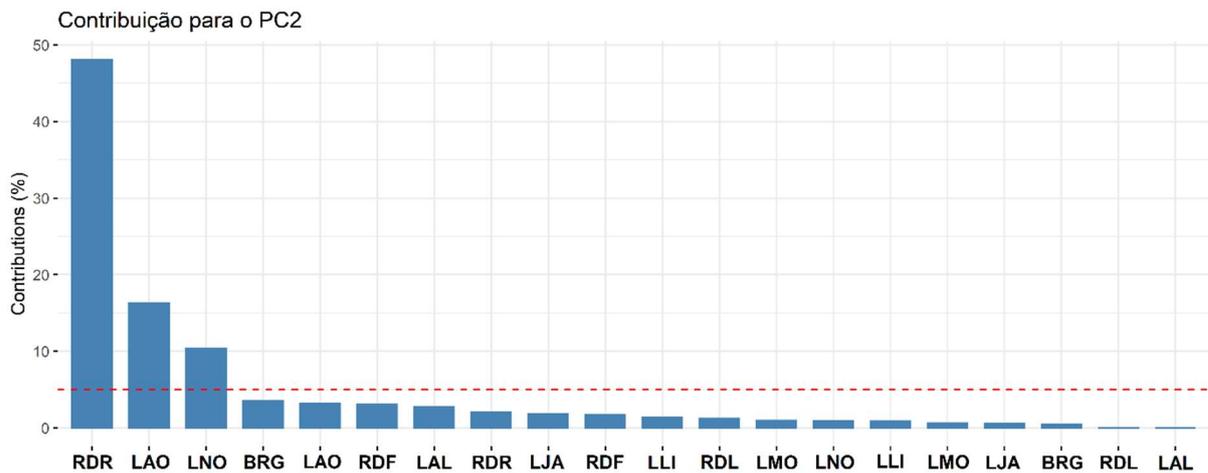


Figura 88: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.



### 3.1.6.2 Concentração de metais em larvas de quironomídeos

A coleta de larvas de quironomídeos teve êxito apenas na campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola, por isso o efeito da sazonalidade não será discutido. Os dados de bioacumulação dos metais nas larvas de quironomídeos e os principais apontamentos sobre o padrão da localidade serão apresentados abaixo.

A bioacumulação de metais nas larvas de quironomídeos deu-se de forma distinta entre os elementos investigados e as estações amostrais no ambiente dulcícola. Os valores obtidos para a concentração dos diferentes metais nas larvas de quironomídeos, coletadas durante a estação chuvosa, são apresentados na Tabela 24 e serão confrontados com os dados obtidos na literatura, sumarizados na Tabela 25.

Tabela 24: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn (média  $\pm$  erro padrão) em larvas de quironomídeos (mg/kg de peso úmido) coletado nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 2 (janeiro/fevereiro 2019).

Larvas de quironomídeos - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto	N (pools)	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
BRG	N = 5	0,1420	0,2113	0,5710	25,9583	91,36 $\pm$	0,0063	16,9708	0,0889	12,55
		$\pm$ 0,0401	$\pm$ 0,0411	$\pm$ 0,1239	$\pm$ 6,2944	$\pm$ 23,40	$\pm$ 0,0013	$\pm$ 3,6730	$\pm$ 0,0291	$\pm$ 1,61
LLI	N = 5	1,5034	0,6556	1,4145	3,9411 $\pm$	145,23	0,0052	17,3767	0,2718	7,35
		$\pm$ 0,3992	$\pm$ 0,0967	$\pm$ 0,5453	$\pm$ 0,5665	$\pm$ 11,22	$\pm$ 0,0008	$\pm$ 2,0539	$\pm$ 0,1689	$\pm$ 2,76

Larvas de quironomídeos - Campanha 2 (Janeiro/Fevebreiro 2019)										
Ponto	N (pools)	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
LNO	N = 5	0,1731 ± 0,0748	0,4008 ± 0,0801	0,2187 ± 0,0875	6,0516 ± 2,5567	66,91 ± 24,35	0,0069 ± 0,0014	11,5092 ± 1,7615	0,0498 ± 0,0063	21,76 ± 5,94
LJA	N = 5	0,0497 ± 0,0069	0,4409 ± 0,1235	0,2260 ± 0,1652	0,4583 ± 0,1744	179,54 ± 40,26	0,0011 ± 0,0003	3,3002 ± 0,8346	0,0603 ± 0,0249	9,26 ± 2,21
RDL	N = 5	1,8447 ± 0,6599	0,0523 ± 0,0084	0,3307 ± 0,1459	2,1179 ± 0,7003	1366,04 ± 363,99	0,0019 ± 0,0002	15,4969 ± 3,5526	0,1124 ± 0,0625	25,78 ± 5,69
RDR	N = 5	3,8959 ± 1,0014	0,0780 ± 0,0400	0,0335 ± 0,0238	241,4535 ± 59,3400	2536,67 ± 623,26	0,0017 ± 0,0002	62,5121 ± 15,4744	0,2625 ± 0,0232	9,36 ± 1,20
LAO	N = 5	2,5162 ± 1,0909	0,0392 ± 0,0094	0,0971 ± 0,0578	0,5724 ± 0,1896	464,36 ± 126,19	0,0020 ± 0,0004	6,8527 ± 1,8352	0,0792 ± 0,0180	25,61 ± 7,88
LAL	N = 5	0,0507 ± 0,0081	0,0378 ± 0,0118	0,4014 ± 0,1464	1,0867 ± 0,5057	411,79 ± 84,56	0,0049 ± 0,0009	20,0883 ± 5,1240	1,6203 ± 0,8849	6,87 ± 1,42
LMO	N = 5	1,5961 ± 0,4028	1,3753 ± 0,4026	0,0321 ± 0,0104	0,0770 ± 0,0349	381,14 ± 83,15	0,0062 ± 0,0018	37,7018 ± 9,7966	0,7413 ± 0,2136	24,14 ± 7,51

Tabela 25: Concentração de metais em larvas de quironomídeo (mg/kg de peso úmido) compilados da literatura e dos dados obtidos do respectivo relatório (mg/kg de peso úmido). Os dados estão expressos como mínimo e máximo da média oriunda da literatura e mínimo e máximo dos valores brutos oriundos dos dados amostrados no presente relatório.

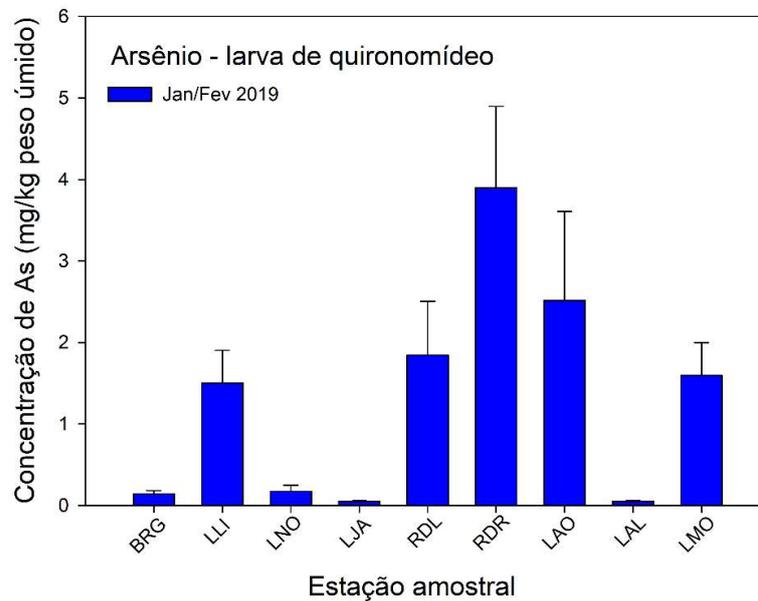
	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
<b>Dados da Bibliografia (mg/kg peso úmido)</b>	0,01 <sup>3</sup> - 6,68 <sup>1</sup>	n.d. <sup>1</sup> - 160,4 <sup>1</sup>	15 <sup>2</sup> - 985 <sup>1</sup>	1800 <sup>2</sup> - 8000 <sup>2</sup>	25,5 <sup>2</sup> - 300 <sup>2</sup>	0,15 <sup>3</sup> - 3,13 <sup>1</sup>	40 <sup>2</sup> - 759 <sup>1</sup>
<b>Campanha dulcícola 2 (mg/kg peso úmido)<sup>(4)</sup></b>	0,052 - 1,375	0,032 - 1,415	0,077 - 241,45	66,913 - 25636,67	3,30 - 62,51	0,05 - 1,62	6,88 - 25,79

Fonte: Arslan et al. 2010<sup>(1)</sup>; Chiba et al. 2010<sup>(2)</sup>; Rezaei et al. 2011<sup>(3)</sup>; Anexo 1, TR4<sup>(4)</sup>

n.d. = não detectado

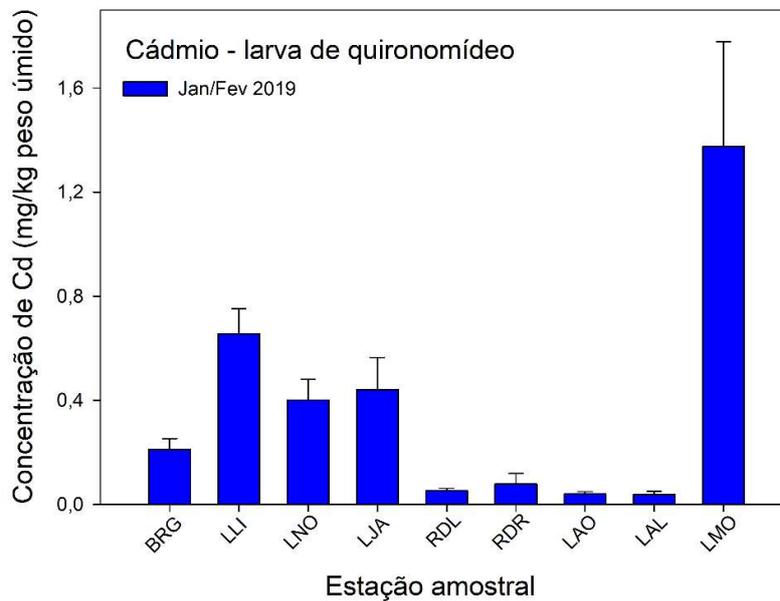
Dentre os metais avaliados neste estudo, apenas o Fe acumulado nas larvas de quironomídeos amostradas no ambiente dulcícola, particularmente na estação amostral RDR (Tabela 24), esteve acima do encontrado na literatura para Chironomidae (Tabela 25). O nível de As foi elevado nas larvas coletadas na estação amostral RDR (3,896 ± 1,001 mg/kg peso úmido), seguido por LAO (2,5162 ± 1,0909 mg/kg peso úmido). As estações amostrais RDL (1,8447 ± 0,6599 mg/kg peso úmido), LMO (1,5961 ± 0,4028 mg/kg peso úmido) e LLI (1,5034 ± 0,3992 mg/kg peso úmido) apresentaram valores similares para a concentração de As nas larvas de quironomídeos (Figura 89).

Figura 89: Concentração de Arsênio (As) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos (n=7 por local) coletadas nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



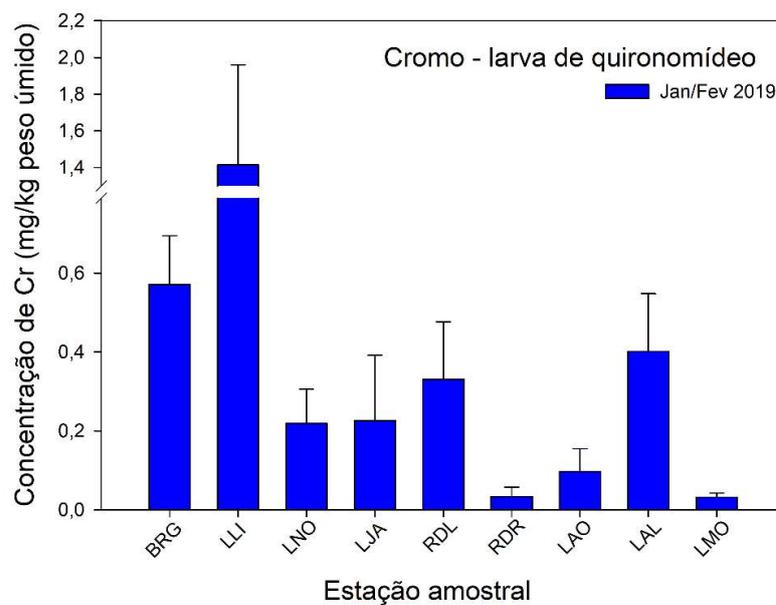
A concentração de Cd foi aproximadamente 2x maior nos organismos amostrados no ponto LMO ( $1,375 \pm 0,403$  mg/kg peso úmido), quando comparado à concentração encontrada nos organismos das estações amostrais LLI ( $0,656 \pm 0,097$  mg/kg peso úmido), LNO ( $0,401 \pm 0,080$  mg/kg peso úmido) e LJA ( $0,441 \pm 0,124$  mg/kg peso úmido) (Figura 90).

Figura 90: Concentração de Cádmiio (Cd) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos ( $n=7$  por agrupamento) coletadas nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



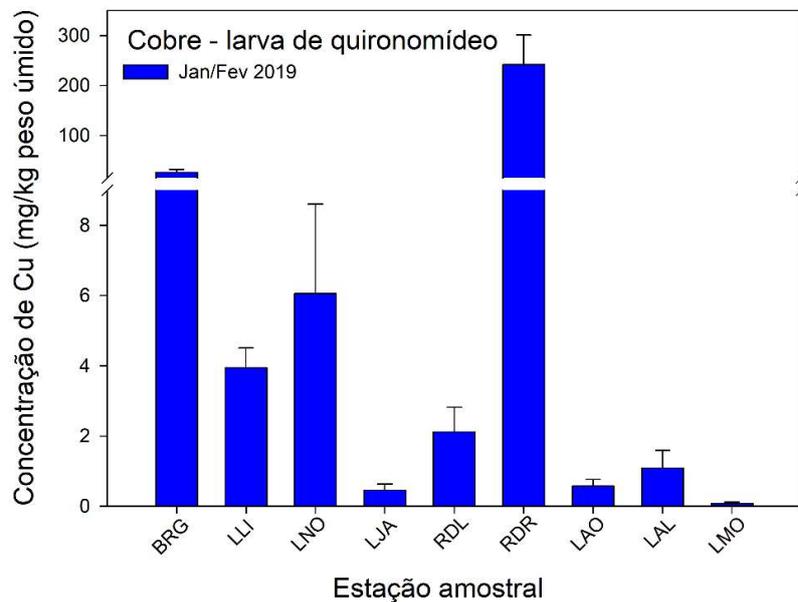
A concentração de Cr teve destaque nos quironomídeos coletados na estação amostral LLI (1,415  $\pm$  0,545 mg/kg peso úmido). Os pontos de coleta com os menores valores de Cr foram RDR (0,034  $\pm$  0,024 mg/kg peso úmido) e LMO (0,032  $\pm$  0,010 mg/kg peso úmido) (Figura 91).

Figura 91: Concentração de Cromo (Cr) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos ( $n=7$  por agrupamento) coletadas nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



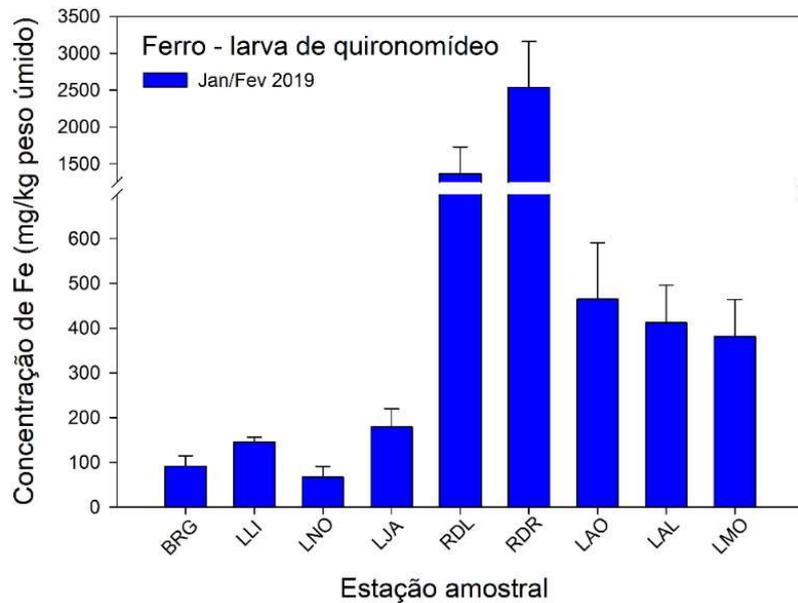
O valor de Cu nas larvas de quironomídeos que se destacou entre as estações amostrais foi encontrado em RDR ( $241,45 \pm 59,34$  mg/kg peso úmido), o qual foi 9 vezes maior do encontrado na estação amostral BRG, que apresentou o segundo maior valor entre as estações amostrais monitoradas ( $25,96 \pm 6,29$  mg/kg peso úmido). A concentração na estação amostral (RDR), que apresentou os maiores valores de Cu, foi aproximadamente 3 mil vezes maior do que a concentração da estação LMO, na qual foi mensurado o menor valor de Cu acumulado nestes organismos ( $0,077 \pm 0,035$  mg/kg peso úmido) (Figura 92).

Figura 92: Concentração de Cobre (Cu) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos (n=7 por agrupamento) coletado nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



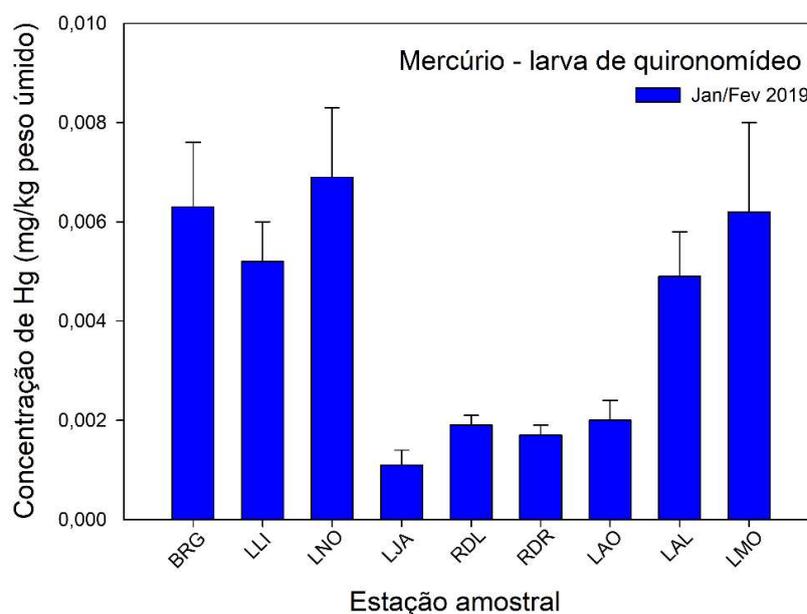
Os maiores valores de Fe mensurados nos quironomídeos foram observados em RDR ( $2536,674 \pm 623,266$  mg/kg peso úmido) e RDL ( $1366,045 \pm 363,998$  mg/kg peso úmido). As lagoas LAO ( $464,368 \pm 126,199$  mg/kg peso úmido), LAL ( $411,798 \pm 84,568$  mg/kg peso úmido) e LMO ( $381,143 \pm 83,156$  mg/kg peso úmido) também apresentaram elevada concentração de Fe nos organismos amostrados (Figura 93).

Figura 93: Concentração de Ferro (Fe) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos (n=7 por local) coletado nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Febrero 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



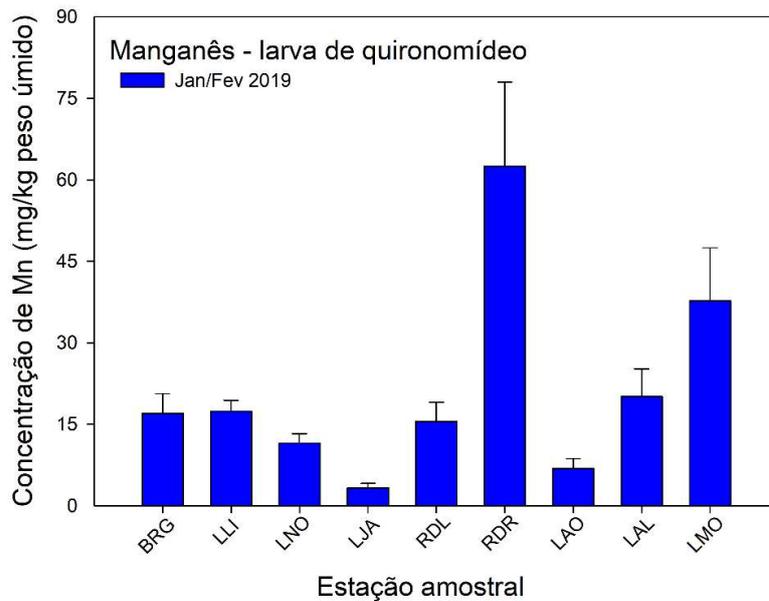
A concentração de Hg nas larvas de quironomídeos foi semelhante entre as estações amostrais LNO, BRG e LMO (aproximadamente 0,006 mg/kg peso úmido), e entre LLI e LAL (aproximadamente 0,005 mg/kg peso úmido). Os pontos LAO, RDL, RDR e LJA apresentaram os valores mais baixos de concentração de Hg nos organismos (< 0,002 mg/kg peso úmido) (Figura 94).

Figura 94: Concentração de Mercúrio (Hg) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos (n=7 por local) coletadas nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Febrero 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



As maiores concentrações de Mn foram detectadas nos organismos coletados em RDR ( $62,51 \pm 15,47$  mg/kg peso úmido), seguido por LMO ( $37,70 \pm 9,80$  mg/kg peso úmido). Os indivíduos coletados nos pontos BRG, LLI, RDL e LAL apresentaram concentração de Mn semelhantes entre si. Destaque para as larvas coletadas na lagoa Juparanã (LJA), as quais apresentaram as menores concentrações de Mn entre as estações amostradas ( $3,30 \pm 0,84$  mg/kg peso úmido) (Figura 95).

Figura 95: Concentração de Manganês (Mn) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos (n=7 por agrupamento) coletadas nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



Com relação ao Pb, pode-se destacar as altas concentrações observadas nas larvas de quironomídeos apanhadas em LAL ( $1,620 \pm 0,885$  mg/kg peso úmido) em relação às demais estações amostradas (Figura 96). Por fim, os níveis de Zn em LNO, RDL, LAO e LMO ( $>21,768$  mg/kg peso úmido) estiveram aproximadamente 3 vezes maiores do que os outros pontos amostrados (Figura 97).

Figura 96: Concentração de Chumbo (Pb) (mg/kg de peso úmido) em larvas de quironomídeos ( $n=7$  por agrupamento) coletadas nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Febrero 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.

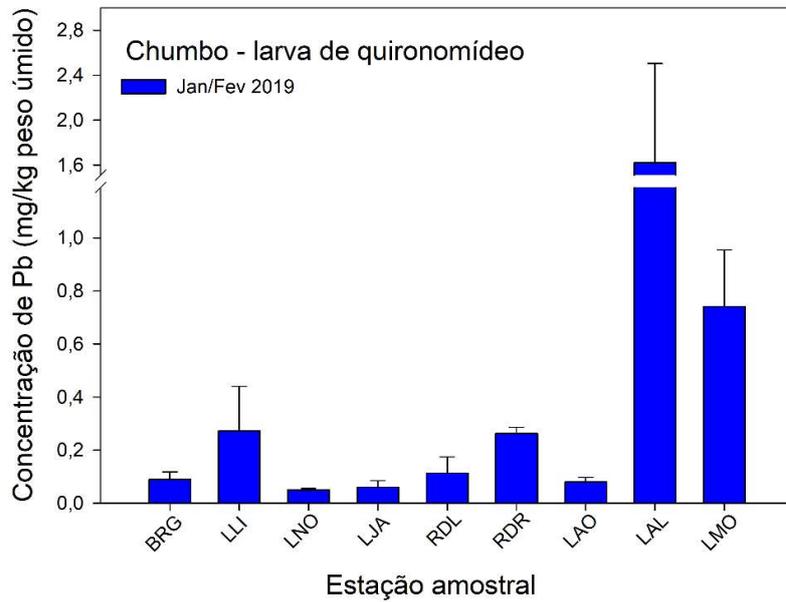
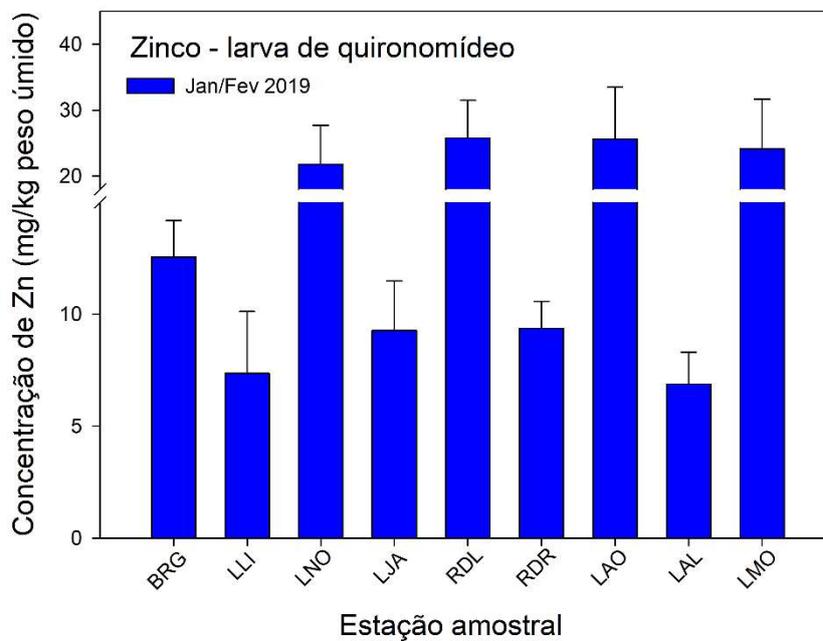


Figura 97: Concentração de Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) em um agrupamento de larvas de quironomídeos ( $n=7$  por local) coletado nos nove pontos amostrados nas campanhas 2 (Janeiro/Febrero 2019) do monitoramento dulcícola. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



### 3.1.6.3 Concentração de metais em camarões

De modo geral, a bioacumulação dos metais avaliados nos diferentes tecidos (brânquia, hepatopâncreas e músculo) de camarões apresentaram um padrão semelhante entre si (Tabela 26 e Tabela 27).

Tabela 26: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média  $\pm$  erro padrão) nos tecidos (T) hepatopâncreas (H), brânquia (B) e músculo (M) de camarões (n=1-6) (mg/kg de peso úmido) coletados nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 1 (setembro/outubro 2018).

Camarões - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)											
Ponto	T	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
			mg/kg peso úmido								
BRG	H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	B	1	0,017	0,582	0,356	0,990	175,248	0,018	3,837	0,395	5,792
	M	4	0,054 $\pm$ 0,036	0,044 $\pm$ 0,018	0,207 $\pm$ 0,089	1,103 $\pm$ 0,712	8,738 $\pm$ 4,574	0,0017 $\pm$ 0,0005	0,234 $\pm$ 0,101	0,530 $\pm$ 0,272	61,524 $\pm$ 31,270
LLI	H	6	0,063 $\pm$ 0,028	0,062 $\pm$ 0,020	0,585 $\pm$ 0,241	0,307 $\pm$ 0,033	95,814 $\pm$ 25,410	0,006 $\pm$ 0,003	0,283 $\pm$ 0,115	0,091 $\pm$ 0,040	118,656 $\pm$ 43,130
	B	2	0,062	0,069 $\pm$ 0,006	0,148 $\pm$ 0,022	0,667 $\pm$ 0,425	2,262 $\pm$ 0,667	0,011 $\pm$ 0,004	0,722 $\pm$ 0,135	0,031 $\pm$ 0,030	67,296 $\pm$ 10,129
	M	6	0,084 $\pm$ 0,006	0,013 $\pm$ 0,002	0,023 $\pm$ 0,008	0,063 $\pm$ 0,012	4,624 $\pm$ 0,841	0,0008 $\pm$ 0,0003	0,057 $\pm$ 0,030	0,011 $\pm$ 0,008	13,943 $\pm$ 4,255
LNO	H	5	0,128 $\pm$ 0,059	0,508 $\pm$ 0,185	0,282 $\pm$ 0,086	44,304 $\pm$ 36,858	21,645 $\pm$ 7,332	0,088 $\pm$ 0,038	4,248 $\pm$ 1,531	0,518 $\pm$ 0,165	33,521 $\pm$ 13,568
	B	5	0,080 $\pm$ 0,038	0,543 $\pm$ 0,175	0,337 $\pm$ 0,137	11,187 $\pm$ 3,024	20,389 $\pm$ 9,357	0,056 $\pm$ 0,014	2,122 $\pm$ 0,475	0,492 $\pm$ 0,141	27,857 $\pm$ 10,354
	M	5	0,075 $\pm$ 0,018	0,110 $\pm$ 0,014	0,130 $\pm$ 0,103	1,221 $\pm$ 0,383	1,884 $\pm$ 0,673	0,021 $\pm$ 0,002	1,533 $\pm$ 1,415	0,070 $\pm$ 0,013	24,734 $\pm$ 7,507
LJA	H	6	0,603 $\pm$ 0,529	0,030 $\pm$ 0,006	0,049 $\pm$ 0,014	21,589 $\pm$ 4,000	144,706 $\pm$ 42,972	0,010 $\pm$ 0,002	2,048 $\pm$ 0,608	0,095 $\pm$ 0,073	40,397 $\pm$ 23,037
	B	6	0,324 $\pm$ 0,211	0,020 $\pm$ 0,004	0,149 $\pm$ 0,047	39,753 $\pm$ 8,785	197,634 $\pm$ 71,340	0,011 $\pm$ 0,002	2,166 $\pm$ 0,448	0,166 $\pm$ 0,125	46,593 $\pm$ 17,568
	M	6	0,059 $\pm$ 0,026	0,003 $\pm$ 0,001	0,018 $\pm$ 0,004	2,129 $\pm$ 0,494	11,301 $\pm$ 3,644	0,0016 $\pm$ 0,0004	0,580 $\pm$ 0,113	0,004 $\pm$ 0,001	13,594 $\pm$ 6,751
RDL	H	6	0,146 $\pm$ 0,041	0,062 $\pm$ 0,012	0,167 $\pm$ 0,056	1,414 $\pm$ 0,605	3,741 $\pm$ 0,960	0,031 $\pm$ 0,005	4,115 $\pm$ 1,056	0,157 $\pm$ 0,056	0,893 $\pm$ 0,274
	B	6	0,137 $\pm$ 0,032	0,048 $\pm$ 0,010	0,169 $\pm$ 0,040	1,342 $\pm$ 1,050	10,720 $\pm$ 3,237	0,025 $\pm$ 0,003	11,792 $\pm$ 3,560	0,132 $\pm$ 0,033	0,729 $\pm$ 0,254
	M	6	0,021 $\pm$ 0,006	0,022 $\pm$ 0,014	0,043 $\pm$ 0,027	1,543 $\pm$ 1,451	1,756 $\pm$ 1,287	0,011 $\pm$ 0,007	1,931 $\pm$ 1,415	0,054 $\pm$ 0,034	0,363 $\pm$ 0,236
RDR	H	6	0,296 $\pm$ 0,102	133,56 3 $\pm$ 84,806	231,397 $\pm$ 159,186	0,249 $\pm$ 0,067	1,337 $\pm$ 0,592	0,010 $\pm$ 0,002	0,643 $\pm$ 0,341	0,086 $\pm$ 0,025	630,483 $\pm$ 277,626
	B	6	0,493 $\pm$ 0,350	0,925 $\pm$ 0,181	660,576 $\pm$ 251,233	4,951 $\pm$ 3,539	1,205 $\pm$ 0,681	0,012 $\pm$ 0,002	0,884 $\pm$ 0,474	0,131 $\pm$ 0,034	820,384 $\pm$ 218,705

**Camarões - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)**

Ponto	T	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
			mg/kg peso úmido								
LAO	M	6	0,033 ± 0,010	0,369 ± 0,203	0,326 ± 0,130	0,066 ± 0,016	0,115 ± 0,068	0,0020 ± 0,0002	0,087 ± 0,019	0,027 ± 0,008	250,413 ± 81,242
	H	6	0,528 ± 0,249	0,153 ± 0,052	0,190 ± 0,084	21,768 ± 16,935	89,404 ± 28,527	0,056 ± 0,026	0,505 ± 0,130	0,125 ± 0,046	4,487 ± 2,700
	B	6	0,196 ± 0,052	0,059 ± 0,011	0,141 ± 0,065	3,617 ± 2,358	36,552 ± 8,455	0,021 ± 0,003	0,339 ± 0,090	0,056 ± 0,017	1,108 ± 0,159
LAL	M	6	0,031 ± 0,011	0,013 ± 0,002	0,018 ± 0,005	0,864 ± 0,548	12,451 ± 4,349	0,005 ± 0,001	0,070 ± 0,017	0,008 ± 0,003	0,230 ± 0,038
	H	2	0,062 ± 0,011	0,467 ± 0,361	0,467 ± 0,361	56,324 ± 38,120	289,993 ± 167,401	0,006 ± 0,001	14,530 ± 8,030	0,099 ± 0,019	268,246 ± 157,459
	B	2	0,228 ± 0,124	0,162 ± 0,076	0,162 ± 0,076	56,895 ± 4,139	45,398 ± 13,539	0,005 ± 0,000	7,611 ± 1,075	0,321 ± 0,005	60,503 ± 3,985
LMO	M	4	0,177 ± 0,113	0,130 ± 0,055	0,130 ± 0,055	4,752 ± 0,427	8,175 ± 2,788	0,005 ± 0,004	3,190 ± 2,586	0,049 ± 0,032	114,729 ± 27,258
	H	6	0,142 ± 0,048	0,298 ± 0,143	0,151 ± 0,066	9,078 ± 4,711	182,583 ± 64,546	0,026 ± 0,005	0,350 ± 0,095	0,148 ± 0,031	0,923 ± 0,488
	B	6	0,095 ± 0,043	0,075 ± 0,020	0,064 ± 0,013	5,461 ± 2,155	191,387 ± 65,469	0,024 ± 0,003	0,263 ± 0,047	0,040 ± 0,016	0,984 ± 0,243
RDF	M	6	0,042 ± 0,008	0,011 ± 0,002	0,009 ± 0,002	0,009 ± 0,002	6,507 ± 3,258	0,0051 ± 0,0014	0,137 ± 0,057	0,020 ± 0,009	0,539 ± 0,300
	H	6	0,371 ± 0,248	0,101 ± 0,039	0,122 ± 0,055	2,250 ± 0,922	1201,008 ± 365,273	0,019 ± 0,008	1,502 ± 0,796	0,101 ± 0,030	1,923 ± 1,115
	B	6	0,183 ± 0,037	0,069 ± 0,019	0,100 ± 0,045	4,135 ± 2,555	908,603 ± 159,220	0,014 ± 0,004	0,430 ± 0,136	0,054 ± 0,024	0,827 ± 0,117
RDF	M	6	0,051 ± 0,029	0,023 ± 0,015	0,176 ± 0,163	1,061 ± 0,738	43,296 ± 13,573	0,005 ± 0,004	0,124 ± 0,064	0,081 ± 0,073	0,277 ± 0,164

(\*) não há amostra ou não se aplica.

Tabela 27: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média ± erro padrão) nos tecidos (T) hepatopâncreas (H), brânquia (B) e músculo (M) de camarões (n=6) (mg/kg de peso úmido) coletados nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 2 (janeiro/fevereiro 2019).

**Camarões - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
BRG	H	0,0688 ± 0,0138	0,1501 ± 0,0416	0,5868 ± 0,3182	4,9024 ± 2,2451	43,0015 ± 5,1375	0,0054 ± 0,0025	9,2502 ± 1,7327	0,1913 ± 0,1021	29,5897 ± 5,4367
	B	0,3333 ± 0,0852	0,2928 ± 0,0849	1,6741 ± 0,4221	86,7593 ± 38,4589	26,9575 ± 4,1484	0,0049 ± 0,0007	11,1855 ± 1,0958	0,1622 ± 0,0641	22,1496 ± 3,3092
	M	0,0314 ± 0,0039	0,0378 ± 0,0063	1,4655 ± 0,6145	2,6000 ± 0,5956	4,8969 ± 0,8045	0,0010 ± 0,0002	1,5006 ± 0,2399	0,0392 ± 0,0217	9,5212 ± 2,5995

**Camarões - Campanha 2 (Janeiro/Febrero 2019)**

Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
LLI	H	1,0207 ± 0,1912	0,1540 ± 0,0302	1,1213 ± 0,2630	3,6567 ± 1,4750	94,1430 ± 11,4527	0,0012 ± 0,0002	18,7361 ± 2,1693	0,0380 ± 0,0098	34,6317 ± 2,9683
	B	1,4008 ± 0,5109	0,2300 ± 0,0112	4,4342 ± 2,6514	1,7286 ± 1,0028	31,3463 ± 8,0370	0,0018 ± 0,0001	8,9362 ± 0,1937	0,1168 ± 0,0418	31,4150 ± 2,3640
	M	0,2828 ± 0,0891	0,0498 ± 0,0127	0,4491 ± 0,1582	4,2896 ± 1,5478	5,5665 ± 1,2638	0,0004 ± 0,0001	1,6572 ± 0,3443	0,0149 ± 0,0042	6,5320 ± 1,1143
LNO	H	0,2117 ± 0,0498	0,1989 ± 0,0366	0,0429 ± 0,0123	9,0787 ± 2,6829	16,3722 ± 1,4353	0,0083 ± 0,0022	7,1741 ± 0,6792	0,0437 ± 0,0293	27,7449 ± 3,9217
	B	0,2971 ± 0,0794	0,3560 ± 0,0377	0,1635 ± 0,0253	9,7271 ± 3,4378	29,2378 ± 7,2114	0,0062 ± 0,0005	9,6287 ± 0,6083	0,0608 ± 0,0059	43,5578 ± 5,5841
	M	0,0122 ± 0,0039	0,0490 ± 0,0107	0,0247 ± 0,0119	1,9856 ± 0,8346	2,4979 ± 1,1593	0,0008 ± 0,0002	1,1044 ± 0,2160	0,0231 ± 0,0065	8,5929 ± 0,6574
LJA	H	0,3080 ± 0,0652	1,1382 ± 0,4924	0,2320 ± 0,1436	0,2703 ± 0,1760	128,5872 ± 40,4921	0,0015 ± 0,0003	6,0173 ± 1,3020	0,0366 ± 0,0086	10,3298 ± 2,8511
	B	0,4231 ± 0,0778	1,3202 ± 0,3116	0,5467 ± 0,2790	0,1898 ± 0,0596	234,9887 ± 58,5564	0,0029 ± 0,0006	17,3676 ± 4,3236	0,2146 ± 0,0751	27,6778 ± 7,8249
	M	0,0940 ± 0,0133	0,2294 ± 0,0338	0,2562 ± 0,1693	0,0241 ± 0,0067	18,2565 ± 3,6501	0,0005 ± 0,0001	1,4852 ± 0,3575	0,0194 ± 0,0061	4,5378 ± 1,3963
RDL	H	1,4831 ± 0,2936	0,2308 ± 0,1108	0,2870 ± 0,1219	2,0743 ± 0,5637	13,8220 ± 3,8423	0,0031 ± 0,0009	15,6149 ± 2,5801	0,1209 ± 0,0550	47,8124 ± 12,0572
	B	1,3916 ± 0,8080	0,1650 ± 0,0329	0,6878 ± 0,4057	4,2696 ± 1,0588	186,0694 ± 75,3614	0,0037 ± 0,0008	36,5580 ± 11,1852	0,2789 ± 0,1021	47,2839 ± 7,4174
	M	0,2787 ± 0,1201	0,0161 ± 0,0057	0,0253 ± 0,0090	0,2945 ± 0,0512	14,2485 ± 3,0217	0,0007 ± 0,0001	2,9454 ± 0,5116	0,0669 ± 0,0399	10,9407 ± 2,9253
RDR	H	0,3808 ± 0,1267	0,2272 ± 0,0884	0,1280 ± 0,0563	0,2526 ± 0,1229	18,8444 ± 4,7487	0,0104 ± 0,0053	3,8000 ± 1,3153	0,1418 ± 0,1242	28,6991 ± 5,9580
	B	3,0307 ± 0,9446	0,0690 ± 0,0249	0,1477 ± 0,0260	2,2835 ± 0,9094	54,7363 ± 12,3983	0,0011 ± 0,0002	8,8035 ± 2,2242	0,3310 ± 0,0947	23,1454 ± 6,0048
	M	3,2823 ± 1,7034	0,0532 ± 0,0258	1,7010 ± 0,3684	0,6665 ± 0,2299	6,9222 ± 2,4143	0,0004 ± 0,0001	1,8534 ± 0,4581	0,0285 ± 0,0071	3,8407 ± 1,0827
LAO	H	2,4101 ± 0,9134	0,0457 ± 0,0130	0,1123 ± 0,0364	0,6989 ± 0,3320	289,4942 ± 63,1538	0,0039 ± 0,0016	5,1140 ± 0,7266	0,0326 ± 0,0139	19,0991 ± 7,8990
	B	1,1081 ± 0,2480	0,0541 ± 0,0217	0,0866 ± 0,0252	6,7260 ± 2,7968	44,0340 ± 14,4600	0,0014 ± 0,0003	2,5942 ± 0,2631	0,0185 ± 0,0055	20,7640 ± 5,0476
	M	1,2257 ± 0,4256	0,0644 ± 0,0227	0,0834 ± 0,0344	8,5557 ± 1,4696	120,5173 ± 40,0652	0,0010 ± 0,0004	3,0247 ± 1,0490	0,0224 ± 0,0104	3,7289 ± 0,9398
LAL	H	0,1843 ± 0,0213	0,0855 ± 0,0431	0,1323 ± 0,0829	0,1492 ± 0,0688	13,4904 ± 5,7589	0,0114 ± 0,0012	3,7724 ± 0,4408	0,1667 ± 0,1418	3,1851 ± 1,0426
	B	0,2171 ± 0,0221	0,0920 ± 0,0395	0,1784 ± 0,0310	0,3653 ± 0,0445	124,7717 ± 21,3750	0,0034 ± 0,0004	8,1317 ± 1,0018	0,0401 ± 0,0122	6,3853 ± 2,0795

**Camarões - Campanha 2 (Janeiro/Febrero 2019)**

Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn	
		mg/kg peso úmido									
LMO	M	0,0799 ± 0,0148	0,0327 ± 0,0136	0,0240 ± 0,0119	0,1978 ± 0,0692	42,1509 ± 4,4731	0,0018 ± 0,0003	2,4371 ± 0,4684	0,0356 ± 0,0200	2,0062 ± 0,4695	
	H	1,2453 ± 0,4599	1,2953 ± 0,2320	0,1905 ± 0,1356	0,2477 ± 0,1179	69,3307 ± 9,9226	0,0069 ± 0,0020	5,8399 ± 0,8494	0,1729 ± 0,0294	30,7454 ± 4,4049	
	B	1,3472 ± 0,4680	3,0086 ± 0,7027	0,0620 ± 0,0394	0,1772 ± 0,0859	296,4477 ± 92,4708	0,0037 ± 0,0017	22,5983 ± 4,4784	0,2834 ± 0,0478	36,7528 ± 8,4609	
	M	0,1779 ± 0,0515	0,1609 ± 0,0248	0,0907 ± 0,0560	0,0381 ± 0,0177	14,9420 ± 2,0744	0,0014 ± 0,0004	4,2891 ± 0,9496	0,0732 ± 0,0185	6,1950 ± 0,9340	
	H	1,4831 ± 0,2936	0,2308 ± 0,1108	0,2870 ± 0,1219	2,0743 ± 0,5637	13,8220 ± 3,8423	0,0031 ± 0,0009	15,6149 ± 2,5801	0,1209 ± 0,0550	47,8124 ± 12,0572	
	B	0,2799 ± 0,0809	0,1150 ± 0,0461	0,1843 ± 0,1066	0,4321 ± 0,1840	158,5669 ± 29,9330	0,0028 ± 0,0005	4,2630 ± 1,0285	0,0372 ± 0,0174	36,2451 ± 7,7349	
	M	0,2611 ± 0,1368	0,0127 ± 0,0057	0,1078 ± 0,0888	0,0389 ± 0,0100	155,8950 ± 33,4269	0,0011 ± 0,0002	2,4035 ± 0,9976	0,0080 ± 0,0022	3,4393 ± 1,2026	
	RDF	H	1,4831 ± 0,2936	0,2308 ± 0,1108	0,2870 ± 0,1219	2,0743 ± 0,5637	13,8220 ± 3,8423	0,0031 ± 0,0009	15,6149 ± 2,5801	0,1209 ± 0,0550	47,8124 ± 12,0572
	B	0,2799 ± 0,0809	0,1150 ± 0,0461	0,1843 ± 0,1066	0,4321 ± 0,1840	158,5669 ± 29,9330	0,0028 ± 0,0005	4,2630 ± 1,0285	0,0372 ± 0,0174	36,2451 ± 7,7349	
M	0,2611 ± 0,1368	0,0127 ± 0,0057	0,1078 ± 0,0888	0,0389 ± 0,0100	155,8950 ± 33,4269	0,0011 ± 0,0002	2,4035 ± 0,9976	0,0080 ± 0,0022	3,4393 ± 1,2026		

Na Tabela 28, são apresentados os valores (mínimo e máximo) encontrados nos tecidos de camarões do gênero *Macrobrachium* amostrados nas dez estações do monitoramento dulcícola e estuário, nas campanhas 1 e 2 do presente relatório, confrontados com dados descritos na literatura para acumulação de metais em espécies representantes da família Palaemonidae.

Tabela 28: Concentração de metais em brânquia (B), hepatopâncreas (H) e músculo (M) de camarão (mg/kg de peso úmido) compilados da literatura e dos dados obtidos do respectivo relatório. Os dados estão expressos como mínimo e máximo da média oriunda da literatura e mínimo e máximo dos valores brutos oriundos do amostrado no presente relatório. Em vermelho máximas acima das encontradas na literatura.

	Tecido	Campanha 1	Campanha 2	Valores da literatura
		(mg/kg peso úmido) (Mín - Máx)		
As	B	(0,017 - 0,493)	(0,217 - 3,03)	(4 - 10) <sup>a</sup>
	H	(0,062 - 0,603)	(0,069 - 2,41)	
	M	(0,021 - 0,177)	(0,01 - 3,28)	
Cd	B	(0,020 - 0,925)	(0,054 - 3,01)	(0,15 <sup>a</sup> - 0,92 <sup>b</sup> )
	H	(0,03 - <b>133,56</b> )	(0,049 - 1,30)	
	M	(0,003 - 0,369)	(0,0127 - 0,229)	
Cr	B	(0,064 - <b>660,58</b> )	(0,062 - 4,434)	(1 - 6) <sup>a</sup>
	H	(0,049 - <b>231,4</b> )	(0,043 - 1,121)	
	M	(0,009 - 0,326)	(0,024 - <b>1,701</b> )	
Cu	B	(0,667 - 56,9)	(0,177 - 86,759)	(90 - 140) <sup>a</sup>
	H	(0,249 - 56,32)	(0,149 - 9,079)	
	M	(0,063 - 4,75)	(0,024 - 8,556)	
Fe	B	(1,205 - <b>908,6</b> )	(26,96 - 296,45)	(100 - 450) <sup>a</sup>

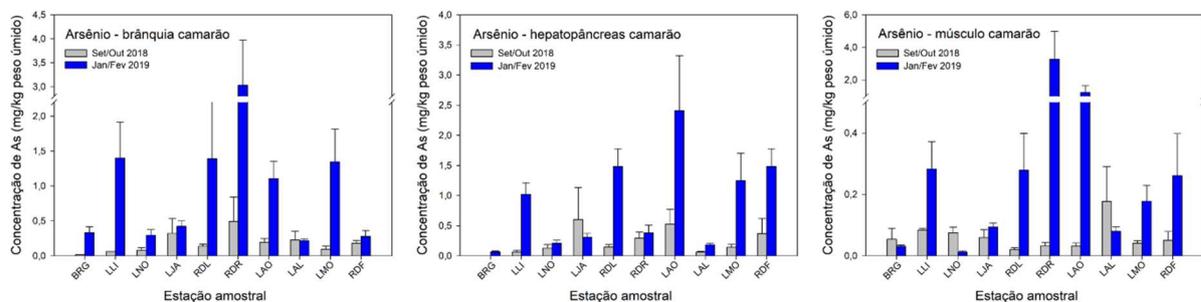
	Tecido	Campanha 1	Campanha 2	Valores da literatura
		(mg/kg peso úmido) (Mín - Máx)		
	H	(1,34 - 1201)	(13,49 - 289,49)	
	M	(0,115 - 43,3)	(2,498 - 155,895)	(10 - 100) <sup>a</sup>
Hg	B	(0,005 - 0,056)	(0,001 - 0,006)	(0,2 - 1,3) <sup>a</sup>
	H	(0,006 - 0,088)	(0,001 - 0,011)	(0,016 - 0,217) <sup>c</sup>
	M	(0,0008 - 0,021)	(0,0004 - 0,018)	(0,0009 <sup>c</sup> - 1 <sup>a</sup> )
Mn	B	(0,263 - 11,79)	(2,594 - 36,558)	(8 - 55) <sup>a</sup>
	H	(0,28 - 14,53)	(3,772 - 18,736)	
	M	(0,057 - 3,19)	(1,1044 - 3,025)	
Pb	B	(0,031 - 0,492)	(0,0185 - 0,331)	(0,1 - 0,8) <sup>a</sup>
	H	(0,086 - 0,518)	(0,0326 - 0,191)	
	M	(0,004 - 0,53)	(0,008 - 0,073)	
Zn	B	(0,729 - 820,38)	(6,385 - 47,284)	(80 - 100) <sup>a</sup>
	H	(0,893 - 630,48)	(3,185 - 47,812)	
	M	(0,230 - 250,41)	(2,006 - 9,521)	

Fontes: Bertrand et al. 2018<sup>a</sup>; Ezemony et al. 2019<sup>b</sup>; Galvão et al. 2018<sup>c</sup>

(\*) não há dados.

O nível de As mensurado nas brânquias, hepatopâncreas e músculo dos camarões coletados na campanha dulcícola 2 foi maior do que o amostrado na campanha 1 nas estações LLI, RDL, LAO, e LMO (Figura 98). Em RDR, essa diferença foi evidente no nível de As encontrado na brânquia ( $3,031 \pm 0,945$  mg/kg peso úmido) e no músculo ( $3,282 \pm 1,703$  mg/kg peso úmido) dos camarões. A concentração de As em RDF também foi maior no hepatopâncreas e músculo amostrados na campanha 2, em comparação com a campanha 1 (Tabela 26 e Tabela 27). A média de As encontrada em todas as estações amostrais, nas campanhas 1 e 2, esteve abaixo dos compilados para a bioacumulação de As em camarão palemonídeo (Tabela 28).

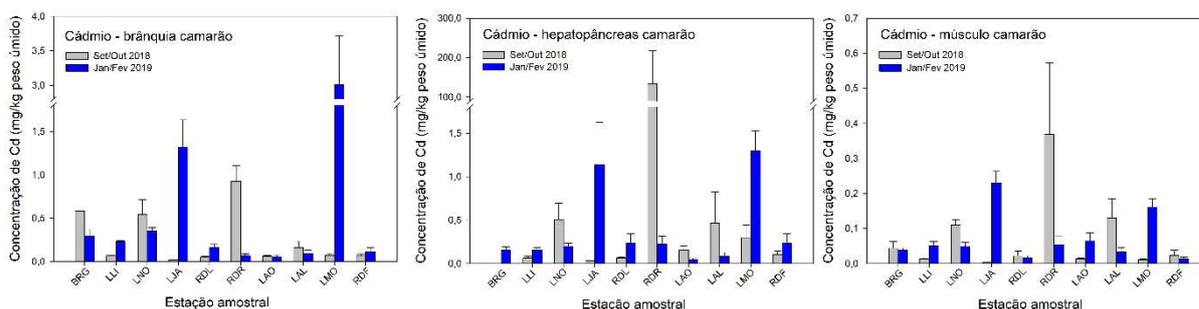
Figura 98: Concentração de Arsênio (As) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



A concentração de Cd foi elevada em todos os tecidos amostrados dos camarões oriundos da estação RDR da campanha 1 ( $133,56 \pm 84,81$ ,  $0,925 \pm 0,181$  e  $0,369 \pm 0,203$  mg/kg peso úmido na brânquia, hepatopâncreas e músculo, respectivamente), e LLI da campanha 2 ( $0,154 \pm 0,03$ ,  $0,230 \pm 0,011$  e

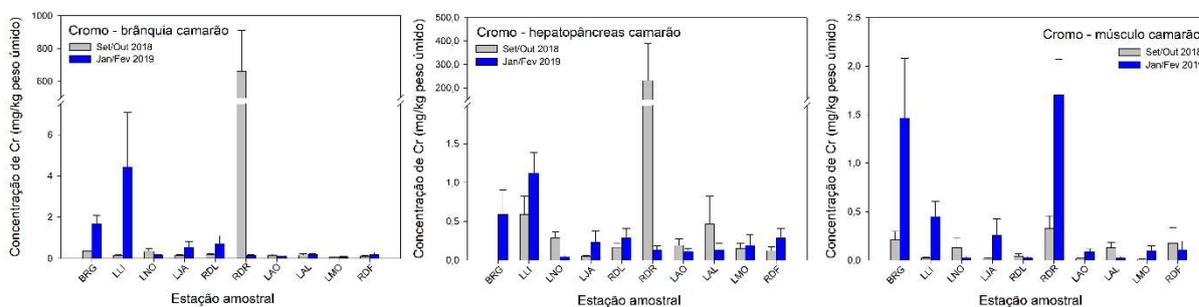
0,0498 ± 0,0127 mg/kg peso úmido na brânquia, hepatopâncreas e músculo, respectivamente) (Figura 99). Ademais, pode-se destacar que o valor encontrado para brânquia de camarões em RDR da campanha 1 e para brânquia e hepatopâncreas de camarões coletados em LJA (1,138 ± 0,492 e 1,32 ± 0,312 mg/kg peso úmido na brânquia e hepatopâncreas, respectivamente) e LMO (1,295 ± 0,232 e 3,009 ± 0,703 mg/kg peso úmido na brânquia e hepatopâncreas, respectivamente) da campanha 2 estão acima do valor investigado na literatura para camarões palemonídeos (Tabela 28).

Figura 99: Concentração de Cádmio (Cd) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Febrero 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



O nível de Cr encontrado nas brânquias (231,40 ± 159,19 mg/kg peso úmido) e hepatopâncreas (660,58 ± 251,23 mg/kg peso úmido) dos camarões amostrados em RDR foi elevado na campanha 1. A concentração no músculo dos camarões foi maior em RDR (1,701 ± 0,368 mg/kg peso úmido) e BRG 1,466 ± 0,615 na campanha 2 (Figura 100). A média da concentração de Cr mensurada nos tecidos e pontos supracitados estiveram acima do encontrado na literatura para camarões palemonídeos (Tabela 28).

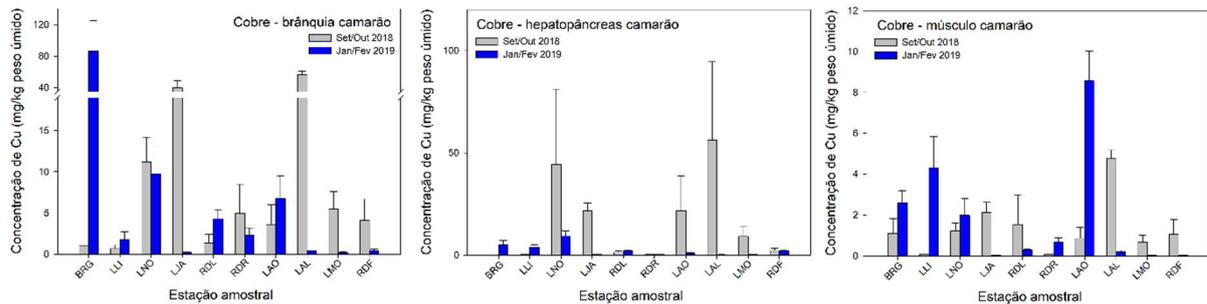
Figura 100: Concentração de Cromo (Cr) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Febrero 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



O padrão encontrado para a concentração de Cu é distinto na brânquia, hepatopâncreas e músculo dos camarões amostrados na campanha dulcícola 1 e 2. Nas brânquias, os maiores níveis de Cu encontrados foram em BRG (86,6 ± 38,46 mg/kg peso úmido) na campanha 2 e em LJA e LAL (39,75

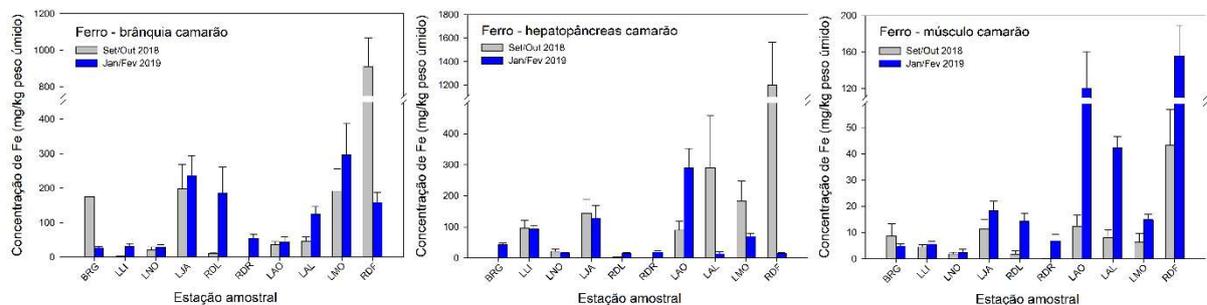
$\pm 8,79$  e  $56,9 \pm 4,14$  mg/kg peso úmido, respectivamente) na campanha 1. No hepatopâncreas a concentração foi elevada em LAL e LNO ( $56,32 \pm 38,12$  e  $44,3 \pm 36,89$  mg/kg peso úmido, respectivamente) na campanha 1. No músculo, destaque para o valor de Cu encontrado nos camarões apanhados em LAO ( $8,56 \pm 1,47$  mg/kg peso úmido) na campanha 2 (Figura 101). Todos os valores médios da concentração de Cu nos tecidos amostrados dos camarões, das campanhas dulcícolas e estuário, estão abaixo do descrito na literatura (Tabela 28).

Figura 101: Concentração de Cobre (Cu) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Febrero 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



A concentração de Fe foi elevada na brânquia ( $908,6 \pm 159,2$  mg/kg peso úmido) e hepatopâncreas ( $1201,01 \pm 365,27$  mg/kg peso úmido) dos camarões amostrados em RDF na campanha 1 e no músculo em RDF na campanha 2 ( $155,9 \pm 33,43$  mg/kg peso úmido). Ainda no músculo, os valores de Fe encontrados em LAO ( $120,52 \pm 40,07$  mg/kg peso úmido) e LAL ( $42,15 \pm 4,47$  mg/kg peso úmido), na campanha 2, também foram elevados (Figura 102). Os níveis de Fe encontrados nas brânquias e hepatopâncreas da campanha 1 em RDF estiveram acima do valor máximo da média encontrada na literatura para bioacumulação de Fe no cefalotórax de camarões palemonídeos (Tabela 28).

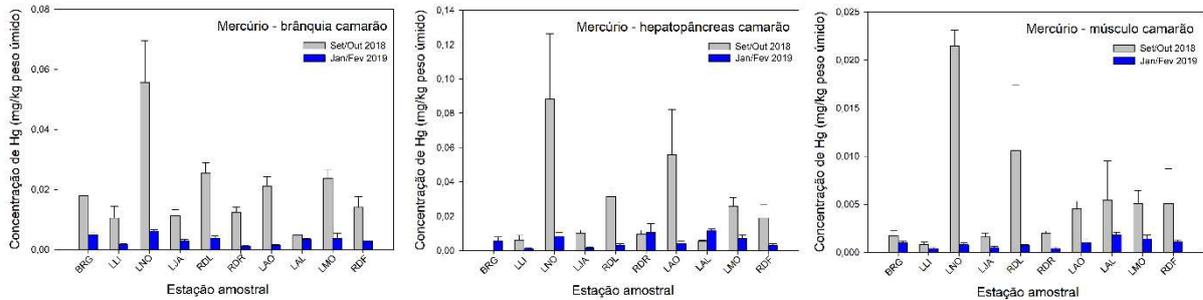
Figura 102: Concentração de Ferro (Fe) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Febrero 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



Os níveis de Hg mensurados na brânquia, hepatopâncreas e músculo foram elevados na campanha 1, com destaque para o Hg mensurado nos tecidos dos camarões coletados em LNO ( $0,056 \pm 0,014$ ,  $0,088 \pm 0,038$  e  $0,021 \pm 0,002$  mg/kg peso úmido na brânquia, hepatopâncreas e músculo, respectivamente) (Figura 103). Todos os valores de Hg obtidos nos tecidos dos camarões coletados

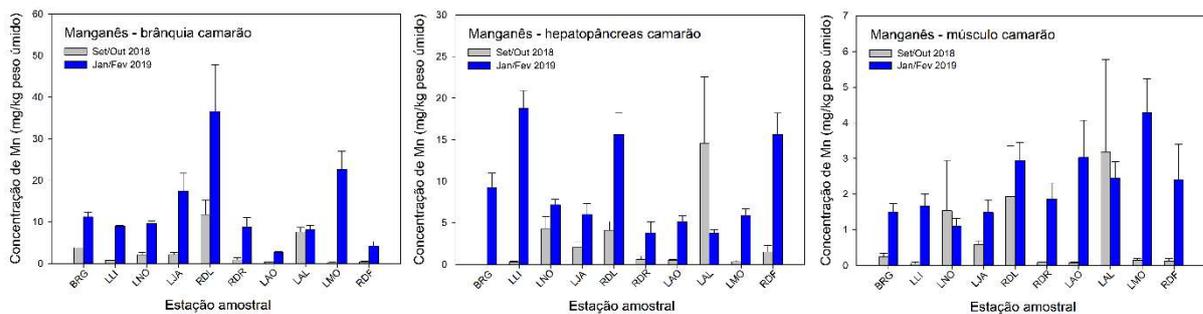
em todas as estações amostrais da campanha 1 e 2 estão abaixo do referenciado na literatura para camarões palemonídeos (Tabela 28).

Figura 103: Concentração de Mercúrio (Hg) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



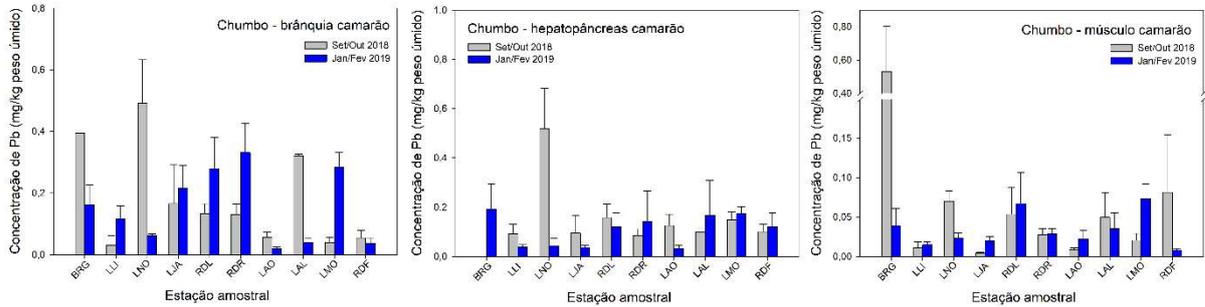
A concentração de Mn foi marcadamente maior nos tecidos amostrados dos camarões coletados em grande parte das estações amostrais da campanha 2, exceto no hepatopâncreas e músculo em LAL (Figura 104). Todos os valores das médias obtidas nos tecidos de camarão dos pontos amostrados nas campanhas 1 e 2 são inferiores ao demonstrado na literatura para acúmulo de Mn em camarões palemonídeos (Tabela 28).

Figura 104: Concentração de Manganês (Mn) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



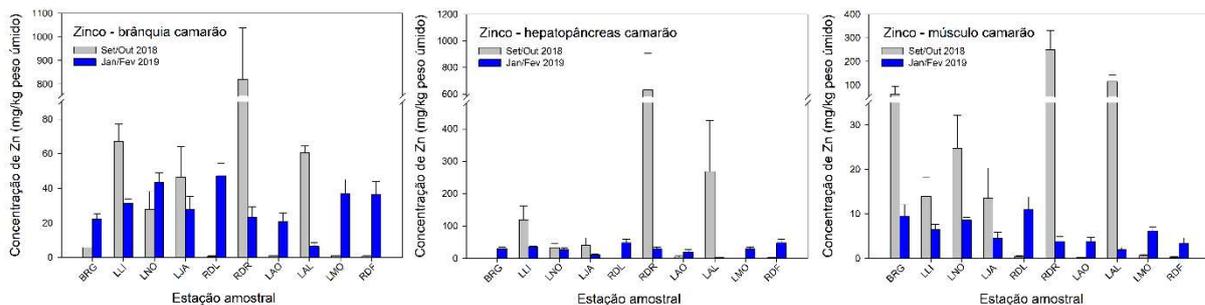
A concentração de Pb foi elevada no músculo ( $0,53 \pm 0,272$  mg/kg peso úmido) dos camarões em BRG, e na brânquia ( $0,492 \pm 0,141$  mg/kg peso úmido) e hepatopâncreas ( $0,518 \pm 0,165$  mg/kg peso úmido) dos camarões em LNO na campanha 1 (Figura 105). Embora o valor da concentração de Pb na brânquia em BRG tenha sido apresentado graficamente, o valor não será considerado na discussão dos dados ao número amostral insuficiente para o cálculo de média ± erro padrão. Dentre os valores apresentados para a concentração de Pb, apenas o mensurado no músculo dos camarões amostrados em BRG da primeira campanha esteve acima da média máxima encontrada em camarões palemonídeos na literatura (Tabela 28).

Figura 105: Concentração de Chumbo (Pb) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



Os níveis de Zn encontrados nos tecidos de camarões amostrados na campanha 1 foram marcadamente elevados na estação amostral RDR na campanha 1 ( $820,38 \pm 218,71$ ,  $630,48 \pm 277,63$  e  $250,41 \pm 81,24$  mg/kg peso úmido na brânquia, hepatopâncreas e músculo, respectivamente). No músculo, os valores da concentração de Zn foram altos também em BRG ( $61,52 \pm 31,27$  mg/kg peso úmido) e LAL ( $114,73 \pm 27,26$  mg/kg peso úmido) na campanha 1 (Figura 106). Os valores de Zn amostrados em todos os tecidos de camarão para o ponto RDR da campanha 1 estiveram acima da média máxima descrita na literatura. Os valores também foram superiores no hepatopâncreas dos camarões amostrados em LLI e LAL ( $118,66 \pm 43,13$  e  $268,25 \pm 157,46$  mg/kg peso úmido, respectivamente) e no músculo dos camarões amostrados em BRG e LAL (Tabela 28).

Figura 106: Concentração de Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões coletados nos dez pontos amostrados nas campanhas 1 (Setembro/Outubro 2018, barras cinzas) e 2 (Janeiro/Fevereiro 2019, barras azuis) do monitoramento dulcícola e estuário. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



Os resultados de bioacumulação nos diferentes tecidos de camarões também foram integrados através de uma análise de componentes principais (PCA) (Figura 107). As variáveis utilizadas nesta análise (representadas por setas) foram as médias das concentrações dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Zn e Hg em brânquia (representado por metal\_b), hepatopâncreas (metal\_h) e músculo (metal\_m) de camarões do gênero *Macrobrachium*, coletados nas dez estações amostrais nas duas campanhas. As localidades ou estações amostrais representam os indivíduos utilizados na análise e estão representadas por símbolos na cor cinza (campanha 1) e azul (campanha 2).

Como resultado primário, a PCA que trata do acúmulo de metais nos tecidos dos camarões amostrados no ambiente dulcícola e estuário explicou 44,7% de variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões. O componente principal 1 sumarizou 25,3% dos dados e agrupou os metais Cd (hepatopâncreas e músculo), Cr (brânquia e hepatopâncreas) e Zn próximos à estação amostral RDR da campanha 1 a leste (Figura 107 e Tabela 29). Estes metais foram os que mais contribuíram com o resultado da PC1 (Figura 108). O componente principal 2 sumarizou 19,4% dos dados, agrupando os metais Pb (hepatopâncreas) e Hg ao norte próximo à localidade LNO da campanha 1. Ao sul e a oeste do biplot estão agrupados os elementos As, Mn e Fe (músculo) com grande parte das estações amostrais da campanha 2. Dentre os elementos que mais contribuíram com a PC2 estão o Hg, Pb e Cu (hepatopâncreas), bem como As (brânquia e hepatopâncreas) (Figura 109). A estação amostral que mais contribuiu com o agrupamento dos dados do componente principal 1 foi o ponto no Rio Doce em Regência (RDR) (Figura 110). Com relação ao componente principal 2, as estações com maior contribuição foram LNO e LAO (Figura 111).

De modo geral, o agrupamento entre os metais nos tecidos brânquia, hepatopâncreas e músculo foi congruente. Destaca-se a forte interação entre a bioacumulação de Hg nos tecidos dos camarões com a estação amostral lagoa Nova (LNO) na campanha 1. Houve forte interação entre o acúmulo de Mn e As com a estação amostral RDR também na campanha 1. As localidades amostradas durante a campanha 2 agruparam-se entre si e interagiram, principalmente, com os elementos As e Mn, e com Cr, Cu e Fe no músculo dos camarões (Figura 107).

Figura 107: Análise de Componentes Principais aplicada para os dados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) nos tecidos brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarão coletado nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade: BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). As amostras de camarão coletadas no ponto no Rio Guandu (BRG) são apresentadas apenas na campanha 2. Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2).

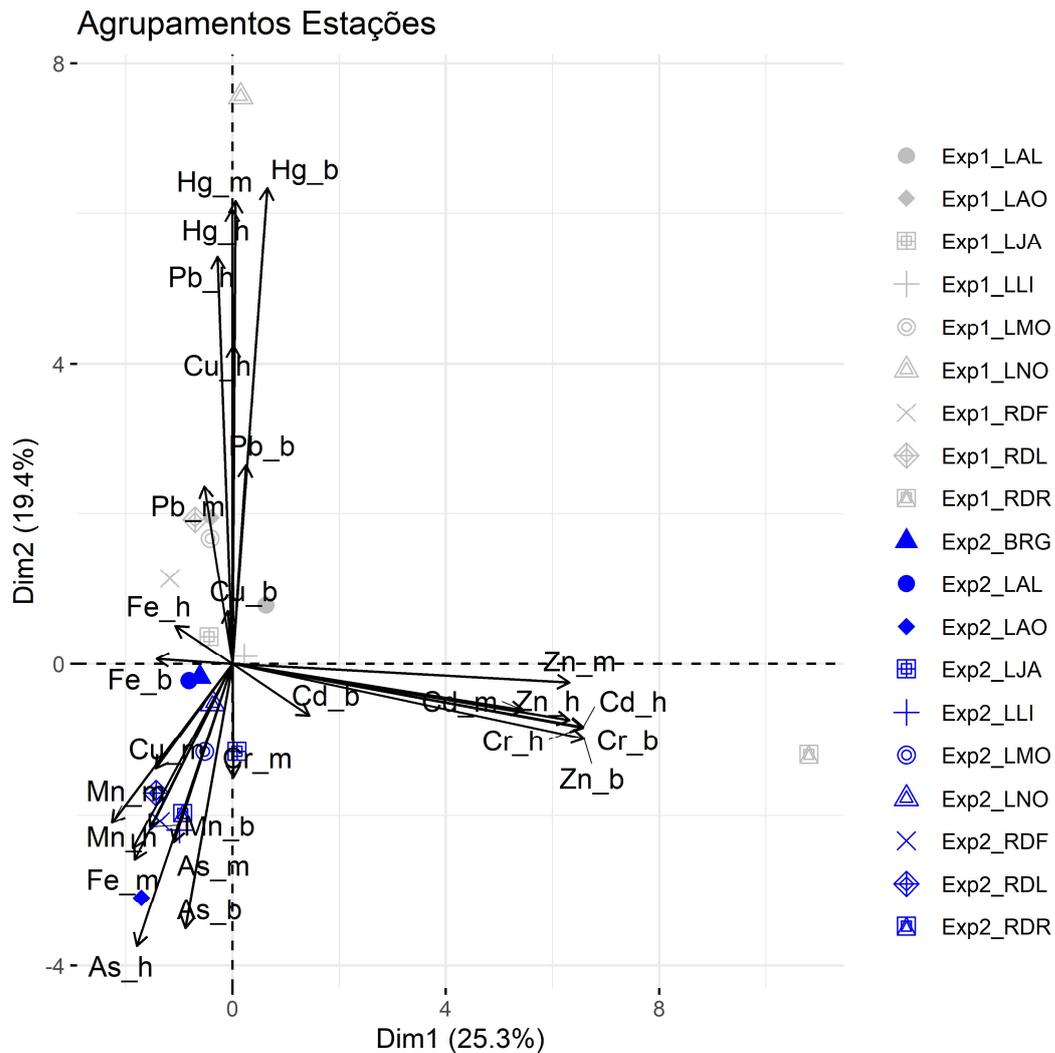


Tabela 29: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) para metais nas brânquias, hepatopâncreas e músculo de camarão.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de variância</b>	<b>Percentual de variância acumulativa</b>
Dim.1	6,83	25,29	25,29
Dim.2	5,24	19,40	44,69
Dim.3	3,57	13,23	57,92
Dim.4	2,50	9,25	67,17
Dim.5	2,16	8,01	75,18
Dim.6	1,84	6,80	81,98
Dim.7	1,76	6,52	88,50

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.8	0,78	2,89	91,39
Dim.9	0,72	2,67	94,07
Dim.10	0,55	2,05	96,12
Dim.11	0,36	1,34	97,46
Dim.12	0,30	1,11	98,57
Dim.13	0,17	0,64	99,21
Dim.14	0,10	0,37	99,58
Dim.15	0,05	0,19	99,76
Dim.16	0,04	0,16	99,92
Dim.17	0,01	0,05	99,97
Dim.18	0,01	0,03	100,00

Figura 108: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiom (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na brânquia (metal\_b), hepatopâncreas (metal\_h) e músculo (metal\_m) de camarão. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada.

Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

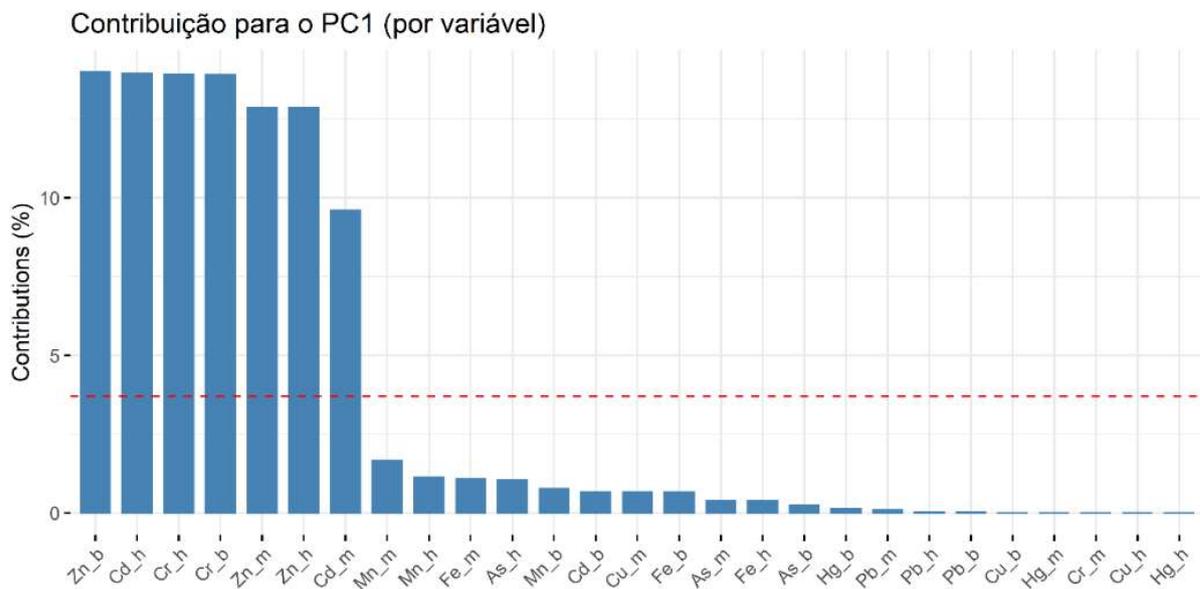


Figura 109: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na brânquia (metal\_b), hepatopâncreas (metal\_h) e músculo (metal\_m) de camarão. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada.

Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

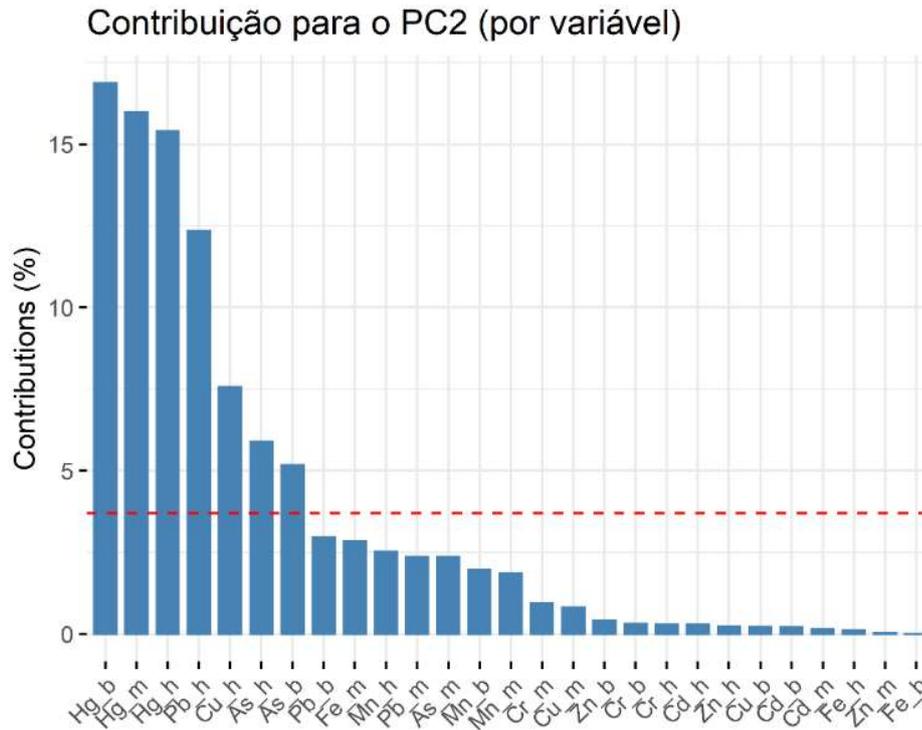


Figura 110: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). As amostras de camarão coletadas no ponto no Rio Guandu (BRG) são apresentadas apenas na campanha 2. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/19 = 5,2\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

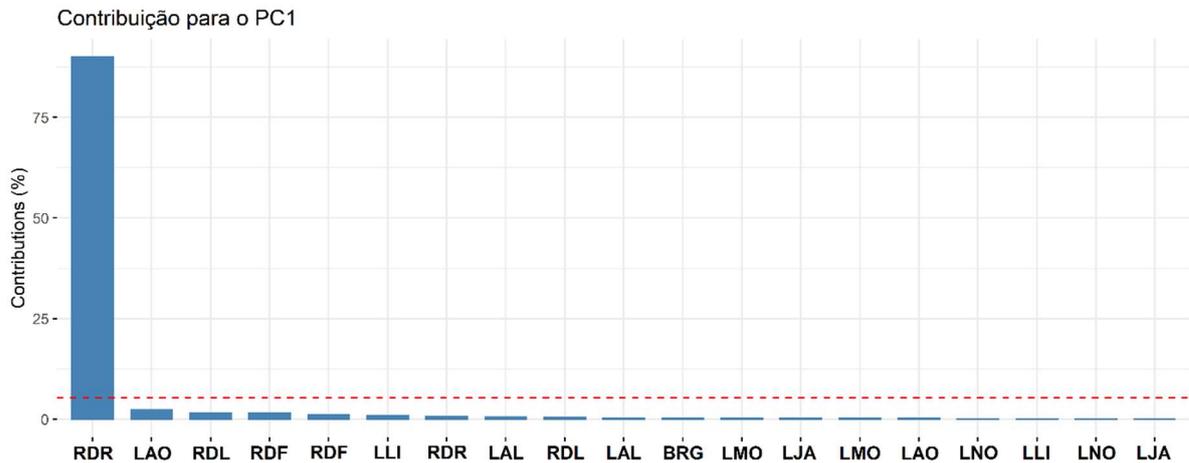
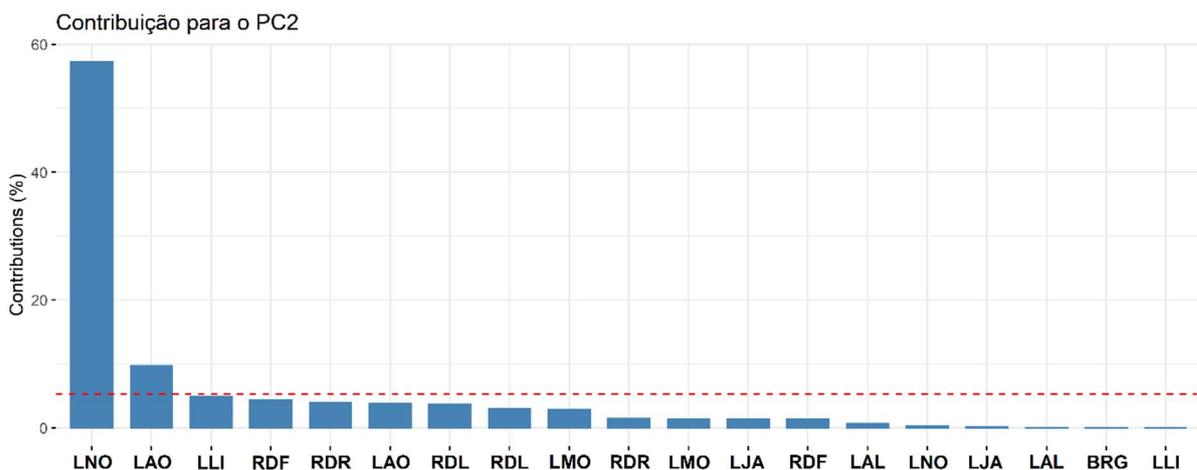


Figura 111: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). As amostras de camarão coletadas no ponto no Rio Guandu (BRG) são apresentadas apenas na campanha 2. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/19 = 5,2\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.



### 3.1.6.4 Concentração de metais em peixes

Sempre que possível foram amostradas quatro espécies de peixes (que variam por ponto e por estação do ano), discriminando os principais tecidos para análise (brânquia, fígado e músculo). Em algumas estações amostrais na campanha dulcícola 1 e 2 não foram coletados peixes no número previsto (n=6 por espécie) ou as espécies alvo não foram encontrados na estação amostral e/ou estação do ano estabelecida, devido à pluralidade dos ambientes monitorados (lagos, lagoas, ambientes lóticos, região estuarina).

As espécies coletadas foram categorizadas em dois grupos, conforme seu índice trófico – obtido via plataforma *FISHBASE* (Froese & Pauly, 2017). O Quadro 17 apresenta as espécies coletadas nas duas campanhas realizadas e em quais grupos (onívoros/herbívoros ou carnívoros) estas espécies foram enquadradas. O grupo I (onívoros/herbívoros) é formado por espécies com nível trófico igual ou menor que 3,5 (Ex: curimba, lambari, mandi-amarelo). O grupo II (carnívoros) é formado por espécies demersais com nível trófico igual ou maior que 3,6 (Ex: tucunaré, piranha, traíra). Os peixes incluídos no grupo II se alimentam de organismos relativamente maiores, com maior tendência a carnivoría, em comparação com o grupo I.

Quadro 17: Lista das espécies de peixes amostradas nas campanhas dulcícolas 1 e 2 categorizadas em dois grupos conforme seu índice trófico obtido via plataforma *FISHBASE* (Froese & Pauly, 2017).

<b>Peixes</b> <b>(Nome científico / Nível trófico)</b>	
<b>Grupo I (onívoros/herbívoros)</b>	<b>Grupo II (carnívoros)</b>
Curimba ( <i>Prochilodus vimboides</i> / 2,2)	Tucunaré ( <i>Cichla sp.</i> / 3,9)
Lambari ( <i>Astyanax sp.</i> / 2,4)	Traíra ( <i>Hoplias malabaricus</i> / 4,5)
Mandi-amarelo ( <i>Pimelodus maculatus</i> / 2,9)	Piranha vermelha ( <i>Pygocentrus nattereri</i> / 3,7)
Acará ( <i>Geophagus brasiliensis</i> / 2,6)	Bagre caçari ( <i>Genidens genidens</i> / 4,0)
Pacu manchado ( <i>Metynnis maculatus</i> / 2,9)	Pescada ( <i>Pachyurus adspersus</i> / 3,6)
Tamboatá ( <i>Hoplosternum littorale</i> / 2,7)	Robalo peba ( <i>Centropomus sp.</i> / 4,2)
Cascudo ( <i>Hypostomus affinis</i> / 2,0)	Peixe-galo ( <i>Selene vomer</i> / 4,3)
Bagre cumbaca ( <i>Trachelyopterus striatulus</i> / 3,5)	
Cascudo chinelo ( <i>Loricariichthys castaneus</i> / 2,5)	
Ticupá ( <i>Pomadasys ramosus</i> / 3,5)	
Carapeba	

Peixes (Nome científico / Nível trófico)	
Grupo I (onívoros/herbívoros)	Grupo II (carnívoros)
<i>(Eucinostomus sp. / 2,7)</i>	
Baiacu pintado <i>(Sphoeroides testudineus / 2,5)</i>	
Cangauá <i>(Bardiella ronchus / 3,5)</i>	

Fonte: Plataforma FISHBASE (Froese & Pauly, 2017).

A quantificação de metais nas espécies de peixes foi realizada no tecido branquial, fígado e músculo na campanha 1 e 2. As espécies de peixes foram agrupadas de acordo com o nível trófico que ocupam, descrito acima, e serão apresentadas como peixes do grupo I (onívoros/herbívoros) coletados durante a campanha 1 (Tabela 30) e campanha 2 (Tabela 32), e peixes do grupo II (carnívoros) coletados durante a campanha 1 (Tabela 31) e campanha 2 (Tabela 33). De maneira geral, as concentrações dos metais que mais discordaram com o compilado na literatura (de ambientes contaminados por metais) foram Cd, Cr, Cu, Fe e Zn (Tabela 34).

Apesar dos níveis de As encontrados no músculo dos peixes coletados nas campanhas 1 e 2 do monitoramento dulcícola estarem dentro do encontrado na literatura para peixes de água doce, tais valores estão acima do limite máximo estabelecido pela RDC n° 42 de 29 de agosto de 2013 da ANVISA (<1 mg/kg de As). Por outro lado, os níveis de Pb e Hg no músculo dos peixes coletados em todos os pontos amostrais e em ambas as campanhas de monitoramento dulcícola estiveram abaixo do limite máximo estabelecido pela ANVISA (<0,3 mg/kg de Pb; <1,0 mg/kg de Hg para espécies de peixes carnívoros e <0,5 mg/kg de Hg para peixes não carnívoros).

Os níveis de Cd no fígado dos peixes carnívoros e onívoros/herbívoros amostrados na campanha 1 em RDR (Tabela 30 e Tabela 31) excederam o encontrado na literatura (Tabela 34). Além disso, os níveis encontrados no músculo dos peixes carnívoros nas estações amostrais RDR, LAL e RDF da campanha 1, LNO, LJA e LMO da campanha 2, e no músculo dos peixes onívoros/herbívoros coletados nas estações amostrais BRG, LNO, RDR, LAL e LMO da campanha 1 e LJA da campanha 2, estiveram acima do limite máximo de tolerância para concentração de Cd no pescado (<0,05 mg/kg) preconizado pela ANVISA.

As concentrações de Cr na brânquia, fígado e músculo dos peixes onívoros/herbívoros coletados na campanha 1 (particularmente em RDR e LAL e no amostrado no músculo em BRG) e dos peixes carnívoros (especialmente em BRG e no músculo em LMO) amostrados na campanha 2 estiveram acima do encontrado na literatura para os respectivos tecidos em peixes dulcícolas. Ainda, os valores de Cr no fígado e músculo dos peixes onívoros/herbívoros amostrados na campanha 2 (nos tecidos fígado e músculo na estação LLI e no fígado em BRG), também, superaram o descrito na literatura para concentração de Cr nesses tecidos de peixes (Tabela 34).

Os níveis de Cu determinados na maioria dos tecidos de peixes carnívoros e peixes onívoros/herbívoros estiveram acima do descrito na literatura (Tabela 34). A concentração de Fe

encontrada na brânquia e no fígado de peixes carnívoros e peixes onívoros/herbívoros de grande parte dos pontos amostrados foi superior ao encontrado na literatura para peixes de água doce (Tabela 34).

A concentração de Zn encontrada na brânquia e no músculo dos peixes carnívoros e onívoros/herbívoros coletados nas campanhas 1 e 2 esteve acima do descrito na literatura. No fígado, apenas o encontrado nos peixes onívoros/herbívoros da campanha 1 esteve acima dos valores descritos em outras espécies de peixes dulcícolas (Tabela 34).

Tabela 30: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn (média  $\pm$  erro padrão) nos tecidos (T) fígado (F), brânquia (B) e músculo (M) de espécies de peixes do grupo I (onívoros/herbívoros) ( $n=1-6$ ) (mg/kg de peso úmido) coletado nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 1 (setembro/outubro 2018).

Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)										
Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
BRG	F	0,5592 $\pm$ 0,2319	0,5130 $\pm$ 0,1863	0,2303 $\pm$ 0,0847	2,0380 $\pm$ 0,5932	112,0810 $\pm$ 30,9481	0,2871 $\pm$ 0,0908	13,4908 $\pm$ 6,0238	0,3912 $\pm$ 0,1228	40,8296 $\pm$ 9,6519
	B	0,7462 $\pm$ 0,1857	0,1400 $\pm$ 0,0310	0,8299 $\pm$ 0,6507	0,5405 $\pm$ 0,2278	80,0141 $\pm$ 22,0582	0,0779 $\pm$ 0,0271	1,9735 $\pm$ 0,6569	0,9149 $\pm$ 0,7094	30,7001 $\pm$ 4,8962
	M	0,2607 $\pm$ 0,1017	0,1063 $\pm$ 0,0281	0,9664 $\pm$ 0,5532	0,6789 $\pm$ 0,2302	49,0298 $\pm$ 14,0245	0,0352 $\pm$ 0,0096	1,6150 $\pm$ 1,0184	0,0781 $\pm$ 0,0341	32,8445 $\pm$ 7,7669
LLI	F	0,1231 $\pm$ 0,0797	0,0568 $\pm$ 0,0128	0,3113 $\pm$ 0,1651	27,9554 $\pm$ 26,4664	148,2329 $\pm$ 82,6497	0,1796 $\pm$ 0,1022	0,8159 $\pm$ 0,4370	0,1145 $\pm$ 0,0741	38,2539 $\pm$ 22,1517
	B	0,1890 $\pm$ 0,0564	0,0670 $\pm$ 0,0292	0,1204 $\pm$ 0,0262	0,9020 $\pm$ 0,6021	20,1096 $\pm$ 3,3122	0,0475 $\pm$ 0,0108	1,1142 $\pm$ 0,5741	0,0619 $\pm$ 0,0237	24,2058 $\pm$ 5,1522
	M	0,1258 $\pm$ 0,0198	0,0399 $\pm$ 0,0246	0,0746 $\pm$ 0,0398	0,2433 $\pm$ 0,1090	4,8418 $\pm$ 1,6321	0,0623 $\pm$ 0,0419	0,2231 $\pm$ 0,1187	0,0410 $\pm$ 0,0143	14,8204 $\pm$ 3,2739
LNO	F	0,1998 $\pm$ 0,0840	0,2744 $\pm$ 0,0973	0,2015 $\pm$ 0,0704	5,2557 $\pm$ 3,6158	76,8184 $\pm$ 33,8355	1,5230 $\pm$ 0,5708	0,4962 $\pm$ 0,0507	0,2018 $\pm$ 0,0644	64,7528 $\pm$ 31,9172
	B	0,4476 $\pm$ 0,1643	0,1044 $\pm$ 0,0174	0,0514 $\pm$ 0,0093	0,4196 $\pm$ 0,1913	33,1372 $\pm$ 3,6546	0,6011 $\pm$ 0,1372	3,2867 $\pm$ 0,9135	0,0428 $\pm$ 0,0061	37,5602 $\pm$ 8,2435
	M	0,0802 $\pm$ 0,0166	0,0775 $\pm$ 0,0089	0,0308 $\pm$ 0,0070	0,2362 $\pm$ 0,0787	2,4727 $\pm$ 0,7499	0,3830 $\pm$ 0,0557	0,3879 $\pm$ 0,1868	0,0541 $\pm$ 0,0073	8,8013 $\pm$ 1,4504
LJA	F	0,2983 $\pm$ 0,1108	0,0409 $\pm$ 0,0097	0,0461 $\pm$ 0,0338	3,0191 $\pm$ 1,8679	81,3995 $\pm$ 73,4547	0,2378 $\pm$ 0,1169	3,0195 $\pm$ 1,7907	0,0964 $\pm$ 0,0511	5,2754 $\pm$ 2,3286
	B	0,0289 $\pm$ 0,0119	0,0081 $\pm$ 0,0025	0,0393 $\pm$ 0,0275	0,0852 $\pm$ 0,0282	41,8011 $\pm$ 35,8501	0,0805 $\pm$ 0,0489	0,5480 $\pm$ 0,3526	0,0653 $\pm$ 0,0359	4,4514 $\pm$ 2,7572
	M	0,1165 $\pm$ 0,0879	0,0048 $\pm$ 0,0006	0,0212 $\pm$ 0,0059	0,2299 $\pm$ 0,1103	8,7114 $\pm$ 3,7881	0,0458 $\pm$ 0,0096	0,6077 $\pm$ 0,2799	0,0141 $\pm$ 0,0058	2,2070 $\pm$ 1,2797
RDL	F	0,0535 $\pm$ 0,0156	0,0097 $\pm$ 0,0020	0,0863 $\pm$ 0,0659	0,6604 $\pm$ 0,4780	1,2038 $\pm$ 0,4829	0,0499 $\pm$ 0,0069	0,4091 $\pm$ 0,1676	0,0120 $\pm$ 0,0059	0,2943 $\pm$ 0,0617
	B	0,0202 $\pm$ 0,0068	0,0047 $\pm$ 0,0007	0,0099 $\pm$ 0,0020	0,1700 $\pm$ 0,1200	0,7007 $\pm$ 0,2835	0,0266 $\pm$ 0,0045	0,3839 $\pm$ 0,2976	0,0054 $\pm$ 0,0020	0,0881 $\pm$ 0,0114
	M	0,0184 $\pm$ 0,0058	0,0058 $\pm$ 0,0007	0,0150 $\pm$ 0,0031	0,2746 $\pm$ 0,1462	1,1228 $\pm$ 0,7242	0,0343 $\pm$ 0,0039	0,2510 $\pm$ 0,0840	0,0070 $\pm$ 0,0017	0,2105 $\pm$ 0,0552

Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 1 (Setembro/Octubre 2018)										
Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
RDR	F	0,2789 ± 0,1286	18,0572 ± 4,8310	103,7116 ± 63,9879	0,4015 ± 0,2734	1,7365 ± 0,5685	0,0632 ± 0,0132	0,2635 ± 0,1175	0,0461 ± 0,0139	702,2857 ± 205,9357
		0,0619 ± 0,0169	0,3494 ± 0,0496	86,5964 ± 49,4629	1,1112 ± 1,0362	16,9754 ± 11,0222	0,0383 ± 0,0031	0,1364 ± 0,0470	0,0393 ± 0,0106	582,3748 ± 132,9188
	M	0,1523 ± 0,0730	0,2824 ± 0,0337	58,9614 ± 24,9777	0,0628 ± 0,0224	1,4079 ± 0,1609	0,0269 ± 0,0027	0,1036 ± 0,0312	0,0254 ± 0,0099	276,3458 ± 55,4746
		B	0,0831 ± 0,0418	0,0250 ± 0,0186	0,0250 ± 0,0186	0,1807 ± 0,0789	52,3691 ± 51,5991	0,0471 ± 0,0298	0,3574 ± 0,3355	0,1269 ± 0,1029
	B		0,0375 ± 0,0233	0,0083 ± 0,0027	0,0108 ± 0,0044	0,1911 ± 0,1598	32,4841 ± 30,9398	0,0208 ± 0,0075	0,0956 ± 0,0443	0,0220 ± 0,0111
		M	0,0158 ± 0,0070	0,0075 ± 0,0021	0,0061 ± 0,0007	1,0310 ± 0,9770	19,2418 ± 4,4661	0,0186 ± 0,0008	0,0186 ± 0,0087	0,0068 ± 0,0035
LAL	F	0,2155 ± 0,0706	3,3830 ± 2,8405	1,4279 ± 1,0218	48,2212 ± 21,4974	455,0906 ± 252,9443	0,0544 ± 0,0160	14,8401 ± 13,7005	0,1054 ± 0,0399	313,6910 ± 157,0700
		0,6222 ± 0,2279	0,1198 ± 0,0242	1,8087 ± 1,1656	0,9390 ± 0,2145	79,4627 ± 17,5855	0,0542 ± 0,0161	7,8363 ± 2,2847	0,0690 ± 0,0264	197,0071 ± 83,9574
	M	0,1046 ± 0,0450	0,3515 ± 0,1868	1,5634 ± 0,8223	2,2212 ± 1,3510	43,4309 ± 29,2168	0,0257 ± 0,0043	0,5292 ± 0,0966	0,1196 ± 0,0519	34,4156 ± 6,4215
		B	0,0786 ± 0,0230	0,0353 ± 0,0100	0,0695 ± 0,0493	1,7512 ± 1,6332	25,1463 ± 15,8352	0,1033 ± 0,0205	0,4336 ± 0,2257	0,0184 ± 0,0060
	B		0,1207 ± 0,0934	0,0627 ± 0,0307	0,1143 ± 0,0924	11,3686 ± 9,8802	87,4480 ± 62,0451	0,2258 ± 0,1787	0,4079 ± 0,3673	0,0238 ± 0,0155
		M	0,0379 ± 0,0137	0,0570 ± 0,0245	0,0143 ± 0,0056	0,7656 ± 0,4371	24,8694 ± 7,8433	0,0498 ± 0,0096	0,0549 ± 0,0169	0,0215 ± 0,0058
RDF	F	0,0408 ± 0,0251	0,1676 ± 0,1433	0,0042 ± 0,0004	0,8545 ± 0,7704	85,6801 ± 85,3849	0,0503 ± 0,0321	0,2032 ± 0,0535	0,0100 ± 0,0076	0,3014 ± 0,1602
		0,0808 ± 0,0426	0,1555 ± 0,1335	0,0260 ± 0,0139	0,8435 ± 0,6467	91,6645 ± 30,7788	0,0190 ± 0,0073	0,1887 ± 0,0851	0,0399 ± 0,0217	0,3827 ± 0,0842
	M	0,0279 ± 0,0074	0,0417 ± 0,0129	0,0110 ± 0,0020	0,1753 ± 0,0877	19,3497 ± 4,4739	0,0141 ± 0,0024	0,0355 ± 0,0144	0,0165 ± 0,0029	0,2693 ± 0,0583
		B	0,0831 ± 0,0418	0,0250 ± 0,0186	0,0250 ± 0,0186	0,1807 ± 0,0789	52,3691 ± 51,5991	0,0471 ± 0,0298	0,3574 ± 0,3355	0,1269 ± 0,1029
	B		0,0375 ± 0,0233	0,0083 ± 0,0027	0,0108 ± 0,0044	0,1911 ± 0,1598	32,4841 ± 30,9398	0,0208 ± 0,0075	0,0956 ± 0,0443	0,0220 ± 0,0111
		M	0,0158 ± 0,0070	0,0075 ± 0,0021	0,0061 ± 0,0007	1,0310 ± 0,9770	19,2418 ± 4,4661	0,0186 ± 0,0008	0,0186 ± 0,0087	0,0068 ± 0,0035

Tabela 31: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn (média  $\pm$  erro padrão) nos tecidos (T) fígado (F), brânquia (B) e músculo (M) de espécies de peixes do grupo II (carnívoros) ( $n=1-6$ ) (mg/kg de peso úmido) coletados nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 1 (setembro/outubro 2018).

Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)										
Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
BRG	F	0,097	0,0287	0,1861	41,0253	20,9677	0,0516	0,9147	0,0018	72,3848
	B	0,1065	0,0058	0,0619	0,2330	14,4631	0,0041	1,1150	0,0107	29,5078
	M	0,0229	0,0027	0,0790	1,8141	7,7411	0,0238	0,0600	0,0017	0,9782
LLI	F	0,1058 $\pm$ 0,0302	0,0366 $\pm$ 0,0096	0,0254 $\pm$ 0,0112	0,9834 $\pm$ 0,2921	72,2274 $\pm$ 23,7771	0,0264 $\pm$ 0,0041	0,3473 $\pm$ 0,0624	0,0318 $\pm$ 0,0154	17,4493 $\pm$ 5,8510
	B	0,8601 $\pm$ 0,2069	0,0535 $\pm$ 0,0144	0,0413 $\pm$ 0,0184	0,2267 $\pm$ 0,0567	19,9002 $\pm$ 4,3847	0,0031 $\pm$ 0,0004	3,9840 $\pm$ 1,5331	0,0959 $\pm$ 0,0294	22,3048 $\pm$ 2,5980
	M	0,0638 $\pm$ 0,0262	0,0340 $\pm$ 0,0183	0,0596 $\pm$ 0,0304	0,2096 $\pm$ 0,0612	14,1385 $\pm$ 3,3240	0,0311 $\pm$ 0,0070	0,2929 $\pm$ 0,1470	0,0661 $\pm$ 0,0239	30,0337 $\pm$ 12,1674
LNO	F	0,011	0,0530	0,0204	0,0796	52,6321	0,0106	0,9912	0,1068	8,5098
	B	0,4909	0,1055	0,0978	0,0091	105,0725	0,0124	3,4601	0,0390	20,0181
	M	0,0104	0,0389	0,0299	0,0303	3,4853	0,0030	0,1683	0,0058	6,9684
LJA	F	0,9610 $\pm$ 0,3669	0,0156 $\pm$ 0,0048	0,0468 $\pm$ 0,0114	22,7453 $\pm$ 10,9163	33,9105 $\pm$ 11,6369	0,0456 $\pm$ 0,0184	1,6258 $\pm$ 0,4119	0,0268 $\pm$ 0,0095	11,8149 $\pm$ 2,5610
	B	0,1240 $\pm$ 0,0350	0,0060 $\pm$ 0,0011	0,1148 $\pm$ 0,0324	0,4358 $\pm$ 0,1131	15,3085 $\pm$ 5,1947	0,0158 $\pm$ 0,0032	0,3260 $\pm$ 0,0909	0,2376 $\pm$ 0,2057	13,2234 $\pm$ 4,9897
	M	0,1941 $\pm$ 0,0577	0,0080 $\pm$ 0,0016	0,0387 $\pm$ 0,0082	0,3405 $\pm$ 0,1324	11,7370 $\pm$ 3,2018	0,0181 $\pm$ 0,0057	0,3898 $\pm$ 0,1150	0,0181 $\pm$ 0,0066	3,1906 $\pm$ 0,6960
RDL	F	0,0253 $\pm$ 0,0099	0,0070 $\pm$ 0,0011	0,0069 $\pm$ 0,0031	0,4567 $\pm$ 0,2336	0,5534 $\pm$ 0,3265	0,0380 $\pm$ 0,0052	0,5302 $\pm$ 0,2968	0,0136 $\pm$ 0,0070	0,6065 $\pm$ 0,2183
	B	0,0111 $\pm$ 0,0021	0,0067 $\pm$ 0,0018	0,0049 $\pm$ 0,0027	0,1311 $\pm$ 0,1115	0,3048 $\pm$ 0,0511	0,0376 $\pm$ 0,0247	0,2997 $\pm$ 0,0672	0,0076 $\pm$ 0,0023	0,2329 $\pm$ 0,0919
	M	0,0063 $\pm$ 0,0027	0,0059 $\pm$ 0,0013	0,0103 $\pm$ 0,0081	0,0281 $\pm$ 0,0056	0,6147 $\pm$ 0,3172	0,0331 $\pm$ 0,0048	0,5703 $\pm$ 0,2762	0,0093 $\pm$ 0,0028	0,3052 $\pm$ 0,0653
RDR	F	0,0496 $\pm$ 0,0328	8,9145 $\pm$ 6,9291	0,0151 $\pm$ 0,0093	0,0324 $\pm$ 0,0167	0,0197 $\pm$ 0,0084	0,0296 $\pm$ 0,0151	0,0898 $\pm$ 0,0554	0,0246 $\pm$ 0,0072	0,3011 $\pm$ 0,1299
	B	0,0604 $\pm$ 0,0541	0,0254 $\pm$ 0,0154	0,0048 $\pm$ 0,0007	0,0395 $\pm$ 0,0257	0,5713 $\pm$ 0,2313	0,0291 $\pm$ 0,0054	0,2008 $\pm$ 0,1052	0,0125 $\pm$ 0,0088	0,2387 $\pm$ 0,0635
	M	0,0530	0,0586	0,0373	0,0663	0,1057	0,0304	0,1862	0,0350	0,4498
LAO	F	0,0324 $\pm$ 0,0102	0,0091 $\pm$ 0,0012	0,0116 $\pm$ 0,0030	0,9761 $\pm$ 0,3872	240,5138 $\pm$ 85,7999	0,0286 $\pm$ 0,0047	0,0583 $\pm$ 0,0224	0,0146 $\pm$ 0,0030	0,3030 $\pm$ 0,1020
	B	0,0616 $\pm$ 0,0221	0,0087 $\pm$ 0,0009	0,0118 $\pm$ 0,0027	0,7559 $\pm$ 0,3043	66,8666 $\pm$ 14,5333	0,0239 $\pm$ 0,0024	0,0732 $\pm$ 0,0285	0,0206 $\pm$ 0,0043	0,3487 $\pm$ 0,0947
	M	0,0548 $\pm$ 0,0270	0,0109 $\pm$ 0,0019	0,0139 $\pm$ 0,0032	0,5752 $\pm$ 0,2613	24,6881 $\pm$ 5,5252	0,0339 $\pm$ 0,0084	0,1125 $\pm$ 0,0320	0,0089 $\pm$ 0,0030	0,5591 $\pm$ 0,2660
LAL	F	0,0485 $\pm$ 0,0120	0,1072 $\pm$ 0,0727	0,0250 $\pm$ 0,0188	18,1858 $\pm$ 8,6604	10,1577 $\pm$ 5,2593	0,0596 $\pm$ 0,0033	1,1333 $\pm$ 0,6341	0,0852 $\pm$ 0,0686	47,9435 $\pm$ 23,7486

Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)

Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
	B	0,0814 ± 0,0271	0,3446 ± 0,2605	0,5232 ± 0,2292	0,3999 ± 0,1010	117,8679 ± 36,2104	0,0885 ± 0,0163	6,0684 ± 2,2570	0,0384 ± 0,0249	120,6205 ± 51,8215
	M	0,0681 ± 0,0630	0,0664 ± 0,0276	0,0664 ± 0,0276	0,3212 ± 0,1708	14,5602 ± 2,7093	0,0865 ± 0,0294	0,5011 ± 0,1890	0,0611 ± 0,0280	40,2414 ± 35,4408
LMO	F	0,0423 ± 0,0081	0,0173 ± 0,0058	0,0122 ± 0,0023	1,2030 ± 1,1280	9,6703 ± 5,5930	0,0356 ± 0,0120	0,0281 ± 0,0072	0,0053 ± 0,0014	0,1289 ± 0,0275
	B	0,0462 ± 0,0178	0,0329 ± 0,0145	0,0141 ± 0,0021	0,5815 ± 0,5106	19,9172 ± 8,0888	0,0537 ± 0,0082	0,3180 ± 0,2752	0,0068 ± 0,0022	0,1740 ± 0,0364
	M	0,0364 ± 0,0057	0,0148 ± 0,0083	0,0123 ± 0,0033	0,5678 ± 0,4877	8,5604 ± 5,9416	0,0283 ± 0,0021	0,0191 ± 0,0062	0,0127 ± 0,0003	0,1049 ± 0,0126
RDF	F	0,1361 ± 0,0774	0,1437 ± 0,0534	0,0501 ± 0,0160	0,2529 ± 0,0610	182,2549 ± 42,6811	0,0443 ± 0,0177	0,5137 ± 0,1778	0,1089 ± 0,0440	0,6078 ± 0,1275
	B	0,0670 ± 0,0118	0,0752 ± 0,0382	0,0143 ± 0,0018	0,7354 ± 0,3227	37,4539 ± 10,3584	0,0171 ± 0,0022	0,0988 ± 0,0188	0,0437 ± 0,0197	0,2525 ± 0,0326
	M	0,0326 ± 0,0060	0,0789 ± 0,0403	0,0112 ± 0,0014	0,1028 ± 0,0397	19,5474 ± 8,0193	0,0115 ± 0,0012	0,1230 ± 0,0308	0,0208 ± 0,0041	0,1861 ± 0,0467

Tabela 32: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn (média ± erro padrão) nos tecidos (T) fígado (F), brânquia (B) e músculo (M) de espécies de peixes do grupo I (onívoros/herbívoros) (n=1-6) (mg/kg de peso úmido) coletados nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 2 (janeiro/fevereiro 2019).

Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Febrero 2019)

Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
BRG	F	1,3018 ± 0,4453	0,3213 ± 0,0608	1,6423 ± 0,8310	4,6282 ± 1,4261	50,1643 ± 7,3648	0,0058 ± 0,0007	7,5995 ± 0,9956	0,1119 ± 0,0407	35,1719 ± 3,5661
	B	0,7529 ± 0,4160	0,1081 ± 0,0346	0,4412 ± 0,2580	2,8533 ± 0,8182	18,5244 ± 2,7150	0,0031 ± 0,0003	11,5727 ± 2,3665	0,0590 ± 0,0312	27,0209 ± 3,1164
	M	0,5088 ± 0,1435	0,0475 ± 0,0083	0,2936 ± 0,1624	0,4645 ± 0,1487	10,2473 ± 2,9983	0,0035 ± 0,0005	3,0403 ± 0,9134	0,0136 ± 0,0055	4,3477 ± 0,6811
LLI	F	0,6216 ± 0,2188	0,1196 ± 0,0204	2,3429 ± 0,3110	1,8480 ± 0,7143	84,0817 ± 8,9327	0,0032 ± 0,0015	3,8255 ± 0,4558	0,0398 ± 0,0084	26,6980 ± 4,1736
	B	0,2573 ± 0,0603	0,0372 ± 0,0058	0,4129 ± 0,0810	0,4895 ± 0,1412	29,5972 ± 5,1592	0,0005 ± 0,0002	10,9221 ± 3,3428	0,0095 ± 0,0018	18,5450 ± 2,1698
	M	0,2209 ± 0,0374	0,0312 ± 0,0048	0,6302 ± 0,1286	0,7572 ± 0,3170	2,7011 ± 0,5086	0,0004 ± 0,0002	0,8881 ± 0,1334	0,0356 ± 0,0179	5,0843 ± 0,6484
LNO	F	0,0495 ± 0,0132	0,1291 ± 0,0353	0,2688 ± 0,0975	1,7400 ± 0,8170	58,8036 ± 30,1558	0,0170 ± 0,0061	3,7999 ± 0,7144	0,0288 ± 0,0082	34,5153 ± 7,1888
	B	0,0286 ± 0,0056	0,0476 ± 0,0071	0,1159 ± 0,0591	1,0570 ± 0,7191	13,3216 ± 2,2126	0,0007 ± 0,0001	6,3206 ± 0,8750	0,0291 ± 0,0049	15,8431 ± 3,4013

Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
LJA	M	0,0365 ± 0,0086	0,0406 ± 0,0093	0,0499 ± 0,0106	1,4025 ± 0,5294	22,3459 ± 5,7099	0,0008 ± 0,0001	1,2727 ± 0,2060	0,0101 ± 0,0025	11,4516 ± 2,2116
	F	0,1051 ± 0,0453	0,2774 ± 0,0479	0,0626 ± 0,0170	0,0450 ± 0,0147	15,3454 ± 2,2304	0,0006 ± 0,0001	2,3578 ± 0,2829	0,0142 ± 0,0024	18,0175 ± 3,7006
	B	0,0684 ± 0,0155	0,1691 ± 0,0417	0,0641 ± 0,0308	0,1539 ± 0,0665	35,2570 ± 5,2626	0,0003 ± 0,00003	2,8154 ± 0,4788	0,0151 ± 0,0020	2,8473 ± 0,4928
RDL	M	0,0952 ± 0,0186	0,1243 ± 0,0196	0,0680 ± 0,0155	0,0193 ± 0,0054	25,8973 ± 4,8650	0,0003 ± 0,00003	1,3876 ± 0,2283	0,0097 ± 0,0022	7,5283 ± 1,0851
	F	0,9745 ± 0,3463	0,0898 ± 0,0279	0,1637 ± 0,0582	0,7952 ± 0,1531	12,7945 ± 3,0313	0,0134 ± 0,0063	7,9515 ± 1,5309	0,1336 ± 0,0297	30,8414 ± 6,7535
	B	0,9623 ± 0,3427	0,0314 ± 0,0085	0,0264 ± 0,0103	0,2863 ± 0,1103	86,7920 ± 16,3856	0,0014 ± 0,0004	1,7590 ± 0,2424	0,0300 ± 0,0110	17,6743 ± 4,8353
RDR	M	0,3507 ± 0,0751	0,0399 ± 0,0096	0,0794 ± 0,0292	0,3062 ± 0,0528	38,1513 ± 7,6687	0,0040 ± 0,0023	2,8388 ± 0,5241	0,0416 ± 0,0114	15,3774 ± 5,0020
	F	2,1127 ± 0,5097	0,0376 ± 0,0177	0,0449 ± 0,0216	0,4204 ± 0,1317	7,3455 ± 1,3701	0,0014 ± 0,0005	4,5076 ± 1,5253	0,0226 ± 0,0127	12,5400 ± 2,0634
	B	0,9484 ± 0,1365	0,0454 ± 0,0322	0,1081 ± 0,0226	1,4695 ± 0,5025	268,6281 ± 56,2885	0,0006 ± 0,0001	3,3973 ± 0,6597	0,0030 ± 0,0010	26,7297 ± 6,3986
LAO	M	0,6427 ± 0,1507	0,0126 ± 0,0028	0,0040 ± 0,0020	1,5594 ± 0,4611	27,5402 ± 8,5437	0,0005 ± 0,0001	0,9696 ± 0,2424	0,0887 ± 0,0813	8,3632 ± 1,2993
	F	2,5306 ± 0,9316	0,0488 ± 0,0148	0,9395 ± 0,2309	3,5772 ± 0,9864	26,6999 ± 7,3743	0,0018 ± 0,0005	4,5029 ± 1,4219	0,1792 ± 0,0717	7,1677 ± 2,4567
	B	1,5800 ± 0,5715	0,0268 ± 0,0055	0,0520 ± 0,0152	16,5145 ± 3,1426	173,4558 ± 32,9976	0,0011 ± 0,0002	2,6900 ± 0,4470	0,0751 ± 0,0314	4,5147 ± 0,7196
LAL	M	0,8878 ± 0,2014	0,0154 ± 0,0026	0,0242 ± 0,0040	4,4584 ± 0,8351	46,8228 ± 8,7709	0,0005 ± 0,0001	4,0103 ± 0,8855	0,0206 ± 0,0070	4,0419 ± 0,7030
	F	2,4547 ± 0,8689	0,0505 ± 0,0173	0,0894 ± 0,0452	0,5070 ± 0,1189	43,6987 ± 10,0692	0,0094 ± 0,0033	4,0877 ± 1,2459	0,1496 ± 0,0427	9,7609 ± 3,1521
	B	0,3209 ± 0,0947	0,0172 ± 0,0030	0,0236 ± 0,0032	0,1825 ± 0,0386	31,1975 ± 7,8423	0,0024 ± 0,0005	1,3310 ± 0,2878	0,0986 ± 0,0395	5,6449 ± 1,0727
LMO	M	0,2604 ± 0,1023	0,0144 ± 0,0020	0,0173 ± 0,0049	0,1404 ± 0,0278	41,6259 ± 7,2433	0,0029 ± 0,0003	4,7031 ± 1,2375	0,0508 ± 0,0217	2,3693 ± 0,4965
	F	1,9324 ± 0,5780	0,0993 ± 0,0424	0,0865 ± 0,0283	0,1808 ± 0,0913	77,1070 ± 22,2345	0,0013 ± 0,0003	4,5934 ± 1,1668	0,1769 ± 0,0929	17,7834 ± 4,7568
	B	0,5136 ± 0,2241	0,0822 ± 0,0313	0,0209 ± 0,0068	0,0517 ± 0,0241	102,0577 ± 33,2201	0,0006 ± 0,0002	1,4696 ± 0,2274	0,0584 ± 0,0193	2,2366 ± 0,5918
RDF	M	0,7138 ± 0,3061	0,0274 ± 0,0105	0,0227 ± 0,0072	0,2701 ± 0,1320	32,4673 ± 6,1249	0,0005 ± 0,0001	4,4759 ± 1,0539	0,0401 ± 0,0078	3,9637 ± 0,7239
	F	0,0630 ± 0,0079	0,0139 ± 0,0015	0,0054 ± 0,0012	0,4883 ± 0,1365	23,6883 ± 10,4963	0,0136 ± 0,0058	1,5365 ± 0,1789	0,0054 ± 0,0018	7,4733 ± 2,7647

Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
B		0,0503 ± 0,0092	0,0090 ± 0,0008	0,0042 ± 0,0010	0,3388 ± 0,1290	189,3583 ± 61,7564	0,0014 ± 0,0004	1,7942 ± 0,1337	0,0078 ± 0,0050	31,7353 ± 9,1366
	M	0,0489 ± 0,0040	0,0276 ± 0,0109	0,0071 ± 0,0008	0,7878 ± 0,2993	30,6221 ± 6,3729	0,0039 ± 0,0016	1,2845 ± 0,2108	0,0128 ± 0,0073	68,2562 ± 13,0393

Tabela 33: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn (média ± erro padrão) nos tecidos (T) fígado (F), brânquia (B) e músculo (M) de espécies de peixes do grupo II (carnívoros) ( $n=1-6$ ) (mg/kg de peso úmido) coletado nas dez estações amostrais no Rio Doce e estuário durante a campanha 2 (janeiro/fevereiro 2019).

Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
BRG	F	0,3224 ± 0,1019	0,0309 ± 0,0030	4,2322 ± 2,1767	1,3797 ± 0,2411	37,5202 ± 4,2089	0,0177 ± 0,0055	1,9242 ± 0,1147	0,0243 ± 0,0108	25,8435 ± 3,7739
	B	0,2224 ± 0,0741	0,0453 ± 0,0107	2,9729 ± 1,1693	1,1179 ± 0,2703	18,3160 ± 2,9953	0,0021 ± 0,0002	5,6520 ± 1,0015	0,0554 ± 0,0372	27,1170 ± 5,7337
	M	0,1827 ± 0,0689	0,0289 ± 0,0042	1,4956 ± 0,5400	3,1056 ± 0,8247	9,2352 ± 2,7027	0,0049 ± 0,0009	1,4643 ± 0,2902	0,0056 ± 0,0014	10,1800 ± 3,3040
LLI	F	0,7161 ± 0,1079	0,0379 ± 0,0075	0,4809 ± 0,0800	0,6495 ± 0,1809	45,5204 ± 5,2026	0,0004 ± 0,0001	1,3354 ± 0,2507	0,0080 ± 0,0027	29,6423 ± 4,9654
	B	0,3167 ± 0,0909	0,0282 ± 0,0032	0,1122 ± 0,0226	0,4587 ± 0,1631	20,9867 ± 2,0712	0,0002 ± 0,00003	6,8289 ± 1,1362	0,0165 ± 0,0063	16,7373 ± 2,9681
	M	0,6265 ± 0,1689	0,0270 ± 0,0043	0,1468 ± 0,0521	1,1123 ± 0,3082	3,3692 ± 0,6172	0,0003 ± 0,00002	0,7647 ± 0,1060	0,0132 ± 0,0039	3,2594 ± 0,3571
LNO	F	0,0329 ± 0,0119	0,0955 ± 0,0201	0,0314 ± 0,0044	0,3135 ± 0,1374	10,0669 ± 3,7333	0,0089 ± 0,0027	1,8320 ± 0,1482	0,0107 ± 0,0021	15,0919 ± 2,7225
	B	0,0253 ± 0,0084	0,0934 ± 0,0286	0,0348 ± 0,0071	0,5839 ± 0,2395	71,6580 ± 24,4872	0,0010 ± 0,0002	7,7504 ± 2,0643	0,0253 ± 0,0041	14,0368 ± 4,1209
	M	0,0432 ± 0,0101	0,0667 ± 0,0104	0,0303 ± 0,0060	0,1610 ± 0,0707	26,9693 ± 9,1017	0,0010 ± 0,0002	0,8854 ± 0,0744	0,0037 ± 0,0003	12,6697 ± 2,7747
LJA	F	0,0520 ± 0,0117	0,1147 ± 0,0176	0,0185 ± 0,0033	0,0344 ± 0,0112	5,9489 ± 1,5355	0,0021 ± 0,0013	1,2646 ± 0,0930	0,0119 ± 0,0028	11,9450 ± 3,2953
	B	0,0684 ± 0,0155	0,1691 ± 0,0417	0,0641 ± 0,0308	0,1539 ± 0,0665	35,2570 ± 5,2626	0,0003 ± 0,00003	2,8154 ± 0,4788	0,0151 ± 0,0020	2,8473 ± 0,4928
	M	0,0814 ± 0,0133	0,0978 ± 0,0126	0,0769 ± 0,0367	0,0283 ± 0,0050	30,2953 ± 3,3206	0,0013 ± 0,0007	0,9310 ± 0,0942	0,0071 ± 0,0026	14,5791 ± 2,9544
RDL	F	0,4787 ± 0,1088	0,0219 ± 0,0091	0,0419 ± 0,0124	0,1134 ± 0,0218	16,7793 ± 6,6040	0,0314 ± 0,0161	1,1338 ± 0,2178	0,0211 ± 0,0074	11,9300 ± 5,5248
	B	0,5020 ± 0,1672	0,0315 ± 0,0045	0,1880 ± 0,0654	0,2506 ± 0,0383	85,8960 ± 5,4478	0,0023 ± 0,0005	2,5065 ± 0,3826	0,0464 ± 0,0138	7,0828 ± 0,5893

Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
	M	0,4308 ± 0,1388	0,0164 ± 0,0077	0,0646 ± 0,0273	0,6460 ± 0,3281	28,1673 ± 4,0255	0,0150 ± 0,0079	6,4605 ± 3,2810	0,0389 ± 0,0182	12,7224 ± 2,2713
	F	0,6029 ± 0,1984	0,0165 ± 0,0060	0,0415 ± 0,0144	1,2633 ± 0,6119	4,9187 ± 1,1881	0,0005 ± 0,0001	1,8361 ± 0,3022	0,0032 ± 0,0013	5,5688 ± 0,9620
RDR	B	1,1265 ± 0,6392	0,0151 ± 0,0039	0,0207 ± 0,0088	1,9205 ± 1,0072	453,2207 ± 113,9858	0,0009 ± 0,0004	4,3860 ± 0,5493	0,0032 ± 0,0008	22,7732 ± 6,6750
	M	1,2961 ± 0,4314	0,0212 ± 0,0100	0,0093 ± 0,0029	1,5791 ± 0,7809	33,2465 ± 2,9205	0,0025 ± 0,0022	0,9302 ± 0,1097	0,0032 ± 0,0002	29,4718 ± 4,7434
LAO	F	2,3446 ± 0,7341	0,0410 ± 0,0112	0,5157 ± 0,2027	2,0121 ± 0,8174	15,5251 ± 6,0054	0,0059 ± 0,0048	3,0799 ± 1,0388	0,1291 ± 0,0540	4,7591 ± 1,8015
	B	1,0732 ± 0,2102	0,0171 ± 0,0048	0,0404 ± 0,0082	20,5288 ± 4,4632	149,6408 ± 55,1347	0,0039 ± 0,0019	4,1080 ± 1,0154	0,0510 ± 0,0209	4,6943 ± 0,7771
	M	1,3304 ± 0,3522	0,0185 ± 0,0040	0,0631 ± 0,0327	5,4865 ± 1,3751	61,6679 ± 13,5257	0,0082 ± 0,0044	3,8320 ± 1,2190	0,0284 ± 0,0108	17,4033 ± 6,1072
LAL	F	0,1238 ± 0,0275	0,0279 ± 0,0059	0,0207 ± 0,0148	0,8578 ± 0,4353	26,2655 ± 9,1791	0,0178 ± 0,0048	2,3522 ± 0,2721	0,0458 ± 0,0313	24,0042 ± 5,3532
	B	0,1711 ± 0,0373	0,0547 ± 0,0109	0,0230 ± 0,0067	0,4709 ± 0,1453	39,3478 ± 6,2395	0,0030 ± 0,0002	2,2493 ± 0,2451	0,0228 ± 0,0063	2,9071 ± 0,6468
	M	0,0845 ± 0,0170	0,0277 ± 0,0073	0,0106 ± 0,0061	3,4886 ± 1,2402	47,2533 ± 4,9720	0,0077 ± 0,0013	2,8831 ± 0,3275	0,0203 ± 0,0056	2,7290 ± 0,7367
LMO	F	0,6220 ± 0,2318	0,2410 ± 0,0758	0,0254 ± 0,0125	0,0366 ± 0,0083	17,9015 ± 3,1712	0,0029 ± 0,0006	1,6643 ± 0,3117	0,0924 ± 0,0247	28,2357 ± 9,9341
	B	0,2728 ± 0,0848	0,2146 ± 0,0684	0,0418 ± 0,0126	0,1142 ± 0,0538	38,4506 ± 8,3766	0,0022 ± 0,0006	1,8699 ± 0,2762	0,2145 ± 0,0991	2,7334 ± 0,6098
	M	0,3744 ± 0,1338	0,0947 ± 0,0155	0,1000 ± 0,0363	0,0512 ± 0,0241	36,7837 ± 3,9599	0,0021 ± 0,0005	6,1962 ± 1,3156	0,0769 ± 0,0329	9,2476 ± 2,2823
RDF	F	0,0742 ± 0,0117	0,0133 ± 0,0042	0,0593 ± 0,0311	0,8422 ± 0,4603	21,2673 ± 6,1215	0,0088 ± 0,0022	2,1358 ± 0,4820	0,0034 ± 0,0006	3,0703 ± 0,6585
	B	0,0458 ± 0,0050	0,0097 ± 0,0015	0,0336 ± 0,0173	1,5029 ± 0,6960	155,3678 ± 20,1667	0,0032 ± 0,0006	2,4695 ± 0,1818	0,0029 ± 0,0008	16,9524 ± 7,4329
	M	0,0484 ± 0,0173	0,0083 ± 0,0042	0,0099 ± 0,0025	0,4083 ± 0,1762	20,3580 ± 2,0030	0,0104 ± 0,0026	0,5969 ± 0,0693	0,0036 ± 0,0011	8,9378 ± 2,4606

Tabela 34: Dados compilados da concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn na brânquia (B), fígado (F) e músculo (M) de peixes (mg/kg de peso úmido) obtidos da literatura e do amostrado no respectivo relatório. Os dados estão expressos como mínimo e máximo da média encontrada na literatura e da média dos pontos amostrais das campanhas 1 e 2. Em vermelho máximas acima das encontradas na literatura.

Peixes						
	T	Campanha 1		Campanha 2		Bibliografia
		Carnívoro	Onívoro/ herbívoro	Carnívoro	Onívoro/ herbívoro	
		Mín-Máx	Mín-Máx	Mín-Máx	Mín-Máx	Mín-Máx
As	B	(0,011-0,860)	(0,020-0,746)	(0,025-1,127)	(0,029-1,580)	
	F	(0,011-0,961)	(0,041-0,559)	(0,033-2,345)	(0,050-2,531)	
	M	(0,006-0,194)	(0,016-0,261)	(0,043-1,330)	(0,037-0,888)	(0,195 <sup>e</sup> - 6,75) <sup>f</sup>
Cd	B	(0,006-0,345)	(0,005-0,349)	(0,0097-0,215)	(0,009-0,169)	
	F	(0,007- <b>8,915</b> )	(0,010- <b>18,057</b> )	(0,0133-0,241)	(0,014-0,321)	(0,65-0,97) <sup>d</sup>
	M	(0,003-0,079)	(0,005-0,352)	(0,0083-0,098)	(0,013-0,124)	(0,0012-0,460) <sup>a</sup>
Cr	B	(0,005-0,523)	(0,010- <b>86,596</b> )	(0,021- <b>2,973</b> )	(0,004-0,441)	(<0,3-1,3) <sup>b</sup>
	F	(0,007-0,186)	(0,004- <b>103,712</b> )	(0,0185- <b>4,232</b> )	(0,005- <b>2,343</b> )	(<0,1-1)
	M	(0,010-0,079)	(0,006- <b>58,961</b> )	(0,009- <b>1,496</b> )	(0,004- <b>0,630</b> )	(0,002-0,525) <sup>a</sup>
Cu	B	(0,009-0,756)	(0,085- <b>11,369</b> )	(0,114- <b>20,529</b> )	(0,052- <b>16,515</b> )	(<0,3-1,2) <sup>b</sup>
	F	(0,032- <b>41,025</b> )	(0,181- <b>48,221</b> )	(0,0344-2,0121)	(0,045-4,628)	(<0,7-10,2)
	M	(0,028- <b>1,814</b> )	(0,063- <b>2,221</b> )	(0,0283- <b>5,487</b> )	(0,0193- <b>4,458</b> )	(0,006-0,087) <sup>a</sup>
Fe	B	(0,305- <b>117,868</b> )	(0,701- <b>91,665</b> )	(18,316- <b>453,221</b> )	(13,322- <b>68,628</b> )	(6,2-19,7)
	F	(0,020- <b>240,514</b> )	(1,204- <b>455,091</b> )	(4,919- <b>45,520</b> )	(7,346- <b>84,082</b> )	(2,22-23,8)
	M	(0,106-24,688)	(1,123-49,030)	(3,369-61,668)	(2,701-46,823)	(13,91 <sup>e</sup> )
Hg	B	(0,003-0,089)	(0,019-0,601)	(0,0002-0,0039)	(0,0003-0,003)	
	F	(0,011-0,060)	(0,047- <b>1,523</b> )	(0,0004-0,0314)	(0,0006-0,014)	(0,26-0,31) <sup>d</sup>
	M	(0,003-0,087)	(0,014-0,383)	(0,0003-0,0104)	(0,0003-0,004)	(0,0001-0,535) <sup>a</sup>
Mn	B	(0,073-6,068)	(0,096-7,836)	(1,8699-7,7504)	(1,331-11,573)	
	F	(0,028-1,626)	(0,203-14,840)	(1,1338-3,0799)	(1,537-7,952)	
	M	(0,019-0,570)	(0,019-1,615)	(0,5969-6,4605)	(0,888-4,703)	(1,44-7) <sup>c</sup>
Pb	B	(0,007-0,238)	(0,005-0,915)	(0,0029-0,2145)	(0,003-0,099)	
	F	(0,002-0,107)	(0,010-0,391)	(0,0032-0,1291)	(0,005-0,179)	(1,03-3,37) <sup>d</sup>
	M	(0,002-0,061)	(0,007-0,120)	(0,0032-0,0769)	(0,0097-0,089)	(0,006 <sup>a</sup> -3,31 <sup>d</sup> )
Zn	B	(0,174- <b>120,621</b> )	(0,088- <b>582,375</b> )	(2,7334- <b>27,117</b> )	(2,237- <b>31,735</b> )	(5,02-17,25) <sup>b</sup>
	F	(0,129-72,385)	(0,294- <b>702,286</b> )	(3,0703-29,6423)	(7,168-35,172)	(0,5 <sup>b</sup> -72,45 <sup>d</sup> )
	M	(0,105- <b>40,241</b> )	(0,136- <b>276,346</b> )	(2,729- <b>29,472</b> )	(2,369- <b>68,256</b> )	(0,040 <sup>a</sup> -21,71 <sup>d</sup> )

Fontes: Lima et al. 2014<sup>a</sup>; Paulino et al. 2014<sup>b</sup>; Dalzochio et al. 2017<sup>c</sup>; Arantes et al. 2015<sup>d</sup>; Bianchini et al. 2019<sup>e</sup>; Kuniyoshi et al. 2011<sup>f</sup>.

Os dados de metais também foram integrados através de uma PCA. As variáveis utilizadas nesta análise (representadas por setas) foram as médias das concentrações dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Zn e Hg na brânquia (representado por metal\_b), fígado (metal\_f) e músculo (metal\_m) de representantes de peixes carnívoros e de peixes onívoros/herbívoros coletados nas dez estações amostrais em duas campanhas. As localidades ou estações amostrais representam os indivíduos

utilizados na análise e estão representadas por símbolos na cor cinza (campanha 1) e azul (campanha 2) (Figura 112).

A PCA, que trata do acúmulo de metais nos tecidos dos espécimes de peixes com hábito alimentar onívoro/herbívoro amostrados no ambiente dulcícola e estuário, forneceu como resultado primário 51,2% de variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões (Figura 112 e Tabela 35). O componente principal 1 integrou 31,5% dos dados. Os metais Cd, Cr e Zn agruparam-se a leste do biplot, junto da estação amostral RDR da campanha 1. Estes metais tiveram maior contribuição com o resultado da PC1 (Figura 113). O componente principal 2 resumiu 19,7% dos dados. O biplot agrupou os metais As, Cu, Fe, Mn e ao norte e o metal Hg ao sul. Dentre os metais que mais contribuíram com a PC2 estão o As, Mn e Pb (fígado e músculo), Fe e Cu (músculo) (Figura 114).

As estações amostrais que mais contribuíram com o agrupamento dos dados do componente principal 1 foi o ponto em RDR e LAL (Figura 115). Relativo ao componente principal 2, as estações com maior contribuição foram LAL, LAO, RDL, BRG e LNO (Figura 116).

Figura 112: Análise de Componentes Principais aplicada para os dados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) nos tecidos brânquia, fígado e músculo de espécies de peixe onívoro/herbívoro coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade: as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2).

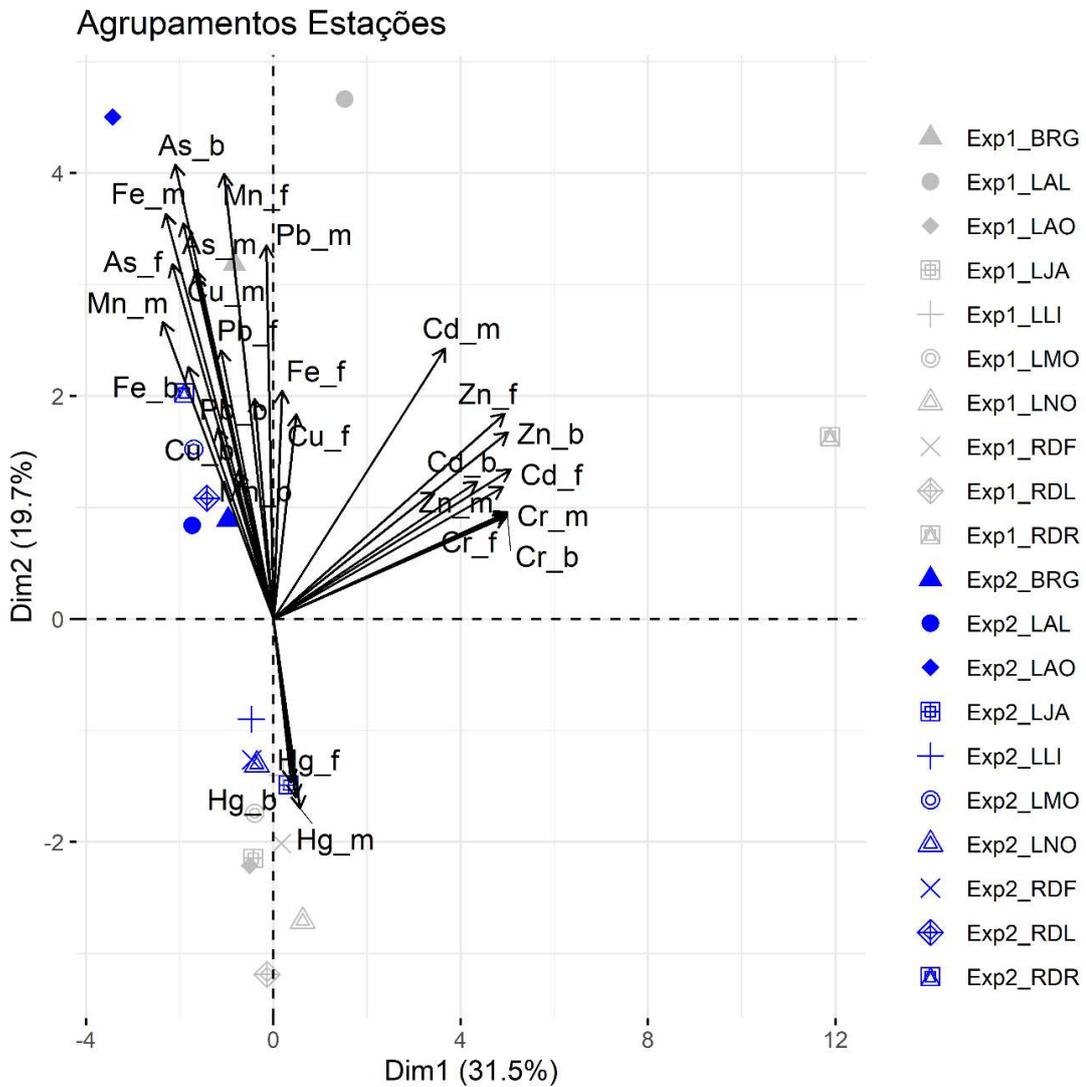


Tabela 35: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) para metais nas brânquias, fígado e músculo de peixes onívoros.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de variância</b>	<b>Percentual de variância acumulativa</b>
Dim.1	8,51	31,52	31,52
Dim.2	5,32	19,69	51,21
Dim.3	4,00	14,83	66,04
Dim.4	2,77	10,25	76,29
Dim.5	1,93	7,14	83,43
Dim.6	1,32	4,91	88,34

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.7	0,98	3,64	91,97
Dim.8	0,70	2,58	94,55
Dim.9	0,46	1,69	96,24
Dim.10	0,34	1,25	97,49
Dim.11	0,21	0,78	98,27
Dim.12	0,16	0,61	98,88
Dim.13	0,13	0,50	99,37
Dim.14	0,08	0,28	99,65
Dim.15	0,04	0,14	99,80
Dim.16	0,03	0,11	99,90
Dim.17	0,01	0,05	99,95
Dim.18	0,01	0,03	99,99
Dim.19	0,00	0,01	100,00

Figura 113 Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiu (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na brânquia (metal\_b), fígado (metal\_f) e músculo (metal\_m) de espécies de peixe onívoro/herbívoro. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

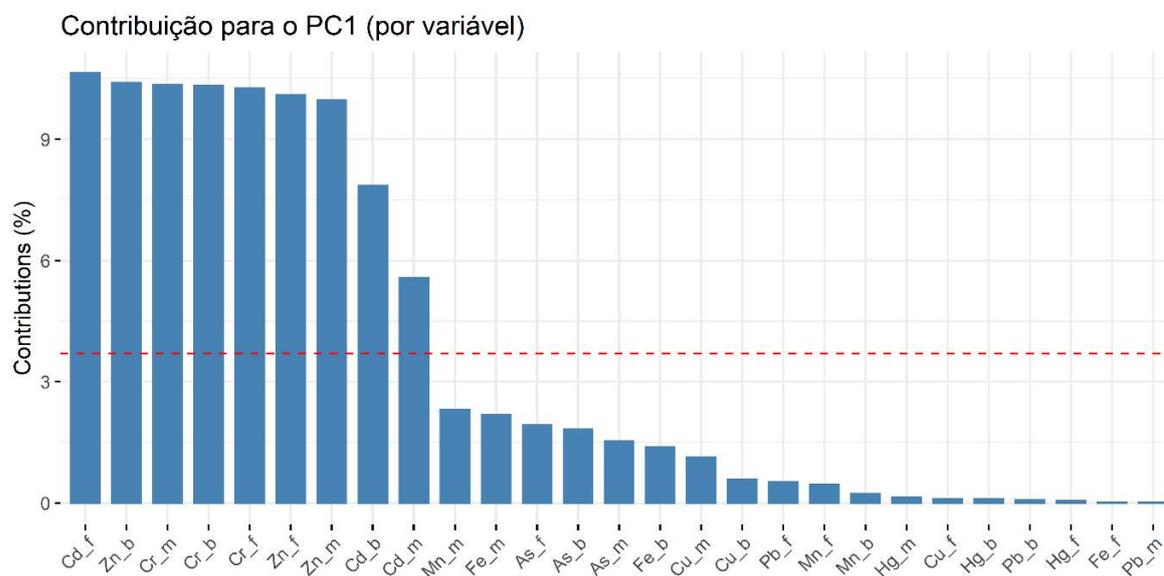


Figura 114: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na brânquia (metal\_b), fígado (metal\_f) e músculo (metal\_m) de espécies de peixe onívoro/herbívoro. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

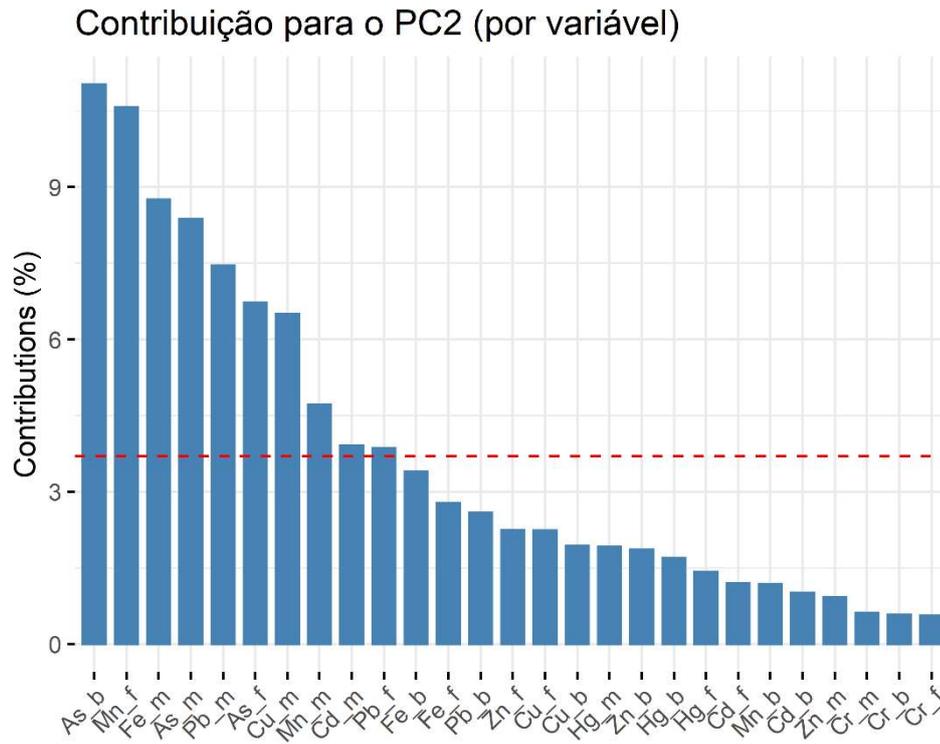


Figura 115: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de bioacumulação em peixes onívoros/herbívoros. Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

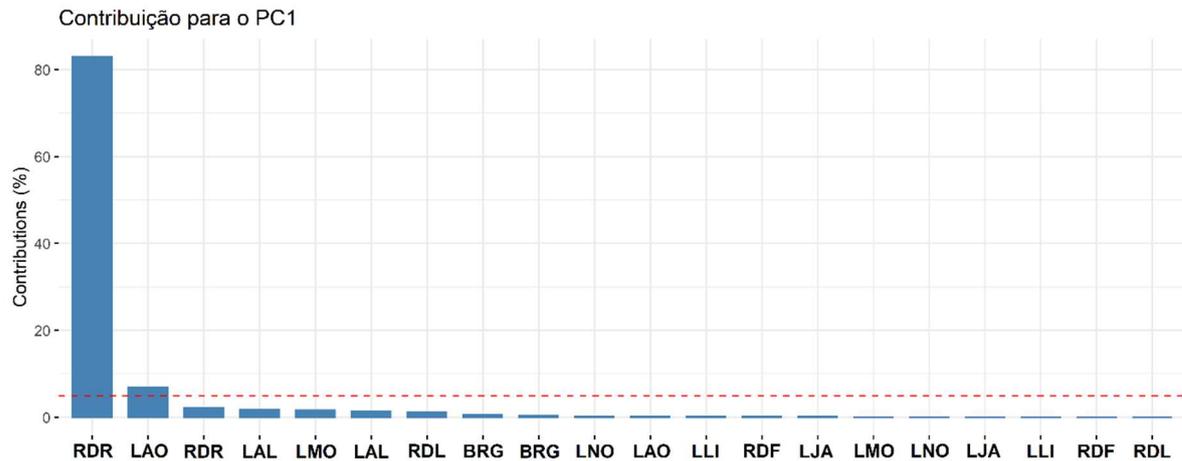
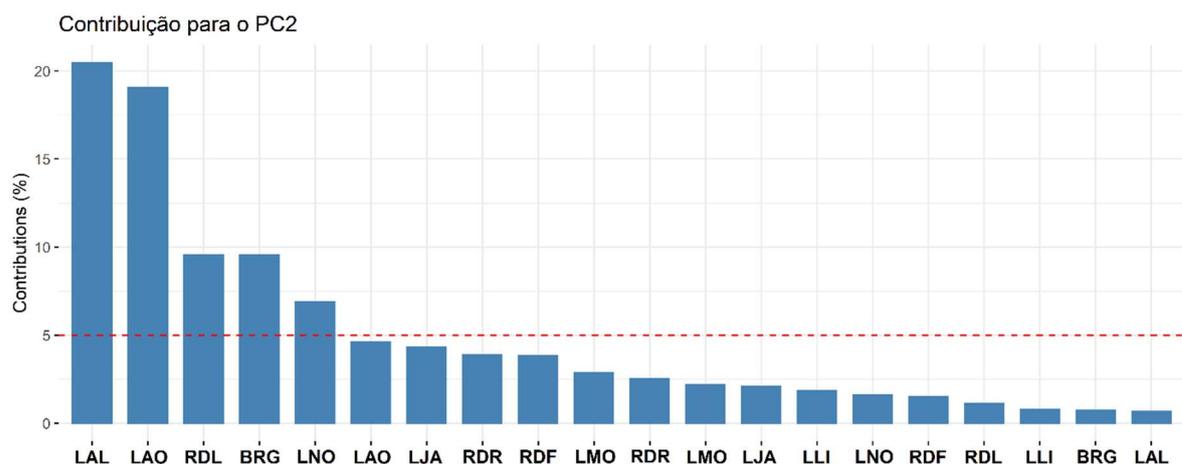


Figura 116: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de bioacumulação em peixes onívoros/herbívoros. Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.



A PCA que trata do acúmulo de metais nos tecidos dos espécimes de peixes carnívoros, amostrados no ambiente dulcícola e estuário, forneceu 40,4% de variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões (Figura 117). O componente principal 1 sumarizou 24,4% dos dados e agrupou a leste do

biplot os metais As, Cu e Fe (brânquia e músculo) e Mn (fígado e músculo) seguindo as estações amostrais LAO e RDR da campanha 2, e Hg a oeste. Estes metais tiveram contribuição significativa com o resultado da PC1 (Figura 118). O componente principal 2 resumiu 16% dos dados, agrupando os metais Cd e Fe (fígado) com as localidades RDL, RDR, LAO, LMO e RDF a oeste ao sul. Ao norte do biplot estão Zn, Cd (brânquia) e Pb (músculo). Dentre os metais que mais contribuíram com a PC2 estão o Zn, Cd (brânquia), Hg e Pb (músculo), e Mn (brânquia) (Figura 119).

A estação amostral que mais contribuiu com o agrupamento dos dados do componente principal 1 foi o ponto no Rio Doce em Regência (RDR) e as lagoas LAO e LAL (Figura 120). Relativo ao componente principal 2, as estações com maior contribuição foram LAO e LAL (Figura 121).

De modo geral, o agrupamento entre os metais nos tecidos dos peixes carnívoros sofre forte efeito da sazonalidade. Destaca-se a forte interação entre os metais As e Mn com pontos amostrados na campanha 1 (estação seca) e Cd, Fe e Zn com forte interação com localidades durante a campanha 2 (estação chuvosa) (Figura 117).

Figura 117: Análise de Componentes Principais aplicada para os dados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) nos tecidos brânquia, fígado e músculo de espécies de peixe carnívoro coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade: as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2).

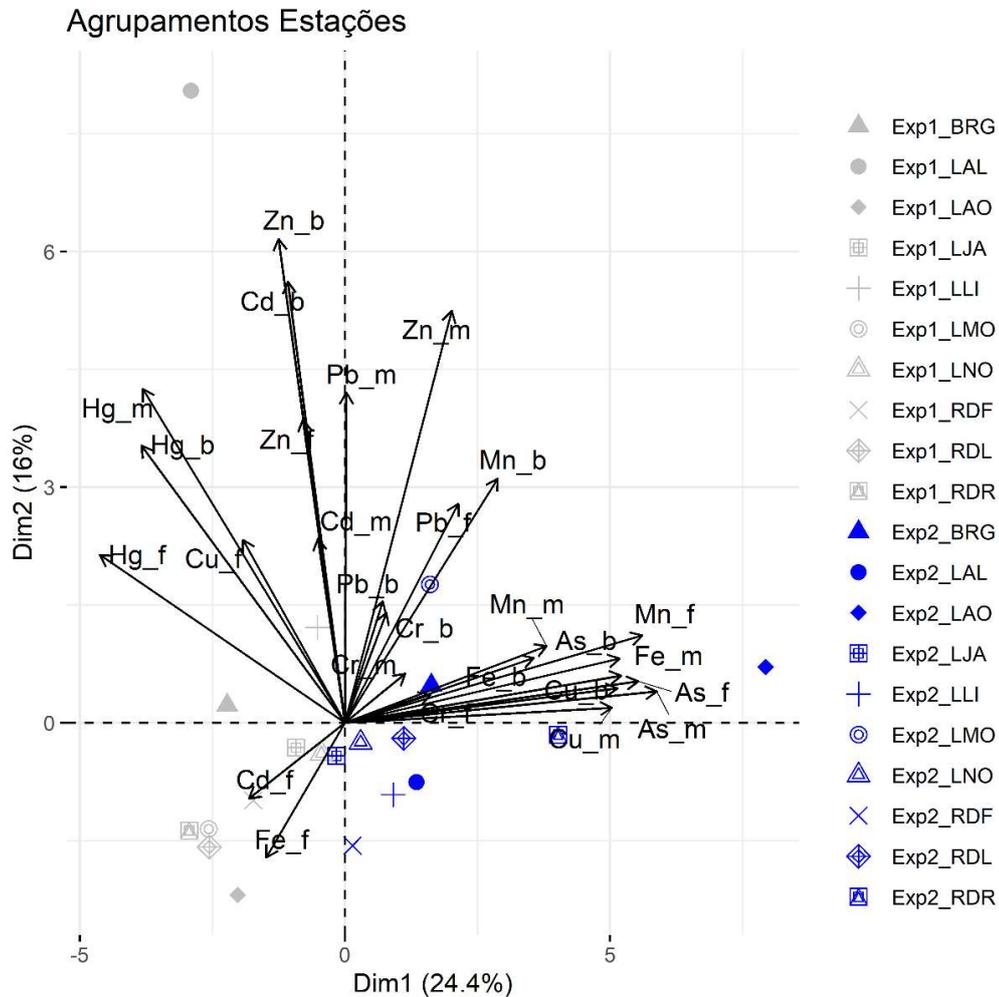


Tabela 36: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) para metais nas brânquias, fígado e músculo de peixes carnívoros.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de variância</b>	<b>Percentual de variância acumulativa</b>
Dim.1	6,59	24,41	24,41
Dim.2	4,33	16,02	40,43
Dim.3	3,56	13,19	53,62
Dim.4	2,59	9,59	63,21
Dim.5	2,27	8,42	71,63
Dim.6	1,70	6,31	77,94
Dim.7	1,29	4,79	82,74
Dim.8	1,16	4,31	87,05
Dim.9	0,80	2,97	90,02

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.10	0,72	2,65	92,67
Dim.11	0,57	2,11	94,79
Dim.12	0,40	1,48	96,27
Dim.13	0,33	1,21	97,47
Dim.14	0,28	1,05	98,52
Dim.15	0,17	0,65	99,17
Dim.16	0,12	0,43	99,60
Dim.17	0,06	0,22	99,82
Dim.18	0,04	0,14	99,96
Dim.19	0,01	0,04	100,00

Figura 118: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na brânquia (metal\_b), fígado (metal\_f) e músculo (metal\_m) de espécies de peixe carnívoro. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ .

Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

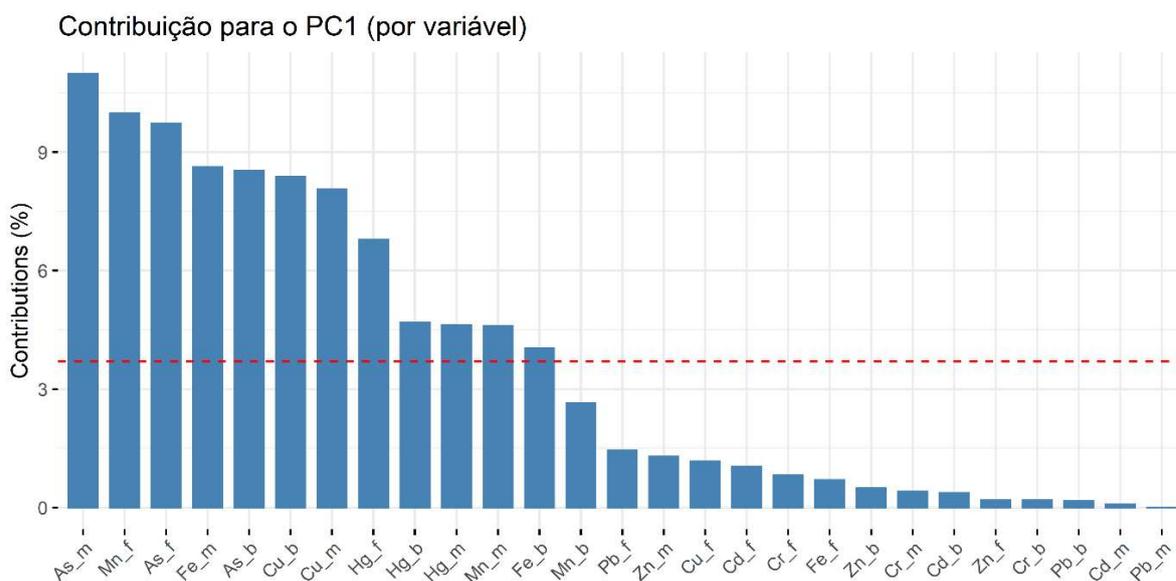


Figura 119: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na brânquia (metal\_b), fígado (metal\_f) e músculo (metal\_m) de espécies de peixe carnívoro. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ .

Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

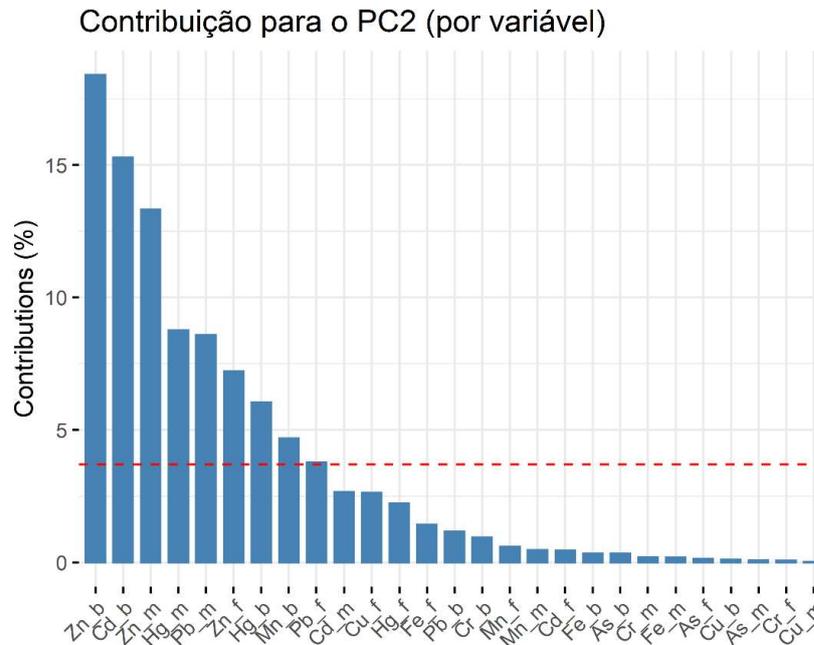


Figura 120: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

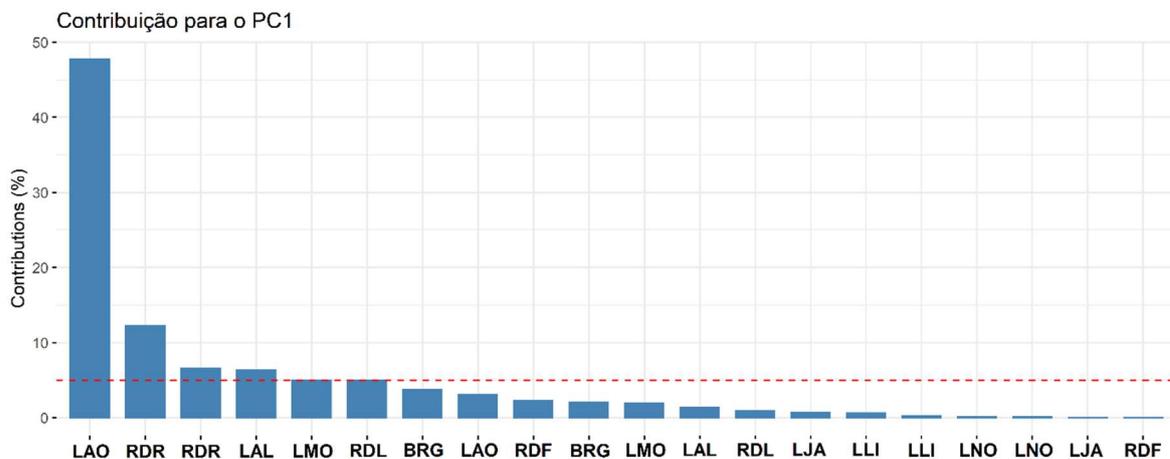
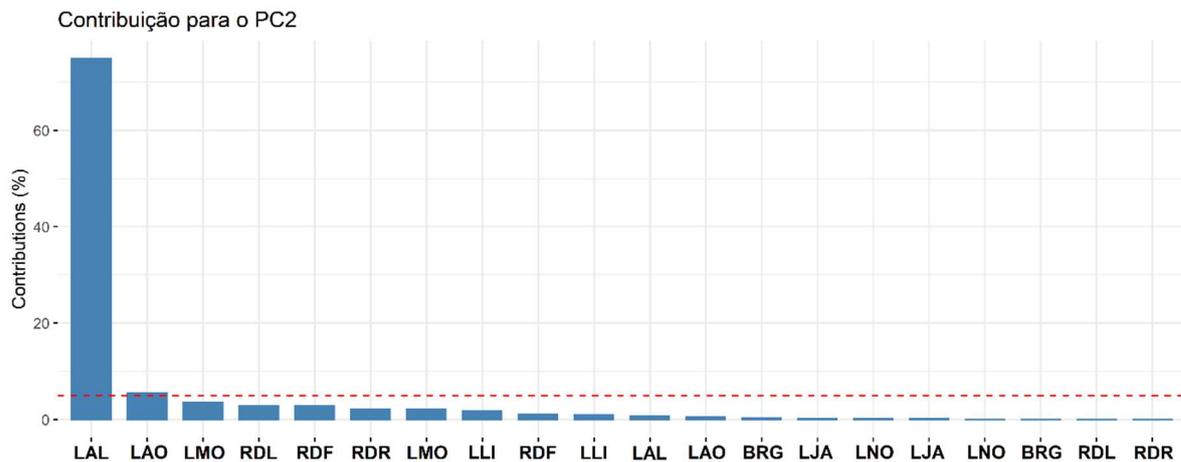


Figura 121: Contribuição em porcentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.



### 3.1.7 Biomarcadores em organismos do Rio Doce no estado do Espírito Santo e estuário

Esta seção reúne os resultados dos biomarcadores mensurados no fitoplâncton e zooplâncton; nas larvas de quironomídeos; na hemolinfa, brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões; e sangue, brânquia, fígado e músculo de peixes.

#### 3.1.7.1 Biomarcadores em fitoplâncton e zooplâncton

No fitoplâncton, os maiores níveis de dano oxidativo (Lipoperoxidação - LPO) foram observados nos organismos coletados em RDL e RDR ( $24,21 \pm 6,04$  e  $22,44 \pm 12,9$  nmol MDA/mg ptna, respectivamente). As amostras de fitoplâncton coletadas em RDF apresentaram um maior conteúdo de metalotioneínas (MT) ( $40,06 \pm 7,16$  µg MT/ mg ptna) comparado aquelas dos demais locais (Tabela 37 e Tabela 38). Os resultados obtidos na campanha 2 demonstram que a LPO teve maior nível no fitoplâncton coletado em LLI, seguido do coletado em RDF, LAL e LAO, enquanto que a concentração de MTs foi maior em BRG e LAO.

As amostras de zooplâncton provenientes de RDR apresentaram maiores valores médios de LPO e MT na campanha 1 (Tabela 39). Na campanha 2, o zooplâncton que mais expressou dano oxidativo LPO foi o coletado em RDF ( $19,20 \pm 3,91$  nmol MDA/mg ptna), enquanto que em RDR expressou maior concentração de MTs ( $10,90 \pm 3,75$  µg MT/ mg ptna) (

Tabela 40).

Tabela 37: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) mensurados em amostras de fitoplâncton coletado na campanha 1 (Setembro/Outubro 2018) do monitoramento dulcícola e estuário. Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (EP) (n=5).

<b>Fitoplâncton - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)</b>		
<b>Ponto</b>	<b>LPO (nmol MDA/mg ptna)</b>	<b>MT (µg MT/mg ptna)</b>
BRG	5,64 ± 0,99	33,73 ± 4,06
LLI	5,24 ± 0,59	26,18 ± 2,34
LNO	8,67 ± 1,15	24,33 ± 3,6
LJA	4,51 ± 1,33	27,27 ± 5,6
RDL	24,21 ± 6,04	19,02 ± 1,25
RDR	22,44 ± 12,9	27,97 ± 3,95
LAO	3,13 ± 1,12	21,03 ± 2,13
LAL	2,13 ± 0,69	19,15 ± 1,95
LMO	0,97 ± 0,19	19,25 ± 10,36
RDF	37 ± 13,58	40,06 ± 7,16

Tabela 38: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) mensurados em amostras de fitoplâncton coletados na campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (EP) (n=5).

<b>Fitoplâncton - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)</b>		
<b>Ponto</b>	<b>LPO (nmol MDA/mg ptna)</b>	<b>MT (µg MT/mg ptna)</b>
BRG	0,33 ± 0,05	8,92 ± 0,68
LLI	2,54 ± 0,30	5,25 ± 0,89
LNO	1,14 ± 0,08	6,50 ± 1,08
LJA	0,22 ± 0,05	6,46 ± 0,72
RDL	0,20 ± 0,04	4,91 ± 0,44
RDR	0,29 ± 0,04	5,43 ± 0,83
LAO	1,46 ± 0,15	8,27 ± 0,65
LAL	1,58 ± 0,21	6,82 ± 0,24
LMO	0,42 ± 0,01	6,66 ± 0,90
RDF	2,20 ± 0,43	4,26 ± 0,34

Tabela 39: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) mensurados em amostras de zooplâncton coletados na campanha 1 (Setembro/Octubro 2018) do monitoramento dulcícola e estuário. Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (EP) (n=5).

<b>Zooplâncton - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)</b>		
<b>Ponto</b>	<b>Lipoperoxidação (nmol MDA/mg ptna)</b>	<b>Metalotioneína (µg MT/mg ptna)</b>
BRG	2,22 ± 0,52	7,56 ± 1,16
LLI	4,12 ± 1,27	8,98 ± 3,19
LNO	2,14 ± 0,40	7,47 ± 0,63
LJA	2,82 ± 0,64	9,40 ± 0,96
RDL	1,29 ± 0,17	11,75 ± 0,54
RDR	6,74 ± 1,17	44,47 ± 11,16
LAO	1,36 ± 0,65	11,03 ± 0,76
LAL	1,02 ± 0,17	11,20 ± 0,06
LMO	1,27 ± 0,57	6,63 ± 1,96
RDF	4,22 ± 1,07	8,07 ± 2,84

Tabela 40: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) mensurados em amostras de zooplâncton coletados na campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola e estuário. Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (EP) (n=5).

<b>Zooplâncton - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)</b>		
<b>Ponto</b>	<b>Lipoperoxidação (nmol MDA/mg ptna)</b>	<b>Metalotioneína (µg MT/ mg ptna)</b>
BRG	0,72 ± 0,02	9,38 ± 0,68
LLI	4,13 ± 0,28	4,39 ± 0,44
LNO	4,12 ± 0,70	5,99 ± 0,63
LJA	2,44 ± 1,03	7,69 ± 0,98
RDL	0,44 ± 0,09	7,36 ± 0,76
RDR	2,29 ± 0,71	19,20 ± 3,91
LAO	0,99 ± 0,13	15,69 ± 3,57
LAL	0,95 ± 0,12	8,13 ± 0,51
LMO	1,02 ± 0,13	3,09 ± 0,27
RDF	10,90 ± 3,75	5,62 ± 0,87

A análise de Componentes Principais, utilizada para detectar um padrão dos biomarcadores LPO e MT no fitoplâncton e zooplâncton junto do efeito da localidade e da sazonalidade, sob esses parâmetros, revelou como resultado primário 74,4% de variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões (Figura 122 e Tabela 41). O componente principal 1 integrou 49,3% dos dados e o componente principal 2 sumarizou 25,1% dos dados. Os biomarcadores LPO e MT, no zooplâncton, agruparam-se ao norte e a leste do biplot junto da estação amostral RDR da campanha 1. Os mesmos biomarcadores no

fitoplâncton agruparam-se ao sul e a leste do biplot acompanhando especialmente a estação amostral RDF na campanha 1. Os biomarcadores LPO e MT no fitoplâncton tiveram maior contribuição com o resultado da PC1 (Figura 123). O dano LPO no zooplâncton foi o biomarcador que mais contribuiu com a PC2 (Figura 124).

As estações amostrais que mais contribuíram com o agrupamento dos dados do componente principal 1 foi o ponto em RDR, RDF, LMO e RDL (Figura 125). Relativo ao componente principal 2, as estações com maior contribuição foram RDF, RDR, RDF e BRG (Figura 126).

Figura 122: Análise de Componentes Principais aplicada para os biomarcadores de lipoperoxidação (LPO) e concentração de metalotioneínas (MT) no fitoplâncton e zooplâncton coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *individuos* utilizados na análise categorizados por localidade: Rio Baixo Guandu (BRG), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2).

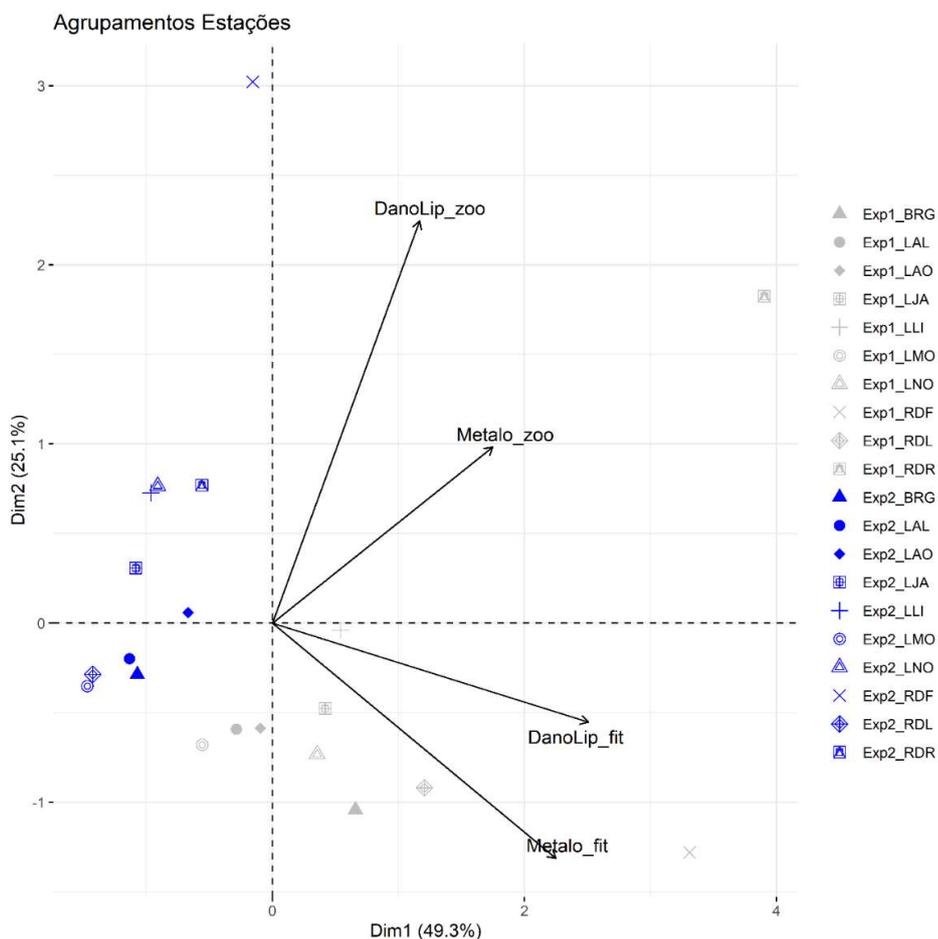


Tabela 41: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) de biomarcadores no fitoplâncton e zooplâncton.

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.1	1,97	49,27	49,27
Dim.2	1,00	25,12	74,38

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.3	0,73	18,31	92,69
Dim.4	0,29	7,31	100,00

Figura 123: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (LPO) e concentração de metalotioneínas (MT) no fitoplâncton e zooplâncton coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

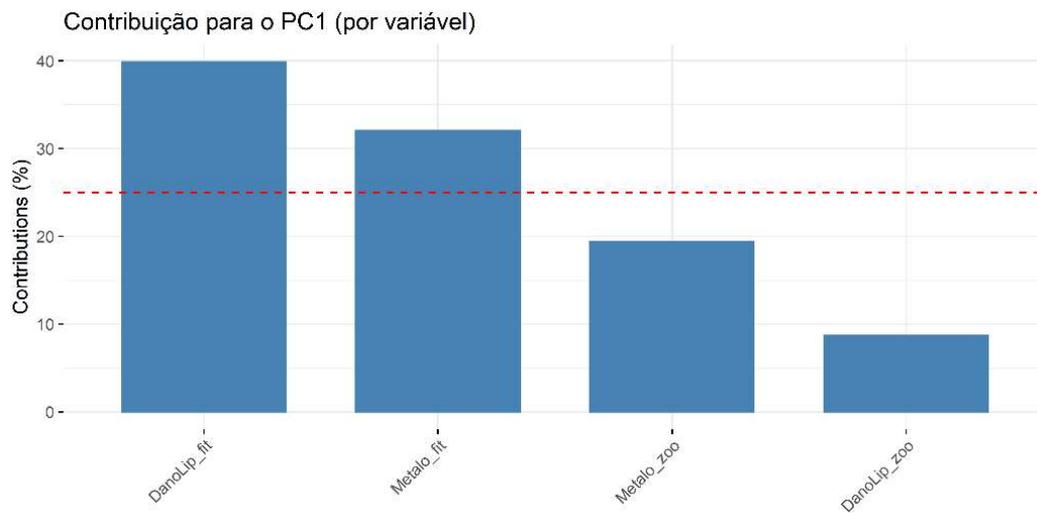


Figura 124: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (LPO) e concentração de metalotioneínas (MT) no fitoplâncton e zooplâncton coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

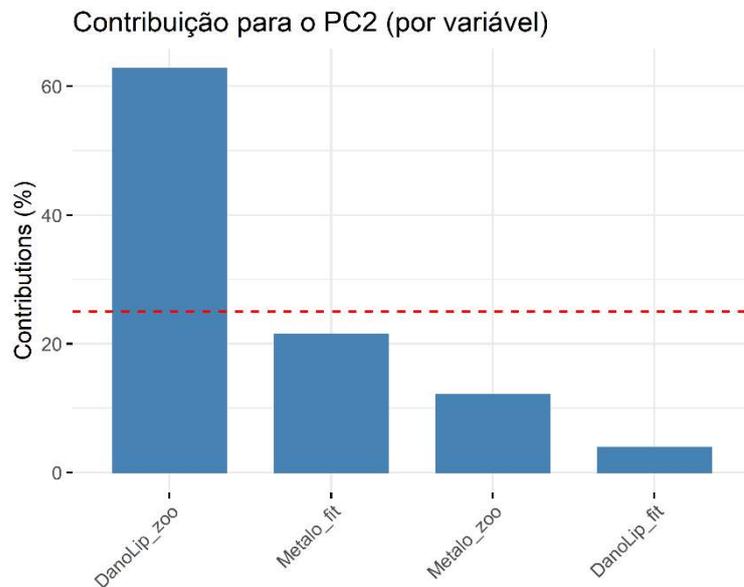


Figura 125: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores no fitoplâncton e zooplâncton. Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

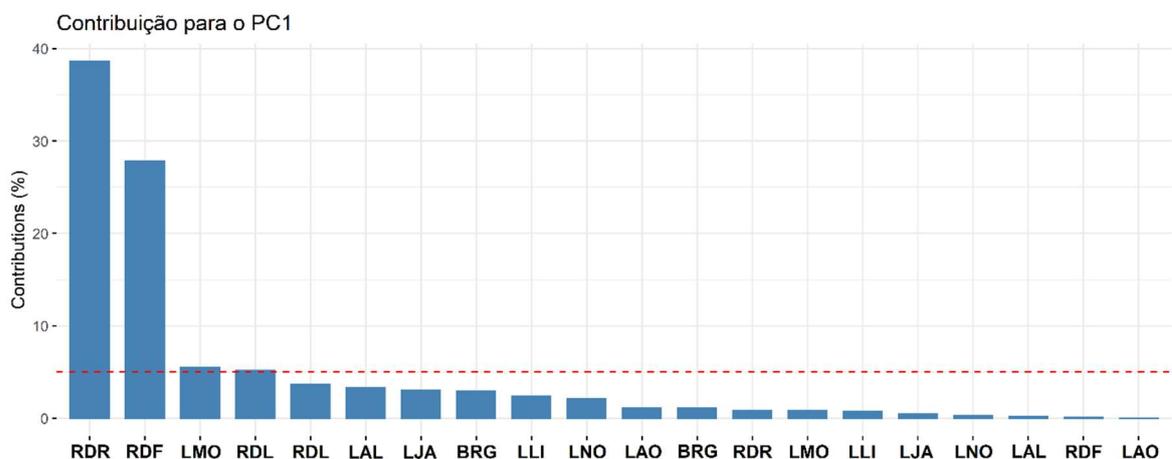
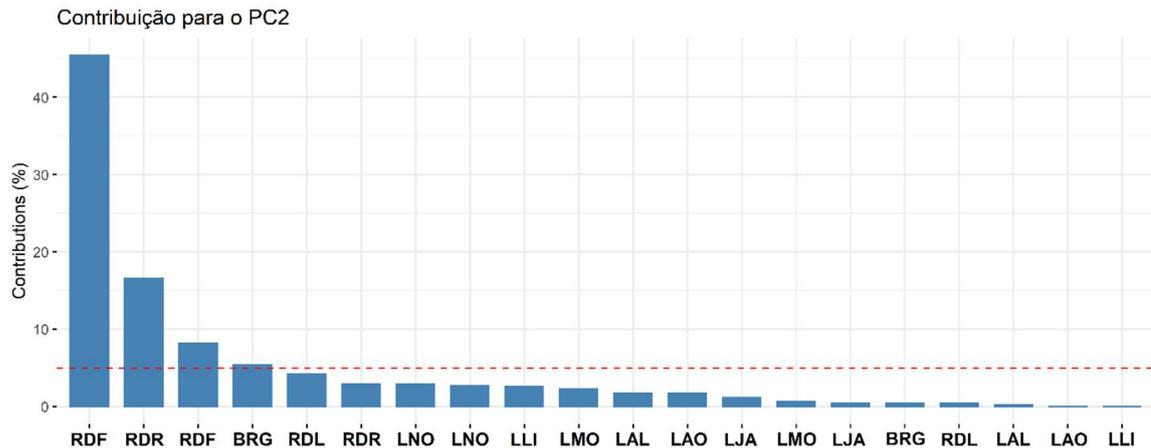


Figura 126: Contribuição em porcentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores no fitoplâncton e zooplâncton. Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.



### 3.1.7.2 Biomarcadores em larvas de quironomídeos

Nas larvas de quironomídeos ( $n=5$ ) foi avaliada a concentração de MTs e também a atividade da  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase (NKA) (Tabela 42). Os dados de concentração iônica corporal encontram-se em análise (EA). Dentre esses biomarcadores, as larvas coletadas em RDR expressaram maior concentração de MTs, enquanto que em LNO, RDL e RDR foi encontrada a menor atividade da enzima NKA.

Tabela 42: Concentração de metalotioneínas (MT;  $\mu\text{g MT/mg ptna}$ ) e atividade da  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase (NKA;  $\mu\text{M Pi/mg ptna/h}$ ) em larvas de quironomídeos amostradas na campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão (EP) ( $n=5$ ).

Larvas de quironomídeos - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)		
Ponto	MT ( $\mu\text{g MT/mg ptna}$ )	NKA ( $\mu\text{M Pi/mg ptna/h}$ )
BRG	36,23 $\pm$ 10,09	15,24 $\pm$ 3,39
LLI	39,23 $\pm$ 7,12	15,63 $\pm$ 1,33
LNO	35,55 $\pm$ 8,94	4,12 $\pm$ 0,83
LJA	36,19 $\pm$ 7,14	8,21 $\pm$ 3,25
RDL	28,71 $\pm$ 24,32	4,26 $\pm$ 1,51
RDR	82,47 $\pm$ 10,09	6,89 $\pm$ 2,60
LAO	51,23 $\pm$ 11,83	17,04 $\pm$ 3,54
LAL	19,85 $\pm$ 6,36	11,10 $\pm$ 1,52
LMO	27,43 $\pm$ 6,61	11,99 $\pm$ 2,82

### 3.1.7.3 Biomarcadores em camarão

No que tange aos camarões, o maior nível de dano lipídico (LPO) encontrado foi no hepatopâncreas dos espécimes coletados na campanha 1 em LNO ( $14,62 \pm 1,19$  nmol MDA/mg ptna) e em LJA ( $14,09 \pm 0,98$  nmol MDA/mg ptna) (Tabela 43). Na campanha 2, os camarões que mais exibiram lipoperoxidação no hepatopâncreas foram os coletados em BRG ( $16,75 \pm 2,32$  nmol MDA/mg ptna) e em LMO ( $15,74 \pm 2,14$  nmol MDA/mg ptna) (Tabela 44). Já nas brânquias, o maior nível de dano lipídico foi encontrado nos animais coletados na foz do Rio Doce (RDF) ( $3,02 \pm 0,67$  nmol MDA/mg ptna) da campanha 1. Houve pouca variação entre os valores de LPO encontrados na brânquia dos camarões amostrados em todos os pontos da campanha 2, sendo o maior valor determinado em LNO ( $5,17 \pm 0,66$  nmol MDA/mg ptna) e o menor valor encontrado em BRG ( $2,31 \pm 0,40$  nmol MDA/mg ptna).

Maiores valores médios de danos em proteínas (Oxidação de proteínas carboniladas - PCO) e conteúdo de metalotioneínas (MT) foram encontrados para os camarões coletados na Lagoa Monsarás (LMO) na campanha 1. Houve, também, maior dano proteico no músculo dos camarões amostrados em LMO na campanha 2 ( $28,97 \pm 7,90$  nmol PC/mg ptna). Por sua vez, na campanha 2, os camarões que mais apresentaram conteúdo de MTs no hepatopâncreas foram os coletados em LLI ( $9,55 \pm 1,11$  µg MT/mg ptna).

A atividade da  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase branquial (NKA) mostrou-se menor na brânquia dos animais coletados em RDF durante a campanha 1 ( $1,92 \pm 0,70$  µM Pi/mg ptna/h), enquanto que, na campanha 2, o menor valor encontrado foi em LAO ( $2,30 \pm 0,32$  µM Pi/mg ptna/h).

O valor encontrado para dano de DNA (sítios AP) na hemolinfa dos camarões amostrados durante a campanha 2 foi maior ao encontrado na campanha 1. Destacam-se os maiores valores de sítio AP nos camarões amostrados em LLI e LMO durante a campanha 2 ( $27,84 \pm 9,45$  e  $26,34 \pm 12,08$  Sítios AP /  $10^5$  bp, respectivamente), quando comparados aos outros pontos amostrados e ao obtido na campanha 1.

Tabela 43: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) na brânquia (B) e no hepatopâncreas (H), concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) no hepatopâncreas, oxidação de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg ptna) no músculo (M), atividade da  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase (NKA; µM Pi/mg ptna/h) nas brânquias e dano no DNA (sítio AP; Sítios AP/ $10^5$  bp) na hemolinfa (HEM) de camarões dulcícolas amostradas na campanha 1 (Setembro/Outubro 2018) do monitoramento dulcícola. Os resultados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão ( $n = 5$ ).

Camarão - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)						
Ponto	Hepatopâncreas		Músculo	Brânquia		Hemolinfa
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT (µg MT/mg ptna)	PCO (nmol PC/mg ptna)	NKA (µM Pi/mg ptna/h)	LPO (nmol MDA/mg ptna)	Sítios AP (Sítios AP/ $10^5$ bp)
BRG	$4,52 \pm 2,12$	$2,23 \pm 0,89$	$11,17 \pm 0,78$	$3,37 \pm 0,36$	$0,89 \pm 0,18$	$2,32 \pm 0,16$
LLI	$11,62 \pm 0,79$	$2,67 \pm 0,52$	$13,70 \pm 1,99$	$2,95 \pm 0,55$	$0,78 \pm 0,18$	$2,26 \pm 0,20$
LNO	$14,62 \pm 1,19$	$2,63 \pm 0,64$	$9,03 \pm 0,74$	$7,48 \pm 2,29$	$1,15 \pm 0,18$	$2,83 \pm 0,51$
LJA	$14,09 \pm 0,98$	$2,84 \pm 0,26$	$6,38 \pm 0,94$	$7,58 \pm 1,18$	$2,55 \pm 1,23$	$2,90 \pm 0,43$
RDL	$12,31 \pm 2,42$	$4,00 \pm 0,42$	$4,46 \pm 0,52$	$6,24 \pm 0,63$	$0,49 \pm 0,27$	1,21

RDR	11,52 ± 2,15	6,12 ± 1,76	6,68 ± 0,71	3,88 ± 0,75	0,89 ± 0,22	2,64 ± 0,32
LAO	10,20 ± 1,74	6,81 ± 1,40	6,06 ± 0,97	3,07 ± 0,45	1,05 ± 0,29	*
LAL	6,48 ± 1,50	3,45 ± 0,36	4,40 ± 0,63	3,19 ± 0,39	0,79 ± 0,20	1,72 ± 0,23
LMO	13,05 ± 2,42	15,02 ± 5,86	16,06 ± 4,00	3,68 ± 0,80	1,60 ± 0,35	1,91 ± 0,57
RDF	2,93 ± 0,99	10,45 ± 1,60	4,19 ± 0,55	1,92 ± 0,70	3,02 ± 0,67	1,34 ± 0,05

(\*) não há amostra ou não se aplica.

Tabela 44: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) na brânquia (B) e no hepatopâncreas (H), concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) no hepatopâncreas, oxidação de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg ptna) no músculo (M), atividade da Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>-ATPase (NKA; µM Pi/mg ptna/h) nas brânquias e dano no DNA (sítio AP; Sítios AP/10<sup>5</sup> bp) na hemolinfa (HEM) de camarões dulcícolas amostradas na campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (EP) (n = 5).

**Camarão - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

Ponto	Hepatopâncreas		Músculo	Brânquia		Hemolinfa
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT (µg MT/mg ptna)	PCO (nmol PC/mg ptna)	NKA (µM Pi/mg ptna/h)	LPO (nmol MDA/mg ptna)	Sítios AP (Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp)
BRG	16,75 ± 2,32	2,97 ± 0,60	10,15 ± 1,45	3,98 ± 0,65	2,31 ± 0,40	11,04 ± 2,4
LLI	12,97 ± 0,68	9,55 ± 1,11	10,36 ± 1,27	3,36 ± 0,83	3,73 ± 0,98	27,84 ± 9,45
LNO	13,09 ± 2,31	3,44 ± 0,76	20,39 ± 2,32	5,47 ± 1,92	5,17 ± 0,66	23,70 ± 8,97
LJA	13,65 ± 1,91	1,77 ± 0,24	23,49 ± 2,25	7,80 ± 3,38	4,92 ± 1,24	14,47 ± 4,25
RDL	13,04 ± 2,17	4,00 ± 0,42	4,46 ± 0,52	6,24 ± 0,63	3,89 ± 0,67	7,84 ± 0,82
RDR	4,76 ± 0,78	5,31 ± 1,37	6,01 ± 1,23	3,84 ± 1,11	2,46 ± 0,91	2,64 ± 0,32
LAO	5,72 ± 0,62	1,65 ± 0,44	3,71 ± 0,42*	2,30 ± 0,32	4,00 ± 0,97	17,67 ± 15,48
LAL	10,34 ± 1,04	3,19 ± 0,34	5,67 ± 1,42	8,26 ± 4,19	2,33 ± 0,70	6,26 ± 1,70
LMO	15,74 ± 2,14	4,88 ± 0,99	28,97 ± 7,90	15,10 ± 1,55	3,60 ± 0,97	26,34 ± 12,08
RDF	10,92 ± 1,47	6,45 ± 0,81	7,42 ± 0,62	6,38 ± 2,45	3,94 ± 0,75	9,96 ± 3,67

A análise de Componentes Principais, utilizada para detectar um padrão dos biomarcadores LPO na brânquia e no hepatopâncreas, MT no hepatopâncreas, oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo, atividade da Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase (NKA) na brânquia e dano no DNA (sítio AP) na hemolinfa de camarões, somado ao efeito da localidade e da sazonalidade, revelou como resultado primário 66,4% de variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões (Figura 127 e Tabela 45). O componente principal 1 integrou 48,3% dos dados e o componente principal 2 sumarizou 18,1% dos dados. Os biomarcadores LPO no hepatopâncreas, PCO no músculo e atividade da NKA nas brânquias agruparam-se a leste no quadrante positivo. Também a leste, porém no quadrante negativo, agrupam-se dano no DNA (sítio AP) na hemolinfa e LPO na brânquia dos camarões. Particularmente o biomarcador sítios AP acompanhou as localidades LJA e LNO da campanha 2. O conteúdo de MTs no hepatopâncreas dos camarões agrupou-se ao norte do biplot. Os biomarcadores sítios AP, atividade da NKA e PCO tiveram maior contribuição com o resultado da PC1 (Figura 128). Metalotioneínas (MT), LPO no hepatopâncreas e LPO na brânquia foram os biomarcadores que mais contribuíram com a PC2 (Figura 129).

As estações amostrais que mais cooperaram com o agrupamento dos dados do componente principal 1 foi o ponto em LMO, LJA, LNO, RDF, LAL e RDL (Figura 130). Relativo ao componente principal 2, as estações com maior contribuição foram LMO, LAO e RDL (Figura 131).

Figura 127: Análise de Componentes Principais aplicada para os biomarcadores lipoperoxidação (LPO) na brânquia (DanoLip\_b) e no hepatopâncreas (DanoLip\_h), concentração de metalotioneínas (MT) no hepatopâncreas (Metalto), oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), atividade de  $Na^+, K^+$ -ATPase nas brânquias (NKA) e dano no DNA sítio AP na hemolinfa de camarões (DanoDNA) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade: Rio Baixo Guandu (BRG), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2).

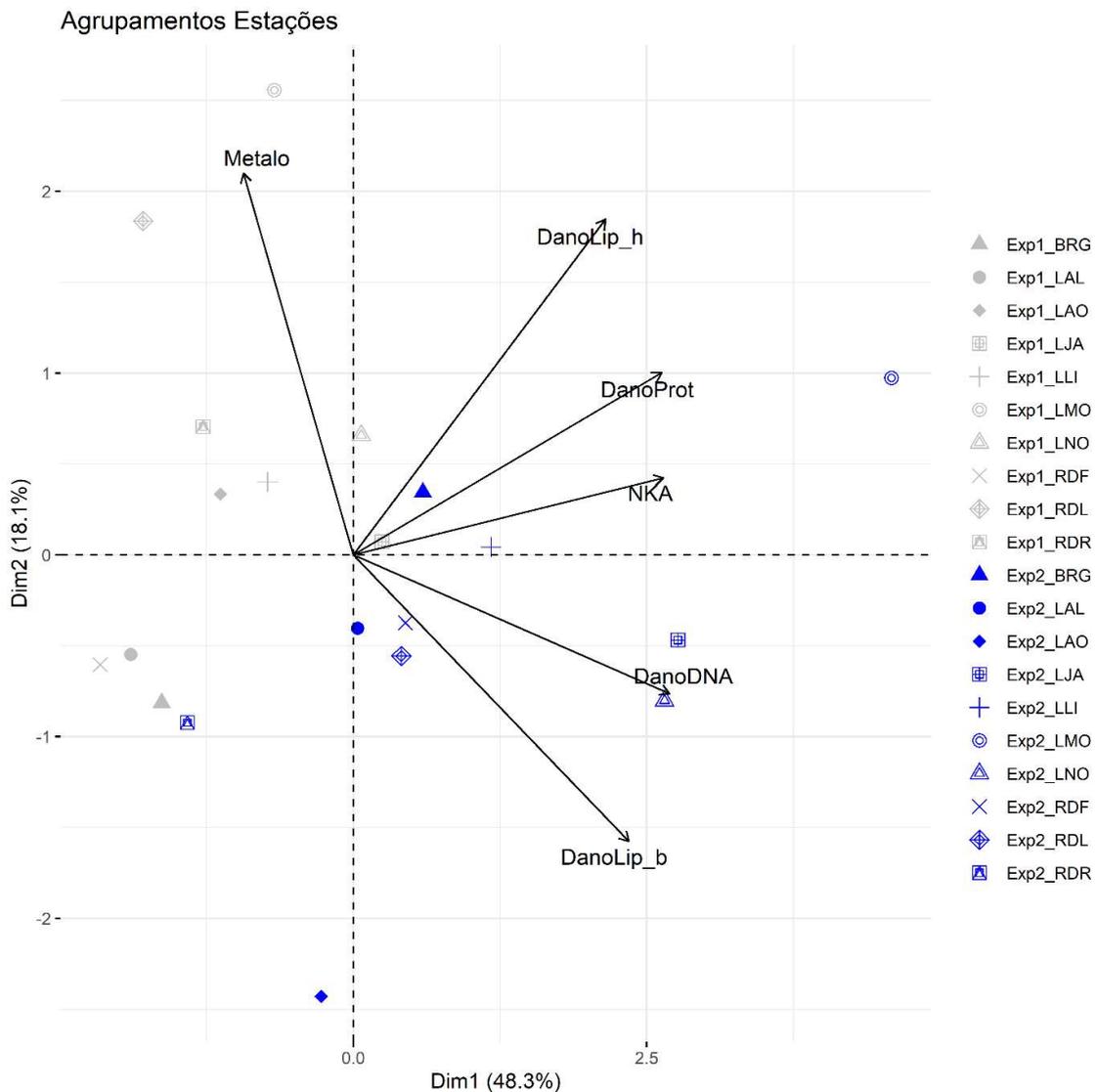


Tabela 45: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) de biomarcadores na brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarão.

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.1	2,90	48,28	48,28

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.2	1,09	18,13	66,41
Dim.3	0,97	16,22	82,63
Dim.4	0,46	7,64	90,26
Dim.5	0,38	6,29	96,55
Dim.6	0,21	3,45	100,00

Figura 128: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (LPO) na brânquia (DanoLip\_b) e no hepatopâncreas (DanoLip\_h), concentração de metalotioneínas (MT) no hepatopâncreas (Metalto), oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), atividade de Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>-ATPase nas brânquias (NKA) e dano no DNA sítio AP na hemolinfa de camarões (DanoDNA) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria 1 / comprimento (variáveis) = 1/6 = 16%. Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

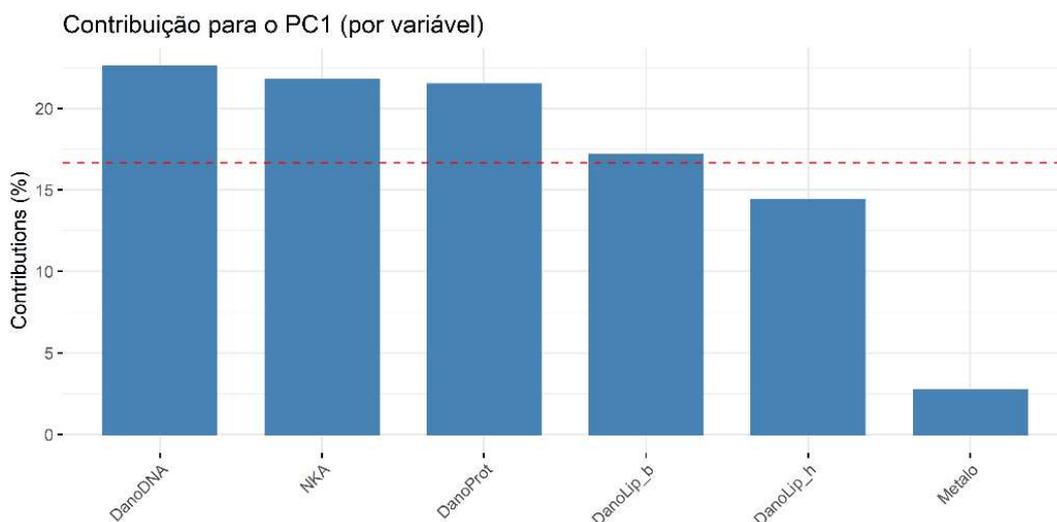


Figura 129: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (LPO) na brânquia (DanoLip\_b) e no hepatopâncreas (DanoLip\_h), concentração de metalotioneínas (MT) no hepatopâncreas (Metalto), oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), atividade da Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>-ATPase nas brânquias (NKA) e dano no DNA sítio AP na hemolinfa de camarões (DanoDNA) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/6 = 16\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

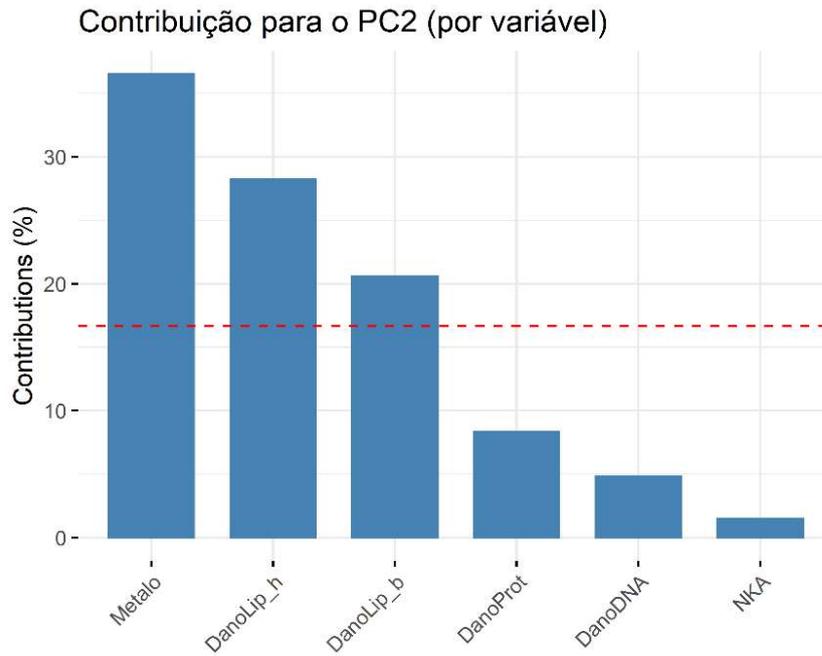


Figura 130: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores na hemolinfa, brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões. Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

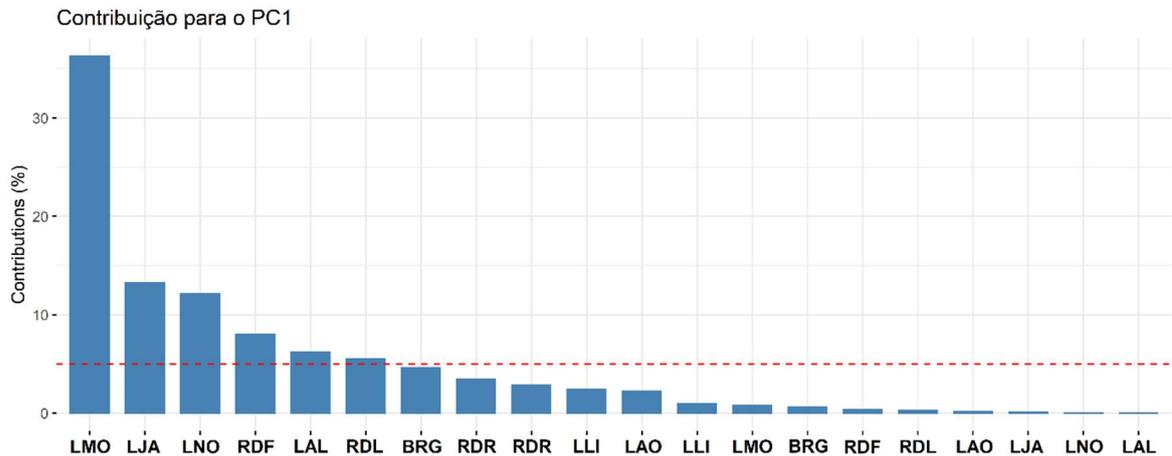
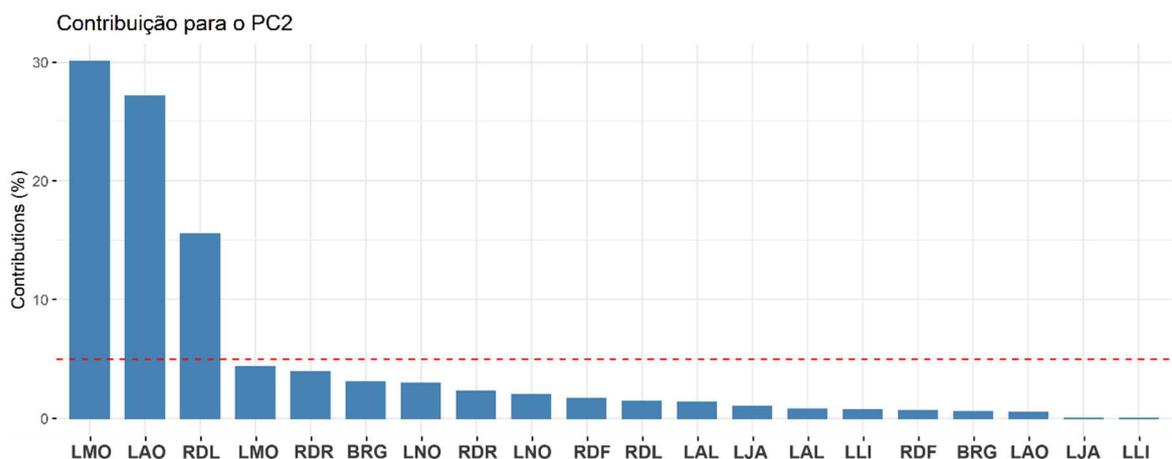


Figura 131: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores na hemolinfa, brânquia, hepatopâncreas e músculo de camarões. Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.



#### 3.1.7.4 Biomarcadores em Peixes

Os biomarcadores analisados nos peixes foram: lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) no fígado, oxidação de proteínas carboniladas

(PCO; nmol PC/mg ptna) no músculo, frequência de micronúcleos (MN; Frequência ‰), dano no DNA (sítio AP; Sítios AP/10<sup>5</sup> bp) e vitelogenina no sangue, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH) e malato-desidrogenase (MDH) no fígado e brânquia. Os resultados detalhados estão compilados nas tabelas subsequentes (Tabela 46 à Tabela 53). Os peixes onívoros/herbívoros, dentre os maiores valores de lipoperoxidação destaca-se o encontrado no fígado dos animais coletados nos pontos LJA ( $2,26 \pm 0,71$  nmol MDA/mg ptna) e em RDL ( $2,13 \pm 0,22$  nmol MDA/mg ptna) na campanha 1 (Tabela 46), e em RDL ( $1,54 \pm 0,46$  nmol MDA/mg ptna) na campanha 2 (Tabela 50). O conteúdo de MTs foi maior no fígado dos peixes amostrados em RDF ( $2,215 \pm 0,397$  µg MT/mg ptna), em RDL ( $2,215 \pm 0,397$  µg MT/mg ptna) e LAO ( $1,990 \pm 0,384$  µg MT/mg ptna) na campanha 1 (Tabela 46), e maior em LMO ( $3,36 \pm 0,50$  µg MT/mg ptna) na campanha 2 (Tabela 50).

A oxidação de proteínas carboniladas foi alta no músculo dos animais coletados em BRG ( $34,136 \pm 3,970$  nmol PC/mg ptna) da campanha 1 (Tabela 46) e em RDR ( $34,136 \pm 3,970$  nmol PC/mg ptna) e LLI ( $33,55 \pm 3,95$  nmol PC/mg ptna) da campanha 2 (Tabela 50).

A frequência de micronúcleos e sítios AP foram mais evidentes nos organismos amostrados na campanha 2, particularmente em RDL, onde a frequência de sítios AP foi de  $15,77 \pm 4,73$  Sítios AP/10<sup>5</sup> bp (Tabela 50).

No que se refere aos peixes do grupo II, a lipoperoxidação no fígado dos peixes carnívoros variou entre os pontos amostrados na campanha 1, particularmente em RDL ( $2,09 \pm 0,41$  nmol MDA/mg ptna) e em RDF ( $1,98 \pm 0,27$  nmol MDA/mg ptna) (Tabela 48), contudo, na campanha 2 as médias encontradas entre os pontos foram mais similares entre si (Tabela 52). Relativo ao biomarcador de exposição, a concentração de MTs nos peixes foi semelhante entre os pontos amostrados na campanha 1 e 2, sendo o menor valor observado nos animais amostrados em LNO ( $1,16 \pm 0,07$  µg MT/mg ptna) (Tabela 48 e Tabela 52).

No músculo dos peixes carnívoros houve grande oxidação de proteínas (PCO) na estação amostral LJA ( $17,35 \pm 4,37$  nmol PC/mg ptna) e RDF ( $18,63 \pm 3,64$  nmol PC/mg ptna) na campanha 1 (Tabela 48). Na campanha 2, destacam-se os valores amostrados no músculo dos organismos coletados em LLI ( $24,85 \pm 3,34$  nmol PC/mg ptna) e em LMO ( $20,54 \pm 1,80$  nmol PC/mg ptna) (Tabela 52).

Dentre os biomarcadores de efeito que detectam possíveis danos no DNA, a frequência de micronúcleo foi maior nos organismos coletados em LAL ( $4,14 \pm 1,33$ ) (Tabela 48 e Tabela 52) e o índice de sítios AP foi elevado em RDL ( $12,79 \pm 4,18$  Sítios AP/10<sup>5</sup> bp), ambos da campanha 2.

Tabela 46: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) no fígado (F), oxidação de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg ptna) no músculo (M), frequência de micronúcleos (MN; Frequência ‰), dano no DNA (sítio AP; Sítios AP/10<sup>5</sup> bp) e vitelogenina no sangue (unidade arbitrária), de peixes onívoros/herbívoros amostrados na campanha 1 (Setembro/Outubro 2018) do monitoramento dulcícola. Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (EP).

Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)						
Ponto	Fígado		Músculo	Sangue		
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT (µg MT/mg ptna)	PCO (nmol PC/mg ptna)	MN (Frequência ‰)	Sítios AP (Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp)	Vitelogenina (unidade arbitrária)
BRG	0,77 ± 0,08	1,431 ± 0,209	34,136 ± 3,970	2,009 ± 0,517	7,071 ± 1,094	0,447 ± 0,159
LLI	0,80 ± 0,12	1,375 ± 0,410	28,852 ± 5,150	1,000 ± 0,509	4,343 ± 0,416	0,936 ± 0,194
LNO	0,76 ± 0,06	1,289 ± 0,209	24,943 ± 3,869	0,909 ± 0,256	4,847 ± 1,614	1,393 ± 0,107
LJA	2,26 ± 0,71	1,289 ± 0,209	6,942 ± 1,270	0,250 ± 0,144	5,253 ± 0,683	0,743
RDL	2,13 ± 0,22	*	12,208 ± 4,589	1,125 ± 0,310	8,560 ± 0,713	*
RDR	1,36 ± 0,28	1,917 ± 0,283	13,230 ± 2,874	0,944 ± 0,517	9,194 ± 3,458	1,009 ± 0,068
LAO	1,34	*	5,007	3,5	9,357	1,799
LAL	1,41 ± 0,18	1,990 ± 0,384	7,160 ± 1,247	0,500 ± 0,253	3,818 ± 0,346	1,180
LMO	1,90 ± 0,48	0,842 ± 0,233	9,163 ± 2,275	0,563 ± 0,240	8,068 ± 2,370	*
RDF	1,84 ± 0,35	2,215 ± 0,397	3,888 ± 0,836	0,750 ± 0,144	18,447 ± 3,845	0,760

(\*) não há amostra ou não se aplica.

Tabela 47: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenas (LDH), malato desidrogenase (MDH) e índices de lesões histopatológicas (IL) nos peixes dulcícolas do grupo I coletados nas estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018).

Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)					
Ponto	Tecido	SOD	CAT	LDH	MDH
BRG	F	856,401 ± 120,288	2,0044 ± 0,2456	0,260 ± 0,086	0,769 ± 0,094
	B	160,357 ± 34,317	0,230 ± 0,050	0,433 ± 0,071	0,672 ± 0,135
LLI	F	1200,82	0,9363	0,0939	1,5747
	B	268,0038	0,2255	0,6179	1,2463
LNO	F	920,615 ± 279,559	1,5223 ± 0,2971	0,411 ± 0,133	1,223 ± 0,251
	B	137,066 ± 27,200	0,200 ± 0,046	0,450 ± 0,087	0,409 ± 0,046
LJA	F	427,432 ± 75,637	1,0087 ± 0,2123	0,0460 ± 0,0080	0,9629 ± 0,1544
	B	54,216 ± 8,351	0,0896 ± 0,0196	0,4835 ± 0,0519	0,5021 ± 0,0643
RDL	F	1774,039 ± 790,284	2,3704 ± 0,4419	0,0470 ± 0,0247	1,3899 ± 0,4074
	B	52,922 ± 6,890	0,2077 ± 0,0345	0,212 ± 0,1001	0,904 ± 0,4317
RDR	F	1082,413 ± 258,050	2,8879 ± 0,3633	0,5052 ± 0,2503	1,5047 ± 0,1255
	B	77,474 ± 11,881	0,1184 ± 0,0169	0,3456 ± 0,0702	0,4827 ± 0,0497
LAO	F	306,95	1,5404	0,0032	1,5406
	B	*	*	*	*
LAL	F	1240,286 ± 302,7770	2,3926 ± 0,5211	0,3447 ± 0,2391	1,5892 ± 0,4255

**Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)**

Ponto	Tecido	SOD	CAT	LDH	MDH
	B	71,5073 ± 9,4778	0,1554 ± 0,0332	0,5216 ± 0,0938	0,6571 ± 0,0861
LMO	F	1187,698 ± 329,850	3,8100 ± 0,4857	0,1003 ± 0,0458	1,9209 ± 0,4497
	B	105,232 ± 27,130	0,3657 ± 0,0764	0,223 ± 0,051	0,521 ± 0,091
RDF	F	1583,386 ± 337,464	1,8456 ± 0,3905	0,057 ± 0,012	1,157 ± 0,285
	B	172,153 ± 48,082	0,207 ± 0,032	0,312 ± 0,034	0,549 ± 0,068

(\*) não há amostra ou não se aplica.

Tabela 48: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) no fígado (F), oxidação de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg ptna) no músculo (M), frequência de micronúcleos (MN; Frequência ‰), dano no DNA (sítio AP; Sítios AP/10<sup>5</sup> bp) e vitelogenina no sangue (unidade arbitrária), de peixes carnívoros amostrados na campanha 1 (Setembro/Octubro 2018) do monitoramento dulcícola. Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (EP).

**Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)**

Ponto	Fígado		Músculo	Sangue		
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT (µg MT/mg ptna)	PCO (nmol PC/mg ptna)	MN (Frequência ‰)	Sítios AP (Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp)	Vitelogenina (unidade arbitrária)
BRG	0,86	2,54	9,34 ± 2,58	2	6,198	0,041
LLI	0,73 ± 0,06	1,64 ± 0,30	9,97 ± 1,15	0,83 ± 0,31	5,710 ± 3,561	0,100 ± 0,010
LNO	*	*	1,54	0,31 ± 0,13	5,720 ± 1,604	1,393 ± 0,107
LJA	1,07 ± 0,12	1,88 ± 0,68	17,35 ± 4,37	0,67 ± 0,36	3,785 ± 0,538	0,570 ± 0,051
RDL	2,09 ± 0,41	**	7,60 ± 2,12	0,50 ± 0,20	2,227 ± 0,333	*
RDR	1,02 ± 0,42	2,19 ± 0,34	5,67 ± 4,42	0,50 ± 0,50	2,908 ± 1,162	0,053
LAO	1,72 ± 0,25	1,93 ± 0,24	6,75 ± 1,78	0,64 ± 0,23	14,198 ± 1,043	0,916 ± 0,296
LAL	1,59 ± 0,45	2,49 ± 0,11	3,62 ± 0,90	0,50 ± 0,14	4,211 ± 0,590	0,076 ± 0,004
LMO	0,52	*	11,01 ± 1,28	0,33 ± 0,17	3,799 ± 1,961	0,285 ± 0,084
RDF	1,98 ± 0,27	2,27 ± 1,12	18,63 ± 3,64	0,79 ± 0,32	14,545 ± 2,404	0,686 ± 0,082

(\*) não há amostra ou não se aplica.

Tabela 49: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenase (LDH) e malato desidrogenase (MDH) nos peixes dulcícolas do grupo II coletados nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018).

**Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)**

Ponto	T	SOD	CAT	LDH	MDH
BRG	F	844,608	1,193	0,035	0,645
	B	96,181	0,177	0,410	0,348
LLI	F	729,411 ± 225,368	1,288 ± 0,179	0,070 ± 0,007	0,570 ± 0,065
	B	118,792 ± 35,973	0,209 ± 0,079	0,517 ± 0,076	0,570 ± 0,047
LNO	F	608,915 ± 107,233	1,364 ± 0,100	0,147 ± 0,021	1,352 ± 0,191
	B	81,956 ± 15,016	0,066 ± 0,021	0,50 ± 0,069	0,577 ± 0,080
LJA	F	962,796 ± 151,358	1,500 ± 0,316	0,134 ± 0,035	1,647 ± 0,189
	B	151,264 ± 30,852	0,168 ± 0,033	0,533 ± 0,058	0,842 ± 0,200

**Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 1 (Setembro/Octubre 2018)**

Ponto	T	SOD	CAT	LDH	MDH
RDL	F	1433,588 ± 325,368	4,324 ± 1,345	0,059 ± 0,025	2,901 ± 0,671
	B	181,857 ± 65,156	0,658 ± 0,378	0,436 ± 0,186	1,353 ± 0,476
RDR	F	1274,405 ± 686,376	3,158	0,084 ± 0,028	2,067 ± 0,128
	B	118,120 ± 55,086	0,087 ± 0,005	0,337 ± 0,063	0,586 ± 0,082
LAO	F	532,522 ± 181,950	1,305 ± 0,378	0,163 ± 0,047	1,507 ± 0,365
	B	99,047 ± 32,219	0,110 ± 0,025	0,408 ± 0,044	0,505 ± 0,061
LAL	F	1104,608 ± 381,585	2,633 ± 0,287	0,493 ± 0,210	1,940 ± 0,188
	B	130,721 ± 39,945	0,209 ± 0,015	0,504 ± 0,133	0,719 ± 0,075
LMO	F	953,131 ± 257,829	2,971 ± 0,851	0,085 ± 0,001	0,417 ± 0,352
	B	38,036 ± 9,646	0,283 ± 0,065	0,297 ± 0,111	0,488 ± 0,216
RDF	F	957,192 ± 181,482	2,538 ± 0,430	0,076 ± 0,019	1,947 ± 0,288
	B	57,306 ± 5,988	0,129 ± 0,019	0,315 ± 0,056	0,665 ± 0,048

Tabela 50: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) no fígado (F), oxidação de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg ptna) no músculo (M), frequência de micronúcleos (MN; Frequência ‰), dano no DNA (sítio AP; Sítios AP/10<sup>5</sup> bp) e vitelogenina no sangue (unidade arbitrária) de peixes onívoros/herbívoros amostrados na campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (EP).

**Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

Ponto	Fígado		Músculo	Sangue		
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT (µg MT/mg ptna)	PCO (nmol PC/mg ptna)	MN (Frequência ‰)	Sítios AP (Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp)	Vitelogenina (unidade arbitrária)
BRG	0,59 ± 0,13	2,03 ± 0,20	10,81 ± 1,01	3,07 ± 0,88	8,92 ± 0,62	1,165 ± 0,051
LLI	1,38 ± 0,31	2,10 ± 0,28	33,55 ± 3,95	2,41 ± 0,46	9,85 ± 1,00	0,944 ± 0,002
LNO	0,92 ± 0,25	1,47 ± 0,23	25,75 ± 3,19	2,81 ± 0,62	9,49 ± 0,69	1,293 ± 0,078
LJA	0,51 ± 0,10	0,98 ± 0,11	16,25 ± 1,68	2,89 ± 0,50	14,71 ± 1,56	1,139
RDL	1,54 ± 0,46	1,95 ± 0,29	12,82 ± 0,71	2,44 ± 0,68	9,36 ± 1,99	1,341 ± 0,107
RDR	0,60 ± 0,15	2,31 ± 0,37	34,11 ± 6,11	1,40 ± 0,67	15,77 ± 4,73	1,241 ± 0,114
LAO	0,42 ± 0,14	2,20 ± 0,29	12,74 ± 1,14	2,16 ± 0,53	7,17 ± 1,02	0,991 ± 0,081
LAL	1,00 ± 0,14	1,74 ± 0,17	10,47 ± 1,93	*	1,21 ± 0,31	0,962 ± 0,082
LMO	0,77 ± 0,17	3,36 ± 0,50	20,38 ± 1,94	*	1,92 ± 0,33	0,848 ± 0,027
RDF	0,60 ± 0,08	2,03 ± 0,22	14,39 ± 2,98	*	6,75 ± 1,19	*

(\*) não há amostra ou não se aplica.

Tabela 51: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenas (LDH), malato desidrogenase (MDH) e índices de lesões histopatológicas (IL) nos peixes dulcícolas do grupo I coletados nas estações amostrais durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019).

Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)					
Ponto	Tecido	SOD	CAT	LDH	MDH
BRG	F	574,85 ± 107,88	1,84 ± 0,13	0,113 ± 0,02	0,37 ± 0,04
	B	88,96 ± 11,72	0,102 ± 0,01	0,44 ± 0,03	0,53 ± 0,04
LLI	F	446,54 ± 52,93	1,09 ± 0,12	0,05 ± 0,008	0,25 ± 0,04
	B	60,14 ± 6,66	0,09 ± 0,01	0,42 ± 0,07	0,50 ± 0,07
LNO	F	705,24 ± 174,02	2,00 ± 0,35	0,10 ± 0,02	0,34 ± 0,07
	B	54,39 ± 7,94	0,07 ± 0,01	0,36 ± 0,07	0,35 ± 0,06
LJA	F	699,69 ± 113,09	1,65 ± 0,15	0,123 ± 0,03	0,32 ± 0,03
	B	75,04 ± 11,89	0,08 ± 0,01	0,32 ± 0,03	0,41 ± 0,03
RDL	F	520,62 ± 62,24	1,45 ± 0,24	0,05 ± 0,01	0,21 ± 0,01
	B	80,88 ± 7,43	0,09 ± 0,02	0,38 ± 0,07	0,40 ± 0,04
RDR	F	747,75 ± 231,16	2,14 ± 0,31	0,48 ± 0,09	0,41 ± 0,06
	B	94,26 ± 24,66	0,17 ± 0,03	0,28 ± 0,03	0,46 ± 0,07
LAO	F	653,66 ± 116,64	2,70 ± 0,28	0,17 ± 0,04	0,44 ± 0,05
	B	60,66 ± 7,19	0,09 ± 0,01	0,43 ± 0,11	0,41 ± 0,04
LAL	F	699,52 ± 85,71	1,66 ± 0,13	0,05 ± 0,08	0,31 ± 0,03
	B	75,24 ± 18,30	0,10 ± 0,16	0,35 ± 0,04	0,42 ± 0,04
LMO	F	691,69 ± 81,82	1,15 ± 0,10	0,10 ± 0,02	0,24 ± 0,03
	B	87,38 ± 10,39	0,09 ± 0,01	0,38 ± 0,04	0,47 ± 0,06
RDF	F	980,11 ± 320,33	2,83 ± 0,34	0,45 ± 0,10	0,52 ± 0,07
	B	56,84 ± 12,22	0,17 ± 0,01	0,23 ± 0,03	0,45 ± 0,05

(\*) não há amostra ou não se aplica.

Tabela 52: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) no fígado (F), oxidação de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg ptna) no músculo (M), frequência de micronúcleos (MN; Frequência ‰), dano no DNA (sítio AP; Sítios AP/10<sup>5</sup> bp) e vitelogenina no sangue (unidade arbitrária) de peixes carnívoros amostrados na campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do monitoramento dulcícola. Os resultados estão expressos como média ± erro padrão (EP).

Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)						
Ponto	Fígado		Músculo	Sangue		
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT (µg MT/mg ptna)	PCO (nmol PC/mg ptna)	MN (Frequência ‰)	Sítios AP (Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp)	Vitelogenina (unidade arbitrária)
BRG	0,43 ± 0,05	2,22 ± 0,29	17,46 ± 0,62	3,33 ± 0,88	11,97 ± 2,49	0,750 ± 0,028
LLI	0,89 ± 0,23	1,82 ± 0,30	24,85 ± 3,34	3,80 ± ,57	10,38 ± 1,11	1,110 ± 0,071
LNO	0,53 ± 0,12	1,16 ± 0,07	14,55 ± 1,16	2,66 ± 0,37	8,21 ± 1,08	1,546 ± 0,348
LJA	0,48 ± 0,05	1,634 ± 0,4654	13,89 ± 2,17	3,18 ± 0,68	7,07 ± 1,33	1,033 ± 0,046
RDL	0,59 ± 0,08	2,49 ± 0,55	14,89 ± 2,17	1,62 ± 0,53	12,79 ± 4,18	0,643 ± 0,060
RDR	0,68 ± 0,21	1,78 ± 0,42	14,92 ± 2,10	1,40 ± 0,67	6,38 ± 0,66	0,772

Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto	Fígado		Músculo	Sangue		
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT ( $\mu\text{g MT/mg ptna}$ )	PCO (nmol PC/mg ptna)	MN (Frequência %)	Sítios AP (Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp)	Vitelogenina (unidade arbitrária)
LAO	0,41 $\pm$ 0,04	1,73 $\pm$ 0,30	16,15 $\pm$ 1,76	2,83 $\pm$ 0,42	5,20 $\pm$ 0,37	0,701 $\pm$ 0,090
LAL	0,50 $\pm$ 0,10	1,65 $\pm$ 0,10	16,15 $\pm$ 1,76	4,14 $\pm$ 1,33	7,48 $\pm$ 1,43	0,481
LMO	0,57 $\pm$ 0,13	1,69 $\pm$ 0,30	20,54 $\pm$ 1,80	2,41 $\pm$ 0,58	9,94 $\pm$ 2,10	0,985 $\pm$ 0,079
RDF	0,86 $\pm$ 0,12	2,26 $\pm$ 0,21	11,79 $\pm$ 3,33	1,25 $\pm$ 0,47	3,58 $\pm$ 0,43	0,565 $\pm$ 0,028

Tabela 53: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenas (LDH) e malato desidrogenase (MDH) nos peixes dulcícolas do grupo II coletados nas estações amostrais durante a Campanha 2 (Jan/Fev 2019).

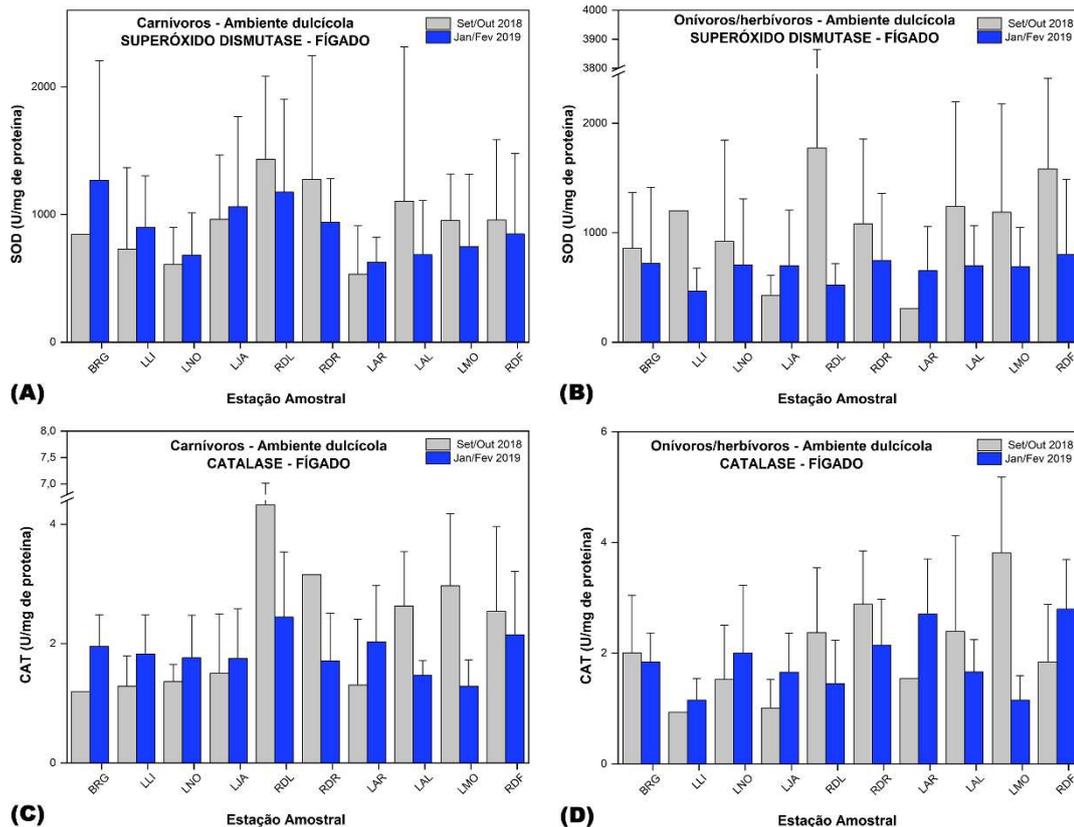
Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto	T	SOD	CAT	LDH	MDH
BRG	F	1269,41 $\pm$ 417,16	1,95 $\pm$ 0,24	0,06 $\pm$ 0,03	0,52 $\pm$ 0,05
	B	86,59 $\pm$ 23,69	0,12 $\pm$ 0,02	0,51 $\pm$ 0,11	0,66 $\pm$ 0,14
LLI	F	900,12 $\pm$ 127,89	1,82 $\pm$ 0,21	0,06 $\pm$ 0,03	0,41 $\pm$ 0,09
	B	80,60 $\pm$ 18,37	0,12 $\pm$ 0,01	0,31 $\pm$ 0,06	0,36 $\pm$ 0,06
LNO	F	681,68 $\pm$ 99,61	1,76 $\pm$ 0,22	0,11 $\pm$ 0,04	0,37 $\pm$ 0,06
	B	72,65 $\pm$ 10,37	0,08 $\pm$ 0,02	0,32 $\pm$ 0,08	0,38 $\pm$ 0,06
LJA	F	1060,38 $\pm$ 203,77	1,75 $\pm$ 0,24	0,06 $\pm$ 0,02	0,44 $\pm$ 0,08
	B	86,15 $\pm$ 13,99	0,10 $\pm$ 0,02	0,38 $\pm$ 0,11	0,44 $\pm$ 0,09
RDL	F	1044,87 $\pm$ 210,64	2,09 $\pm$ 0,31	0,13 $\pm$ 0,04	0,37 $\pm$ 0,07
	B	71,28 $\pm$ 18,06	0,09 $\pm$ 0,02	0,31 $\pm$ 0,04	0,43 $\pm$ 0,09
RDR	F	925,86 $\pm$ 153,44	1,65 $\pm$ 0,36	0,13 $\pm$ 0,04	0,31 $\pm$ 0,04
	B	83,42 $\pm$ 23,93	0,15 $\pm$ 0,02	0,44 $\pm$ 0,05	0,51 $\pm$ 0,13
LAO	F	626,57 $\pm$ 56,13	2,02 $\pm$ 0,27	0,05 $\pm$ 0,02	0,39 $\pm$ 0,05
	B	90,04 $\pm$ 15,11	0,13 $\pm$ 0,02	0,30 $\pm$ 0,05	0,42 $\pm$ 0,04
LAL	F	684,75 $\pm$ 300,00	1,46 $\pm$ 0,18	0,02 $\pm$ 0,02	0,26 $\pm$ 0,03
	B	115,51 $\pm$ 4,14	0,16 $\pm$ 0,10	0,18 $\pm$ 0,05	0,30 $\pm$ 0,07
LMO	F	748,79 $\pm$ 214,19	1,28 $\pm$ 0,17	0,04 $\pm$ 0,01	0,32 $\pm$ 0,07
	B	47,68 $\pm$ 6,98	0,10 $\pm$ 0,02	0,41 $\pm$ 0,07	0,52 $\pm$ 0,08
RDF	F	847,32 $\pm$ 199,55	2,14 $\pm$ 0,34	0,30 $\pm$ 0,10	0,53 $\pm$ 0,06
	B	64,33 $\pm$ 7,90	0,17 $\pm$ 0,03	0,41 $\pm$ 0,16	0,48 $\pm$ 0,03

A avaliação dos efeitos metabólicos no fígado das espécies de peixes carnívoros e onívoros/herbívoros coletados no ambiente dulcícola (período seco e chuvoso) foi realizada por meio da análise do comportamento enzimático de quatro enzimas: duas do metabolismo antioxidante celular, superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), e duas do metabolismo energético, lactato desidrogenase (LDH) e malato desidrogenase (MDH) (Tabela 47; Tabela 49; Tabela 51 160 e Tabela 53).

O perfil enzimático obtido dos biomarcadores do metabolismo antioxidante celular SOD e CAT do tecido hepático nos períodos seco (Campanha 1; Set/Out 2018) e chuvoso (Campanha 2; Jan/Fev 2019) pode ser observado na Figura 132.

Figura 132: Atividade das enzimas do metabolismo antioxidante celular do fígado de animais coletados no ambiente dulcícola na campanha 1 (estação seca; Set/Out 2018) e campanha 2 (chuvosa; Jan/Fev 2019). A: atividade de SOD nos animais carnívoros (grupo II); B: atividade de SOD nos animais onívoros/herbívoros (grupo I); C: atividade de CAT nos animais carnívoros (grupo II); e D: atividade de CAT nos animais onívoros/herbívoros (grupo I). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  desvio padrão (DP).



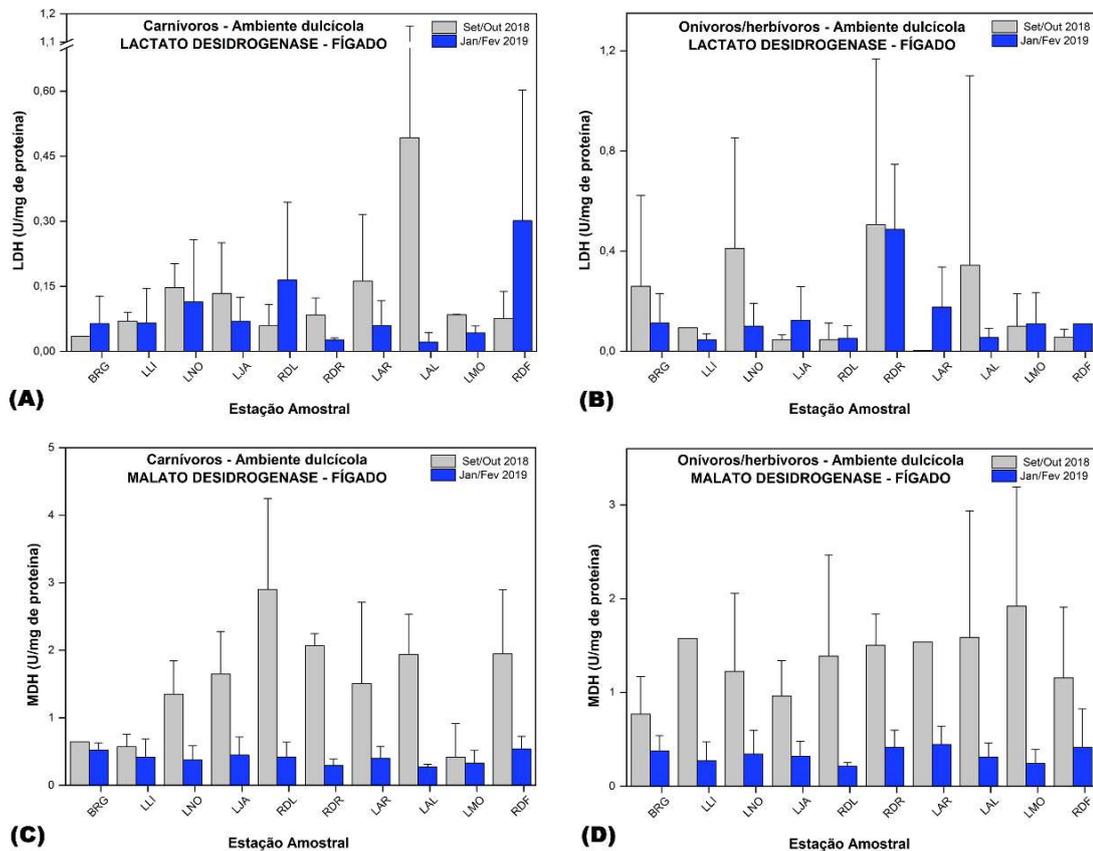
De modo geral, os valores da atividade da SOD não se alteraram no período chuvoso em ambas as guildas tróficas (carnívoros e onívoros/herbívoros) quando comparados ao período seco. Entretanto, foi observada tendência à redução dos níveis dessa enzima em pontos da foz do Rio Doce (RDF) e próximo à foz (LMO), tanto nos animais carnívoros quanto onívoros/herbívoros, comparando-se os períodos seco e chuvoso.

O perfil enzimático da CAT no fígado dos animais coletados no ambiente dulcícola apresentou resultados variáveis entre as guildas tróficas. Para os animais carnívoros, houve tendência ao aumento dos níveis dessa enzima nos pontos LLI, LNO e LAO, quando comparamos os períodos seco e chuvoso. Comportamento inverso, ou seja, redução nos níveis dessa enzima, no tecido hepático dos animais carnívoros do ambiente dulcícola foi observado nos pontos LAL e LMO, que são pontos mais próximos à foz do Rio Doce.

Os valores obtidos para atividade da CAT no tecido hepático dos peixes desse mesmo ambiente, porém dos animais onívoros/herbívoros, mostraram que os níveis da enzima se mantiveram na maioria dos pontos amostrados, exceto nos pontos RDL, RDR e LMO, onde houve redução e no ponto RDF que apresentou aumento, ao comparar as estações seca e chuvosa.

A Figura 133 apresenta o perfil enzimático das enzimas do metabolismo energético LDH e MDH do fígado de animais coletados no ambiente dulcícola na campanha 1 (estação seca; Set/Out 2018) e campanha 2 (chuvosa; Jan/Fev 2019).

Figura 133: Atividade das enzimas do metabolismo energético do fígado de animais coletados no ambiente dulcícola na campanha 1 (estação seca; Set/Out 2018) e campanha 2 (chuvosa; Jan/Fev 2019). A: atividade de LDH nos animais carnívoros (grupo II); B: atividade de LDH nos animais onívoros/herbívoros (grupo I); C: atividade de MDH nos animais carnívoros (grupo II) e D: atividade de MDH nos animais onívoros/herbívoros (grupo I). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  desvio padrão (DP).

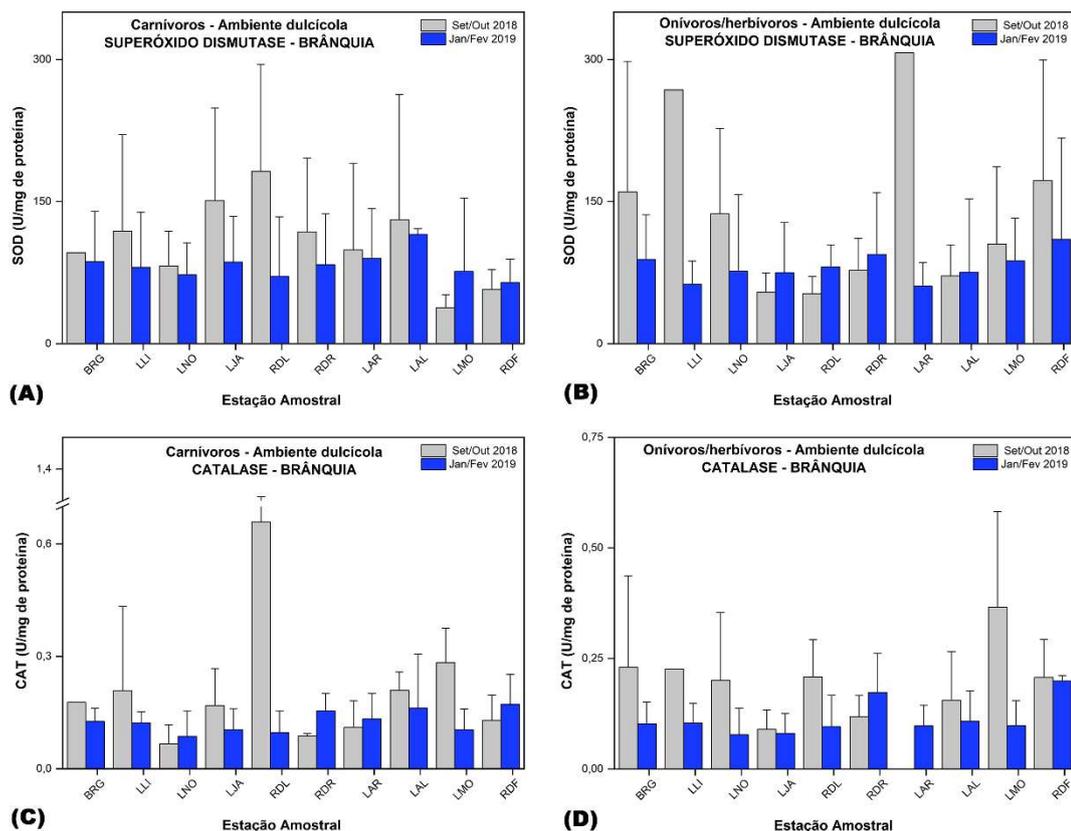


A análise da enzima LDH mostrou que os valores da atividade no fígado dos peixes carnívoros e onívoros/herbívoros tenderam à redução. Exceção a essa tendência foram os grupos de carnívoros do ponto RDF e onívoros/herbívoros do ponto LJA. A redução da atividade enzimática da MDH em tecido hepático dos peixes coletados no ambiente dulcícola, na estação chuvosa, quando comparada à seca, foi comum tanto para carnívoros quanto para onívoros/herbívoros, em todos os pontos de coleta. Assim como para o tecido hepático dos peixes coletados no ambiente dulcícola, as enzimas SOD, CAT, LDH e MDH foram utilizadas como biomarcadores das brânquias.

No tecido branquial, a enzima SOD manteve-se com níveis constantes na maioria dos pontos de coletas, com exceção dos pontos LJA e RDL nos animais carnívoros. Os níveis dessa enzima nas brânquias dos peixes onívoros/herbívoros se mantiveram nos pontos BRG, LJA, RDR, LAL, LMO e RDF. Porém, tendência à redução foi observada no ponto LNO e de aumento no ponto RDL. Esses resultados podem ser observados na Figura 134.

A Figura 134 também traz informações sobre os níveis de CAT em brânquias dos peixes coletados no ambiente dulcícola nas estações seca (campanha 1; Set/Out 2018) e chuvosa (campanha 2; Jan/Fev 2019). Os resultados para essa enzima foram altamente variáveis no tecido branquial, assim como no tecido hepático. Considerando os valores dessa enzima nas brânquias dos animais carnívoros, houve redução dos níveis nos pontos LJA, RDL e LMO. Já os pontos LNO, RDR e RDF apresentaram tendência de aumentos dos níveis de CAT.

Figura 134: Atividade das enzimas do metabolismo antioxidante celular de brânquias de animais coletados no ambiente dulcícola na campanha 1 (estação seca; Set/Out 2018) e campanha 2 (chuvosa; Jan/Fev 2019). A: atividade de SOD nos animais carnívoros (grupo II); B: atividade de SOD nos animais onívoros/herbívoros (grupo I); C: atividade de CAT nos animais carnívoros (grupo II) e D: atividade de CAT nos animais onívoros/herbívoros (grupo I). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  desvio padrão (DP).

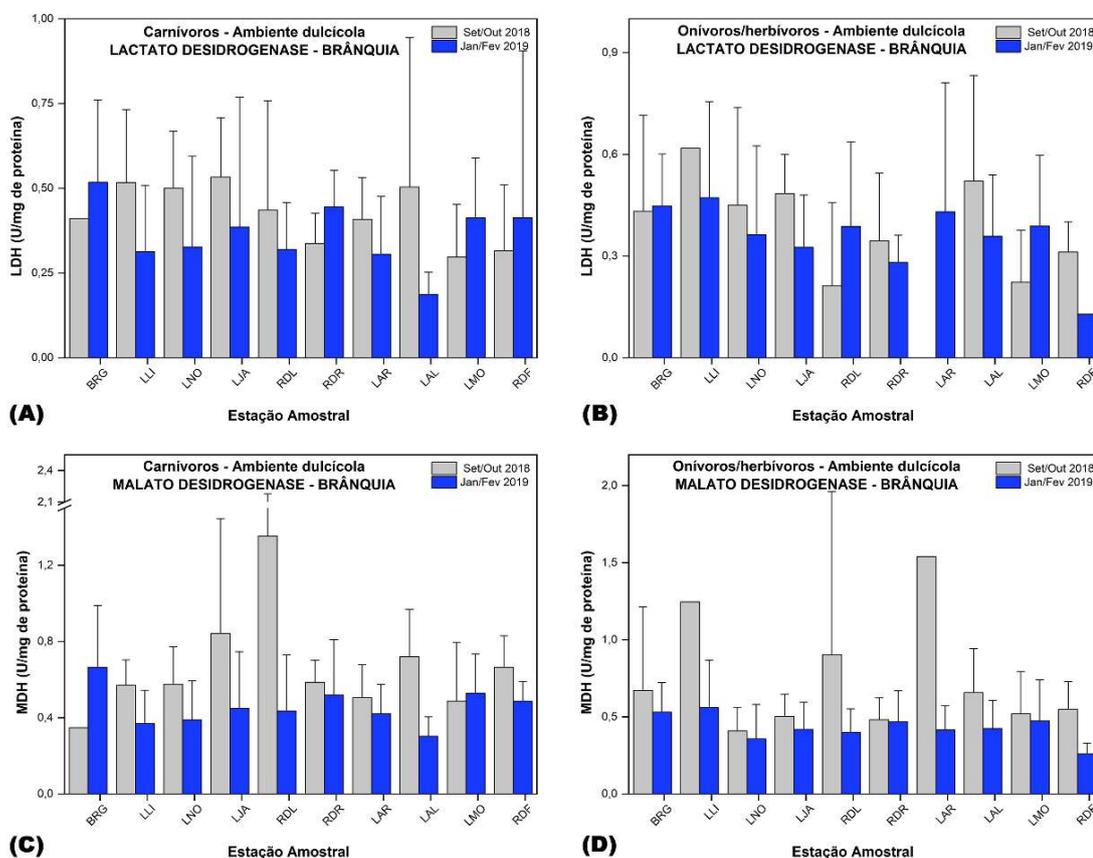


A análise da atividade enzimática de LDH mostrou que houve tendência à redução dos níveis no tecido branquial dos animais carnívoros, sendo esse resultado semelhante ao tecido hepático. Exceções a esse padrão, foram observadas nos pontos RDL e RDF onde os níveis foram mantidos e nos pontos RDR e LMO onde apresentou tendência ao aumento. Para os animais onívoros/herbívoros os pontos

BRG, LNO, RDL e RDR tenderam a manter os níveis, enquanto nos pontos LJA e LAL indicou tendência de redução e no ponto LMO ao aumento do nível dessa enzima (Figura 135).

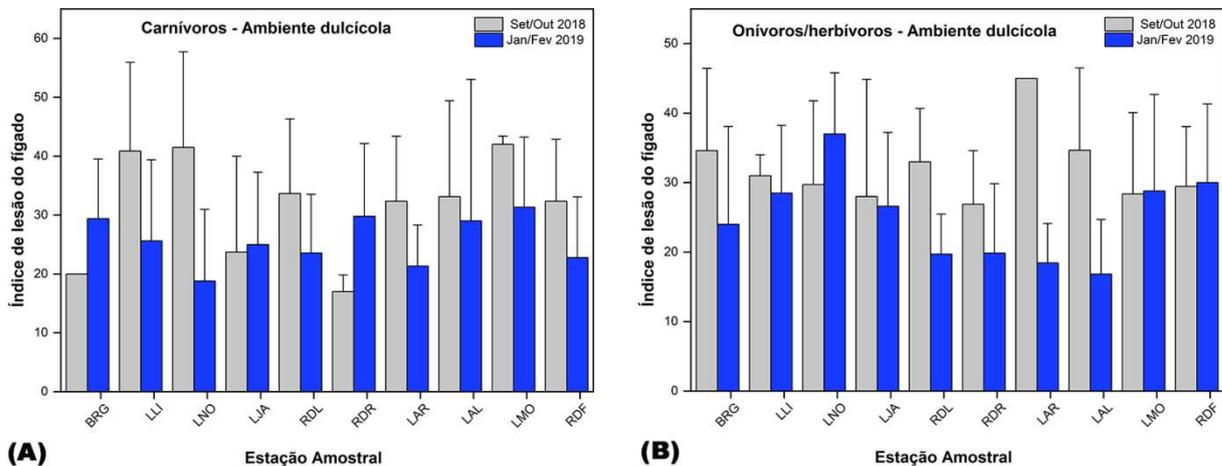
Os resultados da atividade da enzima MDH, apresentados na Figura 135, mostram que o tecido branquial dos peixes carnívoros tendeu à redução, exceto nos pontos RDR, LAR e LMO, onde houve tendência à manutenção dos níveis. Já os dados obtidos a partir da análise das brânquias dos peixes onívoros/herbívoros apresentaram níveis de MDH semelhantes, com exceção aos pontos LAL e RDF onde houve redução.

Figura 135: Atividade das enzimas do metabolismo energético nas brânquias de animais coletados no ambiente dulcícola na campanha 1 (estação seca; Set/Out 2018) e campanha 2 (chuvosa; Jan/Fev 2019). A: atividade de LDH nos animais carnívoros (grupo II); B: atividade de LDH nos animais onívoros/herbívoros (grupo I); C: atividade de MDH nos animais carnívoros (grupo II) e D: atividade de MDH nos animais onívoros/herbívoros (grupo I). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  desvio padrão (DP).



Os índices de lesões do fígado das espécies carnívoras e onívoras/herbívoras coletados no ambiente dulcícola (período seco e chuvoso) são apresentados na Figura 136.

Figura 136: Índices de lesões do fígado de animais coletados no ambiente dulcícola na campanha 1 (estação seca; Set/Out 2018) e campanha 2 (chuvosa; Jan/Fev 2019). A: animais carnívoros (grupo II) e B: animais onívoros/herbívoros (grupo I). Os resultados estão expressos em média ± desvio padrão (DP).



De modo geral, os índices de lesões do fígado reduziram ou não se alteraram no período chuvoso em ambas as guildas tróficas (carnívoros e onívoros/herbívoros) quando comparados ao período seco, exceto os animais carnívoros coletados nos pontos BRG (Baixo Rio Guandu) e RDR (Rio Doce, Regência). Nos animais onívoros/herbívoros, somente indivíduos coletados na Lagoa Nova (ponto LNO), apresentaram maior índice de lesão do fígado no período chuvoso em relação ao período de seca.

As alterações histopatológicas encontradas nos fígados dos peixes analisados no ambiente dulcícola, durante a estação chuvosa, foram semelhantes àquelas observadas na estação seca, no entanto houve variação na frequência das lesões entre as estações em estudo, sendo que a frequência das lesões reduziu na segunda amostragem, exceto a congestão de sinusóide (49% na chuvosa x 35% na seca). As lesões mais frequentes observadas no fígado durante a estação seca foram: necrose (75%), congestão de vasos sanguíneos (70%), alterações nucleares de hepatócitos (60%) e infiltrado inflamatório (57%) (Tabela 54 e Figura 137). Já na estação chuvosa, foram: congestão de vaso sanguíneo (51%), alterações nucleares de hepatócitos (50%), congestão de sinusóide (49%) e necrose (48%) (Tabela 55 e Figura 137). As demais lesões observadas, em ambas as estações, foram: inclusões citoplasmáticas, atrofia e hipertrofia de hepatócitos, centro de melanomacrófagos, tumores benignos e malignos e parasitas.

Tabela 54: Frequência (%) de alterações morfológicas no fígado de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais do ambiente dulcícola durante a campanha 1 (estação seca; Set/Out 2018). As lesões com frequência acima da média nos diferentes pontos amostrais foram destacadas em negrito.

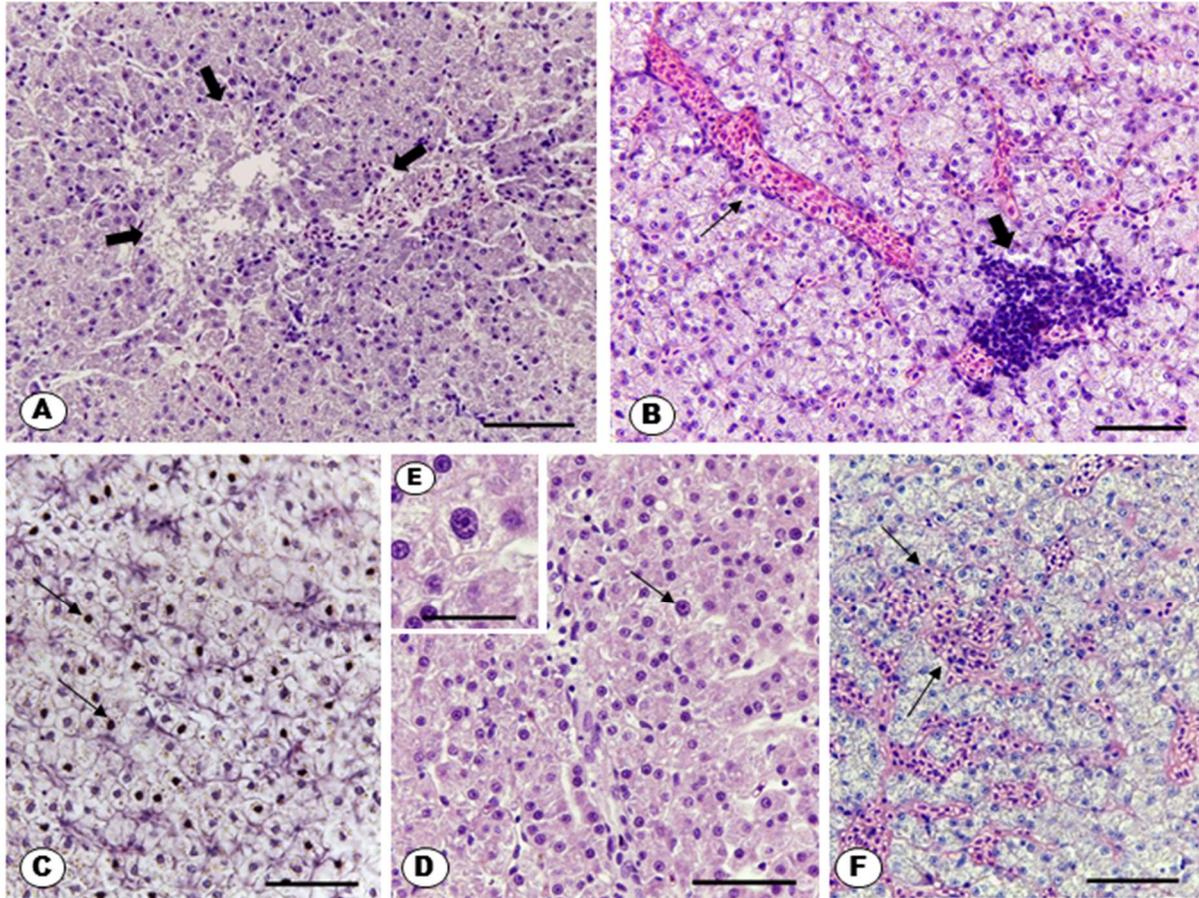
Lesões hepáticas (%)	BRG	LLI	LNO	LJA	RDL	RDR	LAO	LAL	LMO	RDF	Média
Congestão de sinusóide	<b>40</b>	30	28	18	<b>60</b>	<b>36</b>	31	<b>41</b>	30	35	<b>35</b>
Congestão de vaso	65	70	<b>72</b>	<b>76</b>	<b>80</b>	45	<b>92</b>	65	70	59	<b>70</b>
Alterações Citoplasmáticas	30	30	11	<b>47</b>	<b>50</b>	<b>64</b>	<b>54</b>	29	40	<b>76</b>	<b>43</b>
Inclusões Citoplasmáticas	10	10	<b>39</b>	6	10	9	<b>54</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	12	<b>21</b>

Lesões hepáticas (%)	BRG	LLI	LNO	LJA	RDL	RDR	LAO	LAL	LMO	RDF	Média
Alterações Nucleares	55	<b>70</b>	44	47	50	55	<b>77</b>	<b>65</b>	60	<b>76</b>	<b>60</b>
Atrofia	10	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>41</b>	10	0	8	<b>18</b>	0	0	<b>12</b>
Necrose	<b>80</b>	<b>90</b>	67	53	<b>90</b>	64	69	65	<b>90</b>	<b>82</b>	<b>75</b>
Hipertrofia dos Hepatócitos	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>56</b>	35	<b>60</b>	18	31	24	<b>50</b>	35	<b>41</b>
Centro de melanomacrófagos	<b>35</b>	0	<b>28</b>	6	0	<b>36</b>	8	<b>29</b>	20	<b>41</b>	<b>20</b>
Infiltrado Inflamatório	45	<b>90</b>	<b>61</b>	35	0	45	<b>92</b>	41	<b>80</b>	<b>76</b>	<b>57</b>
Tumor Benigno	<b>20</b>	<b>10</b>	0	0	<b>10</b>	0	0	0	<b>10</b>	0	<b>5</b>
Tumor Maligno	0	<b>20</b>	<b>6</b>	0	0	0	0	<b>12</b>	0	0	<b>4</b>
Parasita	5	<b>60</b>	<b>39</b>	<b>35</b>	30	27	<b>61</b>	24	10	6	<b>30</b>

Tabela 55: Frequência (%) de alterações morfológicas no fígado de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais do ambiente dulcícola durante a campanha 2 (estação chuvosa; Jan/Fev 2019). As lesões com alta frequência nos diferentes pontos amostrais foram destacadas em negrito.

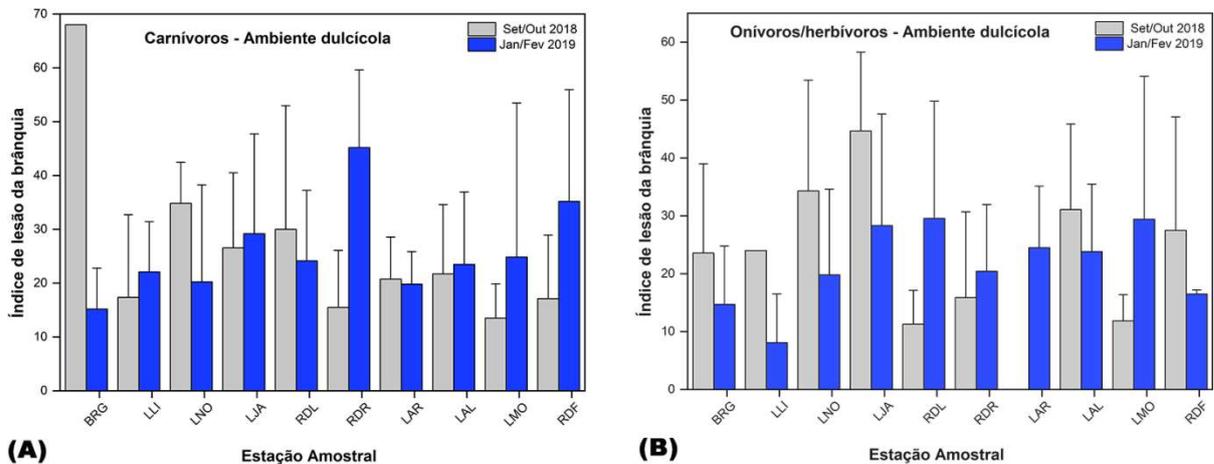
Lesões hepáticas (%)	BRG	LLI	LNO	LJA	RDL	RDR	LAO	LAL	LMO	RDF	Média
Congestão de sinusóide	<b>50</b>	45	<b>61</b>	<b>68</b>	42	30	<b>57</b>	45	<b>73</b>	18	<b>49</b>
Congestão de vaso	<b>65</b>	50	38	<b>62</b>	31	30	<b>61</b>	<b>75</b>	42	<b>54</b>	<b>51</b>
Alterações Citoplasmáticas	40	<b>45</b>	33	37	31	30	33	15	<b>80</b>	<b>72</b>	<b>42</b>
Inclusões Citoplasmáticas	<b>20</b>	<b>45</b>	0	12	10	4	<b>33</b>	<b>15</b>	7	0	<b>14</b>
Alterações Nucleares	<b>65</b>	35	42	<b>53</b>	47	21	<b>71</b>	50	<b>61</b>	<b>54</b>	<b>50</b>
Atrofia	30	<b>50</b>	<b>42</b>	<b>50</b>	26	26	33	20	19	<b>36</b>	<b>33</b>
Necrose	<b>55</b>	<b>65</b>	<b>61</b>	<b>50</b>	<b>63</b>	17	28	35	<b>61</b>	<b>45</b>	<b>48</b>
Hipertrofia dos Hepatócitos	0	<b>20</b>	9	<b>12</b>	<b>21</b>	8	9	0	<b>23</b>	9	<b>11</b>
Centro de melanomacrófagos	5	5	9	<b>25</b>	<b>21</b>	<b>17</b>	14	5	0	<b>45</b>	<b>14</b>
Infiltrado de Leucócitos	10	25	<b>66</b>	<b>50</b>	<b>36</b>	21	<b>57</b>	15	<b>42</b>	18	<b>34</b>
Tumor Benigno	0	<b>5</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>&lt;1</b>
Tumor Maligno	<b>5</b>	0	0	0	<b>5</b>	0	0	0	<b>3</b>	0	<b>1</b>
Parasita	7	20	<b>52</b>	37	27	26	<b>71</b>	23	17	25	<b>37</b>

Figura 137: Alterações morfológicas mais frequentes observadas no fígado dos peixes coletados no ambiente dulcícola durante as estações seca e chuvosa. A: necrose (seta grossa); B: Congestão de vaso sanguíneo (seta fina) e infiltrado inflamatório (seta grossa); C, D e E: alterações nucleares (seta fina), em C foi evidenciado a atrofia nuclear e em D e E foi mostrado hipertrofia nuclear e F: congestão de sinusóide (seta fina). Coloração: Hematoxilina & Eosina. Barras: E = 25 µm; A, C, D e F = 50 µm e B=100 µm.



Diferentemente do fígado, as brânquias de ambas as guildas amostradas no período chuvoso apresentaram maiores danos morfológicos quando comparadas à estação seca (Figura 138). Dos dez pontos amostrais do ambiente dulcícola, seis deles apresentaram aumento no índice de lesão da brânquia nos animais carnívoros, sendo os pontos: RDR (Rio Doce Regência), RDF (Rio Doce Foz), LMO (Lagoa Monsaraz), LLI (Lagoa do limão), LJA (Lagoa Juparanã) e LAL (Lagoa do Areal), com destaque para os pontos da foz do Rio Doce (RDR e RDF) e próximo à foz (LMO), que apresentaram aumento expressivo quando comparados aos demais pontos amostrais citados. Os animais onívoros/herbívoros apresentaram índice de lesão da brânquia maior no período chuvoso, quando comparado ao período seco, em três dos dez pontos amostrais: RDL (Rio Doce, Linhares), RDR (Rio Doce, Regência) e LMO (Lagoa Monsaraz), sendo que dois deles são localizados no leito do Rio Doce.

Figura 138: Índices de lesões da brânquia de peixes coletados no ambiente dulcícola no período seco (campanha 1; Set/Out 2018) e chuvoso (campanha 2; Jan/Fev 2019). A: animais carnívoros (grupo II) e B: animais onívoros/herbívoros (grupo I). Os resultados estão expressos em média ± desvio padrão (DP).



Nas brânquias, assim como no fígado, foi observado o mesmo padrão de lesões nos dois períodos (seco e chuvoso) amostrados, todavia houve variação na frequência das lesões entre as estações analisadas. Na estação seca, as seguintes lesões foram mais frequentes: hiperplasia das células interlamelares (62%), descamação do epitélio (60%), aneurisma (58%) e infiltrado inflamatório (38%) (Tabela 56 e Figura 139). Já na estação chuvosa, as lesões mais frequentes são: hiperplasia das células interlamelares (52%), aneurisma (51%), descamação do epitélio (40%) e deslocamento da lamela primária (29%) (Tabela 57 e Figura 139). As demais alterações observadas nas brânquias dos peixes coletados no ambiente dulcícola foram: fusão de lamelas secundárias, atrofia das lamelas primárias e secundárias, necrose, hipertrofia das células de muco e tumores benignos e malignos. A frequência de parasitas na brânquia aumentou na estação chuvosa (33%) em relação à estação seca (22%) (Tabela 56 e Tabela 57).

Tabela 56: Frequência (%) de alterações morfológicas nas brânquias de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais do ambiente dulcícola durante a campanha 1 (estação seca; Set/Out 2018). As lesões com alta frequência nos diferentes pontos amostrais foram destacadas em negrito.

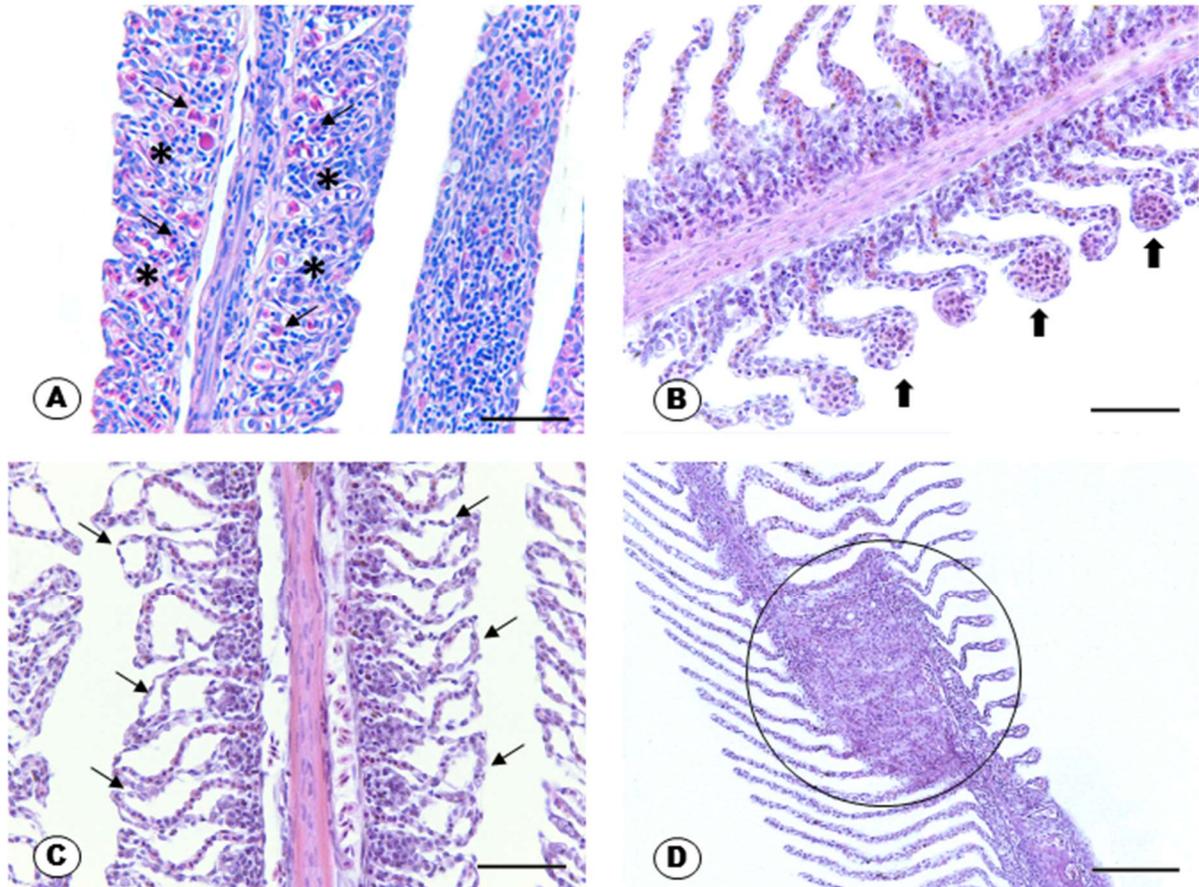
Lesões brânquias (%)	BRG	LLI	LNO	LJA	RDL	RDR	LAO	LAL	LMO	RDF	Média
Aneurisma	45	56	<b>65</b>	23	<b>70</b>	<b>73</b>	<b>75</b>	57	<b>70</b>	47	<b>58</b>
Descamação do Epitélio	60	33	41	<b>77</b>	<b>70</b>	18	<b>75</b>	<b>76</b>	60	<b>88</b>	<b>60</b>
Deslocamento (1º lamela)	0	0	6	8	<b>10</b>	9	<b>17</b>	5	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>9</b>
Fusão (2º lamela)	20	22	<b>53</b>	23	20	9	8	<b>67</b>	<b>40</b>	29	<b>29</b>
Atrofia (1º lamela)	<b>20</b>	11	<b>41</b>	<b>31</b>	0	9	8	<b>29</b>	0	12	<b>16</b>
Atrofia (2º lamela)	<b>30</b>	0	<b>53</b>	<b>23</b>	10	18	17	<b>24</b>	0	<b>35</b>	<b>21</b>
Necrose	<b>35</b>	<b>33</b>	<b>76</b>	<b>54</b>	10	18	8	<b>33</b>	0	23	<b>29</b>
Hipertrofia da célula de muco	<b>40</b>	<b>22</b>	6	8	10	<b>27</b>	<b>42</b>	19	0	<b>23</b>	<b>20</b>
Hiperplasia das células interlamelares	55	<b>78</b>	53	<b>77</b>	60	<b>73</b>	<b>92</b>	48	40	47	<b>62</b>
Infiltração de leucócitos	30	22	<b>41</b>	<b>69</b>	30	18	33	<b>52</b>	<b>50</b>	35	<b>38</b>

Lesões brânquias (%)	BRG	LLI	LNO	LJA	RDL	RDR	LAO	LAL	LMO	RDF	Média
Tumor Benigno	<b>5</b>	0	0	0	<b>10</b>	0	<b>8</b>	<b>5</b>	0	<b>12</b>	<b>4</b>
Tumor Maligno	0	0	0	0	0	0	0	<b>9</b>	0	0	<b>1</b>
Parasita	<b>40</b>	22	0	<b>31</b>	10	9	<b>50</b>	0	20	<b>35</b>	<b>22</b>

Tabela 57: Frequência (%) de alterações morfológicas nas brânquias de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais do ambiente dulcícola durante a campanha 2 (estação chuvosa; Jan/Fev 2018). As lesões com alta frequência nos diferentes pontos amostrais foram destacadas em negrito.

Lesões brânquias (%)	BRG	LLI	LNO	LJA	RDL	RDR	LAO	LAL	LMO	RDF	Média
Aneurisma	<b>63</b>	19	41	48	<b>63</b>	<b>58</b>	<b>54</b>	<b>58</b>	<b>58</b>	50	<b>51</b>
Descamação do Epitélio	21	29	<b>50</b>	<b>48</b>	<b>44</b>	<b>58</b>	<b>54</b>	16	25	<b>58</b>	<b>40</b>
Deslocamento (1º lamela)	11	29	<b>32</b>	<b>34</b>	13	<b>42</b>	<b>33</b>	<b>32</b>	25	<b>42</b>	<b>29</b>
Fusão (2º lamela)	21	0	<b>32</b>	24	25	<b>50</b>	<b>46</b>	26	25	<b>50</b>	<b>30</b>
Atrofia (1º lamela)	11	<b>29</b>	9	17	19	<b>33</b>	<b>25</b>	11	8	<b>33</b>	<b>19</b>
Atrofia (2º lamela)	11	0	18	<b>24</b>	<b>38</b>	8	<b>29</b>	<b>26</b>	21	<b>33</b>	<b>21</b>
Necrose	11	14	23	<b>31</b>	<b>38</b>	17	<b>25</b>	<b>32</b>	<b>29</b>	17	<b>24</b>
Hipertrofia da célula de muco	26	14	14	21	19	<b>50</b>	<b>54</b>	16	8	<b>58</b>	<b>28</b>
Hiperplasia das células interlamelares	37	38	27	38	<b>56</b>	42	<b>67</b>	<b>63</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>52</b>
Infiltração de leucócitos	21	19	27	<b>41</b>	<b>38</b>	<b>75</b>	<b>67</b>	<b>42</b>	8	25	<b>36</b>
Tumor Benigno	11	10	9	<b>14</b>	<b>25</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	0	<b>25</b>	8	<b>13</b>
Tumor Maligno	0	0	<b>5</b>	<b>3</b>	0	0	<b>4</b>	0	0	<b>8</b>	<b>2</b>
Parasita	21	33	31	31	<b>37</b>	33	<b>50</b>	26	<b>45</b>	<b>25</b>	<b>33</b>

Figura 139: Alterações morfológicas mais frequentes observadas nas brânquias dos peixes coletados no ambiente dulcícola durante as estações seca (campanha 1) e chuvosa (campanha 2). A: hiperplasia total das lamelas secundárias (asterisco) e infiltrado de leucócitos (seta fina); B: aneurisma nas lamelas secundárias (seta grossa); C: descamação do epitélio branquial (seta fina); D: deslocamento da lamela primária (círculo). Coloração: Hematoxilina & Eosina. Barra: A, B, C e D = 50 µm.



A análise de Componentes Principais (PCA), utilizou como variáveis da análise os biomarcadores lipoperoxidação, conteúdo de metalotioneínas, oxidação de proteínas carboniladas, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH) e malato desidrogenase, dano no DNA (frequência de micronúcleo e sítio AP) e os índices de alterações histológicas.

A análise de Componentes Principais para biomarcadores de peixes do grupo I (onívoros/herbívoros) sumarizou 43,7% de variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões (Figura 140 e Tabela 58). O componente principal 1 integrou 27,4% dos dados e o componente principal 2 sumarizou 16,3% dos dados.

Os agrupamentos da subdivisão de peixes onívoro/herbívoros demonstraram-se com padrões mais difusos do que o observado para os carnívoros. A leste do biplot, agruparam-se os biomarcadores SOD, CAT, MDH, LPO e índice de alteração histológica no fígado. Ao norte, o dano em DNA sítio AP agrupou-se com LDH no fígado. A oeste e no componente positivo, a frequência de micronúcleos, PCO no músculo e metalotioneínas acompanharam grande parte das estações amostradas na campanha 2. A

oeste e ao sul, a atividade da LDH nas brânquias acompanhou o índice de alteração histológica nas brânquias. As campanhas 1 e 2, representando o efeito da sazonalidade, estiveram agrupadas em lados opostos, estando as localidades amostradas na campanha 1, predominantemente à direita do biplot (exceto LJA), enquanto que as localidades amostradas na campanha 2 estiveram predominantemente agrupadas à esquerda.

Os biomarcadores MDH, atividade da CAT na brânquia, SOD no fígado e LPO tiveram maior contribuição com o resultado da PC1 (Figura 141). IH na brânquia, MN, CAT e LDH no fígado e LPO foram os biomarcadores que mais contribuíram com a PC2 (Figura 142).

As estações amostrais que mais contribuíram com o agrupamento dos dados do componente principal 1 foi o ponto em LMO, RDL e RDF (Figura 143). Relativo ao componente principal 2, as estações com maior contribuição foram LJA, RDF, RDR e LAO (Figura 144).

Figura 140: Análise de Componentes Principais aplicada para os biomarcadores lipoperoxidação (DanoLip) e concentração de metalotioneínas (Metalto) no fígado, oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), frequência de micronúcleos (MN) e dano no DNA (DanoDNA; sítio AP) no sangue, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH) e malato-desidrogenase (MDH) no fígado (\_f) e brânquia (\_b), e índice de alterações histológicas na brânquia (IH\_b) e no fígado (IH\_f) de peixes do grupo I (onívoros/herbívoros) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade: Rio Baixo Guandu (BRG), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2).

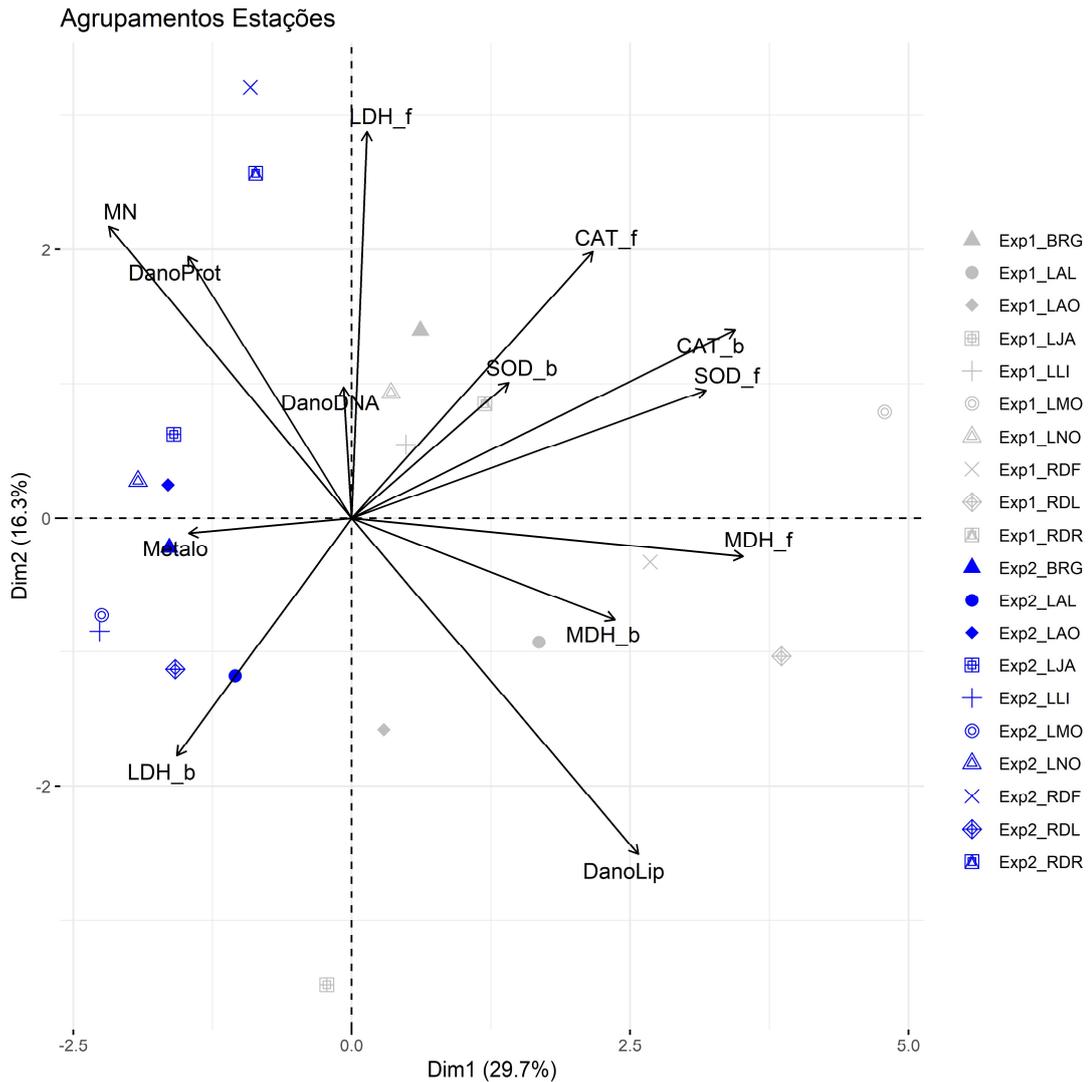


Tabela 58: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) de biomarcadores na brânquia, fígado e músculo de peixes onívoros.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de variância</b>	<b>Percentual de variância acumulativa</b>
Dim.1	3,85	29,65	29,65
Dim.2	2,12	16,35	46,00
Dim.3	1,45	11,18	57,18
Dim.4	1,26	9,70	66,88

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.5	1,08	8,29	75,16
Dim.6	0,95	7,29	82,45
Dim.7	0,67	5,14	87,59
Dim.8	0,59	4,54	92,13
Dim.9	0,36	2,77	94,90
Dim.10	0,28	2,15	97,05
Dim.11	0,22	1,70	98,74
Dim.12	0,12	0,93	99,68
Dim.13	0,04	0,32	100,00

Figura 141: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (DanoLip) e concentração de metalotioneínas (Metalto) no fígado, oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), frequência de micronúcleos (MN) e dano no DNA (sítio AP) no sangue, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH) e malato-desidrogenase (MDH) no fígado (\_f) e brânquia (\_b), e índice de alterações histológicas na brânquia (IH\_b) e no fígado (IH\_f) nos peixes do grupo I (onívoros/herbívoros) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

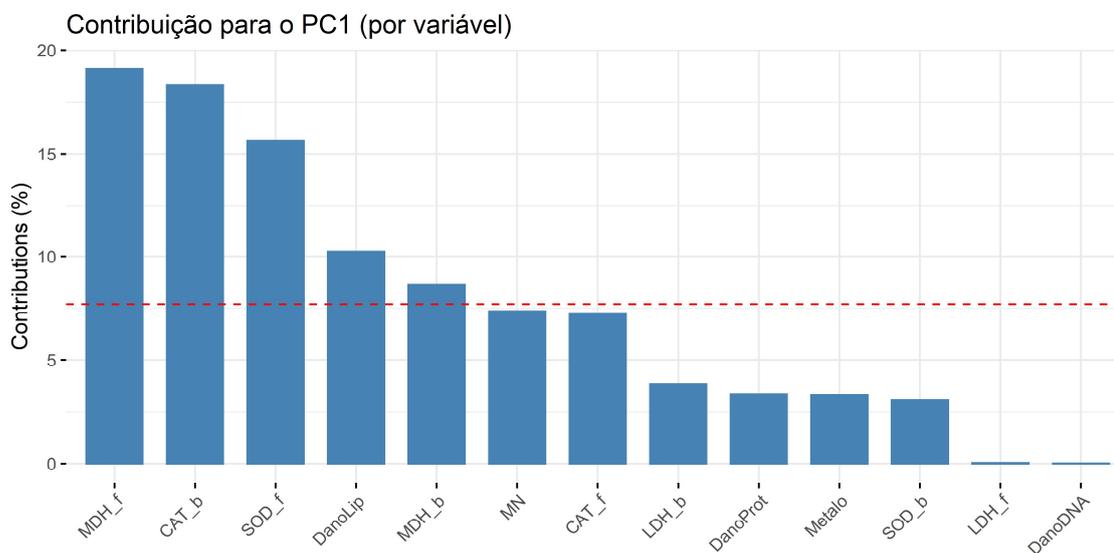


Figura 142: Contribuição em porcentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (DanoLip) e concentração de metalotioneínas (Metalto) no fígado, oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), frequência de micronúcleos (MN) e dano no DNA (DanoDNA; sítio AP) no sangue, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH) e malato-desidrogenase (MDH) no fígado (\_f) e brânquia (\_b), e índice de alterações histológicas na brânquia (IH\_b) e no fígado (IH\_f) nos peixes do grupo I (onívoros/herbívoros) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada.

Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

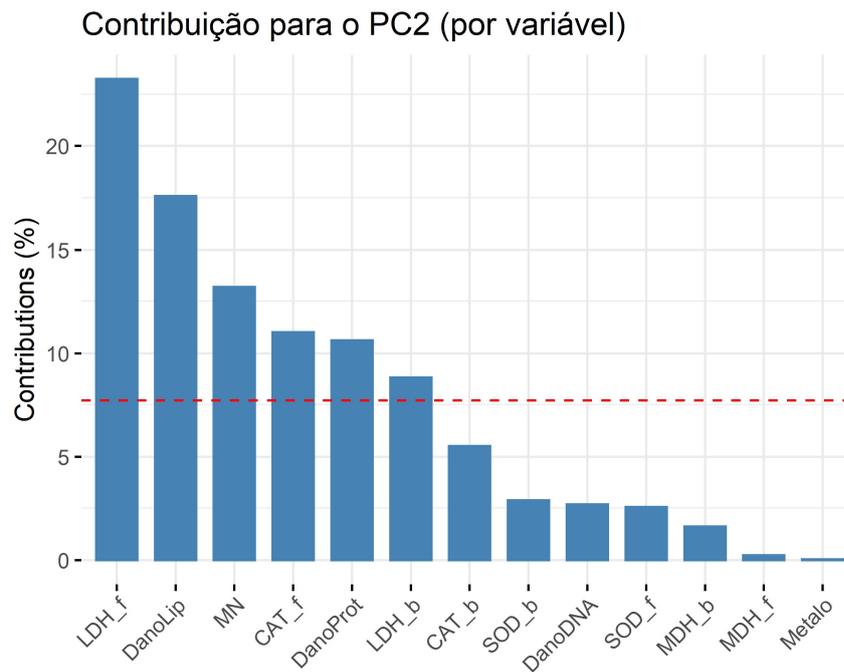


Figura 143: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores no sangue, brânquia, fígado e músculo de peixes do grupo I (onívoros/herbívoros). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

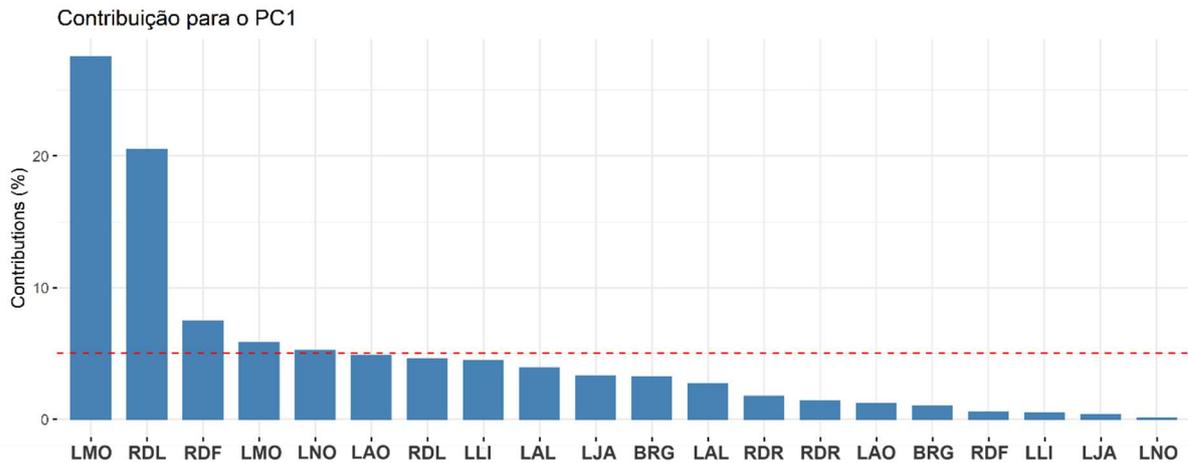
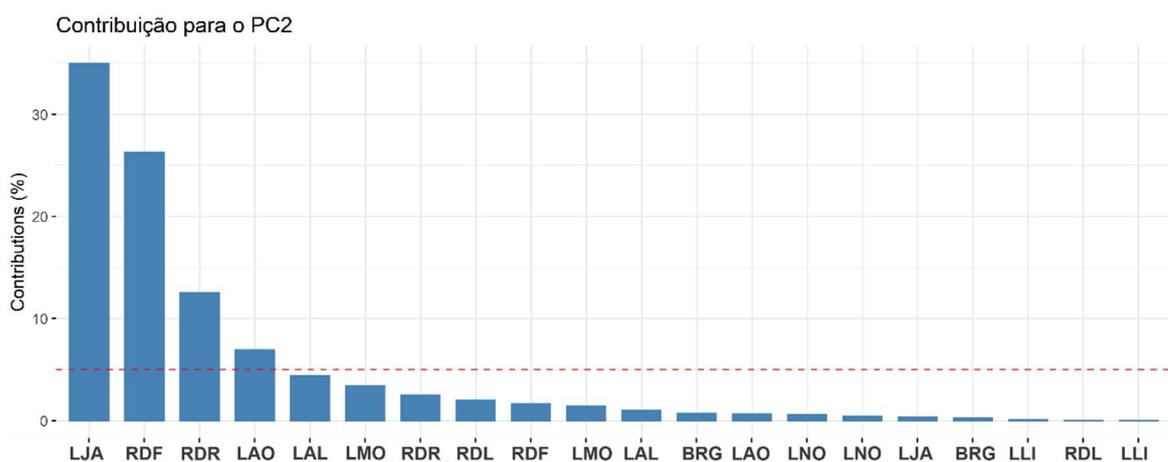


Figura 144: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores no sangue, brânquia, fígado e músculo de peixes do grupo I (onívoros/herbívoros). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.



A análise de Componentes Principais para biomarcadores de peixes do grupo II (carnívoros) sintetizou 51,7% de variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões (Figura 145 e Tabela 59). O componente principal 1 integrou 37,5% dos dados e o componente principal 2 sumarizou 14,2% dos

dados. Os biomarcadores MDH na brânquia e no fígado, SOD e CAT na brânquia e dano lipídico (LPO) agruparam-se a leste, e as enzimas SOD e CAT no fígado agruparam-se ao norte e a leste. Ao sul do biplot, agruparam-se LDH no fígado e na brânquia junto dos índices de alterações histológicas. Todos esses biomarcadores acompanharam predominantemente as localidades amostradas durante a campanha 1. Os marcadores de danos no DNA, MN e sítio AP, e a PCO no músculo agruparam-se a oeste e acompanharam as localidades amostradas na segunda campanha.

Os biomarcadores MDH, LPO, atividade de CAT, micronúcleo e SOD na brânquia tiveram maior contribuição com o resultado da PC1 (Figura 146). PCO, LDH, SOD e CAT no fígado e sítios AP foram os biomarcadores que mais contribuíram com a PC2 (Figura 147).

As estações amostrais que mais colaboraram com o agrupamento dos dados do componente principal 1 foi o ponto em RDL e LAL (Figura 148). Relativo ao componente principal 2, as estações com maior aporte foram LNO, RDL, RDF, LLI, LAL e BRG (Figura 149).

Figura 145: Análise de Componentes Principais aplicada para os biomarcadores lipoperoxidação (DanoLip) e concentração de metalotioneínas (Metalo) no fígado, oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), frequência de micronúcleos (MN) e dano no DNA (sítio AP) no sangue, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH) e malato-desidrogenase (MDH) no fígado (\_f) e brânquia (\_b), e índice de alterações histológicas na brânquia (IH\_b) e no fígado (IH\_f) de peixes do grupo II (carnívoros) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise categorizados por localidade: Rio Baixo Guandu (BRG), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), e no Rio Doce RDL (em Linhares), RDR (em Regência) e RDF (Foz). Destaque para a campanha 1 em cinza (Exp1) e campanha 2 em azul (Exp2).

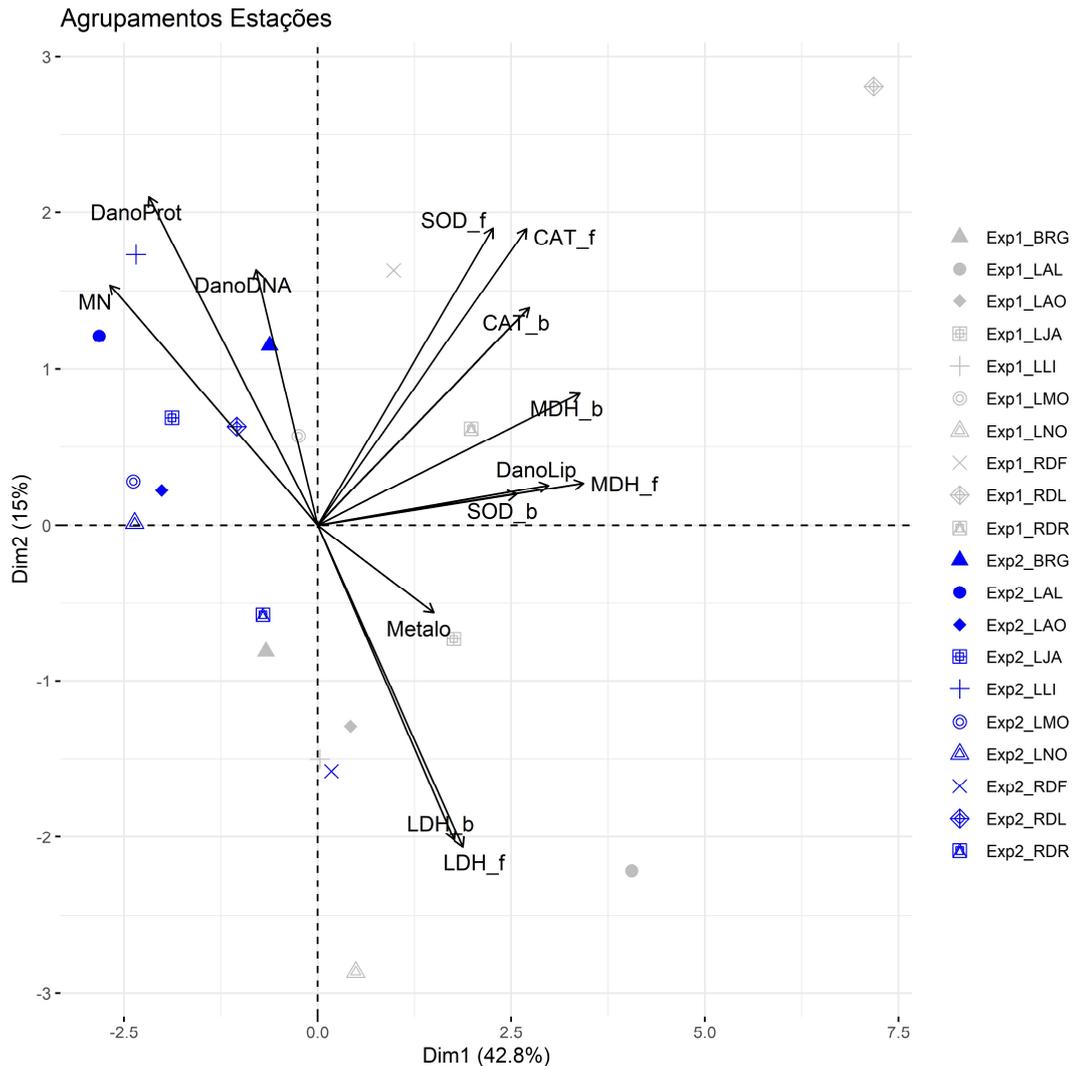


Tabela 59: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) de biomarcadores na brânquia, fígado e músculo de peixes carnívoros.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de variância</b>	<b>Percentual de variância acumulativa</b>
Dim.1	5,56	42,77	42,77
Dim.2	1,95	15,02	57,78
Dim.3	1,61	12,35	70,14
Dim.4	0,96	7,41	77,54

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.5	0,89	6,82	84,36
Dim.6	0,60	4,60	88,96
Dim.7	0,52	3,97	92,94
Dim.8	0,47	3,59	96,53
Dim.9	0,24	1,85	98,38
Dim.10	0,10	0,76	99,15
Dim.11	0,08	0,63	99,78
Dim.12	0,02	0,18	99,96
Dim.13	0,01	0,04	100,00

Figura 146: Contribuição em percentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (DanoLip) e concentração de metalotioneínas (Metal) no fígado, oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), frequência de micronúcleos (MN) e dano no DNA (DanoDNA; sítio AP) no sangue, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH) e malato-desidrogenase (MDH) no fígado (\_f) e brânquia (\_b), e índice de alterações histológicas na brânquia (IH\_b) e no fígado (IH\_f) nos peixes do grupo II (carnívoros) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

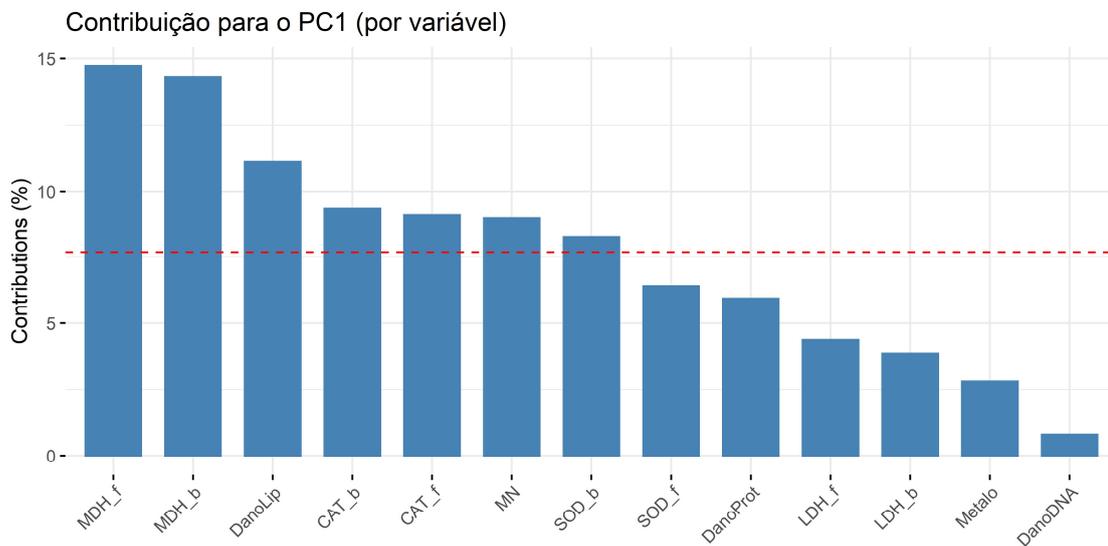


Figura 147: Contribuição em porcentagem (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como média dos biomarcadores de lipoperoxidação (DanoLip) e concentração de metalotioneínas (Metalto) no fígado, oxidação de proteínas carboniladas (PCO) no músculo (DanoProt), frequência de micronúcleos (MN) e dano no DNA (Dano DNA; sítio AP) no sangue, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH) e malato-desidrogenase (MDH) no fígado (\_f) e brânquia (\_b), e índice de alterações histológicas na brânquia (IH\_b) e no fígado (IH\_f) nos peixes do grupo II (carnívoros) coletados nas 10 estações amostrais do ambiente dulcícola e estuário. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1 / 4 = 25\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

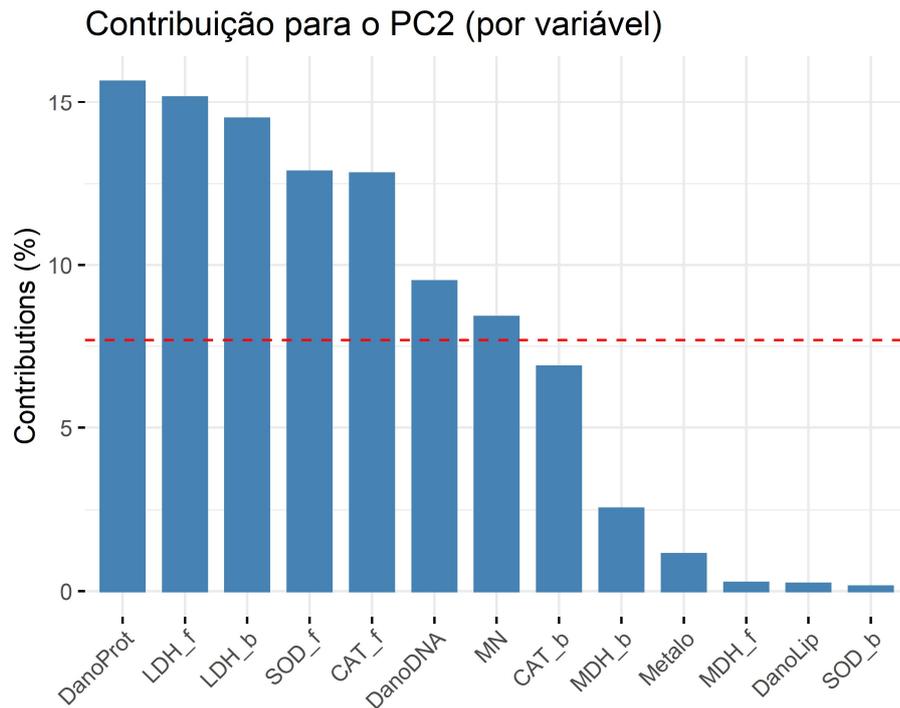


Figura 148: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores no sangue, brânquia, fígado e músculo de peixes do grupo II (carnívoros). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce).

A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

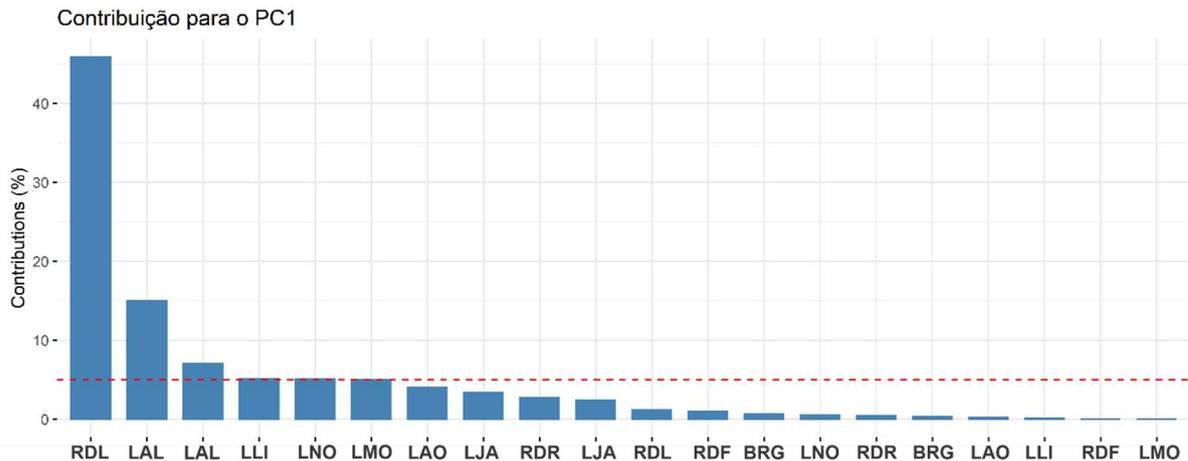
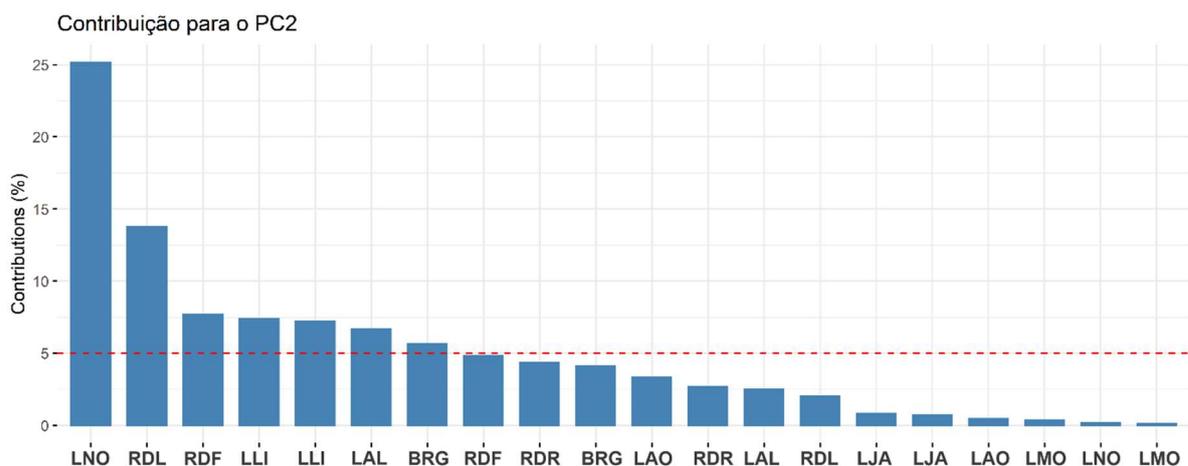


Figura 149: Contribuição em percentagem (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de biomarcadores no sangue, brânquia, fígado e músculo de peixes do grupo II (carnívoros). Os indivíduos são as estações amostrais BRG (Baixo Rio Guandu), as lagoas LLI (Limão), LNO (Nova), LJA (Juparanã), LAO (Areão), LAL (Areal) e LMO (Monsarás), Rio Doce RDL (Linhares), RDR (Regência) e RDF (Foz do Rio Doce).

A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.



## 3.2 META 2: MONITORAMENTO ECOTOXICOLÓGICO DA FOZ DO RIO DOCE E REGIÃO COSTEIRA ADJACENTE

### 3.2.1 Parâmetros físico-químicos da água da foz do Rio Doce e região costeira adjacente

Para análise de parâmetros físico-químicos da água foi utilizado na campanha 1 (Set/Out 2018) o CTD RBR do tipo XR, instrumento oceanográfico com sensores para registrar temperatura (graus Celsius [°C]), salinidade, condutividade (milisiemens/centímetro [mS/cm]) e turbidez (Unidade Nefelométricas de Turbidez [FTU]). Para esta amostragem, dados de perfilagem da coluna d'água armazenados no equipamento eram posteriormente processados. Entretanto, problemas com o cabo de comunicação do CTD impossibilitaram a obtenção de todos os dados (temperatura, salinidade, condutividade e turbidez) em todas as estações amostrais. Dessa forma, com o auxílio de um condutivímetro (CDR-870) foi possível obter dados de temperatura e condutividade em algumas das estações amostrais nas quais a perfilagem com CTD não foi possível (obs: em algumas estações amostrais não foi possível obter os parâmetros físico-químicos). Neste relatório são apresentados a profundidade (Metros [m]) e os valores máximos de temperatura e condutividade obtidos em cada estação amostral registrados na campanha 1 (Tabela 60). Na campanha 2 (Jan/Fev 2019), visando aprimorar a amostragem dos parâmetros físico-químicos, utilizou-se a Sonda Multiparâmetro RINKO, modelo AAQ176 (JFR Advantech Co., Ltd), com obtenção dos dados em tempo real onde foram registrados temperatura (graus Celsius [°C]), salinidade, condutividade (milisiemens por centímetro [mS/cm]), turbidez (Unidade Nefelométricas de Turbidez [FTU]), pH, oxigênio dissolvido (%). Sendo assim, na Tabela 61 são apresentados os valores máximos dos dados obtidos em cada estação amostral para cada parâmetro registrado na campanha 2 (Jan/Fev 2019). Devido à problemas com o equipamento, na campanha 2, não foi possível obter os dados na estação amostral ITA2, que foi a última estação a ser amostrada nesta campanha.

Tabela 60: Parâmetros físico-químicos (valores máximos) da água nas estações amostrais marinhas durante a campanha 1 (Set/Out 2018).

Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)			
Ponto	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Condutividade (mS/cm)
GUA1	10	22,34	52,47
GUA2	20	22,58	52,93
VIX1	*	22,65	52,86
VIX2	*	22,19	52,34
CA1	22	23,7	54,09
CA2	31	24,2	54,4
CA3	30	24,82	55,84
CA4	28	*	*
CA5	32	*	*
FRD1	12	*	*
FRD3	26	24,3	52,7
FRD6	20	*	*

**Campanha 1 (Setembro/Octubre 2018)**

Ponto	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Condutividade (mS/cm)
FRD8	28	24,4	54,8
FRD9	16	25,1	56,7
FRD10	18	*	*
DEG1	18	25,7	56,7
DEG2	34	25,8	57,2
BN1	22	25,8	57,2
BN2	36	26,5	56,3
ITA1	10	28,7	56,5
ITA2	12	25,8	56,6
ABR01	8	25,7	56,3
ABR02	15	25,2	56,2
ABR04	9	25,9	56
ABRC1	9	28,34	59,53

\*Estações amostrais onde não foram obtidos todos os dados devido a problemas com o equipamento.

Tabela 61: Parâmetros físico-químicos (valores máximos) da água nas estações amostrais marinhas durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019).

**Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

Ponto	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade	Condutividade (mS/cm)	Turbidez (FTU)	pH	Oxigênio Dissolvido (%)
GUA1	10	22,40	36,53	52,32	1,17	8,17	102,29
GUA2	7	22,14	36,56	52,10	0,33	8,16	99,31
VIX1	12	21,89	36,50	51,74	0,54	8,17	104,67
VIX2	29	22,16	36,53	51,99	0,59	8,17	100,20
CA1	19	22,28	36,59	51,95	1,73	8,17	100,32
CA2	38	23,52	36,66	53,22	0,55	8,18	103,50
CA3	46	26,14	36,90	56,88	0,51	8,18	103,05
CA4	35	27,61	37,30	58,63	0,11	8,19	103,75
CA5	45	26,52	36,83	57,02	1,76	8,19	103,44
FRD1	9	26,36	36,70	55,06	35,38	8,18	102,77
FRD3	31	26,99	36,94	57,84	0,71	8,19	104,49
FRD6	26	27,16	36,96	57,94	32,75	8,19	105,16
FRD8	31	24,06	36,55	52,76	1,17	8,17	102,85
FRD9	15	27,41	36,89	58,11	2,62	8,12	104,12
FRD10	18	25,12	36,52	53,53	4,31	8,18	106,94
DEG1	11	28,01	36,89	58,68	7,56	8,10	104,31
DEG2	28	27,75	36,98	58,71	0,53	8,13	105,04
BN1	22	28,16	36,95	59,12	0,55	8,12	109,46
BN2	9	28,90	36,84	59,66	1,60	8,12	110,39
ITA1	31	27,81	37,01	58,83	0,46	8,12	105,97
ITA2	*	*	*	*	*	*	*

**Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

Ponto	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade	Condutividade (mS/cm)	Turbidez (FTU)	pH	Oxigênio Dissolvido (%)
ABR01	15	27,76	37,09	58,92	1,01	8,12	110,16
ABR02	14	27,81	37,10	59,01	0,36	8,15	113,29
ABR04	15	27,60	37,12	58,79	0,40	8,13	111,57
ABRC1	9	28,34	37,06	59,53	12,85	8,12	108,94

\*Estação amostral onde não foi obtido todos os dados devido a problemas com o equipamento.

### 3.2.2 Concentração de metais na água da foz do Rio Doce e região costeira adjacente

Em cada estação amostral foram coletadas amostras de água (superfície e fundo) seguindo métodos descritos no “Protocolo de Análises de Laboratório do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática na Área Ambiental I”, para quantificação da concentração dos elementos: Cromo (Cr), Cádmi (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Arsênio (As).

Na sequência, apresentaremos os resultados da campanha 1 (Set/Out 2018) (Tabela 62) e campanha 2 (Jan/Fev 2019) (Tabela 63) de quantificação de metais totais e dissolvidos nas amostras de água de superfície e fundo coletadas em cada uma das 25 estações amostrais (GUA1, GUA2, VIX1, VIX2, CA1, CA2, CA3, CA4, CA5, FRD1, FRD3, FRD6, FRD8, FRD9, FRD10, DEG1, DEG2, BN1, BN2, ITA1, ITA2, ABR01, ABR02, ABR04 e ABRC1).

Tabela 62: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb; Zn analisados na água (superfície [S] e fundo [F]/total [T] e dissolvido[D]) nas 25 estações amostradas na campanha 1 (Set/Out 2018). Para cada elemento, os valores estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ), e estão confrontados com os valores máximos estabelecidos pela resolução do CONAMA 357/2005 para águas salinas classe 1 (convertido para unidade  $\mu\text{g/L}$ ).

**Campanha 1 (Setembro/ Outubro 2018)**

Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		$\mu\text{g/L}$								
GUA1	ST	0,47 $\pm$ 0,21	0,04 $\pm$ 0,01	7,42 $\pm$ 4,59	5,14 $\pm$ 0,81	511,00 $\pm$ 158,26	0,099 $\pm$ 0,001	16,77 $\pm$ 11,47	1,10 $\pm$ 0,02	27,08 $\pm$ 1,22
	SD	0,19 $\pm$ 0,02	0,02 $\pm$ 0,01	1,87 $\pm$ 0,05	1,35 $\pm$ 0,37	151,83 $\pm$ 7,97	0,089 $\pm$ 0,005	12,87 $\pm$ 8,17	1,04 $\pm$ 0,02	18,33 $\pm$ 1,58
	FT	0,66 $\pm$ 0,06	0,05 $\pm$ 0,01	2,77 $\pm$ 0,05	3,87 $\pm$ 1,07	622,03 $\pm$ 79,97	0,106 $\pm$ 0,002	8,49 $\pm$ 2,21	1,01 $\pm$ 0,02	25,14 $\pm$ 2,36
	FD	0,22 $\pm$ 0,04	0,02 $\pm$ 0,01	2,46 $\pm$ 0,23	1,98 $\pm$ 0,41	353,23 $\pm$ 31,10	0,105 $\pm$ 0,002	5,03 $\pm$ 3,00	0,64 $\pm$ 0,05	16,19 $\pm$ 1,88
GUA2	ST	0,69 $\pm$ 0,06	0,01 $\pm$ 0,00	2,03 $\pm$ 0,06	3,73 $\pm$ 0,66	504,83 $\pm$ 133,99	0,097 $\pm$ 0,000	30,34 $\pm$ 15,27	0,81 $\pm$ 0,27	30,96 $\pm$ 3,23

Campanha 1 (Setembro/ Outubro 2018)

Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
	SD	0,27 ± 0,07	0,01 ± 0,00	1,54 ± 0,06	1,61 ± 0,41	467,23 ± 120,59	0,087 ± 0,004	5,34 ± 3,38	0,47 ± 0,27	24,53 ± 4,02
	FT	0,47 ± 0,16	0,01 ± 0,00	4,25 ± 0,61	17,39 ± 8,12	759,10 ± 35,47	0,102 ± 0,002	13,87 ± 3,68	1,05 ± 0,02	29,23 ± 4,87
	FD	0,15 ± 0,03	0,007 ± 0,002	2,43 ± 0,33	14,13 ± 8,62	443,06 ± 116,26	0,092 ± 0,005	10,49 ± 4,49	0,98 ± 0,04	18,36 ± 0,56
VIX1	ST	0,86 ± 0,37	0,05 ± 0,01	6,60 ± 0,95	3,27 ± 0,30	155,50 ± 4,19	0,073 ± 0,001	21,90 ± 4,19	1,04 ± 0,06	27,37 ± 1,19
	SD	0,27 ± 0,04	0,04 ± 0,01	3,68 ± 1,58	1,67 ± 0,21	125,66 ± 7,73	0,071 ± 0,000	18,12 ± 3,26	0,90 ± 0,04	25,61 ± 0,72
	FT	0,74 ± 0,30	0,02 ± 0,00	6,32 ± 0,21	2,99 ± 0,44	599,26 ± 42,77	0,098 ± 0,014	67,29 ± 4,33	1,02 ± 0,14	26,11 ± 1,27
	FD	0,48 ± 0,16	0,01 ± 0,00	5,40 ± 0,10	1,85 ± 0,25	439,83 ± 62,13	0,087 ± 0,011	50,99 ± 6,15	0,93 ± 0,10	19,31 ± 0,96
VIX2	ST	1,18 ± 0,12	0,18 ± 0,01	5,69 ± 0,31	4,43 ± 0,53	352,33 ± 26,33	0,110 ± 0,001	7,38 ± 3,55	0,10 ± 0,02	5,21 ± 1,05
	SD	0,23 ± 0,06	0,15 ± 0,01	4,58 ± 0,24	2,39 ± 0,34	320,13 ± 18,63	0,103 ± 0,003	1,34 ± 0,05	0,07 ± 0,00	3,44 ± 0,12
	FT	0,67 ± 0,04	0,16 ± 0,01	7,89 ± 0,88	16,23 ± 3,44	490,93 ± 32,21	0,108 ± 0,001	8,71 ± 3,42	0,27 ± 0,07	18,92 ± 8,45
	FD	0,43 ± 0,11	0,11 ± 0,00	4,62 ± 0,27	6,98 ± 1,99	339,03 ± 48,12	0,103 ± 0,000	4,20 ± 1,19	0,03 ± 0,01	5,23 ± 3,66
CA1	ST	0,28 ± 0,01	0,09 ± 0,00	6,76 ± 1,62	0,45 ± 0,18	606,00 ± 92,17	0,901 ± 0,002	1,95 ± 0,71	0,36 ± 0,00	45,26 ± 1,44
	SD	0,21 ± 0,00	0,08 ± 0,00	3,45 ± 1,38	0,30 ± 0,17	371,83 ± 80,02	0,870 ± 0,009	0,60 ± 0,04	0,34 ± 0,01	39,45 ± 1,00

Campanha 1 (Setembro/ Outubro 2018)

Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
	FT	0,50 ± 0,04	0,09 ± 0,00	4,47 ± 1,91	0,35 ± 0,11	409,80 ± 51,89	0,905 ± 0,000	34,60 ± 1,35	0,36 ± 0,00	49,08 ± 7,54
	FD	0,18 ± 0,00	0,08 ± 0,00	1,72 ± 0,40	0,20 ± 0,07	315,20 ± 64,35	0,852 ± 0,002	25,55 ± 0,50	0,34 ± 0,00	44,04 ± 8,32
CA2	ST	0,48 ± 0,08	0,39 ± 0,14	3,50 ± 0,03	0,76 ± 0,09	70,39 ± 11,00	0,345 ± 0,005	5,91 ± 2,60	10,32 ± 4,81	15,15 ± 1,12
	SD	0,35 ± 0,09	0,25 ± 0,04	2,04 ± 0,38	0,35 ± 0,10	17,92 ± 2,60	0,325 ± 0,005	2,74 ± 0,24	3,65 ± 0,77	12,71 ± 0,83
	FT	0,54 ± 0,16	0,32 ± 0,03	4,01 ± 0,40	1,20 ± 0,45	177,10 ± 35,82	0,311 ± 0,003	11,18 ± 5,90	4,87 ± 0,91	19,90 ± 3,90
	FD	0,23 ± 0,01	0,25 ± 0,05	2,58 ± 1,03	0,63 ± 0,05	141,82 ± 25,73	0,298 ± 0,002	5,68 ± 2,09	3,39 ± 0,30	14,74 ± 2,88
CA3	ST	0,56 ± 0,09	0,26 ± 0,02	4,28 ± 1,24	1,33 ± 0,31	216,56 ± 40,09	0,283 ± 0,003	46,44 ± 23,79	4,95 ± 0,84	21,18 ± 3,95
	SD	0,39 ± 0,01	0,17 ± 0,01	2,01 ± 0,67	1,27 ± 0,29	144,80 ± 8,51	0,267 ± 0,006	0,89 ± 0,14	1,91 ± 0,16	15,85 ± 0,81
	FT	0,70 ± 0,01	0,46 ± 0,08	4,76 ± 1,20	3,53 ± 1,02	134,93 ± 36,24	0,245 ± 0,003	0,74 ± 0,15	3,90 ± 0,89	17,49 ± 0,98
	FD	0,61 ± 0,02	0,31 ± 0,00	2,65 ± 0,58	1,99 ± 0,39	40,98 ± 1,04	0,228 ± 0,001	0,67 ± 0,13	3,01 ± 0,45	15,51 ± 0,16
CA4	ST	0,28 ± 0,01	0,08 ± 0,00	8,01 ± 1,24	2,01 ± 0,77	2131,66 ± 363,95	0,932 ± 0,001	57,05 ± 21,62	0,40 ± 0,01	33,91 ± 2,61
	SD	0,21 ± 0,00	0,07 ± 0,00	4,40 ± 1,63	0,60 ± 0,28	366,26 ± 33,52	0,925 ± 0,000	32,88 ± 1,44	0,36 ± 0,00	29,33 ± 2,39
	FT	0,49 ± 0,04	0,08 ± 0,00	10,84 ± 3,58	0,99 ± 0,39	630,17 ± 189,01	0,933 ± 0,001	39,45 ± 6,15	0,37 ± 0,01	30,02 ± 0,89

Campanha 1 (Setembro/ Outubro 2018)										
Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
CA5	FD	0,18 ± 0,00	0,06 ± 0,00	5,57 ± 0,06	0,12 ± 0,05	375,77 ± 111,83	0,645 ± 0,142	25,87 ± 1,66	0,35 ± 0,00	25,73 ± 0,05
	ST	0,28 ± 0,06	0,17 ± 0,02	10,76 ± 3,38	3,73 ± 1,17	362,03 ± 30,48	0,106 ± 0,001	3,91 ± 2,59	0,12 ± 0,06	5,59 ± 3,97
	SD	0,15 ± 0,00	0,15 ± 0,02	6,12 ± 0,79	2,29 ± 0,63	322,20 ± 117,01	0,097 ± 0,001	1,00 ± 0,02	0,10 ± 0,06	2,42 ± 1,17
	FT	1,33 ± 0,07	0,19 ± 0,02	6,70 ± 0,21	4,38 ± 1,06	384,06 ± 33,38	0,112 ± 0,000	2,23 ± 0,74	0,16 ± 0,05	9,04 ± 3,09
FRD1	FD	0,58 ± 0,00	0,16 ± 0,00	5,54 ± 0,29	3,49 ± 0,88	324,16 ± 32,47	0,108 ± 0,000	0,89 ± 0,02	0,10 ± 0,06	7,28 ± 2,10
	ST	1,03 ± 0,17	0,18 ± 0,00	7,84 ± 2,50	5,98 ± 0,81	395,43 ± 66,49	0,095 ± 0,000	2,44 ± 0,99	0,22 ± 0,06	1,34 ± 0,46
	SD	0,35 ± 0,21	0,18 ± 0,01	3,71 ± 0,26	4,20 ± 1,68	283,23 ± 20,16	0,090 ± 0,003	1,24 ± 0,02	0,16 ± 0,07	0,90 ± 0,17
	FT	0,22 ± 0,04	0,18 ± 0,00	5,84 ± 0,37	4,60 ± 0,99	578,36 ± 153,78	0,096 ± 0,000	1,94 ± 1,14	0,12 ± 0,01	2,47 ± 1,11
FRD3	FD	0,17 ± 0,02	0,18 ± 0,00	5,19 ± 0,46	2,49 ± 0,73	305,20 ± 21,33	0,089 ± 0,002	0,76 ± 0,09	0,02 ± 0,01	1,26 ± 0,20
	ST	0,13 ± 0,01	0,17 ± 0,00	4,09 ± 0,88	1,59 ± 0,29	362,63 ± 53,72	0,595 ± 0,005	1,30 ± 0,39	0,04 ± 0,03	16,08 ± 7,87
	SD	0,12 ± 0,00	0,11 ± 0,03	1,81 ± 0,18	1,31 ± 0,17	329,76 ± 40,40	0,576 ± 0,012	0,92 ± 0,10	0,03 ± 0,02	4,32 ± 1,66
	FT	0,23 ± 0,03	0,08 ± 0,00	14,31 ± 5,04	3,06 ± 0,77	3440,67 ± 675,51	0,654 ± 0,004	1,87 ± 0,27	0,37 ± 0,00	54,58 ± 4,25
	FD	0,18 ± 0,03	0,07 ± 0,00	3,65 ± 0,75	2,15 ± 0,39	1877,00 ± 186,54	0,639 ± 0,008	1,50 ± 0,03	0,33 ± 0,03	36,60 ± 10,13

Campanha 1 (Setembro/ Outubro 2018)										
Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
FRD6	ST	0,42 ± 0,21	0,08 ± 0,01	18,01 ± 3,78	0,45 ± 0,16	842,76 ± 342,82	0,933 ± 0,000	49,55 ± 6,28	0,37 ± 0,00	37,94 ± 5,21
	SD	0,28 ± 0,14	0,06 ± 0,01	9,52 ± 0,06	0,22 ± 0,04	553,46 ± 167,95	0,930 ± 0,000	44,24 ± 2,28	0,35 ± 0,00	33,51 ± 4,48
	FT	0,30 ± 0,09	0,08 ± 0,00	25,17 ± 11,61	0,85 ± 0,31	7551,33 ± 1281,26	0,930 ± 0,000	58,04 ± 18,16	0,37 ± 0,00	39,48 ± 4,42
	FD	0,21 ± 0,06	0,07 ± 0,00	8,13 ± 3,36	0,10 ± 0,05	524,73 ± 1005,4	0,927 ± 0,000	45,16 ± 9,22	0,35 ± 0,00	31,94 ± 1,65
FRD8	ST	0,32 ± 0,15	0,007 ± 0,004	15,44 ± 8,57	3,75 ± 2,26	591,60 ± 29,38	0,113 ± 0,000	3,99 ± 0,99	1,11 ± 0,01	17,96 ± 1,18
	SD	0,25 ± 0,13	0,004 ± 0,003	6,24 ± 1,35	1,45 ± 0,19	270,33 ± 42,45	0,110 ± 0,000	2,61 ± 0,80	1,03 ± 0,02	16,04 ± 1,74
	FT	0,85 ± 0,13	0,01 ± 0,00	4,89 ± 0,36	1,37 ± 0,35	287,36 ± 5,62	0,109 ± 0,000	2,79 ± 1,71	1,08 ± 0,04	26,32 ± 6,01
	FD	0,34 ± 0,10	0,007 ± 0,003	4,29 ± 0,41	1,27 ± 0,29	256,13 ± 14,23	0,106 ± 0,000	1,46 ± 0,69	1,03 ± 0,06	19,19 ± 1,47
FRD9	ST	0,31 ± 0,06	0,18 ± 0,00	8,69 ± 0,30	2,31 ± 1,01	342,70 ± 4,79	0,083 ± 0,002	0,80 ± 0,08	0,16 ± 0,04	3,35 ± 1,25
	SD	0,20 ± 0,05	0,16 ± 0,01	6,56 ± 0,78	1,06 ± 0,02	306,16 ± 12,01	0,076 ± 0,006	0,57 ± 0,00	0,13 ± 0,03	2,64 ± 0,88
	FT	0,19 ± 0,00	0,17 ± 0,00	6,34 ± 0,14	2,74 ± 0,90	377,36 ± 29,51	0,078 ± 0,002	0,74 ± 0,18	0,13 ± 0,00	3,93 ± 0,98
	FD	0,14 ± 0,01	0,15 ± 0,01	5,49 ± 0,12	1,24 ± 0,16	304,30 ± 2,96	0,057 ± 0,007	0,69 ± 0,13	0,05 ± 0,03	2,23 ± 0,22
FRD10	ST	0,26 ± 0,05	0,08 ± 0,00	7,55 ± 1,11	1,06 ± 0,18	366,27 ± 43,22	0,466 ± 0,003	36,81 ± 7,06	0,35 ± 0,02	31,66 ± 3,13

Campanha 1 (Setembro/ Outubro 2018)

Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
	SD	0,23 ± 0,006	0,06 ± 0,00	6,09 ± 0,49	0,70 ± 0,14	339,03 ± 25,64	0,447 ± 0,000	23,04 ± 1,44	0,31 ± 0,00	27,64 ± 1,14
	FT	0,48 ± 0,07	0,08 ± 0,00	8,13 ± 2,10	1,72 ± 0,56	485,43 ± 104,40	0,430 ± 0,002	146,60 ± 3,74	0,38 ± 0,01	26,01 ± 3,65
	FD	0,22 ± 0,03	0,05 ± 0,00	3,10 ± 0,11	1,10 ± 0,12	130,18 ± 22,15	0,417 ± 0,006	79,34 ± 37,11	0,31 ± 0,04	14,26 ± 1,84
DEG1	ST	0,41 ± 0,15	0,07 ± 0,01	7,36 ± 1,54	2,37 ± 1,03	936,20 ± 256,92	0,781 ± 0,002	3,01 ± 2,73	0,37 ± 0,00	38,35 ± 3,44
	SD	0,28 ± 0,11	0,07 ± 0,01	4,63 ± 0,65	0,94 ± 0,03	564,60 ± 11,80	0,662 ± 0,018	0,37 ± 0,17	0,35 ± 0,00	32,27 ± 1,93
	FT	0,12 ± 0,01	0,08 ± 0,00	10,92 ± 0,95	1,19 ± 0,04	889,20 ± 43,33	0,691 ± 0,111	17,38 ± 0,69	0,41 ± 0,04	40,03 ± 0,11
	FD	0,10 ± 0,00	0,07 ± 0,00	5,75 ± 0,42	0,92 ± 0,02	861,13 ± 31,28	0,674 ± 0,105	6,11 ± 5,85	0,38 ± 0,03	25,72 ± 0,41
DEG2	ST	0,46 ± 0,14	0,07 ± 0,00	4,08 ± 0,27	1,63 ± 0,31	111,36 ± 10,17	0,403 ± 0,002	167,60 ± 66,74	0,32 ± 0,06	18,20 ± 3,59
	SD	0,25 ± 0,06	0,05 ± 0,00	3,25 ± 0,39	1,01 ± 0,06	83,66 ± 5,75	0,392 ± 0,002	65,98 ± 30,84	0,24 ± 0,03	16,08 ± 2,94
	FT	0,25 ± 0,03	0,35 ± 0,01	4,23 ± 0,82	1,30 ± 0,45	101,30 ± 22,86	0,268 ± 0,102	25,05 ± 10,97	5,06 ± 0,81	20,66 ± 3,69
	FD	0,20 ± 0,01	0,26 ± 0,03	3,03 ± 0,52	0,71 ± 0,27	64,91 ± 25,29	0,257 ± 0,102	2,35 ± 0,25	3,91 ± 0,66	12,03 ± 0,41
BN1	ST	0,25 ± 0,07	0,18 ± 0,00	5,04 ± 1,31	3,19 ± 1,06	294,03 ± 17,88	0,472 ± 0,007	2,20 ± 0,75	0,05 ± 0,00	6,71 ± 1,06
	SD	0,14 ± 0,01	0,17 ± 0,00	4,42 ± 1,31	1,56 ± 0,02	282,57 ± 18,69	0,360 ± 0,086	0,94 ± 0,04	0,03 ± 0,01	4,83 ± 0,20

Campanha 1 (Setembro/ Outubro 2018)										
Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
	FT	0,23 ± 0,04	0,17 ± 0,00	2,16 ± 0,12	1,67 ± 0,37	324,56 ± 43,79	0,433 ± 0,101	1,01 ± 0,57	0,06 ± 0,02	12,65 ± 5,22
	FD	0,14 ± 0,00	0,16 ± 0,00	1,89 ± 0,16	1,36 ± 0,18	268,00 ± 16,72	0,414 ± 0,102	0,46 ± 0,07	0,03 ± 0,01	9,30 ± 3,64
BN2	ST	0,94 ± 0,26	0,19 ± 0,01	5,05 ± 0,40	1,88 ± 0,25	302,40 ± 3,20	0,093 ± 0,000	4,80 ± 3,81	2,13 ± 2,03	4,01 ± 0,45
	SD	0,48 ± 0,10	0,16 ± 0,00	4,11 ± 0,93	1,24 ± 0,16	269,56 ± 10,66	0,089 ± 0,000	1,99 ± 0,21	1,79 ± 1,70	2,74 ± 0,14
	FT	0,33 ± 0,07	0,18 ± 0,00	4,68 ± 0,37	1,29 ± 0,33	287,70 ± 4,65	0,085 ± 0,002	1,13 ± 0,37	0,30 ± 0,13	4,77 ± 1,22
	FD	0,22 ± 0,00	0,14 ± 0,01	4,27 ± 0,04	0,91 ± 0,07	280,43 ± 1,76	0,079 ± 0,004	1,74 ± 0,08	0,13 ± 0,05	4,03 ± 1,02
ITA1	ST	0,30 ± 0,13	0,20 ± 0,00	5,88 ± 0,35	3,24 ± 0,61	397,80 ± 58,81	0,101 ± 0,000	13,79 ± 6,36	0,11 ± 0,02	2,95 ± 0,47
	SD	0,14 ± 0,02	0,18 ± 0,00	5,22 ± 0,12	2,36 ± 0,12	292,13 ± 13,59	0,098 ± 0,000	4,71 ± 2,48	0,07 ± 0,01	1,78 ± 0,10
	FT	0,28 ± 0,01	0,19 ± 0,00	7,72 ± 1,13	3,84 ± 0,93	442,70 ± 65,20	0,097 ± 0,000	2,26 ± 0,65	0,53 ± 0,46	7,49 ± 2,67
	FD	0,13 ± 0,01	0,17 ± 0,00	5,13 ± 0,15	1,88 ± 0,26	309,70 ± 3,36	0,095 ± 0,001	1,27 ± 0,21	0,04 ± 0,01	4,30 ± 0,13
ITA2	ST	0,42 ± 0,18	0,08 ± 0,01	9,21 ± 3,46	0,56 ± 0,14	698,63 ± 30,59	0,705 ± 0,002	3,63 ± 2,96	0,37 ± 0,00	46,57 ± 3,96
	SD	0,15 ± 0,003	0,06 ± 0,01	3,07 ± 1,53	0,11 ± 0,01	539,73 ± 38,71	0,666 ± 0,008	2,33 ± 1,72	0,32 ± 0,03	39,59 ± 3,39
	FT	0,19 ± 0,02	0,08 ± 0,00	5,29 ± 1,32	0,05 ± 0,01	515,80 ± 47,59	0,639 ± 0,115	1,55 ± 0,26	0,37 ± 0,00	43,35 ± 3,38

Campanha 1 (Setembro/ Outubro 2018)										
Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
ABR01	FD	0,14 ± 0,00	0,06 ± 0,01	3,32 ± 0,17	0,02 ± 0,00	452,53 ± 22,63	0,535 ± 0,094	1,16 ± 0,08	0,36 ± 0,00	32,50 ± 5,06
	ST	0,27 ± 0,05	0,18 ± 0,00	5,30 ± 0,82	3,20 ± 1,37	399,16 ± 56,49	0,333 ± 0,034	0,78 ± 0,24	0,02 ± 0,01	8,94 ± 0,16
	SD	0,17 ± 0,00	0,15 ± 0,01	3,87 ± 0,17	1,37 ± 0,09	336,90 ± 48,29	0,298 ± 0,034	0,50 ± 0,04	0,01 ± 0,00	3,33 ± 0,43
	FT	0,21 ± 0,00	0,13 ± 0,04	6,86 ± 0,29	1,34 ± 0,25	387,60 ± 66,84	0,394 ± 0,008	1,89 ± 0,47	0,04 ± 0,01	3,95 ± 0,35
ABR02	FD	0,17 ± 0,00	0,12 ± 0,04	4,35 ± 0,36	1,03 ± 0,01	254,80 ± 3,71	0,334 ± 0,001	1,35 ± 0,33	0,02 ± 0,00	2,65 ± 0,17
	ST	0,17 ± 0,04	0,09 ± 0,00	9,39 ± 3,95	0,24 ± 0,19	485,90 ± 60,33	0,779 ± 0,109	9,94 ± 0,05	0,39 ± 0,00	46,34 ± 1,34
	SD	0,09 ± 0,00	0,08 ± 0,00	4,62 ± 1,35	0,10 ± 0,08	357,33 ± 53,37	0,747 ± 0,103	0,55 ± 0,21	0,33 ± 0,03	28,68 ± 3,28
	FT	0,42 ± 0,03	0,25 ± 0,16	5,91 ± 1,44	0,44 ± 0,02	362,40 ± 48,29	0,897 ± 0,000	11,12 ± 10,50	0,36 ± 0,00	45,77 ± 3,46
ABR04	FD	0,29 ± 0,02	0,07 ± 0,00	3,96 ± 1,57	0,16 ± 0,01	319,43 ± 42,78	0,883 ± 0,000	9,89 ± 9,59	0,34 ± 0,01	38,36 ± 4,52
	ST	0,26 ± 0,06	0,09 ± 0,00	10,29 ± 2,60	2,21 ± 0,98	501,23 ± 148,65	0,914 ± 0,000	38,13 ± 2,11	0,37 ± 0,00	54,12 ± 14,36
	SD	0,19 ± 0,01	0,08 ± 0,00	7,69 ± 2,89	0,94 ± 0,20	412,60 ± 86,85	0,904 ± 0,001	22,61 ± 0,80	0,35 ± 0,00	36,49 ± 8,04
	FT	0,81 ± 0,06	0,08 ± 0,00	13,19 ± 3,42	0,42 ± 0,08	611,33 ± 96,82	0,945 ± 0,007	55,76 ± 8,80	0,38 ± 0,01	29,47 ± 1,10
ABR04	FD	0,53 ± 0,16	0,07 ± 0,00	5,49 ± 0,13	0,37 ± 0,08	517,20 ± 53,23	0,923 ± 0,009	38,53 ± 6,10	0,35 ± 0,00	24,62 ± 0,25

Campanha 1 (Setembro/ Outubro 2018)										
Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
ABRC1	ST	0,24 ± 0,22	0,02 ± 0,01	7,00 ± 0,65	2,05 ± 0,42	386,13 ± 6,95	0,104 ± 0,000	19,21 ± 8,61	0,93 ± 0,25	33,68 ± 3,26
	SD	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01	4,12 ± 0,20	1,07 ± 0,18	271,26 ± 43,82	0,102 ± 0,001	8,95 ± 3,82	0,82 ± 0,20	21,31 ± 0,88
	FT	0,37 ± 0,07	0,03 ± 0,00	4,11 ± 0,38	1,37 ± 0,21	310,30 ± 19,20	0,099 ± 0,000	19,74 ± 4,69	1,09 ± 0,05	29,39 ± 7,26
	FD	0,17 ± 0,01	0,01 ± 0,00	2,05 ± 0,10	0,92 ± 0,07	240,16 ± 14,00	0,093 ± 0,000	15,36 ± 5,46	1,03 ± 0,04	21,28 ± 1,65
Valor permitido CONAMA 357/2005 Classe 1		10,00 As Total	5,00 Cd Total	50,00 Cr Total	5,00 Cu Diss.	300,00 Fe Diss.	0,2 Hg Total	100,00 Mn Total	10,00 Pb Total	90,00 Zn Total

Tabela 63: Concentração (µg/L) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb; Zn analisados na água (superfície [S] e fundo [F])/total [T] e dissolvido[D]) nas 25 estações amostradas na campanha 2 (Jan/Fev 2019). Para cada elemento, os valores estão apresentados como média ± erro padrão (n=3), e estão confrontados com os valores máximos estabelecidos pela resolução do CONAMA 357/2005 para águas salinas classe 1 (convertido para unidade µg/L).

Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
GUA1	ST	0,47 ± 0,01	0,098 ± 0,001	5,18 ± 0,31	5,80 ± 0,18	907,40 ± 41,02	0,014 ± 0,000	6,62 ± 0,30	1,33 ± 0,02	34,20 ± 0,63
	SD	0,07 ± 0,00	0,013 ± 0,009	1,12 ± 0,03	0,75 ± 0,05	132,26 ± 6,93	0,002 ± 0,000	3,77 ± 0,71	0,85 ± 0,02	15,97 ± 1,37
	FT	0,83 ± 0,04	0,101 ± 0,003	3,31 ± 0,06	3,28 ± 0,07	872,70 ± 20,23	0,015 ± 0,001	8,77 ± 0,09	1,22 ± 0,03	36,57 ± 0,61
	FD	0,09 ± 0,01	0,012 ± 0,007	1,47 ± 0,14	0,92 ± 0,01	274,40 ± 10,19	0,004 ± 0,000	1,73 ± 0,42	0,52 ± 0,04	14,10 ± 1,64
GUA2	ST	0,70 ± 0,05	0,038 ± 0,005	2,42 ± 0,08	2,78 ± 0,14	900,00 ± 7,71	0,013 ± 0,000	2,08 ± 0,38	1,31 ± 0,03	43,48 ± 1,12
	SD	0,10 ± 0,02	0,007 ± 0,000	0,92 ± 0,03	0,62 ± 0,20	307,13 ± 25,25	0,005 ± 0,002	0,68 ± 0,20	0,17 ± 0,02	18,04 ± 0,17

Campanha 2 (Janeiro/Febrero 2019)

Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
	FT	0,74 ± 0,02	0,038 ± 0,003	4,41 ± 0,11	9,72 ± 0,21	938,96 ± 9,98	0,014 ± 0,000	8,51 ± 0,27	1,28 ± 0,02	42,43 ± 1,44
	FD	0,06 ± 0,01	0,017 ± 0,009	1,22 ± 0,05	0,45 ± 0,23	219,39 ± 17,59	0,005 ± 0,001	1,52 ± 0,06	0,80 ± 0,03	15,99 ± 0,49
VIX1	ST	1,26 ± 0,01	0,047 ± 0,003	6,35 ± 0,16	3,58 ± 0,03	184,80 ± 1,24	0,010 ± 0,000	29,38 ± 3,59	1,11 ± 0,01	32,55 ± 1,41
	SD	0,09 ± 0,00	0,023 ± 0,008	3,20 ± 0,05	1,33 ± 0,16	109,48 ± 6,74	0,001 ± 0,000	13,70 ± 0,33	0,74 ± 0,03	22,31 ± 0,63
	FT	0,90 ± 0,03	0,044 ± 0,004	7,60 ± 0,19	3,24 ± 0,28	665,90 ± 23,23	0,014 ± 0,002	76,67 ± 1,88	1,54 ± 0,05	29,05 ± 0,49
	FD	0,07 ± 0,00	0,009 ± 0,002	3,24 ± 0,06	1,47 ± 0,20	383,26 ± 54,13	0,005 ± 0,001	47,93 ± 5,78	0,76 ± 0,08	16,82 ± 0,84
VIX2	ST	1,59 ± 0,12	0,234 ± 0,016	6,38 ± 0,16	5,28 ± 0,63	383,80 ± 1,87	0,015 ± 0,000	6,46 ± 0,11	0,11 ± 0,00	4,88 ± 0,40
	SD	0,06 ± 0,00	0,085 ± 0,006	2,74 ± 0,14	1,58 ± 0,06	278,90 ± 16,25	0,004 ± 0,000	1,26 ± 0,05	0,06 ± 0,00	3,26 ± 0,24
	FT	0,85 ± 0,03	0,215 ± 0,019	8,40 ± 0,28	14,64 ± 0,70	650,20 ± 7,10	0,015 ± 0,000	14,38 ± 0,75	0,30 ± 0,01	22,51 ± 1,50
	FD	0,20 ± 0,01	0,061 ± 0,001	2,78 ± 0,17	2,25 ± 0,08	235,73 ± 18,20	0,004 ± 0,001	2,62 ± 0,20	0,02 ± 0,01	2,77 ± 0,03
CA1	ST	0,35 ± 0,02	0,129 ± 0,003	7,39 ± 0,40	0,28 ± 0,01	953,66 ± 21,30	0,009 ± 0,000	3,01 ± 0,25	0,45 ± 0,00	53,82 ± 1,71
	SD	0,08 ± 0,00	0,052 ± 0,003	0,73 ± 0,12	0,10 ± 0,01	190,60 ± 6,67	0,004 ± 0,001	0,57 ± 0,04	0,28 ± 0,01	34,37 ± 0,87
	FT	0,61 ± 0,05	0,132 ± 0,005	0,54 ± 0,03	0,54 ± 0,03	573,76 ± 3,46	0,009 ± 0,000	43,47 ± 0,74	0,44 ± 0,00	65,69 ± 0,60
	FD	0,07 ± 0,00	0,044 ± 0,004	0,16 ± 0,06	0,16 ± 0,06	174,46 ± 5,02	0,004 ± 0,001	24,01 ± 0,47	0,28 ± 0,00	31,71 ± 1,31
CA2	ST	0,69 ± 0,02	0,217 ± 0,002	4,20 ± 0,02	1,03 ± 0,01	99,32 ± 0,80	0,043 ± 0,001	3,71 ± 0,31	6,62 ± 0,54	20,69 ± 0,15
	SD	0,13 ± 0,03	0,139 ± 0,023	1,22 ± 0,22	0,28 ± 0,08	15,62 ± 2,26	0,000 ± 0,000	2,58 ± 0,23	2,98 ± 0,63	11,09 ± 0,74

Campanha 2 (Janeiro/Febrero 2019)

Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
	FT	0,46 ± 0,04	0,406 ± 0,047	4,79 ± 0,48	0,92 ± 0,02	243,80 ± 11,26	0,039 ± 0,001	13,30 ± 1,44	5,82 ± 1,08	30,33 ± 1,34
	FD	0,09 ± 0,00	0,171 ± 0,005	1,55 ± 0,62	0,50 ± 0,04	66,86 ± 10,13	0,002 ± 0,000	1,67 ± 0,12	2,78 ± 0,24	12,84 ± 2,51
CA3	ST	0,58 ± 0,03	0,339 ± 0,031	3,46 ± 0,26	1,27 ± 0,08	360,73 ± 14,28	0,035 ± 0,000	82,98 ± 0,91	6,91 ± 0,02	31,89 ± 1,35
	SD	0,16 ± 0,00	0,097 ± 0,008	1,20 ± 0,40	0,68 ± 0,11	126,13 ± 7,43	0,002 ± 0,000	0,83 ± 0,13	1,56 ± 0,13	13,80 ± 0,71
	FT	0,85 ± 0,01	0,466 ± 0,013	4,35 ± 0,09	3,22 ± 0,27	293,66 ± 27,50	0,031 ± 0,000	0,87 ± 0,04	6,81 ± 0,18	20,81 ± 1,16
	FD	0,24 ± 0,00	0,167 ± 0,004	1,58 ± 0,35	1,37 ± 0,23	35,71 ± 0,91	0,001 ± 0,000	0,63 ± 0,12	2,46 ± 0,37	13,51 ± 0,14
CA4	ST	0,35 ± 0,02	0,125 ± 0,002	7,97 ± 0,22	0,58 ± 0,01	3200,50 ± 102,39	0,013 ± 0,000	44,15 ± 2,02	0,49 ± 0,01	45,66 ± 0,50
	SD	0,08 ± 0,00	0,041 ± 0,005	1,64 ± 0,08	0,06 ± 0,00	295,80 ± 11,08	0,005 ± 0,001	30,90 ± 1,36	0,31 ± 0,01	25,58 ± 2,08
	FT	0,61 ± 0,05	0,116 ± 0,003	6,25 ± 0,18	0,94 ± 0,01	915,80 ± 13,02	0,013 ± 0,000	54,61 ± 0,51	0,46 ± 0,01	35,70 ± 1,06
	FD	0,07 ± 0,00	0,043 ± 0,003	2,34 ± 0,04	0,13 ± 0,00	227,40 ± 11,01	0,004 ± 0,001	24,32 ± 1,56	0,29 ± 0,00	22,42 ± 0,04
CA5	ST	0,32 ± 0,04	0,173 ± 0,006	10,47 ± 0,28	2,45 ± 0,14	497,00 ± 5,65	0,015 ± 0,000	1,68 ± 0,22	0,30 ± 0,01	1,38 ± 0,20
	SD	0,06 ± 0,00	0,084 ± 0,011	2,34 ± 0,14	1,50 ± 0,21	280,73 ± 14,83	0,004 ± 0,000	0,94 ± 0,02	0,03 ± 0,00	1,11 ± 0,02
	FT	1,60 ± 0,09	0,221 ± 0,004	7,98 ± 0,25	6,56 ± 0,09	523,13 ± 11,02	0,015 ± 0,000	2,33 ± 0,07	0,31 ± 0,02	5,77 ± 0,07
	FD	0,23 ± 0,00	0,088 ± 0,004	3,32 ± 0,17	2,15 ± 0,03	282,43 ± 28,30	0,004 ± 0,000	0,84 ± 0,02	0,08 ± 0,05	1,35 ± 0,10
FRD1	ST	1,42 ± 0,03	0,240 ± 0,011	6,00 ± 0,54	6,23 ± 0,15	516,70 ± 0,87	0,013 ± 0,000	1,58 ± 0,17	0,25 ± 0,01	1,61 ± 0,04
	SD	0,14 ± 0,08	0,096 ± 0,006	2,05 ± 0,01	1,36 ± 0,26	246,76 ± 17,59	0,003 ± 0,000	1,16 ± 0,02	0,07 ± 0,01	0,79 ± 0,15

Campanha 2 (Janeiro/Febrero 2019)

Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
	FT	0,21 ± 0,01	0,244 ± 0,008	6,96 ± 0,45	3,15 ± 0,11	920,83 ± 37,50	0,013 ± 0,000	2,11 ± 0,04	0,18 ± 0,03	1,62 ± 0,14
	FD	0,06 ± 0,00	0,096 ± 0,007	3,11 ± 0,27	1,99 ± 0,59	265,90 ± 18,60	0,004 ± 0,000	0,72 ± 0,09	0,02 ± 0,01	1,09 ± 0,17
FRD3	ST	0,18 ± 0,01	0,231 ± 0,009	6,54 ± 0,34	1,55 ± 0,22	531,03 ± 6,12	0,073 ± 0,001	1,40 ± 0,12	0,03 ± 0,00	22,61 ± 0,82
	SD	0,04 ± 0,00	0,059 ± 0,013	1,08 ± 0,10	1,08 ± 0,11	287,33 ± 35,19	0,004 ± 0,000	0,86 ± 0,10	0,01 ± 0,00	5,09 ± 0,17
	FT	0,34 ± 0,01	0,124 ± 0,003	23,87 ± 0,91	4,66 ± 0,10	5756,23 ± 79,18	0,080 ± 0,001	2,91 ± 0,03	0,46 ± 0,00	58,32 ± 1,52
	FD	0,05 ± 0,00	0,043 ± 0,002	1,85 ± 0,11	1,38 ± 0,17	468,96 ± 56,76	0,022 ± 0,002	1,41 ± 0,03	0,27 ± 0,02	25,22 ± 2,19
FRD6	ST	0,23 ± 0,00	0,131 ± 0,007	24,75 ± 1,49	0,93 ± 0,00	603,23 ± 34,86	0,013 ± 0,000	75,58 ± 1,65	0,46 ± 0,00	56,12 ± 0,42
	SD	0,11 ± 0,05	0,035 ± 0,006	5,71 ± 0,04	0,17 ± 0,04	282,26 ± 7,02	0,007 ± 0,002	41,58 ± 2,14	0,28 ± 0,00	29,24 ± 3,95
	FT	0,51 ± 0,03	0,123 ± 0,001	16,59 ± 1,98	1,36 ± 0,01	5642,73 ± 78,45	0,012 ± 0,000	49,01 ± 1,71	0,45 ± 0,00	45,53 ± 1,02
	FD	0,08 ± 0,02	0,041 ± 0,001	2,54 ± 0,33	0,08 ± 0,03	404,66 ± 52,12	0,007 ± 0,001	32,44 ± 1,34	0,30 ± 0,01	27,83 ± 1,44
FRD8	ST	0,22 ± 0,02	0,028 ± 0,005	8,22 ± 0,72	1,81 ± 0,14	703,20 ± 34,90	0,015 ± 0,000	6,43 ± 0,30	1,34 ± 0,01	22,70 ± 0,73
	SD	0,03 ± 0,01	0,013 ± 0,006	2,07 ± 0,18	1,16 ± 0,15	235,50 ± 37,00	0,003 ± 0,001	1,78 ± 0,12	0,84 ± 0,02	13,97 ± 1,51
	FT	0,86 ± 0,00	0,035 ± 0,007	5,83 ± 0,44	1,31 ± 0,11	348,23 ± 0,86	0,015 ± 0,000	6,67 ± 0,32	1,44 ± 0,00	24,67 ± 1,30
	FD	0,17 ± 0,01	0,006 ± 0,001	2,57 ± 0,24	0,68 ± 0,11	223,40 ± 12,31	0,003 ± 0,000	1,37 ± 0,07	0,84 ± 0,05	16,73 ± 1,29
FRD9	ST	0,46 ± 0,00	0,242 ± 0,008	10,36 ± 0,34	1,42 ± 0,15	507,43 ± 5,80	0,012 ± 0,000	1,04 ± 0,03	0,15 ± 0,00	5,68 ± 0,50
	SD	0,08 ± 0,02	0,086 ± 0,007	3,93 ± 0,47	0,85 ± 0,02	266,76 ± 10,45	0,004 ± 0,000	0,53 ± 0,00	0,08 ± 0,00	2,97 ± 0,11

Campanha 2 (Janeiro/Febrero 2019)

Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
	FT	0,25 ± 0,00	0,232 ± 0,005	7,58 ± 0,19	1,31 ± 0,07	322,03 ± 10,23	0,011 ± 0,000	0,77 ± 0,09	0,05 ± 0,00	5,69 ± 0,18
	FD	0,05 ± 0,00	0,085 ± 0,007	3,29 ± 0,07	0,90 ± 0,05	265,13 ± 2,58	0,004 ± 0,000	0,49 ± 0,02	0,01 ± 0,00	1,94 ± 0,19
FRD10	ST	0,26 ± 0,02	0,121 ± 0,004	9,99 ± 0,61	1,36 ± 0,15	535,63 ± 9,18	0,057 ± 0,000	37,10 ± 1,82	0,47 ± 0,01	34,31 ± 1,54
	SD	0,06 ± 0,00	0,037 ± 0,004	2,32 ± 0,07	0,56 ± 0,11	295,40 ± 22,32	0,004 ± 0,000	21,65 ± 1,35	0,25 ± 0,01	24,08 ± 0,99
	FT	0,50 ± 0,01	0,116 ± 0,008	11,76 ± 1,06	1,23 ± 0,07	810,33 ± 5,71	0,053 ± 0,000	177,53 ± 1,27	0,47 ± 0,01	34,27 ± 1,02
	FD	0,08 ± 0,01	0,029 ± 0,000	1,70 ± 0,09	0,89 ± 0,11	113,42 ± 19,29	0,002 ± 0,000	107,90 ± 3,05	0,26 ± 0,03	13,42 ± 0,69
DEG1	ST	0,63 ± 0,03	0,133 ± 0,003	6,78 ± 0,15	1,60 ± 0,07	932,46 ± 16,90	0,095 ± 0,000	0,88 ± 0,03	0,46 ± 0,00	45,73 ± 1,55
	SD	0,14 ± 0,02	0,045 ± 0,002	2,11 ± 0,38	0,75 ± 0,02	491,96 ± 10,29	0,007 ± 0,000	0,35 ± 0,16	0,29 ± 0,00	28,12 ± 1,68
	FT	0,18 ± 0,00	0,123 ± 0,002	13,00 ± 1,13	1,43 ± 0,04	973,60 ± 7,53	0,084 ± 0,013	20,68 ± 0,82	0,65 ± 0,01	47,58 ± 0,11
	FD	0,04 ± 0,00	0,040 ± 0,003	3,45 ± 0,25	0,74 ± 0,01	750,36 ± 27,24	0,012 ± 0,002	0,41 ± 0,17	0,31 ± 0,02	22,41 ± 0,36
DEG2	ST	0,72 ± 0,05	0,104 ± 0,011	4,86 ± 0,32	1,62 ± 0,14	142,46 ± 3,47	0,050 ± 0,000	365,86 ± 97,31	0,47 ± 0,01	30,32 ± 1,73
	SD	0,10 ± 0,02	0,032 ± 0,005	1,28 ± 0,47	0,81 ± 0,05	72,86 ± 5,02	0,001 ± 0,000	12,02 ± 0,40	0,20 ± 0,02	14,09 ± 2,48
	FT	0,34 ± 0,00	0,442 ± 0,014	4,39 ± 0,31	0,56 ± 0,04	153,77 ± 7,16	0,034 ± 0,012	39,63 ± 3,21	7,36 ± 0,12	28,57 ± 2,10
	FD	0,08 ± 0,00	0,172 ± 0,012	1,48 ± 0,02	0,43 ± 0,07	23,23 ± 1,99	0,001 ± 0,000	2,21 ± 0,23	3,20 ± 0,54	10,48 ± 0,35
BN1	ST	0,43 ± 0,02	0,243 ± 0,005	7,01 ± 0,81	2,48 ± 0,18	366,30 ± 2,01	0,044 ± 0,014	1,50 ± 0,04	0,08 ± 0,00	7,32 ± 0,69
	SD	0,05 ± 0,00	0,095 ± 0,001	1,98 ± 0,35	1,25 ± 0,02	246,20 ± 16,30	0,003 ± 0,000	0,89 ± 0,03	0,02 ± 0,00	4,21 ± 0,17

Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
	FT	0,34 ± 0,01	0,231 ± 0,006	2,58 ± 0,15	1,67 ± 0,18	379,20 ± 1,05	0,053 ± 0,012	0,55 ± 0,01	0,04 ± 0,00	8,67 ± 0,68
	FD	0,05 ± 0,00	0,088 ± 0,004	0,47 ± 0,23	0,65 ± 0,08	233,50 ± 14,54	0,003 ± 0,000	0,43 ± 0,06	0,01 ± 0,00	4,77 ± 0,23
BN2	ST	0,86 ± 0,04	0,246 ± 0,013	6,03 ± 0,47	2,90 ± 0,03	362,76 ± 1,48	0,013 ± 0,000	1,62 ± 0,13	0,15 ± 0,02	4,79 ± 0,54
	SD	0,12 ± 0,00	0,089 ± 0,004	2,47 ± 0,56	0,75 ± 0,11	235,03 ± 9,15	0,003 ± 0,000	0,93 ± 0,19	0,06 ± 0,01	2,38 ± 0,12
	FT	0,33 ± 0,01	0,242 ± 0,006	5,59 ± 0,44	1,22 ± 0,06	348,60 ± 2,55	0,012 ± 0,000	2,00 ± 0,13	0,07 ± 0,00	7,04 ± 0,18
	FD	0,09 ± 0,00	0,081 ± 0,008	2,56 ± 0,02	0,53 ± 0,24	244,33 ± 1,53	0,003 ± 0,000	0,70 ± 0,07	0,02 ± 0,00	1,84 ± 0,04
ITA1	ST	0,28 ± 0,01	0,257 ± 0,006	7,00 ± 0,42	2,92 ± 0,32	579,76 ± 18,98	0,014 ± 0,000	17,40 ± 1,76	0,17 ± 0,00	3,20 ± 0,27
	SD	0,04 ± 0,00	0,097 ± 0,003	3,14 ± 0,07	1,55 ± 0,26	254,50 ± 3,12	0,003 ± 0,000	4,42 ± 2,33	0,05 ± 0,01	1,55 ± 0,09
	FT	0,36 ± 0,01	0,247 ± 0,008	8,23 ± 0,33	6,25 ± 0,38	592,86 ± 10,85	0,013 ± 0,000	4,37 ± 0,12	0,06 ± 0,00	5,58 ± 0,19
	FD	0,05 ± 0,00	0,094 ± 0,005	3,08 ± 0,09	1,51 ± 0,21	269,83 ± 2,94	0,004 ± 0,000	1,19 ± 0,20	0,03 ± 0,01	3,75 ± 0,11
ITA2	ST	0,46 ± 0,01	0,136 ± 0,002	3,76 ± 0,40	0,68 ± 0,00	863,76 ± 15,12	0,086 ± 0,000	0,85 ± 0,04	0,46 ± 0,00	48,72 ± 1,38
	SD	0,04 ± 0,00	0,035 ± 0,007	0,90 ± 0,03	0,08 ± 0,01	470,30 ± 33,73	0,006 ± 0,000	0,52 ± 0,04	0,26 ± 0,03	34,50 ± 2,95
	FT	0,27 ± 0,00	0,121 ± 0,003	3,64 ± 0,21	0,07 ± 0,00	668,00 ± 3,84	0,078 ± 0,014	1,52 ± 0,16	0,47 ± 0,00	54,87 ± 0,88
	FD	0,05 ± 0,00	0,038 ± 0,007	1,66 ± 0,23	0,01 ± 0,00	394,30 ± 19,73	0,005 ± 0,000	1,09 ± 0,07	0,29 ± 0,00	28,32 ± 4,41
ABR01	ST	0,45 ± 0,01	0,243 ± 0,007	6,66 ± 0,25	2,50 ± 0,26	507,76 ± 43,01	0,041 ± 0,004	1,61 ± 0,07	0,06 ± 0,00	10,65 ± 0,19

Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
	SD	0,07 ± 0,00	0,080 ± 0,010	2,32 ± 0,10	0,97 ± 0,06	293,53 ± 42,06	0,004 ± 0,001	0,47 ± 0,03	0,009 ± 0,003	2,90 ± 0,38
	FT	0,27 ± 0,01	0,237 ± 0,003	7,50 ± 0,31	1,28 ± 0,05	530,70 ± 29,49	0,049 ± 0,001	2,27 ± 0,04	0,08 ± 0,00	5,37 ± 0,24
	FD	0,07 ± 0,00	0,064 ± 0,026	2,61 ± 0,21	0,82 ± 0,01	221,96 ± 3,22	0,003 ± 0,000	1,26 ± 0,31	0,02 ± 0,00	2,30 ± 0,14
ABR02	ST	0,16 ± 0,00	0,136 ± 0,007	6,18 ± 0,30	0,06 ± 0,01	521,13 ± 2,04	0,028 ± 0,020	1,20 ± 0,01	0,48 ± 0,00	56,77 ± 0,73
	SD	0,03 ± 0,00	0,046 ± 0,003	1,45 ± 0,08	0,03 ± 0,01	311,33 ± 46,49	0,004 ± 0,001	0,51 ± 0,20	0,27 ± 0,02	22,53 ± 0,74
	FT	0,44 ± 0,00	0,128 ± 0,006	8,72 ± 0,54	0,54 ± 0,03	330,76 ± 2,80	0,009 ± 0,000	6,90 ± 0,67	0,46 ± 0,00	49,42 ± 3,18
	FD	0,11 ± 0,00	0,041 ± 0,001	1,37 ± 0,05	0,13 ± 0,00	244,96 ± 11,23	0,004 ± 0,000	0,29 ± 0,02	0,28 ± 0,01	33,42 ± 3,94
ABR04	ST	0,24 ± 0,01	0,132 ± 0,002	11,94 ± 0,27	1,66 ± 0,23	595,76 ± 5,51	0,011 ± 0,000	42,01 ± 1,28	0,45 ± 0,00	57,66 ± 0,58
	SD	0,06 ± 0,00	0,046 ± 0,001	1,61 ± 0,03	0,75 ± 0,16	359,46 ± 75,68	0,005 ± 0,001	21,53 ± 0,57	0,29 ± 0,00	25,12 ± 0,35
	FT	0,92 ± 0,00	0,123 ± 0,006	11,73 ± 0,75	0,42 ± 0,01	826,63 ± 16,26	0,014 ± 0,001	86,29 ± 1,16	0,47 ± 0,01	36,38 ± 0,54
	FD	0,11 ± 0,00	0,042 ± 0,001	3,29 ± 0,08	0,20 ± 0,02	450,66 ± 46,38	0,006 ± 0,000	29,55 ± 2,02	0,29 ± 0,00	21,45 ± 0,22
ABRC1	ST	0,82 ± 0,01	0,044 ± 0,014	9,01 ± 0,30	1,45 ± 0,11	475,63 ± 0,61	0,014 ± 0,000	3,10 ± 0,12	1,46 ± 0,07	43,38 ± 1,27
	SD	0,008 ± 0,001	0,009 ± 0,005	2,47 ± 0,12	0,72 ± 0,04	236,33 ± 38,18	0,003 ± 0,001	1,41 ± 0,06	0,67 ± 0,16	18,58 ± 0,78
	FT	0,55 ± 0,01	0,061 ± 0,009	4,91 ± 0,45	1,64 ± 0,25	322,43 ± 7,22	0,014 ± 0,000	13,50 ± 1,45	1,31 ± 0,07	31,60 ± 0,77
	FD	0,07 ± 0,00	0,010 ± 0,003	1,23 ± 0,06	0,74 ± 0,06	209,40 ± 12,04	0,003 ± 0,000	8,10 ± 1,21	0,84 ± 0,03	18,54 ± 1,43

Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto	Amostra água	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
Valor permitido		10,00	5,00	50,00	5,00	300,00	0,2	100,00	10,00	90,00
CONAMA		As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
357/2005		Total	Total	Total	Diss.	Diss.	Total	Total	Total	Total
classe I										

Os resultados apresentados na Tabela 62 e Tabela 63 foram confrontados com a Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina, classe 1, visando à detecção de resultados em desconformidade com a legislação vigente (Figura 150 à Figura 158).

Análises multivariadas foram feitas para integrar dados de concentração dos nove metais (Cu, Zn, Fe, Cr, Mn, Cd, Pb, Hg e As) em matrizes abióticas (água e sedimento). Foi evidenciado que há congruência entre os valores de metais na água de fundo e de superfície, nas duas frações (total e dissolvido) analisadas. Estes resultados indicam que é possível utilizar apenas um desses compartimentos (superficial ou fundo, total ou dissolvida) como variável preditora confiável do nível ambiental de contaminação por metais na água. Sendo assim, foram utilizados os resultados de concentração de metais nas amostras de água de fundo na maioria das análises estatísticas realizadas.

Figura 150: Concentração de arsênio total ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água (fundo) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de arsênio total ( $10 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em **negrito** as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

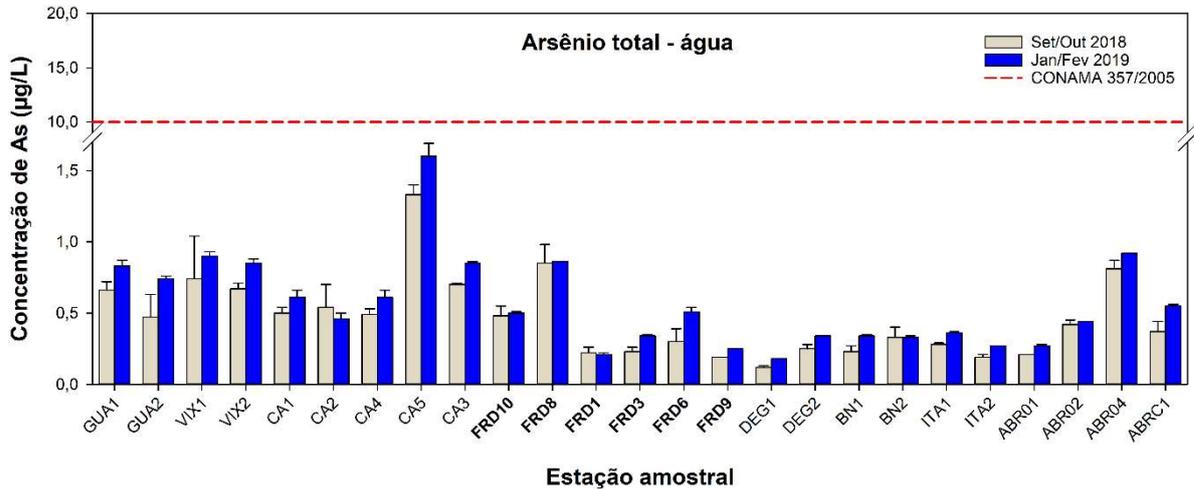


Figura 151: Concentração de cádmio total ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água (fundo) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de cádmio total ( $5 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em **negrito** as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

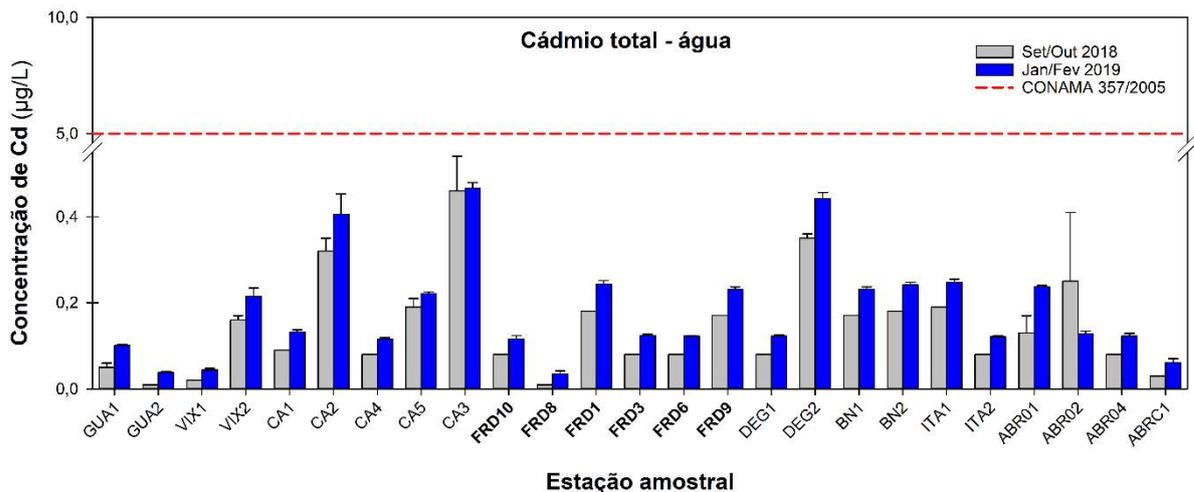


Figura 152: Concentração de cromo total ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água (fundo) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de cromo total ( $50 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

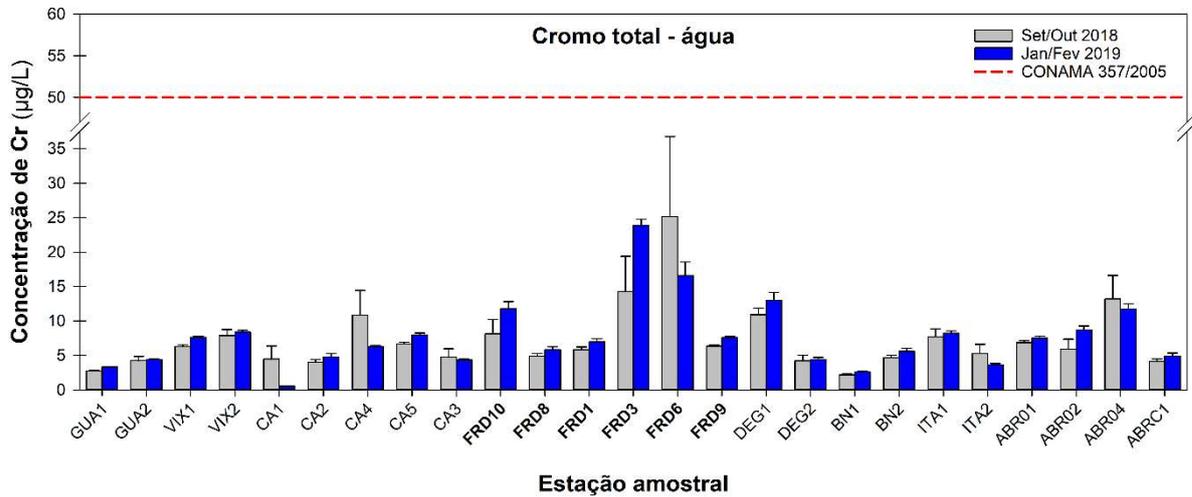


Figura 153: Concentração de cobre dissolvido ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água (fundo) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de cobre dissolvido ( $5 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

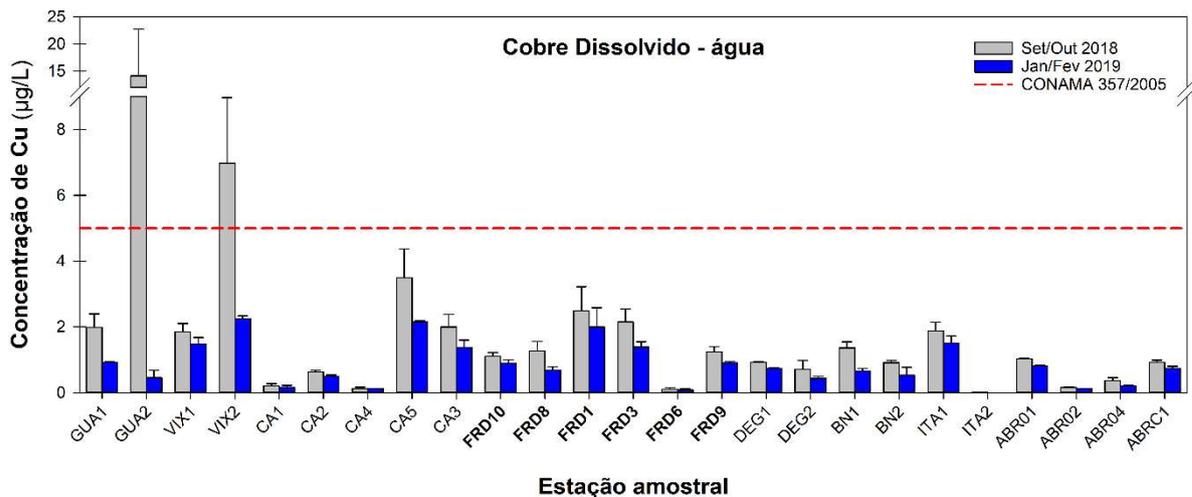


Figura 154: Concentração de ferro dissolvido ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água de fundo (a) e superfície (b) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de ferro dissolvido ( $300 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

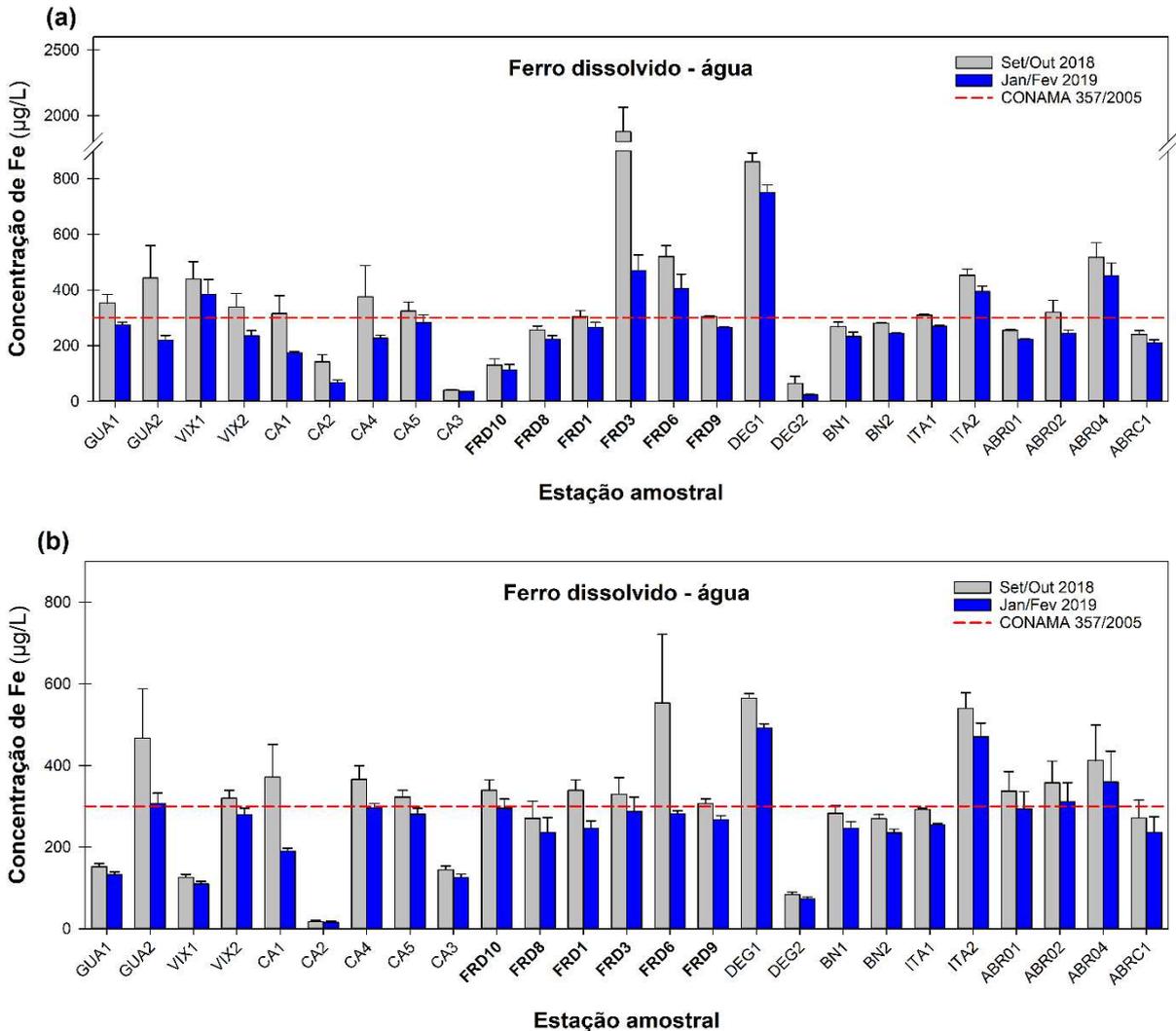


Figura 155: Concentração de mercúrio total ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água (fundo) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de mercúrio total ( $0,2 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

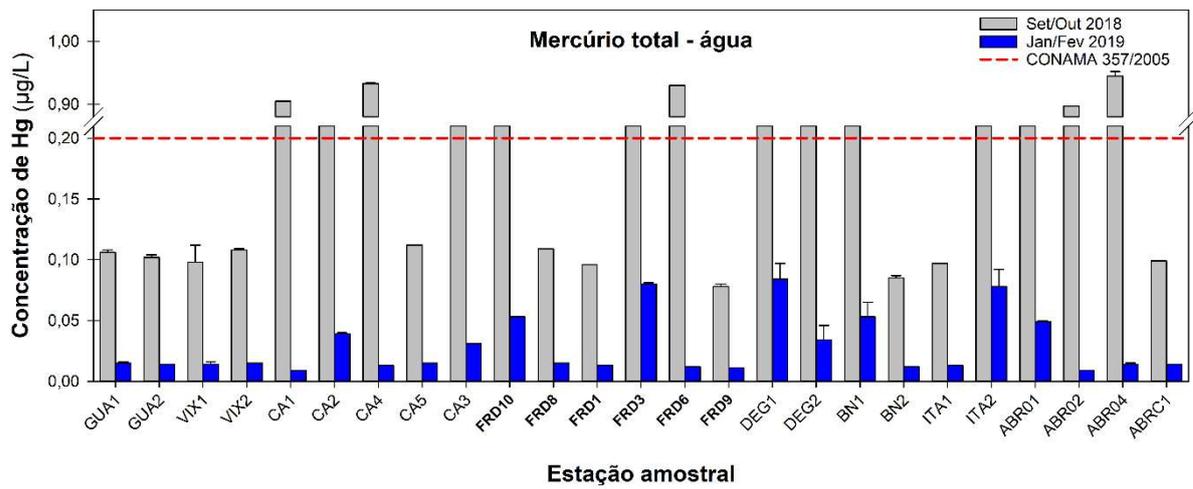


Figura 156: Concentração de manganês total ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água de fundo (a) e superfície (b) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de manganês total ( $100 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

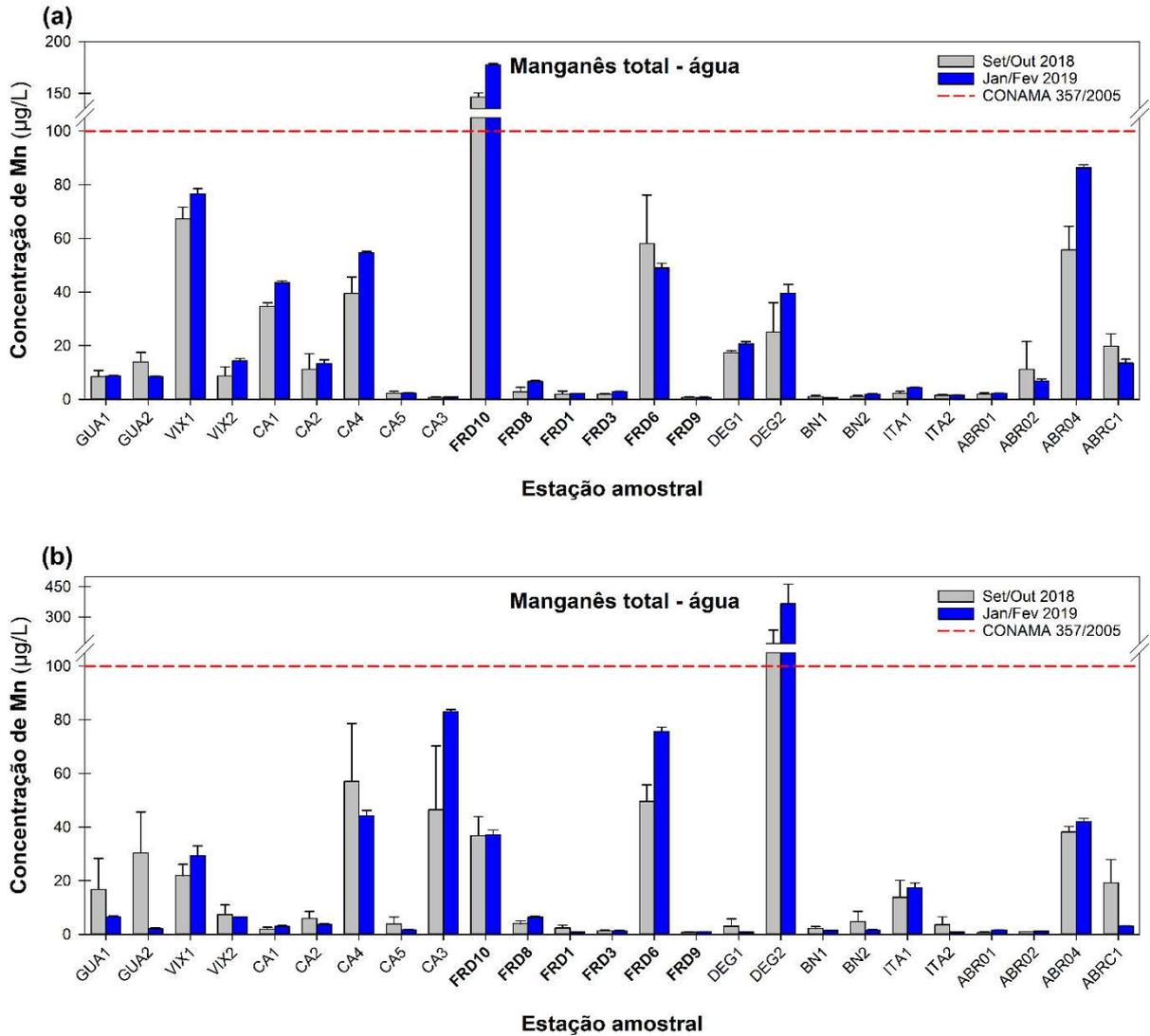


Figura 157: Concentração de chumbo total ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água (fundo) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de chumbo total ( $10 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

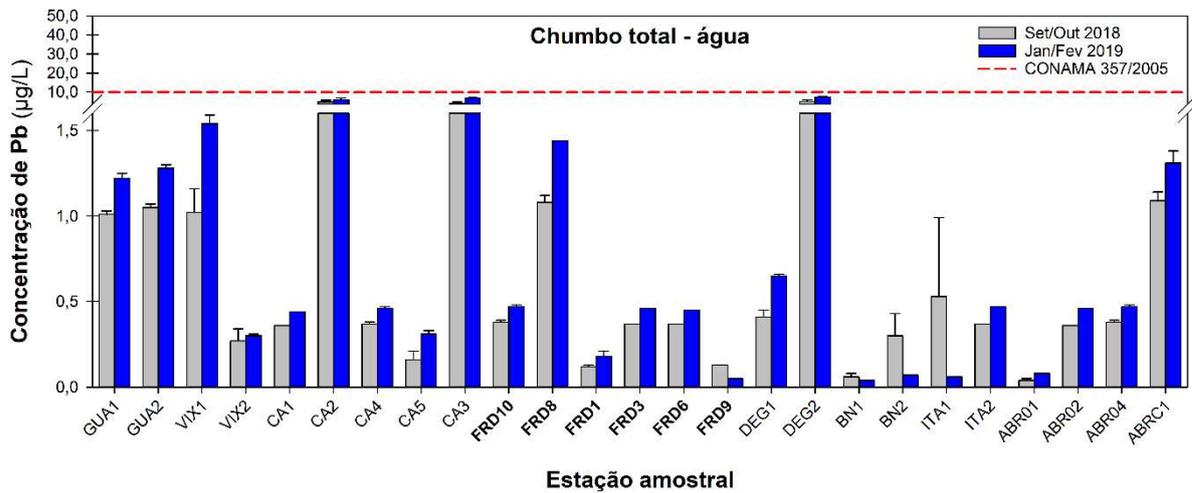
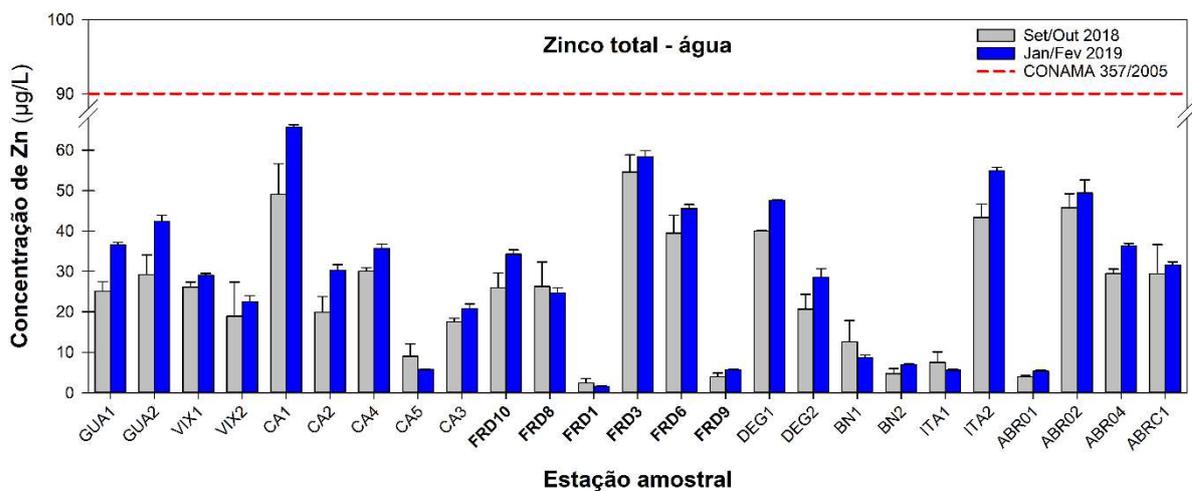


Figura 158: Concentração de zinco total ( $\mu\text{g/L}$ ) (de acordo com a Tabela 62 e Tabela 63) na amostra de água (fundo) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de zinco total ( $90 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/2005) para água salina. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.



Em resumo, na campanha 1 (Set/Out 2018) os seguintes metais encontravam-se em desconformidade com o preconizado pela resolução CONAMA 357/2005:

- Cobre dissolvido, nas estações amostrais GUA2 ( $14,13 \pm 8,62$ ), VIX2 ( $6,98 \pm 1,99$ ) (Figura 153).
- Ferro dissolvido, em quase todas estações amostrais, nas amostras de fundo e/ou superfície, exceto no CA1; CA3, FRD8; DEG2; BN1; BN2; ABRC1 (Figura 154).
- Mercúrio total, nas estações amostrais CA1, CA2, CA3, CA4, FRD3, FRD6, FRD10, DEG1, DEG2, ITA2, BN1, ABR01, ABR02, ABR04 (Figura 155).
- Manganês total, nas estações amostrais FRD10 ( $146,60 \pm 3,74$ ; amostras de fundo total) e DEG2 ( $167,60 \pm 66,74$ ; amostras de superfície total) (Figura 156).

Na campanha 2 (Jan/Fev 2019) os seguintes metais encontravam-se em desconformidade com o preconizado pela resolução CONAMA 357/2005:

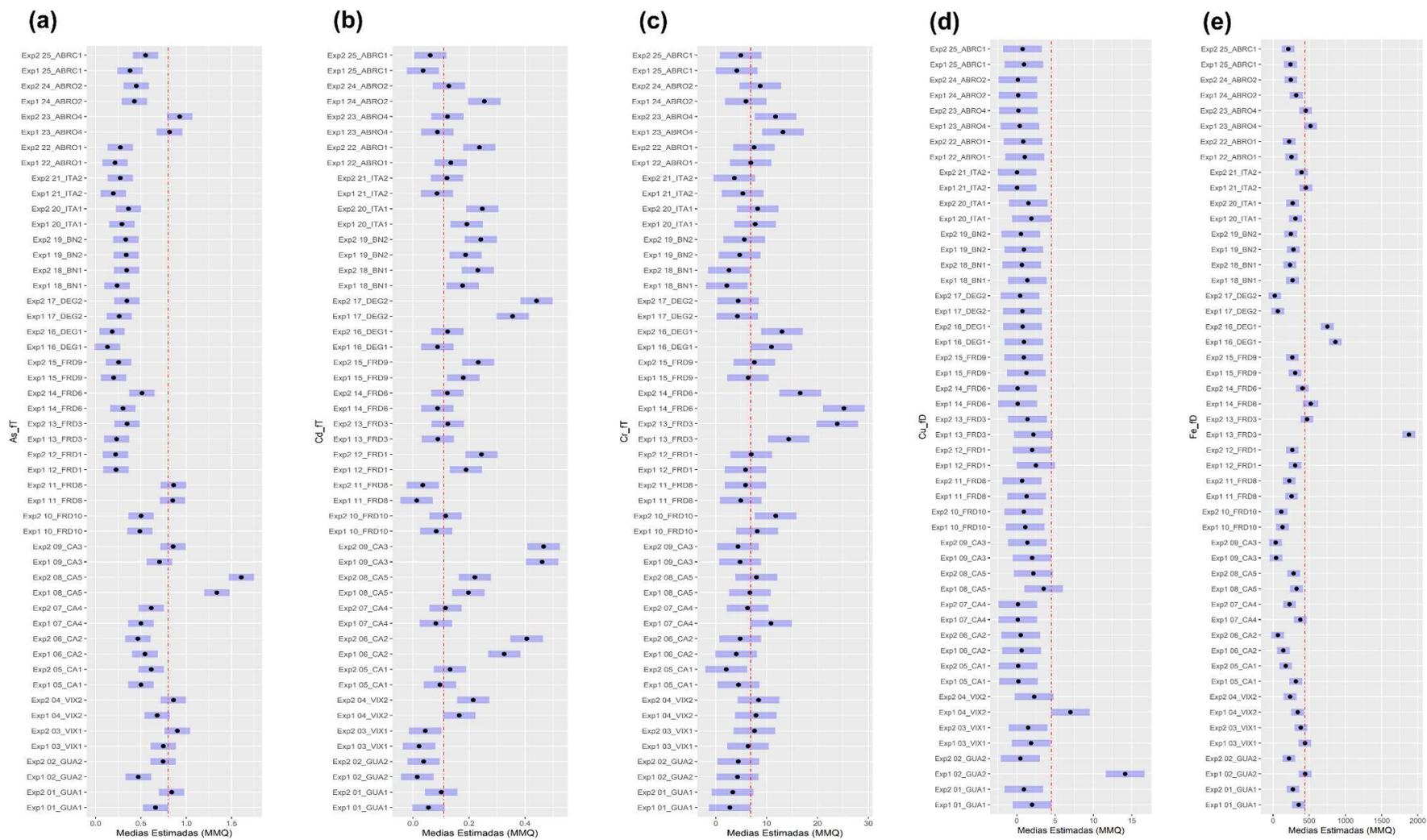
- Ferro dissolvido, nas estações amostrais GUA2 ( $307,13 \pm 25,25$ ; superfície dissolvido), VIX1 ( $383,26 \pm 54,13$ ; fundo dissolvido), FRD3 ( $468,96 \pm 56,76$ ; fundo dissolvido), FRD6 ( $404,66 \pm 52,12$ ; fundo dissolvido), DEG1 ( $491,96 \pm 10,29$ ;  $750,36 \pm 27,24$ ; superfície e fundo dissolvido) ITA2 ( $470,30 \pm 33,73$ ; superfície dissolvido), ABR02 ( $311,33 \pm 46,49$ ; superfície dissolvido) e ABR04 ( $359,46 \pm 75,68$ ;  $450,66 \pm 46,38$ ; superfície e fundo dissolvido) (Figura 154).
- Manganês total, nas estações amostrais FRD10 ( $177,53 \pm 1,27$ ; fundo total) e DEG2 ( $365,86 \pm 97,31$ ; superfície total) (Figura 156).

Neste sentido, podemos observar também que o Cromo, apesar de não estar em desconformidade com a legislação, foi encontrado em concentrações acima de  $10 \mu\text{g/L}$  nas regiões próximas à Foz do Rio Doce (FRD3, FRD6 e FRD10) (Figura 152).

Para comparação entre a concentração de metais nas campanhas marinhas 1 e 2, assim como a avaliação da variabilidade espacial ao longo das 25 estações amostrais, modelos lineares foram aplicados. Apesar de não ser possível, de fato, delimitar uma área referência/controle para a malha amostral utilizada, a estação GUA1 foi escolhida como “linha de base” nos modelos lineares, devido aos seus menores valores de metais associados à atividade de mineração, e ao aporte de lama oriunda do rompimento da barragem (Fe, Cr, Mn) (considerando o conjunto de dados obtidos nas campanhas 1 e 2), e devido à distância da foz do Rio Doce. As estações localizadas na região de Abrolhos, apesar de sua distância da foz do Rio Doce, não foram escolhidas como “linha de base” para comparação espacial devido aos relatórios de sobrevoo que sugerem uma influência da lama oriunda do rompimento da barragem (Bastos et al., 2017). E, também, devido aos resultados obtidos nas campanhas marinhas 1 e 2 do Anexo 1, que indicam níveis de Fe e Hg na água de estações em Abrolhos acima do permitido pelo CONAMA.

De forma geral, modelos lineares aplicados aos dados de metais indicam que os elementos As, Cd, Mn, Pb e Zn, na fração total, apresentaram níveis maiores na segunda expedição em comparação com a primeira (Set/Out 2018) (Figura 159). Por outro lado, os níveis de Cu e Fe dissolvido, e principalmente os níveis de Hg total, foram significativamente menores na segunda expedição (em comparação com a primeira).

Figura 159: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para os elementos Arsênio (a), Cádmiio (b), Cromo (c), Cobre (d), Ferro (e/f), Mercúrio (g), Manganês (h), Chumbo (i), Zinco (j) presentes nas amostras de água (fundo total [fT] e fundo dissolvido [fD]). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal "Expedição/Campanha" com dois níveis e os 25 níveis do fator espacial "Estação Amostral", discriminando a comparação das estações amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o intervalo de confiança obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à "linha de base" escolhida, GUA1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.





A maioria das estações amostrais localizadas entre a foz do Rio Doce e Abrolhos apresentou níveis de Arsênio significativamente menores, em comparação com GUA1 (Figura 159a). A estação CA5, por sua vez, se destacou com os maiores níveis de As.

O Cd foi estatisticamente mais alto na maioria das estações ( $p < 0.05$  na comparação com GUA1), com destaque para as estações localizadas na área da Costa das Algas (CA2, CA3 e CA5) e DEG2 (Figura 159b)

Quanto aos níveis de Cr total, várias estações amostrais apresentaram valores significativamente ( $p < 0.05$ ) maiores (em comparação com GUA1), sendo que as estações FRD3 e FRD6 apresentaram o “maior efeito”, ou seja, diferenças mais acentuadas (Figura 159c) e também pela análise visual dos gráficos com médias e erro padrão (Figura 152).

Ao fazer uma avaliação da distribuição espacial dos metais analisados, os modelos lineares indicam padrões diferentes para cada metal. De forma geral, os níveis maiores de Cu dissolvido ocorreram nas estações amostrais mais ao sul (regiões de GUA e VIX) (Figura 159d).

Quanto ao Fe dissolvido, as concentrações foram significativamente ( $p < 0.05$ ) maiores em FRD3 e DEG1, como evidenciado pelo resultado do modelo que compara a diferença na concentração do metal em relação ao ponto GUA1 (usado para comparação devido aos seus menores valores de metais associados a mineração). A legislação brasileira estabelece limites para a concentração de Fe na fração dissolvida, mas considerando que o Fe foi o metal mais fortemente associado ao rompimento, também analisamos o padrão espacial deste, na fração total. As análises para concentração de Fe total na água evidenciaram valores significativamente ( $p < 0.05$ ) maiores nas estações e FRD3 e FRD6 (Figura 159e,f).

Quanto ao Hg, as estações ABR2, ABR4, CA1, CA4 e FRD6 apresentaram os efeitos “mais fortes”, com maiores diferenças nas médias em comparação com GUA1 (Figura 159g).

O Mn na fração total apresentou resultado semelhante, com muitas estações apresentando valores significativamente maiores (VIX1, CA1, CA4, DEG1, DEG2, FRD6, ABR1), sendo a estação FRD6 a que apresentou maior diferença/efeito (Figura 159h).

As estações CA2, CA3 e DEG2 apresentaram concentrações de Pb total significativamente maiores, em comparação com GUA1 (Figura 159i).

Quanto ao Zn, uma alta variabilidade foi observada entre pontos, e não foi detectado nenhum padrão espacial evidente (Figura 159j).

De forma geral, os metais Cr, Fe e Mn apresentam concentrações significativamente maiores nas estações amostrais próximas à Foz do Rio Doce (Figura 159).

Além disso, técnicas de estatística multivariada foram utilizadas para diminuir a dimensionalidade dos dados e identificar padrões de similaridades entre variáveis. Uma Análise de Componentes Principais (PCA) foi aplicada para ordenação e avaliação geral da distribuição espacial dos metais na água, e

aplicou-se uma ANOVA Multivariada Permutacional (PERMANOVA), para avaliar diferenças estatísticas entre Localidades (Guarapari, Vitória, Costa das Algas, Foz do Rio Doce, Degredo, Barra Nova, Itaúnas e Abrolhos). Escolhemos realizar essa análise por “Localidades” ao invés de por “Estação Amostral”, para aumentar o poder do teste (as diferentes estações se tornam réplicas espaciais dentro das áreas de amostragem) e permitir uma observação mais clara dos efeitos espaciais.

Com o objetivo de verificar a existência de padrões de similaridade entre as 8 localidades, por meio das variações nas concentrações de metais, assim como padrões de agrupamentos entre metais e sua associação, com possíveis padrões espaciais, os dados foram submetidos a Análise de Componentes Principais (PCA). As setas representam as *variáveis* utilizadas na análise, a concentração dos metais na matriz avaliada. Os símbolos representam os *indivíduos/fatores* utilizados na análise, categorizados por localidade (Figura 160).

A PCA realizada utilizando como variáveis as concentrações dos metais Fe, Cr, Mn, Pb, Cd, Hg, Cu, Zn e As na fração total e dissolvida da água de fundo coletada nas campanhas marinhas 1 e 2, ao longo de 25 estações amostrais (categorizadas em 8 localidades), sumarizou 42.5% da variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões (Figura 160; Tabela 64;

Figura 161). O Componente Principal 1 sumarizou 26.5% dos dados, e agrupou os metais Fe, Mn, Cr e Hg a leste, e os metais Pb, Cd, Cu e As a oeste. O biplot indicou também um agrupamento das estações localizadas na região da Foz do Rio Doce (FRD, em vermelho) no lado positivo/leste do PC1. O baricentro (ponto médio) das localidades FRD e ABR, posicionou-se a leste do PC1, enquanto as localidades GUA, DEG e CA agruparam-se, principalmente, a oeste do PC1. O Componente Principal 2 sumarizou 16% dos dados, separando principalmente o Cu no seu setor positivo e os metais Cd, Pb, Cr, Zn e Hg ao sul.

Figura 160: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de concentração de metais na água. O código FT e FD indica determinações de metais realizadas em água de fundo nas frações total e dissolvida, respectivamente. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1;CA2;CA3;CA4 e CA5]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) e ABR (Abrolhos [ABR01; ABR02;ABR04 e ABR01]).

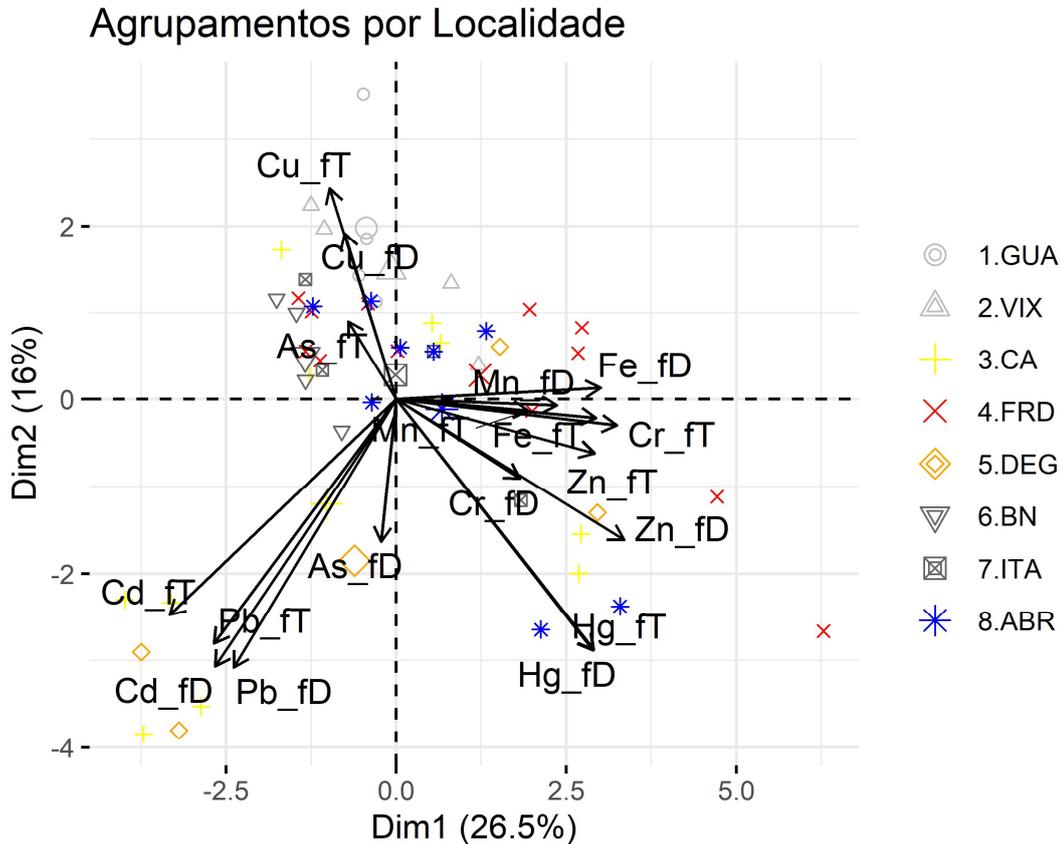
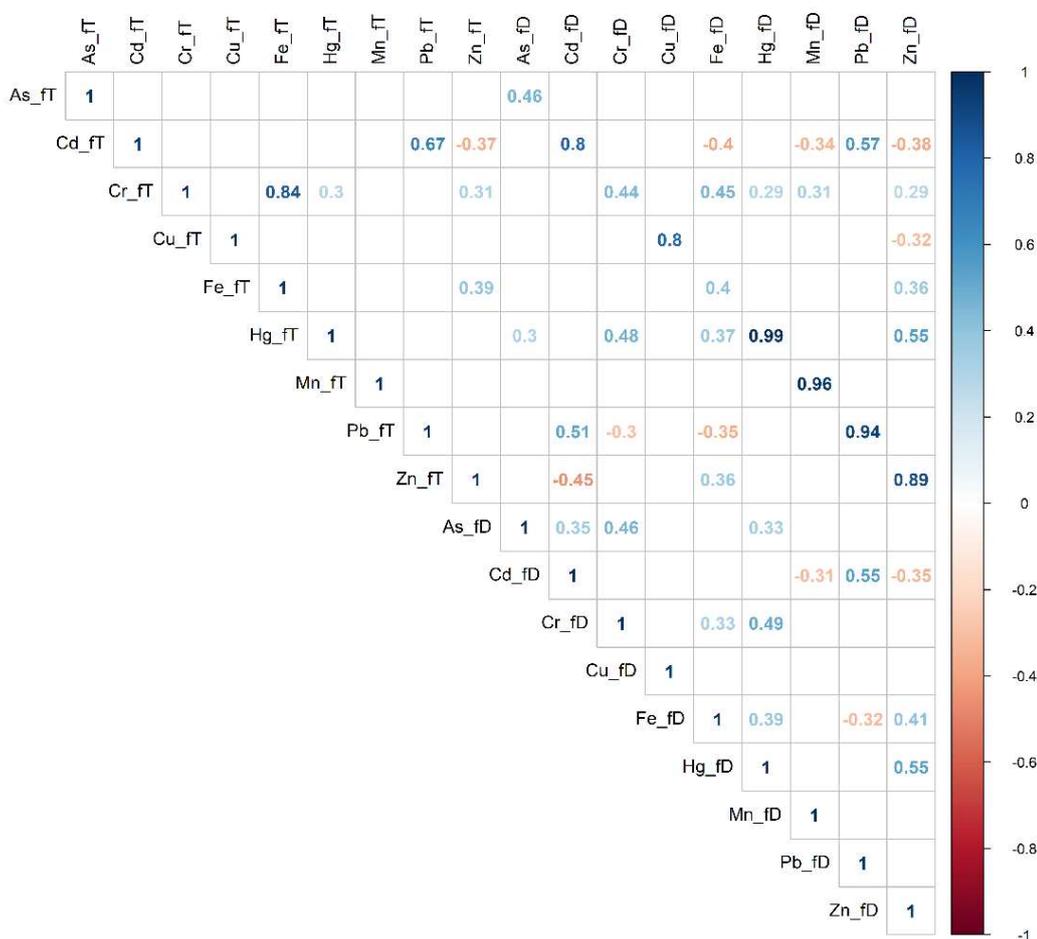


Tabela 64: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 160.

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.1	4,78	26,53	26,53
Dim.2	2,88	15,98	42,52
Dim.3	2,49	13,81	56,33
Dim.4	1,98	11,01	67,34
Dim.5	1,63	9,04	76,38
Dim.6	1,42	7,90	84,28
Dim.7	0,96	5,32	89,59
Dim.8	0,50	2,78	92,37
Dim.9	0,39	2,16	94,53
Dim.10	0,32	1,76	96,29
Dim.11	0,20	1,13	97,42
Dim.12	0,15	0,84	98,26

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.13	0,13	0,75	99,01
Dim.14	0,09	0,51	99,51
Dim.15	0,04	0,20	99,72
Dim.16	0,03	0,15	99,87
Dim.17	0,02	0,09	99,96
Dim.18	0,01	0,04	100,00

Figura 161: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais na água (fundo total [fT] e fundo dissolvido [fD]). Correlações positivas estão indicadas em azul e negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas.



De acordo com Figura 162, as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos ao longo do PC1 foram os metais Zn, Cd e Cr na fração total, e Fe nas duas frações. Os indivíduos/fatores (Figura 163) que mais colaboraram para os agrupamentos ao longo do PC1 estão associados, principalmente, as localidades FRD, CA e DEG, evidenciando a distribuição espacial dos metais Zn, Cd, Cr e Fe, que

tiveram suas maiores concentrações nas estações amostrais localizadas na foz do Rio Doce, ou localidades mais próximas (CA e DEG).

Figura 162: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 160). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiu (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na água de fundo na sua forma total (FT) e dissolvida (FD). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

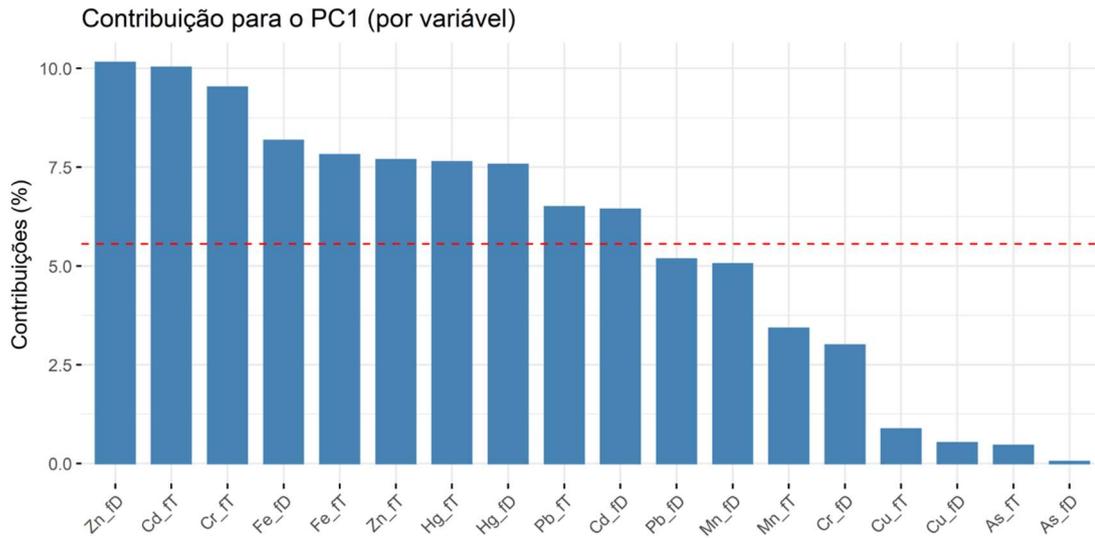
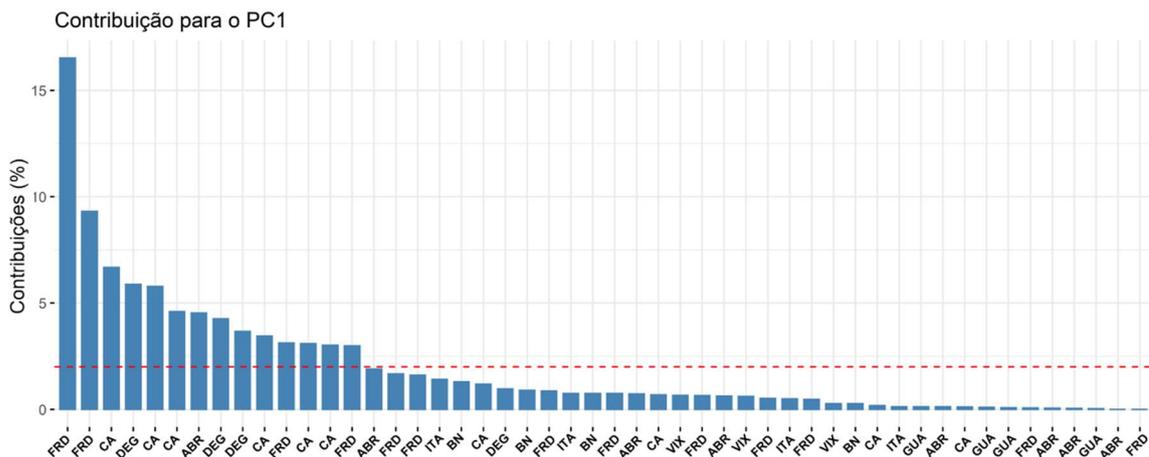


Figura 163: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 160). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/50 = 2\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



Os metais Cd, Pb e Hg foram as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos observados ao longo do PC2 (Figura 164), que por sua vez foi, também, influenciados por indivíduos associados às localidades CA, DEG e ABR (Figura 165).

Figura 164: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 160). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na água de fundo na sua forma total (FT) e dissolvida (fD). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/18 \approx 5\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

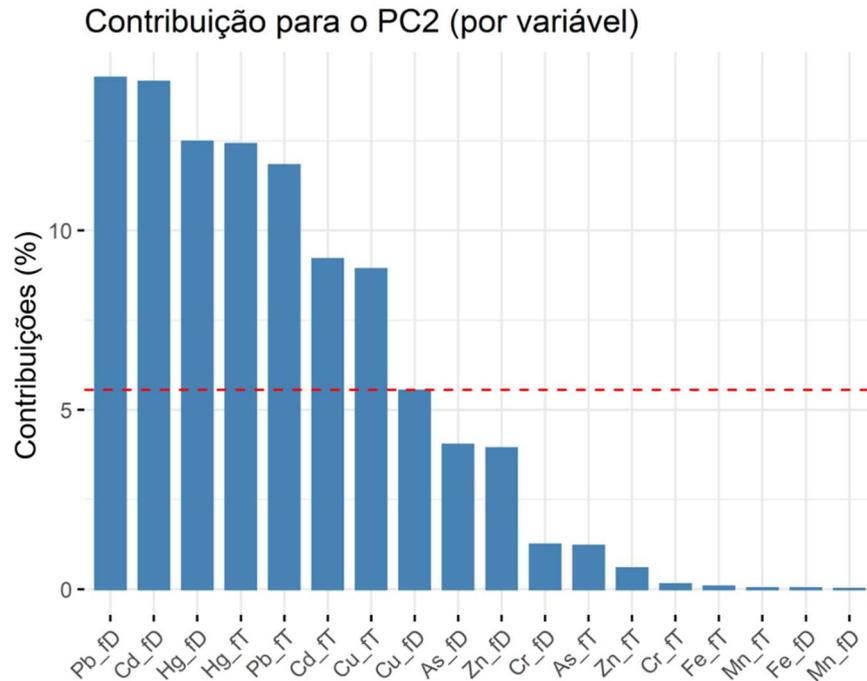
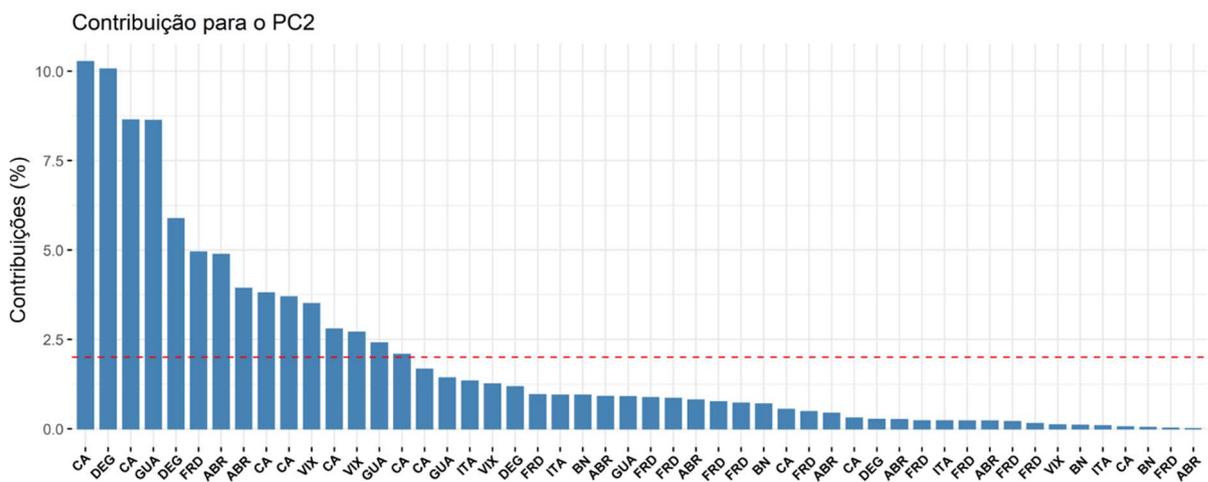


Figura 165: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 160). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos)} = 1/50 = 2\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo/fator* com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



A PERMANOVA corroborou a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as localidades (Tabela 65). O padrão de distribuição espacial dos metais alterou-se, significativamente, pela expedição, mas como indicado pela ausência de interação, a diferença temporal não modificou o padrão espacial.

Tabela 65: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal, Campanha, e do fator espacial, Localidade, na concentração de metais na água. Permutação de Monte Carlo (n=4999).

	Grau de liberdade	SQ	F	p
Campanha	1	247.07	18.1	0.0002*
Localidade	7	538.52	5.63	0.0002*
Campanha*Localidade	7	65.57	0.68	0.9628
Resíduos	134	1828.86		
Total	149	2680.01		

Em vermelho e com \* estão representadas as diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as campanhas e as localidades.

As comparações *a posteriori* (Tabela 66), realizadas com base na PERMANOVA, indicam que os locais mais ao sul (GUA e VIX) são diferentes de todas as outras localidades, com relação à concentração dos nove metais. As estações dentro da localidade FRD se diferem de todas as outras localidades, com exceção dos pontos no extremo norte, ITA e ABR. Esse padrão também pode ser observado na PCA (Figura 160), uma vez que o baricentro da localidade FRD está posicionado próximo ao baricentro dos locais ITA e ABR, no lado positivo do PC1.

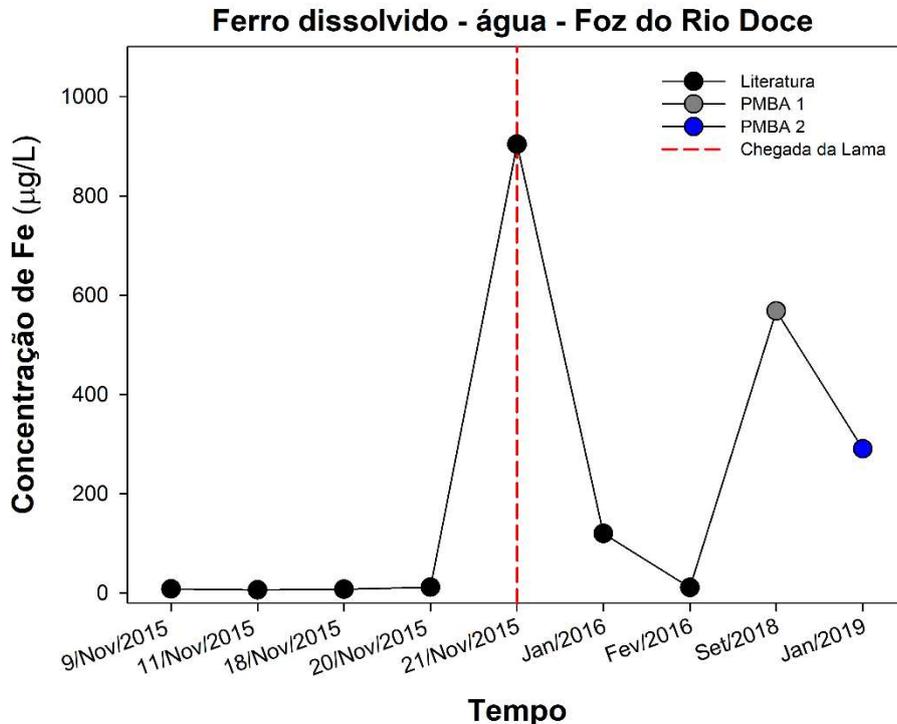
Tabela 66: Comparações par a par *a posteriori* da concentração de metais na água, a partir de matriz de distância Euclidiana, com correção de Bonferroni para comparações múltiplas. Permutação de Monte Carlo (n=4999).

	GUA	VIX	CA	FRD	DEG	BN	ITA
VIX	0.4						
CA	0.005*	0.005*					
FRD	0.01*	0.067*	0.005*				
DEG	0.005*	0.005*	0.739	0.033			
BN	0.005*	0.005*	0.005*	0.05	0.005*		
ITA	0.005*	0.005*	0.056	1	0.436	0.3864	
ABR	0.005*	0.005*	0.028*	0.576	0.039*	0.005*	1

Em vermelho e com \* estão representadas as diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as localidades. Em negrito está destacado a localidade que compreende as estações amostrais na Foz do Rio Doce.

Ao compararmos os resultados obtidos com dados disponíveis na literatura (Relatório UFES, 2017) de concentração de metais na água na região próxima à Foz do Rio Doce, percebemos que a maioria dos metais, especialmente Cr, Fe e Mn, mostraram picos muito elevados de concentração logo após a chegada da lama e diminuíram, voltando a níveis relativamente baixos cerca de 1 ano após o evento. Entretanto, o ferro dissolvido continua apresentando picos elevados de concentração nas campanhas marinhas 1 e 2 realizadas pelo PMBA (Figura 166). A Tabela 67 mostra que a concentração de ferro dissolvido na localidade da foz do Rio doce é significativamente diferente da concentração de ferro dissolvido antes da chegada da lama nesta localidade, e que nenhuma diferença significativa é observada entre as campanhas marinhas 1 e 2. Observamos, então, que mesmo após 4 anos da ocorrência do evento ainda há concentrações de ferro relativamente altas na localidade da foz do Rio Doce.

Figura 166: Comparação da concentração de ferro dissolvido ( $\mu\text{g/L}$ ) de acordo com dados da literatura e nas amostra de água (fundo) coletadas na região da foz do Rio Doce durante a campanha 1 (PMBA1; Set/Out 2018; círculo cinza) e a campanha 2 (PMBA2; Jan/Fev 2019; círculo azul). Os resultados estão expressos em média e linha vermelha pontilhada indica o momento em que a lama chega na região da foz do Rio doce.



Fonte: Comparação com dados do Relatório UFES, 2017.

Tabela 67: Comparação *a posteriori* (com correção de Tukey para comparações múltiplas) da concentração de ferro dissolvido na localidade da foz do Rio doce durante a campanha 1 e 2 *versus* os dados obtidos da literatura (Relatório UFES,2017) da concentração de ferro dissolvido antes da chegada da lama.

	<b>Estimador</b>	<b>p</b>
Antes da lama vs Campanha 1	-1.49764	0.0001*
Antes da lama vs Campanha 2	-1.49629	0.0001*
Campanha 1 vs Campanha 2	0.00134	0.9998

Fonte: Comparação com dados do Relatório UFES, 2017.

Em vermelho e com \* estão representadas as diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os resultados obtidos de antes e depois da chegada da lama na localidade da foz do Rio Doce.

### 3.2.3 Concentração de metais no sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente

Em cada estação amostral foram coletadas amostras de sedimento seguindo métodos descritos no “Protocolo de Análises de Laboratório do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática na Área Ambiental I”, para quantificação da concentração dos elementos Cromo (Cr), Cádmi (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Arsênio (As). Na sequência, é apresentada a concentração de metais no sedimento das 25 estações amostradas na campanha 1 (Set/Out 2018) (Tabela 68) e campanha 2 (Jan/Fev 2019) (Tabela 69).

Tabela 68: Concentração (mg/kg peso seco) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb; Zn analisados no sedimento nas 25 estações amostradas na campanha 1 (Set/Out 2018). Para cada metal, os valores estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ) e estão confrontados com a legislação vigente CONAMA 454/2012 para sedimento nível 1.

Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)									
Ponto	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
	mg/kg peso seco								
GUA1	0,008 $\pm$ 0,00	0,005 $\pm$ 0,001	0,22 $\pm$ 0,04	0,06 $\pm$ 0,02	7,44 $\pm$ 0,69	0,0018 $\pm$ 0,0002	4,10 $\pm$ 1,05	0,03 $\pm$ 0,01	0,09 $\pm$ 0,03
GUA2	0,003 $\pm$ 0,001	0,003 $\pm$ 0,000	0,19 $\pm$ 0,07	0,06 $\pm$ 0,02	5,22 $\pm$ 1,17	0,0013 $\pm$ 0,0000	3,12 $\pm$ 0,93	0,02 $\pm$ 0,00	0,04 $\pm$ 0,01
VIX1	0,009 $\pm$ 0,002	0,0009 $\pm$ 0,0003	0,16 $\pm$ 0,05	0,14 $\pm$ 0,05	7,14 $\pm$ 2,11	0,0004 $\pm$ 0,0001	5,08 $\pm$ 1,53	0,08 $\pm$ 0,02	1,10 $\pm$ 0,28
VIX2	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CA1	0,07 $\pm$ 0,02	0,007 $\pm$ 0,001	0,22 $\pm$ 0,08	0,15 $\pm$ 0,02	10,36 $\pm$ 0,81	0,0033 $\pm$ 0,0003	5,12 $\pm$ 1,47	0,04 $\pm$ 0,01	1,32 $\pm$ 0,33
CA2	0,0010 $\pm$ 0,0006	0,001 $\pm$ 0,000	0,11 $\pm$ 0,03	0,03 $\pm$ 0,01	4,66 $\pm$ 0,88	0,0013 $\pm$ 0,0002	0,93 $\pm$ 0,14	0,008 $\pm$ 0,002	1,13 $\pm$ 0,21
CA3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CA4	0,005 $\pm$ 0,002	0,004 $\pm$ 0,001	1,03 $\pm$ 0,56	0,34 $\pm$ 0,19	24,94 $\pm$ 3,03	0,0093 $\pm$ 0,0014	22,96 $\pm$ 2,36	0,10 $\pm$ 0,02	3,16 $\pm$ 0,26
CA5	*	*	*	*	*	*	*	*	*
FRD1	0,02 $\pm$ 0,00	0,002 $\pm$ 0,001	16,03 $\pm$ 2,96	0,38 $\pm$ 0,13	11,43 $\pm$ 2,72	0,0007 $\pm$ 0,0001	16,49 $\pm$ 2,97	0,15 $\pm$ 0,03	2,59 $\pm$ 0,78
FRD3	0,02 $\pm$ 0,00	0,003 $\pm$ 0,001	11,10 $\pm$ 1,83	0,25 $\pm$ 0,05	5,46 $\pm$ 0,55	0,0007 $\pm$ 0,0000	10,71 $\pm$ 1,70	0,05 $\pm$ 0,01	2,65 $\pm$ 0,41
FRD6	0,03 $\pm$ 0,00	0,002 $\pm$ 0,001	13,58 $\pm$ 0,25	0,39 $\pm$ 0,16	11,07 $\pm$ 2,39	0,0012 $\pm$ 0,0001	14,63 $\pm$ 5,29	0,12 $\pm$ 0,02	4,63 $\pm$ 2,37
FRD8	0,006 $\pm$ 0,001	0,002 $\pm$ 0,001	3,96 $\pm$ 0,74	0,06 $\pm$ 0,01	7,28 $\pm$ 2,36	0,0003 $\pm$ 0,0000	4,61 $\pm$ 1,34	0,05 $\pm$ 0,01	1,77 $\pm$ 0,42
FRD9	0,02 $\pm$ 0,00	0,003 $\pm$ 0,001	10,87 $\pm$ 2,42	0,19 $\pm$ 0,03	8,07 $\pm$ 1,89	0,0008 $\pm$ 0,0000	11,89 $\pm$ 2,74	0,06 $\pm$ 0,02	3,54 $\pm$ 0,88

Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)									
Ponto	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
	mg/kg peso seco								
FRD10	*	*	*	*	*	*	*	*	*
DEG1	0,03 ± 0,01	0,004 ± 0,002	8,89 ± 2,31	0,12 ± 0,03	3,85 ± 0,78	0,0006 ± 0,0000	10,43 ± 2,58	0,05 ± 0,01	2,58 ± 0,25
DEG2	0,01 ± 0,01	0,002 ± 0,001	6,37 ± 0,84	0,21 ± 0,09	4,06 ± 1,29	0,0008 ± 0,0001	8,17 ± 2,21	0,05 ± 0,01	2,25 ± 1,09
BN1	0,0008 ± 0,0004	0,002 ± 0,000	7,65 ± 2,33	0,08 ± 0,01	1,35 ± 0,28	0,0004 ± 0,0000	8,31 ± 2,17	0,03 ± 0,01	1,74 ± 0,93
BN2	0,0013 ± 0,0006	0,002 ± 0,000	4,64 ± 0,79	0,07 ± 0,01	0,60 ± 0,24	0,0003 ± 0,0000	6,99 ± 1,70	0,01 ± 0,00	0,88 ± 0,32
ITA1	0,004 ± 0,001	0,005 ± 0,001	11,42 ± 3,11	0,13 ± 0,01	1,36 ± 0,09	0,0010 ± 0,0000	13,15 ± 4,56	0,07 ± 0,01	3,96 ± 2,00
ITA2	0,005 ± 0,003	0,003 ± 0,000	7,46 ± 1,72	0,06 ± 0,02	0,70 ± 0,31	0,0004 ± 0,0000	7,97 ± 2,06	0,02 ± 0,01	0,57 ± 0,05
ABR01	0,02 ± 0,01	0,0001 ± 0,0000	0,13 ± 0,07	0,13 ± 0,01	1,79 ± 0,12	0,0008 ± 0,0000	12,05 ± 2,42	0,03 ± 0,01	1,31 ± 0,19
ABR02	0,004 ± 0,000	0,0003 ± 0,0001	0,06 ± 0,02	0,07 ± 0,01	0,92 ± 0,21	0,0003 ± 0,0000	4,18 ± 1,47	0,009 ± 0,003	0,81 ± 0,17
ABR04	0,01 ± 0,00	0,0001 ± 0,0000	0,08 ± 0,02	0,06 ± 0,01	1,22 ± 0,37	0,0003 ± 0,0000	6,44 ± 1,79	0,005 ± 0,001	0,89 ± 0,26
ABRC1	0,03 ± 0,01	0,006 ± 0,003	3,05 ± 0,51	0,08 ± 0,02	11,49 ± 0,55	0,0006 ± 0,0002	42,50 ± 11,48	0,03 ± 0,01	3,86 ± 0,88
Valor permitido CONAMA 454/2012 Nível 1	19	1,2	81	34	—	0,3	—	46,7	150

(\*) representa as estações amostrais onde não houve coleta de sedimento.

Tabela 69: Concentração (mg/kg peso seco) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn analisados no sedimento nas 25 estações amostradas na campanha 2 (Jan/Fev 2019). Para cada metal, os valores estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão ( $n=4$ ) e estão confrontados com a legislação vigente CONAMA 454/2012 para sedimento nível I.

Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)									
Ponto	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
	mg/kg peso seco								
GUA1	0,018 $\pm$ 0,001	0,014 $\pm$ 0,001	0,30 $\pm$ 0,05	0,03 $\pm$ 0,00	5,30 $\pm$ 0,09	0,003 $\pm$ 0,000	3,94 $\pm$ 0,27	0,05 $\pm$ 0,01	0,07 $\pm$ 0,00
GUA2	0,027 $\pm$ 0,012	0,004 $\pm$ 0,000	0,13 $\pm$ 0,00	0,05 $\pm$ 0,00	5,28 $\pm$ 0,40	0,002 $\pm$ 0,000	2,40 $\pm$ 0,18	0,03 $\pm$ 0,00	0,03 $\pm$ 0,00
VIX1	0,015 $\pm$ 0,000	0,001 $\pm$ 0,000	0,35 $\pm$ 0,01	0,16 $\pm$ 0,00	16,42 $\pm$ 0,52	0,002 $\pm$ 0,000	7,72 $\pm$ 0,58	0,32 $\pm$ 0,00	2,17 $\pm$ 0,32
VIX2	0,001 $\pm$ 0,000	0,003 $\pm$ 0,000	7,53 $\pm$ 0,22	0,08 $\pm$ 0,00	1,58 $\pm$ 0,13	0,001 $\pm$ 0,000	14,39 $\pm$ 0,42	0,08 $\pm$ 0,00	1,53 $\pm$ 0,15
CA1	0,138 $\pm$ 0,017	0,010 $\pm$ 0,001	0,29 $\pm$ 0,00	0,13 $\pm$ 0,01	12,94 $\pm$ 1,00	0,005 $\pm$ 0,000	12,05 $\pm$ 0,29	0,10 $\pm$ 0,02	1,71 $\pm$ 0,04
CA2	0,004 $\pm$ 0,000	0,004 $\pm$ 0,001	0,22 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,00	6,57 $\pm$ 0,60	0,002 $\pm$ 0,000	1,20 $\pm$ 0,02	0,02 $\pm$ 0,00	1,71 $\pm$ 0,16
CA3	0,008 $\pm$ 0,001	0,006 $\pm$ 0,000	0,75 $\pm$ 0,03	0,36 $\pm$ 0,01	18,22 $\pm$ 0,89	0,002 $\pm$ 0,001	29,82 $\pm$ 4,25	0,21 $\pm$ 0,01	2,95 $\pm$ 0,31
CA4	0,004 $\pm$ 0,000	0,004 $\pm$ 0,000	3,44 $\pm$ 0,07	0,23 $\pm$ 0,01	31,17 $\pm$ 3,78	0,004 $\pm$ 0,002	38,57 $\pm$ 1,40	0,19 $\pm$ 0,01	4,10 $\pm$ 0,34
CA5	0,014 $\pm$ 0,000	0,007 $\pm$ 0,000	0,28 $\pm$ 0,02	0,06 $\pm$ 0,00	8,47 $\pm$ 0,28	0,002 $\pm$ 0,000	5,24 $\pm$ 0,51	0,06 $\pm$ 0,00	0,06 $\pm$ 0,00
FRD1	0,034 $\pm$ 0,003	0,004 $\pm$ 0,000	29,98 $\pm$ 1,12	0,65 $\pm$ 0,01	12,60 $\pm$ 1,15	0,001 $\pm$ 0,000	25,41 $\pm$ 1,33	0,42 $\pm$ 0,02	5,61 $\pm$ 0,23
FRD3	0,024 $\pm$ 0,001	0,006 $\pm$ 0,001	17,32 $\pm$ 0,78	0,21 $\pm$ 0,00	7,82 $\pm$ 0,58	0,001 $\pm$ 0,000	21,82 $\pm$ 1,06	0,21 $\pm$ 0,04	3,20 $\pm$ 0,42
FRD6	0,038 $\pm$ 0,002	0,003 $\pm$ 0,000	19,05 $\pm$ 0,35	0,89 $\pm$ 0,00	13,33 $\pm$ 1,04	0,002 $\pm$ 0,000	16,24 $\pm$ 1,06	0,32 $\pm$ 0,02	3,27 $\pm$ 0,39
FRD8	0,015 $\pm$ 0,001	0,001 $\pm$ 0,000	5,80 $\pm$ 0,24	0,07 $\pm$ 0,00	7,34 $\pm$ 0,84	0,001 $\pm$ 0,000	11,99 $\pm$ 0,07	0,15 $\pm$ 0,01	2,62 $\pm$ 0,34
FRD9	0,022 $\pm$ 0,002	0,006 $\pm$ 0,000	11,75 $\pm$ 0,65	0,24 $\pm$ 0,01	7,58 $\pm$ 0,89	0,001 $\pm$ 0,000	12,44 $\pm$ 1,02	0,18 $\pm$ 0,03	7,60 $\pm$ 0,12
FRD10	0,080 $\pm$ 0,006	0,008 $\pm$ 0,001	0,30 $\pm$ 0,01	0,16 $\pm$ 0,01	12,24 $\pm$ 0,56	0,004 $\pm$ 0,001	8,88 $\pm$ 0,31	0,02 $\pm$ 0,00	1,69 $\pm$ 0,07
DEG1	0,059 $\pm$ 0,001	0,005 $\pm$ 0,001	17,47 $\pm$ 0,16	0,10 $\pm$ 0,00	3,31 $\pm$ 0,13	0,001 $\pm$ 0,000	11,88 $\pm$ 1,18	0,18 $\pm$ 0,01	3,10 $\pm$ 0,17
DEG2	0,038 $\pm$ 0,001	0,005 $\pm$ 0,001	7,68 $\pm$ 0,33	0,22 $\pm$ 0,01	4,57 $\pm$ 0,20	0,001 $\pm$ 0,000	11,59 $\pm$ 0,64	0,14 $\pm$ 0,01	1,17 $\pm$ 0,08
BN1	0,003 $\pm$ 0,001	0,004 $\pm$ 0,000	15,72 $\pm$ 1,56	0,29 $\pm$ 0,21	2,44 $\pm$ 0,11	0,001 $\pm$ 0,000	11,81 $\pm$ 0,17	0,11 $\pm$ 0,01	5,01 $\pm$ 0,27
BN2	0,001 $\pm$ 0,000	0,003 $\pm$ 0,000	5,51 $\pm$ 0,21	0,08 $\pm$ 0,00	1,25 $\pm$ 0,13	0,004 $\pm$ 0,000	15,99 $\pm$ 1,34	0,04 $\pm$ 0,00	0,52 $\pm$ 0,08

Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)									
Ponto	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
	mg/kg peso seco								
ITA1	0,004 ± 0,000	0,007 ± 0,000	18,51 ± 0,73	0,12 ± 0,00	1,70 ± 0,10	0,002 ± 0,000	20,16 ± 0,58	0,16 ± 0,01	1,39 ± 0,10
ITA2	0,001 ± 0,000	0,005 ± 0,000	15,46 ± 0,76	0,08 ± 0,00	0,38 ± 0,15	0,001 ± 0,000	17,51 ± 0,49	0,02 ± 0,00	0,74 ± 0,06
ABR01	0,017 ±0,001	0,002 ± 0,000	0,46 ± 0,01	0,14 ± 0,00	2,25 ± 0,13	0,001 ± 0,000	13,19 ± 0,50	0,08 ± 0,00	1,68 ± 0,18
ABR02	0,005 ± 0,000	0,002 ± 0,000	0,15 ±0,00	0,07 ± 0,00	1,39 ± 0,13	0,002 ± 0,000	13,07 ± 0,62	0,03 ± 0,00	1,29 ± 0,05
ABR04	0,012 ± 0,001	0,005 ± 0,000	0,16 ± 0,01	0,07 ± 0,00	1,77 ± 0,05	0,002 ± 0,001	15,12 ± 0,49	0,01 ± 0,00	1,65 ± 0,08
ABRC1	0,052 ± 0,001	0,021 ± 0,002	4,77 ± 0,34	0,14 ± 0,00	14,35 ± 0,68	0,002 ± 0,001	42,03 ± 0,97	0,04 ± 0,00	2,76 ± 0,37
Valor permitido CONAMA 454/2012	19	1,2	81	34	—	0,3	—	46,7	150

Os resultados obtidos de concentração de metal no sedimento, foram confrontados, quando possível, com a legislação vigente CONAMA 454/2012. Neste caso, nenhum metal apresentou valores em desconformidade com a legislação. Não obstante, observamos um padrão espacial com concentrações crescentes de alguns metais no sedimento em pontos próximos à foz do Rio Doce (Figura 167 à Figura 175).

Figura 167: Concentração de arsênio (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018 ;Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média ± erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

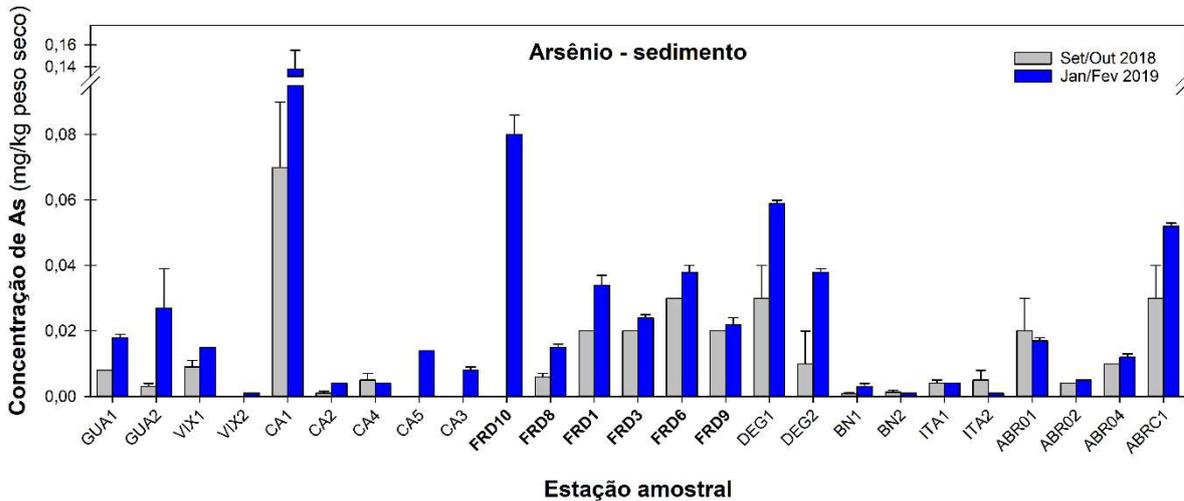


Figura 168: Concentração de cádmio (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média ± erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

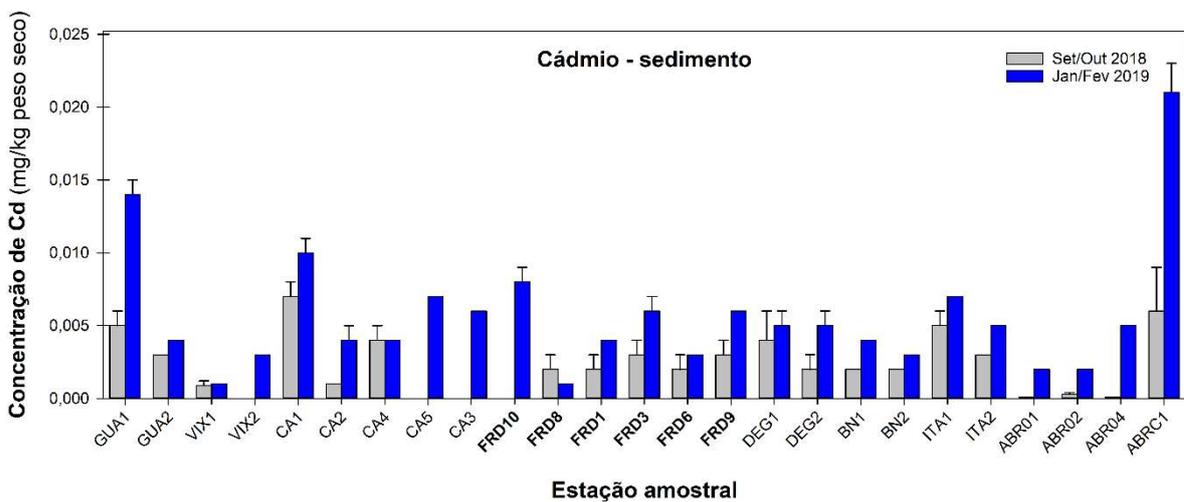


Figura 169: Concentração de cromo (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

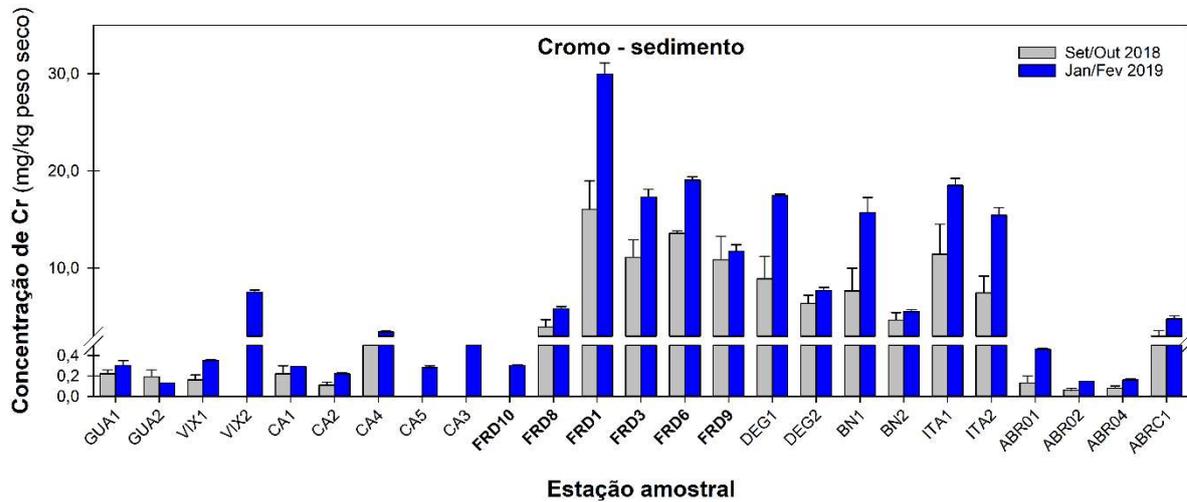


Figura 170: Concentração de cobre (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

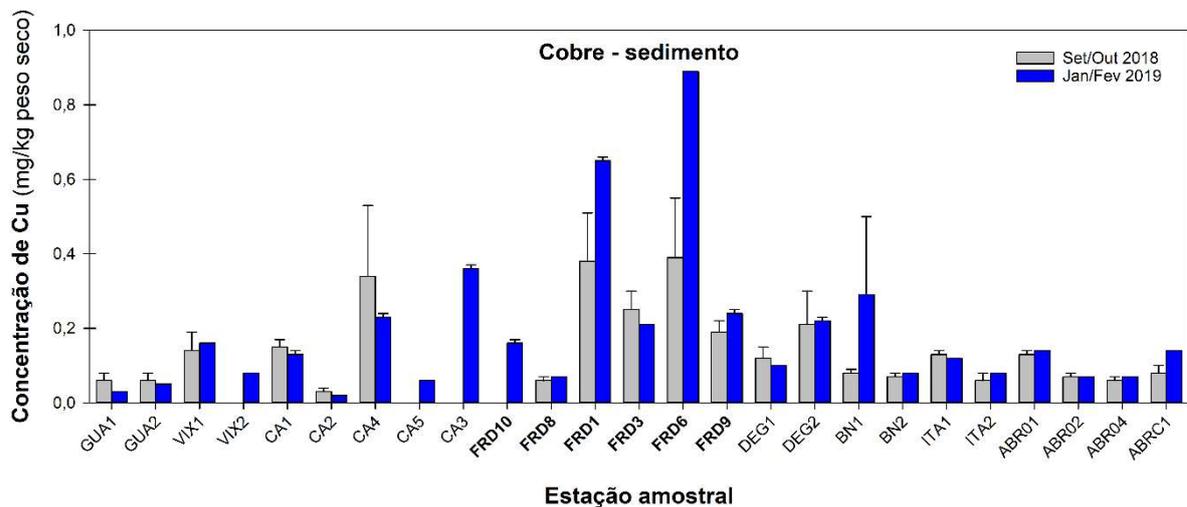


Figura 171: Concentração de ferro (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

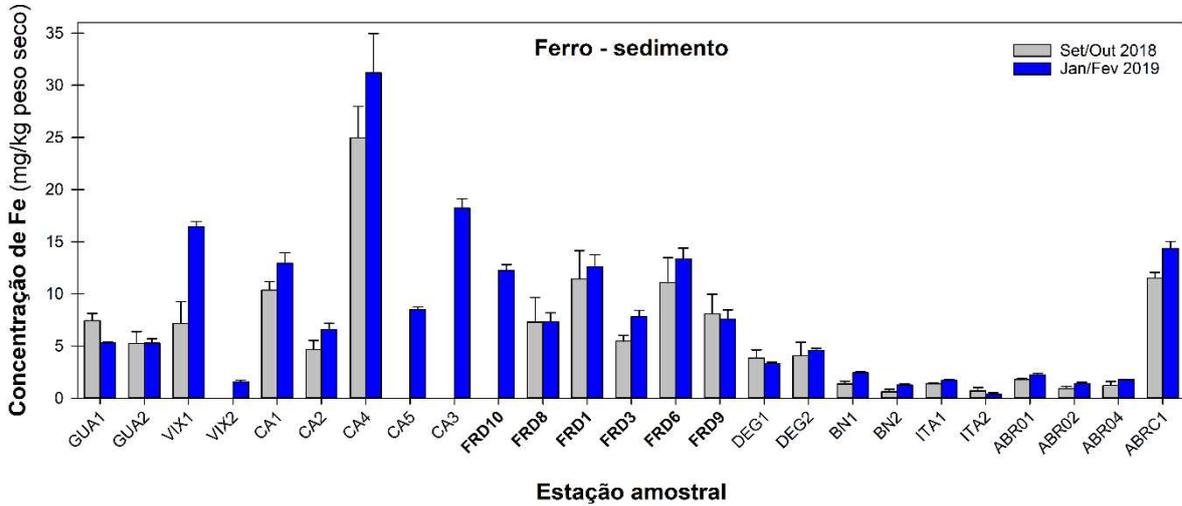


Figura 172: Concentração de mercúrio (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

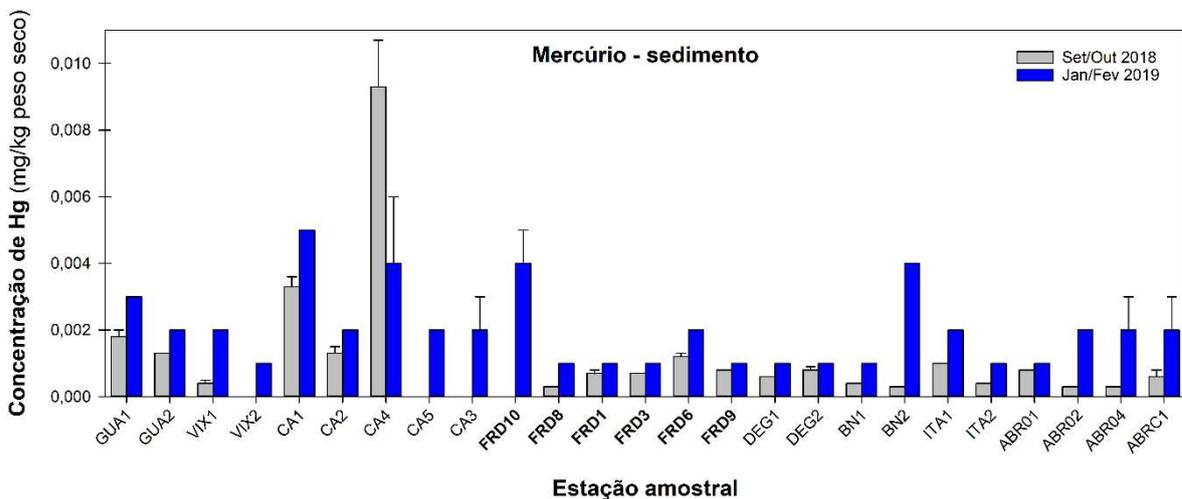


Figura 173: Concentração de manganês (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

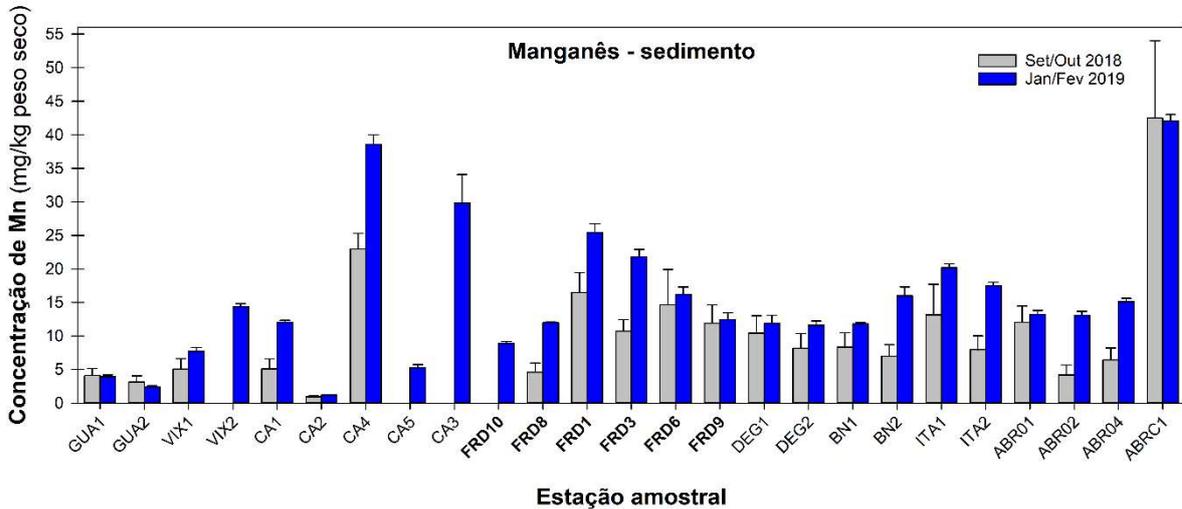


Figura 174: Concentração de chumbo (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

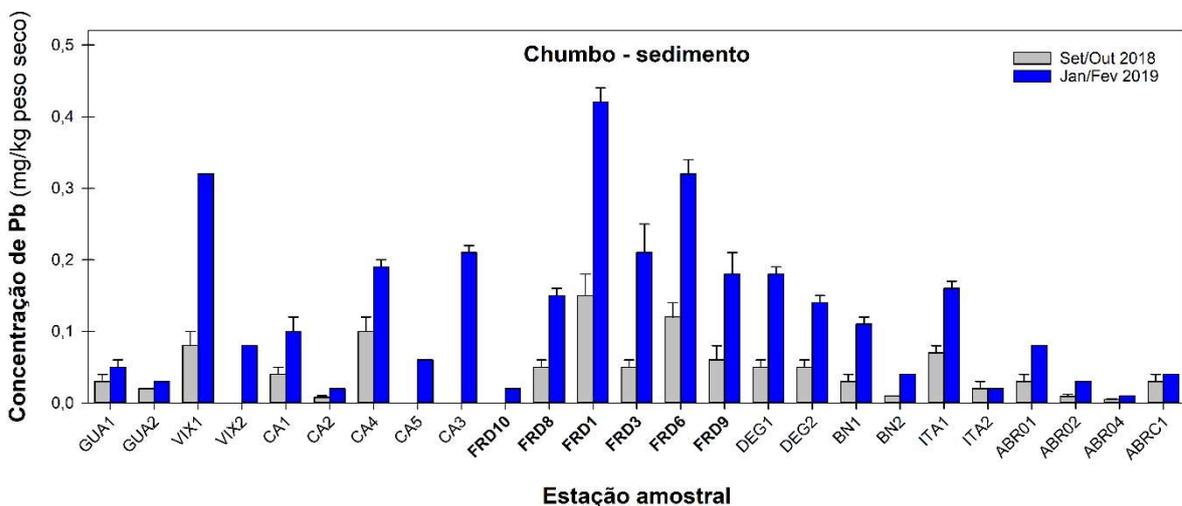
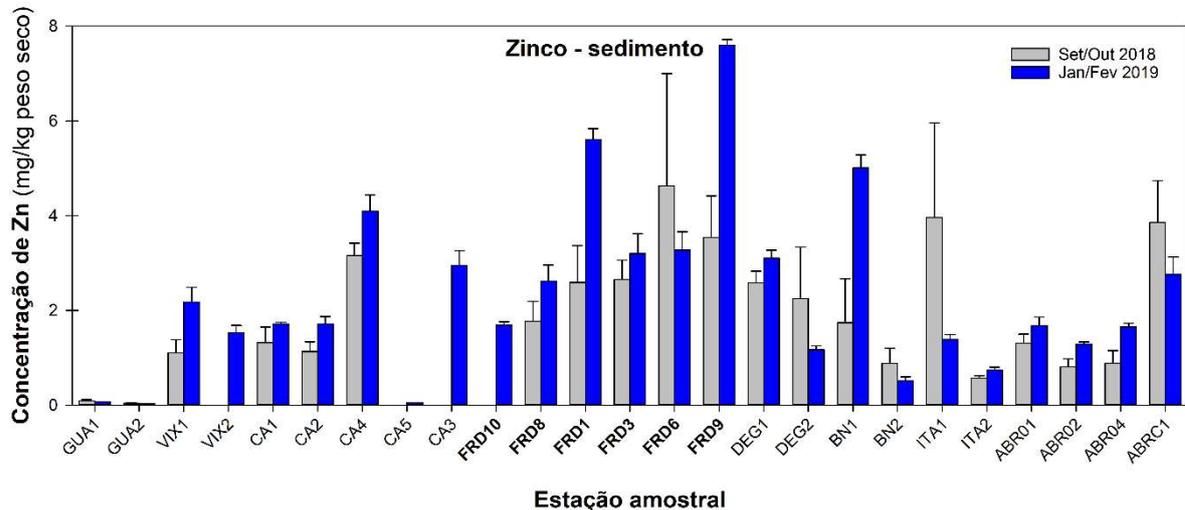


Figura 175: Concentração de zinco (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento (de acordo com a Tabela 68 e Tabela 69) coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do sul para o norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

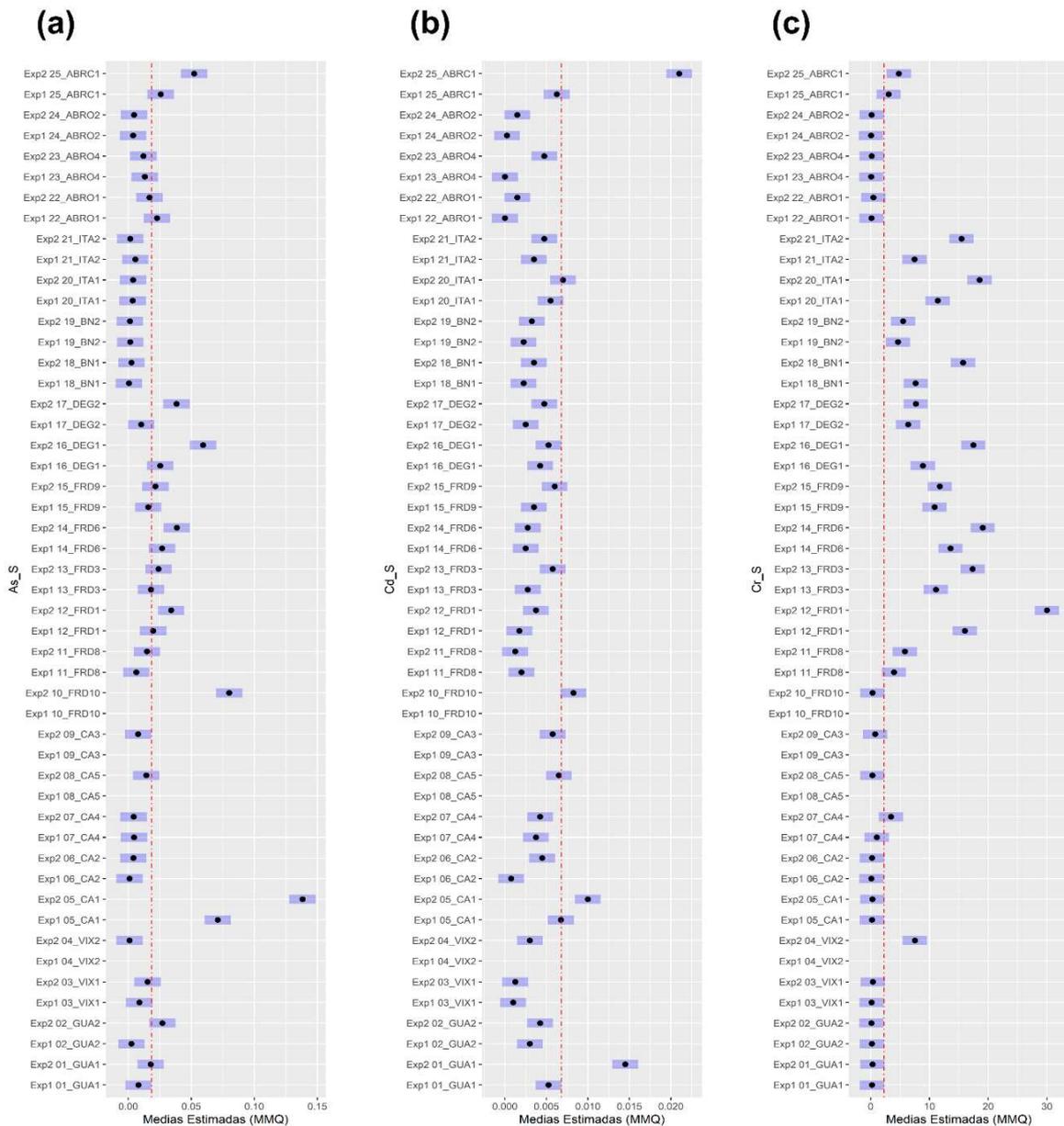


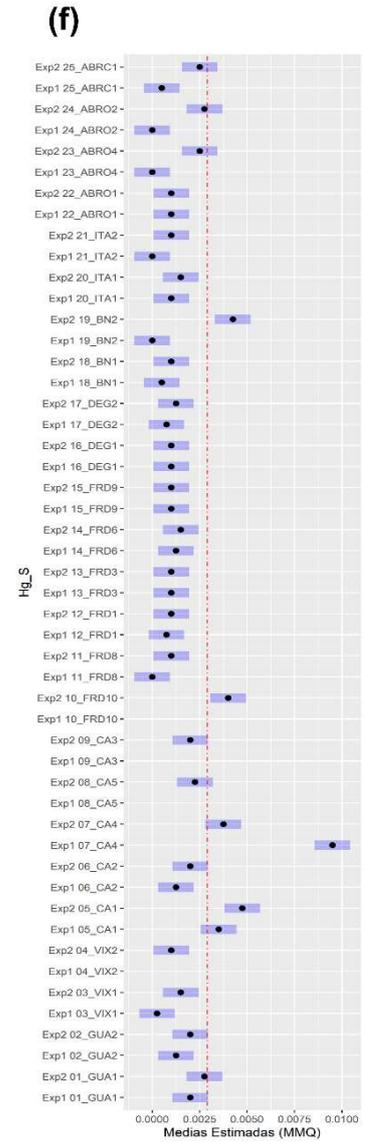
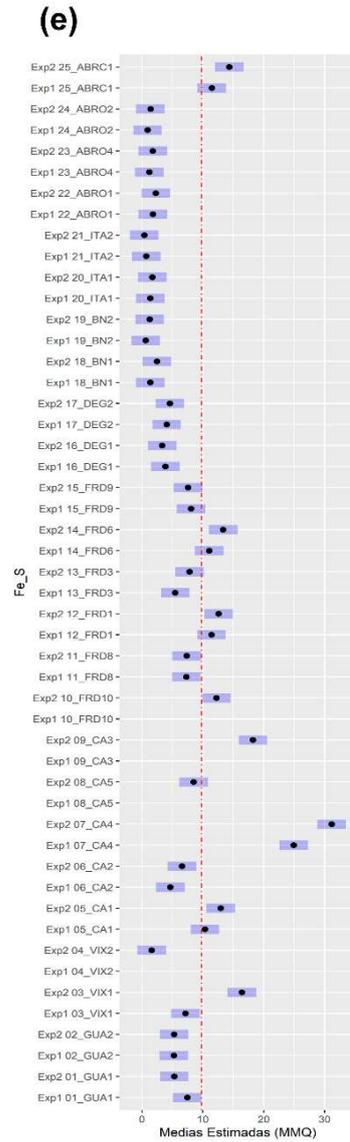
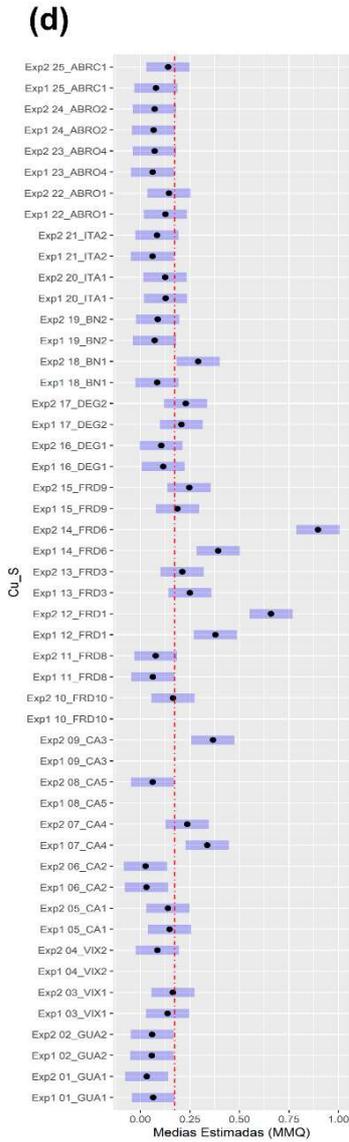
Em resumo, os principais resultados de concentração de metais da campanha 1 (Set/Out 2018) são:

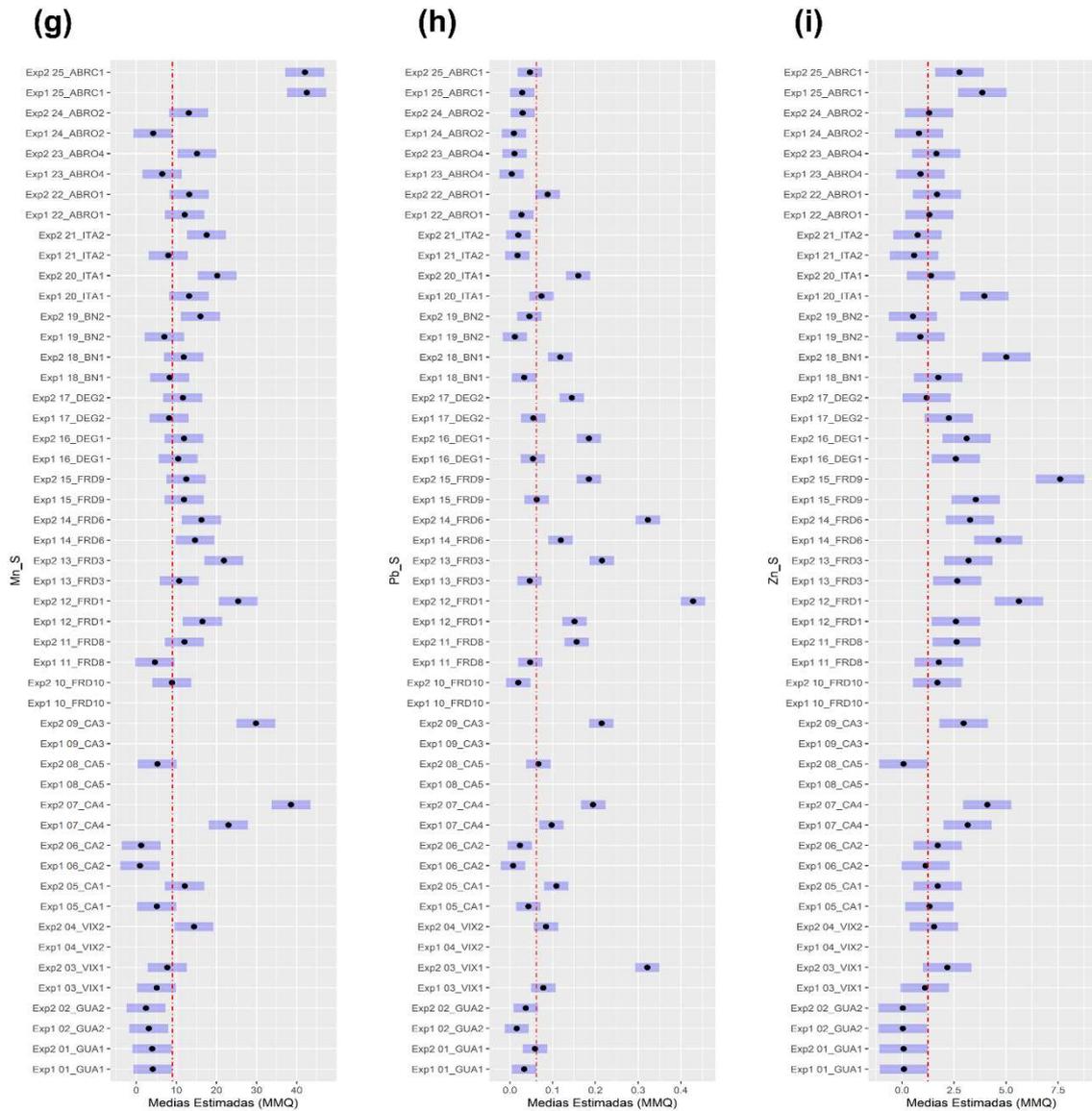
- Cromo, com médias acima de 5 mg/kg peso seco nas estações amostrais FRD1, FRD3, FRD6, FRD9, DEG1, DEG2, BN1, ITA1, ITA2 (Figura 169).
- Cobre, com médias acima de 0,20 mg/kg peso seco nas estações amostrais CA4, FRD1, FRD3, FRD6, FRD9, DEG2 (Figura 170).
- Ferro, com médias acima de 10 mg/kg peso seco nas estações amostrais CA1, CA4, FRD1, FRD6, ABRC1 (Figura 171).
- Manganês, com médias acima de 10 mg/kg peso seco nas estações amostrais CA4, FRD1, FRD3, FRD6, FRD9, DEG1, ITA1, ABR01, ABRC1 (Figura 173).

Na campanha 2 (Jan/Fev 2019), de forma geral, os níveis de metais no sedimento estão significativamente ( $p < 0,05$ ) mais altos quando comparado com a campanha 1. Esse aumento temporal, pode ser observado nos gráficos com médias e erro padrão (Figura 167 à Figura 175) e também no resultado dos análises estatísticas aplicadas (Figura 176).

Figura 176: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para a concentração de Arsênio (a), Cádmio (b), Cromo (c), Cobre (d), Ferro (e), Mercúrio (f), Manganês (g), Chumbo (h) e Zinco (i) presentes nas amostras de sedimento (s). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis (campanha 1 [Exp1] e campanha 2 [Exp2]), e os 25 níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das estações amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o intervalo de confiança obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.







Observações gerais, quanto a campanha 2, e a variação espacial dos metais no sedimento:

O arsênio apresentou concentrações mais altas nas estações amostrais CA1 e FRD10 (Figura 176a).

Considerando a comparação espacial utilizada, a maioria das estações apresentou concentração de Cd no sedimento menor do que as encontradas na estação GUA1 (Figura 176b).

O cromo, com concentrações acima de 15 mg/kg de peso seco nas estações amostrais FRD1, FRD3, FRD6, DEG1, ITA1 e ITA2. Nessas estações, assim como em outras localidades na foz e norte da foz do rio Doce, a concentração de Cr no sedimento foi estatisticamente ( $p < 0.05$ ) maior, quando comparadas à estação GUA1. Os efeitos mais fortes, como indicado pelos estimadores, deram-se nas estações FRD1 e FRD6 (Figura 176c).

O cobre, de forma geral, teve as maiores médias nas estações amostrais FRD6 e FRD1, como indicado no gráfico com médias e erro padrão e também no resultado das análises estatísticas ( $p < 0.05$  na comparação com a estação GUA1) (Figura 176d).

No caso do ferro, foram encontradas concentrações acima de 12 mg/kg de peso seco em várias estações amostrais, e as estações amostrais CA4 e CA3 apresentaram as concentrações de Fe mais altas ( $p < 0.05$ , Figura 176e).

Os níveis de Hg apresentaram comportamento similar, porém com picos (como indicado pelos gráficos com médias e pelos *estimadores* dos modelos lineares) em CA4 e CA1 (Figura 176f).

O Manganês mostrou estar presente em concentrações acima de 12 mg/kg de peso seco em diversas estações amostrais, sendo estas, principalmente, na região da Costa das Algas, na região da Foz do Rio Doce e nas regiões ao norte da Foz do Rio Doce até Abrolhos. As análises estatísticas indicaram que as maiores diferenças/efeito mais forte foram observadas no sedimento das estações ABRC1, CA4 e FRD1, que apresentaram picos de concentração de Mn (Figura 176g).

O chumbo nas estações amostrais FRD1 e FRD6 apresentaram níveis significativamente maiores ( $p < 0.05$  na comparação com a estação GUA1), como indicado pela análise estatística e pela visualização do gráfico com médias e erro padrão (Figura 176h).

O Zinco nas estações amostrais FRD9 e FRD1 apresentou o efeito mais forte/maiores diferenças em relação às demais (visualização de gráfico com médias e erros), e em relação ao GUA1 (análises estatísticas) (Figura 176i).

A PCA realizada utilizando como variáveis as concentrações dos metais Fe, Cr, Mn, Pb, Cd, Hg, Cu, Zn e As no sedimento coletado nas duas expedições, ao longo de 25 estações amostrais (categorizadas em 8 localidades), sumarizou 61.6% da variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões (Figura 177; Tabela 70; Figura 178). O Componente Principal 1 sumarizou 38,4% dos dados, e agrupou as maiores concentrações de todos os metais a leste. No lado negativo do PC1, observa-se um agrupamento das localidades mais distantes ao sul (GUA e VIX) e ao norte (ABR, ITA e BN) da Foz. O Componente Principal 2 sumarizou 23,2% dos dados, separando, principalmente, o Cr, Pb, Cu e Zn no lado no seu setor positivo, e os metais Mn, Fe, Hg, Cd e As no setor negativo. No biplot, observa-se um evidente cluster de indivíduos da localidade FRD associado às maiores concentrações de Cr, Pb, Cu e Zn.

Figura 177: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais no sedimento. O código S indica determinações de metais realizadas no sedimento. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1; CA2; CA3; CA4 e CA5]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) e ABR (Abrolhos [ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1]).

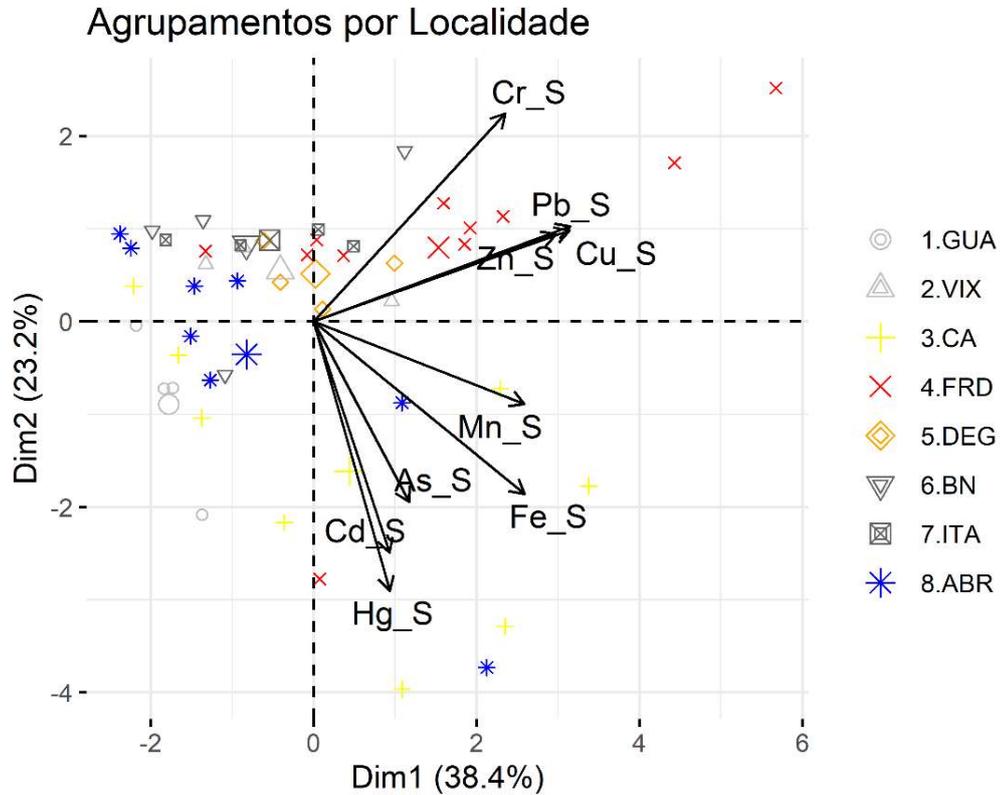
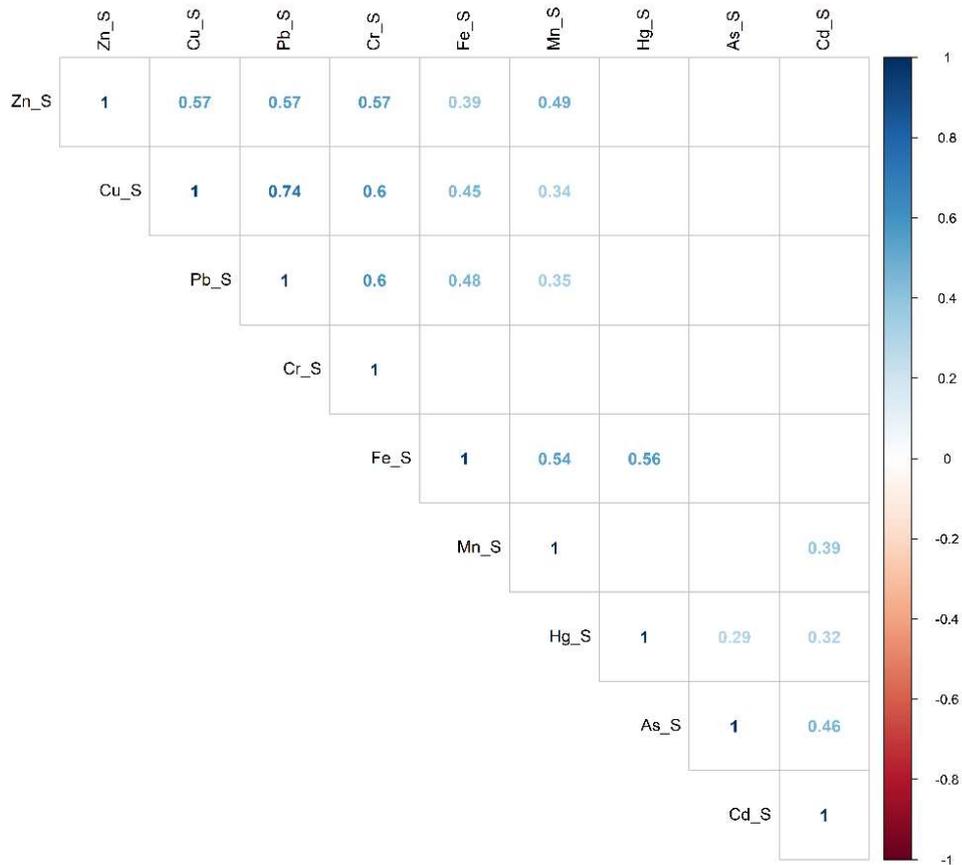


Tabela 70: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 177.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de variância</b>	<b>Percentual de variância acumulativa</b>
Dim.1	3,46	38,40	38,40
Dim.2	2,09	23,18	61,58
Dim.3	1,05	11,67	73,25
Dim.4	0,90	9,96	83,21
Dim.5	0,45	5,05	88,26
Dim.6	0,41	4,54	92,80
Dim.7	0,30	3,33	96,13
Dim.8	0,22	2,50	98,62
Dim.9	0,12	1,38	100,00

Figura 178: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais no sedimento (s). Correlações positivas estão indicadas em azul. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) estão indicadas.



As variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos ao longo do PC1 foram os metais Pb, Cu, Zn, Fe e Mn (Figura 179). Os indivíduos que mais colaboraram para os agrupamentos, ao longo do, PC1 estão associados, principalmente, as localidades FRD e CA (Figura 180). Os metais Hg, Cd e Cr foram as variáveis com maior aporte de contribuição para o PC2 (Figura 181), que por sua vez, também, recebeu considerável contribuição de indivíduos associados às localidades CA (Figura 182), às FRD e mesmo às ABR (estação amostral ABRC1). De forma geral, o padrão espacial mais evidente foi de maiores concentrações de metais no sedimento da Foz e da localidade ao sul mais próxima, Costa das Algas.

Figura 179: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 177). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na água de fundo na sua forma total (FT) e dissolvida (fD). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = \sim 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

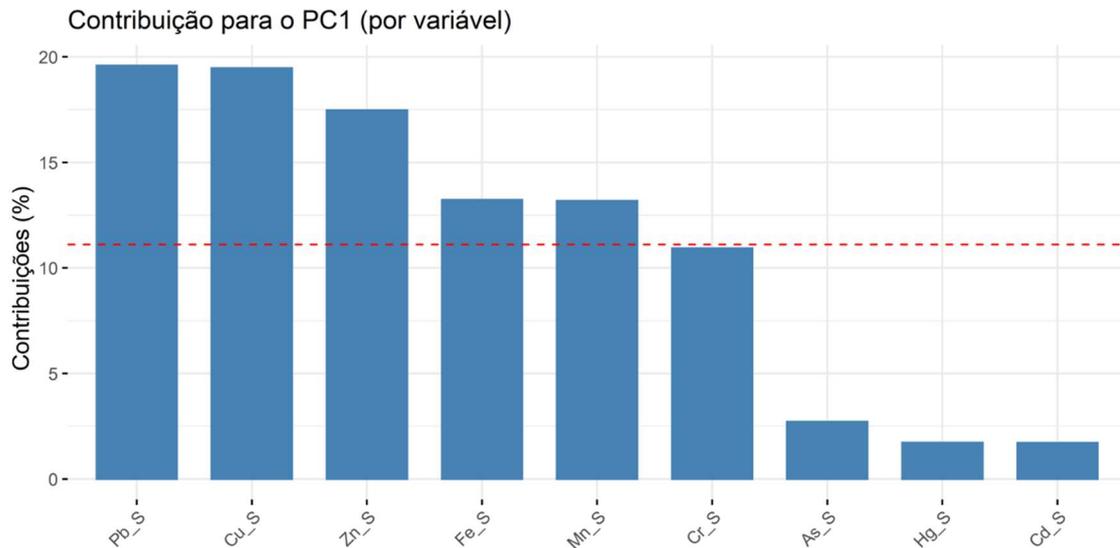


Figura 180: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 177). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos)} = 1/50 = 2\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo*/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

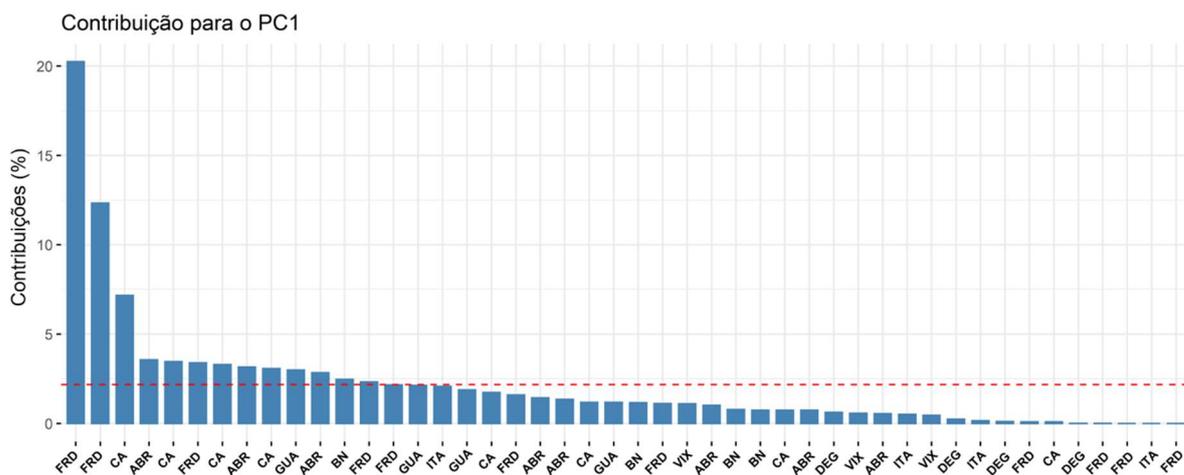


Figura 181: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 177). As variáveis são dadas como média da concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na água de fundo na sua forma total (fT) e dissolvida (fD). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = \sim 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

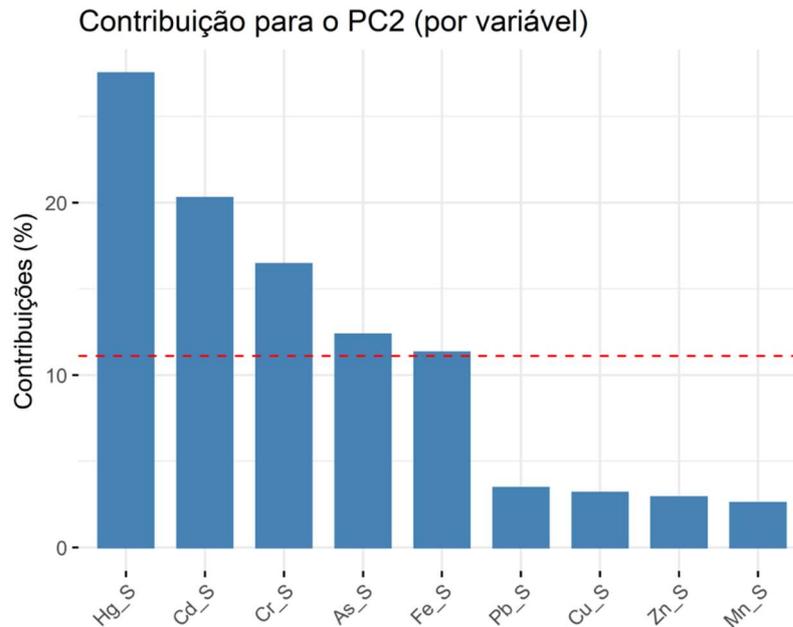
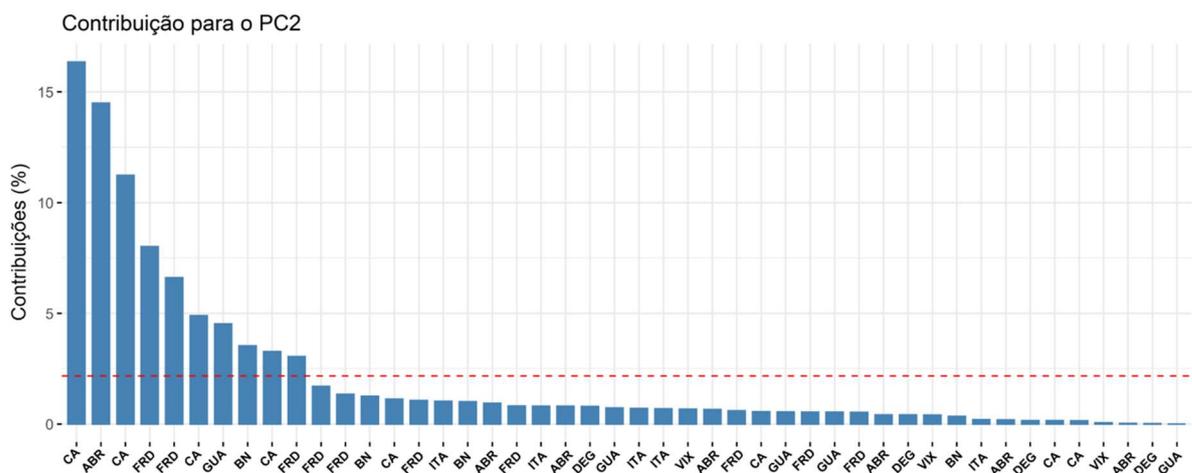


Figura 182: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 177). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (indivíduos)} = 1/50 = 2\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo*/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



A PERMANOVA corroborou a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as localidades (Tabela 71). O padrão de distribuição espacial dos metais também foi significativamente

alterado pela expedição, mas como indicado pela ausência de interação, a diferença temporal não modificou o padrão espacial.

Tabela 71: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal, Expedição, e do fator espacial, Localidade, na concentração de metais no sedimento. Permutação de Monte Carlo (n=4999).

	Grau de liberdade	SQ	F	p
Expedição	1	93.46	93.45	0.0002*
Localidade	7	435.2	62.17	0.0002*
Expedição*Localidade	7	60.89	8.69	0.0714
Resíduos	168	1057.45		
Total	183	1647		

Em vermelho e com (\*) estão representadas as diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as expedições e as localidades.

Com relação aos metais no sedimento, comparações *a posteriori* (Tabela 72) indicaram semelhanças entre as localidades mais distantes ao sul (GUA e VIX), com a mais distante ao norte, ABR. Essa similaridade pode ser visualizada no PCA (Figura 177), no qual os indivíduos de GUA, VIX e ABR se agruparam no lado negativo do PC1 – quadrante com menores níveis de metais no sedimento. A localidade FRD se diferenciou de todas as outras, com exceção de DEG, o que pode ser visualmente verificado pela relativa proximidade dos baricentros de FRD e DEG no quadrante positivo do PCA.

Tabela 72: Comparações par a par *a posteriori* da concentração de metais no sedimento, a partir de matriz de distância Euclidiana, com correção de Bonferroni para comparações múltiplas. Permutação de Monte Carlo (n=4999).

	GUA	VIX	CA	FRD	DEG	BN	ITA
VIX	0.005*						
CA	0.005*	0.067					
<b>FRD</b>	<b>0.005*</b>	<b>0.084</b>	<b>0.005*</b>				
DEG	0.005*	0.005*	0.005*	0.285			
BN	0.005*	0.011*	0.005*	0.005*	0.04*		
ITA	0.005*	0.005*	0.005*	0.011*	0.01*	1	
ABR	0.1176	0.2184	0.005*	0.005*	0.11	0.4312	0.044*

Em vermelho e com (\*) estão representadas as diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as localidades. Em negrito está destacado a localidade que compreende as estações amostrais na foz do Rio Doce.

Destacamos ainda, que a média máxima de Cr encontrado na estação amostral FRD1 (16,03 mg/kg peso seco) durante a campanha 1 foi cerca de 10x maior que o encontrado antes da chegada da lama no ambiente marinho (~1,45 mg/kg peso seco). E na campanha 2 a média máxima de Cr, na estação amostral FRD1 (29,98 mg/kg peso seco), aumentou, sendo assim é cerca de 20x maior que o encontrado antes da chegada da lama no ambiente marinho (~1,45 mg/kg peso seco). Estas concentrações alarmantes de Cr estão elevadas também nas estações amostrais FRD3; FRD6 e FRD9 e nas localidades próximas ao norte da foz do Rio Doce (DEG; BN e ITA) e continuaram aumentando na campanha 2 (Bianchini et al., 2016; Bianchini, 2019). Os demais dados de sedimento não serão comparados com a literatura por questões envolvendo diferenças substanciais na metodologia aplicada no processamento e análise de dados.

### **3.2.4 Avaliação da toxicidade aguda e crônica de amostras de água, elutriato do sedimento e sedimento bruto coletadas na foz do Rio Doce e região costeira adjacente**

Ensaio de toxicidade, utilizando organismos de diferentes níveis tróficos (microalgas, ouriços, microcrustáceos e peixes) como bioindicadores de toxicidade crônica e aguda da água, elutriato do sedimento e sedimento bruto da região costeira adjacente ao Rio Doce, foram realizados em 4 estações amostrais, sendo estas: FRD1 e FRD 6, localizados foz do Rio Doce, e CA1 e CA2, situados no Revis Santa Cruz (Figura 4). A Tabela 73 apresenta os resultados obtidos nos ensaios com água e sedimento para amostras coletadas nas campanhas 1 e 2 do Anexo 1 do PMBA (Setembro/Outubro de 2018 e Janeiro/Fevereiro de 2019, respectivamente). Adicionalmente, a Figura 183 e Figura 184, mostram, respectivamente, os resultados dos ensaios de fertilização (agudo) e desenvolvimento embrio-larval (crônico) realizados com o ouriço-do-mar. Ainda, a Figura 185 e a Figura 186 apresentam os resultados dos ensaios de toxicidade realizados com a *Nitokra sp* expostas ao sedimento bruto dos pontos amostrais.

Tabela 73: Resultados dos ensaios de toxicidade realizados com amostras coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2 referentes à campanha 1 (Setembro/Octubro 2018) e à campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019) do Anexo 1 do PMBA. Dos ensaios com sedimento, apenas o ensaio com *Nitokra sp* foi realizado com sedimento bruto, os demais foram realizados com elutriado do sedimento. Os resultados estão expressos como percentual de amostra-teste que causou toxicidade.

Ensaio de toxicidade aguda e crônica - água e sedimento da região marinha/costeira									
Ensaio	Campanha	FRD1 - água	FRD1 - sedimento	FRD6 - água	FRD6 - sedimento	CA1 - água	CA1 - sedimento	CA2 - água	CA2 - sedimento
<i>T. pseudonana</i> (ABNT NBR 16181)	1	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	2	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
<i>E. lucunter</i> (Métodos em Ecotoxicologia Marinha: Aplicações no Brasil – ensaio agudo)	1	CENO: 50%	CENO: 25%	CENO: 3,1%	CENO: <3,1%	CENO: >100%	CENO: >100%	CENO: 50%	CENO: 50%
		CEO: 100%	CEO: 50%	CEO: 6,2%	CEO: 3,1%	CEO: NC	CEO: NC	CEO: 100%	CEO: 100%
		CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC
	2	CENO: 50%	CENO: 12,5%	CENO: 50%	CENO: 50%	CENO: 12,5%	CENO: >100%	CENO: >100%	CENO: >100%
		CEO: 100%	CEO: 25%	CEO: 100%	CEO: 100%	CEO: 25%	CEO: NC	CEO: NC	CEO: NC
		CE50: 89,13	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC
<i>E. lucunter</i> (ABNT NBR 15350 – ensaio crônico)	1	CENO: 3,1%	CENO: 6,2%	CENO: <3,1%	CENO: 6,2%	CENO: <3,1%	CENO: <3,1%	CENO: 3,1%	CENO: <3,1%
		CEO: 6,2%	CEO: 12,5%	CEO: 3,1%	CEO: 12,5%	CEO: 3,1%	CEO: 3,1%	CEO: 6,2%	CEO: 3,1 %
		VC: 4,4%	VC: 8,8%	VC: NC	VC: 8,8%	VC: NC	VC: NC	VC: 4,38	VC: NC
		CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: 55,7%	CE50: NC	CE50: 87%
	2	CENO: 6,2%	CENO: <3,1%	CENO: 6,2%	CENO: 6,2%	CENO: 3,1%	CENO: <3,1%	CENO: 50%	CENO: 3,1%
		CEO: 12,5%	CEO: 3,1%	CEO: 12,5%	CEO: 12,5%	CEO: 6,2%	CEO: 3,1%	CEO: 100%	CEO: 6,2%
		VC: 8,8%	VC: NC	VC: 8,8%	VC: 8,8%	VC: 4,4%	VC: NC	VC: 70,7%	VC: 4,4%
		CE50: 75,4%	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC	CE50: NC

Ensaio de toxicidade aguda e crônica - água e sedimento da região marinha/costeira

Ensaio	Campanha	FRD1 - água	FRD1 - sedimento	FRD6 - água	FRD6 - sedimento	CA1 - água	CA1 - sedimento	CA2 - água	CA2 - sedimento
<i>P. vivipara</i> (OECD – 203)	1	CENO:>100%	CENO:>100%	CENO:>100%	CENO:>100%	CENO: 25%	CENO: 25%	CENO:>100%	CENO: 12,5%
		CEO: NC	CEO: NC	CEO: NC	CEO: NC	CEO: 50%	CEO: 50%	CEO: NC	CEO: 25
<i>P. vivipara</i> (OECD – 203)	2	CENO:>100%	CENO: 50%	CENO:>100%	CENO:>100%	CENO: 50%	CENO: 50%	CENO:>100%	CENO: 50%
		CEO: NC	CEO: 100%	CEO: NC	CEO: NC	CEO: 100%	CEO: 100%	CEO: NC	CEO: 100%
<i>Nitokra sp</i> (Métodos em Ecotoxicologia Marinha: Aplicações no Brasil - ensaio crônico)	1	NR	T	NR	T	NR	T	NR	T
	2	NR	T	NR	T	NR	T	NR	T

Legenda: NE: não estimável (quando não foi possível estimar a toxicidade por inconsistências na análise); NC: não calculável (quando não foi possível calcular o valor de toxicidade, mas a análise se apresentou consistente); CE50: concentração mediana que causa efeito em 50% dos indivíduos; CENO: concentração de efeito não observado; CEO: concentração de efeito observado; VC = valor crônico (média geométrica de CENO e CEO); NR: não realizado (quando o teste não foi realizado); NT: não tóxico; T: tóxico. A classificação como tóxico no ensaio de *Nitokra sp* representa redução estatisticamente significativa ( $p > 0,05$ ) no número da prole (resultado relativo à reprodução), enquanto que a classificação como não tóxico é atribuída à diferença não significativa, sempre em relação ao controle Ver metodologia para maiores esclarecimentos.

Figura 183: Ensaios de toxicidade aguda para verificar a fertilização de ovos do ouriço-do-mar *E. lucunter* expostos à amostras de água e elutriato do sedimento coletados nos pontos FRD1 (A, B), FRD6 (C, D), CA1 (E, F) e CA2 (G, H), para a campanha 1 e campanha 2 do Anexo 1 do PMBA. A toxicidade é medida pela redução significativa de óvulos fecundados nos grupos expostos às amostras-teste (amostras ambientais) com relação ao grupo controle. (\*) Indica diferença estatisticamente significante em relação ao controle. O método estatístico usado foi ANOVA de uma via com teste *a posteriori* de Dunett's ( $p < 0,05$ ).

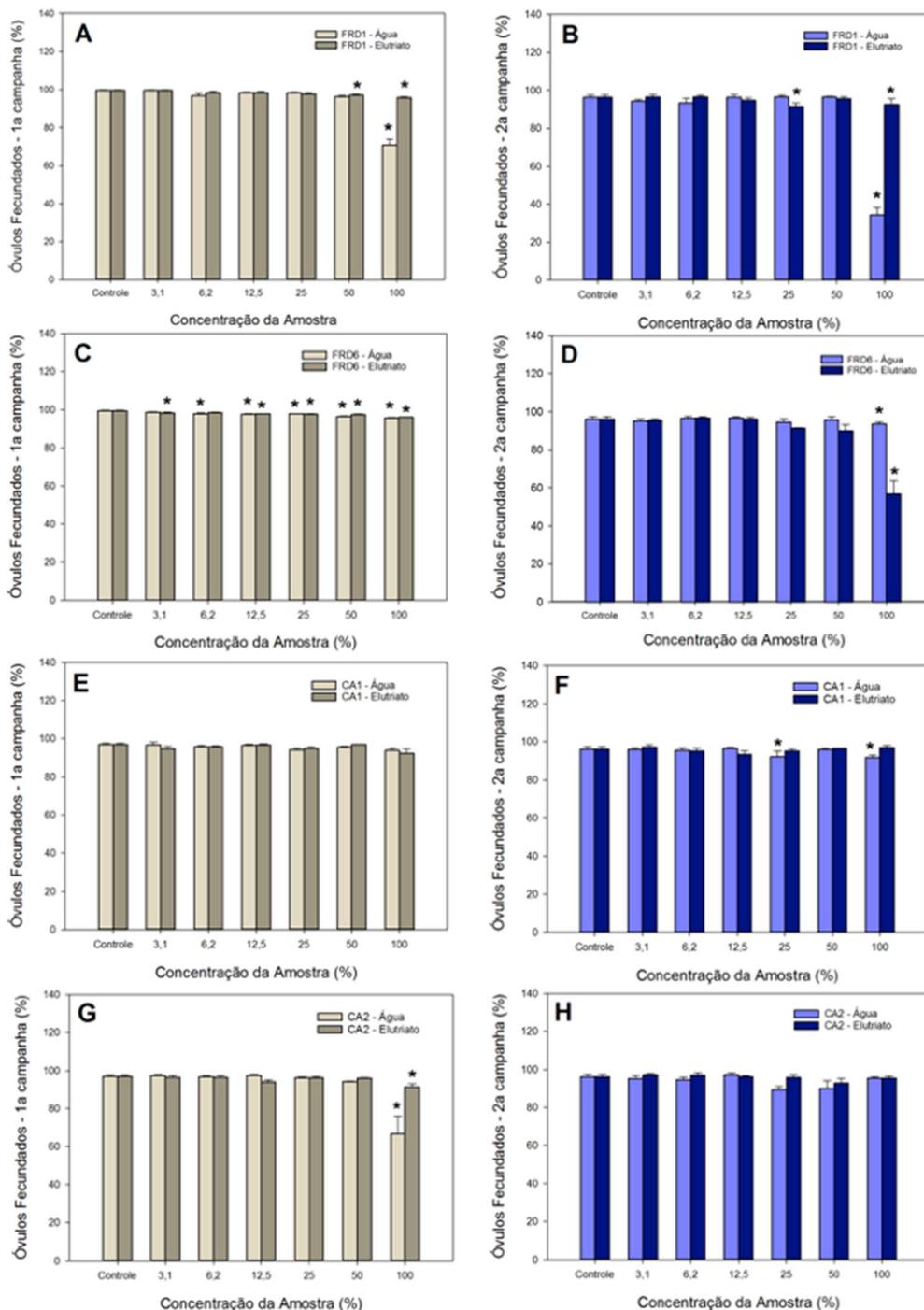


Figura 184: Ensaios de toxicidade crônica para verificar o desenvolvimento embrio-larval de óvulos fecundados do ouriço-do-mar *E. lucunter* expostos à amostras de água e elutriado do sedimento coletados nos pontos FRD1 (A, B), FRD6 (C, D), CA1 (E, F) e CA2 (G, H), para a campanha 1 e campanha 2 do Anexo 1 do PMBA. A toxicidade é medida pela redução significativa no percentual de larvas desenvolvidas (pluteus) nos grupos expostos a amostras-teste (amostras ambientais) com relação ao controle. (\*) Indicam diferenças estatisticamente significantes em relação ao controle. O método estatístico usado foi ANOVA de uma via com teste *a posteriori* de Dunett's ( $p < 0,05$ ).

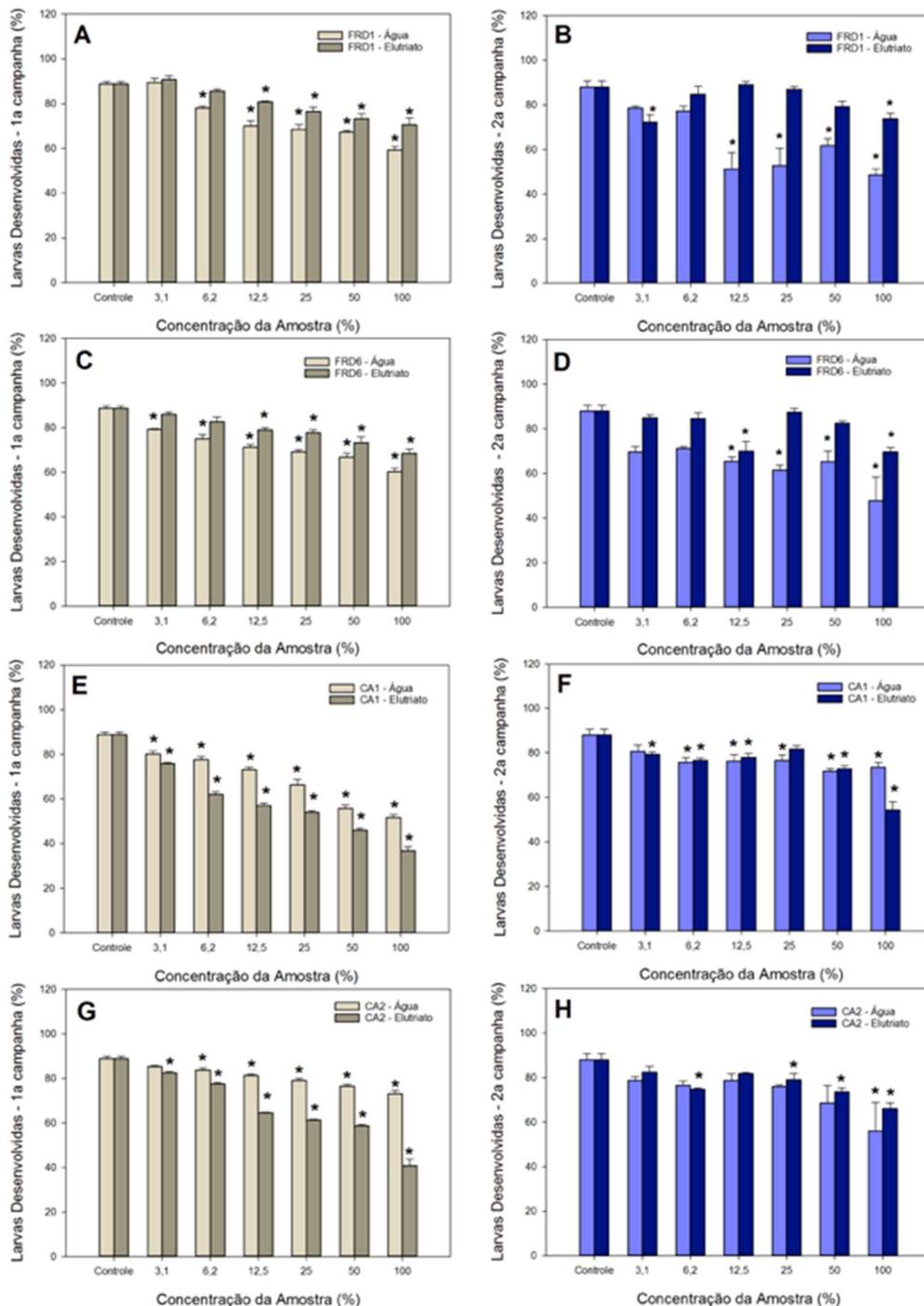


Figura 185: Ensaio de toxicidade crônica com fêmeas ovadas de *Nitokra sp* expostas a sedimento controle ou sedimento bruto dos pontos FRD1, CA1 e CA2 (A) e FRD6 (B), para a campanha 1 do Anexo 1 do PMBA. A toxicidade é medida pela redução significativa no número da prole dos organismos expostos a amostras-teste (amostras ambientais) com relação ao controle. (\*) Indica diferenças estatisticamente significantes em relação ao controle. O método estatístico usado foi ANOVA de uma via com teste *a posteriori* de Dunett's ( $p < 0,05$ ).

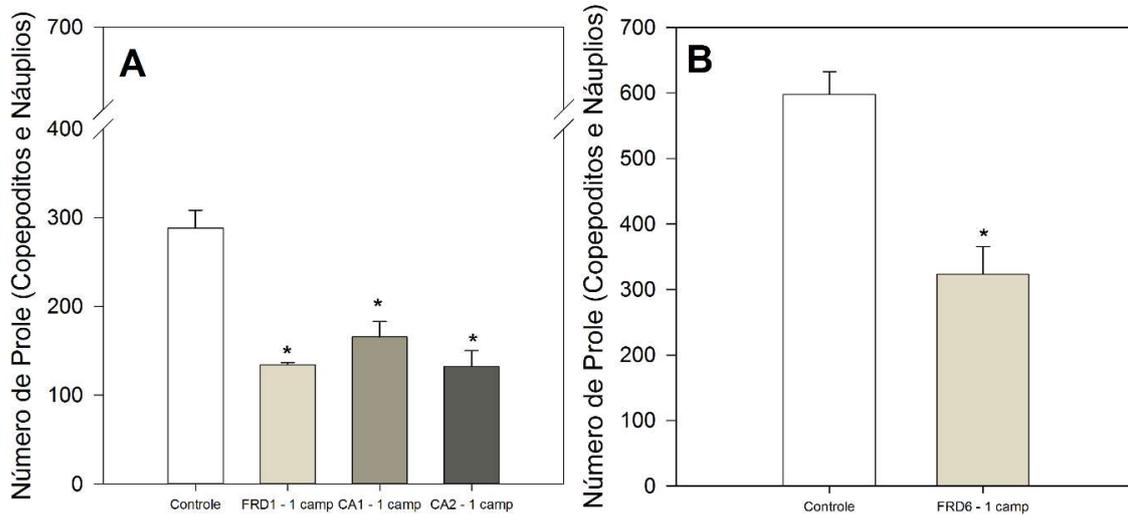
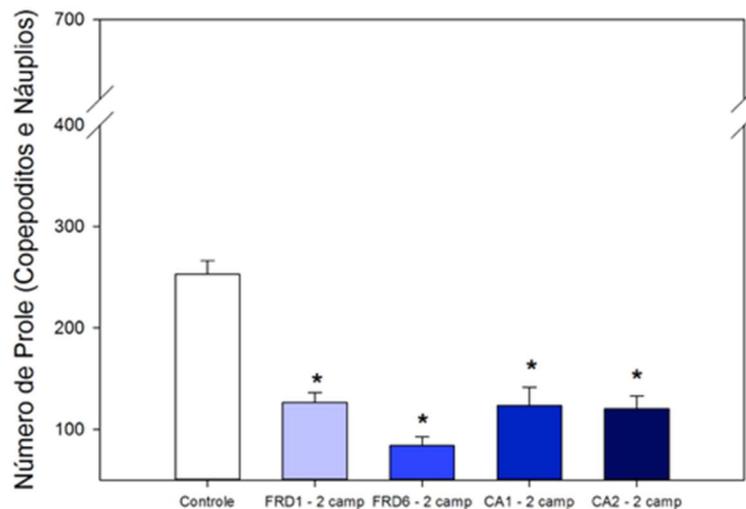


Figura 186: Ensaio de toxicidade crônica com fêmeas ovadas de *Nitokra sp* expostas à sedimento controle ou sedimento bruto dos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, para a campanha 1 do Anexo 1 do PMBA. A toxicidade é medida pela redução significativa no número da prole dos organismos expostos à amostras-teste (amostras ambientais) com relação ao controle. (\*) Indica diferença estatisticamente significativa em relação ao controle. O método estatístico usado foi ANOVA de uma via com teste *a posteriori* de Dunett's ( $p < 0,05$ ).



Os ensaio de desenvolvimento embrio-larval de ouriços foi o que se mostrou mais sensível, uma vez que foi responsivo a todas as amostras testadas e apresentou os menores valores de CEO. O ensaio de fertilização de óvulos do ouriço-do-mar *E. lucunter*, também, mostrou-se responsivo às amostras,

no entanto, os valores de toxicidade registrados foram mais elevados. Ademais, com relação as amostras de água e elutriato do sedimento, os ensaios com *P. vivipara* mostraram toxicidade das amostras coletadas no Revis Santa Cruz. Por outro lado, os ensaios com *Nitokra sp* indicaram toxicidade do sedimento bruto de todas as amostras coletadas na 1ª campanha e 2ª campanha do Anexo 1 do PMBA. Os ensaios com a microalga *T. pseudonana* foram descartados por apresentarem-se inconsistentes na determinação da toxicidade, pois não foi identificada relação dose-resposta necessária para validação dos ensaios.

A Tabela 74 e a Tabela 75 apresentam valores de toxicidade calculados para as amostras coletadas na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA, respectivamente. Para o cálculo, levou-se em consideração a Unidade Tóxica (UT), a severidade da resposta observada e a sensibilidade dos organismos usados nos ensaios (ver metodologia). Os valores de toxicidade serviram de base para classificar os pontos desde não tóxico até altamente tóxicos. A classificação foi feita por ensaio, matriz e ponto em cada campanha do Anexo 1 do PMBA. Na campanha 1, o ponto FRD1 foi classificado como “levemente tóxico”, o FRD6 como “tóxico” e o CA1 e CA2 como “moderadamente tóxicos”. Já para a campanha 2, a toxicidade do ponto FRD1 aumentou e ele passou a ser classificado como “moderadamente tóxico”, o FRD6 e CA2 ficaram menos impactados e foram classificados como “levemente tóxico”, enquanto que o CA1 continuou como “moderadamente tóxico”, indicando ser o ponto mais impactado do Revis Santa Cruz, com relação aos 2 pontos amostrados no local. Além disso, os valores médios de toxicidade do ponto CA1 ficaram na margem do moderadamente tóxico para o tóxico. Os ensaios também revelaram maior toxicidade associada ao sedimento em comparação à água e classificados como “moderadamente tóxicos” ou “tóxicos”.

A Figura 187 à Figura 190 mostram um acompanhamento temporal do perfil de toxicidade das amostras coletadas nos pontos: FRD1, FRD6, CA1 e CA2, respectivamente. De maneira abrangente, no ponto FRD1 a toxicidade das amostras de sedimento foi maior na campanha 2 com relação à 1. Já o ponto FRD6 indicou o inverso, a toxicidade tanto para água quanto do sedimento foi maior na campanha 1. Para o ponto CA1, a água apresentou-se moderadamente tóxica na campanha 1 e levemente tóxica na campanha 2, no entanto, os ensaios com sedimento mostrou toxicidade semelhante nas duas campanhas. No CA2, a toxicidade também ficou mais associada ao sedimento, porém, na campanha 1 os ensaios apresentaram maior toxicidade com relação à campanha 2.

Tabela 74: Resultados e classificação dos ensaios de toxicidade realizados com amostras de água e sedimento coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2 na campanha 1 (setembro/outubro de 2018), para organismos de diferentes níveis tróficos. O valor de toxicidade foi calculado considerando-se a unidade tóxica (UT) e os índices descritos na metodologia (severidade da resposta observada e sensibilidade dos organismos testados).

Ponto	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
FRD1	Água	<i>E. lucunter</i> - agudo	1	1	3	3	LT	17	LT	25	LT
		<i>E. lucunter</i> - crônico	16	1	3	48	MT				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				
	Sedimento	<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	2	1	3	6	LT	32	MT		
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	8	1	3	24	LT				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				
FRD6	Água	<i>E. lucunter</i> - agudo	16	1	3	48	MT	49	MT	53	T
		<i>E. lucunter</i> - crônico	33	1	3	99	T				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				
	Sedimento	<i>E. lucunter</i> agudo (elutriato)	33	1	3	99	T	56	T		
		<i>E. lucunter</i> crônico (elutriato)	8	1	3	24	LT				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				
CA1	Água	<i>E. lucunter</i> - agudo	0	1	3	0	NT	36	MT	44	MT
		<i>E. lucunter</i> - crônico	33	1	3	99	T				
		<i>P. vivipara</i>	2	2	2	8	LT				

Ponto	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
	Sedimento	<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	0	1	3	0	NT	52	T		
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	33	1	3	99	T				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	2	2	2	8	LT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				
CA2	Água	<i>E. lucunter</i> - agudo	0	1	3	0	NT	16	LT		
		<i>E. lucunter</i> - crônico	16	1	3	48	MT				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				
	Sedimento	<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	0	1	3	0	NT	54	T	35	MT
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	33	1	3	99	T				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	4	2	2	16	LT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				

Legenda: UT: unidade tóxica, NT: não tóxica, LT: levemente tóxica, MT: moderadamente tóxica, T: tóxica.

Tabela 75: Resultados e classificação dos ensaios de toxicidade realizados com amostras de água e sedimento coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2 na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019), para organismos de diferentes níveis tróficos. O valor de toxicidade foi calculado considerando-se a unidade tóxica (UT) e os índices descritos na metodologia (severidade da resposta observada e sensibilidade dos organismos testados).

Ponto	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
FRD1	Água	<i>E. lucunter</i> - agudo	1	1	3	3	LT	9	LT	32	MT
		<i>E. lucunter</i> - crônico	8	1	3	24	LT				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				
	Sedimento	<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	4	1	3	12	LT	54	T		
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	33	1	3	99	T				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	1	2	2	4	LT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				
FRD6	Água	<i>E. lucunter</i> - agudo	1	1	3	3	LT	9	LT	21	LT
		<i>E. lucunter</i> - crônico	8	1	3	24	LT				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				
	Sedimento	<i>E. lucunter</i> agudo (elutriato)	1	1	3	3	LT	32	MT		
		<i>E. lucunter</i> crônico (elutriato)	8	1	3	24	LT				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	0	2	2	0	NT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				
CA1	Água	<i>E. lucunter</i> - agudo	4	1	3	12	LT	22	LT	37	MT
		<i>E. lucunter</i> - crônico	16	1	3	48	MT				
		<i>P. vivipara</i>	1	2	2	4	LT				

Ponto	Matriz	Ensaio	UT	Severidade	Sensibilidade dos organismos	Valor de toxicidade por ensaio	Classificação por ensaio	Valor médio de toxicidade por matriz	Classificação por matriz	Valor médio de toxicidade por ponto	Classificação por ponto
	Sedimento	<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	0	1	3	0	NT	51	T		
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	33	1	3	99	T				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	1	2	2	4	LT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				
CA2	Água	<i>E. lucunter</i> - agudo	0	1	3	0	NT	1	NT		
		<i>E. lucunter</i> - crônico	1	1	3	3	LT				
		<i>P. vivipara</i>	0	2	2	0	NT				
	Sedimento	<i>E. lucunter</i> - agudo (elutriato)	0	1	3	0	NT	38	MT	20	LT
		<i>E. lucunter</i> - crônico (elutriato)	16	1	3	48	MT				
		<i>P. vivipara</i> (elutriato)	1	2	2	4	LT				
		<i>Nitokra sp</i> (sedimento bruto)	-	-	-	100	T				

Legenda: UT: unidade tóxica, NT: não tóxica, LT: levemente tóxica, MT: moderadamente tóxica, T: tóxica.

Figura 187: Gráfico com valores de toxicidade para o ponto FRD1, referentes aos ensaios realizados com amostras de água e sedimento coletadas na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA.

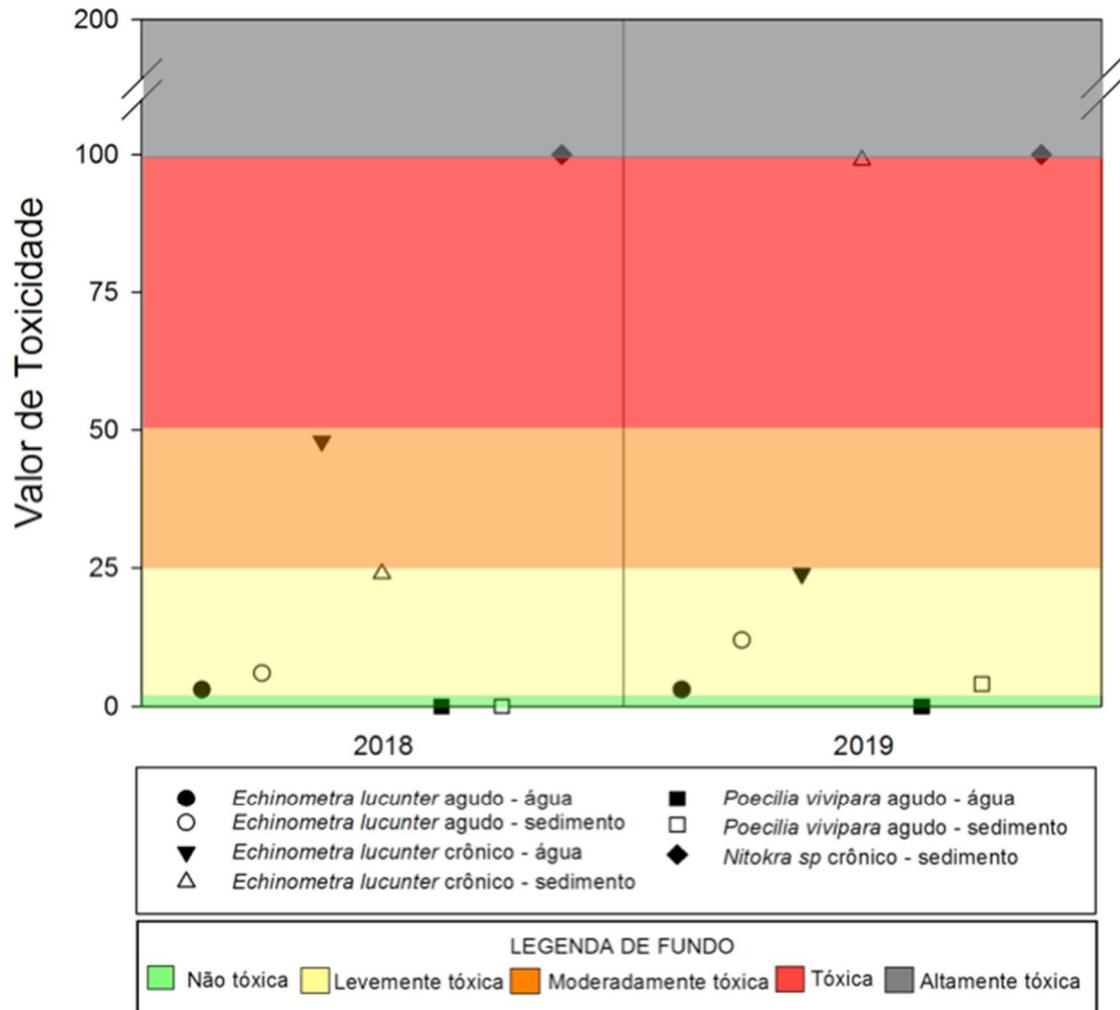


Figura 188: Gráfico com valores de toxicidade para o ponto FRD6, referentes aos ensaios realizados com amostras de água e sedimento coletadas na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA.

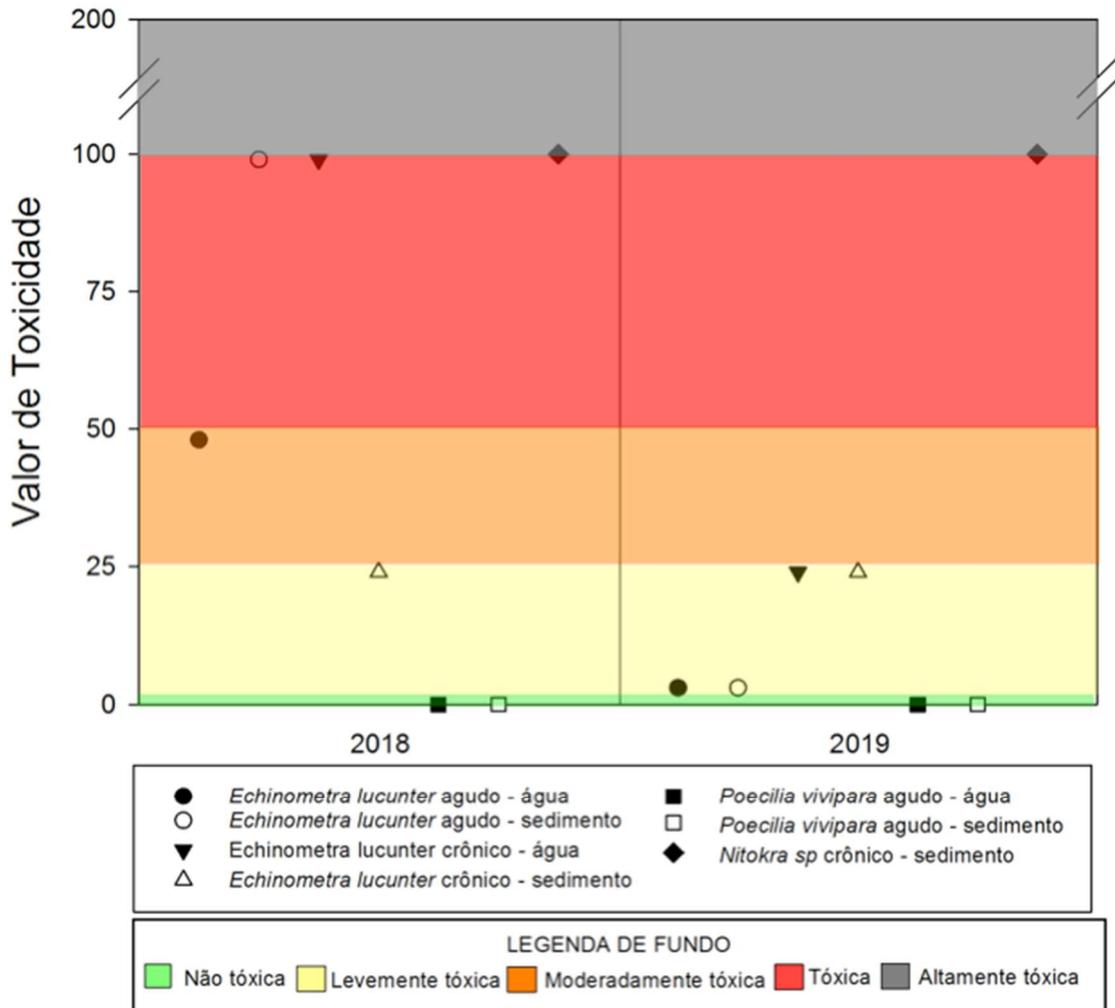


Figura 189: Gráfico com valores de toxicidade para o ponto CA1, referentes aos ensaios realizados com amostras de água e sedimento coletadas na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA.

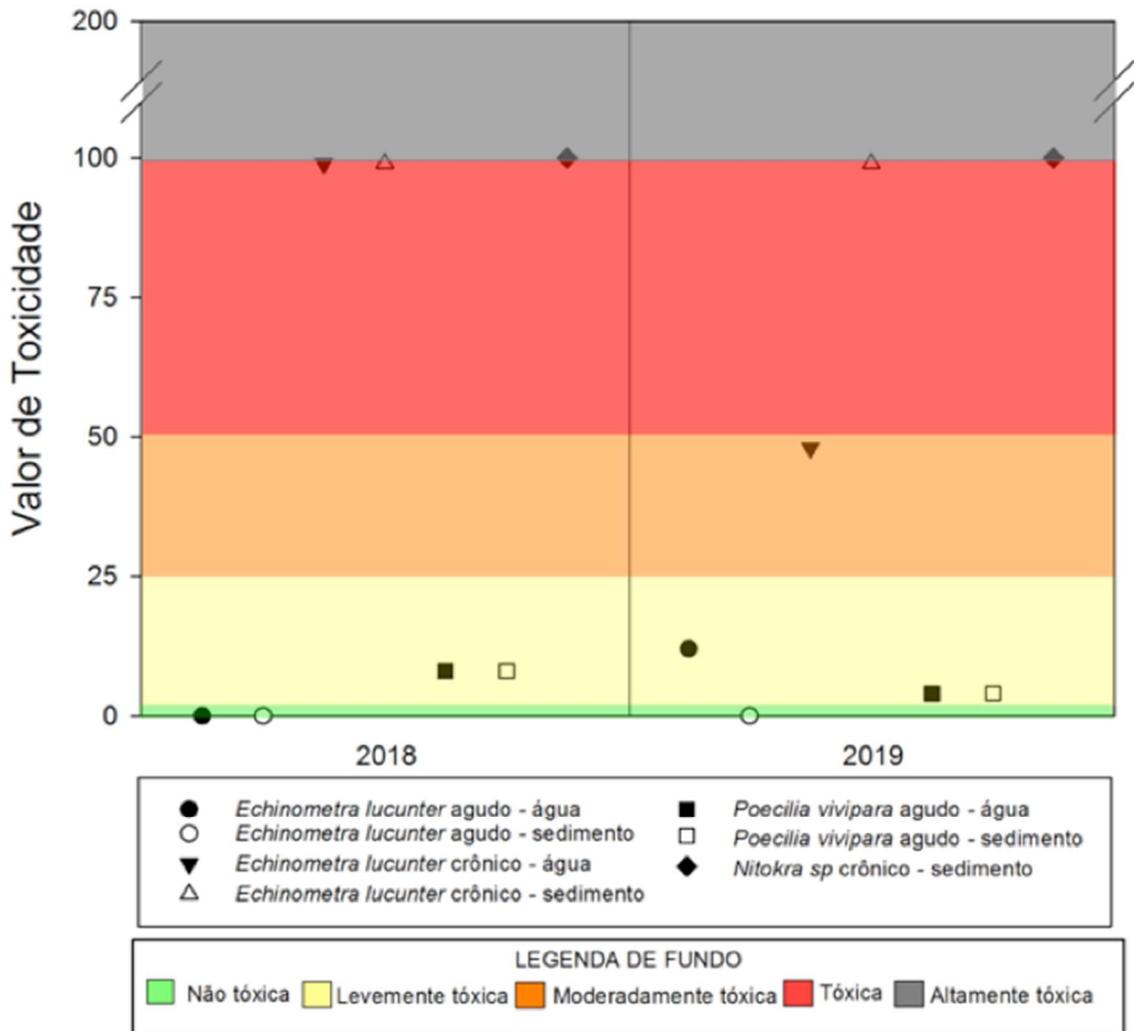
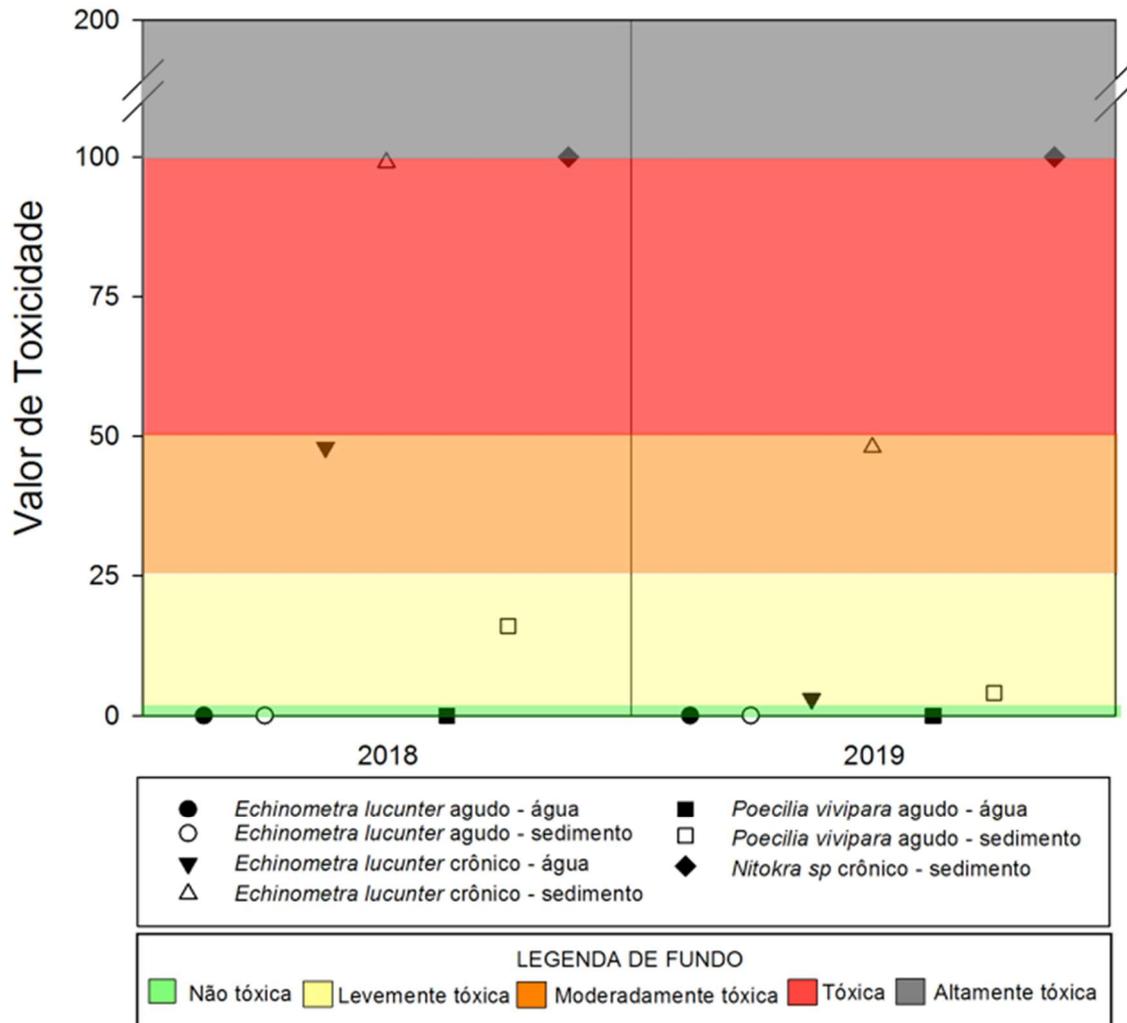


Figura 190: Gráfico com valores de toxicidade para o ponto CA2, referentes aos ensaios realizados com amostras de água e sedimento coletadas na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e na campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA.



A Análise de Componentes Principais (PCA), apresentada na Figura 191, mostra como as variáveis concentração de metais (total e dissolvido) na água e “Toxicidade da Água” se relacionam juntamente com os pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2 para as campanhas 1 e 2. Os eixos 1 (PC1) e 2 (PC2) resumem 71,8% da variação total dos resultados. A PCA mostra que o ponto FRD1 (campanhas 1 e 2) apresenta os maiores valores entre as variáveis associadas ao eixo PC2, enquanto que o ponto FRD6 - campanha 1 está associado à variável “Toxicidade na Água”, juntamente com os metais Cr (total e dissolvido), Fe (total e dissolvido), Hg (total e dissolvido) e As (dissolvido). O ponto CA1 das campanhas 1 e 2 ficaram no mesmo quadrante e relacionados aos metais Mn (total e dissolvido), Zn (total e dissolvido) e As (total). Na mesma linha o ponto CA2, das campanhas 1 e 2, também ficaram no mesmo quadrante, mas relacionaram-se com os metais Cd (total) e Pb (total e dissolvido). O eixo PC1 é responsável por 46,8% da variação total da PCA, e os níveis de Mn (total e dissolvido), Cd (total),

Zn (dissolvido), Fe (total e dissolvido), Hg (total e dissolvido) e Cr (total), juntamente com a variável “Toxicidade da Água” apresentam a maior contribuição para esse eixo (Figura 192), sendo que os pontos FRD6 – campanha 1 e CA2 – campanha 2 representa, também, a maior contribuição para esse eixo (Figura 193). O segundo eixo (PC2) é responsável por 25% da variância total dos resultados. Os metais As (total), Cu (total e dissolvido), Cr (dissolvido), Zn (total e dissolvido), Fe (dissolvido) e Pb (total e dissolvido) são as variáveis com maior contribuição para esse eixo 2, respectivamente (Figura 194), assim como os pontos FRD1 (campanha 1 e 2) e CA1 (campanha 2) (Figura 195).

Figura 191: Análise de Componentes Principais (PCA) com valores de toxicidade da água e metais (total e dissolvido) medidos em amostras de água dos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, para a campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise categorizados por localidade. Destaque para a campanha 1 em cinza (E1) e campanha 2 em azul (E2). E1= campanha 1 (setembro/outubro de 2018); E2= campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019); fT= Metal total; fD= Metal Dissolvido.

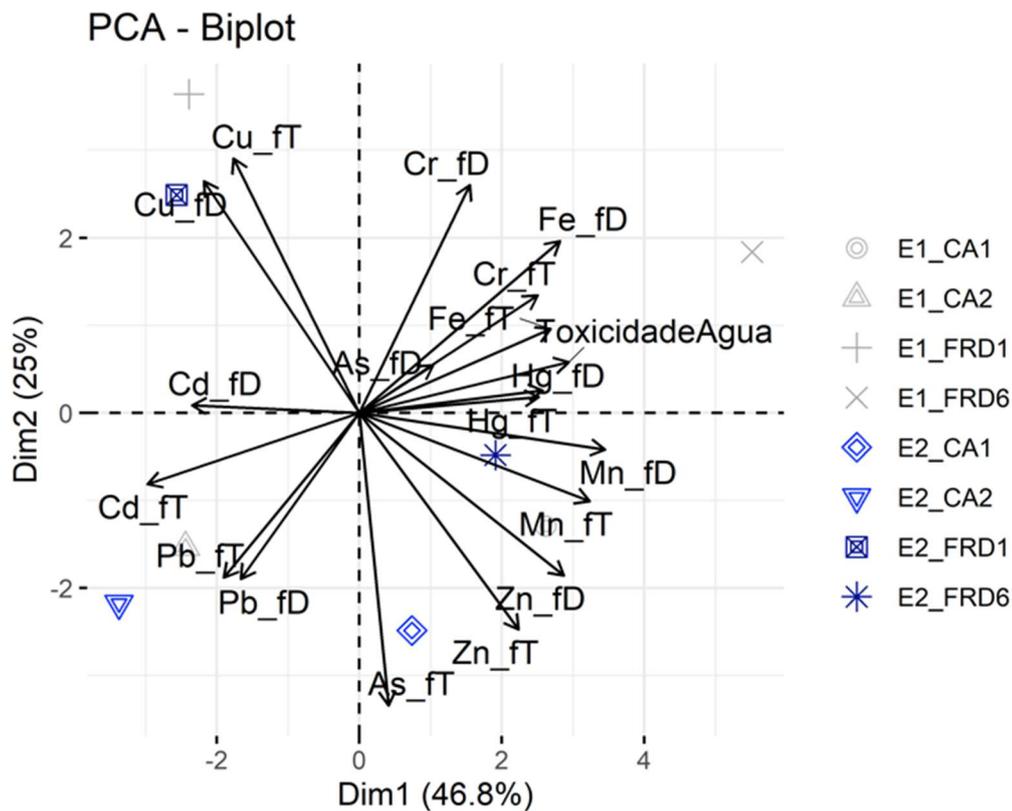


Figura 192: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de água coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/19 = 5,2\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

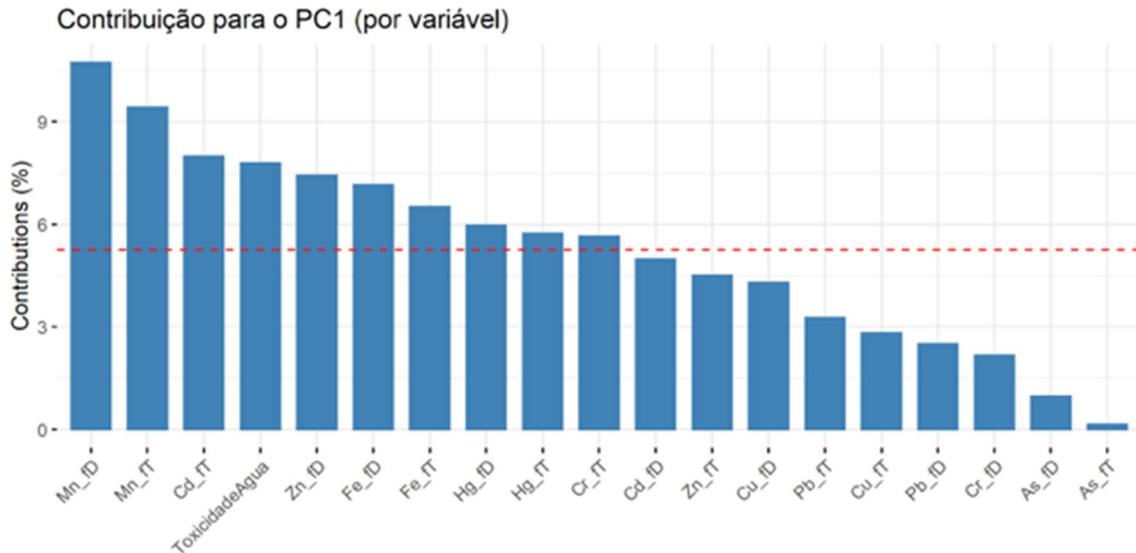


Figura 193: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de água coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018 - Primavera) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019 - Verão) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (indivíduos/fator)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

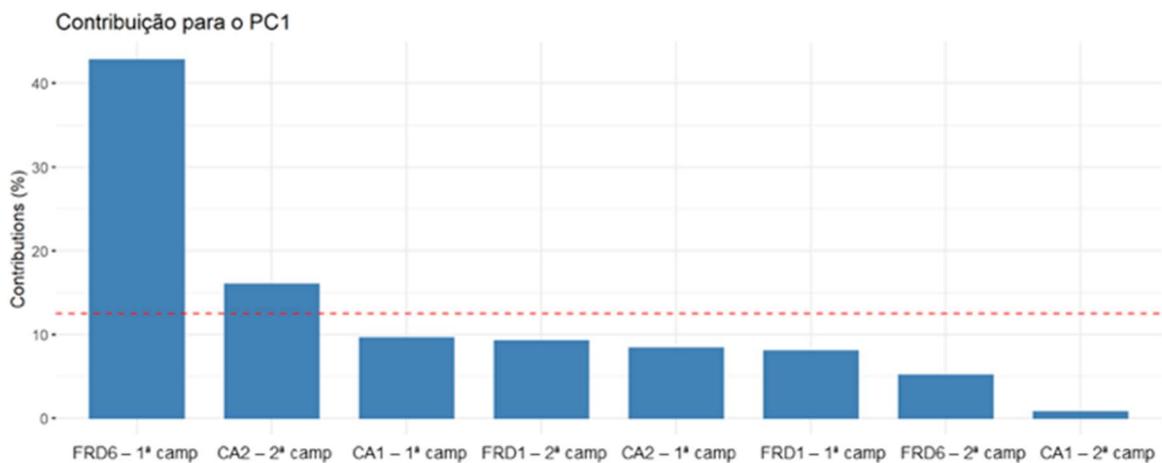


Figura 194: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de água coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018 - Primavera) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019 - Verão) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/19 = 5,2\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

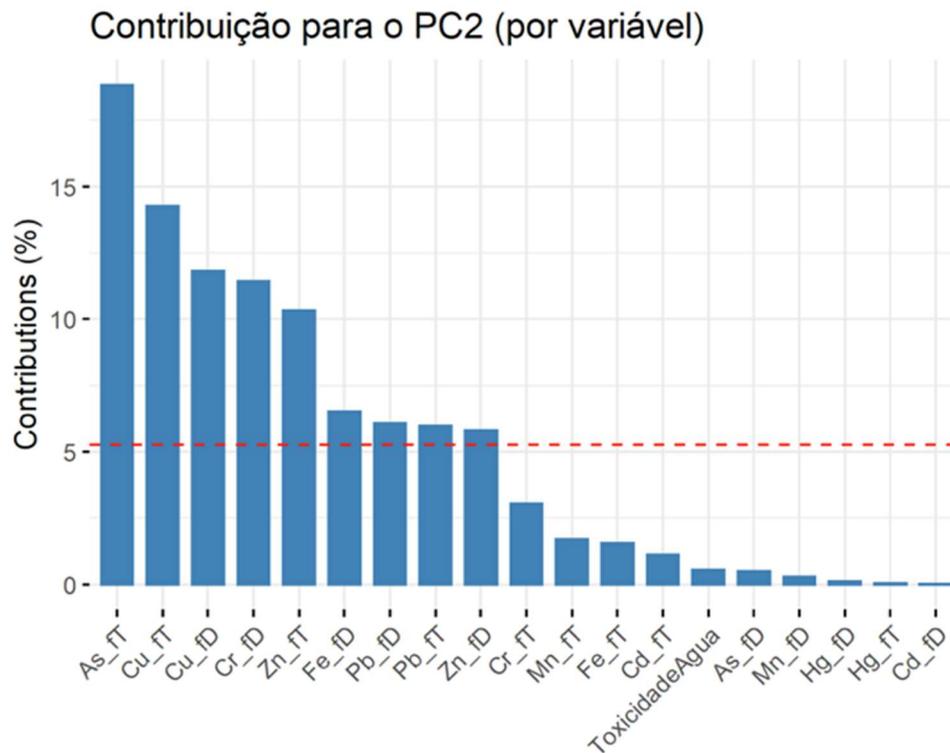
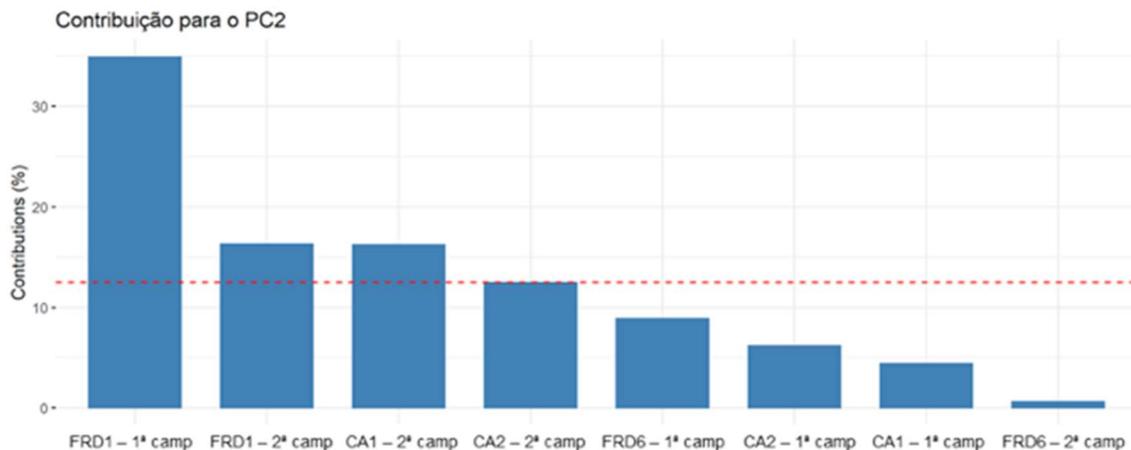


Figura 195: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de água coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018 - Primavera) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019 - Verão) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.



A Figura 196 apresenta a PCA realizada com os dados de metais e toxicidade das amostras de sedimento para os pontos: FRD1, FRD6, CA1 e CA2. Os eixos 1 (PC1) e 2 (PC2) sumarizam 84% da variação total dos resultados. O ponto CA1 (campanhas 1 e 2) encontra-se associado à variável “Toxicidade do Sedimento”, juntamente aos metais Hg, Cd e As. Os metais Fe, Mn, Pb, Cu e Zn estão associados ao FRD1 e FRD6 da campanha 2, enquanto o Cr está relacionado ao FRD1 e FRD6 da campanha 1. O ponto CA2 (campanhas 1 e 2) não apresenta correlação com nenhuma variável. O primeiro eixo (PC1) é responsável por 53% da variação total dos dados, sendo as variáveis que mais influenciam Cr, Pb, Cu, Mn e Zn, respectivamente (Figura 197), assim como os pontos FRD1, principalmente, e FRD6, ambos referentes à campanha 2 (Figura 198). O segundo eixo (PC2) é responsável por 31% da variação total dos resultados. Os metais As, Cd, Hg e Fe são os que mais contribuem para esse eixo (Figura 199), bem como os pontos CA1 (campanha 2) e CA2 (campanha 1) (Figura 200).

Figura 196: Análise de Componentes Principais (PCA) com valores de toxicidade do sedimento e metais medidos em amostras de sedimento dos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, para a campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise categorizados por localidade. Destaque para a campanha 1 em cinza (E1) e campanha 2 em azul (E2).S= Sedimento.

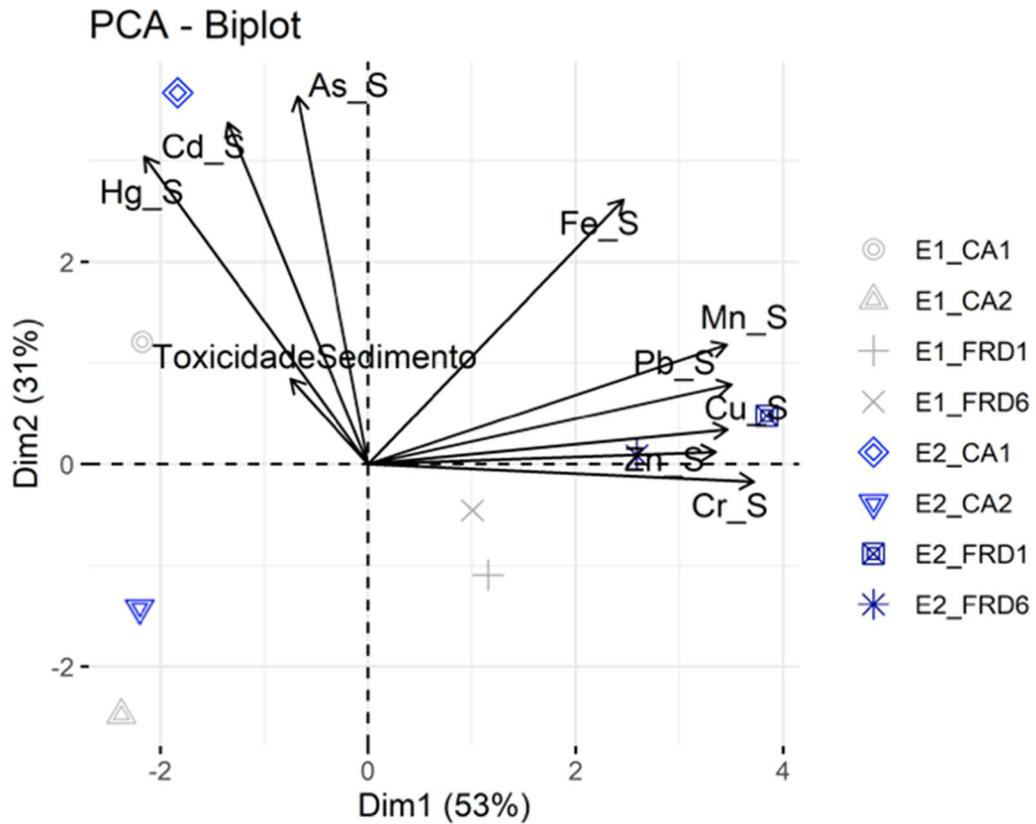


Figura 197: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de sedimento coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/10 = 10\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

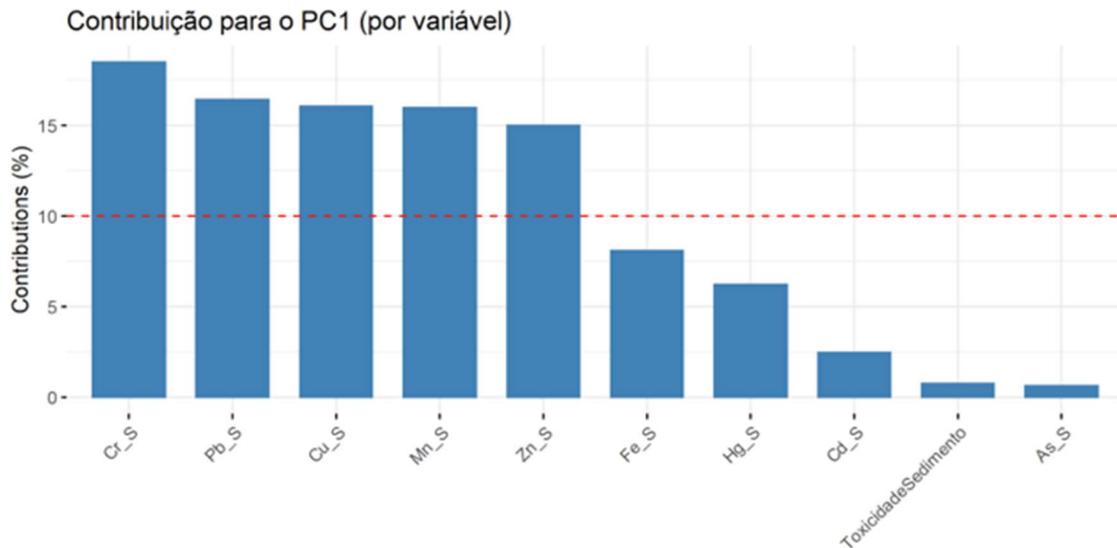


Figura 198: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 1 (PC1) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de sedimento coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

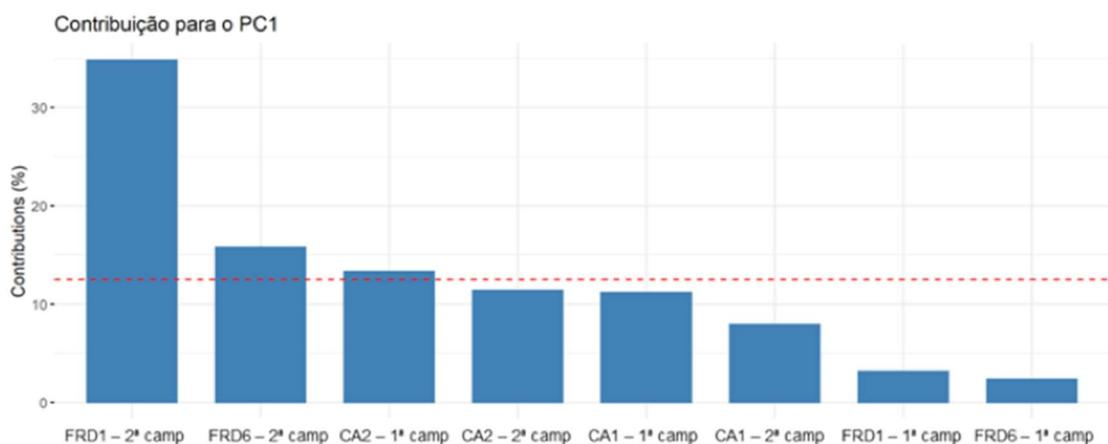


Figura 199: Contribuição (%) das variáveis para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA). As variáveis são dadas como valores de toxicidade e concentração de metais nas amostras de sedimento coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento}(\text{variáveis}) = 1/10 = 10\%$ . Para um determinado componente, a variável com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente.

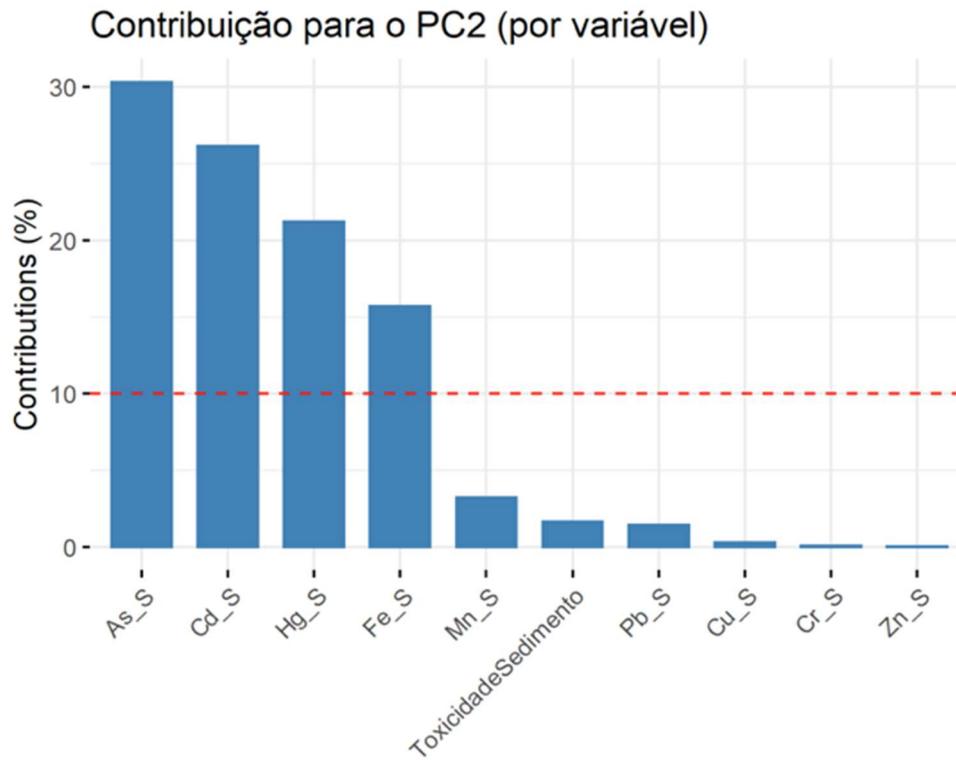
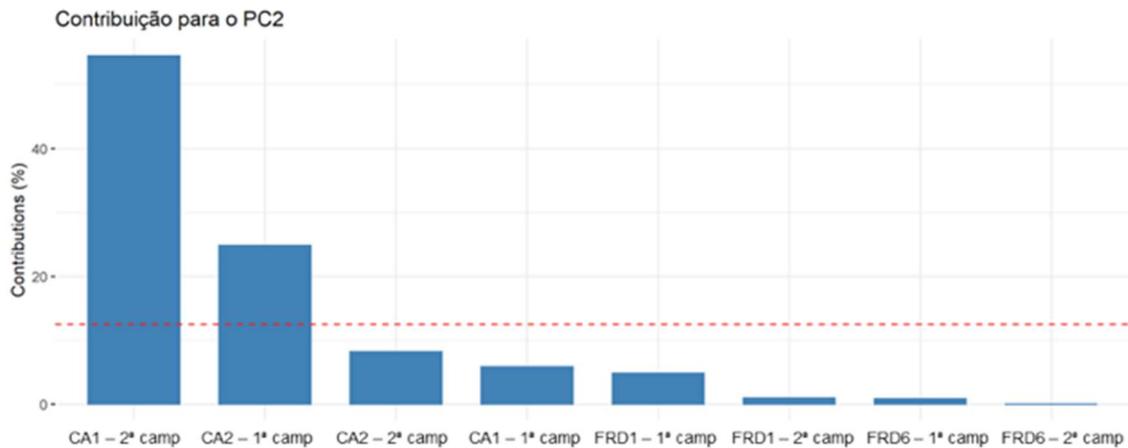


Figura 200: Contribuição (%) de cada indivíduo/fator para os agrupamentos do componente 2 (PC2) da análise de componentes principais (PCA) de ensaios de toxicidade e metais realizada para amostras de sedimento coletadas nos pontos FRD1, FRD6, CA1 e CA2, na campanha 1 (setembro/outubro de 2018) e campanha 2 (janeiro/fevereiro de 2019) do Anexo 1 do PMBA. A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento} (\text{indivíduos/fator}) = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode contribuir de forma significativa com esse componente



### 3.2.5 Concentração de metais em organismos da foz do Rio Doce e região costeira adjacente

Nas campanhas marinhas 1 e 2 foram amostrados, sempre que possível, espécies representantes de diferentes níveis tróficos, podendo dividi-los em quatro subgrupos principais: (i) *pools* de fitoplâncton e zooplâncton, (ii) duas espécies de camarão (*Xiphopenaeus kroyeri* e *Farfantapeneus spp.*) utilizando-se os principais tecidos para análise (brânquia, hepatopâncreas e músculo); (iii) quatro diferentes espécies de peixes, retirando os principais tecidos (brânquia, fígado e músculo) para as análises; (iiii) e amostras de hidrocorais (*Millepora alcicornes*) e corais (*Mussimilia hartti*). Os dados individuais das análises químicas nos organismos podem ser acessados na “Planilha de Dados Brutos”. Em alguns pontos amostrais nas campanhas marinhas 1 e 2 não foram coletados peixes/camarões no número previsto ( $n=6$ ), ou não foram encontrados na estação amostral e/ou estação do ano estabelecida (sendo assim, não há peixes/camarões em todas as estações amostrais). Poliquetos e Moluscos não foram coletados nas campanhas marinhas 1 e 2, pois não foram encontrados com biomassa e frequência suficiente para as análises propostas, e já não haviam sido coletados nas expedições anteriores do PMBA. No caso dos corais e hidrocorais, a coleta só ocorre na localidade de Abrolhos.

#### 3.2.5.1 Concentração de metais em fitoplâncton e zooplâncton

O compartimento referido neste relatório como “fitoplâncton” engloba uma comunidade diversa de organismos pertencentes ao fito e protozooplâncton marinho, com tamanhos entre 63 e 200  $\mu\text{m}$ . O compartimento referido como “zooplâncton” engloba a comunidade planctônica com tamanhos maiores a 200  $\mu\text{m}$ . Ambos compartimentos foram coletados com o objetivo de avaliar efeitos na base da cadeia trófica.

A Tabela 76 e Tabela 77 resumizam os resultados de concentração dos elementos Cromo (Cr), Cádmiu (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Arsênio (As) mensurados nas amostras de fitoplâncton, coletados nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019), respectivamente.

Tabela 76: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras (*pool*) de fitoplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados foram expressos em média  $\pm$  erro padrão.

Fitoplâncton - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)										
Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
GUA1	5	0,52 $\pm$	0,054 $\pm$	0,75 $\pm$	0,79 $\pm$	6,92 $\pm$	0,0054	6,42 $\pm$	0,292 $\pm$	38,54 $\pm$
		0,15	0,007	0,16	0,18	0,69	$\pm$	0,42	0,079	3,66
GUA2	5	0,16 $\pm$	0,056 $\pm$	0,33 $\pm$	0,73 $\pm$	4,34 $\pm$	0,0045	1,57 $\pm$	0,781 $\pm$	30,07 $\pm$
		0,02	0,010	0,04	0,10	0,63	$\pm$	0,49	0,126	2,24
VIX1	3	0,03 $\pm$	0,030 $\pm$	0,17 $\pm$	0,19 $\pm$	5,08 $\pm$	0,0019	0,37 $\pm$	0,022 $\pm$	12,62 $\pm$
		0,01	0,000	0,04	0,04	0,96	$\pm$	0,08	0,007	2,03
VIX2	5	0,02 $\pm$	0,238 $\pm$	0,08 $\pm$	0,57 $\pm$	47,06 $\pm$	0,0011	1,57 $\pm$	1,471 $\pm$	4,41 $\pm$
		0,001	0,074	0,03	0,13	10,62	$\pm$	0,22	0,394	1,00
CA1	5	0,02 $\pm$	0,032 $\pm$	0,38 $\pm$	1,19 $\pm$	38,71 $\pm$	0,0009	0,86 $\pm$	0,006 $\pm$	5,78 $\pm$
		0,01	0,006	0,12	0,27	5,20	$\pm$	0,20	0,002	1,33
CA2	5	0,55 $\pm$	0,042 $\pm$	0,41 $\pm$	0,60 $\pm$	0,50 $\pm$	0,0085	20,33 $\pm$	0,323 $\pm$	9,02 $\pm$
		0,05	0,006	0,11	0,08	0,14	$\pm$	2,32	0,156	1,42
CA3	5	0,20 $\pm$	0,056 $\pm$	1,64 $\pm$	2,15 $\pm$	42,64 $\pm$	0,0017	2,33 $\pm$	4,846 $\pm$	5,33 $\pm$
		0,14	0,027	0,75	0,45	14,04	$\pm$	0,57	0,853	1,32
CA4	5	0,08 $\pm$	0,228 $\pm$	0,47 $\pm$	0,27 $\pm$	53,67 $\pm$	0,0003	0,71 $\pm$	0,048 $\pm$	13,56 $\pm$
		0,05	0,095	0,18	0,09	9,24	$\pm$	0,26	0,013	11,61
CA5	5	0,61 $\pm$	2,458 $\pm$	0,74 $\pm$	2,66 $\pm$	220,69	0,0045	1,66 $\pm$	0,160 $\pm$	2,73 $\pm$
		0,12	0,140	0,46	1,33	$\pm$ 54,44	$\pm$	0,51	0,057	1,82
FRD1	5	0,003	0,008 $\pm$	1,83 $\pm$	1,32 $\pm$	90,16 $\pm$	0,0007	1,56 $\pm$	0,057 $\pm$	12,79 $\pm$
		$\pm$	0,008	0,78	0,51	26,58	$\pm$	0,71	0,017	5,92
FRD3	2	0,03 $\pm$	0,240 $\pm$	0,18 $\pm$	0,37 $\pm$	1,44 $\pm$	0,0041	18,55 $\pm$	0,004 $\pm$	3,73 $\pm$
		0,01	0,060	0,08	0,10	0,44	$\pm$	4,15	0,003	0,35

Fitoplâncton - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)

Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
FRD6	5	0,05 ± 0,04	0,596 ± 0,204	0,43 ± 0,13	0,47 ± 0,19	74,29 ± 9,21	0,0005 ± 0,0002	0,86 ± 0,28	0,012 ± 0,003	4,84 ± 1,31
FRD8	4	0,02 ± 0,01	0,050 ± 0,019	0,26 ± 0,23	0,82 ± 0,31	14,69 ± 9,29	0,0026 ± 0,0011	9,52 ± 4,63	0,006 ± 0,003	7,67 ± 2,72
FRD9	5	0,007 ± 0,004	0,022 ± 0,006	2,11 ± 0,52	0,49 ± 0,06	1,71 ± 1,34	0,0003 ± 0,0001	2,23 ± 0,52	0,019 ± 0,005	3,40 ± 0,92
FRD10	4	0,002 ± 0,001	0,003 ± 0,003	0,67 ± 0,21	0,78 ± 0,17	17,53 ± 5,93	0,0004 ± 0,0000	0,56 ± 0,13	0,046 ± 0,013	2,60 ± 1,18
DEG1	5	0,56 ± 0,47	0,340 ± 0,101	0,18 ± 0,07	8,54 ± 6,14	0,39 ± 0,10	0,0041 ± 0,0005	1,24 ± 0,32	0,074 ± 0,024	2,60 ± 1,18
DEG2	5	0,35 ± 0,18	0,036 ± 0,021	0,77 ± 0,12	0,24 ± 0,07	0,77 ± 0,44	0,0074 ± 0,0009	0,07 ± 0,04	0,135 ± 0,056	32,85 ± 5,45
BN1	5	0,08 ± 0,02	0,032 ± 0,010	0,64 ± 0,24	0,28 ± 0,02	2,72 ± 0,40	0,0007 ± 0,0001	1,08 ± 0,39	0,026 ± 0,009	30,49 ± 7,70
BN2	5	0,21 ± 0,04	3,832 ± 0,996	0,48 ± 0,10	0,90 ± 0,24	19,11 ± 8,66	0,0052 ± 0,0017	15,53 ± 4,46	0,070 ± 0,045	104,80 ± 75,46
ITA1	5	0,05 ± 0,03	0,138 ± 0,026	1,64 ± 1,10	0,35 ± 0,12	2,71 ± 0,85	0,0005 ± 0,0001	0,65 ± 0,17	0,039 ± 0,021	41,30 ± 13,32
ITA2	5	0,13 ± 0,04	0,316 ± 0,161	2,17 ± 1,02	3,55 ± 0,68	9,26 ± 4,26	0,0027 ± 0,0015	3,68 ± 0,74	0,445 ± 0,175	31,50 ± 3,89
ABR01	3	0,06 ± 0,04	0,153 ± 0,100	0,46 ± 0,28	0,74 ± 0,47	1,60 ± 1,01	0,0002 ± 0,0001	4,45 ± 2,98	0,063 ± 0,056	3,84 ± 1,46
ABR02	5	0,03 ± 0,01	0,394 ± 0,164	0,12 ± 0,07	1,62 ± 0,36	1,16 ± 0,45	0,0008 ± 0,0004	1,92 ± 0,56	0,018 ± 0,008	5,23 ± 2,32
ABR04	4	0,02 ± 0,01	0,028 ± 0,021	0,16 ± 0,09	0,27 ± 0,07	19,34 ± 17,88	0,0023 ± 0,0008	0,94 ± 0,36	0,030 ± 0,015	0,87 ± 0,29

**Fitoplâncton - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)**

Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
ABRC1	3	0,05 ±	0,010 ±	0,36 ±	0,09 ±	2,22 ±	0,0002	0,78 ±	0,058 ±	12,43 ±
		0,03	0,006	0,03	0,06	0,92	±	0,24	0,044	4,28
							0,0000			

Tabela 77: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras (*pool*) de fitoplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados foram expressos em média ± erro padrão.

**Fitoplâncton - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
GUA1	5	0,11 ±	1,156 ±	1,25 ±	2,18 ±	582,44	0,0004	7,08 ±	0,469 ±	27,47 ±
		0,03	0,114	0,53	0,77	± 72,94	±	0,58	0,175	2,55
							0,0001			
GUA2	5	0,002	1,387 ±	0,02 ±	0,10 ±	196,38	0,0035	1,77 ±	0,001 ±	7,05 ±
		±	0,089	0,00	0,01	± 17,09	±	0,10	0,000	0,31
		0,001					0,0004			
VIX1	5	0,004	1,588 ±	0,24 ±	1,63 ±	247,96	0,0006	3,18 ±	0,001 ±	17,80 ±
		0,001	0,364	0,05	0,23	± 33,79	±	0,32	0,000	3,21
							0,0001			
VIX2	5	0,003	0,798 ±	0,001	0,10 ±	360,42	0,0002	5,91 ±	0,0002 ±	13,80 ±
		±	0,038	±	0,03	± 41,69	±	0,90	0,0001	3,75
		0,001		0,001			0,0001			
CA1	5	0,31 ±	1,738 ±	0,16 ±	4,41 ±	297,26	0,0005	3,13 ±	0,001 ±	37,19 ±
		0,07	0,227	0,04	0,88	± 79,15	±	0,76	0,001	10,14
							0,0001			
CA2	5	0,16 ±	1,360 ±	0,08 ±	0,07 ±	255,16	0,0002	1,68 ±	0,001 ±	2,88 ±
		0,01	0,078	0,01	0,01	± 29,66	±	0,19	0,000	0,82
							0,0001			
CA3	5	0,30 ±	0,024 ±	0,72 ±	41,52 ±	44,56 ±	0,0015	4,38 ±	0,0003 ±	16,78 ±
		0,13	0,008	0,16	12,14	12,77	±	0,72	0,0001	3,47
							0,0007			
CA4	5	0,014	3,161 ±	0,50 ±	0,43 ±	448,16	0,0016	13,40	0,002 ±	174,44 ±
		±	0,731	0,10	0,08	±	±	± 2,05	0,001	20,58
		0,003				110,43	0,0005			
CA5	5	0,003	2,093 ±	0,31 ±	0,26 ±	511,38	0,0004	13,63	0,001 ±	177,07 ±
		±	0,238	0,04	0,03	±	±	± 3,23	0,000	18,93
		0,001				173,97	0,0001			

Fitoplâncton - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
FRD1	5	0,70 ± 0,16	2,334 ± 0,169	1,17 ± 0,08	0,82 ± 0,05	474,64 ± 69,12	0,0002 ± 0,0001	3,65 ± 0,33	0,001 ± 0,000	9,84 ± 1,33
FRD3	5	0,23 ± 0,05	0,328 ± 0,078	0,12 ± 0,03	0,24 ± 0,06	685,42 ± 75,68	0,0005 ± 0,0001	8,77 ± 0,82	0,303 ± 0,023	19,32 ± 5,72
FRD6	5	0,01 ± 0,02	0,205 ± 0,083	0,03 ± 0,02	1,20 ± 0,19	48,00 ± 10,27	0,0004 ± 0,0000	5,18 ± 1,14	0,002 ± 0,001	16,18 ± 1,88
FRD8	5	0,17 ± 0,13	0,038 ± 0,014	1,20 ± 0,37	4,83 ± 1,50	454,28 ± 34,86	0,0006 ± 0,0001	3,67 ± 0,20	0,001 ± 0,000	9,15 ± 1,97
FRD9	5	0,04 ± 0,01	0,193 ± 0,027	0,11 ± 0,01	0,31 ± 0,12	284,40 ± 36,00	0,0003 ± 0,0000	3,86 ± 0,55	0,025 ± 0,003	28,27 ± 12,45
FRD10	5	0,01 ± 0,01	0,057 ± 0,005	0,06 ± 0,02	0,14 ± 0,06	395,12 ± 41,23	0,0007 ± 0,0000	4,19 ± 0,21	0,072 ± 0,007	1,39 ± 0,27
DEG1	5	0,44 ± 0,07	0,017 ± 0,001	5,16 ± 0,68	2,17 ± 0,59	27,70 ± 6,19	0,0013 ± 0,0003	3,17 ± 0,50	2,248 ± 1,199	13,14 ± 2,18
DEG2	5	0,10 ± 0,05	0,039 ± 0,009	0,42 ± 0,22	0,15 ± 0,09	33,82 ± 8,43	0,0003 ± 0,0001	3,30 ± 0,84	0,318 ± 0,063	37,87 ± 8,10
BN1	5	0,33 ± 0,07	0,027 ± 0,012	2,73 ± 0,67	0,68 ± 0,24	42,00 ± 13,50	0,0022 ± 0,0006	3,60 ± 1,37	2,506 ± 0,828	17,75 ± 6,54
BN2	5	0,33 ± 0,07	0,008 ± 0,001	7,12 ± 1,29	0,24 ± 0,03	38,94 ± 5,26	0,0028 ± 0,0004	1,69 ± 0,23	0,632 ± 0,100	1,30 ± 0,17
ITA1	5	0,01 ± 0,01	0,040 ± 0,006	0,21 ± 0,07	0,06 ± 0,01	0,48 ± 0,11	0,0003 ± 0,0001	0,23 ± 0,09	0,015 ± 0,010	12,83 ± 3,94
ITA2	5	0,034 ± 0,004	0,101 ± 0,014	0,13 ± 0,02	0,30 ± 0,04	28,18 ± 8,18	0,0023 ± 0,0005	3,02 ± 0,43	0,017 ± 0,003	27,34 ± 2,91
ABR01	5	0,029 ± 0,007	0,046 ± 0,015	0,15 ± 0,05	0,33 ± 0,15	63,76 ± 16,60	0,0020 ± 0,0004	6,83 ± 1,66	1,095 ± 0,579	17,60 ± 7,12

Fitoplâncton - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
ABR02	5	0,010	0,041 ±	0,07 ±	0,10 ±	36,94 ±	0,0013	2,75 ±	0,027 ±	16,52 ±
		±	0,004	0,01	0,04	10,00	±	0,25	0,012	3,67
ABR04	5	0,04 ±	0,058 ±	0,11 ±	0,13 ±	32,36 ±	0,0019	2,18 ±	0,031 ±	10,44 ±
		0,01	0,011	0,02	0,01	8,49	±	0,30	0,014	3,90
ABRC1	5	0,02 ±	0,006 ±	0,12 ±	0,01 ±	0,98 ±	0,0002	0,26 ±	0,027 ±	5,21 ±
		0,01	0,001	0,02	0,00	0,27	±	0,08	0,011	1,16
							0,0000			

A análise de concentração de metais nos organismos (fitoplâncton, zooplâncton, camarões, peixes, corais e hidrocorais) coletados pelo Anexo 1, no ambiente marinho, será realizada visualmente por meio de tabelas e gráficos representando as médias e erro padrão das amostras coletadas em cada campanha e cada estação amostral. As análises estatísticas, no entanto, serão realizadas considerando como fator temporal cada expedição/campanha, e como fator espacial as 8 localidades (GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1;CA2;CA3;CA4 e CA5]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1,FRD3;FRD6;FRD8,FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) e ABR (Abrolhos [ABR01; ABR02;ABR04 e ABRC1])). Dessa forma, a análise de padrões espaciais fica mais robusta (por considerar mais réplicas espaciais dentro de cada localidade), além de levar em consideração o fato de que a biota coletada não é estritamente sésil, podendo se locomover ou ser transportada por curtas distâncias dentro da área de cada localidade, minimizando, assim, a ausência ou baixo número de peixes e camarões em algumas das estações amostrais.

A PERMANOVA realizada com os dados de concentração de metais no fitoplâncton, coletado nas campanhas marinhas 1 e 2, mostra uma significativa interação entre o fator temporal e o fator espacial, evidenciando que o padrão espacial de bioacumulação muda dependendo da sazonalidade (Tabela 78).

Tabela 78: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal, Campanha, e do fator espacial, Localidade, na concentração de metais nas amostras de fitoplâncton. Permutação de Monte Carlo (n=4999). Efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) estão destacados em vermelho.

	Grau de liberdade	SQ	F	p
Campanha	1	91,29	13,85	<0,0001
Localidade	7	289,62	6,27	<0,0001
Campanha*Localidade	7	284,14	6,15	<0,0001
Resíduos	220	1449,96		
Total	235	2115,00		

A PCA realizada com os dados de metais no fitoplâncton coletado ao longo das 25 estações amostrais e categorizados em 8 localidades, (GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1; CA2; CA3; CA4 e CA5]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) e ABR (Abrolhos [ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1]) nas duas campanhas marinhas, resumiu 61.4% da variabilidade nos dois primeiros componentes (Figura 201; Tabela 79; Figura 202). A acumulação de As, Hg, Cr e Pb no fitoplâncton foi maior nas localidades de Guarapari, Costa das Algas e DEG, na campanha 1, e nas localidades de Vitória e Degredo na campanha 2. Barra Nova, durante a campanha 2, e Costa das Algas durante a campanha 2, apresentou populações fitoplanctônicas com maiores níveis de Zn, Cu, Mn e Cd, de forma geral.

Figura 201: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn nas amostras de fitoplâncton (fit). Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise que foram coletados durante a campanha 1 (Exp1; símbolos cinzas) e a campanha 2 (Exp2; símbolos azuis), categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1; CA2; CA3; CA4 e CA5]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) e ABR (Abrolhos [ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1]).

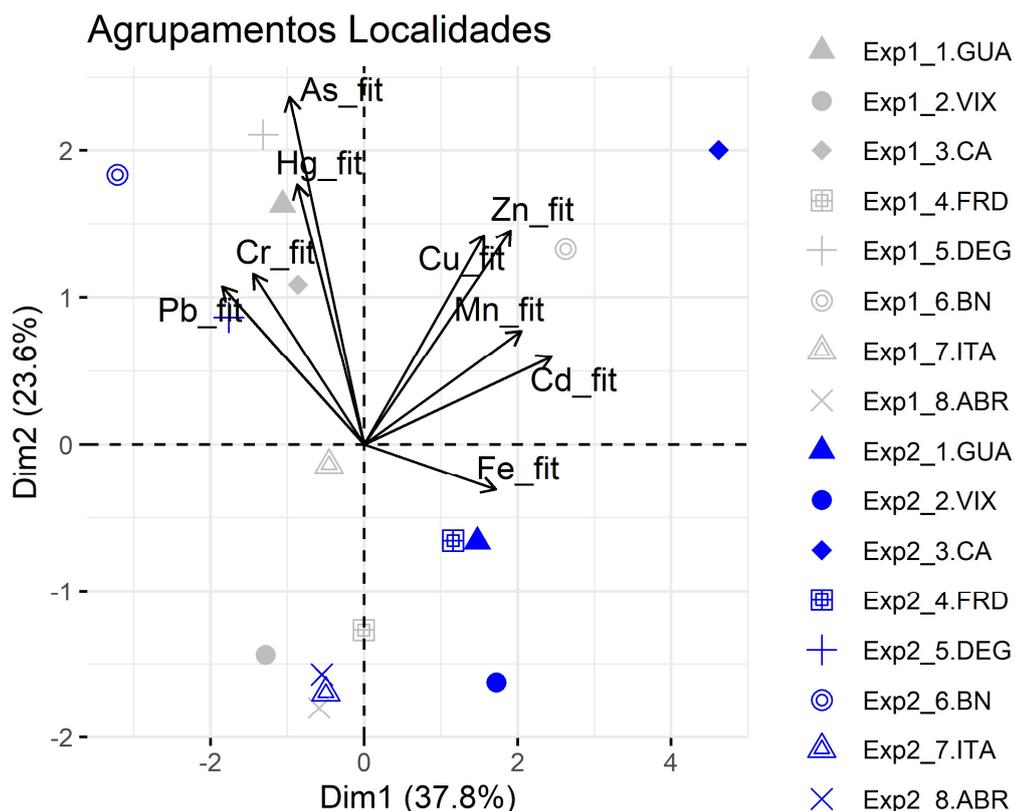
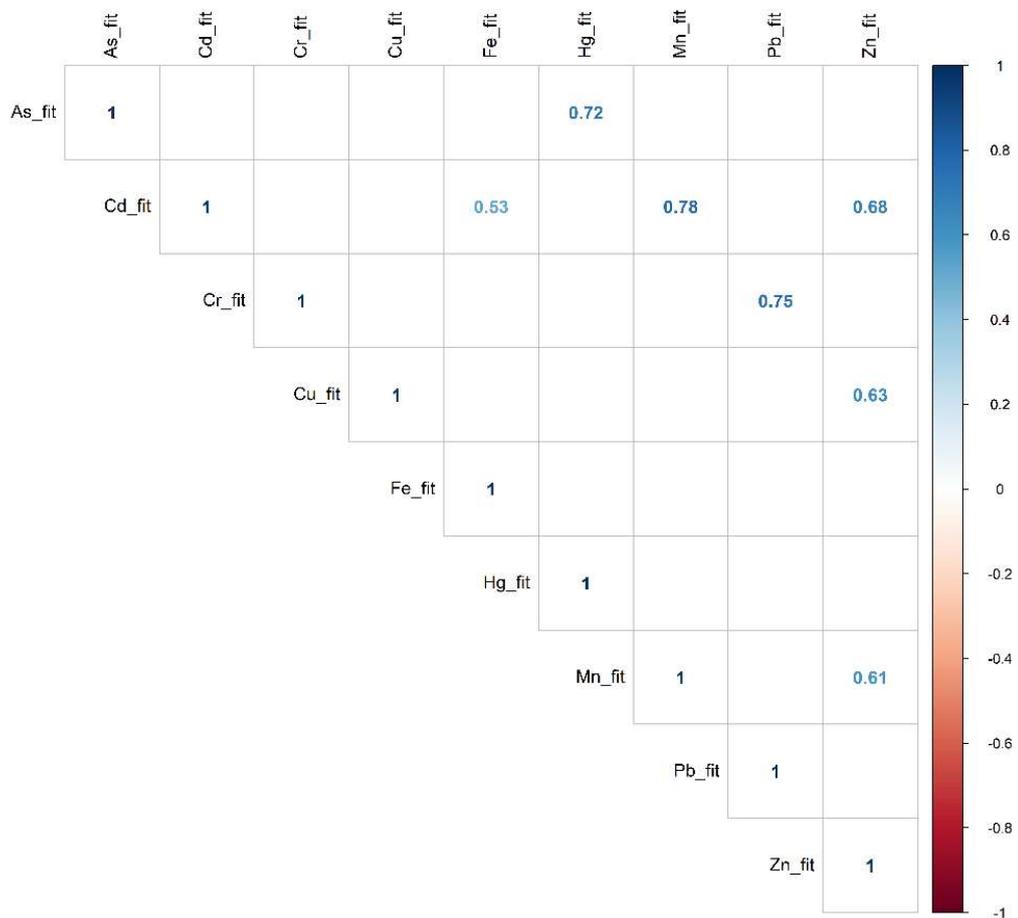


Tabela 79: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 201.

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.1	3,40	37,83	37,83
Dim.2	2,11	23,55	61,38

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.3	1,32	14,72	76,10
Dim.4	0,84	9,40	85,51
Dim.5	0,68	7,60	93,12
Dim.6	0,22	2,55	95,67
Dim.7	0,20	2,28	97,96
Dim.8	0,12	1,36	99,32
Dim.9	0,06	0,67	100

Figura 202: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais nas amostras de fitoplâncton (fit). Correlações positivas estão indicadas em azul. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) estão indicadas.



De acordo com a Figura 203, as variáveis que mais contribuíram para o componente principal PC1 foram os metais Cd, Mn, Zn e Pb. Os indivíduos/fatores (Figura 204) que mais contribuíram para os agrupamentos, ao longo do PC1, estão associados principalmente as localidades CA e BN da campanha 2 (Exp2) e BN na campanha 1 (Exp1).

Figura 203: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 201). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

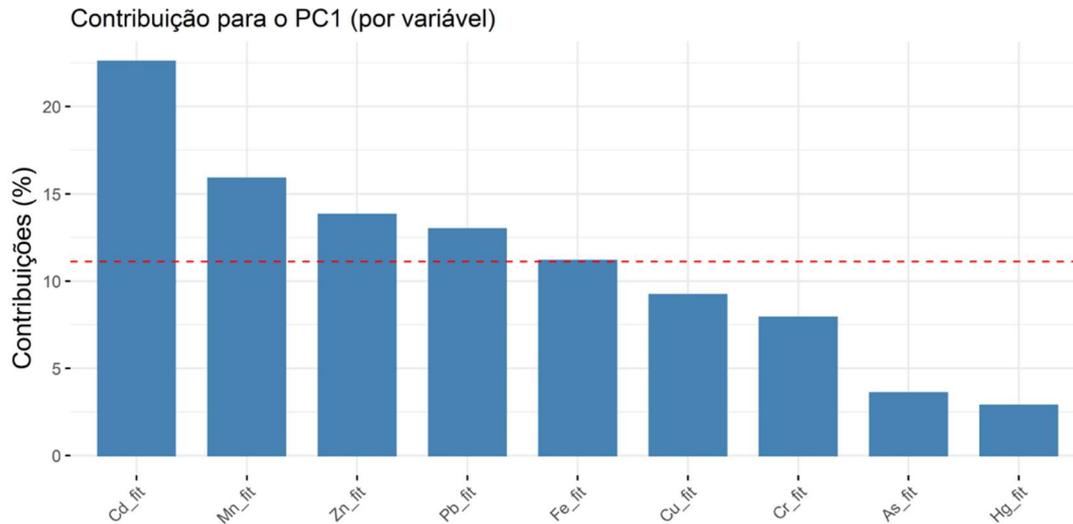
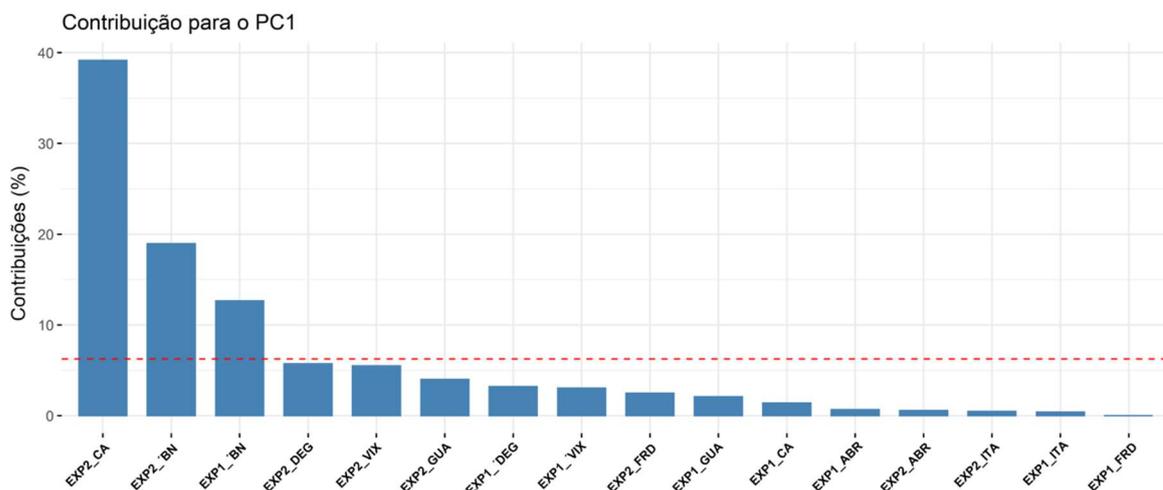


Figura 204: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 201). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/16 = 6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



A Figura 205 indica que as variáveis que mais contribuíram para o PC2 foram os metais As, Hg, Zn e Cu. Na Figura 206, os indivíduos/fatores que mais contribuíram para os agrupamentos, ao longo do PC2, estão associados principalmente as localidades de DEG na campanha 1 (Exp1) e CA na campanha 2 (Exp2).

Figura 205: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 201). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

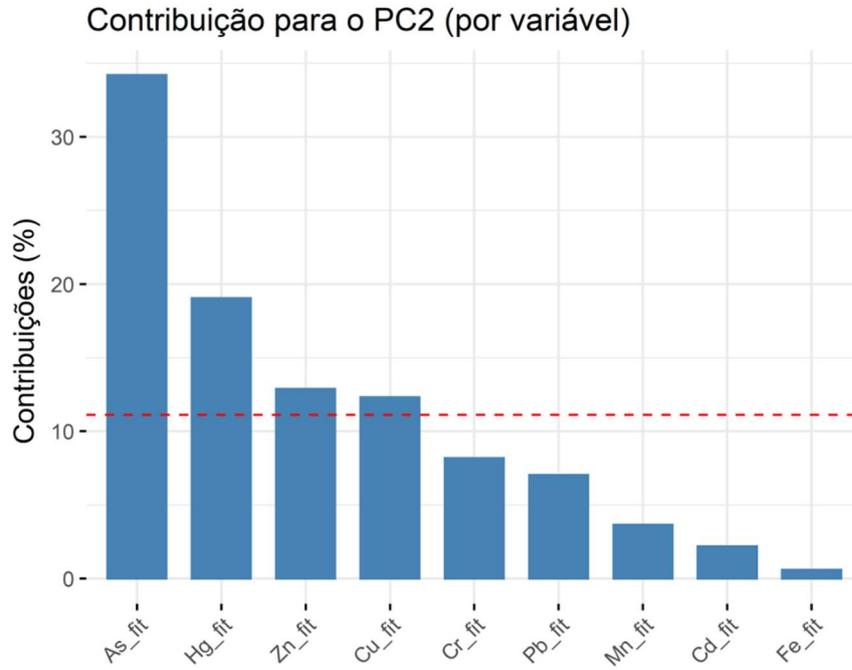
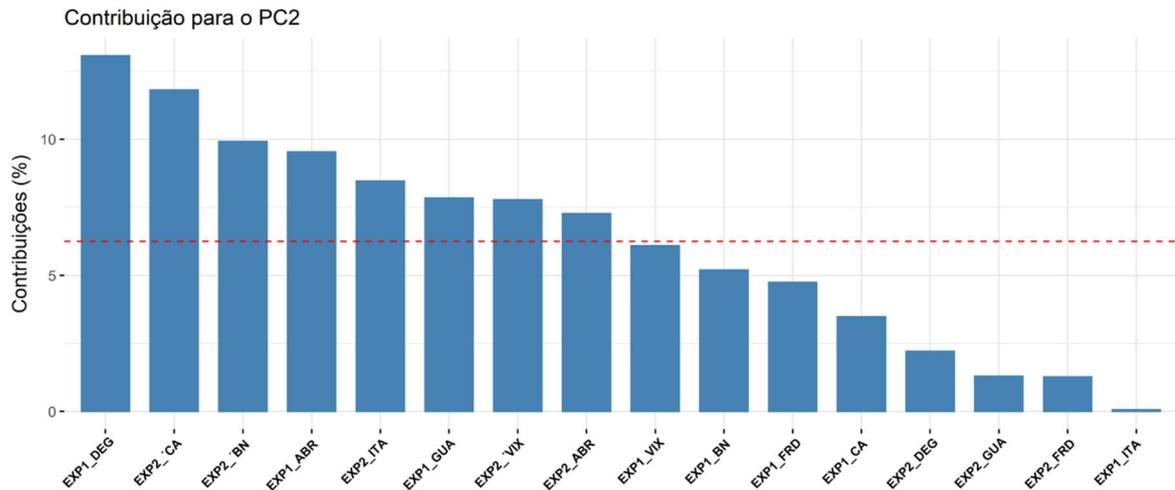


Figura 206: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 201). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (indivíduos)} = 1/16=6\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo*/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

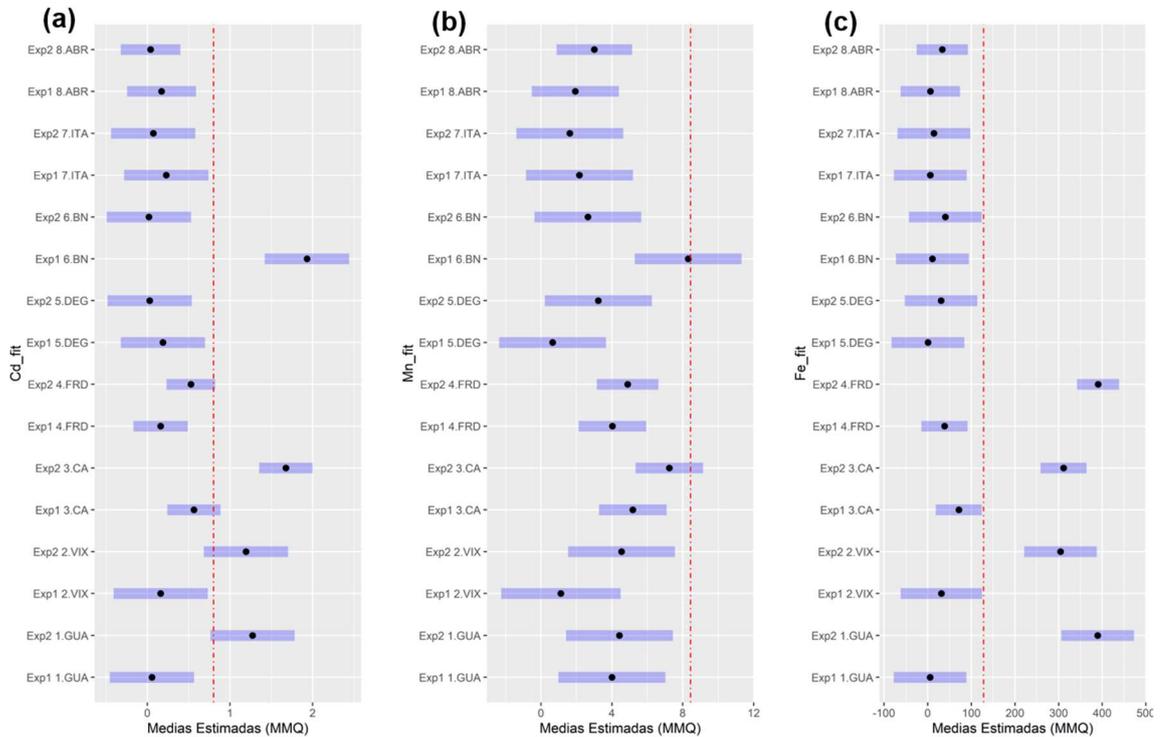


Considerando que o Cd e o Mn foram as variáveis que mais contribuíram para o componente principal 1, análises univariadas foram aplicadas para avaliação mais detalhada. Tais análises, mostraram que os agrupamentos e tendências observados na PCA são estatisticamente significativos ( $p < 0.05$ ), uma vez que os níveis de Cd e Mn são maiores em Barra Nova (BN), durante a primeira campanha, e atinge seus menores valores na mesma localidade, durante a segunda campanha (em comparação com a “linha de base” determinada para as análises univariadas).

De forma geral, tanto a análise multivariada (PERMANOVA) quanto as univariadas aplicadas para os metais com maior contribuição para o padrão geral dos dados, indicam que a sazonalidade leva a diferentes padrões de acumulação dos metais.

Considerando que os efeitos e padrões de bioacumulação de metais no fitoplâncton sofrem um efeito interativo entre a campanha e o ponto de amostragem, o padrão espacial deve ser avaliado dentro de cada campanha. De forma geral, na primeira campanha, os picos de Cd e Mn ocorreram em Barra Nova (BN), onde foram significativamente maior ( $p < 0,05$ ; Figura 207) que a “linha de base”. Na segunda campanha, esse padrão não se repetiu, e os picos de Cd ocorreram nas localidades mais ao sul (GUA, VIX, CA e FRD), sendo a diferença significativa apenas em CA, em comparação com a linha de base (Expedição 1/GUA1). Os níveis de Fe no fitoplâncton também foram maiores nos locais ao sul, durante a segunda campanha (sendo a diferença significativa em VIX, CA e FRD, Figura 207).

Figura 207: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para cádmio (a), manganês (b) e ferro (c) presentes nas amostras de fitoplâncton (fit). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os oito níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 8 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1), escolhida como “linha de base”. Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à linha de base, GUA1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.



A Tabela 80 e Tabela 81 resumam os resultados de concentração dos elementos Cromo (Cr), Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Arsênio (As) mensurados nas amostras de zooplâncton, coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 e campanha 2, respectivamente.

Tabela 80: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras (*pool*) de zooplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados foram expressos em média  $\pm$  erro padrão.

Zooplâncton - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)										
Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
GUA1	5	0,079 $\pm$	0,024 $\pm$	0,25 $\pm$	0,51 $\pm$	1,59 $\pm$	0,0006 $\pm$	0,83 $\pm$	0,082 $\pm$	34,44 $\pm$
		0,028	0,004	0,02	0,07	0,17	0,0001	0,15	0,019	3,29
GUA2	5	0,043 $\pm$	0,132 $\pm$	0,58 $\pm$	0,60 $\pm$	4,51 $\pm$	0,0017 $\pm$	3,65 $\pm$	1,151 $\pm$	41,60 $\pm$
		0,007	0,016	0,08	0,04	0,56	0,0003	0,49	0,138	4,68

Zooplâncton - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)

Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
VIX1	3	0,019 ±	0,047 ±	0,06 ±	0,18 ±	2,53 ±	0,0005 ±	0,36 ±	0,034 ±	27,10 ±
		0,003	0,009	0,01	0,02	0,20	0,0002	0,04	0,008	3,27
VIX2	5	0,140 ±	0,164 ±	0,75 ±	1,29 ±	149,72	0,0019 ±	6,43 ±	1,165 ±	20,39 ±
		0,080	0,079	0,27	0,59	± 54,34	0,0006	0,86	0,708	4,44
CA1	5	0,012 ±	0,024 ±	0,28 ±	2,14 ±	52,94 ±	0,0007 ±	1,11 ±	0,025 ±	3,03 ±
		0,006	0,005	0,14	0,85	8,35	0,0001	0,19	0,002	0,74
CA2	5	0,824 ±	0,036 ±	0,48 ±	0,30 ±	0,29 ±	0,0040 ±	14,32	0,017 ±	13,19 ±
		0,234	0,005	0,16	0,07	0,10	0,0014	± 3,73	0,006	4,82
CA3	5	0,305 ±	0,068 ±	2,06 ±	3,14 ±	34,33 ±	0,0021 ±	5,35 ±	0,896 ±	13,21 ±
		0,200	0,014	0,56	1,70	11,41	0,0008	2,80	0,578	5,58
CA4	5	0,059 ±	0,306 ±	0,78 ±	1,26 ±	65,17 ±	0,0004 ±	1,46 ±	0,843 ±	13,27 ±
		0,031	0,129	0,27	0,34	17,22	0,0001	0,30	0,383	5,77
CA5	5	0,179 ±	0,474 ±	1,25 ±	4,57 ±	189,61	0,0006 ±	63,54	10,040	51,07 ±
		0,022	0,069	0,15	2,14	± 31,95	0,0001	± 49,69	± 8,735	23,59
FRD1	5	0,010 ±	0,038 ±	0,45 ±	1,19 ±	46,38 ±	0,0006 ±	1,65 ±	0,023 ±	22,37 ±
		0,005	0,018	0,13	0,36	18,71	0,0001	0,38	0,014	14,73
FRD3	5	0,014 ±	0,052 ±	0,15 ±	0,42 ±	24,54 ±	0,0009 ±	4,55 ±	0,001 ±	1,75 ±
		0,006	0,025	0,07	0,11	10,02	0,0005	2,58	0,000	0,45
FRD6	5	0,183 ±	0,228 ±	0,57 ±	0,59 ±	152,47	0,0005 ±	2,39 ±	0,056 ±	8,13 ±
		0,113	0,095	0,24	0,26	± 48,92	0,0002	0,87	0,020	3,99
FRD8	5	0,019 ±	0,040 ±	0,19 ±	8,71 ±	28,05 ±	0,0006 ±	6,05 ±	0,003 ±	4,52 ±
		0,008	0,011	0,10	7,93	11,10	0,0002	3,38	0,001	1,49
FRD9	5	0,004 ±	0,030 ±	2,29 ±	1,07 ±	0,52 ±	0,0006 ±	1,57 ±	0,051 ±	2,97 ±
		0,000	0,006	0,17	0,22	0,15	0,0002	0,50	0,006	0,41
FRD10	5	0,008 ±	0,014 ±	0,37 ±	0,58 ±	12,47 ±	0,0003 ±	0,82 ±	0,346 ±	0,51 ±
		0,002	0,007	0,07	0,16	7,58	0,0001	0,18	0,224	0,31
DEG1	5	0,021 ±	0,002 ±	0,05 ±	1,44 ±	0,60 ±	0,0039 ±	0,54 ±	0,033 ±	0,80 ±
		0,002	0,002	0,01	0,35	0,38	0,0006	0,06	0,008	0,24
DEG2	5	0,426 ±	0,194 ±	0,28 ±	1,07 ±	15,25 ±	0,0045 ±	2,08 ±	0,050 ±	30,73 ±
		0,163	0,142	0,04	0,67	14,56	0,0013	0,66	0,024	7,38
BN1	5	0,169 ±	0,022 ±	2,92 ±	8,26 ±	10,89 ±	0,0158 ±	2,78 ±	0,305 ±	90,84 ±
		0,057	0,012	2,63	7,49	7,09	0,0147	1,03	0,291	31,33
BN2	5	0,372 ±	6,340 ±	0,60 ±	4,39 ±	22,57 ±	0,0041 ±	18,51	0,028 ±	379,42
		0,164	3,582	0,31	1,25	9,45	0,0015	± 7,08	0,016	± 216,55
ITA1	5	0,089 ±	0,318 ±	0,37 ±	0,46 ±	4,33 ±	0,0003 ±	1,90 ±	0,054 ±	36,69 ±
		0,013	0,072	0,18	0,31	2,27	0,0001	0,73	0,039	10,90
ITA2	3	0,221 ±	0,317 ±	1,54 ±	2,69 ±	6,45 ±	0,0005 ±	3,05 ±	0,368 ±	34,78 ±
		0,162	0,136	1,23	0,99	2,83	0,0002	1,65	0,128	13,25

**Zooplâncton - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)**

Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
ABR01	3	0,017 ±	0,047 ±	0,24 ±	0,29 ±	0,69 ±	0,0001 ±	1,14 ±	0,035 ±	5,53 ±
		0,015	0,037	0,02	0,03	0,34	0,0000	0,24	0,015	1,37
ABR02	5	0,036 ±	0,170 ±	0,03 ±	0,46 ±	29,87 ±	0,0011 ±	1,00 ±	0,027 ±	1,14 ±
		0,016	0,058	0,01	0,21	16,89	0,0004	0,27	0,014	0,20
ABR04	5	0,017 ±	0,124 ±	0,06 ±	0,30 ±	0,14 ±	0,0021 ±	0,71 ±	0,025 ±	0,35 ±
		0,007	0,056	0,03	0,06	0,05	0,0010	0,20	0,012	0,08
ABRC1	4	0,091 ±	0,023 ±	0,44 ±	0,11 ±	2,75 ±	0,0002 ±	0,53 ±	0,092 ±	14,96 ±
		0,028	0,006	0,05	0,07	0,65	0,0000	0,22	0,028	3,66

Tabela 81: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras (*pool*) de zooplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados foram expressos em média ± erro padrão.

**Zooplâncton - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
GUA1	5	0,012 ±	0,867 ±	0,09 ±	0,37 ±	77,42 ±	0,0004 ±	0,95 ±	0,0171 ±	13,97 ±
		0,005	0,100	0,03	0,14	15,17	0,0001	0,15	0,0072	2,62
GUA2	5	0,002 ±	1,317 ±	0,02 ±	0,06 ±	35,72 ±	0,0004 ±	1,55 ±	0,0012 ±	5,44 ±
		0,000	0,245	0,01	0,02	6,22	0,0001	0,32	0,0004	0,85
VIX1	5	0,002 ±	1,653 ±	0,20 ±	1,11 ±	47,36 ±	0,0005 ±	1,22 ±	0,0013 ±	12,68 ±
		0,000	0,355	0,03	0,18	8,21	0,0001	0,18	0,0005	1,70
VIX2	5	0,002 ±	0,916 ±	0,0002 ±	0,05 ±	51,70 ±	0,0003 ±	0,65 ±	0,0001 ±	10,08 ±
		0,001	0,105	0,0002	0,01	9,61	0,0001	0,07	0,0000	0,72
CA1	5	0,138 ±	1,416 ±	0,07 ±	0,11 ±	28,44 ±	0,0005 ±	1,38 ±	0,0004 ±	5,41 ±
		0,021	0,218	0,01	0,01	8,09	0,0001	0,21	0,0001	1,13
CA2	5	0,245 ±	1,920 ±	0,12 ±	0,52 ±	416,92 ±	0,0003 ±	2,45 ±	0,0007 ±	0,97 ±
		0,026	0,567	0,01	0,45	75,17	0,0000	0,26	0,0001	0,24
CA3	5	0,033 ±	0,015 ±	0,37 ±	7,28 ±	19,70 ±	0,0006 ±	2,99 ±	0,0001 ±	7,43 ±
		0,005	0,003	0,09	2,27	1,79	0,0000	0,34	0,0000	0,66
CA4	5	0,014 ±	3,161 ±	0,50 ±	0,43 ±	448,16 ±	0,0016 ±	13,40	0,0019 ±	174,44 ±
		0,003	0,731	0,10	0,08	110,43	0,0005	± 2,05	0,0009	20,58

Zooplâncton - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
CA5	5	0,005 ± 0,002	2,055 ± 0,131	0,28 ± 0,04	0,23 ± 0,04	274,28 ± 33,12	0,0005 ± 0,0001	4,75 ± 0,64	0,0007 ± 0,0001	37,23 ± 8,45
FRD1	5	1,353 ± 0,436	2,766 ± 0,747	1,38 ± 0,37	1,37 ± 0,39	401,92 ± 63,03	0,0002 ± 0,0000	5,24 ± 0,67	0,0010 ± 0,0004	14,38 ± 3,87
FRD3	5	0,042 ± 0,013	0,061 ± 0,014	0,03 ± 0,00	0,05 ± 0,01	236,16 ± 32,52	0,0004 ± 0,0000	2,64 ± 0,39	0,0731 ± 0,0195	4,77 ± 0,86
FRD6	5	0,004 ± 0,001	0,309 ± 0,042	0,02 ± 0,00	0,63 ± 0,18	210,26 ± 15,13	0,0003 ± 0,0000	2,82 ± 0,32	0,0004 ± 0,0001	3,43 ± 0,30
FRD8	5	0,025 ± 0,007	0,008 ± 0,003	0,34 ± 0,07	1,52 ± 0,61	166,62 ± 33,65	0,0005 ± 0,0000	2,03 ± 0,16	0,0002 ± 0,0000	3,40 ± 0,39
FRD9	5	0,025 ± 0,004	0,100 ± 0,018	0,06 ± 0,01	0,03 ± 0,01	70,42 ± 10,89	0,0004 ± 0,0001	2,00 ± 0,35	0,0129 ± 0,0021	0,82 ± 0,21
FRD10	5	0,017 ± 0,008	0,044 ± 0,012	0,07 ± 0,02	0,23 ± 0,14	236,24 ± 36,45	0,0006 ± 0,0001	2,88 ± 0,33	0,0526 ± 0,0203	2,48 ± 0,39
DEG1	5	0,277 ± 0,081	0,011 ± 0,003	3,29 ± 0,55	2,83 ± 2,27	7,52 ± 1,48	0,0012 ± 0,0003	1,98 ± 0,23	0,8449 ± 0,5914	9,03 ± 1,49
DEG2	5	0,006 ± 0,001	0,016 ± 0,005	0,06 ± 0,02	0,07 ± 0,05	16,12 ± 4,25	0,0002 ± 0,0000	1,33 ± 0,27	0,0425 ± 0,0144	5,29 ± 0,90
BN1	5	0,243 ± 0,078	0,012 ± 0,003	5,38 ± 0,57	0,18 ± 0,06	72,16 ± 8,55	0,0018 ± 0,0004	18,44 ± 8,55	1,2648 ± 0,3210	6,64 ± 1,14
BN2	5	0,159 ± 0,030	0,016 ± 0,002	4,12 ± 0,47	0,13 ± 0,03	20,56 ± 2,37	0,0006 ± 0,0002	0,67 ± 0,06	0,3478 ± 0,0296	0,77 ± 0,16
ITA1	5	0,029 ± 0,005	0,101 ± 0,020	0,10 ± 0,04	0,12 ± 0,07	1,22 ± 0,50	0,0002 ± 0,0000	0,55 ± 0,15	0,0218 ± 0,0169	11,53 ± 2,99
ITA2	5	0,019 ± 0,003	0,056 ± 0,009	0,07 ± 0,01	0,16 ± 0,03	16,08 ± 4,62	0,0017 ± 0,0006	1,67 ± 0,27	0,0097 ± 0,0016	3,20 ± 0,64

Zooplâncton - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
ABR01	5	0,021 ±	0,025 ±	0,19 ±	0,79	36,18 ±	0,0013 ±	4,43 ±	0,5148 ±	21,10 ±
		0,008	0,005	0,09	±	9,31	0,0002	1,50	0,2995	4,95
ABR02	5	0,021 ±	0,046 ±	0,08 ±	0,18	29,46 ±	0,0019 ±	2,60 ±	0,1195 ±	5,60 ±
		0,005	0,008	0,01	±	10,15	0,0005	0,49	0,0581	1,47
ABR04	5	0,018 ±	0,037 ±	0,07 ±	0,12	35,26 ±	0,0013 ±	1,86 ±	0,0074 ±	6,69 ±
		0,009	0,007	0,01	±	7,02	0,0002	0,07	0,0013	2,35
ABRC1	5	0,040 ±	0,009 ±	0,17 ±	0,06	0,86 ±	0,0001 ±	0,10 ±	0,0336 ±	4,76 ±
		0,008	0,002	0,03	±	0,27	0,0000	0,02	0,0076	1,68
					0,03					

A PERMANOVA realizada com os dados de concentração de metais nas amostras de zooplâncton coletado nas campanhas marinhas 1 e 2 (Tabela 82) mostra uma significativa interação entre o fator temporal e o fator espacial, evidenciando que, assim como o fitoplâncton, o padrão espacial de bioacumulação muda dependendo da sazonalidade.

Tabela 82: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal, Campanha, e do fator espacial, Localidade, na concentração de metais nas amostras de zooplâncton. Permutação de Monte Carlo (n=4999).

Efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) estão destacados em vermelho.

	Grau de liberdade	SQ	F	p
Campanha	1	45,59	6,06	<0,0001
Localidade	7	237,19	4,50	<0,0001
Campanha*Localidade	7	179,86	3,41	<0,0001
Resíduos	220	1698,42		
Total	235	2161,06		

A PCA realizada com os dados de concentração de metais no zooplâncton coletado ao longo das 25 estações amostrais e categorizados em 8 localidades (GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1; CA2; CA3; CA4 e CA5]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) e ABR (Abrolhos [ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1]), nas duas campanhas marinhas, resumiu 70,7% da variabilidade nos dois primeiros componentes (Figura 208; Tabela 83; Figura 209).

Figura 208: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn nas amostras de zooplâncton (z). Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise que foram coletados durante a campanha 1 (Exp1; símbolos cinzas) e a campanha 2 (Exp2; símbolos azuis), categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]);CA (Costa das Algas [CA1; CA2; CA3; CA4 e CA5]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) e ABR (Abrolhos [ABR01; ABR02; ABR04 e ABR01]).

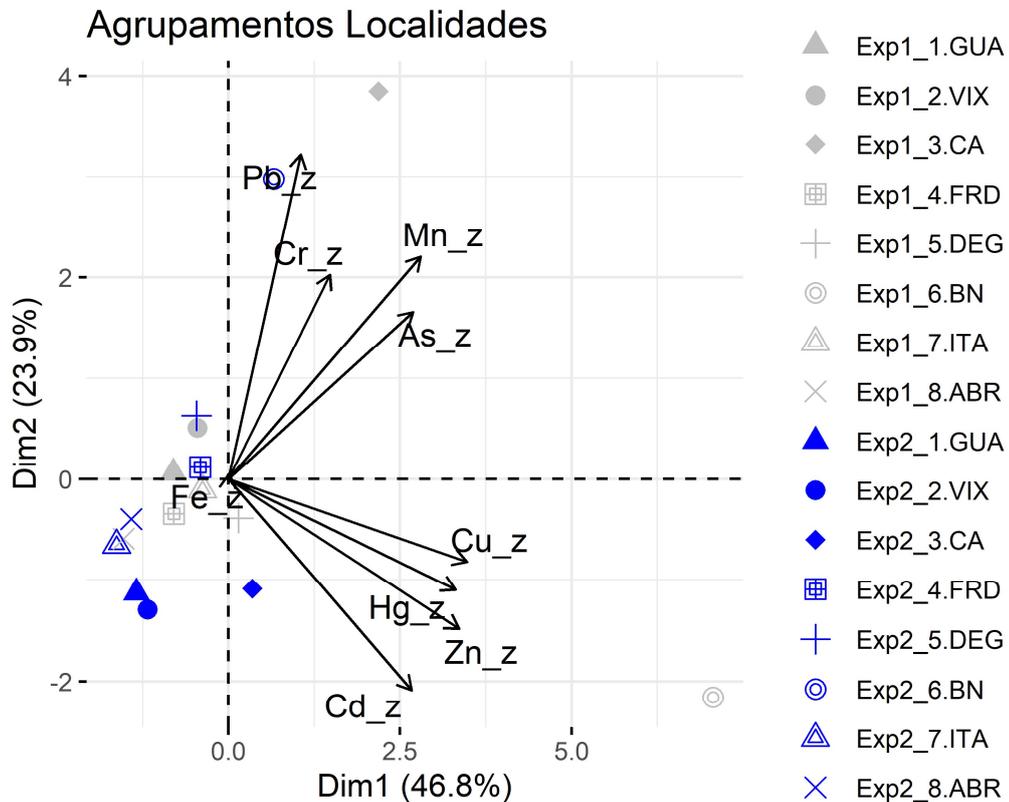
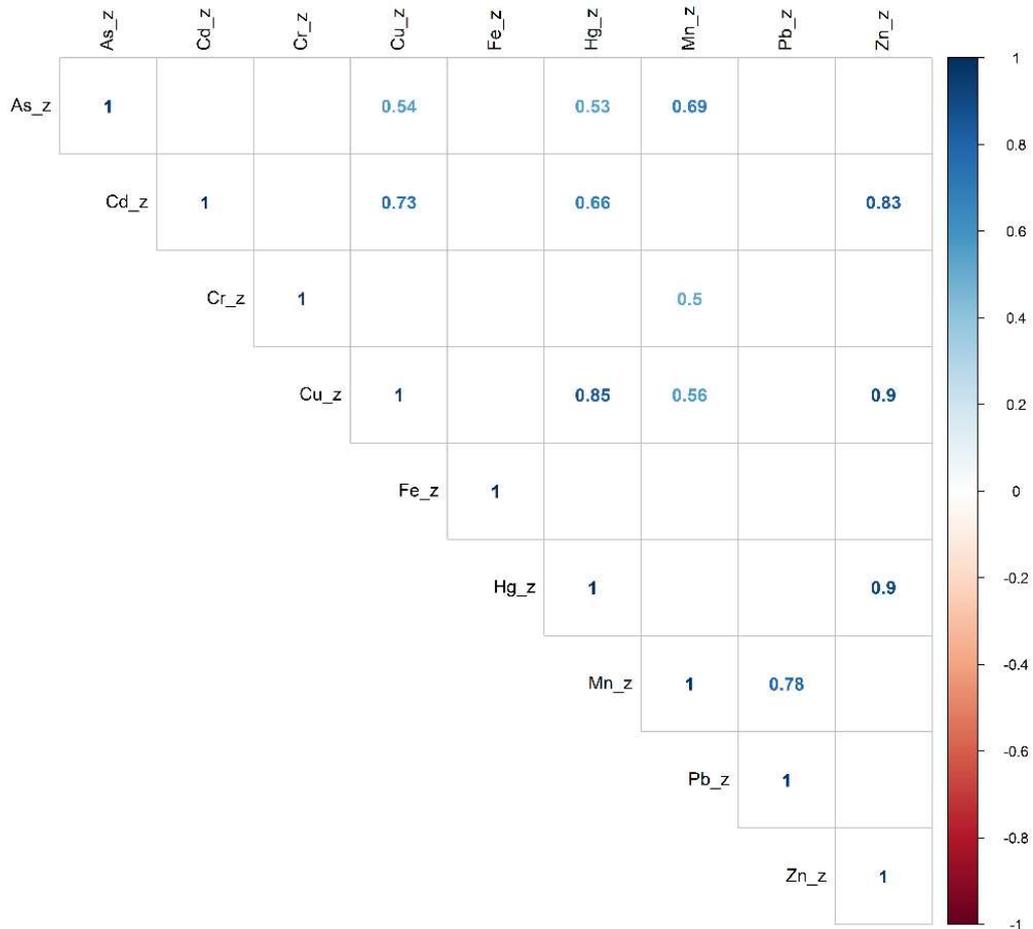


Tabela 83: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 208.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de variância</b>	<b>Percentual de variância acumulativa</b>
Dim.1	4,21	46,84	46,84
Dim.2	2,14	23,86	70,70
Dim.3	1,20	13,43	84,13
Dim.4	0,69	7,76	91,90
Dim.5	0,45	5,02	96,93
Dim.6	0,12	1,33	98,27
Dim.7	0,07	0,87	99,15
Dim.8	0,05	0,56	99,71
Dim.9	0,02	0,28	100

Figura 209: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais nas amostras de zooplâncton (z). Correlações positivas estão indicadas em azul. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas.



Todos os metais se agruparam no setor positivo do componente principal 1, sendo que os metais Cu, Zn, Hg e Mn foram as variáveis com mais contribuição para o PC1 (Figura 210), e os níveis de Pb e Mn as que mais contribuíram para o PC2 (Figura 212). Observa-se que as localidades Costa das Algas e Barra Nova se posicionaram também no setor positivo do componente principal, evidenciando o padrão geral de localidades com maiores níveis de metais. Os maiores níveis de acumulação de As, Cr, Mn e Pb no zooplâncton, de forma geral, ocorreram no mesmo setor onde a localidade de Costa das Algas, na primeira campanha (Figura 211), e a localidade Barra Nova, na segunda campanha, posicionou-se. Barra Nova, durante a segunda campanha, apresentou populações zooplânctônicas com maiores níveis de Cu, Cd, Hg e Zn, de forma geral (Figura 213).

Figura 210: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 208). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

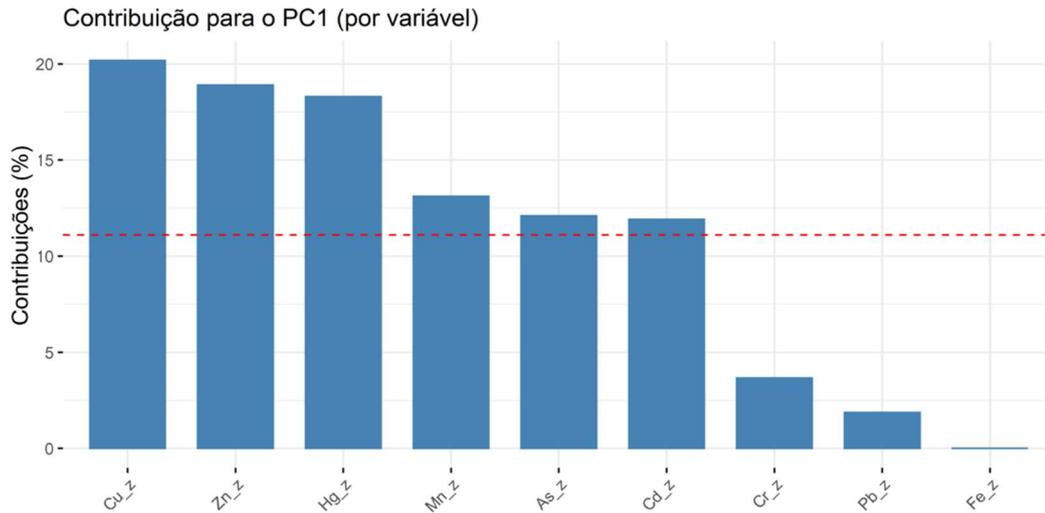


Figura 211: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 208). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/16 = 6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

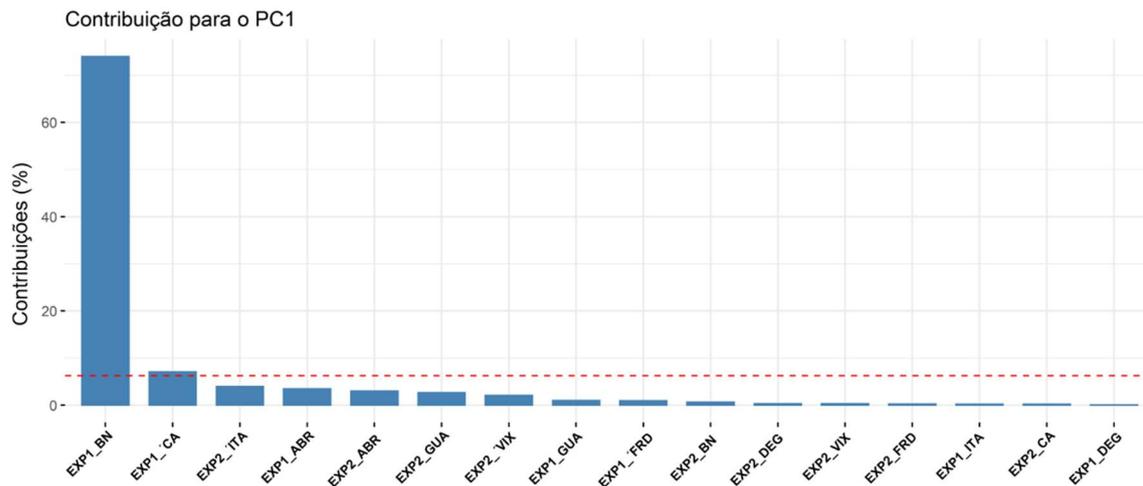


Figura 212: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 208). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

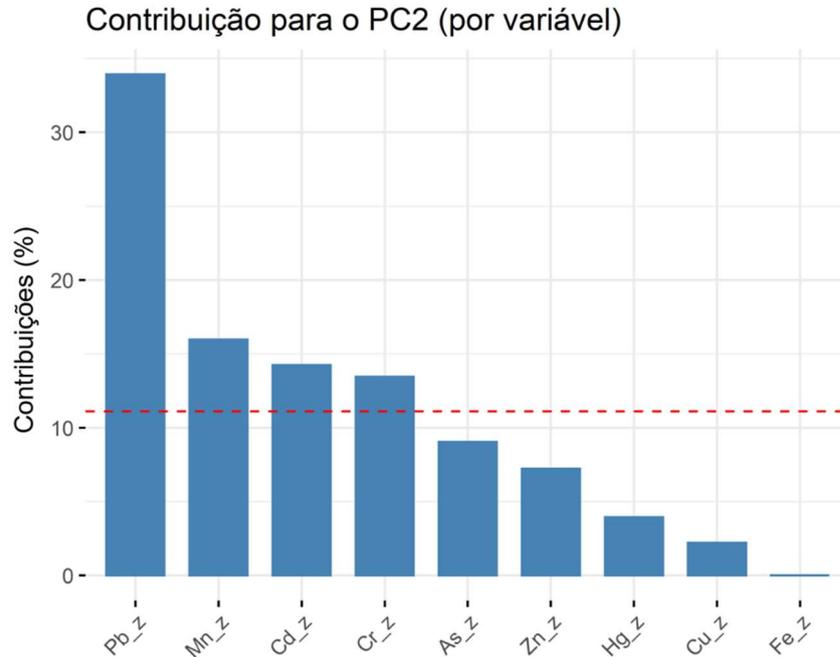
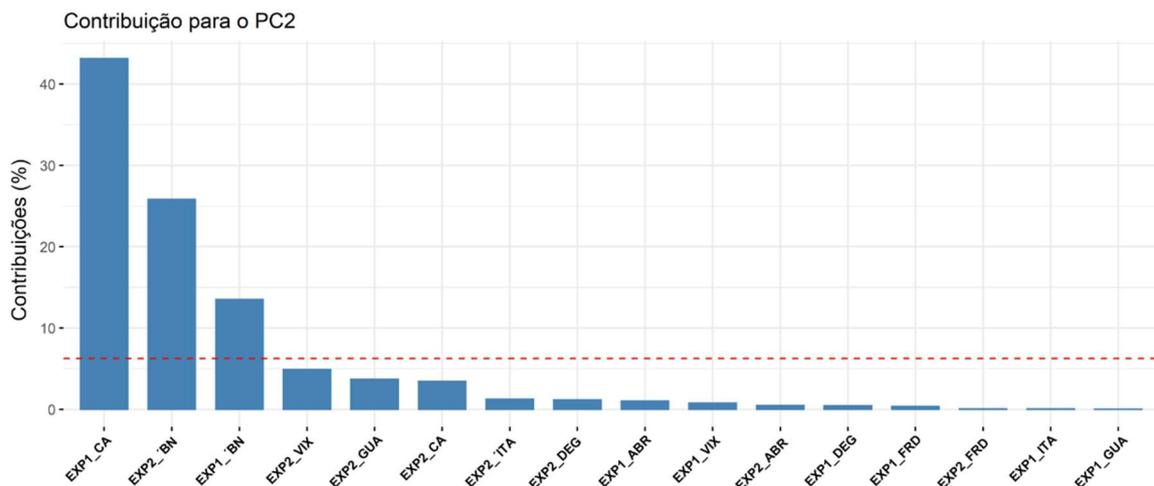


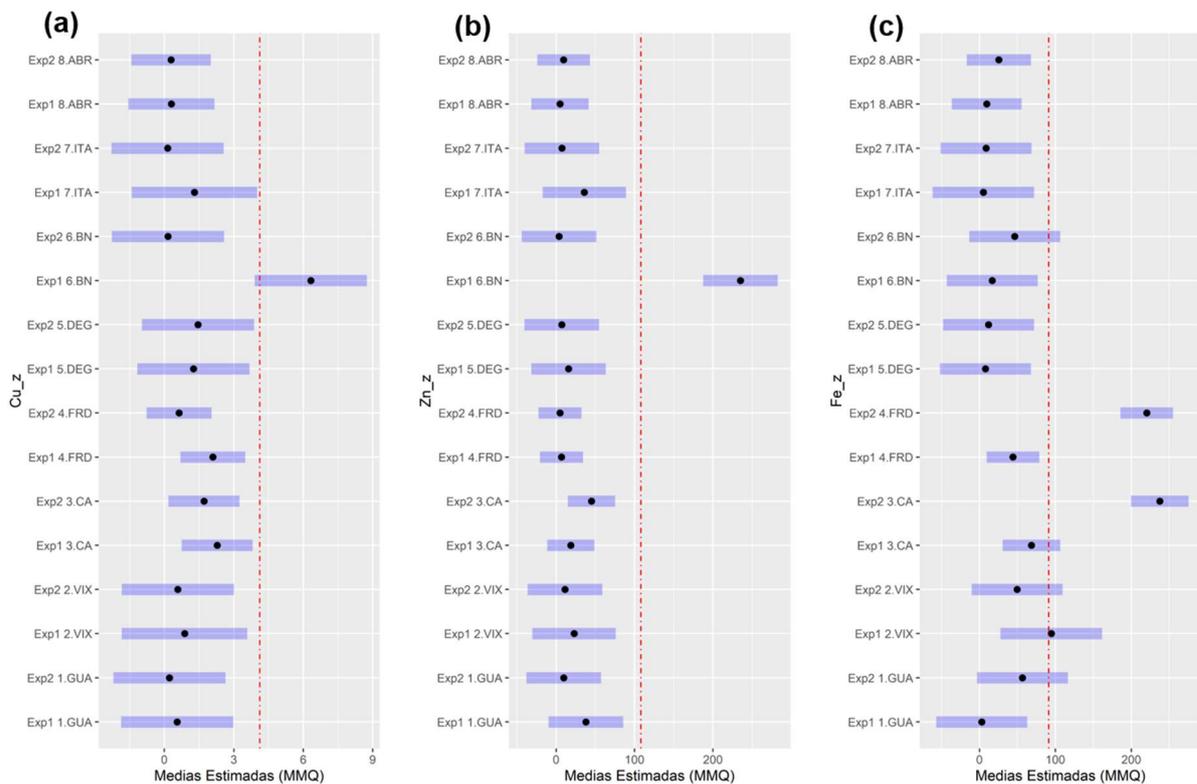
Figura 213: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 208). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos)} = 1/16 = 6\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo/fator* com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



As estações na localidade de Barra Nova apresentaram picos de contaminação por vários metais, com destaque para Cu, Zn e Hg. A análise univariada dos metais que mais se destacaram no componente principal 1 da PCA (Cu e Zn) corrobora o resultado encontrado pela análise multivariada, com valores

significativamente ( $p < 0.05$ ) altos de metais, ocorrendo no zooplâncton coletado em Barra Nova, durante a primeira campanha (Figura 214a-c), sendo que os níveis de metais em BN diminuem durante a campanha 2. O nível de Fe no zooplâncton, por outro lado, apresentou comportamento diferente dos demais metais, como é possível visualizar pela PCA (direção do vetor Fe\_z se difere de todos os demais metais) (Figura 208). Ao se avaliar o efeito espacial nos níveis de Fe no zooplâncton, através de uma análise univariada, encontra-se níveis significativamente maiores em amostras coletadas nas localidades CA e FRD durante a segunda campanha (Figura 214b).

Figura 214: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para cobre (a), zinco (b) e ferro (c) presentes nas amostras de zooplâncton (z). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os oito níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 8 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.

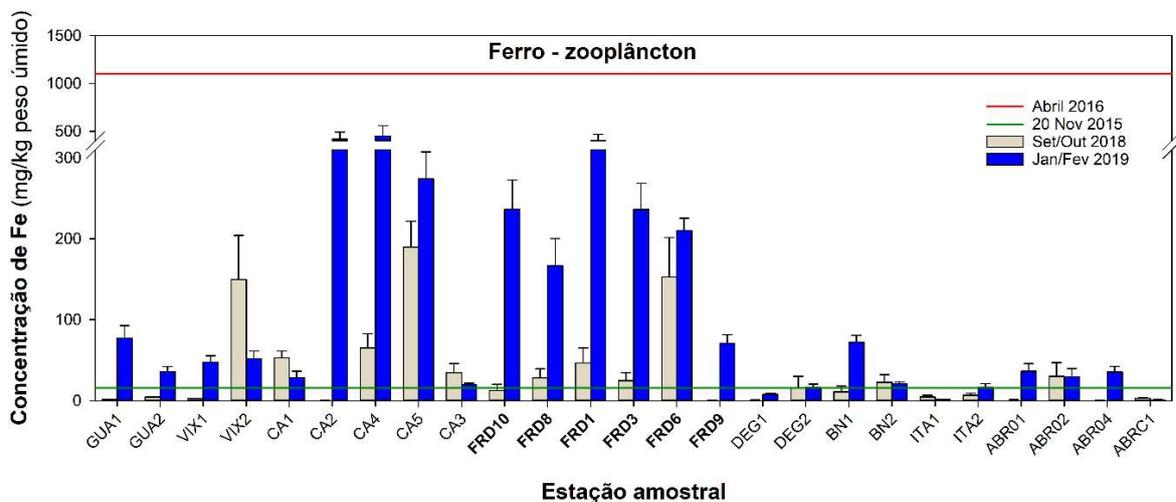


Sendo assim, no caso da concentração de metais em amostras de fitoplâncton e de zooplâncton, as análises estatísticas ressaltam a importância da sazonalidade (campanha 1-inverno; campanha 2-verão), que leva a diferentes padrões de bioacumulação de metais ao longo das estações amostrais.

Considerando os padrões espaciais, estações localizadas em CA e BN apresentam considerável contaminação por metais, sendo que o Fe demonstrou um padrão espacial relacionado à foz do Rio Doce, com maior bioacumulação no zooplâncton de FRD e CA. Além disso, ao compararmos a

concentração de Fe (considerando todas estações amostrais) no zooplâncton com dados de relatórios anteriores ao PMBA (Bianchini et al., 2016; Bianchini, 2019) observamos que, antes da chegada da lama na foz do Rio Doce (amostras de 20 de novembro de 2015), a média de ferro no zooplâncton amostrado na localidade da foz do Rio Doce era de  $15,55 \pm 4,1$  mg/kg (média  $\pm$  desvio padrão) de peso úmido. Após cerca de 4 meses da chegada da lama (Abril de 2016), os níveis de Fe no zooplâncton aumentaram atingindo concentrações de 1.100 mg/kg de peso úmido. Dados recentes (Março/Fevereiro 2018) evidenciaram que a concentração de Fe no zooplâncton havia diminuído a níveis inferiores a 100 mg/kg, em cerca de 840 dias após esse evento. Neste relatório, observamos que apesar de as concentrações de Fe no zooplâncton terem diminuído em comparação com os dados de Abril 2016, as estações próximas a Foz do Rio Doce (CA e FRD) permanecem com níveis consideráveis de contaminação por Fe no zooplâncton e estes níveis aumentaram na campanha 2 (Jan/Fev 2019), quando comparamos com a campanha 1 (Set/Out 2018) e com os dados de Nov/ 2015 (Figura 215).

Figura 215: Comparação entre a concentração de ferro (mg/kg peso úmido) nas amostras de zooplâncton coletados nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica a média geral de ferro nas amostras de zooplâncton coletadas após a chegada da lama (Abril 2016; Bianchini et al., 2016; Bianchini, 2019). Linha verde representa a média geral de ferro nas amostras coletadas antes da chegada da lama (20 de Novembro 2015) na localidade da foz do Rio Doce (Bianchini et al., 2016; Bianchini, 2019). Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce.



### 3.2.5.2 Concentração de metais em Camarões

Sempre que possível foram amostradas duas espécies de camarão, o camarão sete barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*) e o camarão rosa (*Farfantapeneus spp.*), discriminando os principais tecidos para análise (brânquia, hepatopâncreas e músculo). Em alguns pontos amostrais, na campanha 1 e 2, não foram coletados camarões no número previsto ( $n=6$  por espécie) ou não foram encontrados na estação amostral e/ou estação do ano estabelecida. Além disso, em muitos pontos amostrais, o tipo de substrato do fundo (exemplo, fundos calcáreos ou recifes), ou a profundidade (exemplo, locais com

profundidades >40m) não possibilitam o uso da arte de pesca, utilizada para captura de camarões. Sendo assim, não há camarões em todas estações amostrais.

A análise de concentração de metais nos camarões coletados pelo Anexo 1, no ambiente marinho, será realizada visualmente por meio de tabelas e/ou gráficos representando as médias e erro padrão das amostras coletadas em cada campanha e cada estação amostral. As análises estatísticas, no entanto, serão realizadas considerando como fator temporal cada expedição/campanha, e como fator espacial as 5 localidades onde foi possível fazer a amostragem de camarões (VIX; CA; FRD; DEG; e ITA). Dessa forma, a análise de padrões espaciais fica mais robusta (por considerar mais réplicas espaciais dentro de cada localidade), leva em consideração o fato de que a biota coletada não é estritamente sésil, podendo se locomover ou ser transportada por curtas distâncias dentro da área de cada localidade, e minimiza a ausência ou baixo número de camarões em algumas das estações amostrais.

A Tabela 84 e Tabela 85 sumariza os resultados de concentração dos elementos Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Hg e As mensurados nos camarões (média das 2 espécies amostradas) coletados durante a campanha 1 (Set/Out 2018) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019), respectivamente.

Tabela 84: Concentração dos elementos Cromo (Cr), Cádmiu (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Arsênio (As) mensurados nos tecidos (T) dos camarões (média das 2 espécies amostradas), brânquia (B), hepatopâncreas (H) e músculo (M) coletados nas estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados foram expressos em média  $\pm$  erro padrão.

Camarão - Campanha 1 (Setembro/Octubre 2018)										
Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
GUA2 (n=6)	B	0,20 $\pm$ 0,02	0,20 $\pm$ 0,02	0,46 $\pm$ 0,08	9,52 $\pm$ 2,25	31,56 $\pm$ 10,50	0,033 $\pm$ 0,011	1,76 $\pm$ 0,47	0,18 $\pm$ 0,06	57,19 $\pm$ 18,37
		*	*	*	*	*	*	*	*	*
	M	0,147 $\pm$ 0,024	0,097 $\pm$ 0,036	0,08 $\pm$ 0,01	1,77 $\pm$ 0,20	6,04 $\pm$ 1,35	0,0040 $\pm$ 0,0008	0,45 $\pm$ 0,04	0,040 $\pm$ 0,007	49,66 $\pm$ 10,60
VIX1 (n=8)	B	0,33 $\pm$ 0,08	0,07 $\pm$ 0,02	0,94 $\pm$ 0,47	4,10 $\pm$ 1,57	40,29 $\pm$ 10,53	0,015 $\pm$ 0,006	43,01 $\pm$ 11,25	1,13 $\pm$ 0,44	5,47 $\pm$ 1,56
		H	0,17 $\pm$ 0,05	0,02 $\pm$ 0,01	0,32 $\pm$ 0,07	4,50 $\pm$ 1,03	18,20 $\pm$ 6,72	0,004 $\pm$ 0,001	79,13 $\pm$ 19,15	0,60 $\pm$ 0,20
	M	0,390 $\pm$ 0,291	0,046 $\pm$ 0,037	2,65 $\pm$ 2,38	1,70 $\pm$ 0,43	7,19 $\pm$ 0,97	0,0035 $\pm$ 0,0020	54,61 $\pm$ 11,99	0,312 $\pm$ 0,113	1,49 $\pm$ 0,30
CA1 (n=5)	B	0,46 $\pm$ 0,17	0,24 $\pm$ 0,11	0,53 $\pm$ 0,05	32,09 $\pm$ 9,42	93,90 $\pm$ 23,91	0,006 $\pm$ 0,001	2,54 $\pm$ 0,80	0,21 $\pm$ 0,12	36,41 $\pm$ 13,09
		H	1,93 $\pm$ 0,78	0,55 $\pm$ 0,24	0,29 $\pm$ 0,11	200,31 $\pm$ 33,95	42,84 $\pm$ 10,11	0,008 $\pm$ 0,003	4,85 $\pm$ 1,96	0,36 $\pm$ 0,25
	M	0,071 $\pm$ 0,015	0,084 $\pm$ 0,015	1,96 $\pm$ 0,45	4,39 $\pm$ 0,85	6,71 $\pm$ 1,73	0,0075 $\pm$ 0,0012	0,63 $\pm$ 0,07	0,003 $\pm$ 0,001	10,13 $\pm$ 0,42

**Camarão - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)**

Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
CA2 (n=6)	B	11,89 ± 9,46	0,03 ± 0,01	8,36 ± 1,50	44,79 ± 6,99	16,94 ± 3,55	0,017 ± 0,004	3,42 ± 0,65	0,24 ± 0,12	12,28 ± 0,81
	H	3,88 ± 2,39	6,49 ± 0,94	3,07 ± 0,48	133,36 ± 29,61	31,15 ± 6,06	0,019 ± 0,012	3,71 ± 0,48	0,03 ± 0,01	55,42 ± 8,43
	M	1,966 ± 1,024	0,038 ± 0,011	1,79 ± 0,42	7,22 ± 0,92	2,85 ± 0,86	0,0047 ± 0,0010	0,57 ± 0,06	0,048 ± 0,022	10,52 ± 0,91
FRD1 (n=5)	B	0,04 ± 0,01	0,26 ± 0,07	9,24 ± 5,91	30,70 ± 10,28	100,15 ± 31,29	0,006 ± 0,002	6,52 ± 1,84	0,19 ± 0,08	19,35 ± 3,45
	H	0,03 ± 0,01	0,37 ± 0,19	3,07 ± 1,38	74,57 ± 31,94	55,37 ± 22,35	0,009 ± 0,004	3,46 ± 1,10	0,11 ± 0,02	64,37 ± 33,09
	M	0,247 ± 0,084	0,017 ± 0,002	1,86 ± 0,38	3,24 ± 0,60	8,10 ± 2,05	0,0098 ± 0,0031	0,69 ± 0,07	0,008 ± 0,002	8,83 ± 0,78
FRD3 (n=9)	B	0,27 ± 0,07	3,10 ± 0,96	0,85 ± 0,40	21,86 ± 5,98	43,75 ± 18,93	0,015 ± 0,006	5,98 ± 1,70	0,11 ± 0,08	43,61 ± 16,15
	H	0,17 ± 0,04	2,98 ± 0,70	0,20 ± 0,08	211,86 ± 107,25	37,85 ± 5,69	0,010 ± 0,003	4,68 ± 0,89	0,11 ± 0,04	64,09 ± 24,95
	M	0,526 ± 0,141	0,175 ± 0,024	0,90 ± 0,23	5,40 ± 0,94	10,15 ± 4,32	0,0050 ± 0,0012	1,00 ± 0,23	0,022 ± 0,003	12,55 ± 2,25
FRD6 (n=12)	B	0,10 ± 0,02	11,29 ± 5,19	2,26 ± 0,71	21,84 ± 8,75	559,63 ± 234,00	0,009 ± 0,003	2,18 ± 0,42	0,18 ± 0,05	214,83 ± 55,67
	H	0,06 ± 0,01	4,16 ± 2,24	1,10 ± 0,51	34,76 ± 23,26	713,84 ± 422,37	0,005 ± 0,001	1,44 ± 0,33	0,07 ± 0,03	98,58 ± 27,11
	M	0,123 ± 0,026	0,021 ± 0,003	2,15 ± 0,24	4,10 ± 0,37	4,83 ± 1,13	0,0119 ± 0,0020	0,46 ± 0,06	0,017 ± 0,003	9,30 ± 0,56
FRD9 (n=7)	B	5,13 ± 1,56	*	28,01 ± 13,43	46,18 ± 4,36	35,81 ± 12,07	0,044 ± 0,020	8,43 ± 3,37	0,17 ± 0,08	16,78 ± 3,08
	H	8,74 ± 2,77	0,88 ± 0,34	9,01 ± 4,18	166,37 ± 22,61	63,36 ± 35,64	0,020 ± 0,011	13,19 ± 7,46	0,23 ± 0,20	32,28 ± 6,63
	M	0,290 ± 0,052	0,002 ± 0,000	1,12 ± 0,30	3,07 ± 0,16	6,77 ± 1,75	0,0022 ± 0,0006	0,64 ± 0,09	0,007 ± 0,002	9,29 ± 0,72
FRD10 (n=9)	B	0,70 ± 0,42	2,72 ± 1,38	5,62 ± 3,61	18,41 ± 4,64	35,40 ± 7,88	0,004 ± 0,001	9,84 ± 2,42	3,93 ± 3,49	28,86 ± 19,51
	H	0,31 ± 0,20	3,92 ± 0,52	5,03 ± 2,37	59,71 ± 30,13	27,55 ± 3,05	0,002 ± 0,001	5,50 ± 0,96	0,43 ± 0,19	11,79 ± 11,31

**Camarão - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)**

Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
	M	0,620 ± 0,096	0,034 ± 0,012	1,24 ± 0,29	4,28 ± 0,26	6,05 ± 1,71	0,0009 ± 0,0001	0,86 ± 0,06	0,014 ± 0,003	11,24 ± 0,34
		B	0,88 ± 0,29	2,40 ± 0,66	1,52 ± 0,66	21,17 ± 4,65	71,29 ± 21,07	0,023 ± 0,006	7,17 ± 1,78	0,30 ± 0,07
DEG1 (n=7)	H	1,56 ± 1,18	1,47 ± 0,55	2,13 ± 1,84	308,91 ± 95,59	43,68 ± 5,09	0,013 ± 0,002	3,14 ± 0,33	0,41 ± 0,33	18,03 ± 5,06
	M	0,136 ± 0,049	0,610 ± 0,115	0,10 ± 0,03	2,67 ± 0,18	4,28 ± 0,60	0,0037 ± 0,0009	0,75 ± 0,06	0,128 ± 0,044	6,19 ± 1,97
	B	0,18 ± 0,11	1,87 ± 0,53	13,79 ± 7,46	26,56 ± 14,17	17,60 ± 1,81	0,003 ± 0,001	6,13 ± 1,00	0,09 ± 0,03	235,15 ± 33,32
ITA1 (n=7)	H	0,17 ± 0,08	1,92 ± 0,63	9,83 ± 5,17	134,35 ± 47,76	57,47 ± 19,98	0,003 ± 0,001	5,70 ± 1,32	0,06 ± 0,01	261,59 ± 58,11
	M	0,004 ± 0,001	0,969 ± 0,223	0,48 ± 0,13	1,10 ± 0,17	3,46 ± 0,60	0,0004 ± 0,0001	2,06 ± 0,45	0,013 ± 0,004	22,97 ± 6,43
	B	0,18 ± 0,11	1,87 ± 0,53	13,79 ± 7,46	26,56 ± 14,17	17,60 ± 1,81	0,003 ± 0,001	6,13 ± 1,00	0,09 ± 0,03	235,15 ± 33,32

(\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

Tabela 85: Concentração dos elementos Cromo (Cr), Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Arsênio (As) mensurados nos tecidos (T) dos camarões (média das 2 espécies amostradas), brânquia (B), hepatopâncreas (H) e músculo (M) coletados nas estações amostrais durante a Campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados foram expressos em média ± erro padrão.

**Camarão - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
VIX1 (n=12)	B	0,014 ± 0,004	5,83 ± 0,71	0,88 ± 0,11	0,73 ± 0,09	20,34 ± 4,69	0,0008 ± 0,0001	2,73 ± 0,33	0,009 ± 0,005	22,56 ± 3,59
	H	0,005 ± 0,001	6,21 ± 1,10	0,93 ± 0,16	0,79 ± 0,13	47,84 ± 7,05	0,0006 ± 0,0001	3,60 ± 0,45	0,0037 ± 0,0008	42,47 ± 5,48
	M	0,004 ± 0,001	1,37 ± 0,11	0,205 ± 0,017	0,17 ± 0,01	3,25 ± 0,64	0,0002 ± 0,0000	0,79 ± 0,06	0,0007 ± 0,0001	13,01 ± 1,56
VIX2 (n=5)	B	0,002 ± 0,001	2,34 ± 0,48	0,002 ± 0,001	5,99 ± 0,99	42,63 ± 6,77	0,0025 ± 0,0004	2,10 ± 0,39	0,001 ± 0,001	20,90 ± 1,90
	H	0,001 ± 0,000	15,79 ± 3,76	0,002 ± 0,000	41,39 ± 7,97	41,45 ± 11,69	0,0307 ± 0,0050	2,82 ± 0,31	0,0010 ± 0,0002	82,61 ± 5,10
	M	0,001 ± 0,000	0,90 ± 0,13	0,001 ± 0,000	1,91 ± 0,37	12,20 ± 2,15	0,0003 ± 0,0000	0,63 ± 0,07	0,0016 ± 0,0003	21,80 ± 1,53
CA1 (n=11)	B	0,209 ± 0,058	3,31 ± 0,45	0,12 ± 0,01	27,45 ± 6,80	23,06 ± 2,29	0,0019 ± 0,0002	2,53 ± 0,28	0,088 ± 0,046	17,71 ± 3,33

**Camarão - Campanha 2 (Janeiro/Febrero 2019)**

Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
	H	0,146 ± 0,040	7,14 ± 1,06	0,17 ± 0,04	57,64 ± 8,14	121,97 ± 21,35	0,0250 ± 0,0035	2,78 ± 0,22	0,0195 ± 0,0093	146,59 ± 17,54
		0,035 ± 0,009	1,14 ± 0,13	0,060 ± 0,013	8,48 ± 2,60	5,07 ± 0,60	0,0027 ± 0,0005	0,75 ± 0,08	0,0009 ± 0,0003	15,78 ± 1,78
CA2 (n=5)	B	0,020 ± 0,005	0,06 ± 0,01	0,11 ± 0,04	32,81 ± 6,42	13,60 ± 3,72	0,0025 ± 0,0012	2,13 ± 0,32	0,002 ± 0,002	3,64 ± 0,87
	H	0,004 ± 0,001	0,40 ± 0,05	0,05 ± 0,01	32,94 ± 16,89	69,78 ± 8,81	0,0317 ± 0,0029	2,84 ± 0,30	0,0014 ± 0,0006	28,23 ± 5,49
	M	0,002 ± 0,000	0,01 ± 0,00	0,038 ± 0,011	6,97 ± 1,31	3,10 ± 2,01	0,0064 ± 0,0007	0,73 ± 0,11	0,0036 ± 0,0010	5,03 ± 0,12
FRD1 (n=6)	B	0,005 ± 0,002	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	27,35 ± 4,10	58,12 ± 12,45	0,0020 ± 0,0012	3,67 ± 0,39	0,011 ± 0,006	14,01 ± 3,75
	H	0,006 ± 0,001	0,09 ± 0,03	0,05 ± 0,01	49,31 ± 10,68	287,53 ± 102,77	0,0008 ± 0,0001	9,57 ± 2,43	0,0005 ± 0,0001	24,30 ± 2,39
	M	0,001 ± 0,000	0,01 ± 0,00	0,007 ± 0,001	3,37 ± 0,31	77,72 ± 19,20	0,0002 ± 0,0000	1,19 ± 0,21	0,0002 ± 0,0000	9,75 ± 1,94
FRD6 (n=9)	B	0,056 ± 0,005	0,07 ± 0,01	0,03 ± 0,00	0,05 ± 0,01	57,09 ± 6,91	0,0009 ± 0,0001	2,78 ± 0,23	0,082 ± 0,014	10,73 ± 1,57
	H	0,076 ± 0,031	0,10 ± 0,04	0,04 ± 0,02	0,07 ± 0,03	169,45 ± 80,58	0,0059 ± 0,0021	2,23 ± 0,28	0,1140 ± 0,0534	40,05 ± 4,21
	M	0,013 ± 0,001	0,02 ± 0,00	0,008 ± 0,001	0,01 ± 0,00	15,57 ± 2,19	0,0047 ± 0,0029	0,64 ± 0,06	0,0687 ± 0,0474	8,49 ± 1,51
FRD8 (n=6)	B	0,630 ± 0,064	3,64 ± 2,04	1,82 ± 1,02	1,23 ± 0,51	22,29 ± 6,79	0,0006 ± 0,0001	6,64 ± 4,08	0,008 ± 0,003	3,80 ± 1,05
	H	2,495 ± 0,450	3,26 ± 0,90	1,63 ± 0,46	2,06 ± 0,40	227,34 ± 126,49	0,0026 ± 0,0005	4,03 ± 1,60	0,0059 ± 0,0040	16,70 ± 5,35
	M	0,976 ± 0,255	0,92 ± 0,17	0,462 ± 0,085	0,72 ± 0,17	25,70 ± 10,12	0,0007 ± 0,0001	0,86 ± 0,11	0,0021 ± 0,0010	4,58 ± 0,94
FRD9 (n=7)	B	0,051 ± 0,007	0,22 ± 0,03	0,11 ± 0,02	0,03 ± 0,00	425,62 ± 82,59	0,0009 ± 0,0002	4,05 ± 0,55	0,026 ± 0,003	3,27 ± 1,00
	H	0,047 ± 0,004	0,20 ± 0,02	0,10 ± 0,01	0,02 ± 0,00	409,78 ± 120,79	0,0007 ± 0,0001	3,70 ± 0,34	0,0233 ± 0,0021	2,73 ± 0,70
	M	0,012 ± 0,001	0,05 ± 0,00	0,026 ± 0,002	0,01 ± 0,00	238,72 ± 72,47	0,0002 ± 0,0000	0,94 ± 0,09	0,0059 ± 0,0005	2,12 ± 0,92
FRD10 (n=6)	B	0,612 ± 0,465	0,48 ± 0,11	0,41 ± 0,16	0,78 ± 0,50	317,14 ± 76,32	0,0024 ± 0,0004	10,49 ± 2,31	0,093 ± 0,036	21,10 ± 5,51
	H	0,124 ± 0,055	0,25 ± 0,03	0,24 ± 0,09	0,60 ± 0,33	275,79 ± 127,76	0,0021 ± 0,0011	7,85 ± 2,75	0,0257 ± 0,0039	17,08 ± 4,46
	M	0,020 ± 0,006	0,06 ± 0,01	0,079 ± 0,039	0,46 ± 0,30	24,12 ± 6,84	0,0004 ± 0,0001	1,36 ± 0,19	0,0066 ± 0,0009	2,86 ± 0,34

**Camarão - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

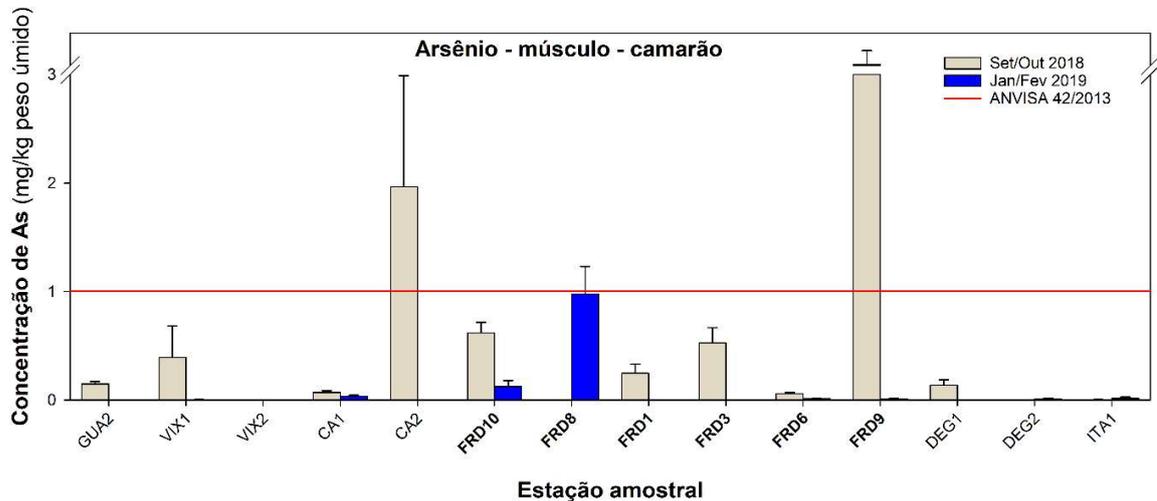
Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
DEG1 (n=6)	B	0,804 ± 0,294	0,16 ± 0,02	1,61 ± 0,70	34,57 ± 3,04	37,91 ± 10,92	0,0105 ± 0,0009	4,59 ± 0,76	0,051 ± 0,020	19,66 ± 7,12
	H	0,116 ± 0,019	0,06 ± 0,03	0,73 ± 0,13	94,79 ± 6,33	17,86 ± 3,29	0,0368 ± 0,0060	3,91 ± 0,38	0,0626 ± 0,0500	27,26 ± 5,69
	M	*	*	*	*	*	*	*	*	*
DEG2 (n=6)	B	0,106 ± 0,043	0,11 ± 0,02	0,14 ± 0,05	5,78 ± 0,88	15,33 ± 6,12	0,0007 ± 0,0001	2,84 ± 0,42	0,015 ± 0,006	7,78 ± 2,39
	H	0,006 ± 0,002	0,38 ± 0,14	0,08 ± 0,03	32,90 ± 8,15	4,96 ± 0,82	0,0003 ± 0,0000	1,52 ± 0,24	0,0054 ± 0,0015	24,79 ± 4,14
	M	0,010 ± 0,007	0,02 ± 0,00	0,141 ± 0,097	5,80 ± 2,86	1,43 ± 0,34	0,0032 ± 0,0031	0,66 ± 0,11	0,0057 ± 0,0021	14,59 ± 1,87
ITA1 (n=10)	B	0,075 ± 0,032	0,14 ± 0,02	0,13 ± 0,03	18,31 ± 3,08	44,89 ± 7,53	0,0056 ± 0,0014	3,86 ± 0,63	0,031 ± 0,007	9,62 ± 1,50
	H	0,010 ± 0,003	0,08 ± 0,02	0,08 ± 0,02	36,38 ± 9,06	28,60 ± 6,26	0,0183 ± 0,0093	2,70 ± 0,40	0,0167 ± 0,0054	34,74 ± 5,56
	M	0,014 ± 0,010	0,03 ± 0,00	0,125 ± 0,074	2,20 ± 0,39	16,28 ± 6,81	0,0024 ± 0,0005	0,91 ± 0,18	0,0042 ± 0,0009	7,59 ± 0,68

(\*) não há amostra ou não foi possível calcular.

A concentração dos elementos As, Pb, Cd e Hg nos camarões (brânquia, hepatopâncreas e músculo) conforme descritos nas tabelas acima, foram confrontadas com os limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos estabelecidos pela Resolução - RDC Nº 42, de 29 de Agosto de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Em resumo, podemos observar que:

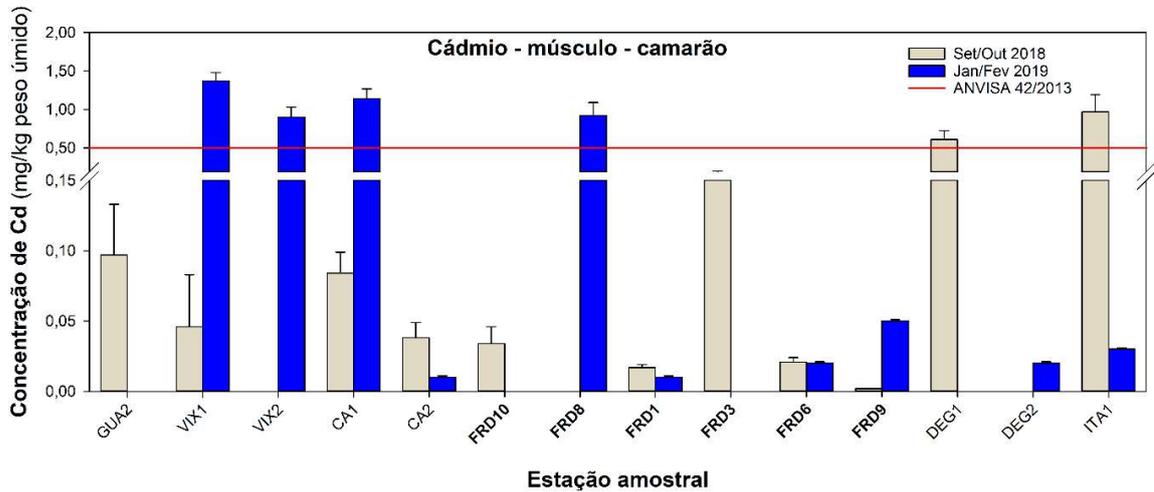
- A concentração de As no músculo dos camarões foi maior nas estações amostrais CA2 (1,96 ± 1,02) e FRD9 (0,29 ± 0,05) durante a campanha 1. Mas durante a campanha 2, as concentrações de As não ultrapassaram o limite máximo permitido pela legislação (Figura 216).

Figura 216: Concentração de arsênio (mg/kg peso úmido) nas amostras de músculo de camarão coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de arsênio (1,00 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução - RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013 da agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA 42/2013). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce.



- A concentração de Cd no músculo de camarões ultrapassou os limites permitidos pela ANVISA 42/2013 na campanha 1 nas estações amostrais DEG1 ( $0,61 \pm 0,11$ ) e ITA1 ( $0,96 \pm 0,22$ ). Já na campanha 2, as estações amostrais VIX1 ( $1,37 \pm 0,11$ ), VIX2 ( $0,90 \pm 0,13$ ), CA1 ( $1,14 \pm 0,13$ ) e FRD8 ( $0,92 \pm 0,17$ ) apresentaram camarões com níveis de Cd acima do permitido pela legislação vigente (Figura 217).

Figura 217: Concentração de cádmio (mg/kg peso úmido) nas amostras de músculo de camarão coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de cádmio (0,50 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução - RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013 da agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA 42/2013). Os resultados estão expressos em média ± erro padrão. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce.



- A concentração de Hg (Figura 218) e Pb (Figura 219) no músculo dos camarões não ultrapassou o limite máximo estabelecido na legislação vigente.

Figura 218: Concentração de mercúrio (mg/kg peso úmido) nas amostras de músculo de camarão coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de mercúrio (0,50 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução - RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013 da agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA 42/2013). Os resultados estão expressos em média ± erro padrão. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce.

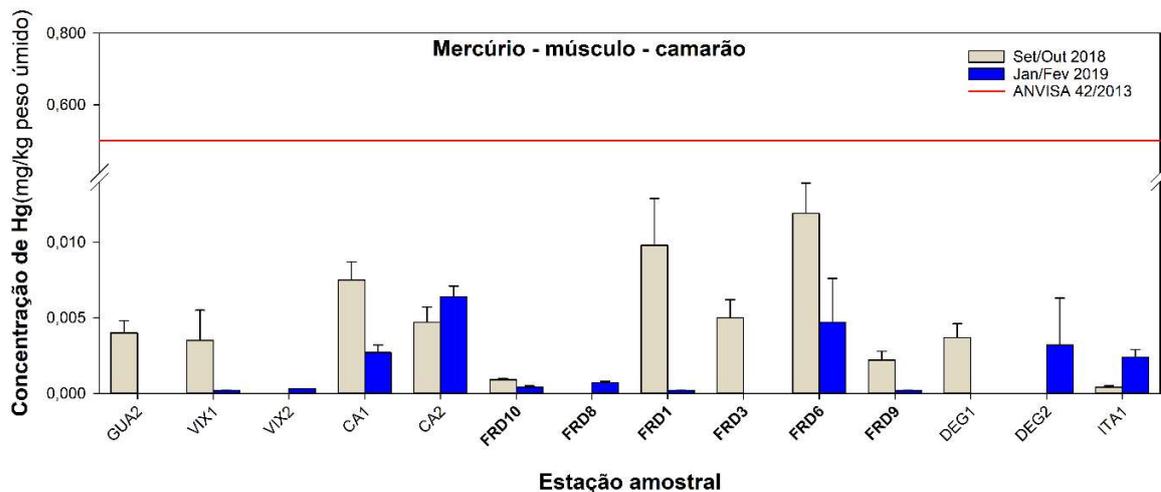
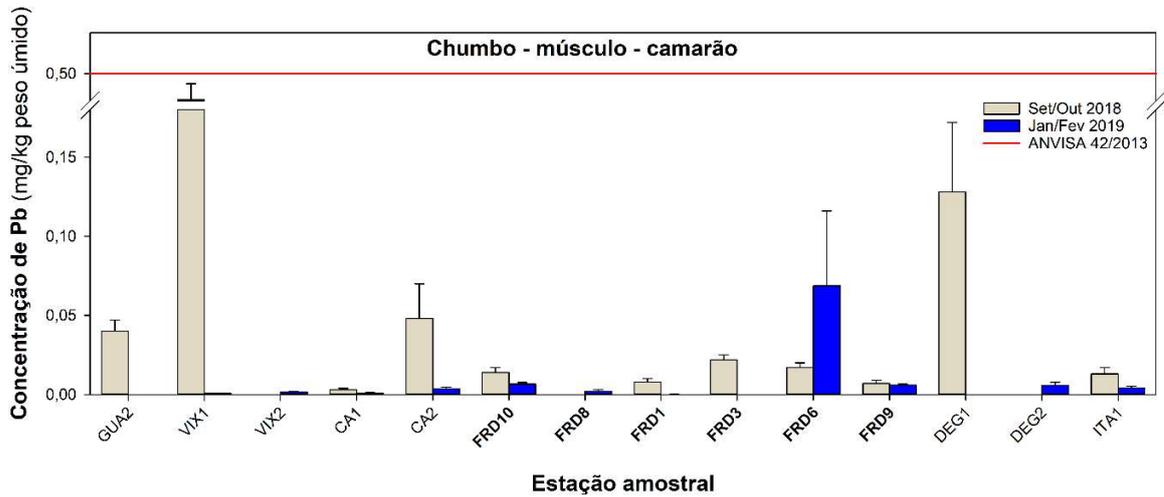
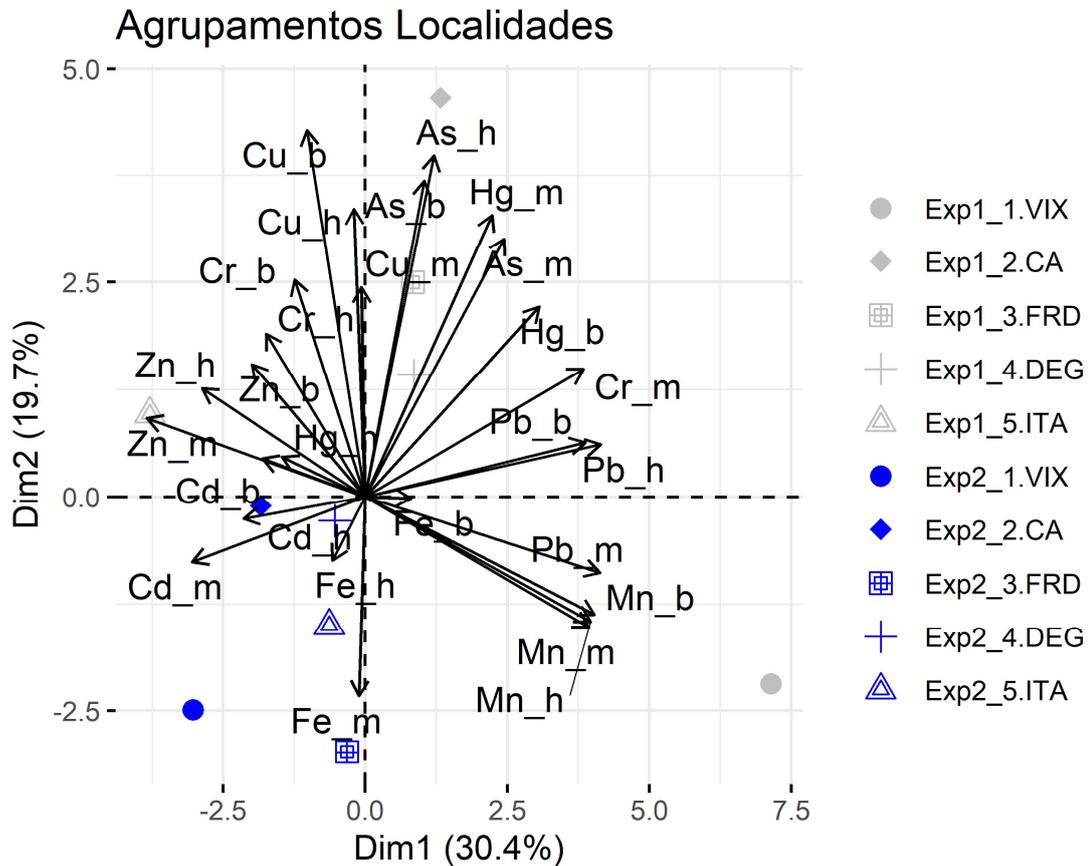


Figura 219: Concentração de chumbo (mg/kg peso úmido) nas amostras de músculo de camarão coletadas nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de chumbo (0,50 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução - RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013 da agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA 42/2013). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce.



A PCA realizada com os dados de metais nos tecidos de camarões coletados ao longo de 11 estações amostrais (que variam por campanha) e categorizados em 5 localidades (VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1; CA2]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1, FRD3, FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); e ITA (Itaúnas [ITA1]), nas campanhas marinhas 1 e 2, resumiu 50,08% da variabilidade nos dois primeiros componentes (Figura 220; Tabela 86; Figura 221).

Figura 220: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn nas amostras de camarão (brânquia [b], hepatopâncreas [h] e músculo [m]). Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise que foram coletados durante a campanha 1 (Exp1; símbolos cinzas) e a campanha 2 (Exp2; símbolos azuis), categorizados por localidade GUA (VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1 e CA2]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); ITA (Itaúnas [ITA1]).



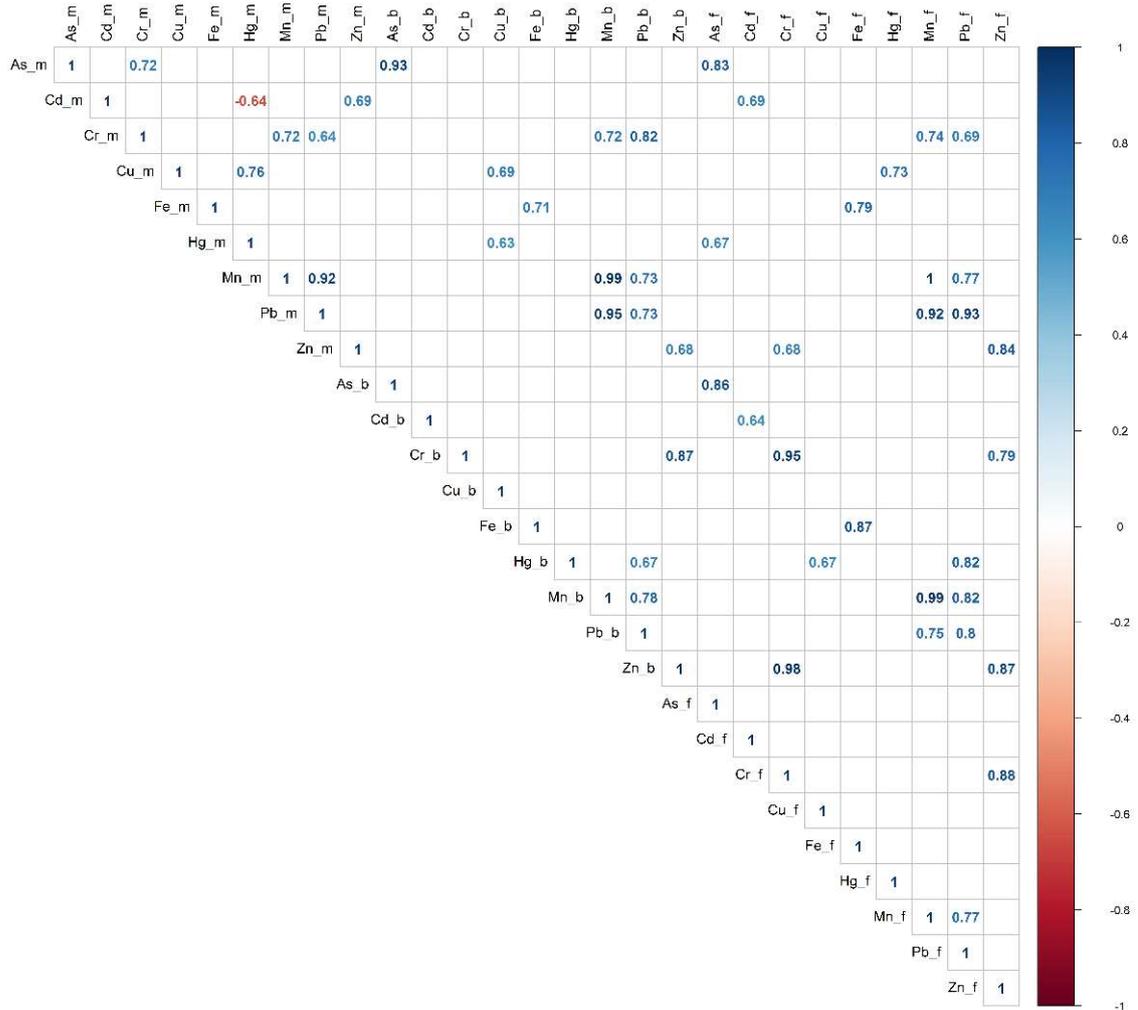
A maioria dos metais se agrupou no setor positivo do componente principal 1 (PC1, 30.4% de variabilidade), onde também se agruparam os pontos relacionados à campanha 1/inverno. A análise visual da PCA (proximidade entre os agrupamentos dos metais e os agrupamentos de *indivíduos*/fatores que representam a campanha 1, em símbolos cinza) sugere que esses metais apresentaram seus maiores níveis em camarões coletados durante a campanha 1.

Tabela 86: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 220.

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.1	8,19	30,36	30,36
Dim.2	5,32	19,71	50,08
Dim.3	4,74	17,57	67,65
Dim.4	3,4	12,65	80,30
Dim.5	1,97	7,30	87,61
Dim.6	1,58	5,85	93,46
Dim.7	1,23	4,55	98,02

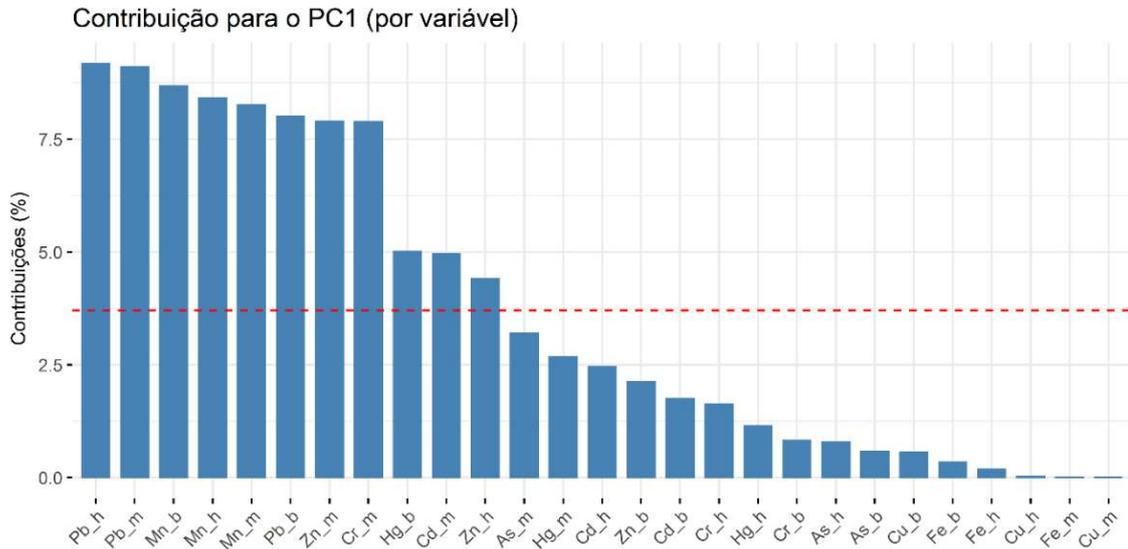
	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.8	0,43	1,60	99,62
Dim.9	0,10	0,37	100

Figura 221: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais nos camarões (brânquias [b], hepatopâncreas [h] e músculo [m]). Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas.



O Pb e o Mn, em todos os tecidos, assim como os níveis de Zn e Cr no músculo de camarões foram as variáveis que mais contribuíram para o componente principal 1 (Figura 222).

Figura 222: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 220). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



Esses metais que dirigiram a variabilidade explicada pelo PC1, agruparam-se no setor sudeste, onde o local VIX, durante a campanha 1, se destaca (Figura 223). A análise univariada desses metais corrobora esse padrão, uma vez que a concentração de Mn de Pb no hepatopâncreas de camarões é drasticamente maior em VIX, durante a primeira campanha (Figura 224).

Figura 223: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/10 = 10\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

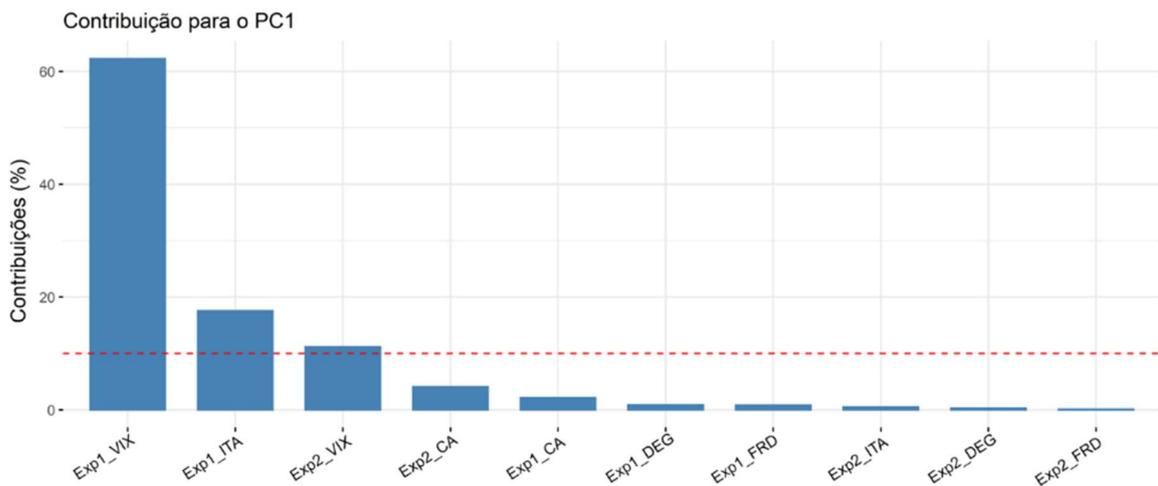
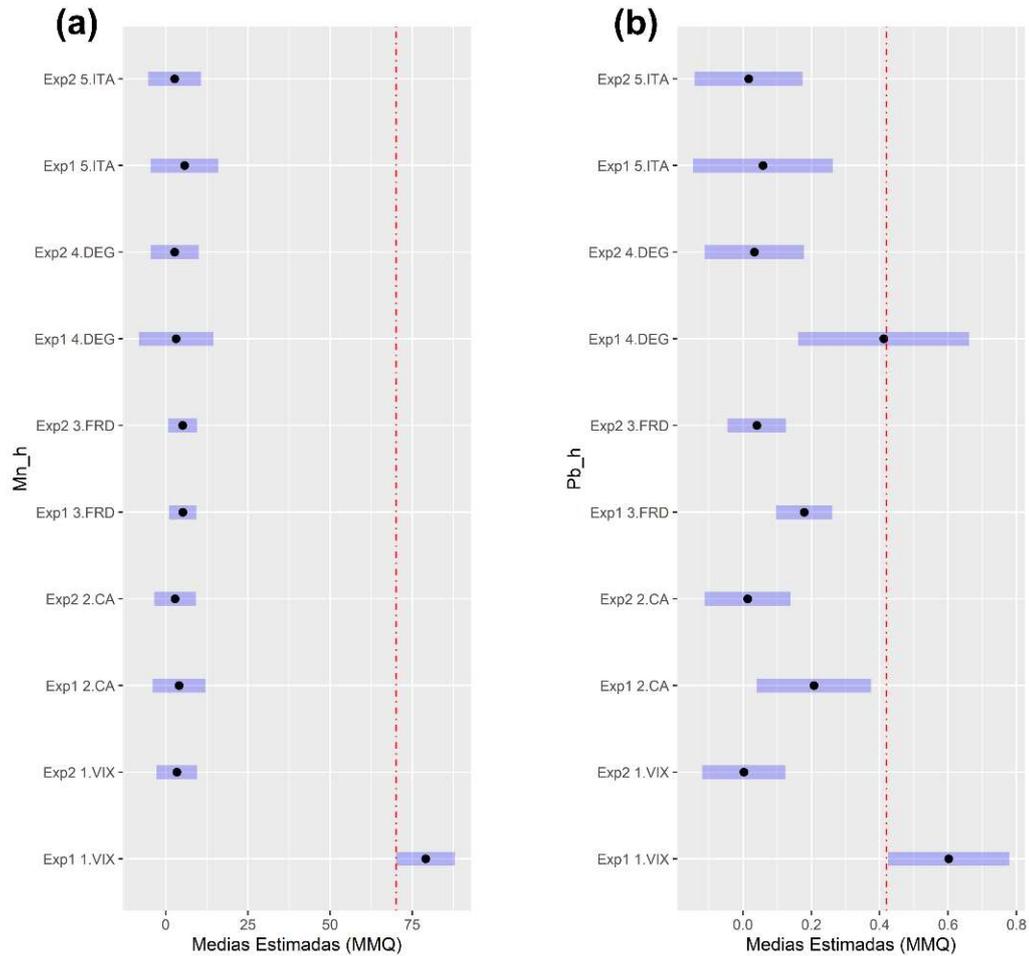


Figura 224: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para manganês (a) e chumbo (b) presentes nas amostras de camarões (hepatopâncreas [h]). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 5 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.



Os metais Cu e As, que se destacaram no componente 2 (Figura 225), tiveram de fato seus picos em CA e FRD, como pode ser observado na Figura 226 e Figura 227.

Figura 225: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

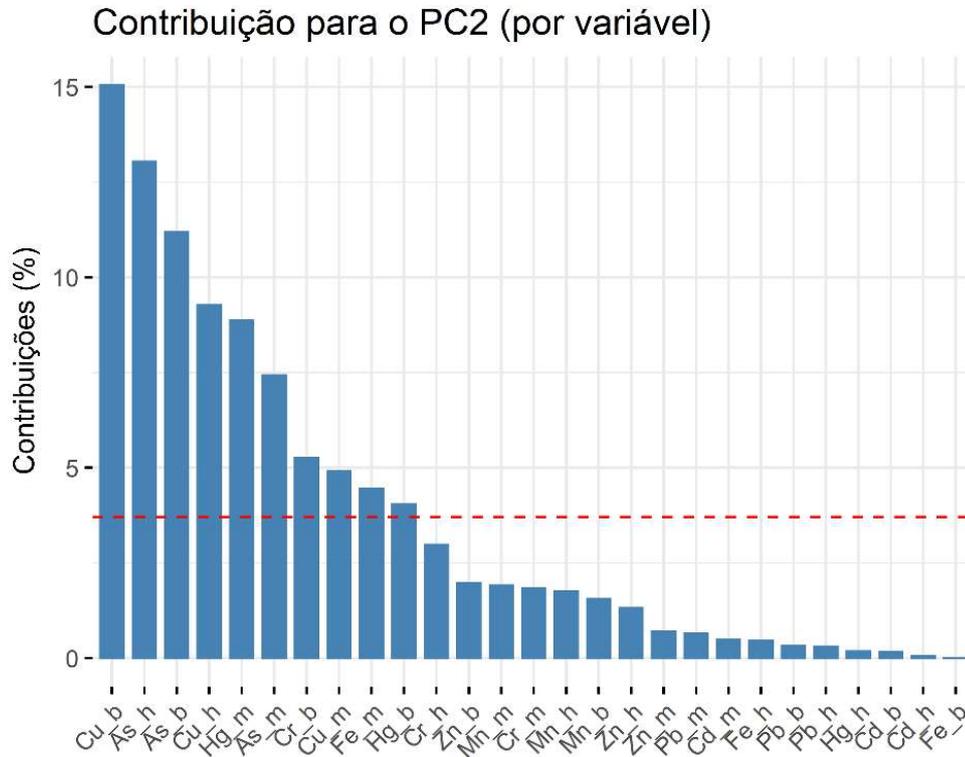


Figura 226: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (indivíduos)} = 1/10 = 10\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo/fator* com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

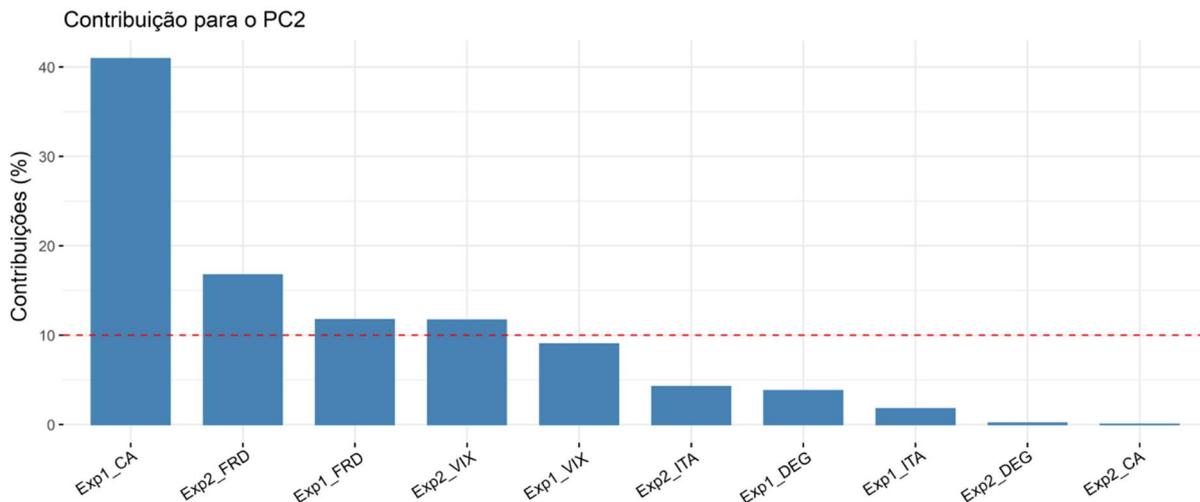
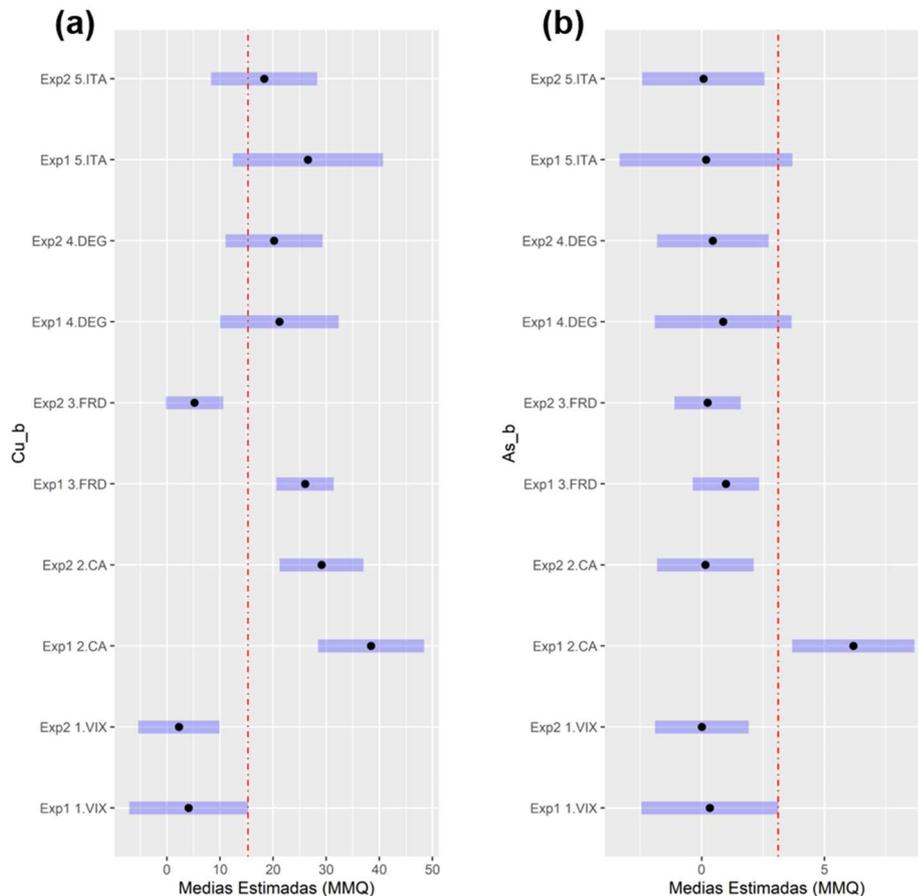


Figura 227: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para cobre (a) e arsênio (b) presentes nas amostras de camarões (brânquia [b]). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 5 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.



Os níveis de Cd e Fe em todos os tecidos se agruparam no setor negativo do PC1 e do PC2, onde se agruparam também os pontos relacionados à segunda campanha (quadrante sudoeste). Considerando o aumento do nível desses metais na campanha 2, e, também, a importância do Fe na caracterização do evento de rompimento da barragem, análises univariadas foram executadas.

As análises univariadas indicam valores de Fe em todos os tecidos de camarão, com relação a “linha de base” determinada para esse conjunto de amostras (VIX, Exp1), apresenta suas maiores médias (médias estimadas pelo método dos mínimos quadrados, em teste realizado com correção de *Dunnett*) em FRD. No músculo, essas diferenças são estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ , Figura 228) durante a segunda campanha. A Figura 229 apresenta uma comparação dos níveis de Fe nos tecidos de camarão com a média das concentrações encontradas na literatura.

Figura 228: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para ferro presente nas amostras de camarões de brânquia (a), hepatopâncreas (b) e músculo (c). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 5 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.

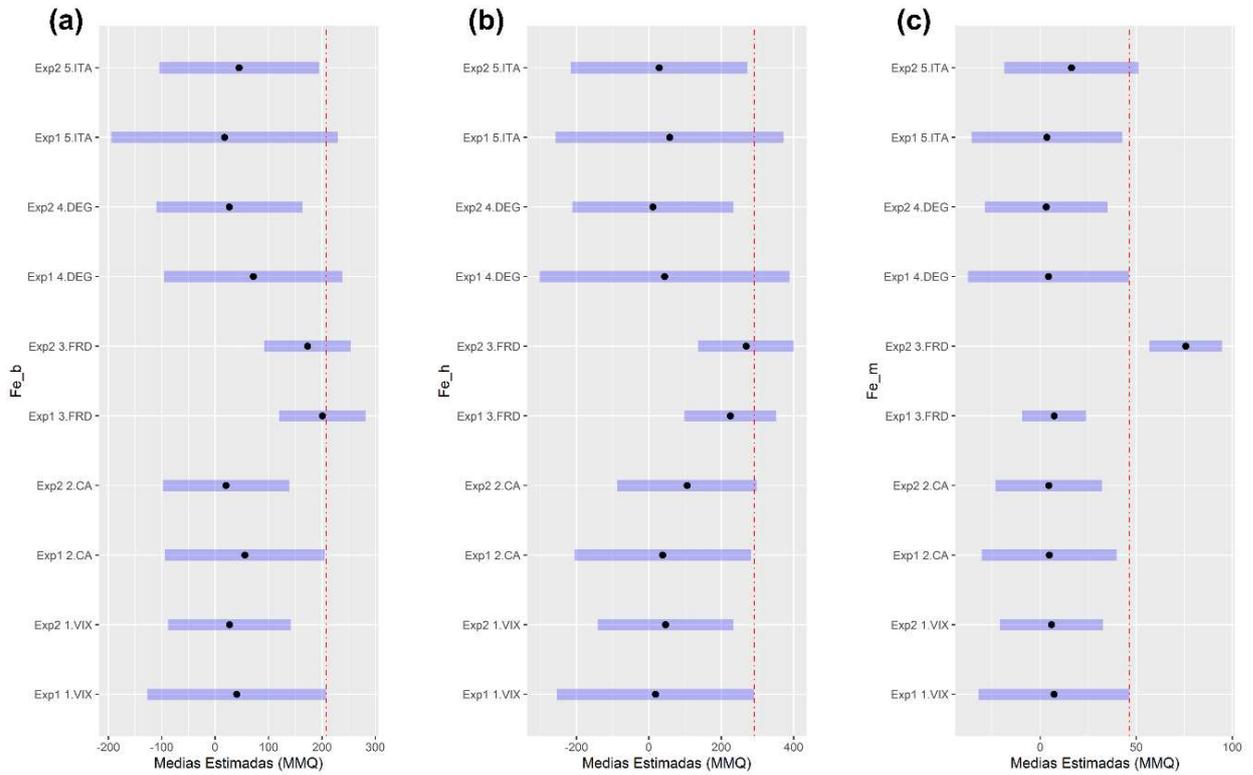
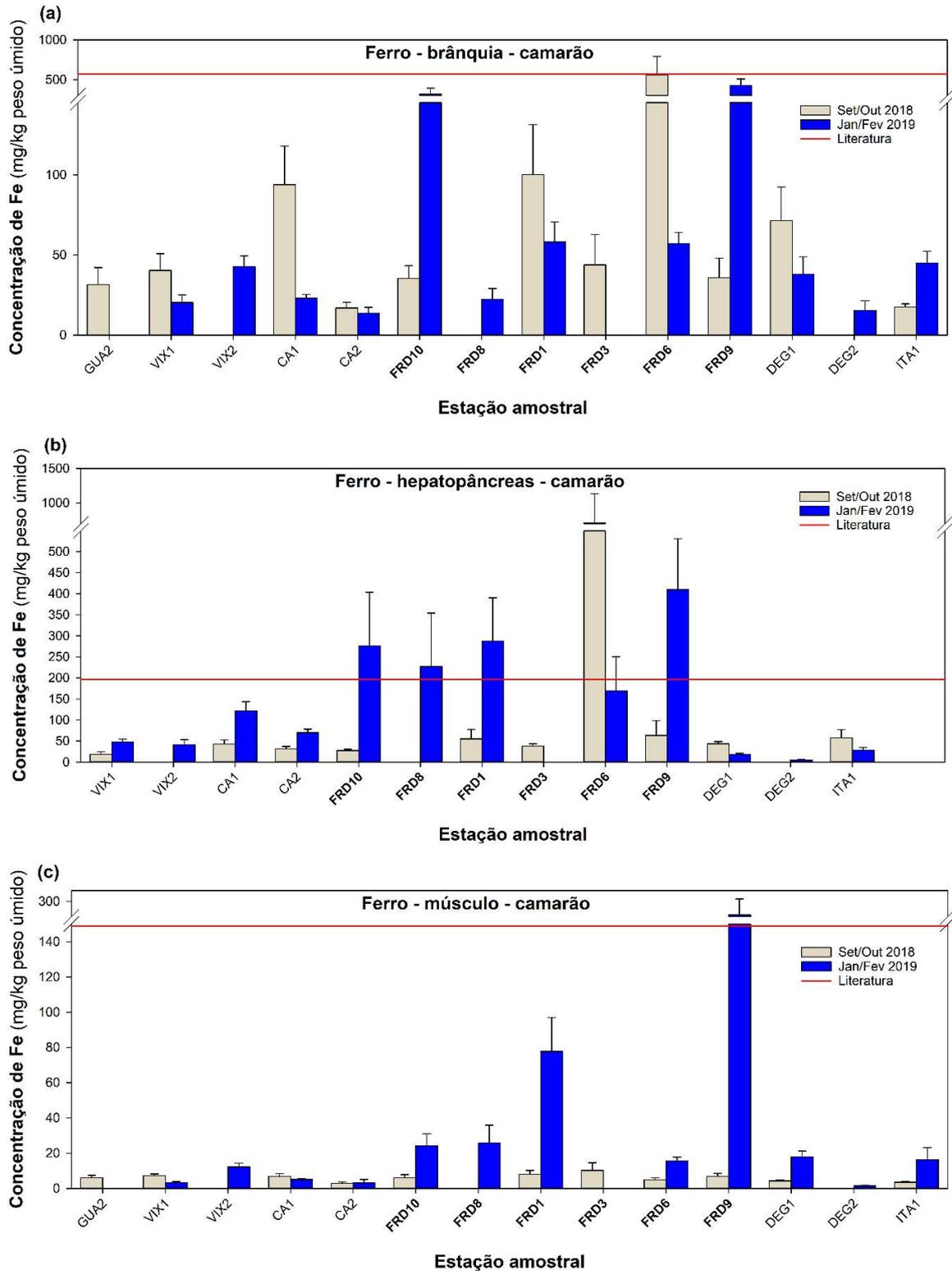


Figura 229: Comparação entre a concentração de ferro (mg/kg peso úmido) nas amostras de camarão brânquia (a), hepatopâncreas (b) e músculo (c) coletados nas 25 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica a média máxima de ferro encontradas na literatura em amostras de camarão dos mesmos tecidos em ambientes marinhos considerados contaminados (contaminação por metais).



Na Tabela 87, as concentrações mínimas e máximas de metais nos tecidos dos camarões (brânquia [B], hepatopâncreas [H] e músculo [M]) foram confrontadas com dados descritos na literatura para a concentração dos metais coincidentes em espécies de camarões marinhos de ambientes considerados contaminados.

Tabela 87: Concentração (mg/kg de peso úmido) mínima e máxima dos metais nos camarões (brânquia [B], hepatopâncreas [h] e músculo [M]) em todas as estações amostrais, coletados na campanha 1 e na campanha 2 comparados com outros estudos em camarões marinhos compilados a partir da literatura. Os dados da literatura estão expressos em valores (mg/kg de peso úmido) mínimos e máximos encontrados em ambientes considerados contaminados. Valores do presente relatório acima dos encontrados na literatura foram destacados em vermelho sublinhado.

<b>Camarão</b>				
<b>Metal</b>	<b>T</b>	<b>Campanha 1</b>	<b>Campanha 2</b>	<b>Bibliografia</b>
		<b>Mín-Máx</b>	<b>Mín-Máx</b>	<b>Mín-Máx</b>
As	B	<u>0,003 - 49,662</u>	<u>0,0005 - 2,933</u>	0,06 <sup>p</sup> - 1,43 <sup>a</sup>
	H	<u>0,002 - 20,182</u>	<u>0,0006 - 4,285</u>	0,1 <sup>p</sup> - 1,96 <sup>a</sup>
	M	0,0003 - 6,735	0,0002 - 2,163	1,25 <sup>a</sup> - 29,25 <sup>c</sup>
Cd	B	<u>0,0007 - 45,248</u>	0,01 - 13,812	0,2 <sup>i</sup> - 20,3 <sup>b</sup>
	H	0,001 - 19,424	0,0002 - 28,262	1,97 <sup>f</sup> - 19,9 <sup>b</sup>
	M	0,001 - 2,029	0,0009 - 2,273	0,008 <sup>c</sup> - 4,27 <sup>b</sup>
Cr	B	0,03 - 61,957	0,0005 - 6,904	0,57 <sup>a</sup> - 114,5 <sup>b</sup>
	H	0,008 - 34,186	0,001 - 3,865	4,3 <sup>a</sup> - 130,3 <sup>b</sup>
	M	<u>0,01 - 19,316</u>	0,0005 - 2,535	0,22 <sup>c</sup> - 15,1 <sup>b</sup>
Cu	B	0,23 - 82,356	0,01 - 58,226	114,5 <sup>a</sup> - 190,4 <sup>b</sup>
	H	<u>0,11 - 632,737</u>	0,01 - 113,835	47 <sup>f</sup> - 348 <sup>d</sup>
	M	0,16 - 16,070	0,004 - 24,141	2,68 <sup>g</sup> - 25,2 <sup>a</sup>
Fe	B	<u>0,16 - 2494,05</u>	<u>3,16 - 821,986</u>	74,9 <sup>i</sup> - 572,6 <sup>a</sup>
	H	<u>0,79 - 4334,63</u>	<u>2,57 - 937,967</u>	32,3 <sup>d</sup> - 196,4 <sup>a</sup>
	M	0,10 - 60,55	<u>0,44 - 615,174</u>	2,1 <sup>e</sup> - 149 <sup>f</sup>
Hg	B	<u>0,001 - 0,118</u>	0,0002 - 0,014	0,001 <sup>n</sup> - 0,01 <sup>o</sup>
	H	<u>0,0005 - 0,079</u>	<u>0,0001 - 0,101</u>	0,02 <sup>o</sup> - 0,03 <sup>o</sup>
	M	0,0001 - 0,025	0,0001 - 0,027	0,22 <sup>c</sup> - 1,2 <sup>k</sup>
Mn	B	<u>0,29 - 96,359</u>	<u>0,47 - 26,981</u>	1,0 <sup>m</sup> - 8,8 <sup>j</sup>
	H	<u>0,25 - 143,644</u>	<u>0,99 - 21,210</u>	3,73 <sup>j</sup> - 6,2 <sup>i</sup>
	M	<u>0,03 - 97,193</u>	0,37 - 2,186	0,38 <sup>c</sup> - 6,8 <sup>h</sup>
Pb	B	<u>0,006 - 24,816</u>	0,0002 - 0,520	4,29 <sup>a</sup> - 18,7 <sup>l</sup>
	H	0,005 - 1,881	0,0002 - 0,533	0,36 <sup>d</sup> - 5,18 <sup>a</sup>
	M	0,00001 - 1,066	0,0001 - 0,448	0,1 <sup>c</sup> - 2,5 <sup>e</sup>
Zn	B	<u>0,27 - 656,931</u>	0,89 - 58,057	28,6 <sup>a</sup> - 164,9 <sup>b</sup>
	H	<u>0,08 - 454,302</u>	<u>0,48 - 241,833</u>	36,8 <sup>a</sup> - 169,4 <sup>b</sup>
	M	0,39 - 78,061	0,34 - 27,082	0,6 <sup>e</sup> - 98,7 <sup>f</sup>

Os resultados da campanha 1 do Anexo 1 apresentados nesta tabela foram comparados com os valores Mín e Máx dos seguintes estudos: (a) Lewtas et al., 2014, (b) Firat et al., 2008, (c) Kaya & Turkoglu, 2017, (d) Olgunoglu et al., 2015, (e) Dadar, 2014, (f) WU-X-YI, 2011, (g) Pinto, 2013, (h) Gao et al., 2016, (i) Silva et al., 2014, (j) Paez Ossuna, 1996, (k) Di Iena et

al., 2018, (l) Kargin et al., 2001, (m) Paez-Ossuna & Tron Mayer, 1996, (n) Liu et al., 2019, (o) Darmono & Denton, 1990, (p) Leblanc & Prince, 2012.

O levantamento bibliográfico evidenciou que as concentrações de alguns metais atingiram valores máximos elevados quando comparados com outros estudos, os quais destacamos aqueles que foram evidenciados nas duas campanhas marinhas:

- A concentração de As na brânquia e no hepatopâncreas;
- A concentração de Fe no brânquia, hepatopâncreas (músculo apenas na campanha 2);
- A concentração de Hg no hepatopâncreas;
- A concentração de Mn na brânquia, hepatopâncreas (músculo apenas na campanha 1);
- A concentração de Zn no hepatopâncreas;

Nas expedições anteriores (Bianchini et al., 2016; Bianchini, 2019), onde analisou-se a concentração de metais no músculo de camarões, observou-se nas médias gerais (em todos os pontos amostrados) picos de acúmulo da maioria dos metais analisados, logo após a chegada da lama no ambiente marinho com posterior diminuição em escala temporal. Para fins de comparação, analisamos que as médias gerais obtidas neste relatório para os metais Cr, Mn, Cd, Cu, Pb, Hg e As, no músculo dos camarões, manteve os níveis relativamente baixos seguindo o padrão das expedições anteriores realizadas cerca de 800 dias após a chegada da lama no ambiente marinho. Entretanto, para o Fe (~2,5 mg/kg peso úmido), (Bianchini et al., 2016; Bianchini, 2019), notamos um nítido aumento na concentração deste metal nas campanhas marinhas realizadas pelo PMBA. Na campanha 1 a média geral (em todos os pontos amostrados) no músculo de camarões foi de 6,22 mg/kg peso úmido de Fe, e na campanha 2 a média geral foi de 33,17 mg/kg peso úmido de Fe.

### 3.2.5.3 Concentração de metais em Peixes

Sempre que possível, foram amostradas quatro espécies de peixes (que variam por ponto e por estação do ano), discriminando os principais tecidos para análise (brânquia, fígado e músculo). Em algumas estações amostrais na campanha 1 e 2 não foram coletados peixes no número previsto ( $n=6$  por espécie) ou as espécies alvo não foram encontrados na estação amostral e/ou estação do ano estabelecida. Além disso, em muitas estações amostrais, o tipo de substrato do fundo (exemplo, fundos calcáreos ou recifes), ou a profundidade (exemplo, locais com profundidades >40m) não possibilitam o uso da arte de pesca utilizada para captura de pescado. Sendo assim, não há peixes em todas estações amostrais.

As espécies coletadas foram categorizadas em dois grupos, conforme seu índice trófico – obtido via plataforma *FISHBASE* (Froese & Pauly, 2017). O Quadro 18 indica quais espécies foram coletadas em cada estação, e a quais grupos foram destinadas. O grupo I (onívoros/herbívoros) é formado por espécies demersais com nível trófico igual ou menor que 3,5 (Ex: Cabeça dura, Maria Luíza, Palombeta). O grupo II (carnívoros) é formado por espécies demersais com nível trófico igual ou maior

que 3,6 (Ex: Pescadinha, Roncador, Peroá, Linguado, Corvina), sendo onívoros que se alimentam de organismos relativamente maiores, com maior tendência a carnivoría, em comparação com o grupo I.

Quadro 18: Lista das espécies de peixes amostrados nas campanhas marinhas 1 e 2 categorizados em dois grupos conforme seu índice trófico obtido via plataforma FISHBASE (Froese & Pauly, 2017).

<b>Peixes</b> (Nome científico/Nível trófico)	
<b>Grupo I</b> (onívoros/herbívoros)	<b>Grupo II</b> (carnívoros)
Carapeba ( <i>Diapterus rhombeus</i> / 3,0)	Cocorota ( <i>Pomadasys corvinaeformis</i> / 3,6)
Sametara ( <i>Menticirrhus sp</i> / 3,5)	Linguado ( <i>Paralichthys spp.</i> / 4,4)
Santo Antônio ( <i>Cheilopogon cyanopterus</i> / 3,3)	Pescadinha ( <i>Cynoscion sp</i> / 3,8)
Maria Luíza ( <i>Paralonchurus brasiliensis</i> / 3,4)	Peroá ( <i>Balistes capriscus</i> / 4,1)
Cabeça Dura ( <i>Stellifer rastrifer</i> / 3,4)	Michole ( <i>Diplectrum radiale</i> / 4,5)
Sardinha ( <i>Sardina pilchardus</i> / 2,1)	Corvina ( <i>Micropogonias furnieri</i> / 4,0)
Palombeta ( <i>Chorroscombrus Chrysurus</i> / 3,5)	Roncador ( <i>Conodon nobilis</i> / 3,6)
Trilha ( <i>Pseudupeneus maculatus</i> / 3,5)	Pardo Rosa ( <i>Lutjanus sp.</i> / 3,9)
Carapicu ( <i>Eucinostomus gula</i> / 2,7)	Bagre ( <i>Genidens Genidens</i> / 4,0)

A avaliação da bioacumulação de metais em tecidos de peixes coletados pelo Anexo 1 no ambiente marinho, será realizada visualmente por meio de tabelas e/ou gráficos representando as médias e erro padrão das amostras coletadas em cada campanha e cada estação amostral. As análises estatísticas, no entanto, serão realizadas considerando como fator temporal cada expedição/campanha, e como fator espacial as 6 localidades onde foi possível fazer a amostragem de camarões (GUA, VIX; CA; FRD; DEG; e ITA). Dessa forma, a análise de padrões espaciais fica mais robusta (por considerar mais réplicas espaciais dentro de cada localidade), leva em consideração o fato de que a biota coletada pode se locomover por curtas distâncias dentro da área de cada localidade, e minimiza a ausência ou baixo número de pescado em algumas das estações amostrais.

A Tabela 88 e a Tabela 89 resumam os resultados de concentração dos elementos Cromo (Cr), Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Arsênio (As) mensurados nos peixes, coletados durante a campanha 1 e divididos em grupo I e grupo II, respectivamente.

Tabela 88: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras de peixes (grupo I; onívoros/herbívoros) coletados nas estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados foram expressos em média  $\pm$  erro padrão.

Peixes grupo I (onívoros/ herbívoros) - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)										
Ponto (n)	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
GUA2 (n=2)	B	0,30 $\pm$ 0,11	0,08 $\pm$ 0,01	0,18 $\pm$ 0,03	0,24 $\pm$ 0,12	10,70 $\pm$ 1,63	0,0031 $\pm$ 0,0013	1,49 $\pm$ 0,35	0,058 $\pm$ 0,004	14,53 $\pm$ 2,76
	F	0,20 $\pm$ 0,10	0,20 $\pm$ 0,03	0,35 $\pm$ 0,08	0,22 $\pm$ 0,09	10,11 $\pm$ 0,18	0,0032 $\pm$ 0,0005	0,78 $\pm$ 0,05	0,14 $\pm$ 0,05	16,30 $\pm$ 4,61
	M	0,21 $\pm$ 0,10	0,053 $\pm$ 0,019	0,12 $\pm$ 0,04	0,09 $\pm$ 0,04	9,43 $\pm$ 2,66	0,0036 $\pm$ 0,0002	0,72 $\pm$ 0,28	0,058 $\pm$ 0,018	32,22 $\pm$ 5,06
VIX1 (n=10)	B	0,18 $\pm$ 0,03	0,16 $\pm$ 0,03	0,36 $\pm$ 0,08	0,75 $\pm$ 0,24	18,93 $\pm$ 3,95	0,0064 $\pm$ 0,0017	65,92 $\pm$ 11,09	0,217 $\pm$ 0,020	27,56 $\pm$ 8,68
	F	0,21 $\pm$ 0,04	0,23 $\pm$ 0,08	5,61 $\pm$ 2,25	5,51 $\pm$ 2,39	54,04 $\pm$ 9,04	0,0118 $\pm$ 0,0039	37,25 $\pm$ 9,03	0,49 $\pm$ 0,07	21,53 $\pm$ 2,71
	M	0,14 $\pm$ 0,02	0,062 $\pm$ 0,012	0,51 $\pm$ 0,17	0,34 $\pm$ 0,05	9,92 $\pm$ 1,49	0,0030 $\pm$ 0,0003	23,77 $\pm$ 7,76	0,241 $\pm$ 0,046	17,30 $\pm$ 4,35
CA1 (n=4)	B	0,27 $\pm$ 0,08	0,19 $\pm$ 0,05	0,32 $\pm$ 0,05	0,51 $\pm$ 0,12	24,62 $\pm$ 5,87	0,0063 $\pm$ 0,0020	2,59 $\pm$ 0,45	0,261 $\pm$ 0,058	288,12 $\pm$ 80,39
	F	0,14 $\pm$ 0,06	1,08 $\pm$ 0,58	0,52 $\pm$ 0,19	2,05 $\pm$ 0,48	48,21 $\pm$ 5,94	0,0077 $\pm$ 0,0020	5,99 $\pm$ 2,06	0,24 $\pm$ 0,08	106,36 $\pm$ 31,80
	M	0,15 $\pm$ 0,03	0,075 $\pm$ 0,006	1,68 $\pm$ 0,30	0,43 $\pm$ 0,08	3,14 $\pm$ 0,78	0,0124 $\pm$ 0,0017	0,49 $\pm$ 0,10	0,021 $\pm$ 0,007	2,34 $\pm$ 0,24
CA2 (n=5)	B	1,55 $\pm$ 0,41	0,07 $\pm$ 0,04	11,27 $\pm$ 3,15	1,01 $\pm$ 0,26	22,66 $\pm$ 4,10	0,0217 $\pm$ 0,0058	9,92 $\pm$ 2,26	0,032 $\pm$ 0,011	17,33 $\pm$ 3,79
	F	7,91 $\pm$ 2,52	1,16 $\pm$ 0,27	12,79 $\pm$ 2,60	4,07 $\pm$ 0,18	47,73 $\pm$ 7,83	0,0300 $\pm$ 0,0023	5,03 $\pm$ 0,99	0,03 $\pm$ 0,01	20,12 $\pm$ 0,66
	M	1,81 $\pm$ 0,59	0,062 $\pm$ 0,017	4,46 $\pm$ 1,12	1,10 $\pm$ 0,34	3,04 $\pm$ 1,16	0,0093 $\pm$ 0,0038	1,08 $\pm$ 0,36	0,018 $\pm$ 0,007	2,97 $\pm$ 0,44
FRD1 (n=12)	B	0,12 $\pm$ 0,07	1,26 $\pm$ 0,44	5,03 $\pm$ 1,28	3,01 $\pm$ 1,06	142,47 $\pm$ 46,65	0,0055 $\pm$ 0,0019	5,67 $\pm$ 1,58	0,277 $\pm$ 0,072	112,11 $\pm$ 39,84
	F	0,09 $\pm$ 0,03	0,76 $\pm$ 0,38	9,57 $\pm$ 5,61	25,55 $\pm$ 7,18	162,45 $\pm$ 68,29	0,0143 $\pm$ 0,0066	10,42 $\pm$ 4,53	1,94 $\pm$ 1,35	120,29 $\pm$ 50,26
	M	1,95 $\pm$ 1,14	0,284 $\pm$ 0,077	3,92 $\pm$ 1,38	2,77 $\pm$ 1,18	8,84 $\pm$ 2,96	0,0024 $\pm$ 0,0005	3,41 $\pm$ 0,98	0,111 $\pm$ 0,035	4,68 $\pm$ 0,80
FRD3 (n=10)	B	0,30 $\pm$ 0,19	2,28 $\pm$ 0,31	6,63 $\pm$ 2,37	6,92 $\pm$ 0,94	102,87 $\pm$ 22,33	0,0073 $\pm$ 0,0013	9,24 $\pm$ 0,83	0,601 $\pm$ 0,218	31,95 $\pm$ 15,06
	F	0,27 $\pm$ 0,06	3,06 $\pm$ 0,37	1,52 $\pm$ 0,61	9,79 $\pm$ 1,00	101,68 $\pm$ 31,06	0,0083 $\pm$ 0,0020	9,09 $\pm$ 2,29	0,31 $\pm$ 0,12	90,52 $\pm$ 18,99
	M	2,00 $\pm$ 1,03	0,335 $\pm$ 0,084	1,56 $\pm$ 0,30	0,54 $\pm$ 0,11	4,43 $\pm$ 0,27	0,0098 $\pm$ 0,0027	1,16 $\pm$ 0,16	0,039 $\pm$ 0,005	3,87 $\pm$ 0,36
FRD6 (n=12)	B	0,14 $\pm$ 0,04	0,28 $\pm$ 0,14	5,57 $\pm$ 3,13	6,69 $\pm$ 1,73	16,42 $\pm$ 4,61	0,0102 $\pm$ 0,0046	5,61 $\pm$ 2,47	0,084 $\pm$ 0,020	84,95 $\pm$ 52,71

Peixes grupo I (onívoros/ herbívoros) - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)

Ponto (n)	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
	F	0,13 ± 0,04	3,07 ± 1,62	2,02 ± 0,63	20,12 ± 10,01	48,78 ± 14,74	0,0512 ± 0,0228	8,20 ± 2,24	0,28 ± 0,09	206,18 ± 65,18
	M	0,14 ± 0,03	0,044 ± 0,009	2,65 ± 0,44	0,30 ± 0,10	3,47 ± 0,68	0,0119 ± 0,0036	0,94 ± 0,23	0,064 ± 0,022	3,28 ± 0,80
FRD9 (n=3)	B	3,66 ± 0,99	*	22,07 ± 6,57	5,17 ± 3,18	67,43 ± 26,23	0,0571 ± 0,0212	20,10 ± 6,99	0,172 ± 0,042	14,92 ± 3,03
	F	2,26 ± 0,45	*	19,74 ± 4,23	5,75 ± 0,98	51,24 ± 11,69	0,0479 ± 0,0117	8,46 ± 1,83	0,13 ± 0,03	22,21 ± 1,87
	M	0,54 ± 0,28	0,027 ± 0,025	5,16 ± 2,88	1,83 ± 0,62	8,48 ± 2,98	0,0157 ± 0,0082	10,17 ± 9,14	0,100 ± 0,063	3,80 ± 0,72
FRD10 (n=10)	B	0,09 ± 0,04	0,96 ± 0,33	0,22 ± 0,03	7,32 ± 2,22	12,84 ± 3,80	0,0018 ± 0,0008	0,38 ± 0,15	0,090 ± 0,062	0,32 ± 0,12
	F	0,04 ± 0,01	0,06 ± 0,02	2,83 ± 1,24	8,86 ± 2,32	24,01 ± 12,67	0,0018 ± 0,0003	0,64 ± 0,34	0,04 ± 0,01	1,08 ± 0,43
	M	0,74 ± 0,25	0,026 ± 0,003	1,26 ± 0,27	0,33 ± 0,16	3,11 ± 0,58	0,0014 ± 0,0001	1,03 ± 0,20	0,034 ± 0,016	3,82 ± 0,96
DEG2 (n=5)	B	0,37 ± 0,11	2,20 ± 0,57	1,08 ± 0,51	0,34 ± 0,10	25,46 ± 6,91	0,0143 ± 0,0036	7,43 ± 6,13	0,017 ± 0,005	50,14 ± 14,80
	F	3,93 ± 3,18	6,16 ± 1,98	1,49 ± 0,80	2,60 ± 0,57	59,59 ± 6,64	0,0303 ± 0,0114	8,46 ± 2,71	0,12 ± 0,02	86,62 ± 21,38
	M	0,72 ± 0,59	1,022 ± 0,248	0,59 ± 0,37	0,24 ± 0,03	12,00 ± 8,81	0,0051 ± 0,0011	14,39 ± 12,96	0,009 ± 0,002	19,10 ± 6,90
BN1 (n=6)	B	0,11 ± 0,02	2,84 ± 0,81	0,53 ± 0,16	4,50 ± 0,56	32,58 ± 4,52	0,0039 ± 0,0010	5,25 ± 0,86	0,013 ± 0,004	253,92 ± 53,11
	F	0,17 ± 0,07	2,22 ± 0,77	0,39 ± 0,20	6,42 ± 1,99	81,15 ± 45,38	0,0031 ± 0,0011	4,18 ± 1,35	0,01 ± 0,01	290,19 ± 136,68
	M	0,01 ± 0,00	1,232 ± 0,202	0,031 ± 0,003	0,35 ± 0,06	3,05 ± 0,66	0,0009 ± 0,0004	3,48 ± 0,87	0,037 ± 0,008	20,84 ± 7,57
BN2 (n=2)	B	0,26 ± 0,05	1,19 ± 0,23	1,15 ± 0,46	6,93 ± 1,39	31,34 ± 5,02	0,0083 ± 0,0017	6,06 ± 1,01	0,068 ± 0,039	127,96 ± 34,15
	F	0,24 ± 0,05	2,43 ± 0,37	0,50 ± 0,12	7,47 ± 1,36	62,57 ± 37,67	0,0058 ± 0,0010	6,42 ± 1,01	0,04 ± 0,02	176,03 ± 70,88
	M	0,04 ± 0,01	0,775 ± 0,228	0,28 ± 0,11	1,48 ± 0,21	12,57 ± 4,58	0,0012 ± 0,0005	0,95 ± 0,11	0,013 ± 0,006	12,67 ± 4,84
ITA1 (n=2)	B	0,35 ± 0,21	3,51 ± 1,06	2,96 ± 1,13	3,40 ± 0,06	36,59 ± 9,76	0,0083 ± 0,0026	9,49 ± 4,87	0,106 ± 0,043	357,53 ± 88,19
	F	0,86 ± 0,78	4,37 ± 0,94	17,76 ± 4,68	10,26 ± 2,70	149,77 ± 30,10	0,0105 ± 0,0035	51,87 ± 43,28	0,54 ± 0,46	373,27 ± 167,57
	M	0,03 ± 0,02	0,923 ± 0,179	0,76 ± 0,21	0,05 ± 0,04	2,68 ± 0,81	0,0010 ± 0,0006	1,23 ± 0,36	0,046 ± 0,016	22,30 ± 7,92

(1) (\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

Tabela 89: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras de peixes (grupo II/ carnívoros) coletados nas estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados foram expressos em média ± erro padrão.

Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 1 (Setembro/Octubre 2018)										
Ponto (n)	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
GUA2 (n=2)	B	0,25 ± 0,09	0,06 ± 0,01	0,08 ± 0,03	0,019 ± 0,005	12,05 ± 2,56	0,0086 ± 0,0030	0,35 ± 0,21	0,03 ± 0,01	12,80 ± 2,66
	F	0,57 ± 0,06	0,07 ± 0,03	0,111 ± 0,001	0,12 ± 0,06	9,30 ± 4,19	0,0255 ± 0,0038	0,21 ± 0,05	0,063 ± 0,004	20,74 ± 4,16
	M	0,10 ± 0,00	0,035 ± 0,004	0,010 ± 0,002	0,022 ± 0,002	7,32 ± 0,18	0,0080 ± 0,0047	0,55 ± 0,13	0,029 ± 0,008	31,67 ± 7,29
VIX1 (n=10)	B	0,22 ± 0,07	0,26 ± 0,14	0,38 ± 0,10	0,37 ± 0,12	22,13 ± 5,32	0,0100 ± 0,0023	10,21 ± 6,87	0,77 ± 0,22	47,77 ± 8,87
	F	0,30 ± 0,15	0,17 ± 0,05	0,32 ± 0,06	3,43 ± 0,83	29,38 ± 8,25	0,0168 ± 0,0044	7,18 ± 6,34	1,296 ± 0,381	36,25 ± 6,69
	M	0,13 ± 0,04	1,59 ± 0,38	0,23 ± 0,04	0,38 ± 0,23	6,36 ± 2,44	0,0054 ± 0,0023	5,71 ± 3,61	0,194 ± 0,064	12,78 ± 4,23
VIX2 (n=2)	B	0,06 ± 0,02	0,08 ± 0,07	0,14 ± 0,07	0,95 ± 0,36	10,53 ± 4,33	0,0033 ± 0,0027	0,73 ± 0,32	0,49 ± 0,20	4,18 ± 1,38
	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	M	0,40 ± 0,13	1,21 ± 0,52	0,09 ± 0,02	1,12 ± 0,88	3,96 ± 1,30	0,0015 ± 0,0006	1,15 ± 0,39	0,254 ± 0,132	6,34 ± 0,99
CA1 (n=4)	B	1,55 ± 1,14	2,00 ± 1,72	0,33 ± 0,03	0,69 ± 0,35	36,56 ± 1,72	0,0033 ± 0,0010	8,37 ± 5,79	0,08 ± 0,01	36,22 ± 14,06
	F	0,79 ± 0,19	0,10 ± 0,06	0,086 ± 0,003	0,38 ± 0,11	24,57 ± 0,58	0,0015 ± 0,0003	0,71 ± 0,02	0,021 ± 0,003	15,71 ± 0,19
	M	0,48 ± 0,34	0,09 ± 0,01	2,44 ± 0,44	0,28 ± 0,10	2,82 ± 0,49	0,0054 ± 0,0018	0,91 ± 0,20	0,073 ± 0,037	2,29 ± 0,37

Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 1 (Setembro/Octubre 2018)										
Ponto (n)	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
CA2 (n=5)	B	1,67 ± 0,77	0,41 ± 0,12	13,77 ± 3,33	4,09 ± 1,34	33,69 ± 10,02	0,0441 ± 0,0234	10,82 ± 2,09	0,17 ± 0,05	20,34 ± 4,82
	F	7,44 ± 3,96	0,31 ± 0,09	8,18 ± 3,63	6,07 ± 1,24	111,19 ± 12,97	0,0792 ± 0,0313	3,76 ± 1,23	0,143 ± 0,058	25,48 ± 2,34
	M	2,02 ± 1,38	*	2,58 ± 0,87	0,35 ± 0,10	4,29 ± 1,47	0,0057 ± 0,0018	0,75 ± 0,25	0,012 ± 0,004	2,44 ± 0,07
CA4 (n=4)	B	0,18 ± 0,04	0,61 ± 0,18	0,28 ± 0,13	1,62 ± 0,23	31,83 ± 7,62	0,0020 ± 0,0016	11,53 ± 10,45	0,07 ± 0,03	320,01 ± 190,45
	F	0,84 ± 0,62	13,40 ± 8,39	0,25 ± 0,08	55,57 ± 40,06	125,90 ± 8,73	0,0047 ± 0,0039	8,57 ± 5,45	1,325 ± 0,853	378,36 ± 201,42
	M	0,30 ± 0,20	0,43 ± 0,29	1,16 ± 0,40	0,58 ± 0,20	7,05 ± 5,22	0,0028 ± 0,0021	0,94 ± 0,51	0,035 ± 0,011	3,99 ± 1,88
FRD1 (n=12)	B	0,04 ± 0,00	0,12 ± 0,05	0,18 ± 0,13	1,11 ± 0,37	5,37 ± 0,33	0,0009 ± 0,0001	0,62 ± 0,19	0,15 ± 0,12	85,16 ± 12,53
	F	0,09 ± 0,04	0,20 ± 0,10	1,78 ± 0,60	12,40 ± 11,07	210,74 ± 199,48	0,0020 ± 0,0003	2,15 ± 0,99	0,058 ± 0,028	108,04 ± 30,44
	M	0,90 ± 0,44	0,005 ± 0,002	0,08 ± 0,07	0,54 ± 0,38	3,93 ± 0,67	0,0013 ± 0,0004	0,93 ± 0,17	0,029 ± 0,010	12,17 ± 8,26
FRD3 (n=10)	B	0,43 ± 0,11	3,29 ± 0,91	10,36 ± 6,39	11,34 ± 2,19	51,28 ± 7,54	0,0486 ± 0,0167	12,03 ± 1,70	0,34 ± 0,14	45,52 ± 12,30
	F	0,48 ± 0,15	5,42 ± 1,43	16,88 ± 8,97	13,79 ± 3,52	67,83 ± 9,29	0,0474 ± 0,0218	11,11 ± 2,73	0,179 ± 0,059	121,77 ± 44,42
	M	0,75 ± 0,19	0,23 ± 0,06	1,78 ± 0,47	0,66 ± 0,16	4,98 ± 0,60	0,0090 ± 0,0016	1,19 ± 0,16	0,037 ± 0,009	4,05 ± 0,19
FRD6 (n=12)	B	0,19 ± 0,08	0,66 ± 0,15	3,06 ± 1,34	5,92 ± 1,68	34,25 ± 9,35	0,0047 ± 0,0008	3,40 ± 0,96	0,14 ± 0,03	129,81 ± 43,90

Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)

Ponto (n)	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
	F	0,15 ± 0,04	2,05 ± 0,73	1,97 ± 0,88	49,89 ± 29,41	47,81 ± 11,92	0,0103 ± 0,0025	41,69 ± 37,92	0,236 ± 0,098	206,85 ± 71,18
	M	0,10 ± 0,02	0,15 ± 0,02	2,20 ± 0,25	1,14 ± 0,84	5,07 ± 0,82	0,0098 ± 0,0016	0,66 ± 0,07	0,046 ± 0,011	3,84 ± 0,41
	B	0,36 ± 0,10	3,28 ± 0,70	0,21 ± 0,05	9,87 ± 3,17	48,65 ± 16,27	0,0126 ± 0,0025	16,31 ± 5,00	0,32 ± 0,16	224,67 ± 168,96
FRD8 (n=14)	F	0,59 ± 0,26	6,34 ± 2,64	1,24 ± 0,47	16,93 ± 7,46	130,69 ± 22,71	0,0530 ± 0,0326	22,30 ± 10,67	1,432 ± 1,347	53,03 ± 24,42
	M	0,03 ± 0,02	0,66 ± 0,17	1,58 ± 0,71	0,51 ± 0,27	3,54 ± 0,64	0,0015 ± 0,0004	1,97 ± 0,23	0,039 ± 0,008	7,40 ± 3,19
	B	0,03 ± 0,02	0,25 ± 0,13	13,97 ± 6,14	1,13 ± 0,93	22,62 ± 8,08	0,0150 ± 0,0089	10,93 ± 2,98	0,24 ± 0,14	18,56 ± 4,52
FRD9 (n=3)	F	0,08 ± 0,05	0,25 ± 0,07	14,29 ± 4,51	4,36 ± 1,33	45,59 ± 15,43	0,0082 ± 0,0033	13,59 ± 3,23	0,059 ± 0,014	15,21 ± 7,94
	M	0,01 ± 0,01	0,04 ± 0,02	1,43 ± 0,56	0,20 ± 0,14	5,41 ± 1,29	0,0013 ± 0,0008	0,58 ± 0,18	0,008 ± 0,005	2,73 ± 0,44
	B	0,14 ± 0,04	3,00 ± 1,02	5,02 ± 1,47	11,38 ± 1,75	28,02 ± 3,49	0,0050 ± 0,0011	10,11 ± 4,46	0,15 ± 0,04	26,82 ± 11,79
FRD10 (n=10)	F	0,36 ± 0,15	7,16 ± 3,72	12,97 ± 6,78	23,52 ± 10,35	61,91 ± 12,24	0,0072 ± 0,0032	72,80 ± 39,71	0,300 ± 0,076	6,49 ± 4,03
	M	0,75 ± 0,19	0,42 ± 0,07	1,92 ± 0,49	0,69 ± 0,24	4,50 ± 1,69	0,0023 ± 0,0008	1,15 ± 0,18	0,030 ± 0,005	3,78 ± 0,18
	B	0,35 ± 0,04	1,11 ± 0,19	0,18 ± 0,07	0,35 ± 0,05	16,59 ± 5,53	0,0038 ± 0,0006	1,54 ± 0,51	0,03 ± 0,01	28,75 ± 12,11
DEG2 (n=5)	F	0,88 ± 0,35	3,60 ± 0,80	1,13 ± 0,75	3,57 ± 0,47	83,83 ± 14,87	0,0077 ± 0,0022	4,35 ± 1,59	0,053 ± 0,017	80,56 ± 55,53

Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)										
Ponto (n)	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
	M	0,50 ± 0,11	0,79 ± 0,13	0,20 ± 0,08	0,14 ± 0,03	2,38 ± 0,51	0,0033 ± 0,0009	1,49 ± 0,21	0,029 ± 0,006	13,54 ± 3,96
	B	0,15 ± 0,08	1,55 ± 0,23	1,43 ± 0,65	2,51 ± 0,66	67,90 ± 36,06	0,0045 ± 0,0012	17,28 ± 7,52	0,08 ± 0,04	77,50 ± 13,95
BN1 (n=6)	F	0,10 ± 0,03	1,03 ± 0,37	0,62 ± 0,24	6,14 ± 1,62	142,69 ± 40,50	0,0016 ± 0,0008	3,15 ± 0,87	0,003 ± 0,001	79,68 ± 37,48
	M	0,010 ± 0,004	0,95 ± 0,17	0,67 ± 0,06	0,11 ± 0,03	3,72 ± 1,68	0,0004 ± 0,0001	1,24 ± 0,31	0,010 ± 0,003	9,19 ± 1,61
BN2 (n=2)	B	0,11 ± 0,08	6,87 ± 4,78	1,78 ± 1,16	*	51,06 ± 19,61	0,0305 ± 0,0239	19,30 ± 12,83	0,67 ± 0,63	16,10 ± 4,96
	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	M	0,02 ± 0,02	0,69 ± 0,02	0,11 ± 0,03	0,65 ± 0,50	3,27 ± 0,34	0,0024 ± 0,0019	1,29 ± 0,37	0,031 ± 0,016	1,05 ± 0,65
ITA1 (n=2)	B	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	F	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	M	0,06 ± 0,04	1,82 ± 1,04	2,83 ± 0,15		6,52 ± 3,58	0,0037 ± 0,0017	1,76 ± 0,22	0,110 ± 0,022	56,98 ± 3,01

(\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

A Tabela 90 e a Tabela 91 sumariza os resultados de concentração dos elementos Cromo (Cr), Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Arsênio (As) mensurados nos peixes, coletados durante a campanha 2 e divididos em grupo I e grupo II, respectivamente.

Tabela 90: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras de peixes (grupo I; onívoros/herbívoros) coletados nas estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados foram expressos em média  $\pm$  erro padrão.

Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto (n)	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
GUA1 (n=2)	B	0,005 $\pm$ 0,001	1,39 $\pm$ 0,59	0,15 $\pm$ 0,04	0,21 $\pm$ 0,14	46,46 $\pm$ 1,97	0,0015 $\pm$ 0,0013	6,05 $\pm$ 1,14	0,0001 $\pm$ 0,0001	29,10 $\pm$ 1,37
	F	0,014 $\pm$ 0,004	2,61 $\pm$ 0,57	0,26 $\pm$ 0,06	0,13 $\pm$ 0,00	99,18 $\pm$ 7,72	0,014 $\pm$ 0,013	2,41 $\pm$ 0,57	0,0045 $\pm$ 0,0039	39,81 $\pm$ 7,95
	M	0,001 $\pm$ 0,000	1,15 $\pm$ 0,27	0,047 $\pm$ 0,038	0,18 $\pm$ 0,03	105,68 $\pm$ 94,13	0,0027 $\pm$ 0,0025	0,82 $\pm$ 0,25	0,0002 $\pm$ 0,0002	21,87 $\pm$ 7,61
GUA2 (n=7)	B	0,002 $\pm$ 0,000	4,35 $\pm$ 0,65	0,01 $\pm$ 0,00	0,06 $\pm$ 0,01	256,87 $\pm$ 40,87	0,0029 $\pm$ 0,0004	2,27 $\pm$ 0,57	0,002 $\pm$ 0,001	33,43 $\pm$ 2,07
	F	0,001 $\pm$ 0,000	3,94 $\pm$ 0,75	0,01 $\pm$ 0,00	0,32 $\pm$ 0,12	1195,91 $\pm$ 201,03	0,004 $\pm$ 0,001	2,20 $\pm$ 0,40	0,0008 $\pm$ 0,0001	39,22 $\pm$ 3,37
	M	0,003 $\pm$ 0,001	1,59 $\pm$ 0,25	0,004 $\pm$ 0,001	0,03 $\pm$ 0,01	48,11 $\pm$ 8,75	0,0101 $\pm$ 0,0043	0,68 $\pm$ 0,08	0,002 $\pm$ 0,000	7,24 $\pm$ 2,25
VIX1 (n=14)	B	0,006 $\pm$ 0,002	3,04 $\pm$ 0,34	0,45 $\pm$ 0,05	0,41 $\pm$ 0,05	54,35 $\pm$ 8,66	0,0006 $\pm$ 0,0001	3,90 $\pm$ 0,41	0,001 $\pm$ 0,000	21,33 $\pm$ 1,64
	F	0,009 $\pm$ 0,002	4,72 $\pm$ 0,76	0,59 $\pm$ 0,11	0,75 $\pm$ 0,25	105,06 $\pm$ 20,03	0,001 $\pm$ 0,000	3,13 $\pm$ 0,48	0,0137 $\pm$ 0,0050	30,22 $\pm$ 2,96
	M	0,069 $\pm$ 0,037	2,09 $\pm$ 0,36	0,314 $\pm$ 0,055	0,24 $\pm$ 0,04	5,63 $\pm$ 0,63	0,0004 $\pm$ 0,0001	1,12 $\pm$ 0,19	0,001 $\pm$ 0,000	5,40 $\pm$ 0,67
VIX2 (n=8)	B	0,003 $\pm$ 0,001	1,70 $\pm$ 0,48	0,02 $\pm$ 0,01	0,26 $\pm$ 0,18	46,67 $\pm$ 10,32	0,0032 $\pm$ 0,0012	2,47 $\pm$ 0,55	0,001 $\pm$ 0,000	35,14 $\pm$ 8,63
	F	0,003 $\pm$ 0,001	4,71 $\pm$ 1,33	0,06 $\pm$ 0,05	0,41 $\pm$ 0,12	139,02 $\pm$ 23,43	0,012 $\pm$ 0,005	2,80 $\pm$ 0,53	0,0013 $\pm$ 0,0005	58,39 $\pm$ 10,71
	M	0,001 $\pm$ 0,000	1,18 $\pm$ 0,22	0,018 $\pm$ 0,011	0,18 $\pm$ 0,13	12,65 $\pm$ 5,74	0,0056 $\pm$ 0,0016	0,85 $\pm$ 0,16	0,002 $\pm$ 0,001	4,91 $\pm$ 0,63

Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Febrero 2019)

Ponto (n)	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
CA1 (n=7)	B	0,303 ± 0,073	4,33 ± 1,26	0,21 ± 0,04	0,24 ± 0,06	126,55 ± 25,52	0,0012 ± 0,0004	3,23 ± 0,62	0,014 ± 0,006	13,74 ± 2,14
	F	0,198 ± 0,031	5,05 ± 0,87	0,20 ± 0,09	0,64 ± 0,28	471,97 ± 197,97	0,006 ± 0,006	2,32 ± 0,30	0,0108 ± 0,0093	35,81 ± 5,59
	M	0,063 ± 0,012	0,96 ± 0,16	0,044 ± 0,007	0,05 ± 0,01	23,05 ± 4,87	0,0027 ± 0,0025	0,70 ± 0,08	0,008 ± 0,004	4,30 ± 0,64
CA2 (n=9)	B	0,100 ± 0,026	0,80 ± 0,13	0,34 ± 0,10	0,59 ± 0,14	110,78 ± 12,68	0,0008 ± 0,0001	5,13 ± 0,98	0,003 ± 0,000	10,59 ± 1,12
	F	0,036 ± 0,012	2,07 ± 0,51	0,24 ± 0,09	4,93 ± 1,26	907,71 ± 261,23	0,001 ± 0,000	3,81 ± 0,50	0,0074 ± 0,0018	19,17 ± 1,51
	M	0,042 ± 0,007	0,41 ± 0,08	0,268 ± 0,054	0,31 ± 0,08	37,15 ± 4,87	0,0036 ± 0,0020	1,11 ± 0,09	0,001 ± 0,000	1,19 ± 0,19
FRD1 (n=11)	B	0,008 ± 0,002	0,09 ± 0,06	0,02 ± 0,00	0,53 ± 0,06	234,80 ± 30,62	0,0013 ± 0,0002	8,41 ± 0,50	0,010 ± 0,004	7,62 ± 0,91
	F	0,012 ± 0,003	0,16 ± 0,04	0,02 ± 0,01	1,85 ± 0,12	73,45 ± 13,35	0,002 ± 0,000	6,40 ± 0,96	0,0132 ± 0,0061	20,38 ± 3,41
	M	0,002 ± 0,001	0,03 ± 0,01	0,007 ± 0,001	0,15 ± 0,02	6,31 ± 0,97	0,0005 ± 0,0001	1,63 ± 0,23	0,002 ± 0,000	1,97 ± 0,40
FRD6 (n=11)	B	0,086 ± 0,017	0,08 ± 0,02	0,04 ± 0,01	0,05 ± 0,02	96,13 ± 17,33	0,0019 ± 0,0003	3,63 ± 0,59	0,081 ± 0,035	10,89 ± 2,24
	F	0,093 ± 0,009	0,10 ± 0,02	0,05 ± 0,00	0,07 ± 0,01	313,51 ± 18,64	0,006 ± 0,001	4,64 ± 0,43	0,1073 ± 0,0224	19,06 ± 2,45
	M	0,034 ± 0,010	0,05 ± 0,02	0,017 ± 0,005	0,04 ± 0,02	28,60 ± 8,23	0,0016 ± 0,0002	1,69 ± 0,48	0,074 ± 0,035	5,16 ± 1,50
FRD8 (n=5)	B	1,669 ± 0,367	2,45 ± 0,14	1,23 ± 0,07	1,01 ± 0,15	51,56 ± 11,84	0,0008 ± 0,0001	4,12 ± 0,41	0,002 ± 0,001	13,33 ± 3,90

Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto (n)	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
	F	1,533 ± 0,169	2,73 ± 0,23	1,51 ± 0,13	1,62 ± 0,24	167,82 ± 6,94	0,001 ± 0,000	3,59 ± 0,39	0,0013 ± 0,0006	10,93 ± 1,64
	M	0,297 ± 0,065	0,59 ± 0,11	0,315 ± 0,041	0,22 ± 0,02	5,20 ± 1,36	0,0006 ± 0,0001	1,09 ± 0,21	0,0003 ± 0,0001	0,62 ± 0,07
FRD9 (n=14)	B	0,114 ± 0,028	0,33 ± 0,06	0,25 ± 0,05	0,21 ± 0,08	245,44 ± 75,09	0,0011 ± 0,0002	7,01 ± 1,08	0,051 ± 0,009	19,98 ± 5,90
	F	0,113 ± 0,026	0,31 ± 0,04	0,26 ± 0,05	0,09 ± 0,02	204,75 ± 56,86	0,002 ± 0,000	6,01 ± 0,76	0,0299 ± 0,0060	15,00 ± 2,83
	M	0,011 ± 0,002	0,06 ± 0,01	0,043 ± 0,005	0,04 ± 0,01	26,92 ± 6,05	0,0003 ± 0,0000	1,16 ± 0,13	0,082 ± 0,075	2,74 ± 0,67
FRD10 (n=12)	B	0,040 ± 0,009	0,11 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,28 ± 0,07	100,99 ± 17,25	0,0017 ± 0,0001	4,49 ± 0,29	0,024 ± 0,005	4,22 ± 0,71
	F	0,065 ± 0,018	0,13 ± 0,02	0,20 ± 0,04	0,48 ± 0,10	236,50 ± 40,37	0,012 ± 0,002	3,55 ± 0,36	0,0689 ± 0,0244	7,50 ± 1,39
	M	0,023 ± 0,006	0,08 ± 0,01	0,095 ± 0,018	0,17 ± 0,07	26,06 ± 8,32	0,0021 ± 0,0003	1,61 ± 0,27	0,041 ± 0,027	4,92 ± 0,89
DEG1 (n=8)	B	0,238 ± 0,131	0,11 ± 0,03	0,73 ± 0,27	0,37 ± 0,15	20,56 ± 3,71	0,0101 ± 0,0014	6,36 ± 1,27	0,042 ± 0,010	15,60 ± 3,70
	F	0,093 ± 0,028	0,11 ± 0,02	0,88 ± 0,50	1,95 ± 0,42	38,36 ± 8,10	0,077 ± 0,024	3,33 ± 0,53	0,1167 ± 0,0396	23,68 ± 2,94
	M	0,225 ± 0,178	0,06 ± 0,01	0,980 ± 0,673	0,06 ± 0,01	4,01 ± 0,96	0,0123 ± 0,0030	1,27 ± 0,21	0,030 ± 0,021	2,94 ± 0,69
DEG2 (n=12)	B	0,033 ± 0,010	0,10 ± 0,01	0,11 ± 0,03	0,26 ± 0,06	19,25 ± 4,87	0,0006 ± 0,0001	3,19 ± 0,31	0,016 ± 0,004	25,20 ± 2,46
	F	0,089 ± 0,028	0,11 ± 0,02	0,29 ± 0,08	1,51 ± 0,69	41,33 ± 7,70	0,001 ± 0,000	3,97 ± 0,44	0,0771 ± 0,0639	36,45 ± 5,30

Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto (n)	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
	M	0,011 ± 0,004	0,04 ± 0,01	0,108 ± 0,056	0,15 ± 0,07	2,04 ± 0,25	0,0002 ± 0,0000	0,78 ± 0,12	0,004 ± 0,001	4,11 ± 1,06
	B	0,009 ± 0,005	0,07 ± 0,02	0,05 ± 0,03	0,08 ± 0,02	32,71 ± 8,15	0,0030 ± 0,0006	3,51 ± 0,41	0,020 ± 0,007	12,83 ± 1,60
ITA1 (n=7)	F	0,056 ± 0,018	0,10 ± 0,02	0,20 ± 0,04	0,87 ± 0,25	36,75 ± 12,36	0,012 ± 0,002	2,85 ± 0,48	0,0276 ± 0,0099	22,55 ± 4,26
	M	0,009 ± 0,004	0,03 ± 0,01	0,133 ± 0,066	0,08 ± 0,01	18,98 ± 14,60	0,0035 ± 0,0009	0,64 ± 0,08	0,007 ± 0,003	4,30 ± 1,88

(\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

Tabela 91: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras de peixes (grupo II; carnívoros) coletados nas estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados foram expressos em média ± erro padrão.

Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto (n)	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
GUA1 (n=3)	B	0,075 ± 0,032	3,93 ± 1,38	0,19 ± 0,07	0,84 ± 0,33	56,20 ± 19,97	0,003 ± 0,001	3,93 ± 0,77	0,001 ± 0,001	22,91 ± 6,60
	F	0,008 ± 0,001	4,31 ± 1,40	0,20 ± 0,09	1,74 ± 0,96	113,97 ± 10,79	0,012 ± 0,002	3,09 ± 0,89	0,001 ± 0,000	31,32 ± 1,28
	M	0,059 ± 0,029	1,56 ± 0,19	0,14 ± 0,06	0,17 ± 0,04	15,85 ± 4,75	0,003 ± 0,001	1,19 ± 0,09	0,0004 ± 0,0001	17,20 ± 6,98
GUA2 (n=9)	B	0,005 ± 0,002	8,75 ± 1,18	0,01 ± 0,00	0,12 ± 0,03	213,53 ± 54,85	0,002 ± 0,000	4,83 ± 0,43	0,007 ± 0,004	21,79 ± 2,73
	F	0,003 ± 0,001	7,30 ± 1,45	0,01 ± 0,00	0,27 ± 0,08	119,35 ± 17,79	0,006 ± 0,001	3,26 ± 0,59	0,002 ± 0,001	38,15 ± 5,30
	M	0,002 ± 0,001	2,21 ± 0,36	0,004 ± 0,001	0,02 ± 0,00	29,66 ± 6,82	0,001 ± 0,000	1,07 ± 0,15	0,0018 ± 0,0005	5,90 ± 0,67
VIX1 (n=9)	B	0,017 ± 0,009	3,75 ± 0,84	0,47 ± 0,11	1,26 ± 0,32	37,07 ± 4,30	0,002 ± 0,001	3,01 ± 0,52	0,001 ± 0,000	18,47 ± 0,75
	F	0,024 ± 0,017	3,60 ± 1,30	0,54 ± 0,19	1,49 ± 0,46	67,99 ± 6,85	0,006 ± 0,001	2,13 ± 0,45	0,002 ± 0,001	21,75 ± 3,94
	M	0,005 ± 0,002	1,58 ± 0,14	0,24 ± 0,02	2,36 ± 0,78	3,58 ± 0,77	0,002 ± 0,000	0,63 ± 0,07	0,0008 ± 0,0003	3,82 ± 0,33
VIX2 (n=19)	B	0,006 ± 0,001	2,02 ± 0,21	0,12 ± 0,04	1,36 ± 0,45	57,73 ± 6,53	0,002 ± 0,000	3,90 ± 0,42	0,002 ± 0,001	31,20 ± 3,27

Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto (n)	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
	F	0,005 ± 0,001	3,65 ± 0,38	0,16 ± 0,06	1,27 ± 0,39	143,10 ± 23,72	0,015 ± 0,006	2,78 ± 0,26	0,002 ± 0,001	52,00 ± 4,83
	M	0,003 ± 0,001	0,88 ± 0,07	0,06 ± 0,01	0,78 ± 0,17	9,66 ± 2,37	0,004 ± 0,001	0,70 ± 0,06	0,0019 ± 0,0005	5,71 ± 0,36
CA1 (n=17)	B	0,038 ± 0,010	2,84 ± 0,43	0,20 ± 0,03	0,26 ± 0,06	126,14 ± 18,40	0,003 ± 0,000	3,98 ± 0,41	0,252 ± 0,171	15,03 ± 2,08
	F	0,069 ± 0,029	3,22 ± 0,55	0,18 ± 0,03	4,80 ± 1,32	289,06 ± 31,23	0,007 ± 0,002	2,64 ± 0,34	0,078 ± 0,020	25,02 ± 3,56
	M	0,026 ± 0,006	1,41 ± 0,13	0,13 ± 0,02	0,05 ± 0,01	20,41 ± 2,93	0,007 ± 0,001	0,89 ± 0,07	0,0333 ± 0,0053	5,06 ± 0,46
CA2 (n=17)	B	0,608 ± 0,121	0,67 ± 0,12	0,34 ± 0,07	0,41 ± 0,07	46,89 ± 6,84	0,002 ± 0,000	6,86 ± 1,04	0,005 ± 0,001	4,96 ± 0,61
	F	0,281 ± 0,062	1,89 ± 0,52	0,20 ± 0,03	1,57 ± 0,35	197,79 ± 18,92	0,002 ± 0,000	3,68 ± 0,45	0,006 ± 0,002	3,84 ± 0,69
	M	0,072 ± 0,017	0,30 ± 0,05	0,06 ± 0,01	0,14 ± 0,03	4,79 ± 0,51	0,001 ± 0,000	1,15 ± 0,13	0,0023 ± 0,0009	1,29 ± 0,21
FRD1 (n=12)	B	0,286 ± 0,093	0,81 ± 0,27	0,45 ± 0,14	0,45 ± 0,08	154,70 ± 24,10	0,001 ± 0,000	2,99 ± 0,21	0,002 ± 0,001	16,18 ± 3,01
	F	0,553 ± 0,180	1,21 ± 0,14	0,37 ± 0,11	3,08 ± 0,56	51,21 ± 8,39	0,002 ± 0,000	1,60 ± 0,10	0,004 ± 0,002	27,94 ± 5,60
	M	0,059 ± 0,020	0,24 ± 0,08	0,13 ± 0,04	0,11 ± 0,01	2,97 ± 0,66	0,001 ± 0,000	0,76 ± 0,09	0,0010 ± 0,0003	1,89 ± 0,40
FRD3 (n=9)	B	0,077 ± 0,023	0,13 ± 0,02	0,22 ± 0,04	0,18 ± 0,04	85,82 ± 17,31	0,002 ± 0,001	4,53 ± 0,59	0,034 ± 0,009	17,07 ± 7,63
	F	0,114 ± 0,051	0,13 ± 0,04	0,26 ± 0,07	0,62 ± 0,24	241,92 ± 49,79	0,008 ± 0,002	3,32 ± 0,59	0,031 ± 0,010	17,80 ± 5,39
	M	0,011 ± 0,005	0,05 ± 0,02	0,06 ± 0,02	0,07 ± 0,02	8,00 ± 1,27	0,002 ± 0,000	0,86 ± 0,21	0,0040 ± 0,0011	2,03 ± 0,44
FRD6 (n=11)	B	0,061 ± 0,018	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,00	126,48 ± 18,16	0,002 ± 0,000	2,83 ± 0,56	0,025 ± 0,006	8,26 ± 1,34
	F	0,065 ± 0,018	0,15 ± 0,09	0,04 ± 0,01	0,13 ± 0,09	252,85 ± 25,57	0,021 ± 0,009	3,45 ± 0,85	0,055 ± 0,021	21,34 ± 1,67
	M	0,011 ± 0,002	0,01 ± 0,00	0,007 ± 0,001	0,02 ± 0,01	23,28 ± 5,55	0,004 ± 0,001	0,74 ± 0,09	0,0175 ± 0,0032	1,83 ± 0,29
FRD8 (n=19)	B	2,789 ± 0,895	4,99 ± 0,90	2,44 ± 0,47	2,65 ± 0,65	65,40 ± 9,05	0,002 ± 0,000	6,28 ± 0,55	0,009 ± 0,006	26,65 ± 7,67
	F	1,565 ± 0,382	2,57 ± 0,34	1,31 ± 0,16	1,65 ± 0,15	210,85 ± 21,76	0,006 ± 0,002	4,01 ± 0,48	0,014 ± 0,007	21,86 ± 2,25
	M	0,132 ± 0,025	0,39 ± 0,05	0,21 ± 0,02	0,16 ± 0,02	4,30 ± 0,72	0,002 ± 0,000	0,74 ± 0,06	0,0008 ± 0,0002	1,77 ± 0,27

Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto (n)	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
FRD9 (n=8)	B	0,041 ± 0,005	0,16 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,03 ± 0,01	298,95 ± 142,03	0,0005 ± 0,0001	3,25 ± 0,40	0,020 ± 0,003	2,56 ± 0,76
	F	0,023 ± 0,003	0,09 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,04 ± 0,02	417,19 ± 90,10	0,001 ± 0,000	1,81 ± 0,27	0,012 ± 0,002	3,15 ± 0,58
	M	0,008 ± 0,001	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,01 ± 0,00	37,92 ± 17,48	0,0002 ± 0,0000	0,60 ± 0,11	0,0038 ± 0,0007	0,84 ± 0,26
FRD10 (n=6)	B	0,130 ± 0,024	0,22 ± 0,02	0,33 ± 0,04	0,37 ± 0,06	74,13 ± 18,45	0,004 ± 0,003	6,55 ± 0,27	0,039 ± 0,013	1,84 ± 0,63
	F	0,115 ± 0,034	0,20 ± 0,03	0,35 ± 0,05	0,72 ± 0,26	96,40 ± 11,15	0,005 ± 0,000	4,45 ± 0,47	0,051 ± 0,035	5,55 ± 1,73
	M	0,015 ± 0,003	0,08 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,14 ± 0,06	11,29 ± 2,82	0,002 ± 0,000	1,25 ± 0,17	0,0640 ± 0,0523	4,37 ± 0,73
DEG1 (n=10)	B	0,120 ± 0,033	0,08 ± 0,01	0,63 ± 0,10	0,31 ± 0,06	12,46 ± 1,82	0,014 ± 0,002	4,45 ± 0,89	0,018 ± 0,004	17,58 ± 1,72
	F	0,062 ± 0,029	0,13 ± 0,03	0,42 ± 0,16	5,46 ± 0,96	27,54 ± 7,12	0,076 ± 0,032	2,85 ± 0,38	0,050 ± 0,014	28,94 ± 3,34
	M	0,025 ± 0,006	0,05 ± 0,00	0,23 ± 0,04	0,07 ± 0,03	3,81 ± 0,59	0,040 ± 0,011	1,21 ± 0,14	0,0139 ± 0,0075	1,55 ± 0,32
DEG2 (n=15)	B	0,077 ± 0,037	0,08 ± 0,01	0,28 ± 0,10	0,27 ± 0,08	9,95 ± 1,39	0,001 ± 0,000	3,58 ± 0,64	0,019 ± 0,005	19,00 ± 4,79
	F	0,019 ± 0,010	0,11 ± 0,02	0,08 ± 0,02	1,42 ± 0,33	22,76 ± 3,69	0,001 ± 0,000	2,46 ± 0,36	0,038 ± 0,010	26,53 ± 2,92
	M	0,014 ± 0,007	0,03 ± 0,00	0,15 ± 0,06	0,06 ± 0,02	3,16 ± 1,22	0,0002 ± 0,0000	0,68 ± 0,06	0,0110 ± 0,0041	3,18 ± 0,43
BN2 (n=12)	B	0,070 ± 0,026	0,11 ± 0,03	0,32 ± 0,13	0,17 ± 0,05	11,69 ± 0,83	0,015 ± 0,004	5,33 ± 1,25	0,034 ± 0,015	71,52 ± 21,62
	F	0,035 ± 0,018	0,12 ± 0,02	0,16 ± 0,04	1,52 ± 0,52	20,00 ± 3,18	0,050 ± 0,020	3,40 ± 0,64	0,018 ± 0,008	33,11 ± 6,84
	M	0,013 ± 0,005	0,05 ± 0,01	0,12 ± 0,04	0,12 ± 0,05	2,41 ± 0,33	0,010 ± 0,003	0,96 ± 0,09	0,0071 ± 0,0017	3,24 ± 0,53
ITA1 (n=12)	B	0,029 ± 0,011	0,06 ± 0,01	0,18 ± 0,06	0,17 ± 0,02	22,33 ± 4,80	0,007 ± 0,001	2,49 ± 0,24	0,030 ± 0,008	10,94 ± 1,22
	F	0,062 ± 0,031	0,40 ± 0,10	0,16 ± 0,05	1,00 ± 0,24	94,33 ± 26,95	0,074 ± 0,034	2,79 ± 0,58	0,015 ± 0,003	21,20 ± 2,76
	M	0,006 ± 0,002	0,04 ± 0,01	0,05 ± 0,02	0,05 ± 0,01	4,17 ± 0,88	0,010 ± 0,002	0,71 ± 0,14	0,0046 ± 0,0008	2,28 ± 0,39

(\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

De acordo com as tabelas apresentadas acima, a concentração dos elementos As, Pb, Cd e Hg nos peixes (músculo; grupo I e II) foram confrontadas com os limites máximos de contaminantes inorgânicos

em alimentos estabelecidos pela Resolução - RDC N° 42, de 29 de Agosto de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Em resumo, podemos observar que:

- A concentração de As no músculo dos dois grupos de peixes amostrados ultrapassou o limite estabelecido pela ANVISA na campanha 1. Peixes do grupo I, onívoros/herbívoros de nível trófico mais baixo, tiveram concentrações elevadas de As nas estações amostrais CA2 ( $1,81 \pm 0,59$ ), FRD1 ( $1,95 \pm 1,14$ ) e FRD3 ( $2,00 \pm 1,03$ ) (Figura 230). No caso dos peixes do grupo II, de maior nível trófico, concentrações de As, acima do permitido, foram encontrados na estação amostral CA2 ( $2,02 \pm 1,38$ ) (Figura 231).

Figura 230: Concentração de Arsênio (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo I coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de Arsênio (1,0 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce.

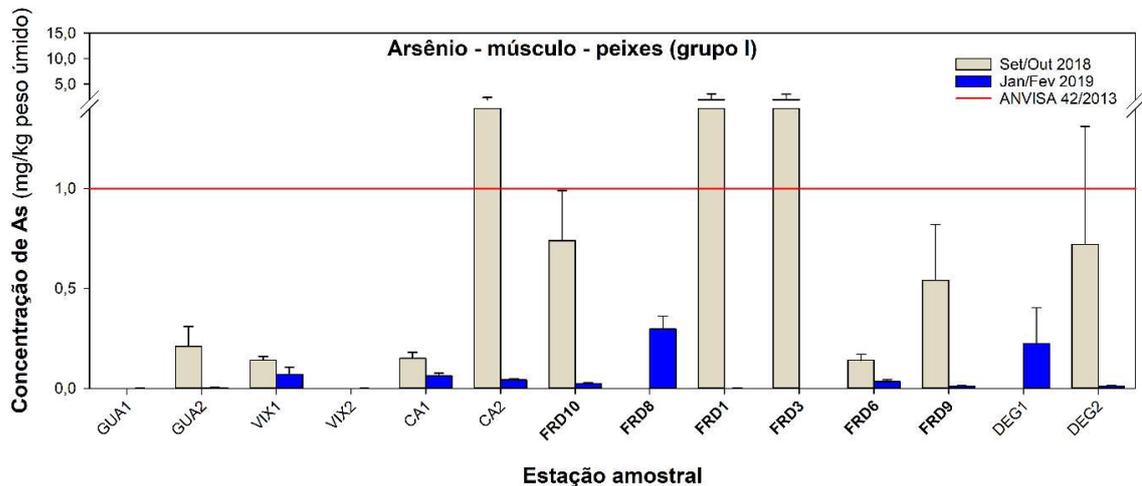
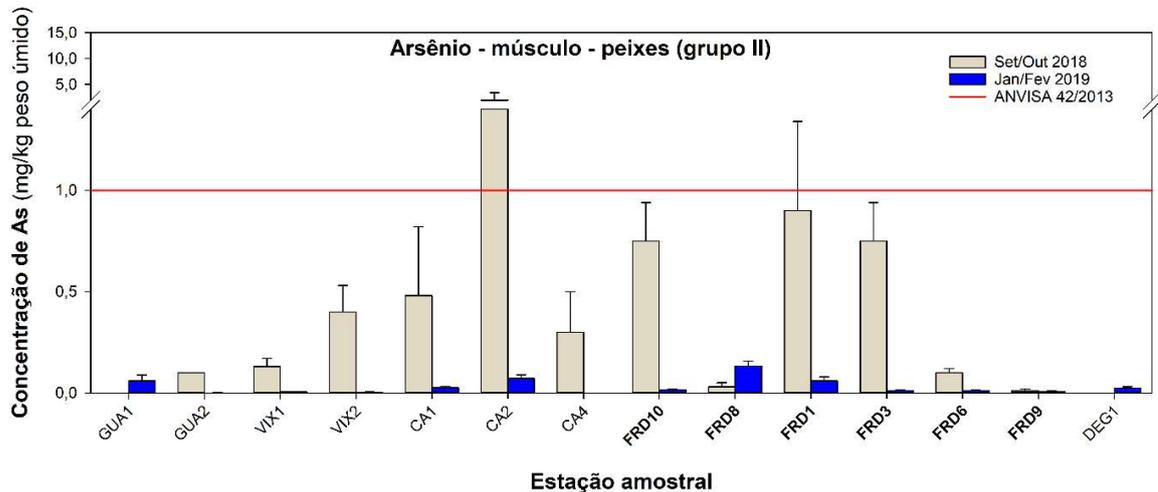


Figura 231: Concentração de arsênio (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo II coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de Arsênio (1,0 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce.



- As concentrações de Cd no músculo dos peixes ultrapassou os limites máximos estabelecidos pela ANVISA em diversas estações amostrais nas duas campanhas marinhas e nos dois grupos de peixes. Para peixes do grupo I, na campanha 1, os valores de cádmio foram maiores nas estações amostrais FRD1 ( $0,28 \pm 0,07$ ), FRD3 ( $0,33 \pm 0,08$ ) e DEG2 ( $1,02 \pm 0,24$ ), e, na campanha 2, as estações amostrais foram GUA1 ( $1,15 \pm 0,27$ ), GUA2 ( $1,59 \pm 0,25$ ), VIX1 ( $2,09 \pm 0,36$ ), VIX2 ( $1,18 \pm 0,22$ ), CA1 ( $0,96 \pm 0,16$ ), CA2 ( $0,41 \pm 0,08$ ) e FRD8 ( $0,59 \pm 0,11$ ) (Figura 232). No caso dos peixes do grupo II, as maiores concentrações de Cd na campanha 1 ocorreram nas estações amostrais VIX1 ( $1,59 \pm 0,38$ ), VIX2 ( $1,21 \pm 0,52$ ), CA4 ( $0,4 \pm 0,29$ ), FRD10 ( $0,42 \pm 0,07$ ), FRD8 ( $0,66 \pm 0,17$ ), FRD3 ( $0,23 \pm 0,06$ ) e FRD6 ( $0,15 \pm 0,02$ ). Na campanha 2, concentrações de Cd acima do permitido foram detectadas em GUA1 ( $1,56 \pm 0,01$ ), GUA2 ( $2,21 \pm 0,36$ ), VIX1 ( $1,58 \pm 0,14$ ), VIX2 ( $0,88 \pm 0,07$ ), CA1 ( $1,41 \pm 0,13$ ), CA2 ( $0,30 \pm 0,05$ ), FRD8 ( $0,39 \pm 0,05$ ) e FRD1 ( $0,24 \pm 0,08$ ) (Figura 233).

Figura 232: Concentração de cádmio (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo I coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de Cádmio (0,10 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce.

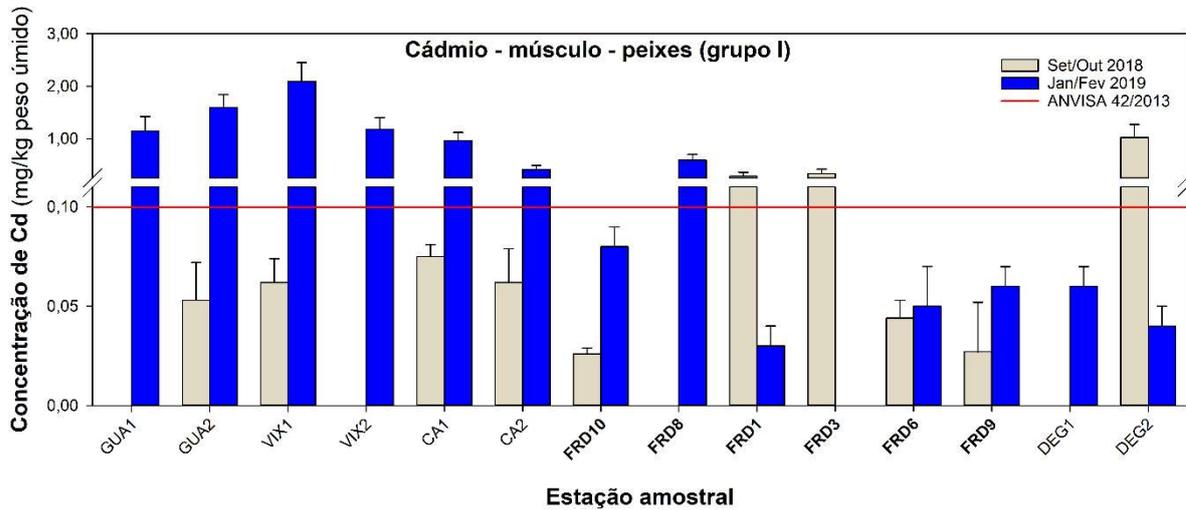
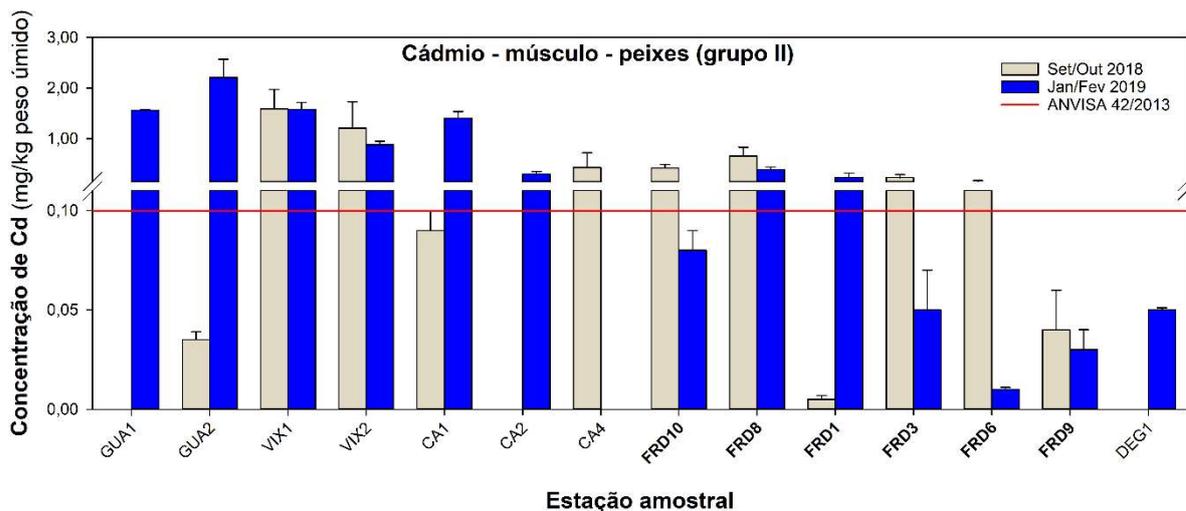


Figura 233: Concentração de cádmio (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo II coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de Cádmio (0,10 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce.



- A concentração de Hg no músculo dos peixes (grupo I e grupo II) não ultrapassou o limite máximo da ANVISA em nenhuma estação amostral durante as campanhas marinhas 1 e 2 (Figura 234 e Figura 235).

Figura 234: Concentração de mercúrio (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo I coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de mercúrio (0,50 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce.

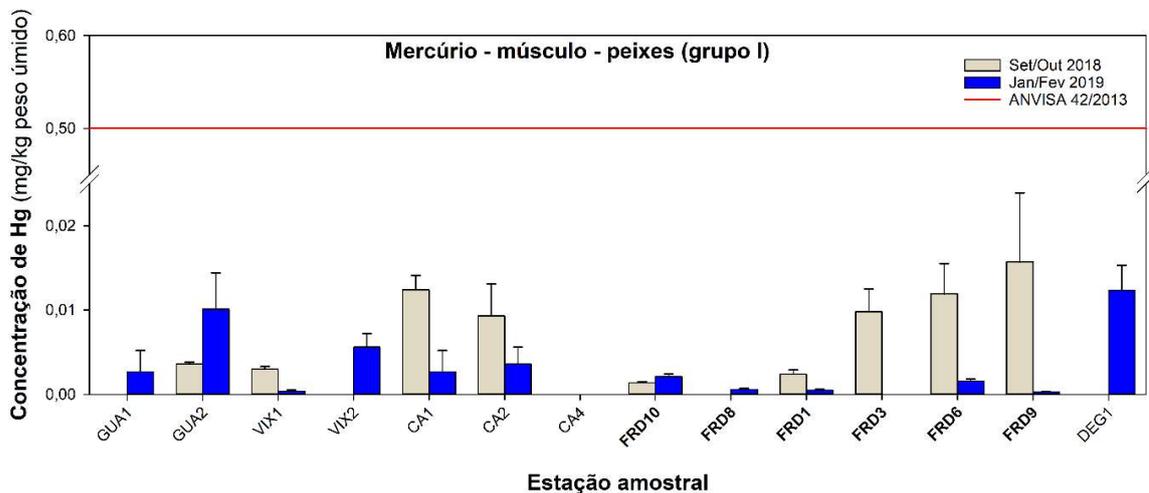
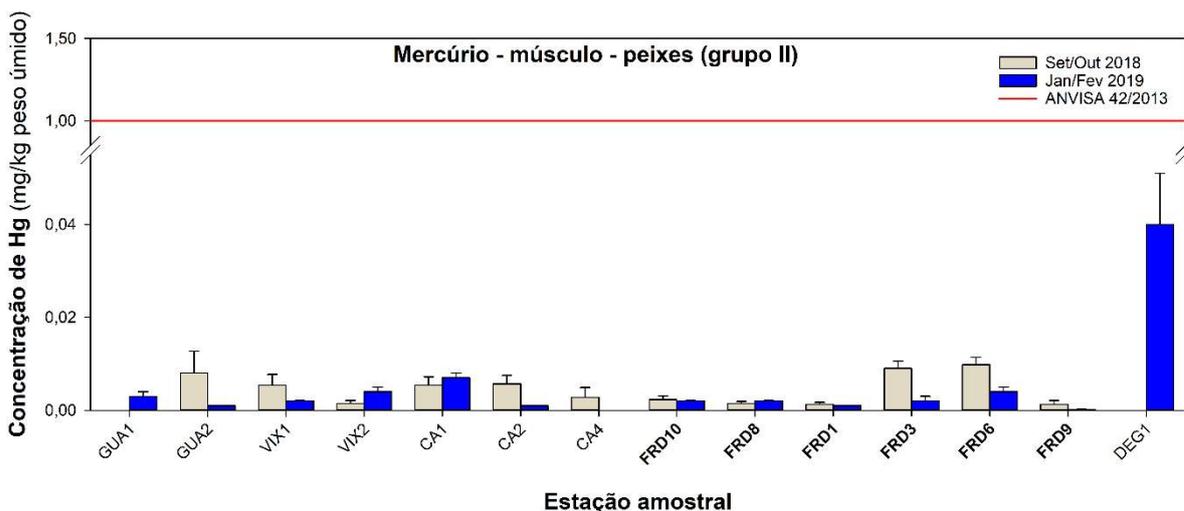


Figura 235: Concentração de mercúrio (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo II coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de mercúrio (0,50 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce.



- A concentração de Pb no músculo dos peixes (grupo I e grupo II) não ultrapassou o limite máximo da ANVISA em nenhuma estação amostral durante as campanhas marinhas 1 e 2 (Figura 236 e Figura 237).

Figura 236: Concentração de chumbo (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo I coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de chumbo (0,30 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce.

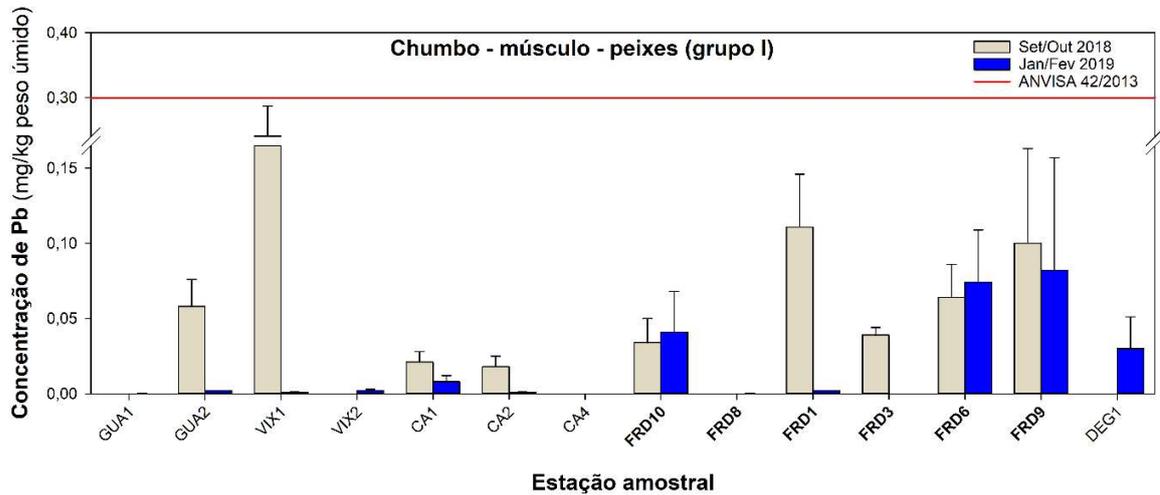
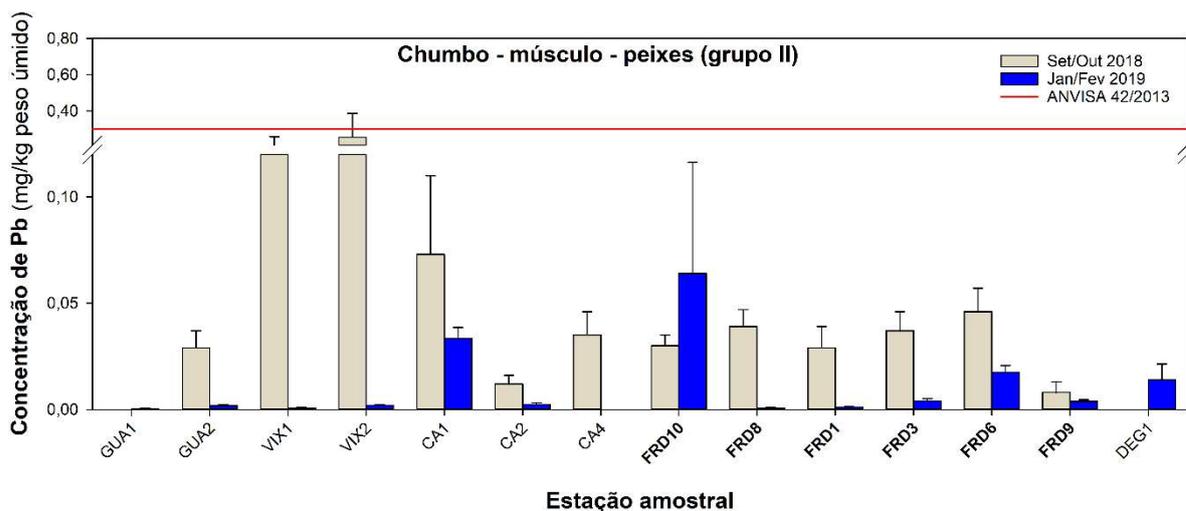


Figura 237: Concentração de chumbo (mg/kg peso úmido) na amostra de músculo de peixes grupo II coletadas nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha indica o valor limite de chumbo (0,30 mg/kg peso úmido) permitido pela Resolução 42 de 2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para alimentos de consumo humano. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce.



A PCA realizada com os dados de metais nos tecidos de peixes categorizados no grupo trófico I, coletados ao longo das estações amostrais (que variam por campanha) e categorizados em localidades GUA [Guarapari]; VIX [Vitória]; CA [Costa das Algas]; FRD [Foz do Rio Doce]; DEG [Degredo]; BN

[Barra Nova]; e ITA [Itaúnas] nas duas campanhas marinhas resumiu 51,72% da variabilidade nos dois primeiros componentes (Figura 238; Tabela 92; Figura 239). Com exceção do Fe e do Cd, todos os metais se agruparam no setor positivo do PC1, que por sua vez se associou, principalmente, à expedição 1 (símbolos cinzas, indicativos de resultados provenientes da primeira campanha, se agruparam preferencialmente no setor positivo do PC1).

Figura 238: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados dos elementos As, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn nos tecidos (brânquia [b], fígado [f] e músculo[m]) dos peixes grupo trófico I. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1;CA2]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1,FRD3;FRD6;FRD8,FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) e amostrados na campanha 1 (Exp1; símbolos cinzas) e campanha 2 (Exp2; símbolos azuis).

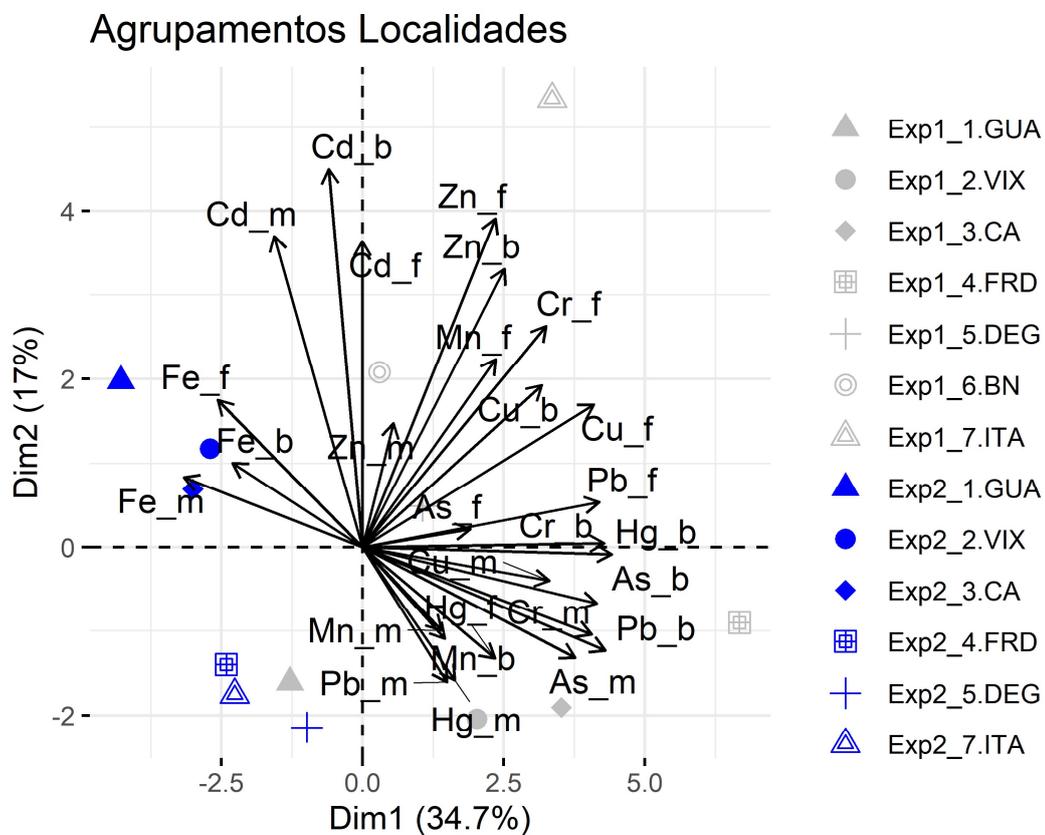


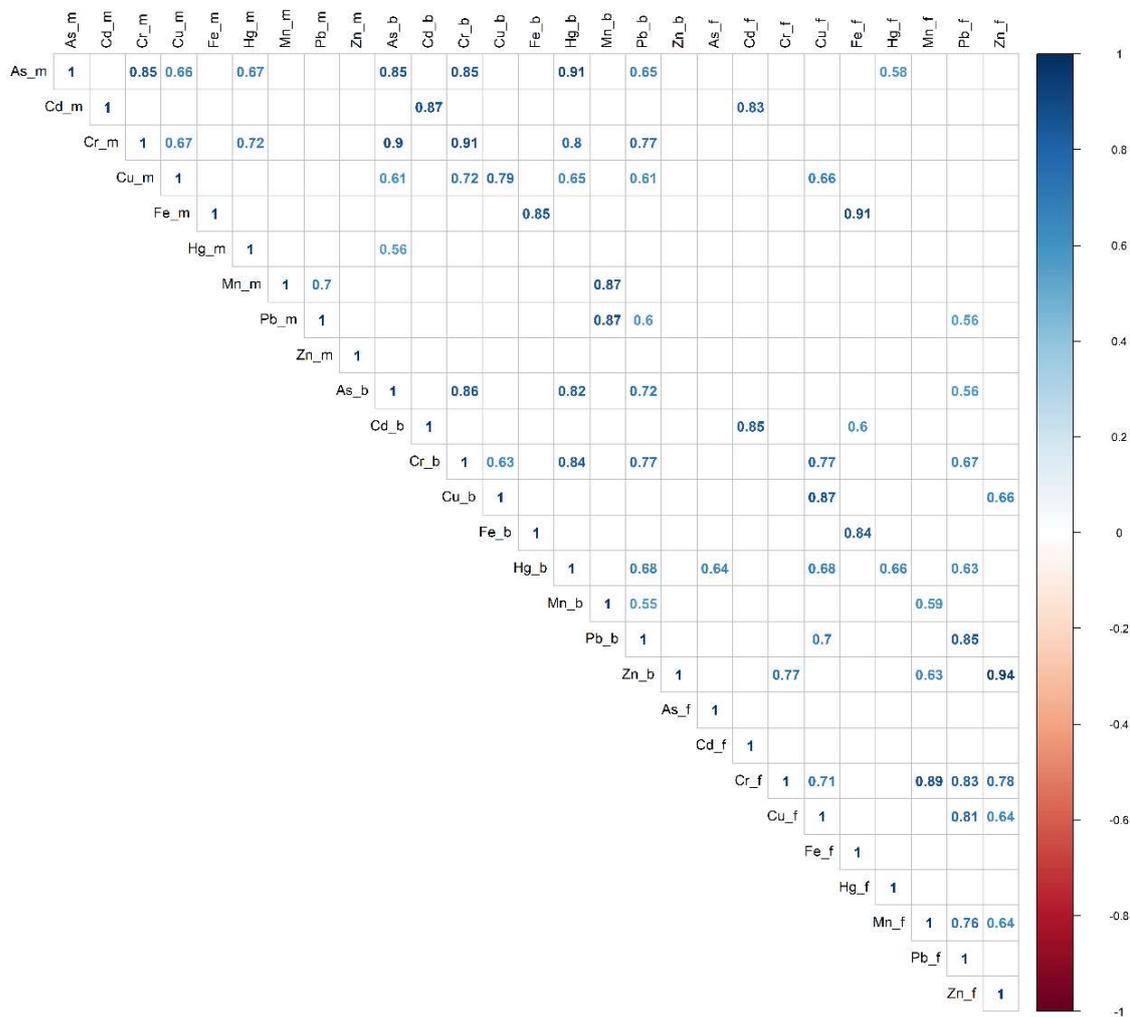
Tabela 92: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 238.

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.1	9,37	34,70	34,70
Dim.2	4,60	17,03	51,72
Dim.3	4,32	16,01	67,73
Dim.4	2,50	9,26	76,99
Dim.5	2,29	8,49	85,48
Dim.6	1,30	4,83	90,31
Dim.7	0,87	3,22	93,52

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.8	0,61	2,27	95,80
Dim.9	0,45	1,67	97,47
Dim.10	0,44	1,62	99,09
Dim.11	0,17	0,62	99,70
Dim.12	0,08	0,30	100,00

Figura 239: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais nos peixes grupo trófico I (brânquias [b], fígado [f] e músculo [m]). Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho.

Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas.



O Hg, Pb e o Cr, na brânquia dos peixes do grupo I, foram as variáveis que mais contribuíram para o PC1 (Figura 240). E as médias desses metais foram maiores na localidade FRD (Figura 241).

Figura 240: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

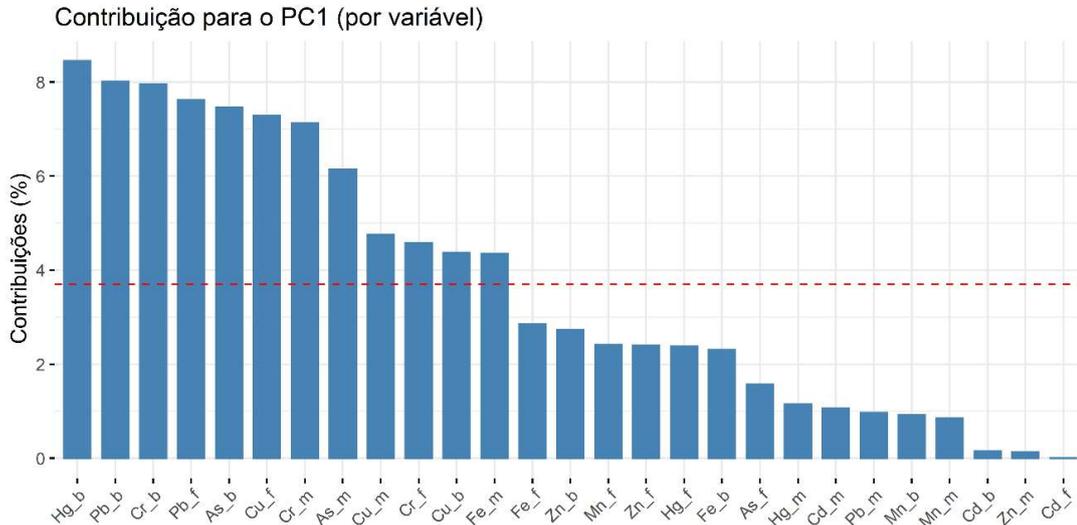
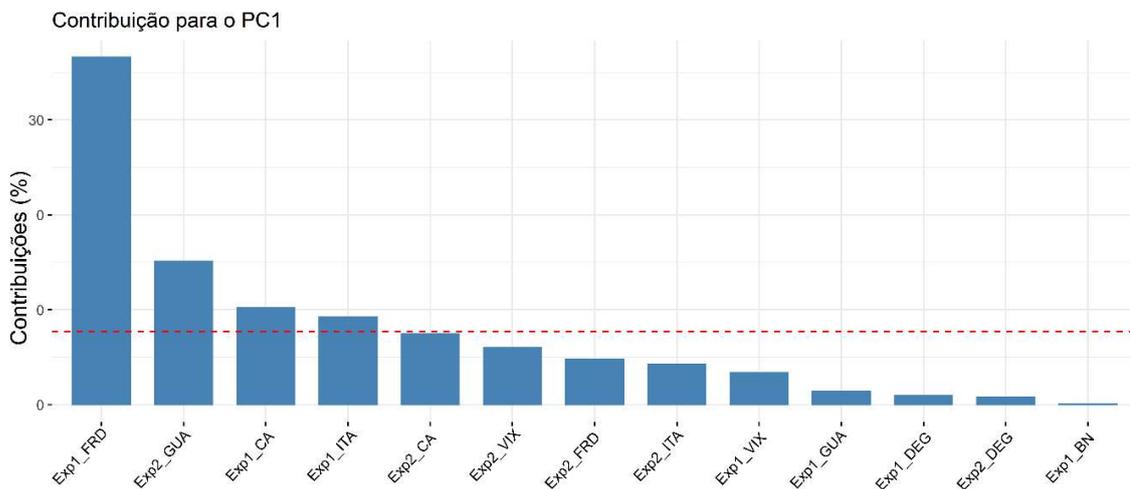


Figura 241: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/13 = 7,6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



No caso do PC2, os metais que mais contribuíram foram Cd e Zn na brânquia e fígado dos peixes categorizados no grupo I (Figura 242). E as médias desses metais foram maiores na localidade de ITA (Figura 243).

Figura 242: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

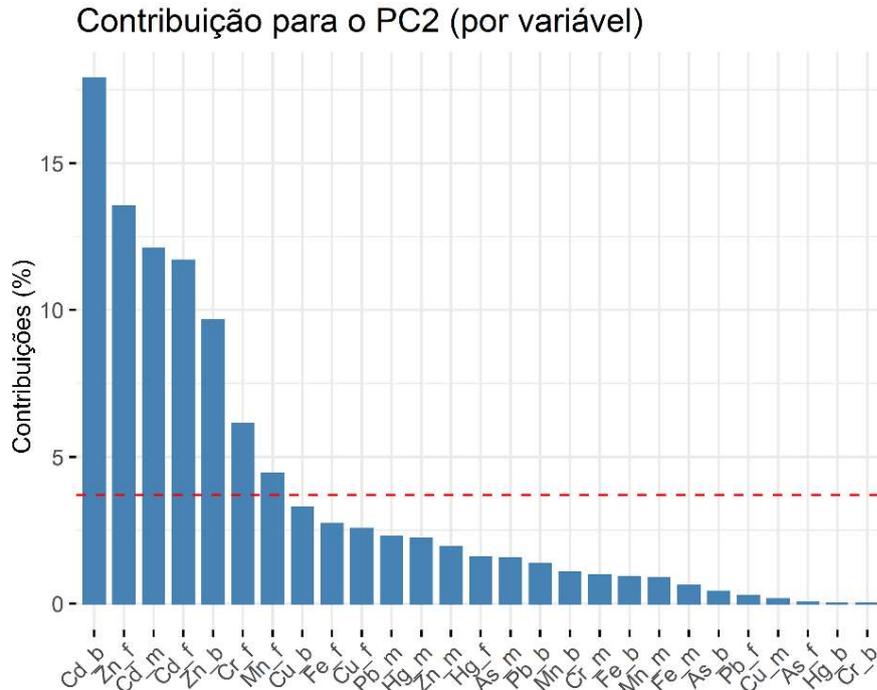


Figura 243: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/13 = 7,6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

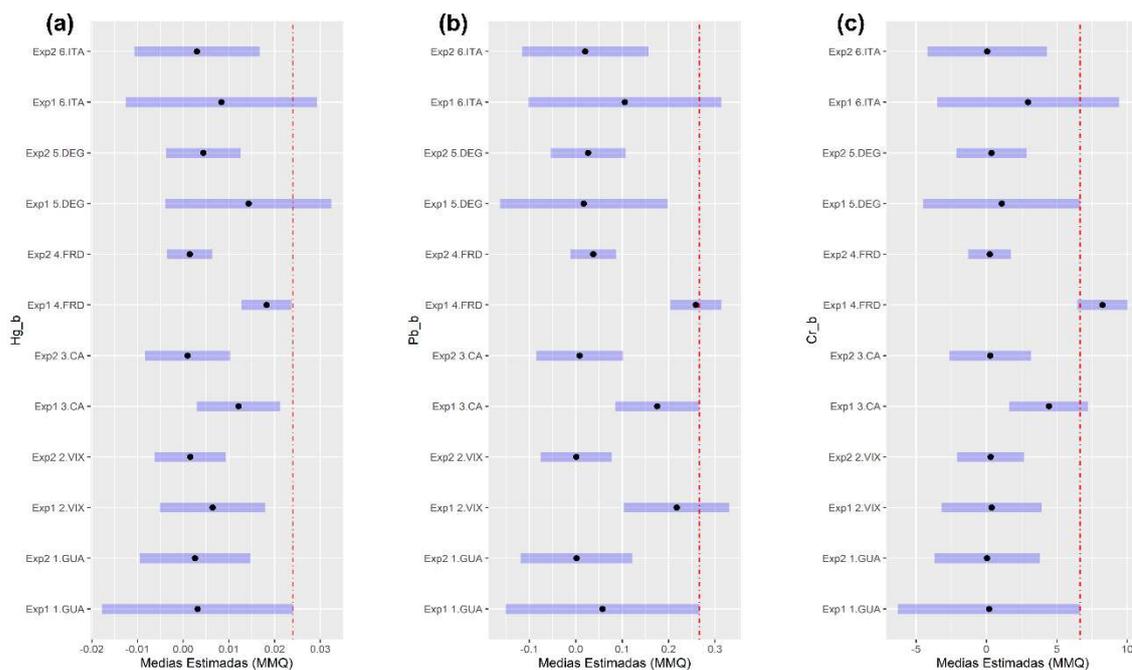


O componente principal 1 se associou, principalmente, à variabilidade temporal, um vez que o principal padrão observado é entre os resultados obtidos na primeira campanha que se agrupam no setor positivo do PC1, com concentrações crescentes dos níveis de metais, e os resultados obtidos, na

segunda campanha, que se agrupam no setor negativo do PC1, onde também se congruem crescentes níveis de Fe nos tecidos avaliados (Figura 238).

Uma vez que as concentrações Hg, Pb e Cr na brânquia dos peixes do grupo I foram as variáveis que mais se destacaram na PCA, análises univariadas foram aplicadas. O Hg e o Pb variaram significativamente apenas entre expedições, apresentando níveis muito maiores durante a campanha 1. Esse comportamento sugere que o PC1 está relacionado a sazonalidade, pois basicamente separa as duas expedições em cada lado do seu eixo. O Cr, por sua vez, apesar de também apresentar maiores concentrações na expedição 1, responde a variação espacial com níveis estatisticamente mais altos ( $p < 0.05$ , Figura 244) em FRD.

Figura 244: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para mercúrio (a), chumbo (b) e cromo (c) presentes nas amostras de brânquia (b) peixes do grupo I. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os seis níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.



Uma vez que o Fe e o Cd foram os únicos metais que se comportaram de maneira diferente dos demais, com vetores em direção do lado negativo do PC1, e considerando a importância do Fe na caracterização do evento, análises univariadas, também, foram aplicadas a eles. O Cd variou significativamente entre expedições, apresentando níveis muito maiores durante a campanha, 1 em ITA e DEG, e na campanha 2 em CA, VIX e GUA. No caso do Fe, variou significativamente apenas na campanha 2, com concentrações significativamente maiores nas localidades de GUA (brânquia, fígado e músculo), FRD (brânquia) e CA (fígado) (Figura 245 e Figura 246).

Figura 245: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para cádmio (a) e ferro (b) presentes nas amostras de brânquia (b) peixes do grupo I. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os seis níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.

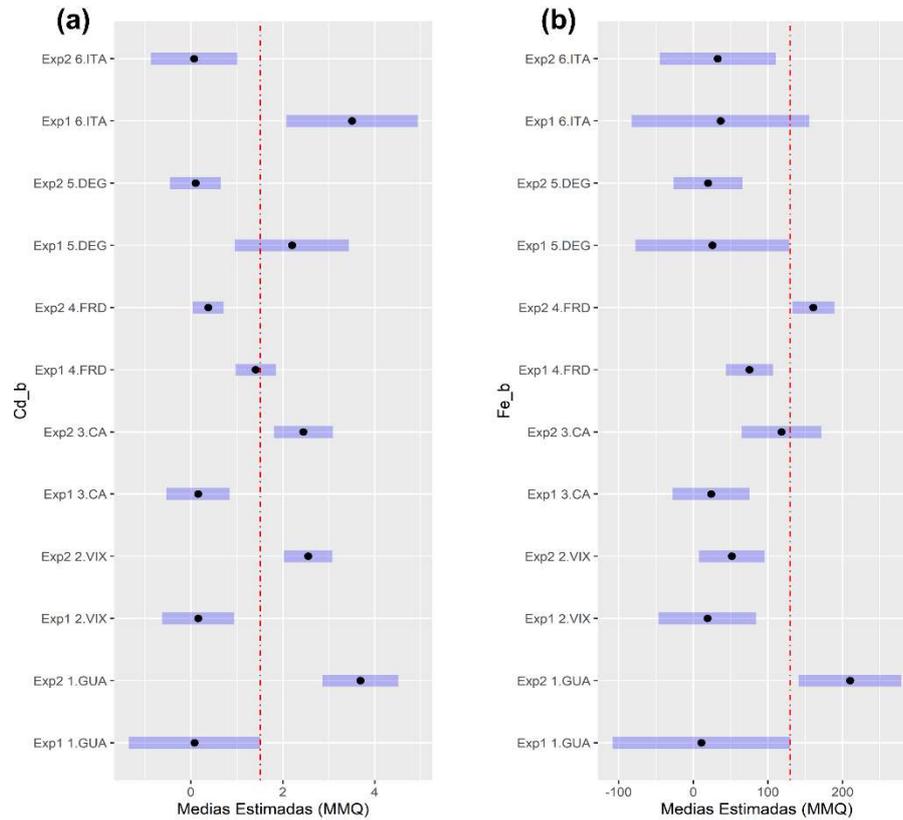
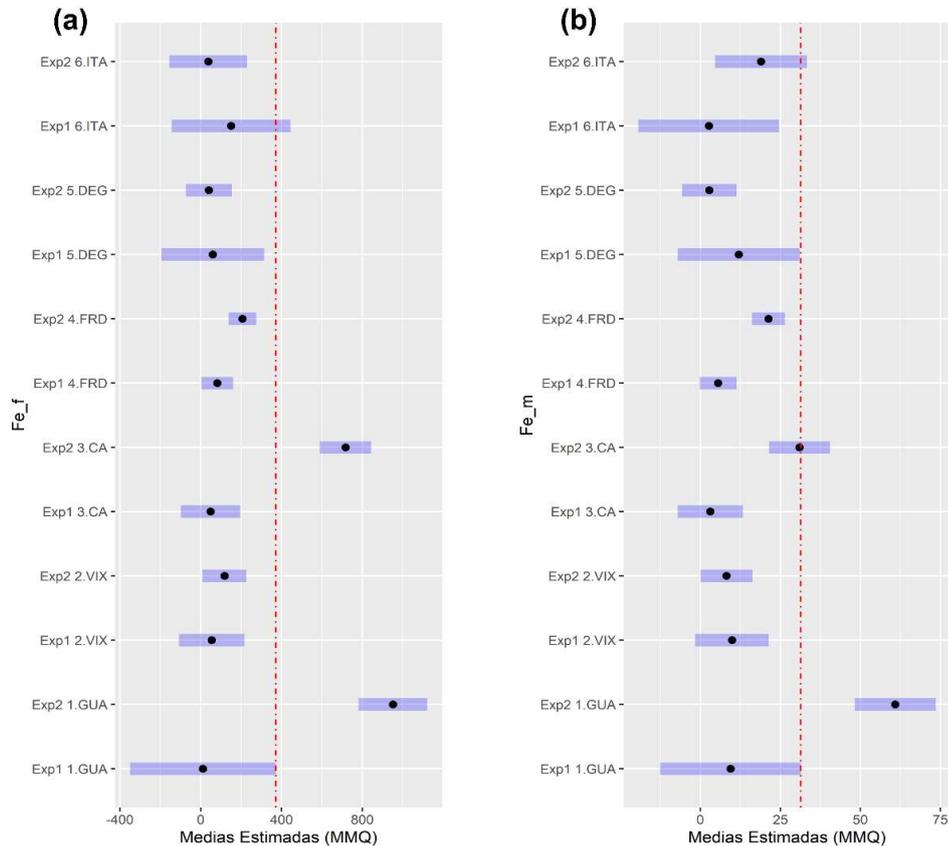


Figura 246: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para ferro nas amostras de fígado (f) e músculo (m) dos peixes do grupo I. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os seis níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.



A PCA realizada com os dados de metais nos tecidos de peixes categorizados no grupo trófico II, coletados, ao longo de 11 estações amostrais (que variam por campanha), e categorizados em localidades (VIX [Vitória]; CA [Costa das Algas]; FRD [Foz do Rio Doce]; DEG [Degredo]; e ITA [Itaúnas] nas duas campanhas marinhas resumiu 68.8% da variabilidade nos dois primeiros componentes (Figura 247; Tabela 93; Figura 248).

Figura 247: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados dos elementos As, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn nos tecidos (brânquia [b], fígado [f] e músculo [m]) dos peixes grupo trófico II. Os símbolos representam os indivíduos/fatores utilizados na análise, categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1;CA2]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1,FRD3;FRD6;FRD8,FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) amostrados durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2).

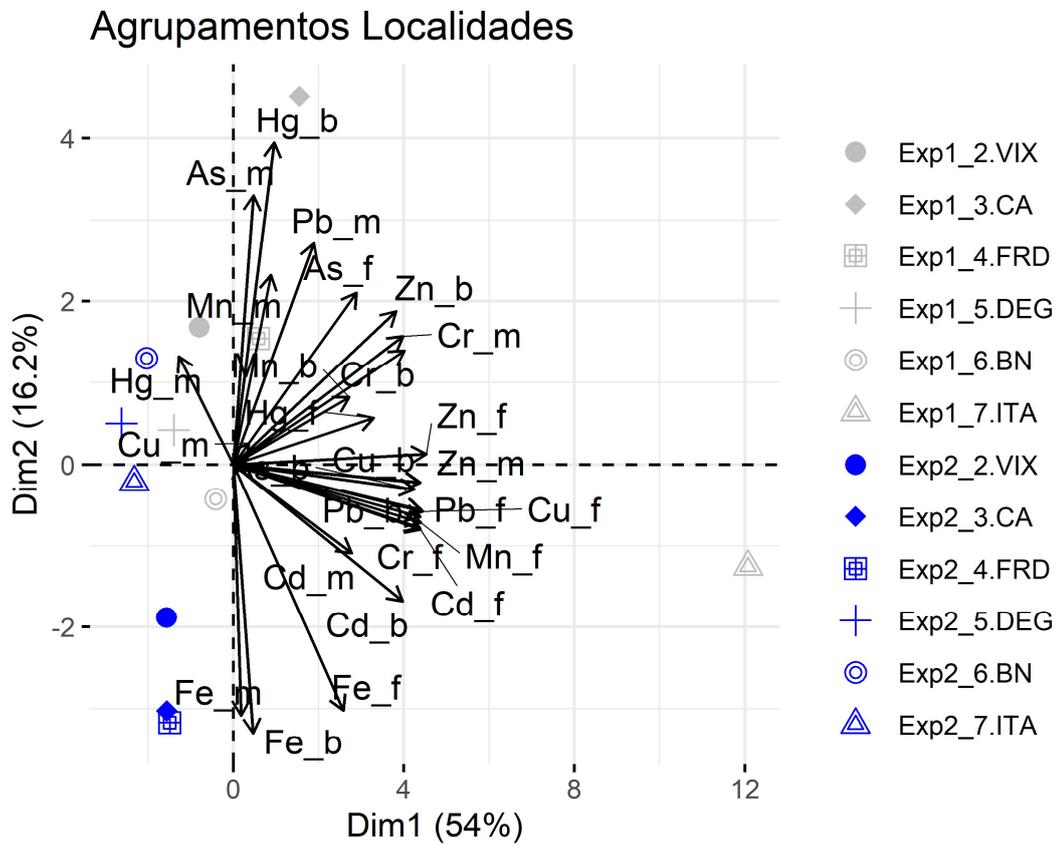
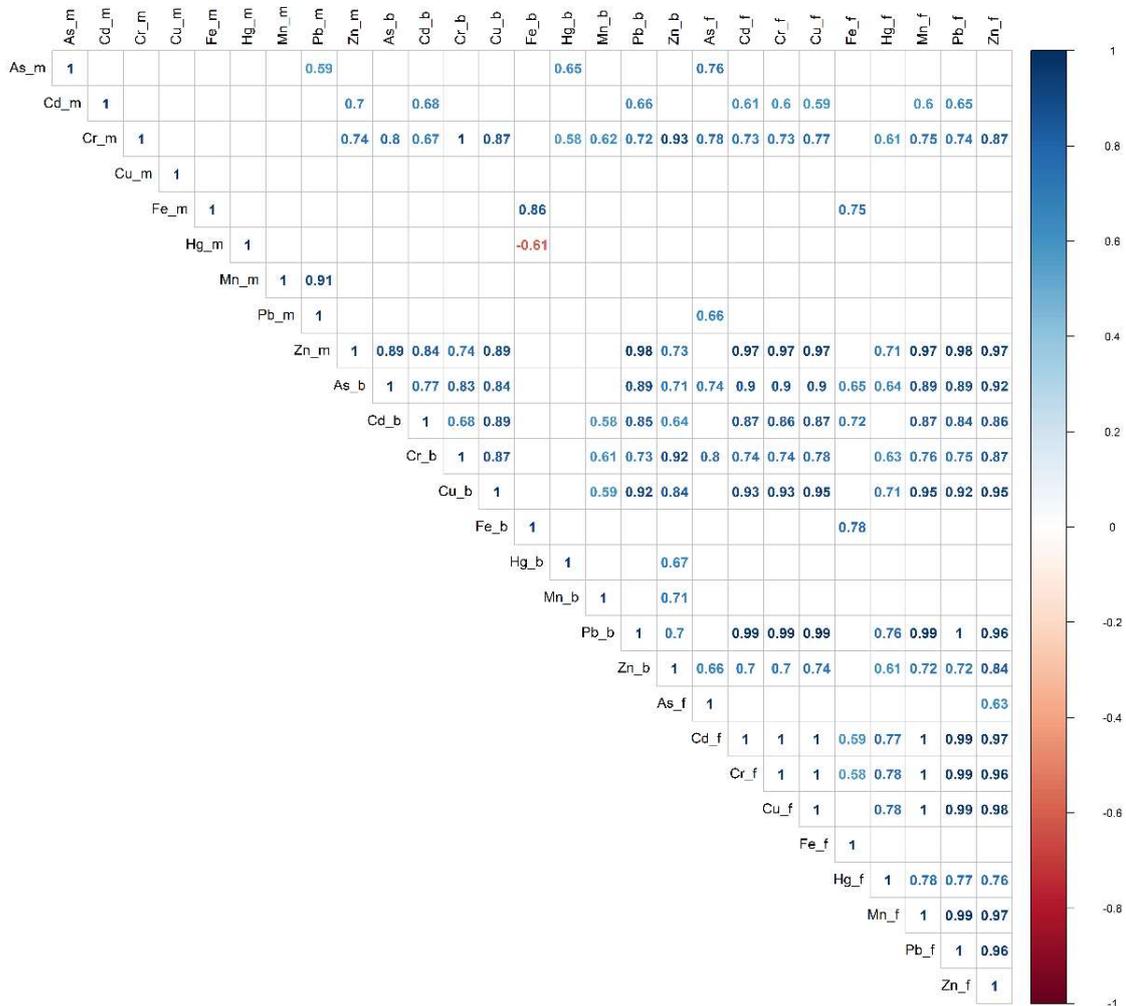


Tabela 93: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 247.

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.1	14,57	53,97	53,97
Dim.2	4,36	16,16	70,12
Dim.3	2,84	10,51	80,63
Dim.4	1,87	6,92	87,55
Dim.5	1,44	5,32	92,88
Dim.6	0,85	3,16	96,04
Dim.7	0,53	1,97	98,01
Dim.8	0,20	0,74	98,75
Dim.9	0,14	0,53	99,28
Dim.10	0,12	0,44	99,72
Dim.11	0,08	0,28	100,00

Figura 248: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais nos tecidos dos peixes grupo trófico II (brânquias [b], fígado [f] e músculo [m]). Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas.



Os níveis de Zn e Cu, no fígado de peixes, classificados dentro do grupo II foram as variáveis que mais contribuíram para o PC1 (Figura 249). E os picos de Zn e Cu, encontrados nos peixes do grupo II na localidade de ITA (Figura 250). Considerando que a maioria dos pontos da campanha 1 se agrupou no setor positivo do componente principal 1, é provável que a sazonalidade seja o fator predominante para explicar os agrupamentos e diferenciação de variáveis entre os setores do PC1.

Figura 249: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

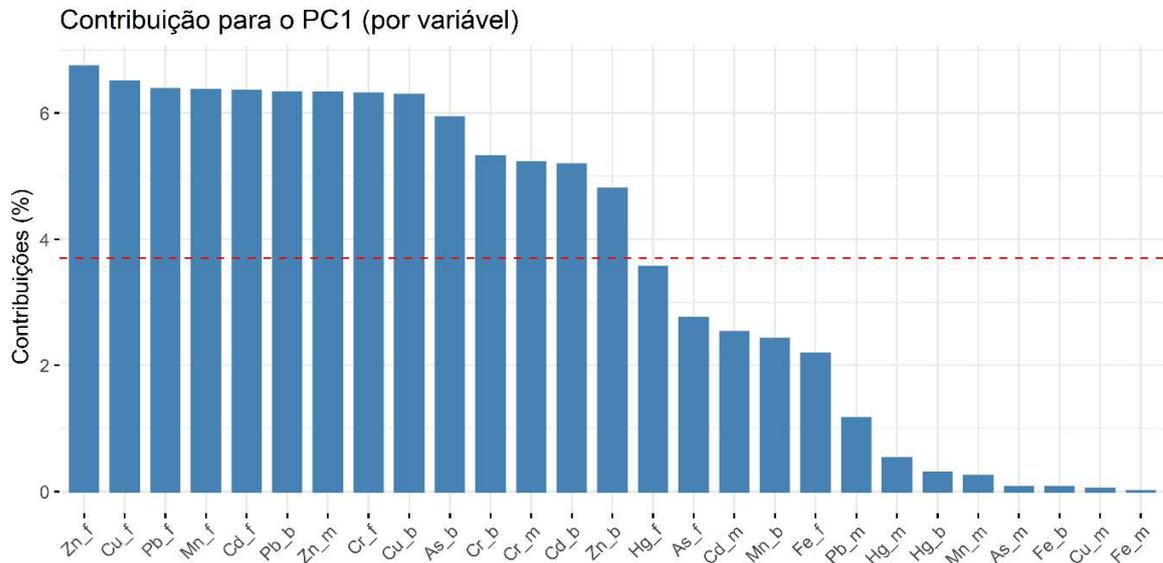
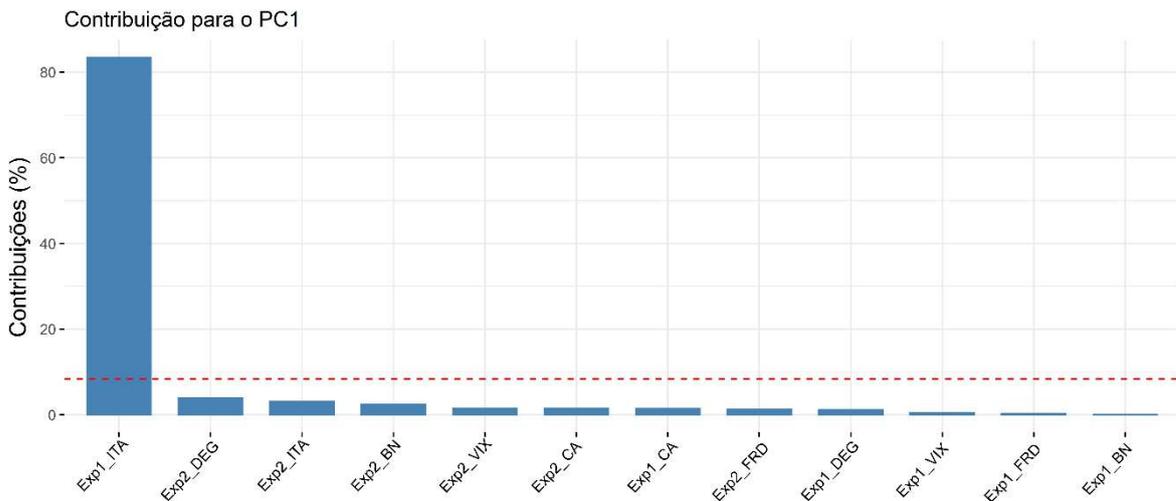


Figura 250: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/12 = 8,3\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



O Hg e o Fe na brânquia dos peixes do grupo II foram as variáveis que mais contribuíram para o PC2 (Figura 251). E as médias desses metais foram maiores nas localidades de CA e FRD, considerando a

posição dos vetores e dos fatores espaciais ao longo do espaço (Figura 252). Considerando que estes metais foram os que mais contribuíram para dirigir o padrão geral, observado na acumulação de metais nos peixes amostrados do grupo II, análises univariadas foram aplicadas para analisar seus padrões espaço-temporais de forma mais detalhada.

Figura 251: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

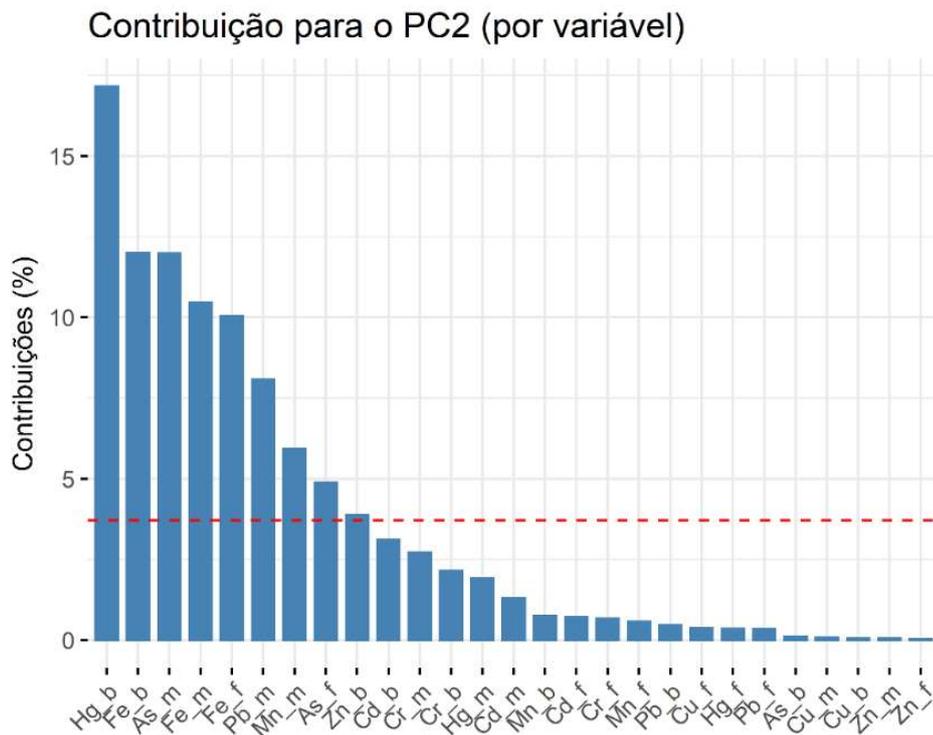
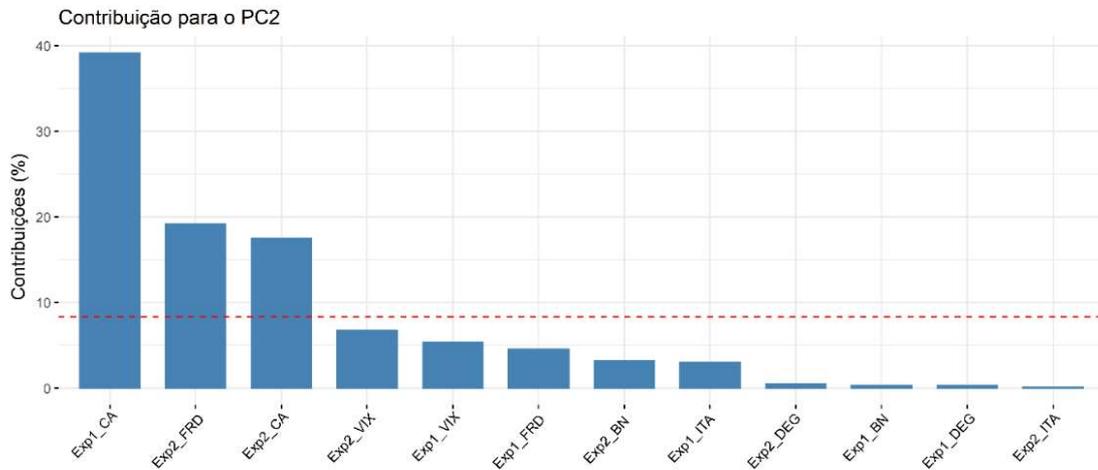
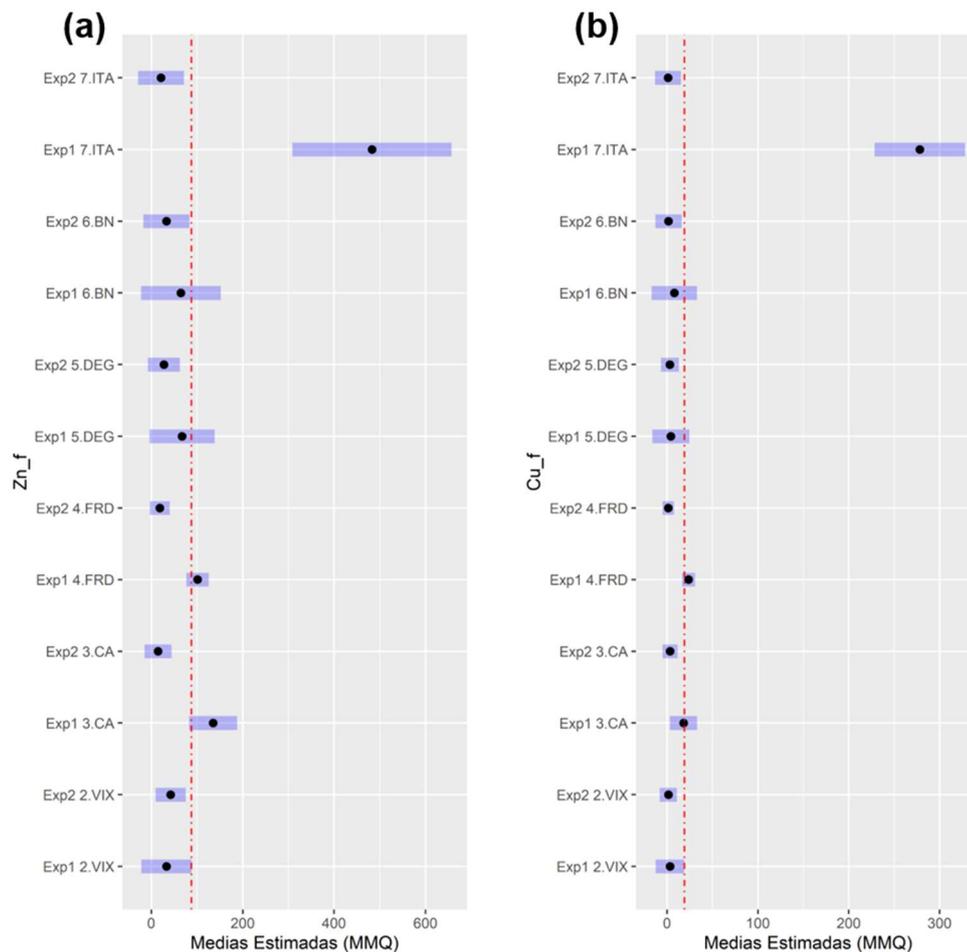


Figura 252: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 247). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/12 = 8,3\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



Os picos de Zn e Cu encontrados nos peixes do grupo II na localidade de ITA, durante a campanha 1, foram estatisticamente significativos (ao se comparar com a “linha de base”, que no caso dos peixes carnívoros foi a localidade VIX, na campanha 1. Observa-se, ainda, que as médias estimadas (Figura 253) de Zn em CA e FRD são maiores que as médias estimadas para a “linha de base” (pontos localizados a direita da linha vermelha), assim como as médias de Cu.

Figura 253: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para zinco (a) e cobre (b) presentes nas amostras de fígado de peixes do grupo II. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os seis níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.



A análise univariada de Hg e Fe nas brânquias, variáveis que se destacaram no PC2 (Figura 254), assim como a análise univariada de Fe no fígado e músculo, sugere que o padrão de bioacumulação desses metais esteja associado à foz do Rio Doce, uma vez que as médias foram maiores em CA e FRD. Observa-se, ainda, que os níveis de Fe são maiores na segunda campanha, em comparação com a primeira (Figura 255).

Figura 254: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para mercúrio (a) e ferro (b) presentes nas amostras de brânquia de peixes do grupo II. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os seis níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.

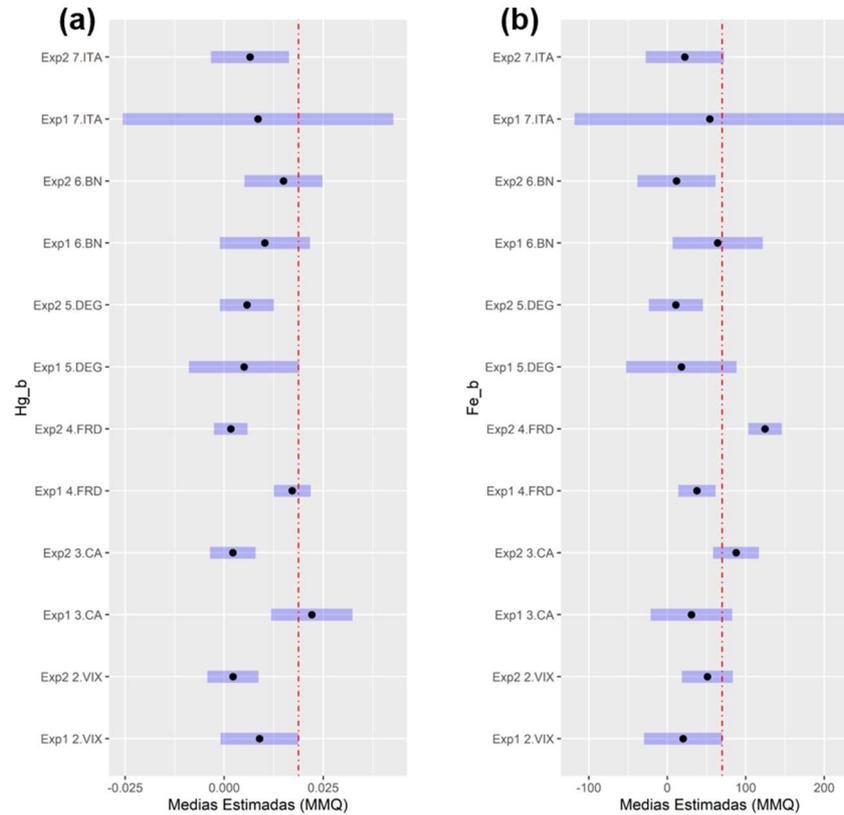
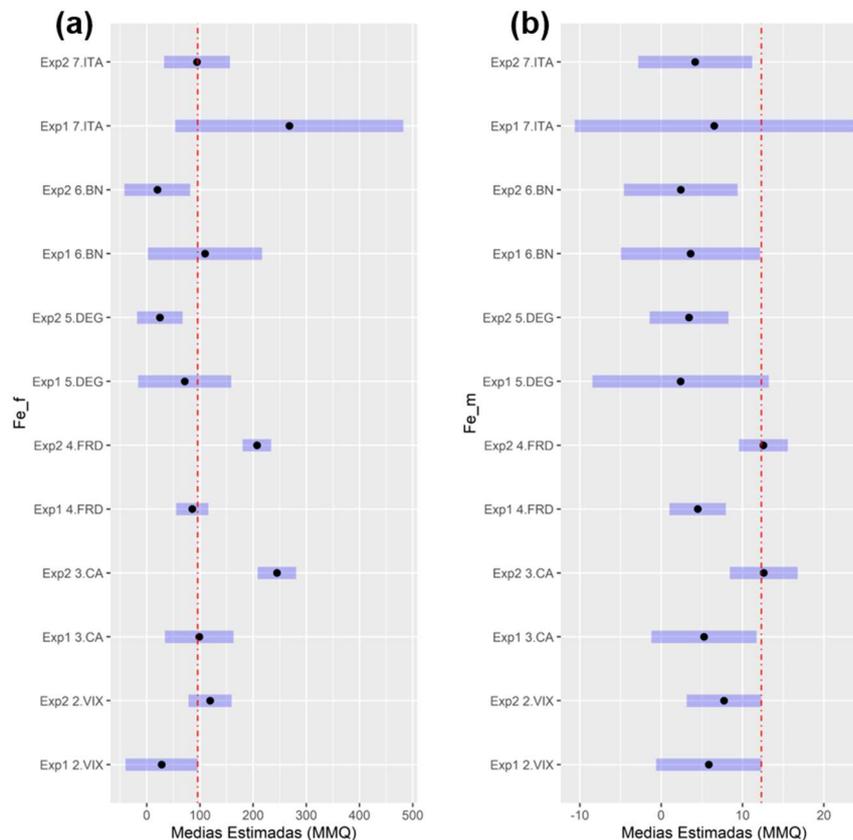


Figura 255: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para ferro presentes nas amostras de fígado (a) e músculo (b) de peixes do grupo II. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os seis níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.



Na Tabela 94, as concentrações mínimas e máximas de metais, nos tecidos dos peixes (grupos I e II) foram confrontadas com dados descritos na literatura para a concentração dos metais coincidentes em espécies de peixes marinhos coletados em ambientes considerados contaminados por metais. Surpreendentemente, o levantamento bibliográfico evidenciou que as concentrações máximas de quase todos os metais estavam elevadas quando comparadas as concentrações máximas já encontradas para esses metais em outros estudos.

Tabela 94: Concentração (mg/kg de peso úmido) mínima e máxima dos metais nos peixes do grupo I e II (juntos) (brânquia [B], fígado [F] e músculo [M]) em todas as estações amostrais, coletados na campanha 1 e na campanha 2 comparados com outros estudos em peixes marinhos compilados a partir da literatura. Os dados da literatura estão expressos em valores (mg/kg de peso úmido) mínimos e máximos encontrados em ambientes considerados contaminados. Valores do presente relatório acima dos encontrados na literatura foram destacados em vermelho sublinhado.

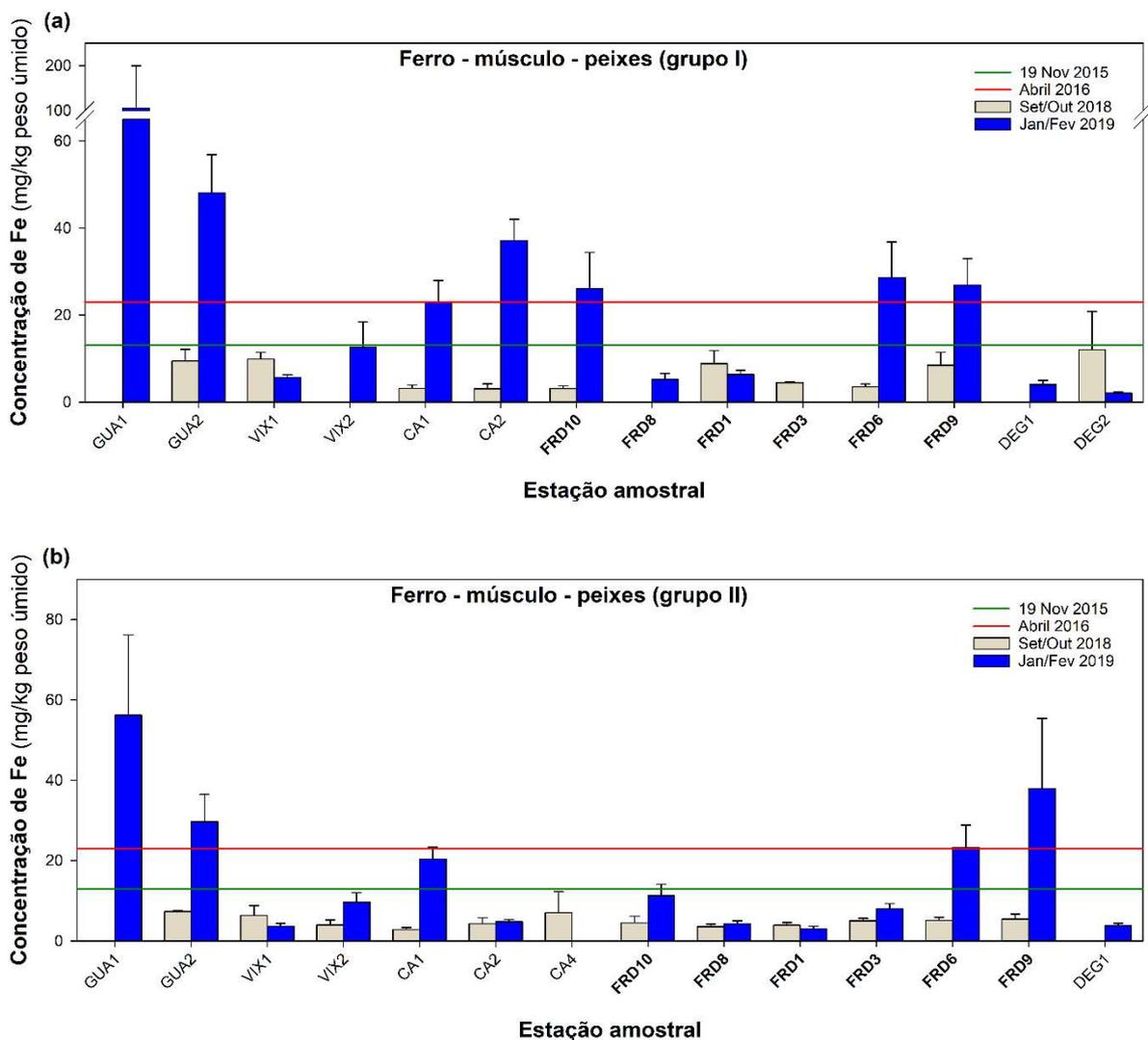
Peixes				
Metal	T	Campanha 1 (grupo I e II)	Campanha 2 (grupo I e II)	Bibliografia
		Mín-Máx	Mín-Máx	Mín-Máx
As	B	<u>0,001 - 6,03</u>	<u>0,0005 - 9,98</u>	1,12 <sup>j</sup> - 3,22 <sup>j</sup>
	F	<u>0,0002 - 22,57</u>	0,0003 - 6,70	2,52 <sup>e</sup> - 14,9 <sup>e</sup>
	M	<u>0,0002 - 13,24</u>	0,0003 - 1,46	1,45 <sup>e</sup> - 10,3 <sup>a</sup>
Cd	B	<u>0,004 - 16,79</u>	<u>0,005 - 32,61</u>	0,15 <sup>g</sup> - 0,88 <sup>h</sup>
	F	<u>0,0008 - 125,16</u>	<u>0,0002 - 33,49</u>	0,42 <sup>g</sup> - 1,61 <sup>h</sup>
	M	<u>0,0009 - 4,18</u>	<u>0,001 - 9,18</u>	0,001 <sup>b</sup> - 0,026 <sup>d</sup>
Cr	B	<u>0,009 - 77,10</u>	0,0006 - 7,20	0,76 <sup>h</sup> - 2,1 <sup>h</sup>
	F	<u>0,01 - 313,50</u>	<u>0,0006 - 4,28</u>	0,21 <sup>b</sup> - 0,85 <sup>h</sup>
	M	<u>0,006 - 16,65</u>	<u>0,0008 - 5,63</u>	0,12 <sup>a</sup> - 0,33 <sup>b</sup>
Cu	B	<u>0,01 - 40,07</u>	<u>0,0002 - 11,84</u>	0,17 <sup>g</sup> - 4,02 <sup>h</sup>
	F	0,06 - 366,84	0,005 - 21,34	1,3 <sup>b</sup> - 508 <sup>e</sup>
	M	<u>0,003 - 9,50</u>	<u>0,0004 - 6,25</u>	0,14 <sup>b</sup> - 0,72 <sup>e</sup>
Fe	B	<u>2,00 - 445,30</u>	<u>2,86 - 1275,10</u>	46,9 <sup>h</sup> - 70,9 <sup>h</sup>
	F	<u>2,34 - 609,63</u>	<u>3,30 - 2431,66</u>	36,6 <sup>h</sup> - 141,5 <sup>h</sup>
	M	<u>0,42 - 38,43</u>	<u>0,11 - 199,81</u>	2,57 <sup>c</sup> - 4,62 <sup>b</sup>
Hg	B	<u>0,0002 - 0,20</u>	<u>0,0001 - 0,06</u>	0,002 <sup>k</sup> - 0,032 <sup>l</sup>
	F	<u>0,0001 - 0,42</u>	<u>0,0001 - 0,38</u>	0,05 <sup>k</sup> - 0,041 <sup>l</sup>
	M	0,0001 - 0,06	0,0001 - 0,10	0,04 <sup>e</sup> - 0,41 <sup>c</sup>
Mn	B	<u>0,08 - 378,25</u>	<u>0,65 - 17,45</u>	0,16 <sup>i</sup> - 0,36 <sup>i</sup>
	F	<u>0,01 - 458,53</u>	<u>0,52 - 12,95</u>	0,59 <sup>i</sup> - 2,43 <sup>i</sup>
	M	<u>0,0006 - 79,57</u>	<u>0,03 - 6,29</u>	0,16 <sup>a</sup> - 0,25 <sup>a</sup>
Pb	B	<u>0,0003 - 6,45</u>	0,0001 - 2,96	4,14 <sup>h</sup> - 5,30 <sup>h</sup>
	F	<u>0,0009 - 17,58</u>	0,0001 - 0,77	0,008 <sup>b</sup> - 4,26 <sup>h</sup>
	M	<u>0,00002 - 2,15</u>	<u>0,00003 - 4,10</u>	0,001 <sup>b</sup> - 0,27 <sup>d</sup>
Zn	B	<u>0,06 - 2223,07</u>	<u>0,59 - 239,17</u>	0,65 <sup>g</sup> - 16,04 <sup>h</sup>
	F	<u>0,04 - 780,80</u>	<u>0,33 - 185,93</u>	9,03 <sup>e</sup> - 103 <sup>e</sup>
	M	<u>0,009 - 100,76</u>	<u>0,1347 - 31,117</u>	0,69 <sup>b</sup> - 9,45 <sup>f</sup>

Os resultados da Campanha 1 e 2 do Anexo 1 apresentados nesta tabela foram comparados com os valores Mín e Máx dos seguintes estudos: (a) Kaya e Turkoglu, 2017, (b) Coimbra, 2018, (c) Griboff, 2018, (d) Joyeux et al. 2004 (e) Corales, 2016, (f) Angeli et al. 2013, (g) Hamza-chaffai et al. 1995, (h) Kalai e Kanli, 1999, (i) Hause-Davies et al. 2016, (j) Bashir et al. 2012, (k) Luczynska Kuprowaski, 2009.

Relatórios anteriores ao PMBA (Bianchini et al., 2016; Bianchini, 2019), mostraram que antes da lama chegar à foz do Rio Doce (19 Novembro de 2015), os níveis de Fe nos peixes da localidade da foz do Rio Doce eram de 13,91±1.83 mg/kg (média ± desvio padrão) de peso úmido. Já em Abril de 2016, foi

evidenciado que a média geral (média de todas as estações amostrais) atingiu concentrações de Fe ~23 mg/kg de peso úmido no músculo dos peixes. Ao comparar estes dados com os resultados deste relatório, notamos que as concentrações de Fe no músculo dos peixes permanecem maiores que os valores encontrados antes da ocorrência do evento, principalmente, nas localidades de GUA, CA e FRD nos dois grupos de peixes amostrados (Figura 256).

Figura 256: Comparação entre a concentração de ferro (mg/kg peso úmido) nas amostras de músculo de peixes do grupo I(a) e do grupo II (b) coletados nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Estão indicadas em negrito as estações amostrais na localidade da Foz do Rio Doce. Os resultados estão expressos em média ± erro padrão. Linha verde indica a média máxima de ferro encontradas na na localidade da foz do Rio Doce antes da chegada da lama (19 de Novembro de 2015). Linha vermelha indica a média máxima de ferro encontrado na expedição realizada na foz do Rio doce e região costeira adjacente após a chegada da lama (Abril de 2016).



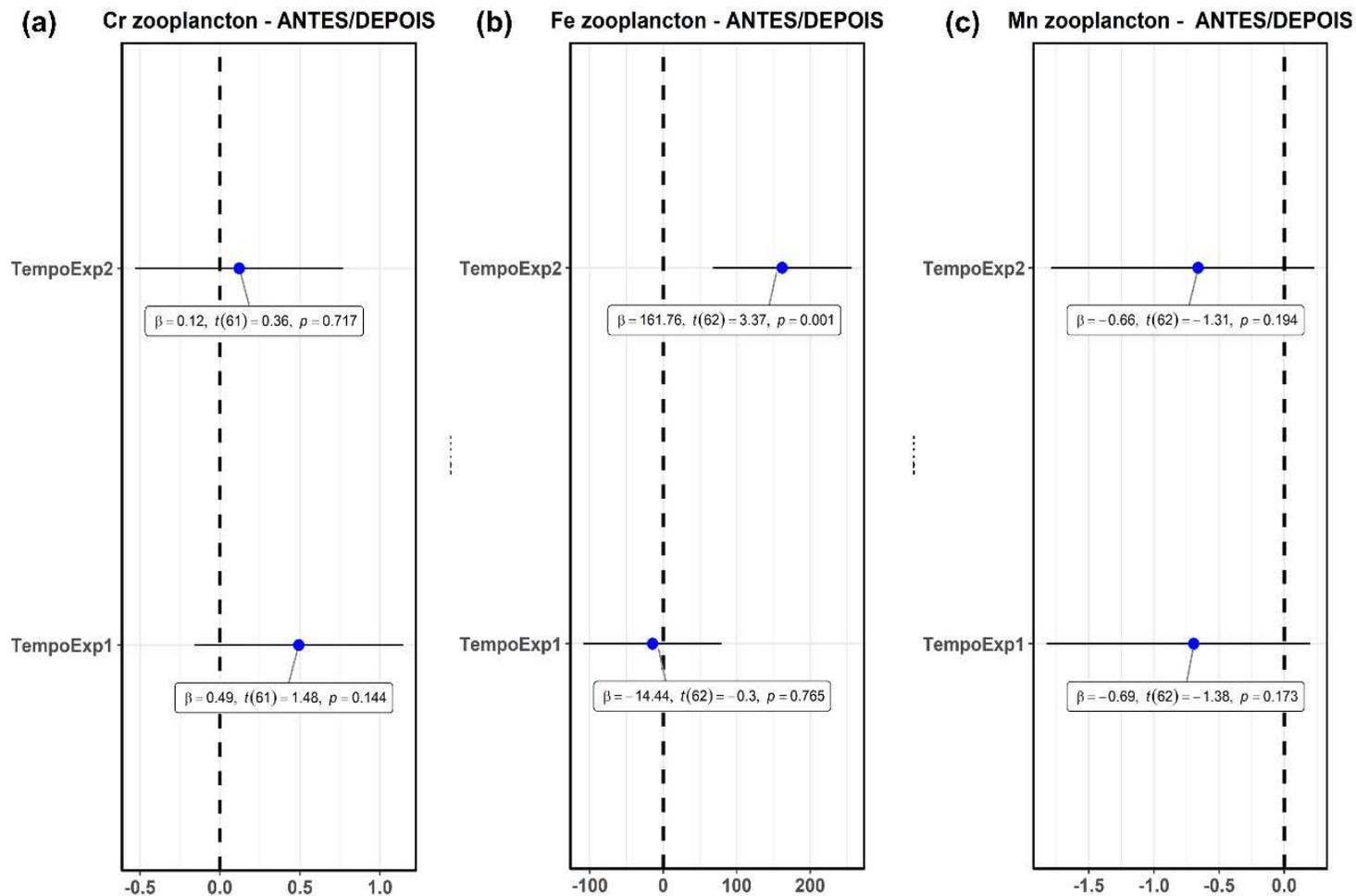
Além dos padrões espaciais observados na bioacumulação de metais, também comparamos os resultados da campanha 1 e 2 com dados de bioacumulação de metais em zooplâncton (5 pools de amostras) e peixes (65 amostras) coletados antes da chegada da lama de rejeitos na foz do Rio Doce

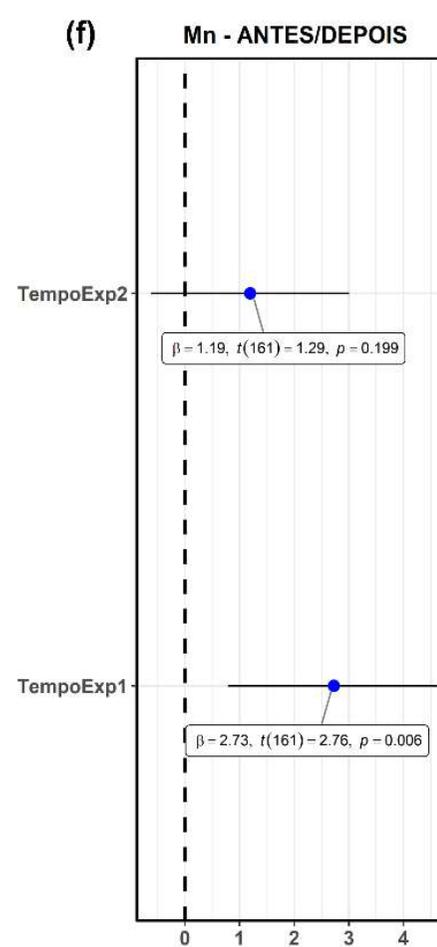
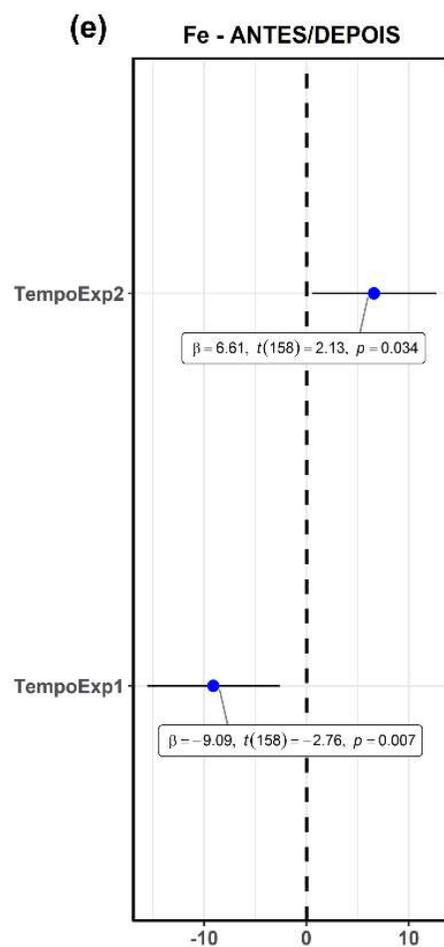
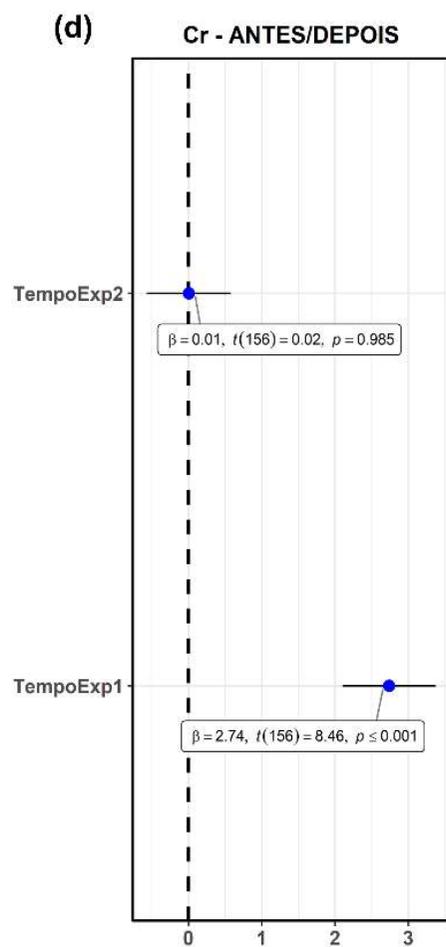
(20 de novembro de 2015). A diferença entre a bioacumulação, antes e depois do rompimento da barragem, foi avaliada através de modelos lineares com foco no zooplâncton e peixes carnívoros coletados na localidade da foz do Rio Doce.

Em resumo, os níveis de Fe no zooplâncton e nos peixes carnívoros foi significativamente maior na campanha 2, em comparação com os níveis de Fe antes do evento (Figura 257a; b; c).

Os níveis de Cr e Mn, no músculo dos peixes carnívoros coletados na campanha 1, foi significativamente maior do que os níveis de Cr e Mn nos peixes coletados antes do evento (Figura 257d; e; f).

Figura 257: Resultados de modelos lineares utilizados para avaliar a diferença antes x depois na concentração de Cr, Fe e Mn para zooplâncton (a, b, c) e peixes carnívoros (d,e,f). Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, resultados de organismos coletados ANTES da chegada da lama) são observados em retângulos localizados à direita da linha pontilhada. Médias estimadas estão dispostas no círculo azul, e o intervalo de confiança em linhas pretas. O retângulo expõe os resultados do modelo estatístico (magnitude do efeito em  $\beta$ , e  $p$  valor).





### 3.2.5.4 Concentração de metais em Corais e Hidrocorais

A Tabela 95 e a Tabela 96 resumam os resultados de concentração dos elementos Cromo (Cr), Cádmiio (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Arsênio (As) mensurados no coral (*Mussismilia harttii*) e hidrocoral (*Millepora alcicornis*), coletados na localidade de Abrolhos em 4 estações amostrais (ABR01, ABR02, ABR04 e ABRC1), durante a campanha 1 e campanha 2, respectivamente.

Tabela 95: Concentração (mg/kg de peso seco) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras de corais (*Mussismilia harttii*) e hidrocorais (*Millepora alcicornis*) coletados nas 4 estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados foram expressos em média  $\pm$  erro padrão.

Corais e hidrocorais - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)										
Ponto	Amostra	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso seco								
ABR01	<i>M. harttii</i>	3,10 $\pm$ 0,39	0,03 $\pm$ 0,02	0,19 $\pm$ 0,06	0,29 $\pm$ 0,07	27,71 $\pm$ 4,67	0,002 $\pm$ 0,000	2,53 $\pm$ 0,55	0,04 $\pm$ 0,01	12,73 $\pm$ 1,09
	<i>M. alcicornis</i>	2,64 $\pm$ 0,46	1,46 $\pm$ 0,48	1,00 $\pm$ 0,44	0,40 $\pm$ 0,25	383,83 $\pm$ 147,08	0,007 $\pm$ 0,003	18,2 $\pm$ 6,66	0,44 $\pm$ 0,18	241,39 $\pm$ 109,95
ABR02	<i>M. harttii</i>	2,96 $\pm$ 0,27	0,06 $\pm$ 0,03	0,03 $\pm$ 0,01	0,17 $\pm$ 0,04	22,16 $\pm$ 5,27	0,001 $\pm$ 0,000	1,99 $\pm$ 0,36	0,08 $\pm$ 0,03	17,22 $\pm$ 2,85
	<i>M. alcicornis</i>	2,07 $\pm$ 0,32	0,40 $\pm$ 0,16	0,40 $\pm$ 0,17	1,61 $\pm$ 1,18	460,04 $\pm$ 193,96	0,007 $\pm$ 0,001	7,79 $\pm$ 1,41	0,25 $\pm$ 0,11	73,26 $\pm$ 11,72
ABR04	<i>M. harttii</i>	3,41 $\pm$ 0,34	0,06 $\pm$ 0,02	0,20 $\pm$ 0,07	0,37 $\pm$ 0,08	22,89 $\pm$ 7,48	0,001 $\pm$ 0,000	2,62 $\pm$ 0,81	0,04 $\pm$ 0,02	14,87 $\pm$ 4,54
	<i>M. alcicornis</i>	1,16 $\pm$ 0,43	0,66 $\pm$ 0,12	0,35 $\pm$ 0,13	0,37 $\pm$ 0,31	39,89 $\pm$ 12,84	0,003 $\pm$ 0,000	5,75 $\pm$ 0,81	0,49 $\pm$ 0,24	61,96 $\pm$ 4,50
ABRC1	<i>M. harttii</i>	2,58 $\pm$ 0,51	0,09 $\pm$ 0,03	0,18 $\pm$ 0,06	0,34 $\pm$ 0,10	40,15 $\pm$ 12,05	0,001 $\pm$ 0,000	3,26 $\pm$ 0,97	0,09 $\pm$ 0,02	18,55 $\pm$ 4,34
	<i>M. alcicornis</i>	1,87 $\pm$ 0,33	0,71 $\pm$ 0,21	0,63 $\pm$ 0,20	0,24 $\pm$ 0,07	29,30 $\pm$ 11,25	0,004 $\pm$ 0,000	7,12 $\pm$ 0,62	0,70 $\pm$ 0,31	65,40 $\pm$ 8,09

Tabela 96: Concentração (mg/kg de peso seco) dos elementos As; Cd; Cr; Cu; Fe; Hg; Mn; Pb e Zn em amostras de corais (*Mussismilia harttii*) e hidrocorais (*Millepora alcicornis*) coletados nas 4 estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados foram expressos em média  $\pm$  erro padrão.

Corais e hidrocorais - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto	Amostra	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso seco								
ABR01	<i>M. harttii</i>	0,057 $\pm$ 0,016	9,33 $\pm$ 1,51	1,40 $\pm$ 0,22	0,65 $\pm$ 0,44	329,66 $\pm$ 75,63	0,0020 $\pm$ 0,0003	5,20 $\pm$ 0,93	0,004 $\pm$ 0,002	45,81 $\pm$ 11,01
	<i>M. alcicornis</i>	1,67 $\pm$ 1,00	19,19 $\pm$ 4,01	2,88 $\pm$ 0,60	1,54 $\pm$ 1,02	529,93 $\pm$ 121,94	0,0039 $\pm$ 0,0009	9,21 $\pm$ 2,46	0,01 $\pm$ 0,01	119,96 $\pm$ 43,28
ABR02	<i>M. harttii</i>	0,079 $\pm$ 0,039	10,18 $\pm$ 2,21	1,52 $\pm$ 0,33	1,16 $\pm$ 0,38	219,65 $\pm$ 63,25	0,0026 $\pm$ 0,0005	6,03 $\pm$ 1,50	0,09 $\pm$ 0,08	24,25 $\pm$ 6,93
	<i>M. alcicornis</i>	0,25 $\pm$ 0,15	16,46 $\pm$ 3,15	2,47 $\pm$ 0,47	0,57 $\pm$ 0,21	279,78 $\pm$ 80,75	0,0032 $\pm$ 0,0006	6,85 $\pm$ 1,32	0,04 $\pm$ 0,02	44,11 $\pm$ 11,20
ABR04	<i>M. harttii</i>	0,018 $\pm$ 0,005	10,73 $\pm$ 1,82	1,61 $\pm$ 0,27	1,34 $\pm$ 0,22	345,46 $\pm$ 81,40	0,0022 $\pm$ 0,0004	7,23 $\pm$ 1,24	0,012 $\pm$ 0,004	69,57 $\pm$ 28,09
	<i>M. alcicornis</i>	0,09 $\pm$ 0,03	13,91 $\pm$ 2,05	2,09 $\pm$ 0,31	1,74 $\pm$ 0,26	495,78 $\pm$ 152,41	0,0029 $\pm$ 0,0004	9,49 $\pm$ 1,54	0,07 $\pm$ 0,02	123,72 $\pm$ 42,76
ABRC1	<i>M. harttii</i>	0,009 $\pm$ 0,002	9,61 $\pm$ 1,32	1,44 $\pm$ 0,19	1,20 $\pm$ 0,16	538,36 $\pm$ 126,24	0,0014 $\pm$ 0,0001	9,94 $\pm$ 1,95	0,02 $\pm$ 0,01	72,13 $\pm$ 13,43
	<i>M. alcicornis</i>	0,01 $\pm$ 0,00	10,09 $\pm$ 1,37	1,51 $\pm$ 0,20	1,26 $\pm$ 0,17	338,05 $\pm$ 71,54	0,0014 $\pm$ 0,0002	6,59 $\pm$ 1,11	0,03 $\pm$ 0,01	117,38 $\pm$ 25,73

A PCA realizada utilizando como variáveis as concentrações dos elementos Fe, Cr, Mn, Pb, Cd, Hg, Cu, Zn e As no coral (*Mussismilia harttii*), ao longo das 4 estações amostrais na localidade de Abrolhos (ABR01, ABR02, ABR04 e ABRC1) nas campanhas marinhas 1 (E1) e 2 (E2), sumarizou 91,5% da variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões (Figura 258;Tabela 97;Figura 259). O Componente Principal 1 sumarizou 79% dos dados e agrupou todos os metais no seu setor positivo, com exceção do Pb e do As, juntando, também, todos os dados provenientes da campanha 2. O Componente Principal 2 sumarizou 12,5% dos dados, separando principalmente os metais Pb, Cd, Cr, Cu e Hg no setor positivo, e o Fe, Mn, Zn e As no setor negativo.

Em resumo, a concentração de metais em fragmentos do coral *M. harttii* variou principalmente em função do tempo, como evidenciado pelos altos auto-valores (7,1 com percentual de variância de

78,9%, Tabela 97) do PC1 e pela clara diferenciação entre a campanha 1 e a campanha 2 ao longo deste eixo.

Figura 258: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de concentração dos elementos As, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn no coral *Mussimilia hartti*. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, que são as estações amostrais ABR1, ABR2, ABR4 e ABRC1 amostrados durante as campanhas 1 [E1] e 2 [E2].

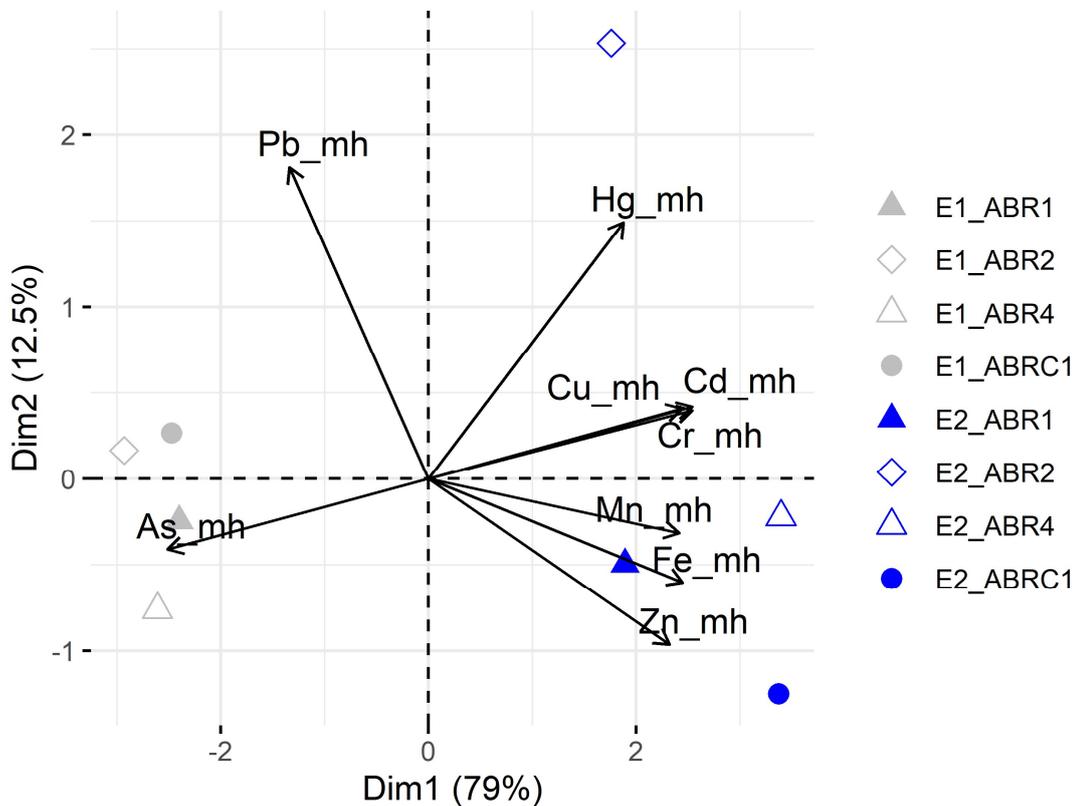
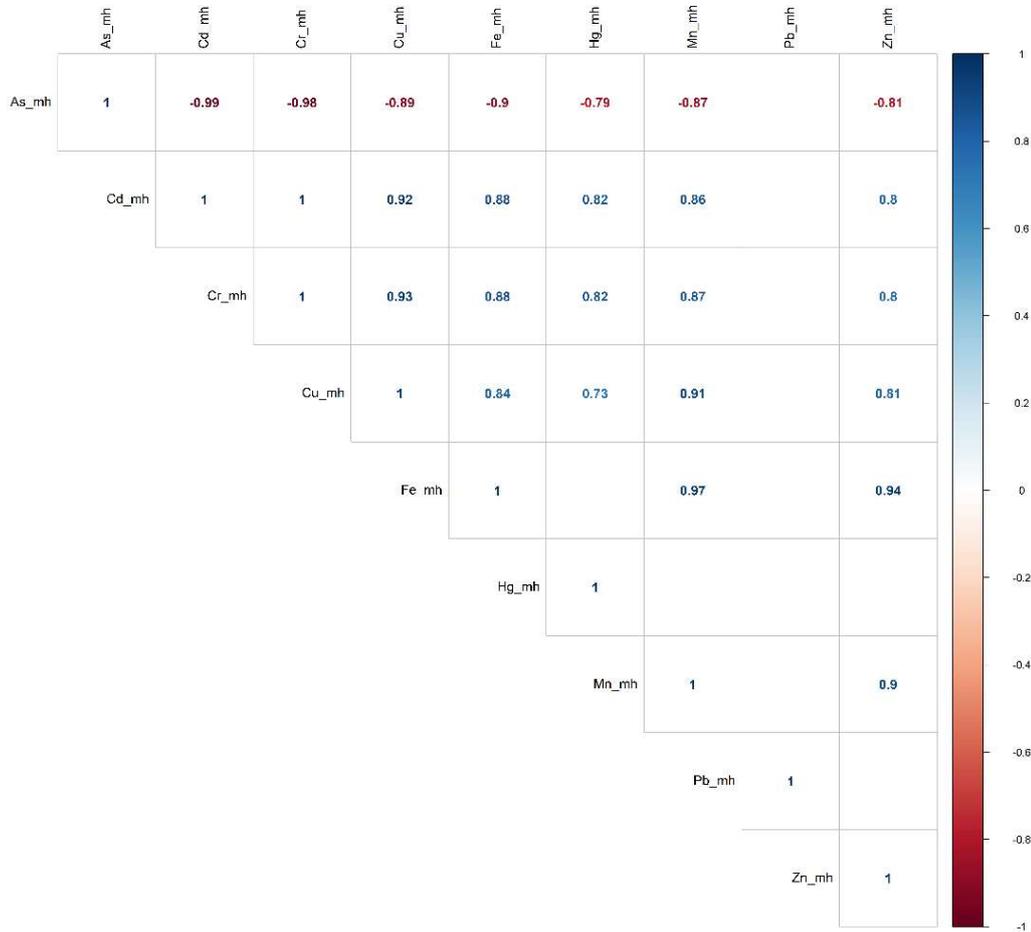


Tabela 97: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 258.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de variância</b>	<b>Percentual de variância acumulativa</b>
Dim.1	7,11	78,99	78,99
Dim.2	1,13	12,52	91,50
Dim.3	0,55	6,12	97,62
Dim.4	0,13	1,44	99,07
Dim.5	0,06	0,66	99,73
Dim.6	0,02	0,22	99,95
Dim.7	0,00	0,05	100,00

Figura 259: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais no coral (*Mussimilia hartti*), ao longo das 4 estações amostrais na localidade de Abrolhos (ABR01, ABR02, ABR04 e ABRC1) nas campanhas 1 (E1) e 2 (E2). Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas.



De acordo com a Figura 260, as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos ao longo do PC1 foram os metais Cr, Cd, As e Fe no coral *M. hartti*. Os fatores (Figura 261) que mais contribuíram para os agrupamentos ao longo do PC1 estão associados, principalmente, as localidades ABR04 e ABRC1 da campanha 2 (EXP2) e ABR02 da campanha 1 (EXP1).

Figura 260: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

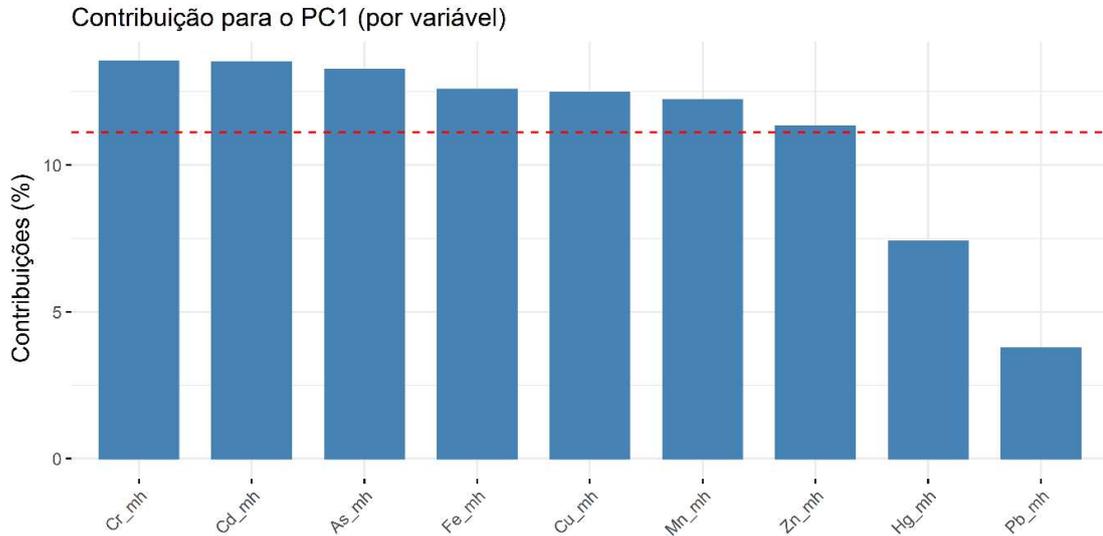
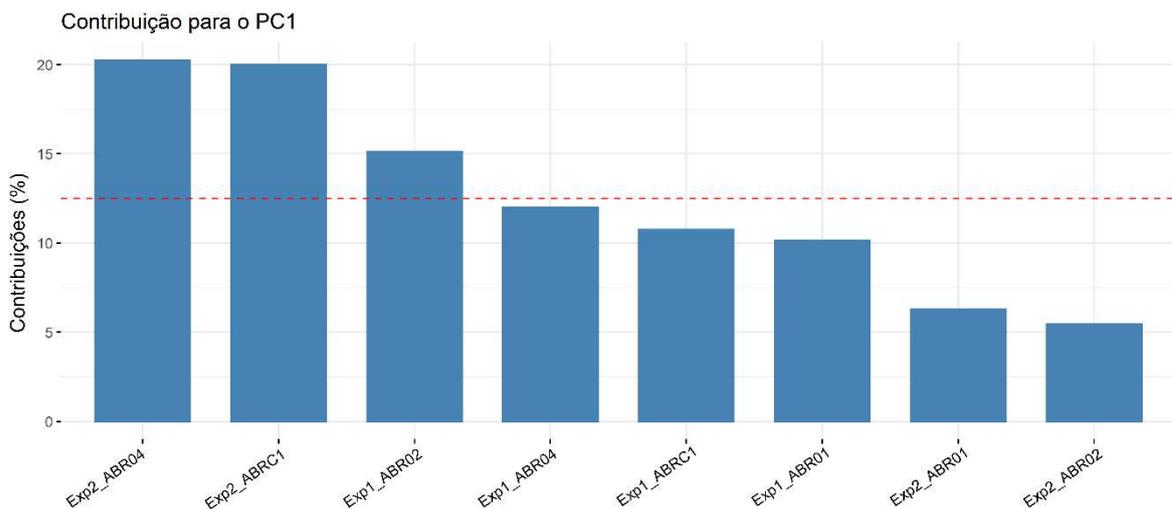


Figura 261: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



A Figura 262, indica que as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos ao longo do PC2 foram os metais Pb, Hg e Zn no coral *M. hartti* (mh). Os indivíduos/fatores que mais contribuíram para os agrupamentos ao longo do PC2 estão associados principalmente as localidades ABR02 e ABRC1 da campanha 2 (EXP2) (Figura 263).

Figura 262: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/9=11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

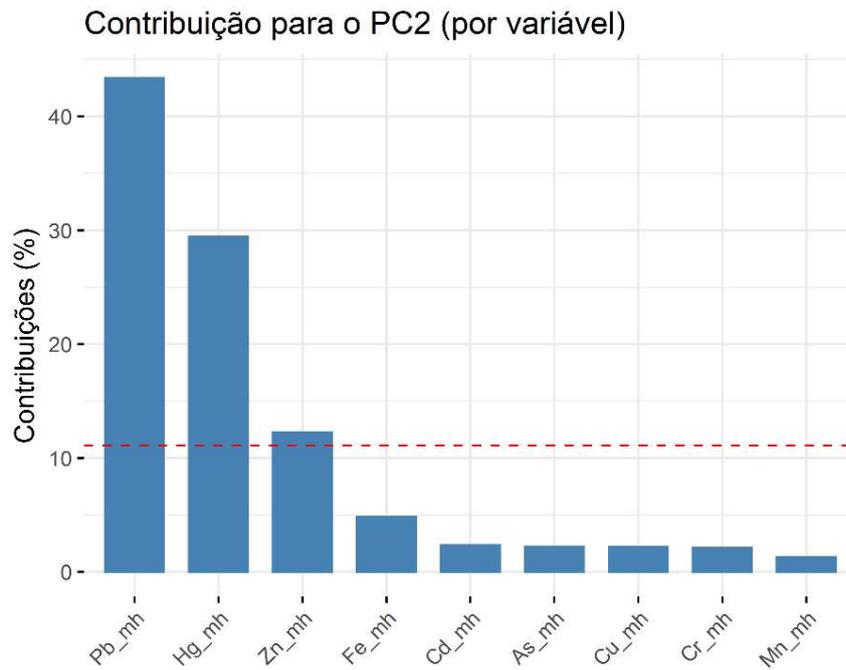
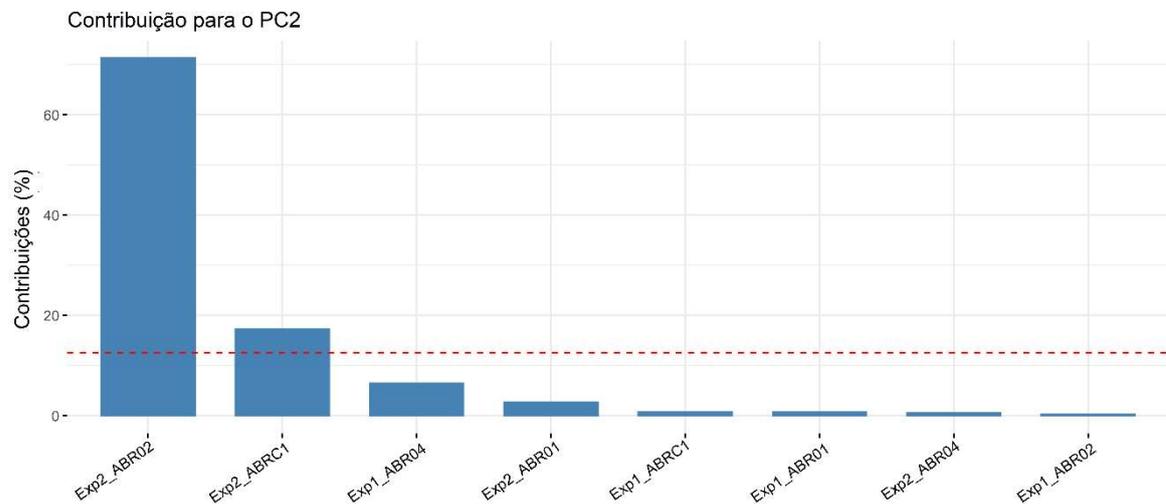


Figura 263: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



Foi realizada, também, uma PCA utilizando como variáveis as concentrações dos elementos Fe, Cr, Mn, Pb, Cd, Hg, Cu, Zn e As no hidrocoral (*Millepora alcicornis*), ao longo das 4 estações amostrais na localidade de Abrolhos (ABR01, ABR02, ABR04 e ABRC1) nas campanhas 1 (E1) e 2 (E2) que sumarizou 79,7% da variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões (Figura 264; Tabela 98; Figura 265). O Componente Principal 1 sumarizou 47,5% dos dados, e agrupou principalmente os metais Fe, Cu, Cr e Cd no setor positivo, onde também se observa um agrupamento das estações amostradas na campanha 2. O Componente Principal 2 sumarizou 32,2% dos dados, separando quase todos metais no seu setor positivo, e o Pb no setor negativo.

Em resumo, o componente principal 1 representa a diferença temporal entre as campanhas, separando no seu setor positivo os metais com concentrações elevadas durante a campanha 2.

Figura 264: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de concentração dos elementos As, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn no hidrocoral *Millepora alcicornis*. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, que são as estações amostrais ABR1, ABR2, ABR4 e ABRC1 amostradas durante as campanhas 1 [E1] e 2 [E2].

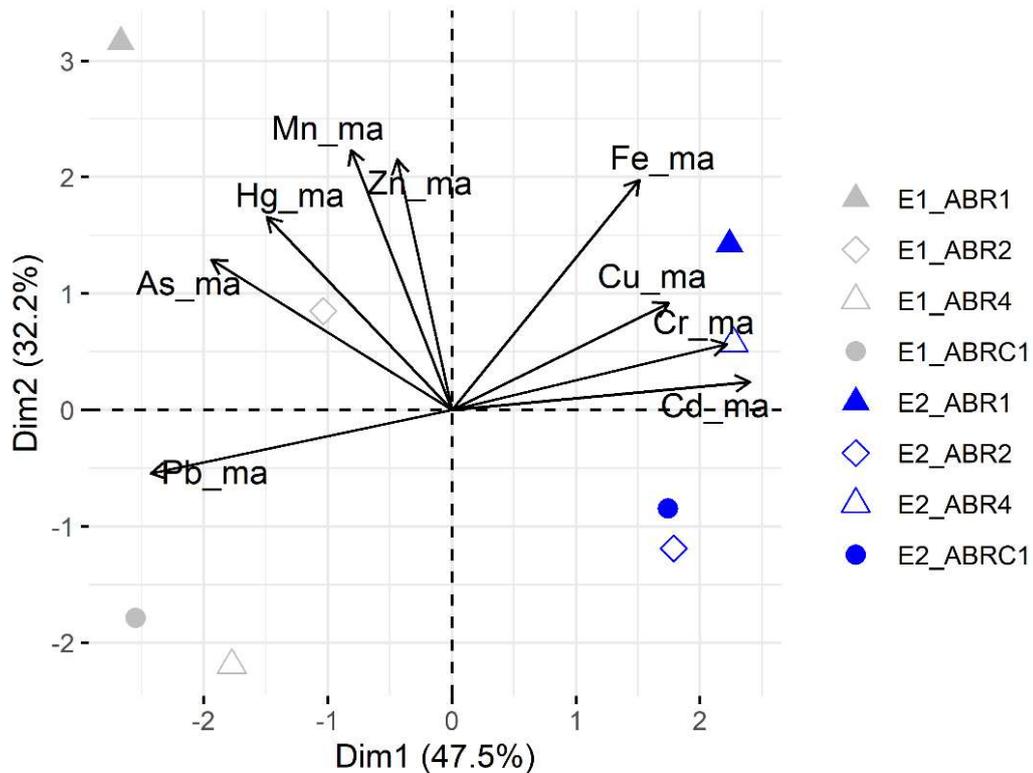
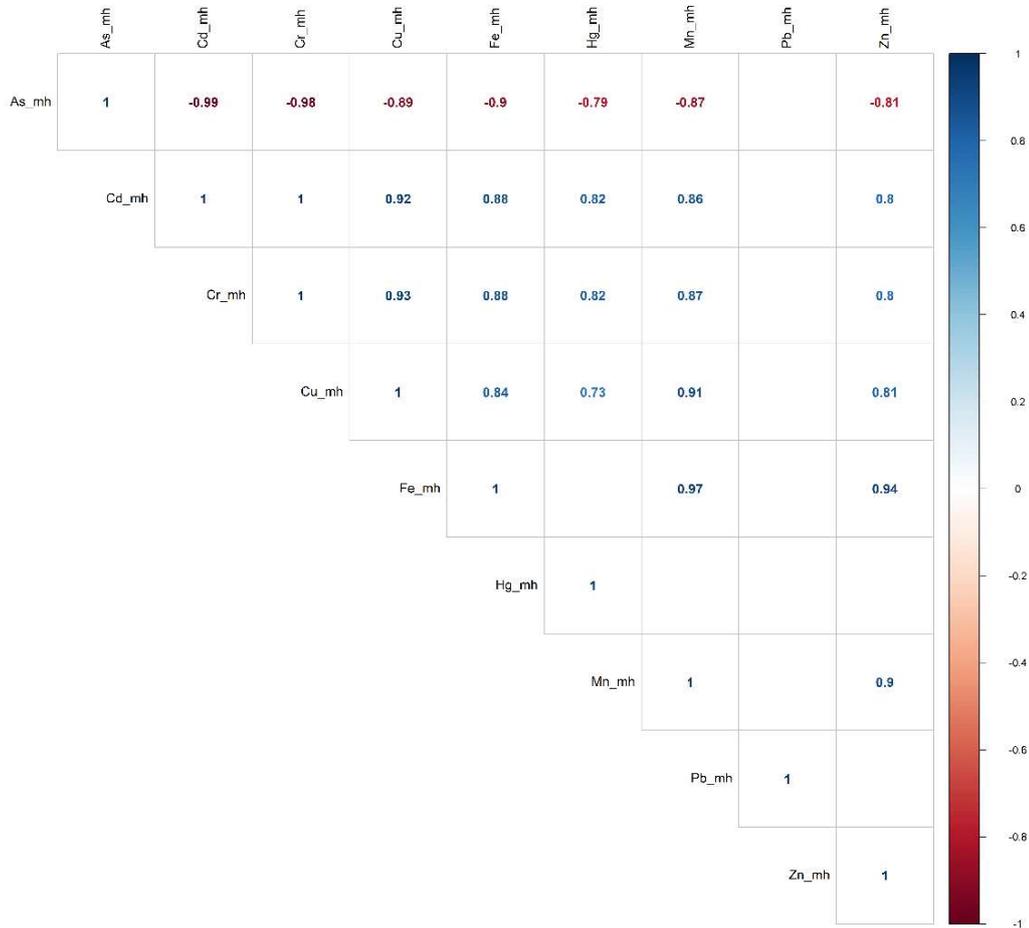


Tabela 98: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 264.

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.1	4,28	47,51	47,51
Dim.2	2,90	32,21	79,72
Dim.3	1,05	11,62	91,34
Dim.4	0,54	6,00	97,35
Dim.5	0,17	1,92	99,26
Dim.6	0,06	0,72	99,98
Dim.7	0,00	0,02	100,00

Figura 265: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, da concentração de metais no hidrocoral (*Millepora alcicornes*), ao longo das 4 estações amostrais na localidade de Abrolhos (ABR01, ABR02, ABR04 e ABRC1) nas campanhas 1 (E1) e 2 (E2). Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas.



A Figura 266 e a Figura 267 mostram que, para o hidrocoral *M. alcicornis*, as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos, ao longo do PC1, foram os metais Pb, Cd e Cr, e os *indivíduos/fatores* que mais contribuíram para os agrupamentos, ao longo do PC1, estão associados, principalmente, às localidades mais costeiras (ABR01 e ABRC1) da campanha 1 (EXP1).

Figura 266: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

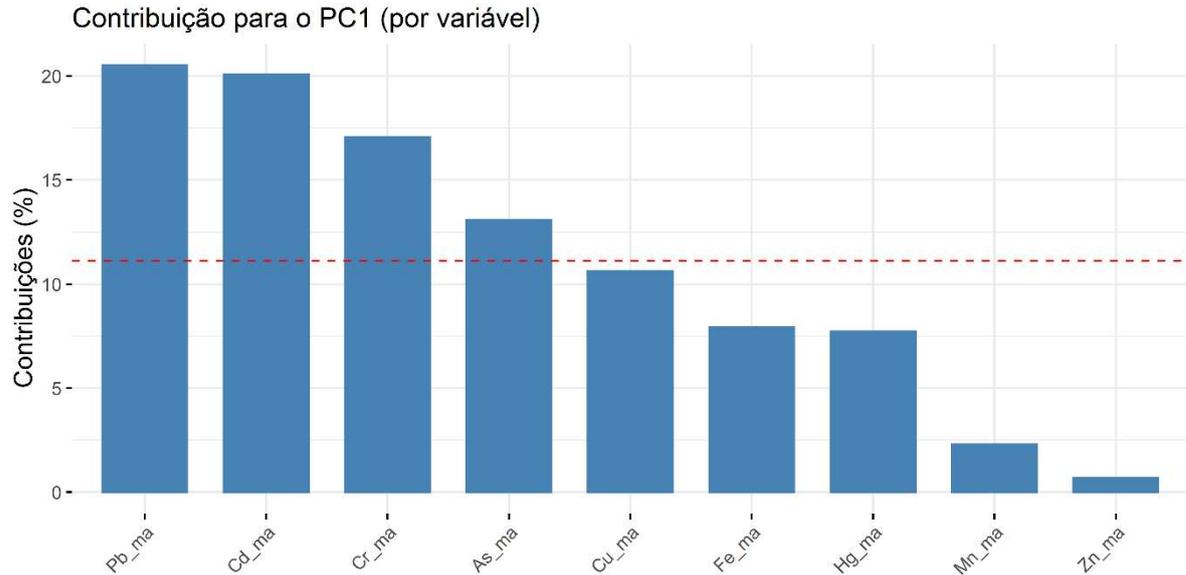
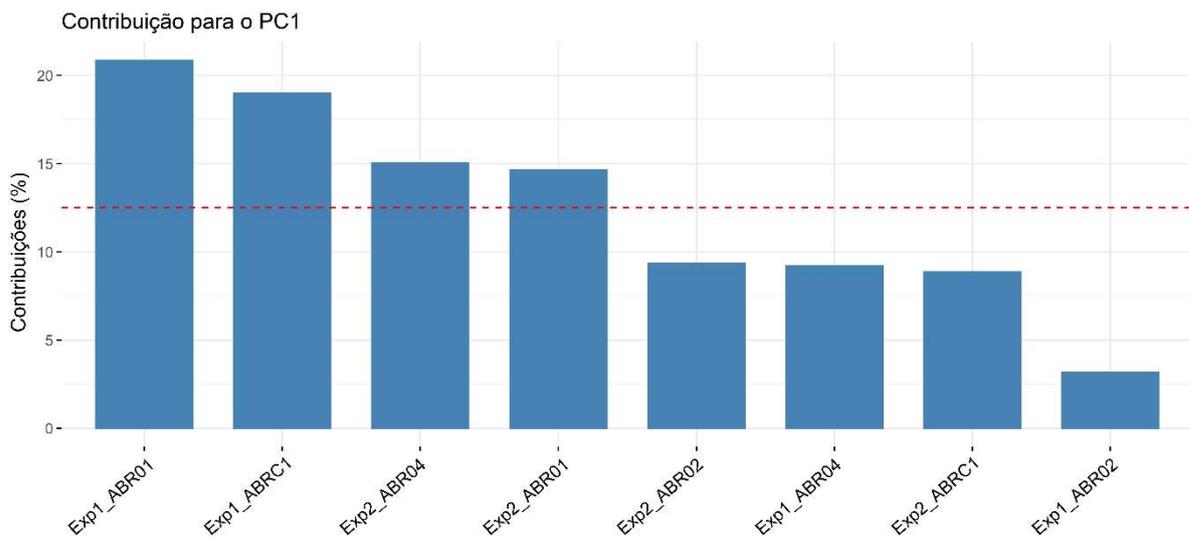


Figura 267: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



As variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos ao longo do PC2 foram os metais Mn, Zn e Fe (Figura 268), e os indivíduos/fatores que mais contribuíram para os agrupamentos ao longo do PC2

estão associados, principalmente, às estações amostrais ABR01 e ABR04 da campanha 1 (EXP1) (Figura 269).

Figura 268: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

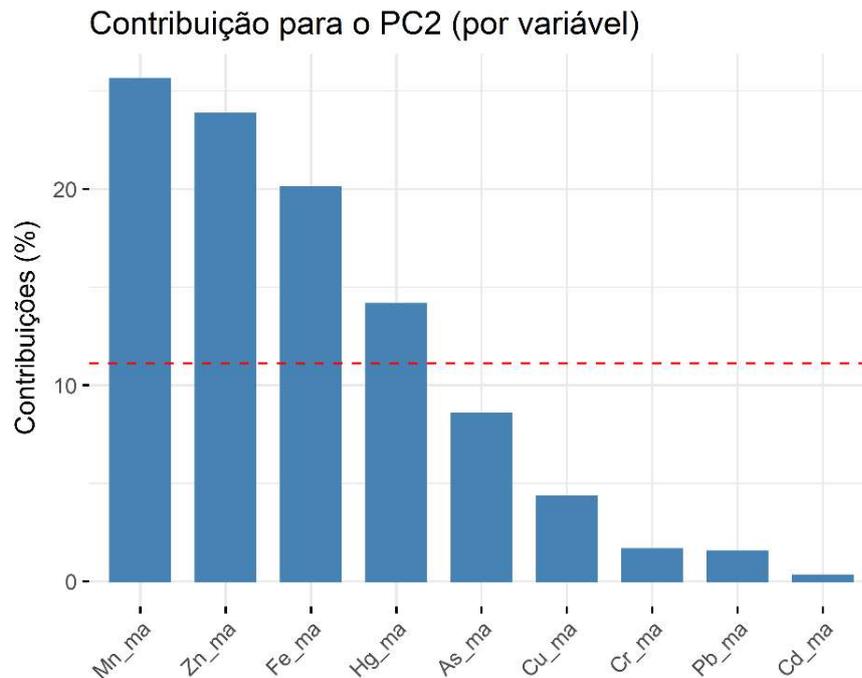
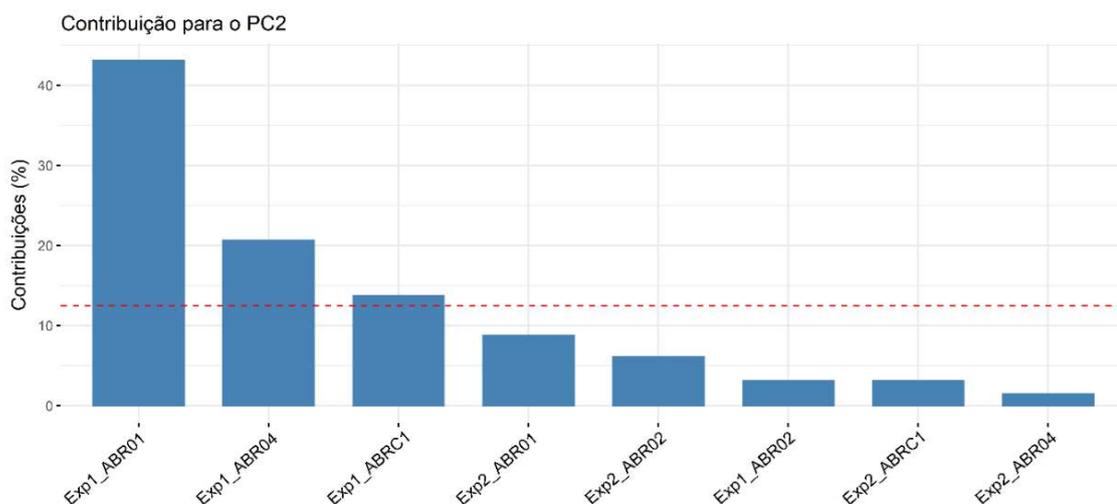


Figura 269: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



Os níveis de Cd, Cr e Fe mensurados em fragmentos de *Mussismilia harttii* foram significativamente maiores ( $p < 0.05$ ), na segunda campanha, como pode ser observado pelas diferenças entre as campanhas, considerando as médias e intervalos de confiança estimados. A variabilidade da bioacumulação de metais em corais foi mais influenciada pelo fator temporal do que por particularidades espaciais dos pontos de amostragem (Figura 270).

A campanha 2, realizada no verão de 2019, apresentou temperatura e salinidade (inferida a partir da condutividade) maior que a campanha 1, para as estações amostrais da área ABR. A temperatura média foi 1,6°C mais alta e a condutividade média 2,05 vezes maior. O aquecimento pode levar a um maior metabolismo e, conseqüentemente, a uma maior absorção de metais do ambiente (Sokolova e Lannig, 2008). No entanto, a maior diferença de condições abióticas entre campanhas pode ser observada nos níveis de metais no sedimento, que aumentaram significativamente (descrito na seção 3.2.3) para a maioria dos pontos na segunda campanha, evidenciando um maior aporte de contaminação na estação chuvosa. Esse padrão de maior aporte de metais na estação mais chuvosa é comum em recifes sob influência da desembocadura de rios (Fabricius et al., 2005; Marques et al., 2019), uma vez que a pluviosidade ao longo da bacia do Rio Doce e de outros rios que desaguam na proximidade da região costeira monitorada. Dessa maneira, acarreta na remobilização de rejeitos potencialmente contaminados sedimentados na calha dos rios, aumento na drenagem continental e, conseqüente, maior aporte de material contaminado na região costeira (Queiroz et al., 2018).

O aumento de concentração corporal de metais, na segunda campanha, também foi observado em fragmentos de *Millepora alcicornis* (Figura 271). Todavia, a acumulação de Fe no hidrocoral *M. alcicornis* apresentou efeito das estações de amostragem, sendo maior no recife costeiro ABR01 e nos recifes localizados próximos ao Arquipélago (ABR02 e ABR04), ambas durante a segunda campanha. É importante ressaltar que as estações ABR02 e ABR04 apresentaram níveis de Fe dissolvido na água mais altos que o máximo permitido pela legislação CONAMA 357.

O hidrocoral *M. alcicornis* parece refletir melhor a contaminação da água, enquanto o coral *M. harttii* refletiu apenas a variação de concentração de metais, que em ABR variou mais com relação ao fator temporal do que aos pontos amostrais. Marangoni e colaboradores (2019) identificou que o coral endêmico *M. harttii* possui maior capacidade antioxidante e conseqüente maior resiliência a estressores ambientais, em comparação com o hidrocoral *M. alcicornis* que, por sua vez, é mais susceptível a apresentar efeitos biológicos quando expostos aos mesmos estressores ambientes.

Figura 270: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para cromo (a), cádmio (b) e ferro (c) presentes nas amostras de coral *M. hartii*. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os quatro níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 4 estações amostrais com ABRC1 na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, ABRC1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.

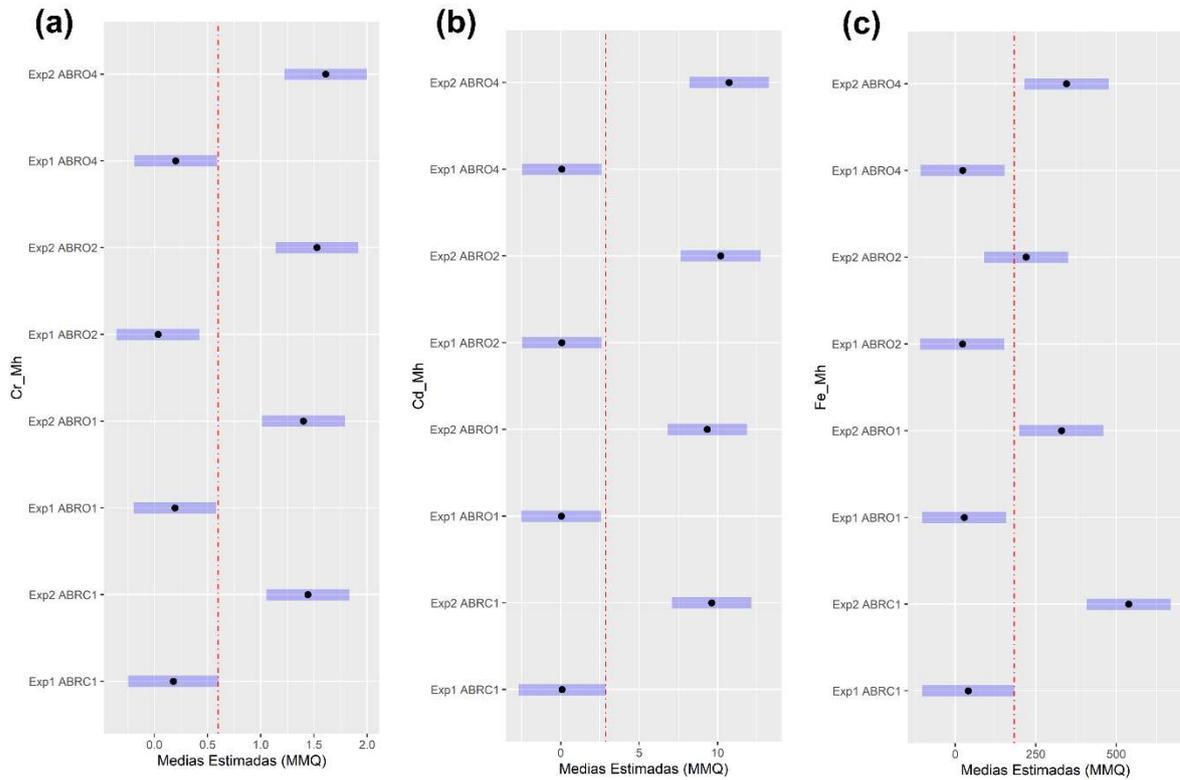
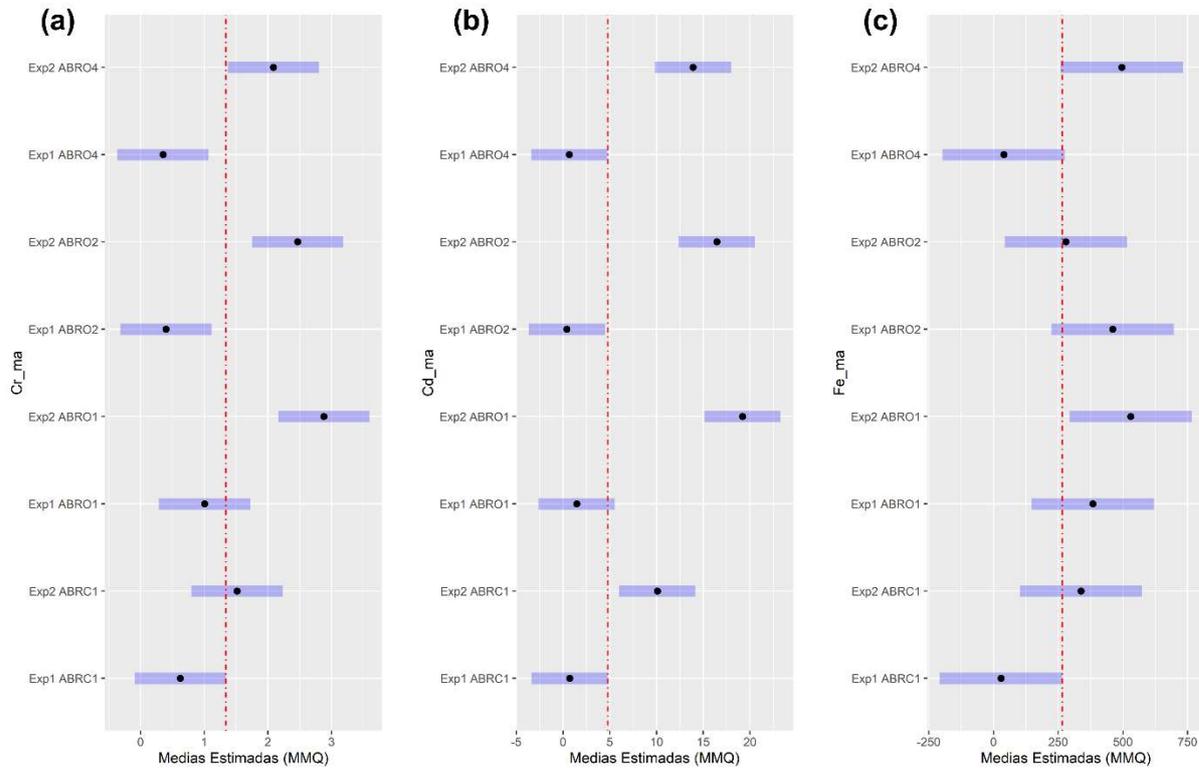


Figura 271: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para cromo (a), cádmio (b) e ferro (c) presentes nas amostras de coral *M. alvicornis*. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os quatro níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 4 estações amostrais com ABRC1 na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, ABRC1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha



Em resumo, foi possível observar que a maioria dos metais aumentou, na campanha 2, nas amostras de corais e hidrocorais da localidade ABR. Estes resultados também foram comparados com valores descritos na literatura para o coral *Mussismilia hispida*, em Taylor, 2017. As amostras de corais desse estudo são provenientes de recifes referência e serão utilizadas, aqui, para fins de comparação. Amostrou-se, esses recifes referência, entre 2013 e 2014, antes do rompimento da barragem do Fundão, e estão localizados em uma Unidade de Conservação (Parque Natural Municipal do Recife de Fora) 177 Km ao norte de Abrolhos. As concentrações de metais em fragmentos do coral endêmico *M. hartii* coletados, na campanha, 1 são similares ou inferiores à concentração de metais de corais coletados em recifes referência, amostrados antes do rompimento da barragem de Fundão. No entanto, durante a segunda campanha do PMBA, os níveis de Cd e Cr foram significativamente maiores do que os encontrados em *M. hartii* coletada nos recifes referência (Figura 272 à Figura 275).

Figura 272: Comparação entre a concentração de cromo (mg/kg peso seco) nas amostras de corais *M. hartii* coletados nas estações amostrais na localidade de Abrolhos durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha verde indica a média máxima de ferro encontradas na literatura (Taylor, 2017).

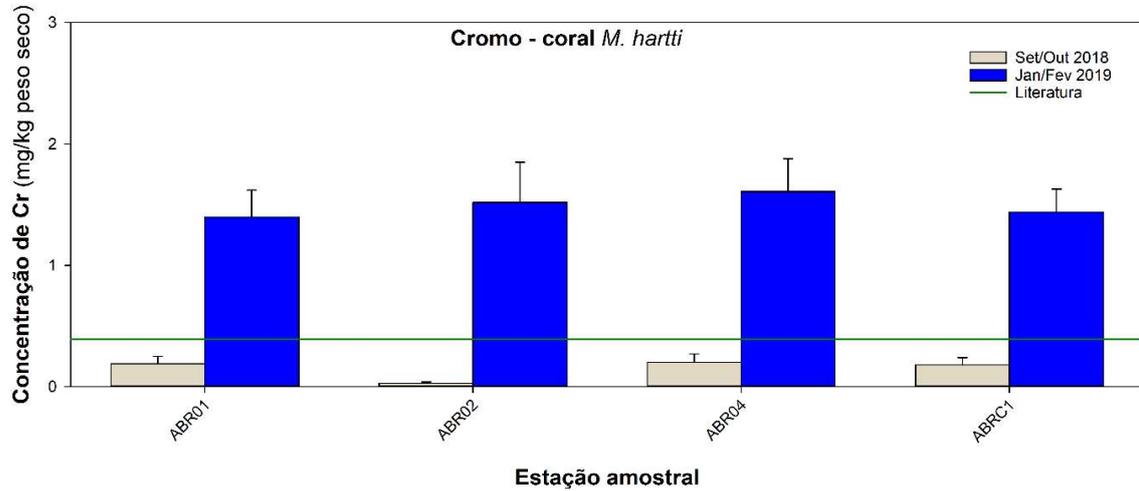


Figura 273: Comparação entre a concentração de chumbo (mg/kg peso seco) nas amostras de corais *M. hartii* coletados nas estações amostrais na localidade de Abrolhos durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha verde indica a média máxima de chumbo encontrada na literatura (Taylor, 2017).

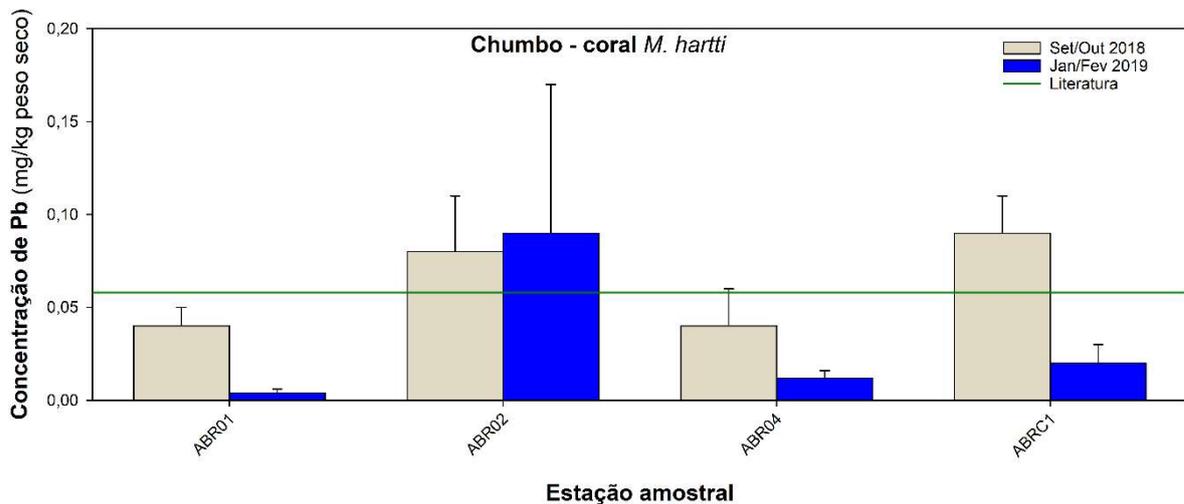


Figura 274: Comparação entre a concentração de cádmio (mg/kg peso seco) nas amostras de corais *M. hartti* coletados nas estações amostrais na localidade de Abrolhos durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha verde indica a média máxima de cádmio encontradas na literatura (Taylor, 2017).

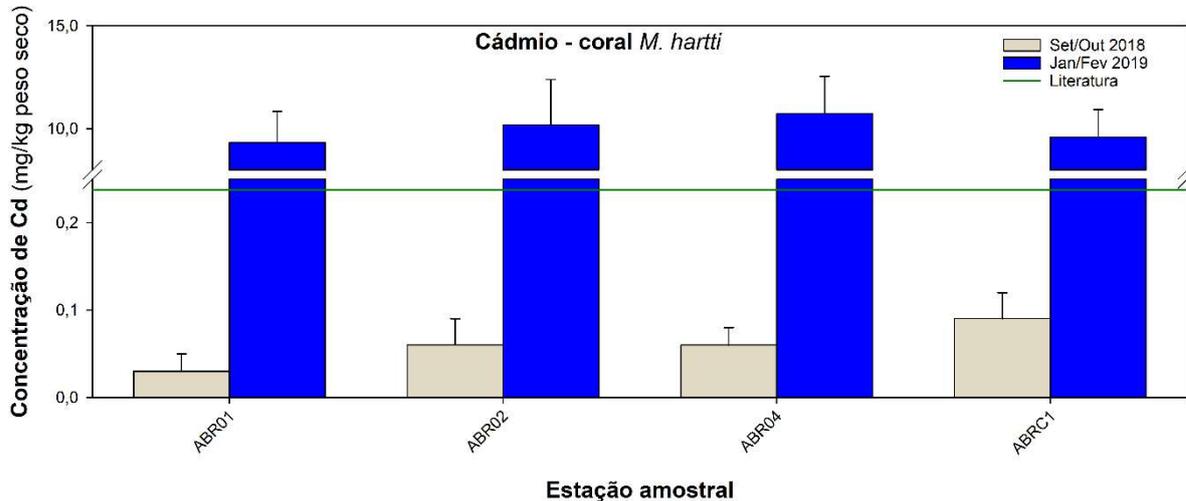
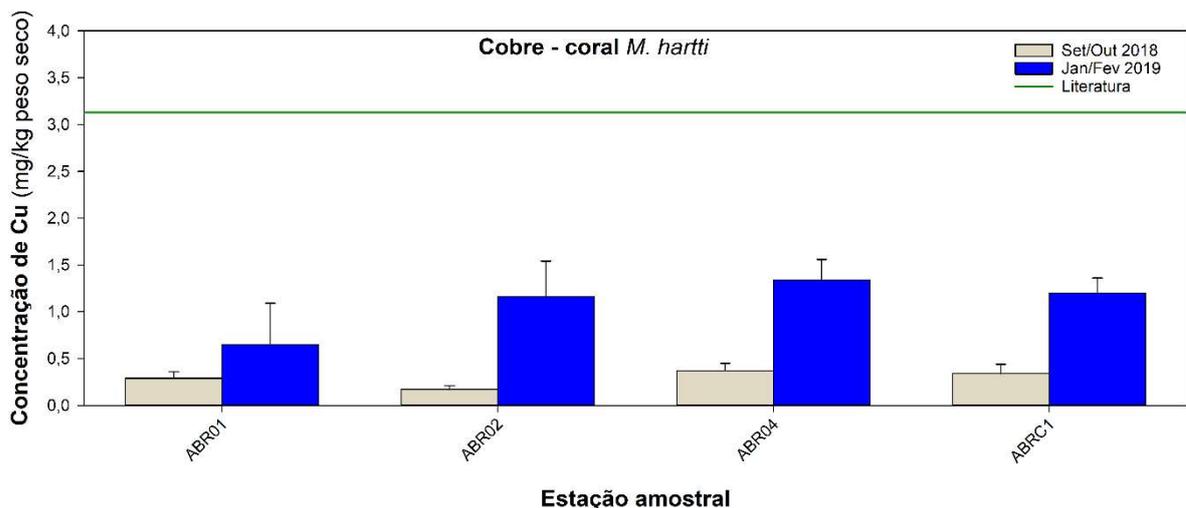


Figura 275: Comparação entre a concentração de cobre (mg/kg peso seco) nas amostras de corais *M. hartti* coletados nas estações amostrais na localidade de Abrolhos durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte e da região mais costeira para menos costeira. Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha verde indica a média máxima de cobre encontradas na literatura (Taylor, 2017).



### 3.2.6 Biomarcadores em organismos da foz do Rio Doce e região costeira adjacente

Assim, como para análise de metais, foram amostrados nas campanhas 1 e 2, sempre que possível, espécies representantes de diferentes níveis tróficos, podendo dividi-los em quatro subgrupos principais: (i) *pools* de fitoplâncton e zooplâncton, (ii) duas espécies de camarão (*Xiphopenaeus kroyeri*

e *Farfantapeneus spp.*) utilizando-se os principais tecidos para análise (hemolinfa, brânquia, hepatopâncreas e músculo); (iii) quatro diferentes espécies de peixes, retirando os principais tecidos (sangue, brânquia, fígado e músculo) para as análises; (iiii) e amostras de hidrocorais (*Millepora alcicornis*) e corais (*Mussimilia hartti*). Os dados individuais das análises de biomarcadores nos organismos podem ser acessados na “Planilha de Dados Brutos”. Em algumas estações amostrais, na campanha 1 e 2, não coletamos peixes/camarões no número previsto ( $n=6$ ) ou não foram encontrados na estação amostral estabelecida (sendo assim, não há peixes/camarões em todas as estações amostrais). Poliquetos e Moluscos não foram coletados nas campanhas 1 e 2, pois não encontramos com biomassa e frequência o suficiente para as análises propostas, e já não haviam sido coletados nas expedições anteriores ao PMBA. No caso dos corais e hidrocorais, a coleta só ocorre na localidade de Arolhos.

### 3.2.6.1 Biomarcadores em fitoplâncton e zooplâncton

As tabelas e gráficos seguintes mostram os resultados obtidos para fitoplâncton nas 25 estações amostrais da campanha 1 (Tabela 99) e campanha 2 (Tabela 100) (Figura 276), a partir de biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO; Lipoperoxidação) e concentração de metalotioneína (MT), respectivamente.

Tabela 99: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT;  $\mu\text{g MT/mg ptna}$ ) mensurados em amostras de fitoplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados são expressos em média  $\pm$  erro padrão ( $n=5$ ).

Fitoplâncton - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)		
Ponto	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT ( $\mu\text{g MT/mg ptna}$ )
GUA1	0,80 $\pm$ 0,12	3,16 $\pm$ 0,45
GUA2	3,51 $\pm$ 1,36	6,22 $\pm$ 1,01
VIX1	0,90 $\pm$ 0,18	5,64 $\pm$ 1,25
VIX2	2,04 $\pm$ 0,21	6,25 $\pm$ 0,56
CA1	1,30 $\pm$ 0,44	3,41 $\pm$ 0,23
CA2	1,56 $\pm$ 0,24	3,06 $\pm$ 0,43
CA3	7,76 $\pm$ 3,16	8,66 $\pm$ 0,94
CA4	1,60 $\pm$ 0,26	7,84 $\pm$ 1,75
CA5	3,41 $\pm$ 1,00	9,82 $\pm$ 1,94
FRD1	7,45 $\pm$ 1,71	16,29 $\pm$ 7,49
FRD3	1,21 $\pm$ 0,30	10,04 $\pm$ 1,24
FRD6	2,74 $\pm$ 0,75	8,70 $\pm$ 3,75
FRD8	3,44 $\pm$ 0,98	5,33 $\pm$ 1,10
FRD9	1,90 $\pm$ 0,51	9,15 $\pm$ 3,04
FRD10	3,20 $\pm$ 0,78	0,82 $\pm$ 0,29
DEG1	0,78 $\pm$ 0,14	13,21 $\pm$ 4,07
DEG2	7,27 $\pm$ 1,31	2,68 $\pm$ 0,74
BN1	2,96 $\pm$ 0,76	6,32 $\pm$ 1,41

**Fitoplâncton - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)**

<b>Ponto</b>	<b>LPO (nmol MDA/mg ptna)</b>	<b>MT (µg MT/mg ptna)</b>
BN2	5,38 ± 1,50	7,79 ± 2,33
ITA1	1,78 ± 0,94	4,87 ± 1,33
ITA2	37,08 ± 25,84	7,13 ± 0,30
ABR01	2,86 ± 0,88	7,56 ± 2,47
ABR02	32,00 ± 5,05	10,78 ± 2,58
ABR04	21,07 ± 2,37	5,89 ± 1,06
ABRC1	1,95 ± 0,67	2,31 ± 0,00

Tabela 100: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) mensurados em amostras de fitoplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média ± erro padrão (n=5).

**Fitoplâncton - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

<b>Ponto</b>	<b>LPO (nmol MDA/mg ptna)</b>	<b>MT (µg MT/mg ptna)</b>
GUA1	3,39 ± 0,57	6,57 ± 3,20
GUA2	3,70 ± 0,76	12,95 ± 2,17
VIX1	5,40 ± 1,49	3,12 ± 1,43
VIX2	3,14 ± 0,43	3,55 ± 1,83
CA1	37,46 ± 14,64	35,36 ± 5,94
CA2	4,83 ± 0,49	6,28 ± 1,24
CA3	1,44 ± 0,13	2,38 ± 0,60
CA4	37,66 ± 0,51	63,83 ± 19,27
CA5	1,60 ± 0,34	4,71 ± 1,07
FRD1	6,66 ± 0,91	7,56 ± 1,04
FRD3	9,96 ± 0,53	7,24 ± 0,76
FRD6	3,74 ± 0,89	7,05 ± 0,94
FRD8	14,80 ± 5,20	27,68 ± 11,77
FRD9	3,71 ± 0,79	7,73 ± 1,01
FRD10	66,81 ± 12,00	53,71 ± 5,57
DEG1	2,25 ± 0,36	7,94 ± 0,88
DEG2	5,55 ± 0,92	8,84 ± 1,64
BN1	2,52 ± 0,39	8,20 ± 0,33
BN2	25,04 ± 4,24	13,97 ± 2,03
ITA1	1,81 ± 0,42	7,90 ± 0,73
ITA2	5,36 ± 0,92	15,06 ± 2,12
ABR01	2,78 ± 0,45	9,79 ± 0,92
ABR02	53,99 ± 10,49	13,18 ± 2,24
ABR04	28,54 ± 4,62	50,74 ± 11,46
ABRC1	6,33 ± 2,37	21,18 ± 10,79

As tabelas e gráficos seguintes mostram os resultados obtidos para zooplâncton nas 25 estações amostrais da campanha 1 (Tabela 101) e da campanha 2 (Tabela 102) (Figura 277), a partir de biomarcadores de dano oxidativo em lipídios (LPO; Lipoperoxidação) e níveis de metalotioneína (MT), respectivamente.

Tabela 101: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; mg MT/mg ptna) mensurados em amostras de zooplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados são expressos em média  $\pm$  erro padrão ( $n=5$ ).

Zooplâncton - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)		
Ponto	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT (mg MT/mg ptna)
GUA1	1,49 $\pm$ 0,22	6,58 $\pm$ 1,31
GUA2	1,23 $\pm$ 0,21	8,90 $\pm$ 2,55
VIX1	1,56 $\pm$ 0,56	9,20 $\pm$ 4,26
VIX2	1,71 $\pm$ 0,20	11,47 $\pm$ 1,60
CA1	1,00 $\pm$ 0,21	3,88 $\pm$ 0,39
CA2	2,05 $\pm$ 0,69	7,78 $\pm$ 0,81
CA3	1,29 $\pm$ 0,14	5,97 $\pm$ 1,76
CA4	5,90 $\pm$ 2,29	33,12 $\pm$ 16,15
CA5	1,37 $\pm$ 0,24	7,16 $\pm$ 1,07
FRD1	1,47 $\pm$ 0,72	13,40 $\pm$ 4,57
FRD3	1,21 $\pm$ 0,37	5,96 $\pm$ 1,99
FRD6	5,02 $\pm$ 0,96	18,34 $\pm$ 4,98
FRD8	1,00 $\pm$ 0,06	5,96 $\pm$ 1,13
FRD9	1,14 $\pm$ 0,24	12,06 $\pm$ 2,57
FRD10	1,34 $\pm$ 0,40	7,03 $\pm$ 3,40
DEG1	11,66 $\pm$ 4,99	146,97 $\pm$ 81,47
DEG2	2,58 $\pm$ 1,51	12,10 $\pm$ 5,16
BN1	3,37 $\pm$ 1,10	15,27 $\pm$ 6,53
BN2	0,63 $\pm$ 0,08	10,07 $\pm$ 5,10
ITA1	2,09 $\pm$ 0,63	14,45 $\pm$ 2,64
ITA2	3,23 $\pm$ 1,06	32,13 $\pm$ 10,12
ABR01	1,13 $\pm$ 0,11	17,29 $\pm$ 0,00
ABR02	10,48 $\pm$ 1,24	18,88 $\pm$ 7,72
ABR04	3,92 $\pm$ 1,69	24,57 $\pm$ 4,21
ABRC1	0,61 $\pm$ 0,06	10,30 $\pm$ 1,65

Tabela 102: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg ptna) mensurados em amostras de zooplâncton coletados nas 25 estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média ± erro padrão (n=5).

<b>Zooplâncton - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)</b>		
<b>Ponto</b>	<b>LPO (nmol MDA/mg ptna)</b>	<b>MT (µg MT/mg ptna)</b>
GUA1	1,56 ± 0,20	7,04 ± 0,30
GUA2	1,91 ± 0,43	7,66 ± 0,89
VIX1	1,59 ± 0,07	5,32 ± 0,42
VIX2	1,86 ± 0,28	5,32 ± 0,42
CA1	1,46 ± 0,24	4,26 ± 0,26
CA2	6,17 ± 0,65	27,14 ± 5,23
CA3	16,15 ± 2,17	27,21 ± 3,44
CA4	1,07 ± 0,13	9,91 ± 0,39
CA5	9,69 ± 3,01	74,86 ± 10,16
FRD1	2,77 ± 0,22	16,43 ± 1,62
FRD3	1,65 ± 0,25	10,47 ± 0,62
FRD6	1,93 ± 0,31	7,87 ± 0,51
FRD8	3,92 ± 0,44	8,32 ± 0,76
FRD9	1,90 ± 0,33	6,51 ± 0,42
FRD10	2,36 ± 0,68	7,58 ± 2,38
DEG1	0,87 ± 0,06	5,28 ± 0,34
DEG2	1,07 ± 0,05	6,33 ± 0,70
BN1	7,67 ± 2,29	15,33 ± 2,63
BN2	7,04 ± 1,30	20,95 ± 3,32
ITA1	0,90 ± 0,09	5,33 ± 0,44
ITA2	2,59 ± 0,19	9,22 ± 1,05
ABR01	1,30 ± 0,08	7,17 ± 0,85
ABR02	4,15 ± 0,93	16,20 ± 2,59
ABR04	9,13 ± 2,07	12,08 ± 1,37
ABRC1	3,93 ± 0,50	16,93 ± 0,51

Figura 276: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO) (a) e concentração de metalotioneínas (MT) (b) mensurados em amostras de fitoplâncton (*poos*) coletados nas 25 estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média,  $\pm$  erro padrão. Em negrito destacam-se as estações amostrais na localidade da foz do Rio Doce.

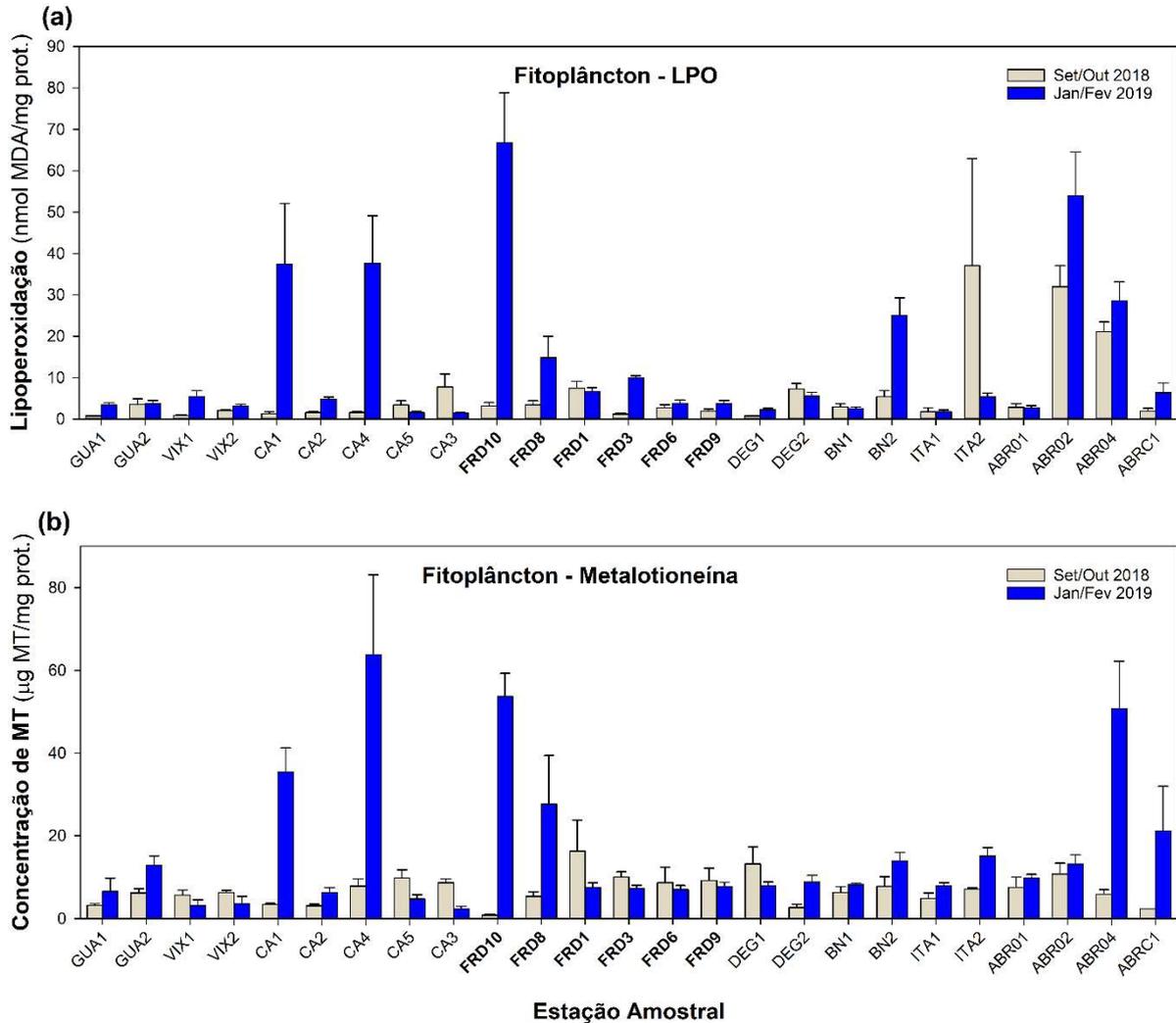
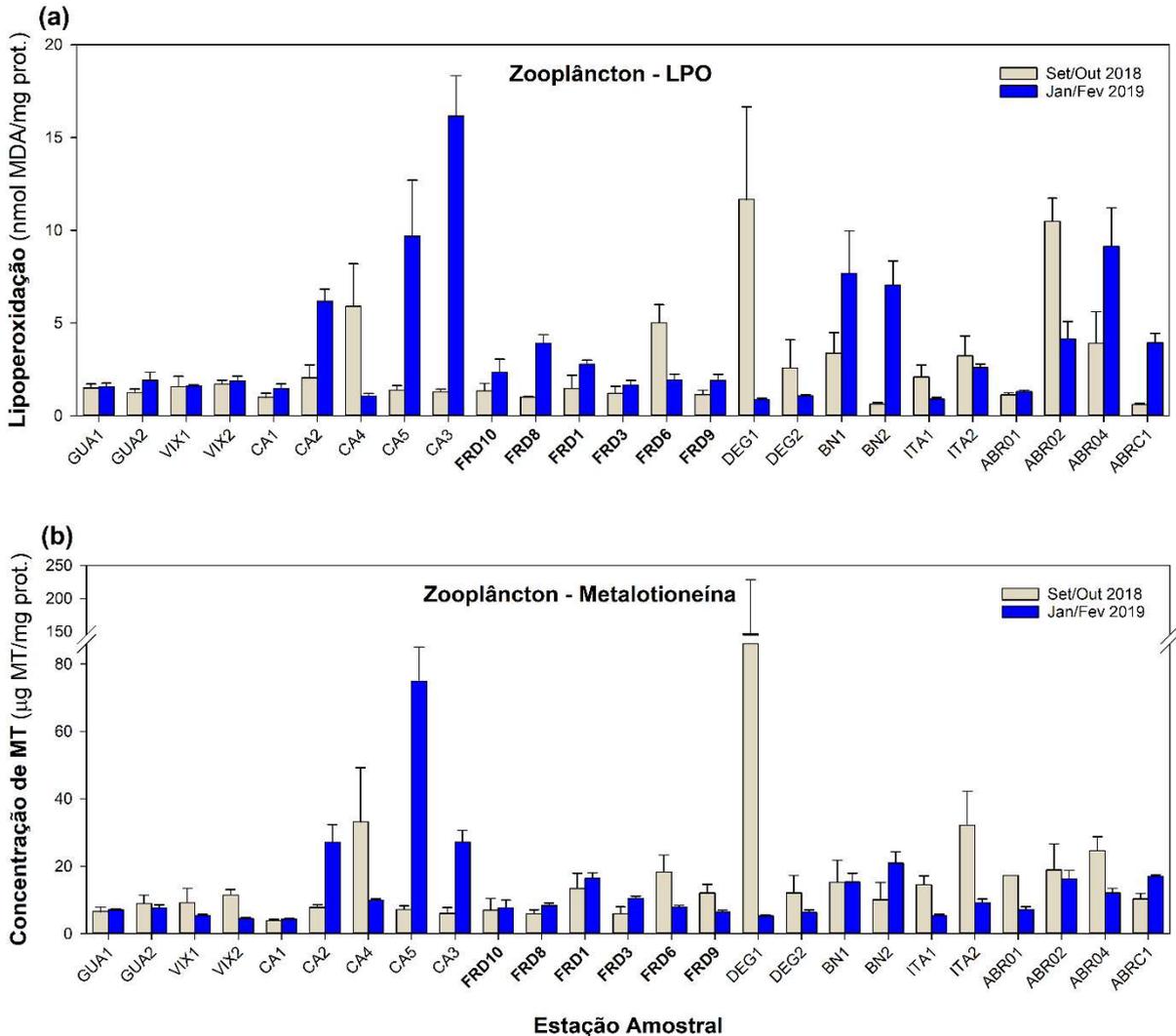


Figura 277: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO) (a) e concentração de metalotioneínas (MT) (b) mensurados em amostras de zooplâncton (*pools*) coletados nas 25 estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média  $\pm$  erro padrão. Em negrito destacam-se as estações amostrais na foz do Rio Doce.



A PCA realizada, a partir dos resultados de biomarcadores no fito e zooplâncton marinho coletado ao longo das duas expedições, sumarizou 88,3% da variabilidade nos dois primeiros componentes (Figura 278; Tabela 103 e Figura 279). A separação mais evidente foi entre os biomarcadores no fitoplâncton, agrupados no quadrante nordeste, e os biomarcadores no zooplâncton, agrupados no quadrante sudeste.

Figura 278: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de biomarcadores de lipoperoxidação (DanoLip) e concentração de metalotioneínas (Metalto) mensurados em amostras de fitoplâncton (fit) e zooplâncton (zoo). Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA 2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1; CA2; CA3; CA4 e CA5]); FRD (foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) e ABR (Abrolhos [ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1]) nas campanhas 1 [Exp1; símbolos cinzas] e 2 [Exp2; símbolos azuis].

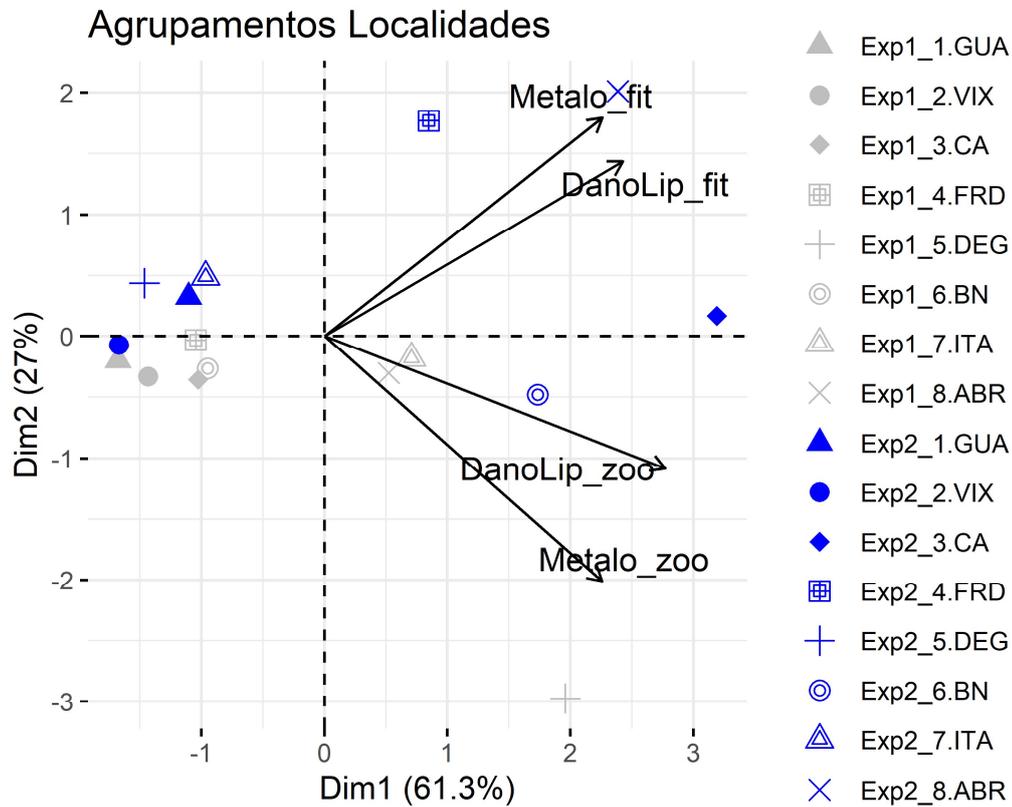
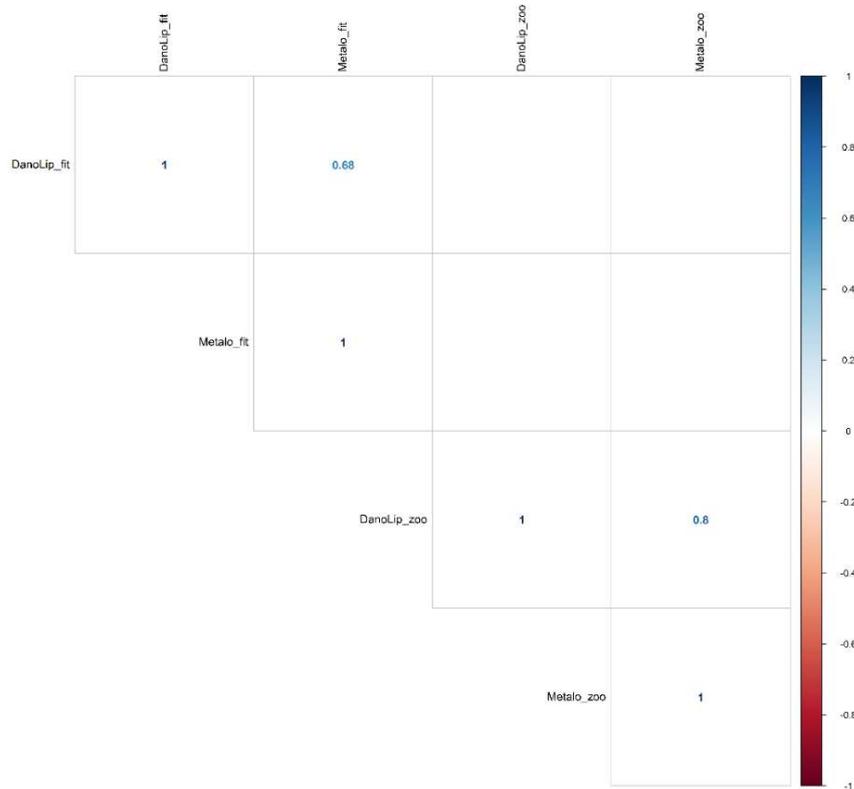


Tabela 103: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 278.

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.1	2,45	61,29	61,29
Dim.2	1,08	27,02	88,30
Dim.3	0,32	8,11	96,42
Dim.4	0,14	3,58	100,00

Figura 279: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, do biomarcadores (lipoperoxidação [DanoLip] e concentração de metalotioneínas [Metalo] nas amostras de fitoplâncton (fit) e zooplâncton (zoo) Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas.



De forma geral, o fitoplâncton respondeu com maior dano em lípidios e maior indução de enzimas metabolizadoras de metais em populações coletadas em Costa das Algas e Abrolhos (Figura 280 e Figura 281). Essa indução de estresse fisiológico, para o zooplâncton, foi observada com maior magnitude na localidade de Degredo. A avaliação das localidades mais associadas aos componentes 1 (CA e ABR) sugerem maior ocorrência de dano oxidativo em lipídio nesses locais, enquanto as localidades de DEG, ABR e FRD estão mais associadas ao PC2, que por sua vez, é influenciado, principalmente, pelos níveis de metalotioneínas no plâncton coletado (Figura 282 e Figura 283).

Figura 280: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 278). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

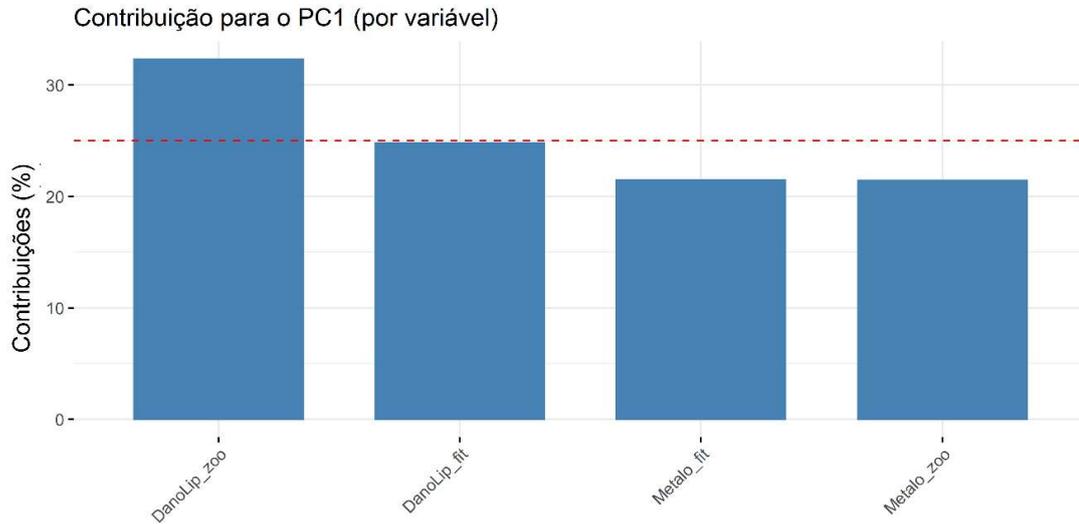


Figura 281: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 278). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/16 = 6,2\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

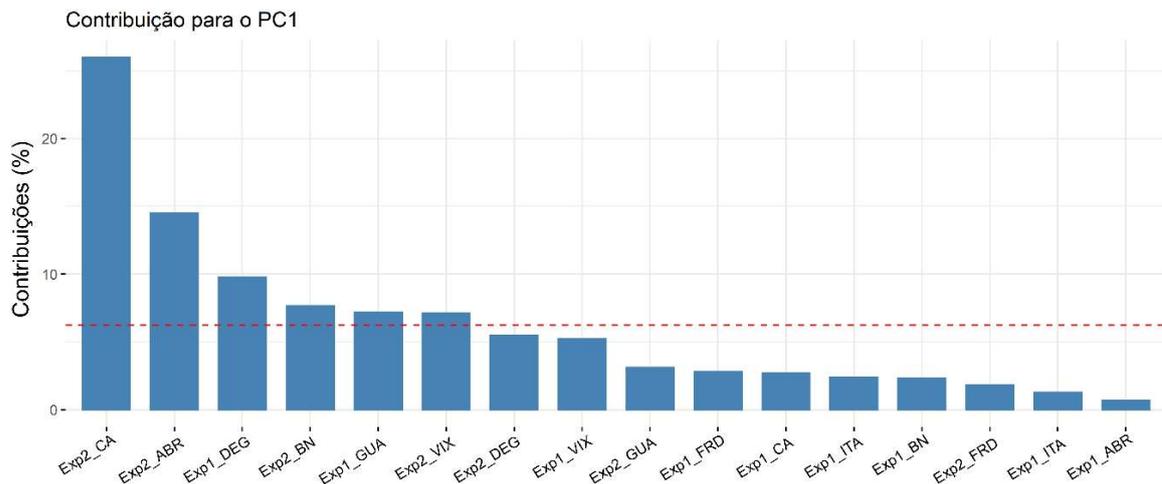


Figura 282: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 278). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/4 = 25\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

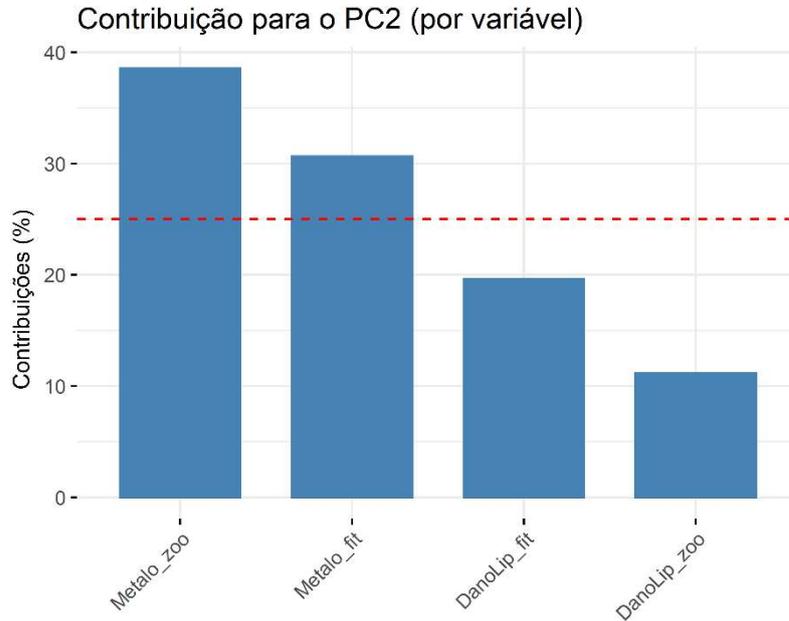
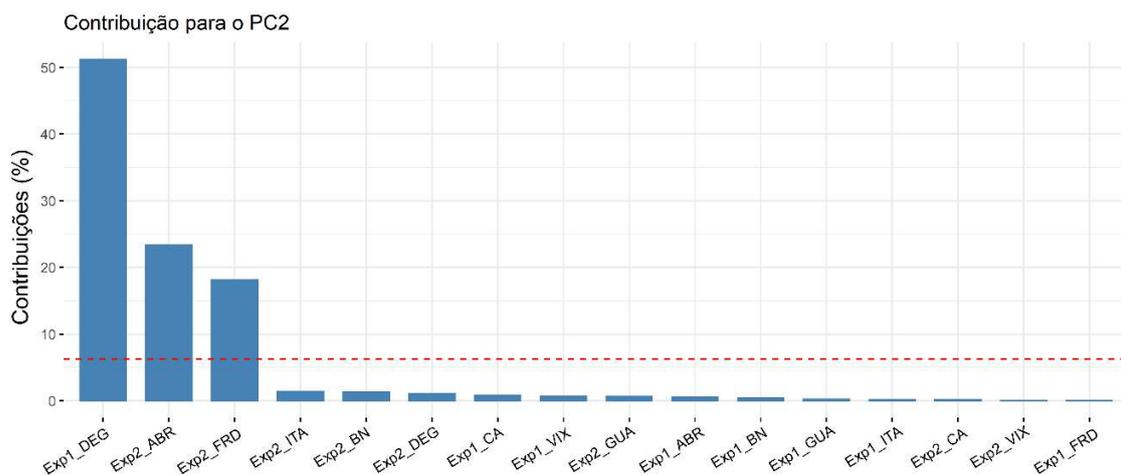


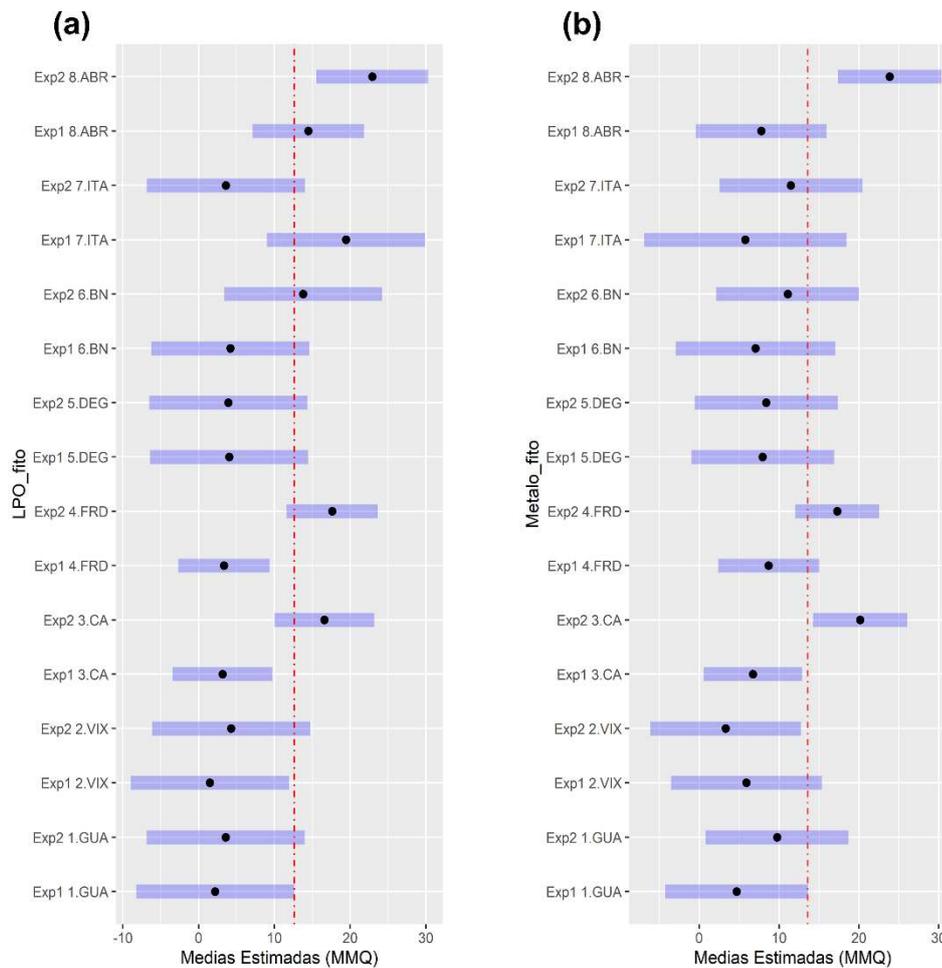
Figura 283: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 278). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/16 = 6,2\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



Análises univariadas foram aplicadas aos biomarcadores para maior avaliação de padrões espaço-temporais. De forma geral, observa-se um forte efeito temporal na resposta fisiológica do fitoplâncton,

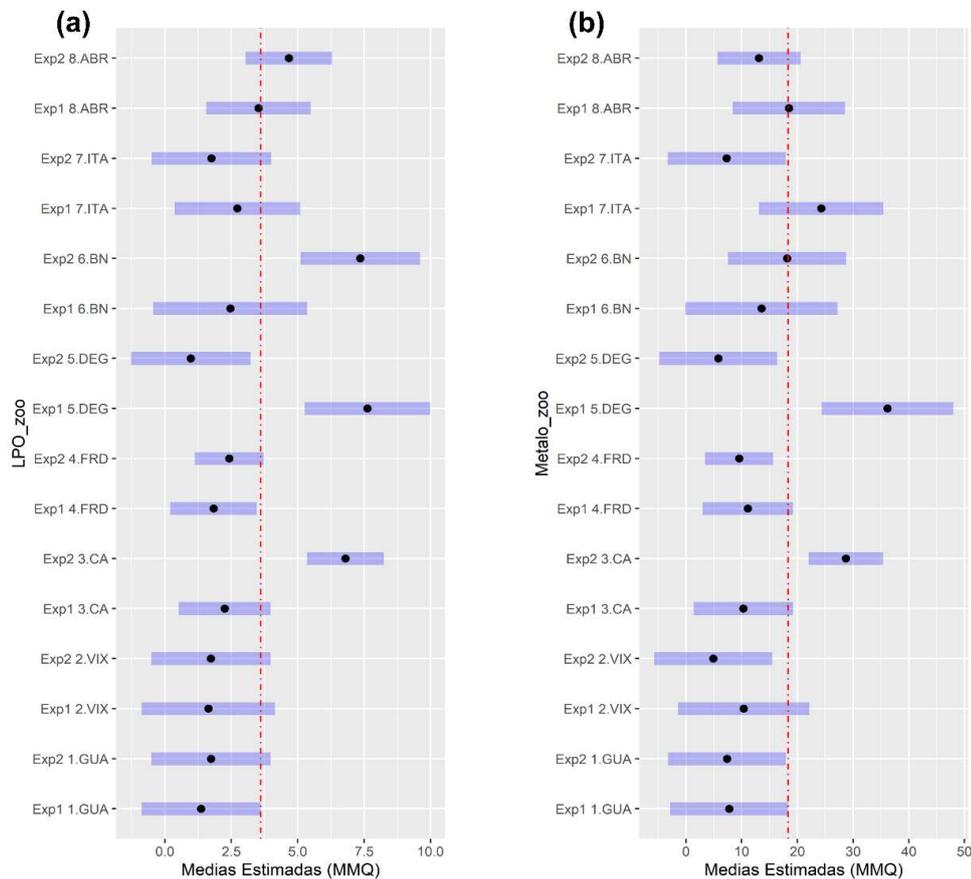
com maior nível de dano oxidativo e maior indução de metalotioneínas durante a segunda campanha. CA, FRD e ABR são as localidades que se destacam, com maior indução dos biomarcadores estudados (Figura 284).

Figura 284: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para lipoperoxidação (LPO [a]) concentração de metalotioneínas (Metalto [b]) presentes nas amostras de fitoplâncton (fito). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os oito níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 8 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.



As análises univariadas dos biomarcadores avaliados no zooplâncton marinho indicam uma menor ocorrência de dano oxidativo e menor indução de metalotioneínas na segunda campanha, mostrando uma resposta oposta à observada no fitoplâncton. A maior alteração bioquímica, avaliada pela variação espacial dos níveis de LPO e metalotioneína no zooplâncton, foi observada nas localidades de CA, DEG e BN (Figura 285).

Figura 285: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para lipoperoxidação (LPO [a]) concentração de metalotioneínas (Metalto [b]) presentes nas amostras de zooplâncton (zoo). Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os oito níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 8 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.



O compartimento referido como fitoplâncton apresentou padrões de bioacumulação de metais diferentes do compartimento referido como zooplâncton. No entanto, ambos os grupos apresentaram acumulação de Mn associada à localidade CA, acumulação de Fe associada à FRD, e acumulação de Hg associada à localidade BN. Observou-se o efeito biológico, avaliado pela indução de alterações fisiológicas, principalmente, em CA, FRD e em ABR para o fitoplâncton, e em CA para o zooplâncton. Os efeitos avaliados incluem o dano oxidativo em lipídios, biomarcador de estresse ambiental, e a indução de metalotioneínas, enzima responsável pelo metabolismo de metais. Os metais mais tóxicos (Cd, Pb, e Hg) foram encontrados em maior concentração na água de CA e DEG e no sedimento de CA, FRD e DEG. Com relação a bioacumulação, o fitoplâncton acumulou esses metais em maior quantidade em DEG e BN, enquanto o zooplâncton acumulou maior quantidade desses metais em CA e BN. De forma geral, as populações de fito e zooplâncton se apresentavam com maior estresse fisiológico, mensurado pelos níveis de LPO e MT, em localidades apresentando contaminação por Fe, Cd, Pb e Hg.

Biomarcadores de estresse oxidativo, como o dano oxidativo em lipídios e mesmo as metalotioneínas, que metabolizam metais essenciais e, indiretamente, atuam como antioxidantes, são fortemente relacionadas à exposição a metais (Montserrat et al., 2007, Romeo et al., 2013). Em especial, em organismos zooplancônicos, como rotíferos e copépodes, o estresse oxidativo induzido por contaminantes leva a prejuízo no sistema reprodutivo e maior mortalidade (Jeong et al., 2019; Baird et al., 2007), o que afeta as populações e comunidades de forma direta.

### 3.2.6.2 Biomarcadores em Camarões

Sempre que possível foram amostradas duas espécies de camarão, assim como para análise de bioacumulação de metais, o camarão sete barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*) e o camarão rosa (*Farfantapeneus* spp.), discriminando os principais tecidos para análise de biomarcadores (hemolinfa, brânquia, hepatopâncreas e músculo). Em alguns pontos amostrais, nas campanhas 1 e 2, não foram coletados camarões no número previsto ( $n=6$  por espécie), ou não encontrados na estação amostral e/ou estação do ano estabelecida. Além disso, em muitos pontos amostrais, o tipo de substrato do fundo (exemplo, fundos calcáreos ou recifes), ou a profundidade (exemplo, locais com profundidades >40m) não possibilitam o uso da arte de pesca utilizada para captura de camarões. Sendo assim, não há camarões em todas as estações amostrais.

A Tabela 104 e Tabela 105 descrevem os resultados de biomarcadores de dano oxidativo em lipídios (LPO; DanoLip; nmol MDA/mg ptna), níveis de metalotioneína (MT; Metalot;  $\mu\text{g MT/mg ptna}$ ), níveis de proteínas carboniladas (PCO; DanoProt; nmol PC/mg ptna), danos oxidativos no DNA (Sítios AP; Sítios AP/ $10^5$  bp) nos tecidos (brânquia, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa) de camarões marinhos coletados nas estações amostrais (não há camarões em todas as 25 estações amostrais estabelecidas) da campanha 1 (Set/Out 2018) e 2 (Jan/Fev 2019), respectivamente.

Tabela 104: Análise em diferentes tecidos (brânquia, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa) dos biomarcadores de dano oxidativo em lipídios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO) e níveis de danos oxidativos no DNA (sítios AP) nos camarões coletados nas estações amostrais durante campanha 1 (Set/Out 2018).

Camarão - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)					
Ponto	Hepatopâncreas		Brânquia	Músculo	Hemolinfa
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT ( $\mu\text{g MT/mg}$ ptna)	LPO (nmol MDA/mg ptna)	PCO (nmol PC/mg ptna)	Sítios AP (Sítios AP/ $10^5$ bp)
VIX1	4,86 $\pm$ 0,67	25,78 $\pm$ 11,02	2,69 $\pm$ 1,02	30,07 $\pm$ 13,42	3,19 $\pm$ 0,62
CA1	4,59 $\pm$ 0,78	21,89 $\pm$ 4,65	4,79 $\pm$ 1,64	10,48 $\pm$ 1,81	5,10 $\pm$ 0,25
CA2	2,87 $\pm$ 0,29	11,68 $\pm$ 2,29	3,06 $\pm$ 0,87	7,77 $\pm$ 1,98	*
FRD1	5,99 $\pm$ 1,52	27,80 $\pm$ 6,44	2,55 $\pm$ 0,44	6,12 $\pm$ 1,42	4,84 $\pm$ 0,54
FRD3	3,61 $\pm$ 0,35	11,42 $\pm$ 1,55	4,78 $\pm$ 0,88	12,18 $\pm$ 2,58	6,42 $\pm$ 0,37
FRD6	4,48 $\pm$ 0,75	23,47 $\pm$ 4,27	4,59 $\pm$ 1,30	7,03 $\pm$ 0,77	4,48 $\pm$ 0,85
FRD9	2,92 $\pm$ 0,25	16,52 $\pm$ 3,66	2,54 $\pm$ 0,38	6,05 $\pm$ 1,10	*
FRD10	4,05 $\pm$ 0,54	19,02 $\pm$ 4,39	4,54 $\pm$ 0,52	7,70 $\pm$ 2,46	8,45 $\pm$ 0,93
DEG1	1,90 $\pm$ 0,14	8,70 $\pm$ 0,10	1,93 $\pm$ 0,35	4,55 $\pm$ 1,05	8,80 $\pm$ 0,75

**Camarão - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)**

Ponto	Hepatopâncreas		Brânquia	Músculo	Hemolinfa
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT (µg MT/mg ptna)	LPO (nmol MDA/mg ptna)	PCO (nmol PC/mg ptna)	Sítios AP (Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp)
ITA1	2,42 ± 0,72	16,99 ± 7,79	5,76 ± 0,94	8,22 ± 0,50	7,83 ± 0,81

(\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

Tabela 105: Análise em diferentes tecidos (brânquia, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa) dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO) e níveis de danos oxidativos no DNA (sítios AP) nos camarões coletados nas estações amostrais durante campanha 2 (Jan/Fev 2019).

**Camarão - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

Ponto	Hepatopâncreas		Brânquia	Músculo	Hemolinfa
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT (µg MT/mg ptna)	LPO (nmol MDA/mg ptna)	PCO (nmol PC/mg ptna)	Sítios AP (Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp)
VIX1	6,54 ± 0,98	28,89 ± 3,77	0,41 ± 0,07	3,38 ± 0,28	8,06 ± 1,27
VIX2	5,31 ± 0,55	25,46 ± 3,07	0,21 ± 0,06	3,36 ± 0,58	5,85 ± 0,16
CA1	3,44 ± 0,50	34,49 ± 4,77	1,73 ± 0,45	3,35 ± 0,40	4,78 ± 0,86
CA2	4,82 ± 2,09	28,20 ± 2,35	1,85 ± 0,61	12,99 ± 1,54	8,99 ± 0,82
FRD1	2,12 ± 0,19	25,01 ± 10,54	2,81 ± 0,97	3,02 ± 0,49	11,65 ± 1,14
FRD6	2,79 ± 0,24	28,96 ± 5,00	0,35 ± 0,07	3,14 ± 0,32	15,46 ± 6,79
FRD8	2,67 ± 0,24	16,61 ± 0,41	0,84 ± 0,07	4,92 ± 2,48	6,52 ± 0,54
FRD9	3,19 ± 0,49	12,53 ± 0,73	1,98 ± 0,70	3,22 ± 0,34	5,68 ± 1,31
FRD10	2,96 ± 0,39	13,07 ± 1,34	1,06 ± 0,32	10,48 ± 4,00	8,66 ± 1,65
DEG1	2,23 ± 0,38	13,13 ± 1,42	1,01 ± 0,20	5,23 ± 0,28	4,15 ± 0,21
DEG2	2,87 ± 0,23	37,96 ± 7,88	0,69 ± 0,16	5,21 ± 1,63	3,94 ± 0,49
ITA1	2,27 ± 0,35	14,16 ± 0,90	1,14 ± 0,31	6,87 ± 2,76	6,70 ± 1,54

A PCA realizada, a partir dos resultados de biomarcadores no camarão marinho coletado ao longo da campanha 1 e 2, sumarizou 74,5% da variabilidade nos dois primeiros componentes (Figura 286; Tabela 106 e Figura 287). A separação mais evidente foi entre as duas campanhas marinhas, sendo que a campanha 1 está agrupada no setor positivo componente principal 2, que por sua vez sumarizou 28,9% dos dados. Os danos oxidativos em lípidios e proteínas apresentaram padrão similar entre si, e foram maiores na campanha 1, em especial nos locais mais distantes da foz, VIX e ITA. Ademais, observa-se no quadrante sudeste uma correlação entre as variáveis medidas no hepatopâncreas (dano em lipídio e metalotioneínas) com valores crescentes associados aos locais ao sul da foz, VIX e CA. A variável dano em DNA se localizou no quadrante sudoeste, onde as localidades FRD e ITA amostradas na campanha 2 (EXP 2) se agruparam.

Figura 286: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de biomarcadores, lipoperoxidação (DanoLip; hepatopâncreas e brânquia), concentração de metalotioneínas (Metal; hepatopâncreas), proteínas carboniladas (DanoProt; músculo) e níveis de sítios AP (DanoDNA; hemolinfa) mensurados em amostras de camarão. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, categorizados por localidade VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]);CA (Costa das Algas [CA1; CA2; CA3]); FRD (foz do Rio Doce [FRD1, FRD3; FRD6; FRD8, FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) nas campanhas marinhas 1 [Exp1; símbolos cinzas] e 2 [Exp2; símbolos azuis].

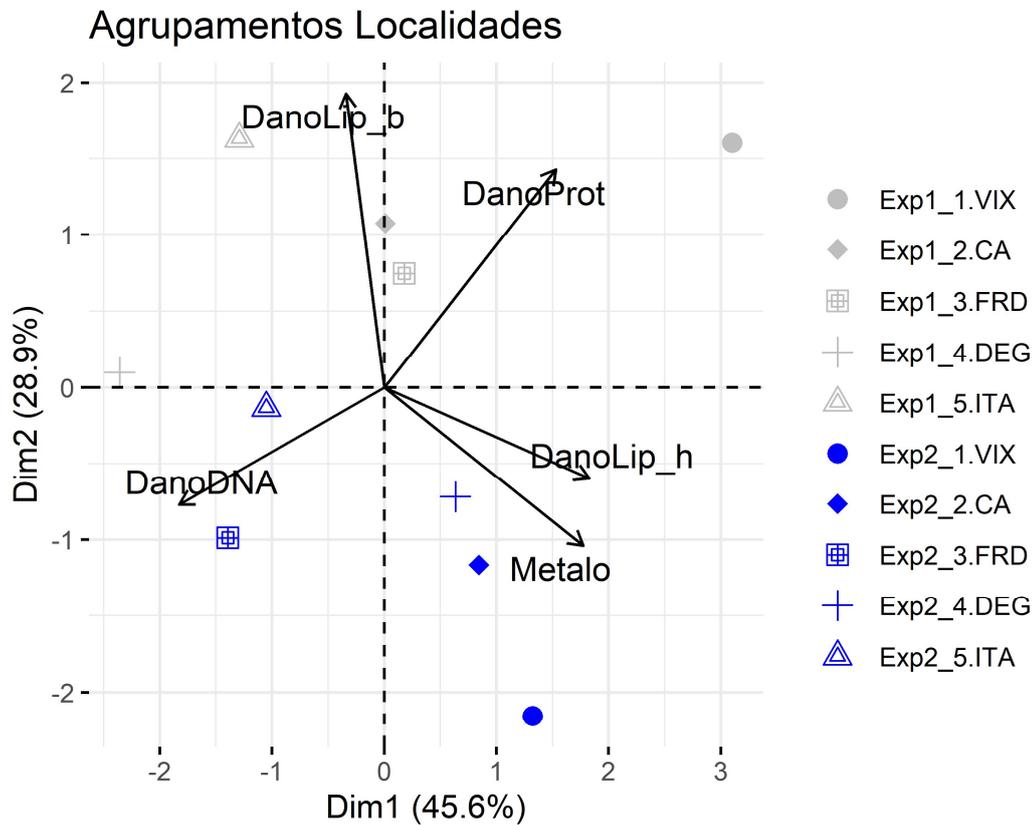
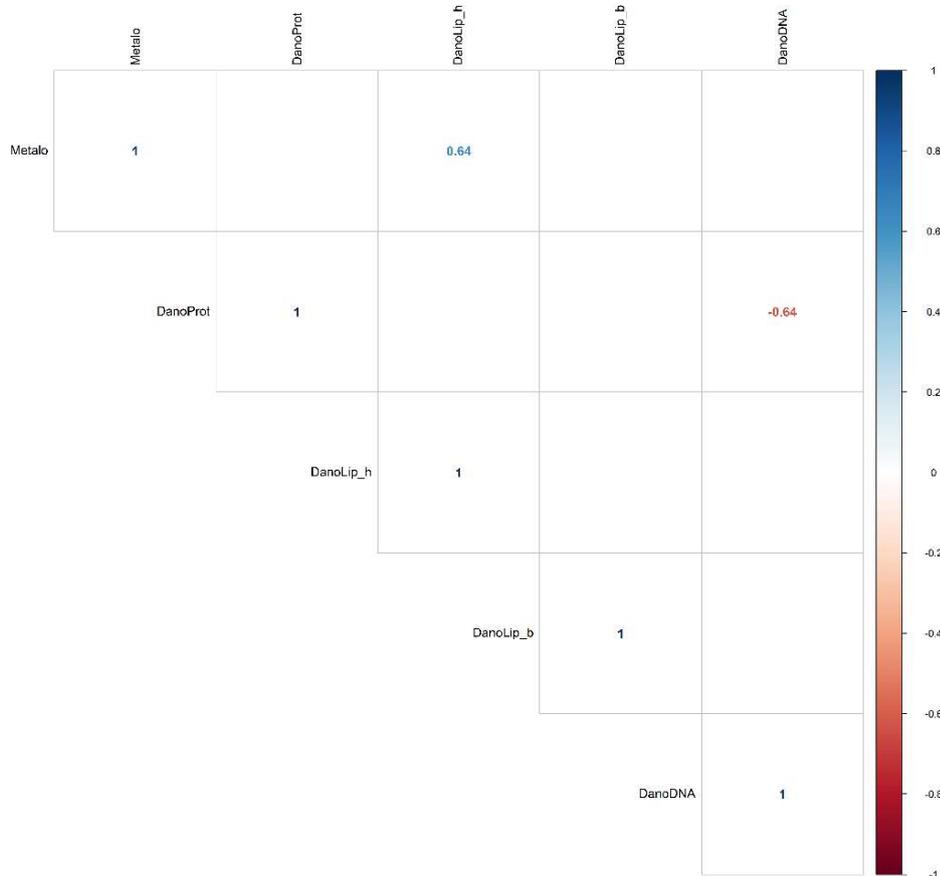


Tabela 106: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 286.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de variância</b>	<b>Percentual de variância acumulativa</b>
Dim.1	2,28	45,61	45,61
Dim.2	1,45	28,92	74,52
Dim.3	0,62	12,33	86,86
Dim.4	0,39	7,72	94,57
Dim.5	0,27	5,43	100,00

Figura 287: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, dos biomarcadores (lipoperoxidação [DanoLip], concentração de metalotioneínas [Metalto], proteínas carboniladas [DanoProt] e quantificação de sítios AP [DanoDNA]) nas amostras de camarão (brânquia [b], hepatopâncreas [h] músculo [m] e hemolinfa) Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas.



Os danos em lipídios no hepatopâncreas (DanoLip\_h), os danos no DNA (sítios AP; hemolinfa) e os níveis de metalotioneínas (metalo; hepatopâncreas) são as variáveis que mais contribuíram para o PC1 (Figura 288) e estavam, principalmente, relacionadas à campanha 1 nas localidades de VIX e DEG (Figura 289).

Figura 288: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 286). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/5 = 20\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

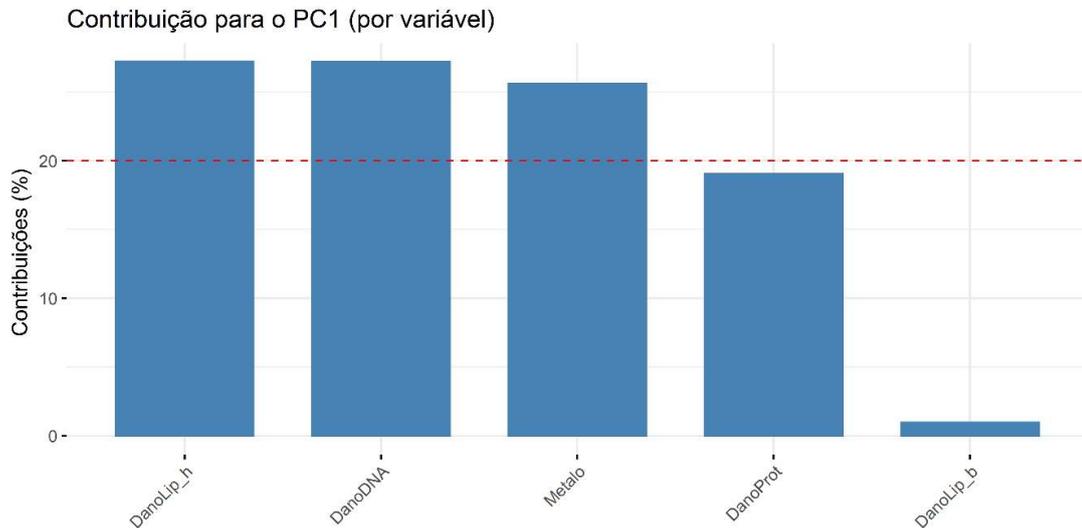
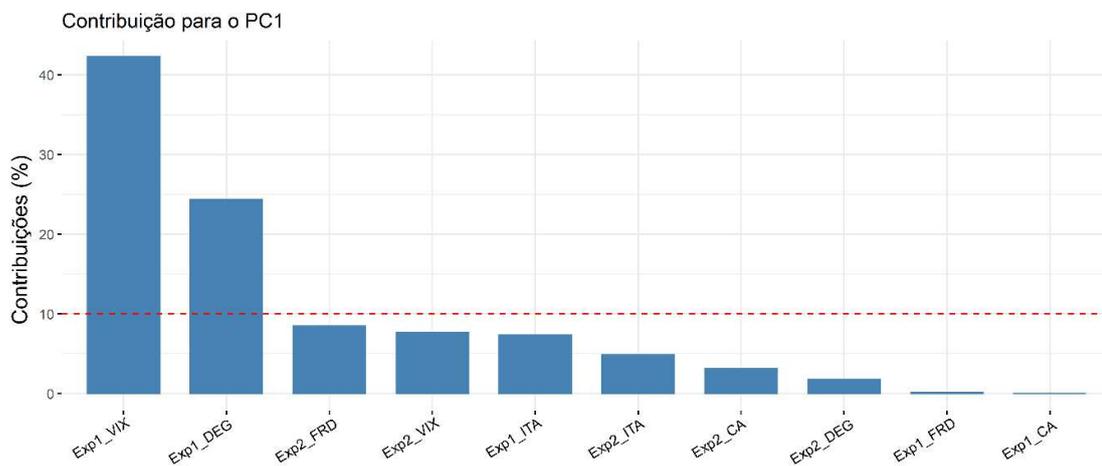


Figura 289: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 286). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1/\text{comprimento (variáveis)} = 1/10 = 10\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



As variáveis que mais contribuíram para o PC2 foram os danos em lipídios nas brânquias (DanoLip\_b) e as proteínas carboniladas no músculo (DanoProt) (Figura 290) e estavam relacionadas principalmente a localidade de VIX nas duas campanhas (Figura 291).

Figura 290: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 286). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/5 = 20\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

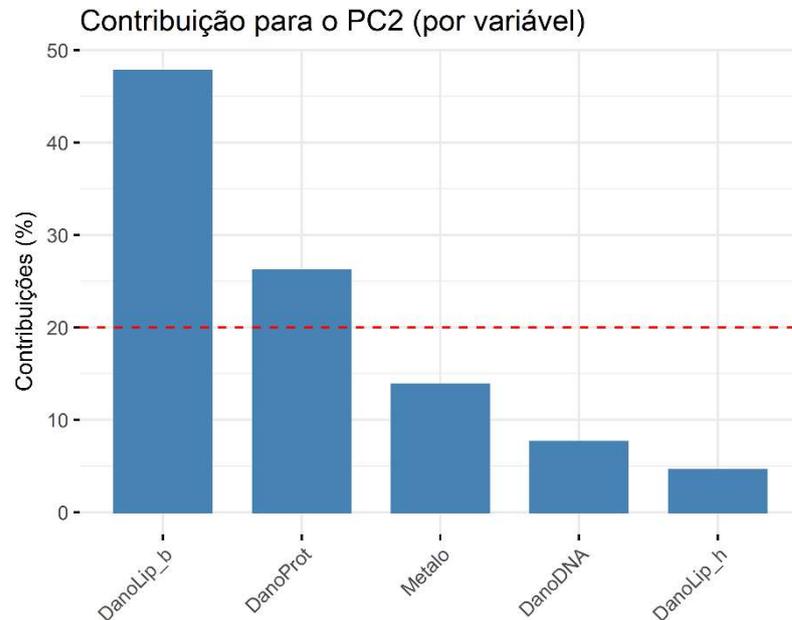
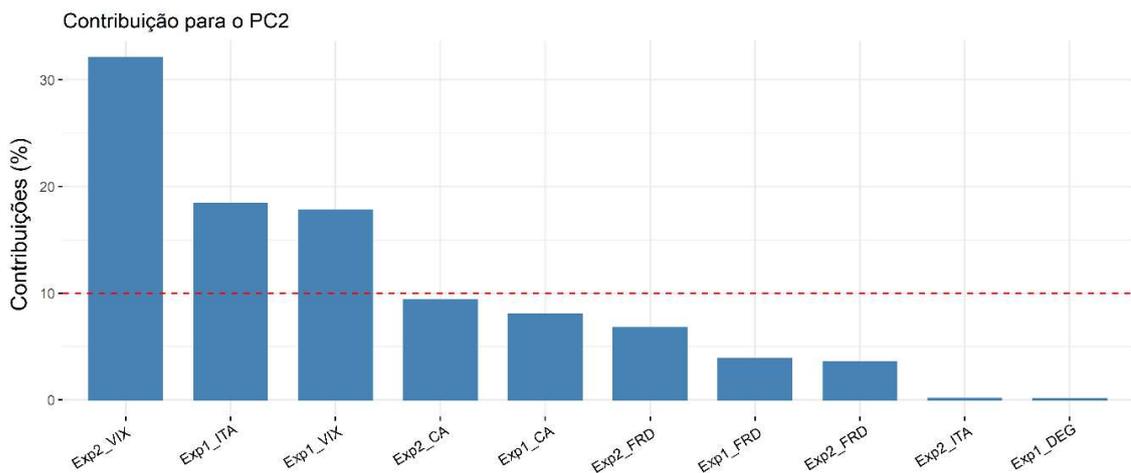


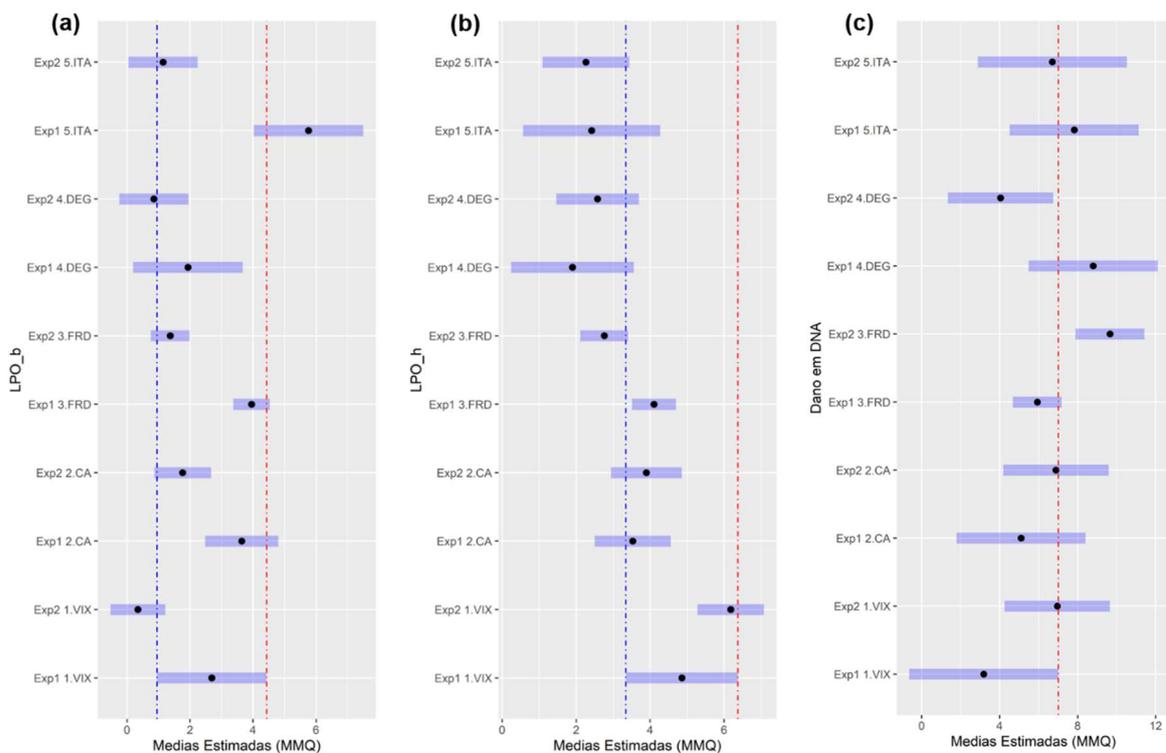
Figura 291: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 286). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/10 = 10\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



Análises univariadas, para detalhar a variabilidade espaço-temporal, foram aplicadas às variáveis que se destacaram na PCA, dano em lipídios nas brânquias (LPO\_b) e no hepatopâncreas (LPO\_h), e os danos ao DNA. O dano oxidativo em lipídios analisado nas brânquias indicou um efeito temporal, com

menores níveis de dano na campanha 2. No caso dos biomarcadores LPO\_b e LPO\_h (Figura 292), a variabilidade espacial não apresentou um padrão tão claro, porém observa-se que, em geral, FRD e locais ao sul apresentam maior nível de dano oxidativo em lipídios. Quanto aos níveis de dano oxidativo no DNA, foi evidenciado pela PCA (Figura 286) e pela análise linear (Figura 292) um aumento significativo de danos na localidade FRD.

Figura 292: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para lipoperoxidação (LPO) presentes nas amostras de brânquia (a) e hepatopâncreas (b) e para níveis de sítios AP (Dano em DNA) (c) de camarões. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal "Expedição/Campanha" com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial "Estação Amostral", discriminando a comparação das 5 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativo em relação à "linha de base" escolhida, VIX/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.



Em resumo, foi observado que na localidade da foz do Rio Doce houve um aumento da concentração de diversos metais, principalmente, Fe, Cr e Mn, tanto na água como no sedimento após chegada da pluma de rejeitos (Bianchini et al., 2016). Ao longo dos anos, apesar das concentrações de metais diminuírem, foi possível observar que esta localidade possui maior concentração de metais em comparação com localidades mais distantes (Ex: Guarapari) (dados reportados neste relatório e em relatórios anteriores [Bianchini et al., 2016 e 2019]). Ainda neste relatório, os resultados mostraram que as concentrações de ferro nos tecidos de camarões estavam elevadas na localidade FRD, em comparação com outras localidades. Em especial, a concentração de ferro no músculo dos camarões da localidade FRD foi significativamente maior, quando comparado a linha de base da localidade GUA.

Por fim, foi possível observar que os camarões coletados na localidade FRD apresentam danos significativos no DNA.

Estudos mostram que há uma correlação direta entre o aumento de ferro no corpo e o aumento do risco de câncer e mutações no DNA (Aust, 1999). Independente do mecanismo envolvido, a exposição aos metais é capaz de gerar diferentes espécies reativas de oxigênio e nitrogênio. Estas espécies reativas, formadas nesses processos, podem ser radicais livres que apresentam grande reatividade, com tendência a ligar o elétron não-pareado com outros elétrons presentes em moléculas próximas. Sendo assim, comportam-se como receptores ou doadores de elétrons. Estas moléculas citadas apresentam a tendência para reagir com biomoléculas importantes, como proteínas, lipídios e DNA (Sies, 1991; Di Giulio et al., 1995; Monserrat et al., 2007; Sevcikova et al., 2011). Ao comparar a ocorrência de danos oxidativos ao DNA de invertebrados (Ex: mexilhões), com os níveis basais de danos no DNA em peixes, foi evidenciado que as células da hemolinfa de invertebrados são mais vulneráveis aos danos no DNA, causados por estresse oxidativo (Barranger, 2014; Fredriksen, L. 2013). De forma geral, estudos ressaltam que danos oxidativos ao DNA podem resultar em morte celular, genotoxicidade, mutações, carcinogênese e consequências, a longo prazo, como aberrações embrionárias, problemas na reprodução e de desenvolvimento em diferentes animais (Barranger et al. 2014; Lee, Kim, e Lee 2012; Matic et al. 2016).

Entre os danos mais frequentes no DNA está o biomarcador utilizado neste estudo, os chamados sítios AP (apurinicos/apirimidicos), que são locais sem uma base purina ou pirimídica no DNA, podem ser formados por quebra da ligação glicosídica entre a base nitrogenada e a ribose ou como consequência da atuação de algum sistema de reparo removendo bases danificadas. Os sítios AP são extremamente danosos e podem bloquear a replicação e a transcrição do DNA (Boiteux e Guillet, 2004). Outrossim, estudos mostram que os sítios AP são, provavelmente, lesões que causam mutações no DNA, ou seja, de forma geral o resultado do dano ao DNA é, geralmente, adverso, e está intimamente relacionada ao câncer e outras doenças (Evdokimov et al. 2014; Slupphaug et al. 2003).

Camarões coletados nas localidades de Degredo (DEG), principalmente os coletados na área da Foz do Rio Doce (localidade FRD), estão expostos de forma crônica ao Fe e a combinação de diferentes metais encontrados na localidade FRD. Por sua vez, esses organismos também acumularam mais Fe e apresentaram maior nível de dano oxidativo em DNA do que os coletados nas demais estações amostrais. Esses camarões apresentam também níveis de As e Cd acima do permitido pela ANVISA. Portanto, as populações de camarões da região estudada devem ser monitoradas quanto a prejuízo no seu crescimento, reprodução e viabilidade populacional, uma vez que danos no DNA são biomarcadores importantes para sinalizar que os organismos estão expostos a agentes estressores (Rybakovas, Baršiene, e Lang 2009). Além disso, danos oxidativos em geral são biomarcadores de prejuízo energético e de alteração populacional em crustáceos (Maltby et al., 2002, Baird et al., 2007, Saebelfeld et al., 2017, Glippa et al., 2018) e outros organismos marinhos (Downs et al., 2002, Monaghan et al., 2009, Prazeres et al., 2012).

### 3.2.6.3 Biomarcadores em Peixes

Sempre que possível foram amostradas quatro espécies de peixes, discriminando os principais tecidos para análise (sangue, brânquia, hepatopâncreas e músculo). Em alguns pontos amostrais, nas campanhas 1 e 2, não foram coletados peixes no número previsto ( $n= 6$  por espécie) ou as espécies alvo não encontrados na estação amostral e/ou estação do ano estabelecida. Do mesmo modo, em muitos pontos amostrais, o tipo de substrato do fundo (exemplo, fundos calcáreos ou recifes) ou a profundidade (exemplo, locais com profundidades >40m) não possibilitam o uso da arte de pesca, utilizada para captura de pescado. Sendo assim, não há peixes em todas estações amostrais.

Assim como para análise de concentração de metais, os peixes coletados foram categorizados em dois grupos, conforme seu índice trófico – obtido via plataforma *FISHBASE* (Froese & Pauly, 2017). O Quadro 18 indica quais espécies foram coletadas, e a quais grupos foram destinadas.

A Tabela 107, Tabela 108, Tabela 109 e Tabela 110 apresentam os resultados dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas, frequência de Micronúcleos (MN), geração de Sítios AP no DNA, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH), malato-desidrogenase (MDH) e lesões histopatológicas (IL), em diferentes tecidos obtidos dos peixes do grupo I e do grupo II, coletados nas estações amostrais marinhas da campanha 1 (Set/Out 2018).

Tabela 107: Análise em diferentes tecidos (fígado, músculo e sangue) dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO) danos oxidativos no DNA (Sítios AP) e frequência de micronúcleos (MN) nos peixes marinhos do grupo I coletados nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018).

Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)					
Ponto	Fígado		Músculo	Sangue	
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT ( $\mu$ g MT/mg ptna)	PCO (nmol PC/mg ptna)	Sítios AP (Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp)	MN (Frequência ‰)
GUA2	1,62 $\pm$ 0,21	4,65 $\pm$ 1,37	15,40 $\pm$ 2,16	*	5,75 $\pm$ 1,55
VIX1	1,65 $\pm$ 0,27	2,79 $\pm$ 0,29	14,89 $\pm$ 1,49	4,94 $\pm$ 1,07	1,63 $\pm$ 0,50
CA1	1,30 $\pm$ 0,26	7,30 $\pm$ 2,85	16,27 $\pm$ 4,12	3,00 $\pm$ 0,65	0,86 $\pm$ 0,55
CA2	1,94 $\pm$ 0,30	2,80 $\pm$ 0,93	10,87 $\pm$ 3,58	2,66 $\pm$ 0,49	0,67 $\pm$ 0,42
FRD1	0,82 $\pm$ 0,07	0,76 $\pm$ 0,31	57,24 $\pm$ 10,75	3,87 $\pm$ 1,54	0,50 $\pm$ 0,29
FRD3	1,66 $\pm$ 0,19	2,09 $\pm$ 0,28	44,43 $\pm$ 4,94	6,21 $\pm$ 1,39	1,00 $\pm$ 0,37
FRD6	1,30 $\pm$ 0,33	5,52 $\pm$ 4,24	62,48 $\pm$ 9,71	6,00 $\pm$ 1,76	0,17 $\pm$ 0,17
FRD9	1,44 $\pm$ 0,41	2,96 $\pm$ 0,26	65,26 $\pm$ 16,08	13,84 $\pm$ 9,4	*
FRD10	3,00 $\pm$ 1,79	1,45 $\pm$ 0,05	47,28 $\pm$ 7,37	9,18 $\pm$ 5,54	0,00 $\pm$ 0,00
DEG2	2,85 $\pm$ 0,62	2,25 $\pm$ 0,48	76,61 $\pm$ 17,34	2,00 $\pm$ 0,34	0,00 $\pm$ 0,00
BN1	0,97 $\pm$ 0,05	1,60 $\pm$ 0,30	4,64 $\pm$ 1,89	2,83 $\pm$ 0,31	0,20 $\pm$ 0,20
BN2	1,17 $\pm$ 0,36	1,31 $\pm$ 0,16	16,24 $\pm$ 3,55	3,29 $\pm$ 0,84	1,33 $\pm$ 0,88
ITA1	*	*	2,25 $\pm$ 0,96	3,31 $\pm$ 1,05	0,29 $\pm$ 0,18

(\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

Tabela 108: Análise em diferentes tecidos (fígado, músculo e sangue) dos biomarcadores de dano oxidativo em lipídios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO) danos oxidativos no DNA (sítios AP) e frequência de Micronúcleos (MN) nos peixes marinhos do grupo II coletados nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018).

Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)					
Ponto	Fígado		Músculo	Sangue	
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT (µg MT/mg ptna)	PCO (nmol PC/mg ptna)	Sítios AP (Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp)	MN (Frequência %)
GUA2	*	*	19,23 ± 3,31	2,10 ± 0,40	*
VIX1	1,36 ± 0,42	10,75 ± 7,79	12,43 ± 1,94	4,64 ± 1,39	1,25 ± 0,62
VIX2	*	*	33,84 ± 1,70	5,30 ± 3,06	1,00 ± 0,58
CA1	1,39 ± 0,03	*	6,29 ± 2,17	*	1,50 ± 0,50
CA2	1,99 ± 0,13	2,11 ± 0,27	6,49 ± 0,94	2,85 ± 1,35	0,00 ± 0,00
	*	*	*	*	2,50 ± 2,50
CA4	1,99 ± 1,16	2,63 ± 1,44	36,27 ± 2,21	2,78 ± 0,28	0,67 ± 0,67
FRD1	0,81 ± 0,02	*	83,68 ± 33,94	*	*
FRD3	2,36 ± 0,89	1,33 ± 0,19	57,57 ± 10,68	9,10 ± 1,98	0,57 ± 0,30
FRD6	1,01 ± 0,08	1,18 ± 0,13	47,91 ± 9,97	6,93 ± 1,28	0,56 ± 0,29
FRD8	1,81 ± 0,20	2,39 ± 0,39	32,30 ± 7,95	5,02 ± 0,59	0,50 ± 0,34
FRD9	2,32 ± 0,81	*	49,07 ± 6,03	1,99 ± 0,48	0,40 ± 0,40
FRD10	0,99 ± 0,16	1,64 ± 0,42	45,06 ± 3,61	7,99 ± 3,90	0,36 ± 0,20
DEG2	2,41 ± 0,14	1,35 ± 0,16	58,12 ± 14,32	2,12 ± 0,32	0,40 ± 0,24
BN1	*	*	0,73 ± 0,04	3,94 ± 0,31	0,00 ± 0,00
BN2	*	*	17,73 ± 1,75	1,46 ± 0,01	*

(\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

Tabela 109: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenas (LDH), malato desidrogenase (MDH) e índices de lesões histopatológicas (IL) nos peixes marinhos do grupo I coletados nas estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018).

Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)						
Ponto	Tecido	SOD	CAT	LDH	MDH	IL
GUA2	F	928 ± 235	4,7 ± 2,9	0,06 ± 0,05	0,68 ± 0,24	27,8 ± 12,6
	B	186 ± 14	19,5 ± 9,9	0,35 ± 0,27	0,44 ± 0,3	19,5 ± 9,9
VIX1	F	993 ± 228	1,4 ± 0,3	0,04 ± 0,01	1,4 ± 0,19	26,7 ± 2,9
	B	189 ± 76	12,1 ± 2,4	0,34 ± 0,08	0,47 ± 0,09	12,1 ± 2,4
CA1	F	1140 ± 354	4 ± 1,5	0,04 ± 0,01	1,08 ± 0,19	34,5 ± 2,6
	B	108 ± 22	21,8 ± 2,7	0,39 ± 0,08	0,2 ± 0,04	21,8 ± 2,7
CA2	F	746 ± 133	1,7 ± 0,3	0,05 ± 0,01	2,05 ± 0,25	28,6 ± 6,3
	B	81 ± 21	16 ± 7	0,39 ± 0,07	0,47 ± 0,06	16 ± 7,1
FRD1	F	1148 ± 351	0,5 ± 0,2	0,17 ± 0,07	1,53 ± 0,38	30,6 ± 4,3
	B	217 ± 46	19,8 ± 2,3	0,29 ± 0,08	0,47 ± 0,1	19,8 ± 2,3
FRD3	F	913 ± 362	1,4 ± 0,4	0,02 ± 0	0,93 ± 0,27	33,7 ± 3,1
	B	227 ± 69	22,9 ± 3,9	0,51 ± 0,12	0,67 ± 0,15	22,9 ± 3,9

**Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)**

Ponto	Tecido	SOD	CAT	LDH	MDH	IL
FRD6	F	913 ± 179	3 ± 0,7	0,04 ± 0,01	1,23 ± 0,28	33,6 ± 4,6
	B	319 ± 78	14,5 ± 2,6	0,49 ± 0,1	0,46 ± 0,09	14,5 ± 2,6
FRD9	F	832 ± 188	1,6 ± 0,5	0,01 ± 0	1,38 ± 0,49	33,3 ± 4,6
	B	336 ± 87	30,9 ± 5,4	0,72 ± 0,13	0,9 ± 0,15	30,9 ± 5,4
FRD10	F	733 ± 109	0,7 ± 0,1	0,04 ± 0,02	0,39 ± 0,09	32 ± 3,7
	B	281 ± 128	12,8 ± 3,7	0,65 ± 0,15	0,6 ± 0,15	12,8 ± 3,7
DEG2	F	941 ± 262	2,1 ± 0,3	0,03 ± 0,01	1,85 ± 0,57	36,4 ± 4,1
	B	109 ± 17	24,8 ± 3,6	0,27 ± 0,06	0,29 ± 0,05	24,8 ± 3,5
BN1	F	758 ± 211	1,4 ± 0,8	0,02 ± 0,02	1,05 ± 0,24	38,7 ± 1,7
	B	99 ± 32	26,4 ± 9	0,32 ± 0,05	0,36 ± 0,05	26,4 ± 8,9
BN2	F	1112 ± 271	2,6 ± 1	0,03 ± 0,01	1,04 ± 0,52	36,4 ± 5,2
	B	*	*	*	*	*
ITA1	F	968 ± 213	2,7 ± 1,4	0,24 ± 0,18	1,67 ± 0,43	38 ± 8,5
	B	567 ± 385	19,7 ± 8,5	0,34 ± 0,11	0,55 ± 0,1	19,7 ± 8,5

(\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

Tabela 110: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenase (LDH), malato desidrogenase (MDH) e índices de lesões histopatológicas (IL) nos peixes marinhos do grupo I coletados em estações amostrais da campanha 1 (Set/Out 2018).

**Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)**

Ponto	Tecido	SOD	CAT	LDH	MDH	IL
GUA2	F	426 ± 52	2,62 ± 1,29	0,01 ± 0	0,6 ± 0,3	25,3 ± 6,3
	B	224 ± 95	0,11 ± 0,05	0,1 ± 0,03	0,2 ± 0,1	23 ± 11
VIX1	F	965 ± 284	1,82 ± 0,54	0,04 ± 0,01	1,8 ± 0,3	29,1 ± 3,1
	B	232 ± 69	0,19 ± 0,05	0,31 ± 0,06	0,3 ± 0,1	11,1 ± 2,4
VIX2	F	1418 ± 712	2,39 ± 0,84	0,17 ± 0,14	1,9 ± 0,8	22,3 ± 6,5
	B	209 ± 86	0,11 ± 0,01	0,26 ± 0,11	0,3 ± 0,1	19 ± 1,5
CA1	F	1758 ± 1349	5,67 ± 1,59	0,06 ± 0,03	2,7 ± 2,1	21,3 ± 6,1
	B	97 ± 17	0,13 ± 0,02	0,38 ± 0,06	0,3 ± 0,1	21,4 ± 2,2
CA2	F	917 ± 162	2,7 ± 0,66	0,04 ± 0,01	1,4 ± 0,3	31 ± 3,4
	B	354 ± 71	0,33 ± 0,08	0,57 ± 0,12	0,6 ± 0,1	18,1 ± 3,4
FRD1	F	1262 ± 750	1,63 ± 0,78	0,04 ± 0,01	0,9 ± 0,4	27,8 ± 5,1
	B	92 ± 59	0,39 ± 0,28	0,16 ± 0,06	0,3 ± 0,1	22 ± 8,1
FRD3	F	940 ± 244	1,18 ± 0,26	0,04 ± 0,02	1,1 ± 0,2	35,4 ± 2,8
	B	214 ± 43	0,18 ± 0,03	0,64 ± 0,16	0,6 ± 0,1	18,9 ± 2,7
FRD6	F	892 ± 210	2,95 ± 0,49	0,05 ± 0,02	1,5 ± 0,2	25 ± 3,7
	B	166 ± 36	0,2 ± 0,04	0,66 ± 0,19	0,5 ± 0,1	25,1 ± 5
FRD8	F	1068 ± 224	2,22 ± 0,34	0,03 ± 0,01	1,4 ± 0,2	37,8 ± 2,6
	B	199 ± 37	0,22 ± 0,05	0,33 ± 0,04	0,5 ± 0,1	18,9 ± 3,2
FRD9	F	961 ± 319	2,16 ± 0,91	0,04 ± 0,01	2,2 ± 0,4	27,8 ± 4,1
	B	418 ± 199	0,27 ± 0,12	0,6 ± 0,18	1 ± 0,4	27 ± 9,2

**Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)**

Ponto	Tecido	SOD	CAT	LDH	MDH	IL
FRD10	F	1242 ± 344	0,82 ± 0,22	0,02 ± 0,01	1,4 ± 0,3	37,5 ± 3,9
	B	286 ± 91	0,21 ± 0,05	0,65 ± 0,12	0,9 ± 0,3	22,3 ± 5,1
DEG2	F	1050 ± 448	3,25 ± 1,86	0,05 ± 0,02	1,5 ± 1	30,6 ± 4,6
	B	143 ± 72	0,16 ± 0,08	0,74 ± 0,28	0,8 ± 0,3	24 ± 4,4
BN1	F	723 ± 228	2,17 ± 0,95	0,01 ± 0	1,2 ± 0,4	31 ± 5,3
	B	419 ± 118	0,22 ± 0,06	0,53 ± 0,08	0,7 ± 0,2	16,8 ± 3,6
BN2	F	*	*	*	*	43,3 ± 0,7
	B	*	*	*	*	*
ITA1	F	*	*	*	*	25,7 ± 2,3
	B	*	*	*	*	25 ± 4,0

(\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

A Tabela 111, Tabela 112, Tabela 113, e Tabela 114 evidenciam os resultados dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO), frequência de Micronúcleos (MN), geração de Sítios AP no DNA, atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), lactato desidrogenase (LDH), malato-desidrogenase (MDH) e lesões histopatológicas (IL), em diferentes tecidos obtidos dos peixes do grupo I e do grupo II, coletados nas estações amostrais marinhas da campanha.

Tabela 111: Análise em diferentes tecidos (fígado, músculo e sangue) dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO), danos oxidativos no DNA (sítios AP) e frequência de micronúcleos (MN) nos peixes marinhos do grupo I coletados em estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019).

**Peixes grupo I (onívoros/herbívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

Ponto	Fígado		Músculo	Sangue	
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT (µg MT/mg ptna)	PCO (nmol PC/mg ptna)	Sítios AP (Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp)	MN (Frequência %)
GUA1	13,71 ± 2,53	5,01 ± 4,10	1,45 ± 0,28	*	2,50 ± 1,50
GUA2	5,92 ± 0,84	2,77 ± 0,40	8,07 ± 2,29	2,33 ± 0,37	3,00 ± 0,89
VIX1	10,40 ± 1,54	2,64 ± 0,44	5,57 ± 1,63	2,68 ± 0,34	1,50 ± 0,87
VIX2	5,61 ± 1,47	1,73 ± 0,01	10,13 ± 4,31	2,16 ± 0,26	2,00 ± 0,58
CA1	19,51 ± 5,64	1,86 ± 0,22	1,85 ± 0,46	4,79 ± 0,95	1,29 ± 0,47
CA2	7,63 ± 1,20	1,11 ± 0,16	3,81 ± 1,03	3,16 ± 0,44	2,38 ± 0,63
FRD1	9,80 ± 1,43	2,00 ± 0,27	2,23 ± 0,47	5,99 ± 0,25	1,91 ± 0,51
FRD6	13,68 ± 3,29	2,14 ± 0,34	0,95 ± 0,10	3,52 ± 1,14	0,82 ± 0,23
FRD8	8,07 ± 2,34	0,94 ± 0,19	1,76 ± 0,46	6,11 ± 0,65	*
FRD9	9,58 ± 1,59	2,21 ± 0,36	1,25 ± 0,38	2,75 ± 0,40	0,91 ± 0,28
FRD10	20,35 ± 2,68	1,93 ± 0,17	3,53 ± 0,90	3,39 ± 0,51	1,70 ± 0,56
DEG1	22,89 ± 4,71	1,37 ± 0,12	1,68 ± 1,10	3,53 ± 0,58	0,00 ± 0,00
DEG2	14,52 ± 0,69	1,64 ± 0,18	1,58 ± 0,68	6,18 ± 0,80	1,90 ± 0,50
ITA1	23,73 ± 3,13	1,33 ± 0,20	0,76 ± 0,08	3,82 ± 1,43	0,67 ± 0,67

(\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

Tabela 112: Análise em diferentes tecidos (fígado, músculo e sangue) dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO), danos oxidativos no DNA (sítios AP) e frequência de micronúcleos (MN) nos peixes marinhos do grupo II coletados em estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019).

Peixes grupo II (carnívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)					
Ponto	Fígado		Músculo	Sangue	
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT (µg MT/mg ptna)	PCO (nmol PC/mg ptna)	Sítios AP (Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp)	MN (Frequência ‰)
GUA1	4,74 ± 0,02	0,49 ± 0,05	1,40 ± 0,11	14,51 ± 7,25	1,00 ± 1,00
GUA2	14,23 ± 3,86	2,67 ± 0,87	12,58 ± 5,35	26,03 ± 13,02	1,60 ± 0,75
VIX1	9,03 ± 0,68	2,20 ± 0,29	6,32 ± 2,93	1,71 ± 0,43	2,57 ± 0,48
VIX2	11,91 ± 2,37	1,48 ± 0,14	3,35 ± 1,10	9,27 ± 4,22	1,70 ± 0,47
CA1	12,08 ± 0,69	2,43 ± 0,49	2,62 ± 0,61	1,92 ± 0,22	1,67 ± 0,54
CA2	7,46 ± 1,92	1,59 ± 0,14	3,80 ± 1,39	4,43 ± 0,88	1,67 ± 0,49
FRD1	19,72 ± 5,17	1,14 ± 0,12	2,17 ± 0,64	7,73 ± 0,78	2,00 ± 0,65
FRD3	17,21 ± 3,71	1,91 ± 0,36	1,24 ± 0,24	10,16 ± 2,25	1,78 ± 0,62
FRD6	13,73 ± 2,58	1,85 ± 0,21	2,95 ± 1,27	1,87 ± 0,26	0,60 ± 0,16
FRD8	7,79 ± 1,27	1,14 ± 0,12	2,62 ± 0,81	7,28 ± 1,59	1,79 ± 0,28
FRD9	15,15 ± 6,90	1,97 ± 0,21	1,10 ± 0,20	2,88 ± 0,64	0,57 ± 0,43
FRD10	15,97 ± 2,75	2,36 ± 0,48	1,72 ± 0,32	1,65 ± 0,11	1,17 ± 0,48
DEG1	19,53 ± 2,39	2,01 ± 0,24	1,02 ± 0,29	3,92 ± 0,49	0,40 ± 0,16
DEG2	10,78 ± 1,21	1,52 ± 0,21	1,08 ± 0,16	19,49 ± 8,63	1,31 ± 0,40
BN2	19,23 ± 3,27	1,42 ± 0,15	1,58 ± 0,57	10,41 ± 1,54	0,82 ± 0,33
ITA1	27,10 ± 5,82	1,35 ± 0,11	1,15 ± 0,14	3,80 ± 0,46	0,60 ± 0,22

(\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

Tabela 113: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenase (LDH), malato desidrogenase (MDH) e índices de lesões histopatológicas (IL) nos peixes marinhos do grupo I coletados em estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019).

Peixes grupo I (onívoros/ herbívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)						
Ponto	Tecido	SOD	CAT	LDH	MDH	IL
GUA1	F	817 ± 328	1,3 ± 0,4	0,02 ± 0,01	0,12 ± 0	18 ± 4
	B	60 ± 36	25,5 ± 11,5	0,38 ± 0,1	0,13 ± 0,04	25,5 ± 11,5
GUA2	F	653 ± 234	0,9 ± 0,2	0,01 ± 0	0,15 ± 0,02	33 ± 5
	B	136 ± 36	14 ± 3	0,25 ± 0,08	0,15 ± 0,03	14 ± 3
VIX1	F	675 ± 81	1,1 ± 0,2	0,04 ± 0,01	0,14 ± 0,01	28 ± 3
	B	88 ± 25	21,5 ± 4,1	0,49 ± 0,11	0,26 ± 0,04	21,5 ± 4,1
VIX2	F	398 ± 162	0,7 ± 0,2	0,01 ± 0	0,17 ± 0,04	17,2 ± 2,9
	B	66 ± 19	11,7 ± 6	0,22 ± 0,08	0,2 ± 0,02	11,7 ± 6,1
CA1	F	608 ± 170	1,5 ± 0,3	0,03 ± 0,01	0,27 ± 0,04	24,2 ± 5,9
	B	108 ± 22	21,8 ± 2,7	0,39 ± 0,08	0,2 ± 0,04	21,8 ± 2,7
CA2	F	667 ± 191	0,6 ± 0,1	0,01 ± 0	0,2 ± 0,02	22 ± 5,5

**Peixes grupo I (onívoros/ herbívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

Ponto	Tecido	SOD	CAT	LDH	MDH	IL
FRD1	B	98 ± 33	15,9 ± 4,9	0,29 ± 0,03	0,18 ± 0,02	15,9 ± 4,9
	F	734 ± 107	1,4 ± 0,2	0,03 ± 0	0,08 ± 0,02	24,7 ± 2,8
	B	82 ± 12	23,6 ± 3,7	0,35 ± 0,06	0,23 ± 0,03	23,6 ± 3,7
FRD3	F	*	*	*	*	16
	B	*	*	*	*	47
FRD6	F	761 ± 194	1,2 ± 0,2	0,02 ± 0	0,22 ± 0,03	23,9 ± 3,8
	B	62 ± 10	18,1 ± 3	0,28 ± 0,04	0,18 ± 0,02	18,1 ± 3,1
FRD8	F	540 ± 187	1,4 ± 0,6	0,02 ± 0	0,28 ± 0,08	21,8 ± 4,3
	B	79 ± 35	21,4 ± 4,4	0,31 ± 0,05	0,23 ± 0,05	21,4 ± 4,4
FRD9	F	739 ± 143	1,1 ± 0,2	0,02 ± 0	0,2 ± 0,02	24,2 ± 2,8
	B	66 ± 10	25,4 ± 4,1	0,35 ± 0,04	0,27 ± 0,03	25,4 ± 4,2
FRD10	F	637 ± 105	1,2 ± 0,2	0,01 ± 0	0,27 ± 0,04	22,75 ± 2,1
	B	86 ± 11	23,5 ± 3,5	0,41 ± 0,09	0,26 ± 0,03	23,5 ± 3,5
DEG1	F	864 ± 227	1,4 ± 0,3	0,03 ± 0,01	0,28 ± 0,1	35,4 ± 4,3
	B	60 ± 7	24,6 ± 4	0,37 ± 0,08	0,21 ± 0,05	24,6 ± 4,1
DEG2	F	905 ± 202	0,9 ± 0,2	0,03 ± 0,01	0,17 ± 0,02	21,7 ± 3,6
	B	67 ± 16	23,3 ± 4,6	0,43 ± 0,12	0,23 ± 0,04	23,3 ± 4,6
BN2	F	*	*	*	*	*
	B	141 ± 47	20,2 ± 6,8	0,39 ± 0,12	0,6 ± 0,24	20,2 ± 7
ITA1	F	1028 ± 297	1,3 ± 0,3	0,05 ± 0,02	0,61 ± 0,09	26,1 ± 2,8
	B	96 ± 14	18,4 ± 2	0,46 ± 0,12	0,2 ± 0,05	18,4 ± 2

(\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

Tabela 114: Análise em diferentes tecidos (brânquia [B] e fígado [F]) dos biomarcadores enzima superóxido dismutase (SOD), enzima catalase (CAT), enzima lactato desidrogenas (LDH), malato desidrogenase (MDH) e índices de lesões histopatológicas (IL) nos peixes marinhos do grupo II coletados em estações amostrais da campanha 2 (Jan/Fev 2019).

**Peixes grupos II (carnívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

Ponto	Tecido	SOD	CAT	LDH	MDH	IL
GUA1	F	562 ± 87	2,17 ± 0,58	0,02 ± 0,01	0,1 ± 0	30 ± 3
	B	123 ± 31	0,1 ± 0,02	0,68 ± 0,25	0,2 ± 0,1	17 ± 5,5
GUA2	F	980 ± 371	4,22 ± 1,06	0,02 ± 0,01	0,2 ± 0	26,7 ± 4
	B	174 ± 41	0,17 ± 0,04	0,27 ± 0,04	0,2 ± 0	13,2 ± 4
VIX1	F	748 ± 142	1,63 ± 0,39	0,06 ± 0,01	0,1 ± 0	20,6 ± 3,2
	B	87 ± 19	0,17 ± 0,07	0,42 ± 0,08	0,3 ± 0	24,1 ± 4,4
VIX2	F	728 ± 138	1,41 ± 0,26	0,01 ± 0	0,2 ± 0	26,9 ± 1,9
	B	64 ± 5	0,11 ± 0,01	0,35 ± 0,06	0,2 ± 0	19,6 ± 3
CA1	F	1089 ± 155	1,83 ± 0,32	0,04 ± 0,01	0,2 ± 0	19 ± 1,7
	B	97 ± 17	0,13 ± 0,02	0,38 ± 0,06	0,3 ± 0,1	21,4 ± 2,2
CA2	F	911 ± 243	1,15 ± 0,32	0,02 ± 0	0,3 ± 0,1	29,8 ± 2,4
	B	93 ± 15	0,1 ± 0,01	0,28 ± 0,05	0,2 ± 0	17,3 ± 1,9

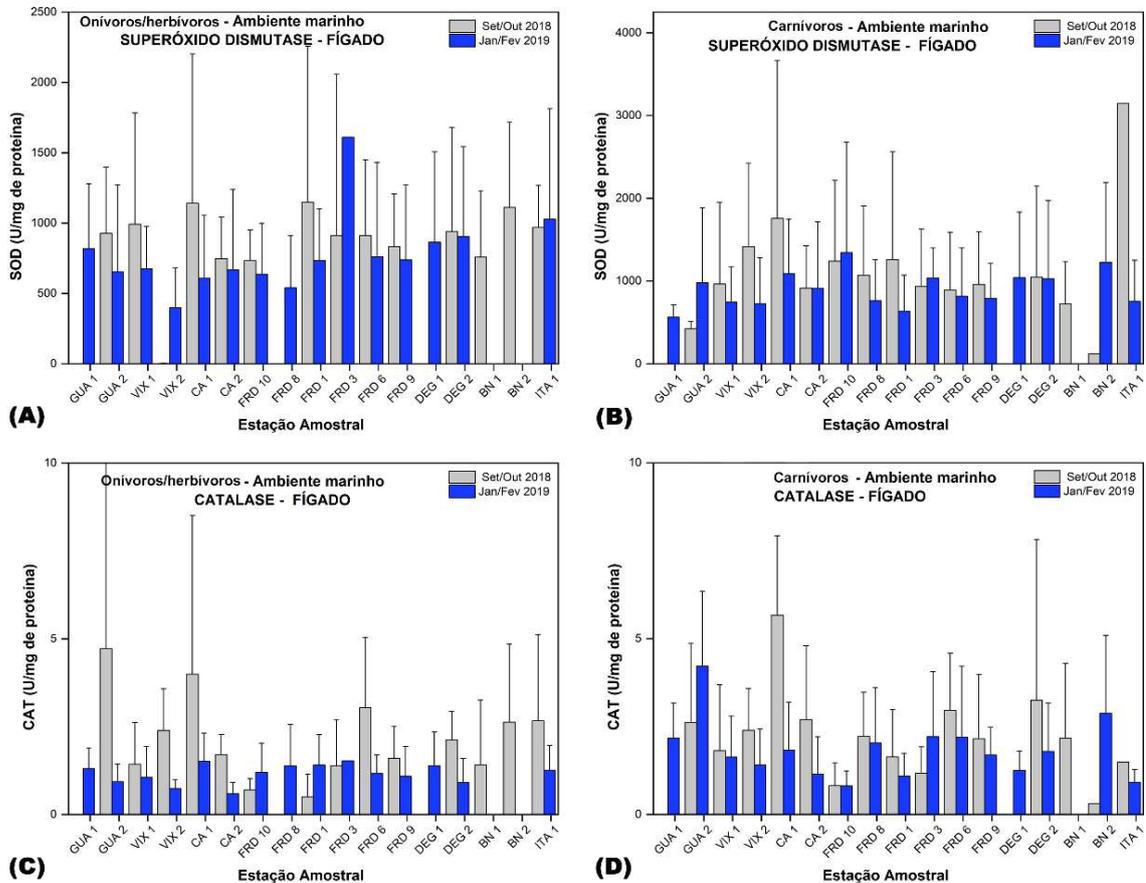
Peixes grupos II (carnívoros) - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto	Tecido	SOD	CAT	LDH	MDH	IL
FRD1	F	637 ± 126	1,09 ± 0,19	0,04 ± 0,01	0,3 ± 0	25 ± 2,6
	B	54 ± 8	0,09 ± 0,01	0,46 ± 0,05	0,2 ± 0	24,6 ± 3,6
FRD3	F	1037 ± 121	2,21 ± 0,65	0,01 ± 0	0,2 ± 0,1	26,4 ± 2,5
	B	141 ± 45	0,24 ± 0,1	0,26 ± 0,06	0,4 ± 0,1	18,8 ± 3,9
FRD6	F	818 ± 176	2,2 ± 0,61	0,04 ± 0,01	0,1 ± 0	25 ± 2,9
	B	99 ± 21	0,1 ± 0,01	0,25 ± 0,04	0,1 ± 0	17,1 ± 4,2
FRD8	F	762 ± 129	2,03 ± 0,41	0,02 ± 0	0,2 ± 0	29,6 ± 2,3
	B	99 ± 24	0,39 ± 0,28	0,39 ± 0,1	0,2 ± 0	22,4 ± 3
FRD9	F	789 ± 151	1,69 ± 0,28	0,05 ± 0,01	0,2 ± 0	27,2 ± 3,2
	B	60 ± 9	0,12 ± 0,01	0,4 ± 0,11	0,3 ± 0,1	19,1 ± 5,2
FRD10	F	1343 ± 546	0,82 ± 0,17	0,04 ± 0,01	0,3 ± 0	25,7 ± 2,9
	B	158 ± 52	0,23 ± 0,1	0,54 ± 0,08	0,3 ± 0	17,3 ± 3,4
DEG1	F	1041 ± 264	1,26 ± 0,17	0,23 ± 0,19	0,2 ± 0,1	31,4 ± 3,2
	B	64 ± 12	0,12 ± 0,01	0,42 ± 0,03	0,2 ± 0	18,2 ± 3,3
DEG2	F	1030 ± 235	1,79 ± 0,35	0,02 ± 0	0,2 ± 0	20,2 ± 2,2
	B	67 ± 9	0,08 ± 0,01	0,23 ± 0,03	0,1 ± 0	26,6 ± 3,2
BN2	F	1228 ± 278	2,88 ± 0,64	0,02 ± 0	0,1 ± 0	26,6 ± 3
	B	*	*	*	*	*
ITA1	F	754 ± 144	0,91 ± 0,11	0,04 ± 0,01	0,4 ± 0,1	26,9 ± 2,2
	B	65 ± 6	0,09 ± 0,01	0,49 ± 0,06	0,3 ± 0,1	14,6 ± 1,6

(\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

Os valores de atividade das enzimas do metabolismo antioxidante SOD e CAT, no fígado dos peixes do grupo I coletadas no ambiente marinho (campanha 1 e 2), são apresentados na Figura 293 para fins de comparação.

Figura 293: Atividade das enzimas do metabolismo antioxidante celular do fígado de animais coletados no ambiente marinho campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019). A: atividade de SOD nos peixes do grupo I; B: atividade de SOD nos peixes do grupo II; C: atividade de CAT nos peixes do grupo I e D: atividade de CAT nos peixes do grupo II. Os resultados são expressos em média/desvio padrão.



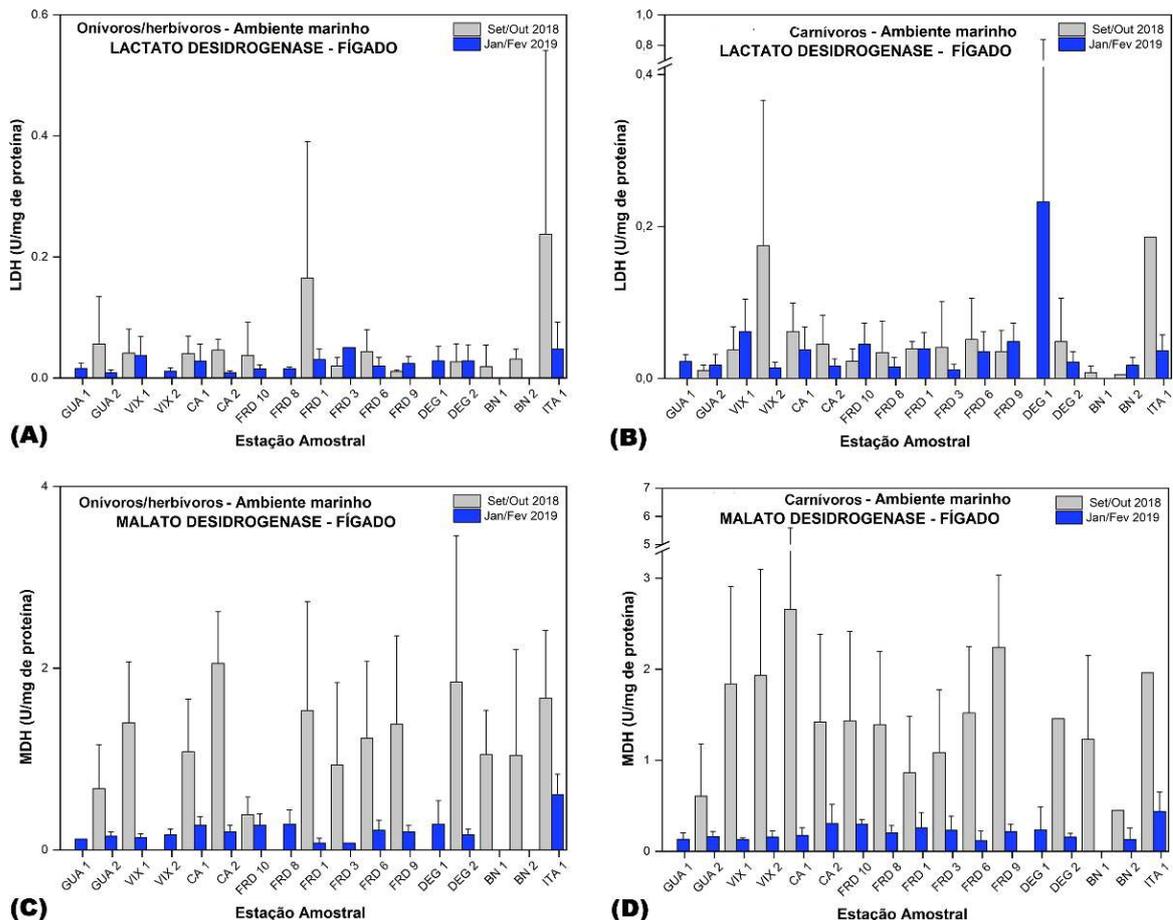
O resultado do perfil enzimático para SOD permaneceu o mesmo comparando-se campanha 1 e campanha 2, no tecido hepático dos peixes do grupo I, exceto no ponto ITA1, onde houve tendência à redução da atividade da enzima em questão. No fígado dos peixes do grupo II, foi observado níveis semelhantes de SOD, com exceção aos valores dos pontos VIX2 e ITA1, onde apresentou redução e GUA2 onde houve aumento.

Para a enzima CAT, os níveis de atividade, no fígado dos peixes do grupo I do ambiente marinho, apresentaram tendência geral de redução (pontos GUA2, VIX2, CA1, CA2, FRD6 e DEG2). O aumento na atividade da CAT foi observado nos pontos FRD1, FRD3 e FRD10. Já os pontos VIX1 e ITA1 apresentaram níveis semelhantes de atividade da enzima, quando se compara as campanhas 1 e 2.

A enzima do metabolismo energético LDH do fígado dos peixes amostrados, no ambiente marinho, apresentaram valores de atividade semelhantes na maioria das estações amostrais, em ambos os níveis tróficos (carnívoros e onívoros/herbívoros). Porém, houve aumento nos níveis enzimáticos, no ponto FRD9, para peixes do grupo I e redução em VIX2 e CA1 em peixes do grupo II (Figura 294).

A enzima MDH apresentou resultado semelhante à LDH, pois, de maneira geral, houve tendência à redução da atividade enzimática. No entanto, dentre os pontos amostrados, não houve variação no comportamento de MDH, seja de manutenção ou de elevação dos níveis de atividades (Figura 294).

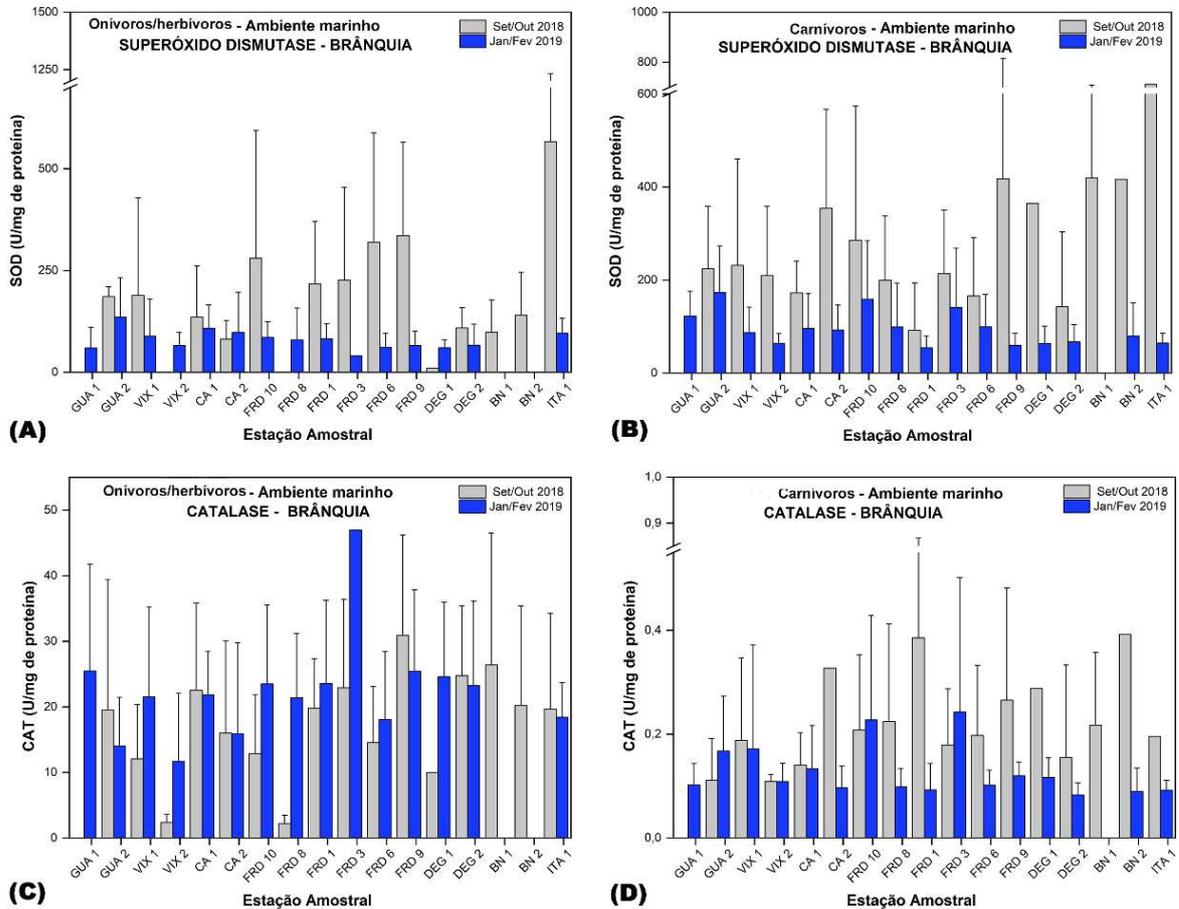
Figura 294: Atividade das enzimas do metabolismo energético do fígado de animais coletados no ambiente marinho na campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019). A: atividade de LDH nos peixes do grupo I; B: atividade de LDH nos peixes do grupo II; C: atividade de MDH nos peixes do grupo I e D: atividade de MDH nos peixes do grupo II. Os resultados são expressos em média/desvio padrão.



Nas brânquias dos peixes coletados no ambiente marinho houve tendência à redução da atividade enzimática do metabolismo oxidativo da SOD, tanto em carnívoros (peixes do grupo II) quanto em onívoros/herbívoros (peixes do grupo I). É possível observar tendência geral à redução da atividade dessa enzima nos animais peixes do grupo I, coletados nos pontos VIX1, CA1 e CA2, e nos peixes do grupo II coletados nos pontos GUA2 e VIX1 (Figura 295).

Os valores de atividade da enzima CAT tenderam a manter-se tanto nas brânquias de carnívoros quanto de onívoros/herbívoros. Pontos junto à foz do Rio Doce (FRD8 e FRD10 em onívoros/herbívoros, e FRD1 e FRD8 em carnívoros), exibiram atividade reduzida de CAT, quando se compara as campanhas marinhas 1 e 2 (Figura 295).

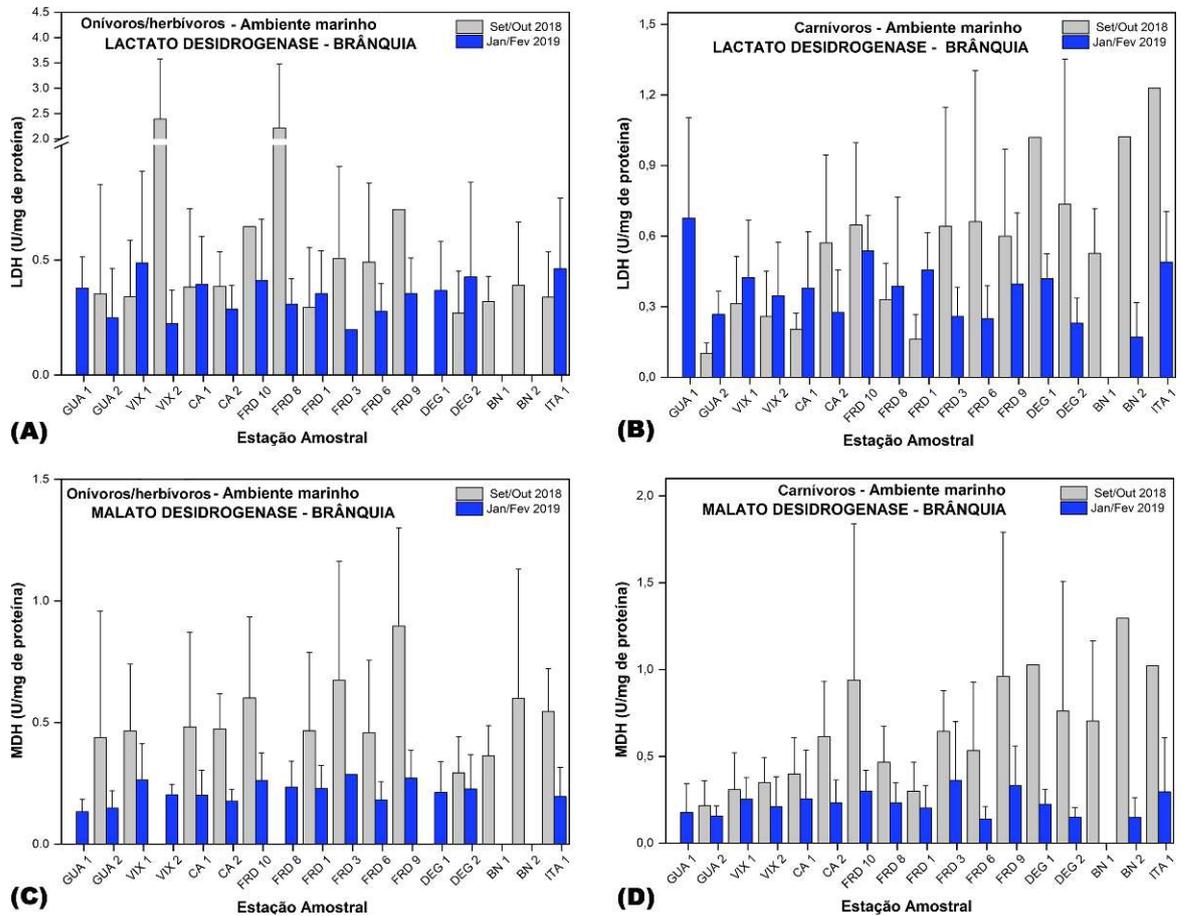
Figura 295: Atividade das enzimas do metabolismo antioxidante celular de brânquia de animais coletados no ambiente marinho na campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019). A: atividade de SOD nos animais onívoros/herbívoros (peixes grupo I); B: atividade de SOD nos carnívoros (peixes do grupo II); C: atividade de CAT nos animais peixes do grupo I e D: atividade de CAT nos peixes do grupo II. Os resultados são expressos em média/desvio padrão.



Os dados apresentados na Figura 296 mostram que a atividade da enzima de metabolismo energético LDH manteve o nível campanhas marinhas 1 e 2 nos animais onívoros/herbívoros (peixes do grupo I). Porém, alguns pontos apresentaram valores com tendência significativa à redução, sendo eles VIX2, CA2, FRD8, FRD9 e FRD10. Os dados dos peixes do grupo II, para essa mesma enzima, revelam propensão de redução dos níveis na maioria dos pontos. Entretanto, os pontos CA1 e FRD1 mostraram aumento na atividade da enzima LDH.

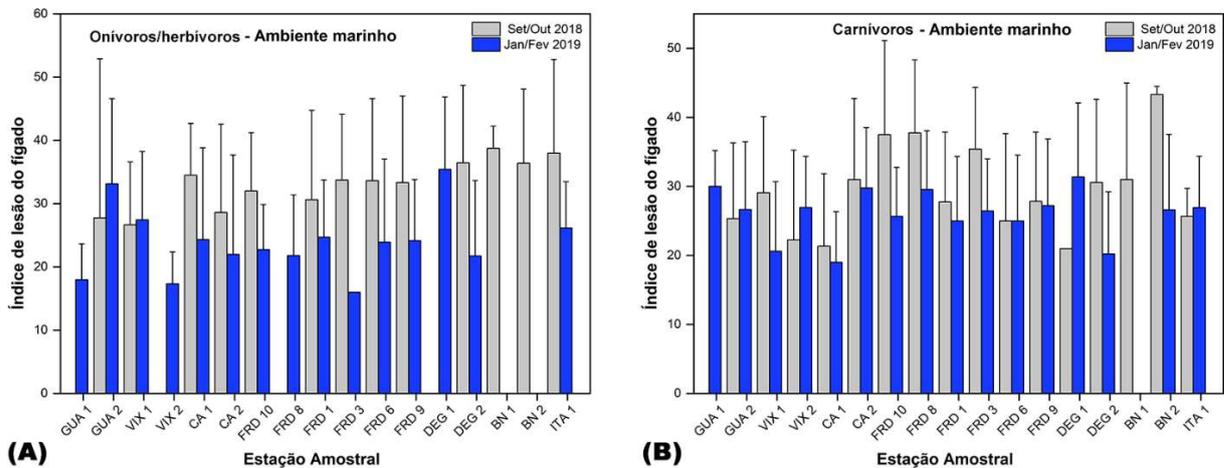
A atividade da enzima MDH tendeu à redução tanto em brânquias dos peixes do grupo II, quanto para peixes do grupo I do ambiente marinho. No entanto, os valores de atividade dessa enzima, em peixes do grupo I de seis pontos (CA1, CA2, FRD10, FRD1, FRD3 e DEG2), indicaram níveis de atividade semelhantes. O mesmo pode ser observado no ponto FRD1 (Figura 296).

Figura 296: Atividade das enzimas do metabolismo energético de brânquia de animais coletados no ambiente marinho na campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019). A: atividade de LDH nos animais onívoros/herbívoros (grupo I); B: atividade de LDH nos peixes do grupo II (carnívoros); C: atividade de MDH nos peixes do grupo I e D: atividade de MDH nos peixes do grupo II. Os resultados são expressos em média  $\pm$  desvio padrão.



Os índices de lesões do fígado das espécies carnívoras (grupo II) e onívoras/herbívoras (grupo I), coletados no ambiente marinho (campanhas 1 e 2), são apresentados na Figura 297.

Figura 297: Índices de lesões do fígado de peixes coletados na campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019). A: animais onívoros/herbívoros (grupo I) e B: animais carnívoros (grupo II). Os dados são médias  $\pm$  desvio padrão.



De forma geral os índices de lesões do fígado reduziram na campanha 2 em ambas as guildas tróficas (carnívoros e onívoros/herbívoros), quando comparados a campanha 1. No ponto DEG1, localizado próximo a Unidade de conservação (ARIE do Degredo), foi observado maior índice de lesão do fígado nos animais carnívoros, coletados na campanha 2, entretanto, o número amostral da campanha 1 foi baixo.

As alterações histopatológicas, encontradas nos fígados dos peixes analisados no ambiente marinho durante a campanha 2, foram semelhantes àquelas observadas na campanha 1, porém houve variação na frequência das lesões entre as campanhas em estudo. As lesões mais frequentes observadas no fígado durante a campanha 1 foram: congestão de sinusoide (84%), necrose (73%), alterações nucleares (74%) e alterações citoplasmáticas - esteatose e vacuolização (68%) (Tabela 115 e Figura 298). Já na campanha 2: necrose (71%), alterações citoplasmáticas (68%), alterações nucleares (56%) e atrofia celular (37%) (Tabela 116 e Figura 298). As demais lesões observadas em fígados de peixes coletados no ambiente marinho, em ambas as estações, são: congestão de vasos sanguíneos, inclusões citoplasmáticas, hipertrofia de hepatócitos, centro de melanomacrófagos, infiltrado inflamatório (leucócitos), tumores benigno e maligno e parasita.

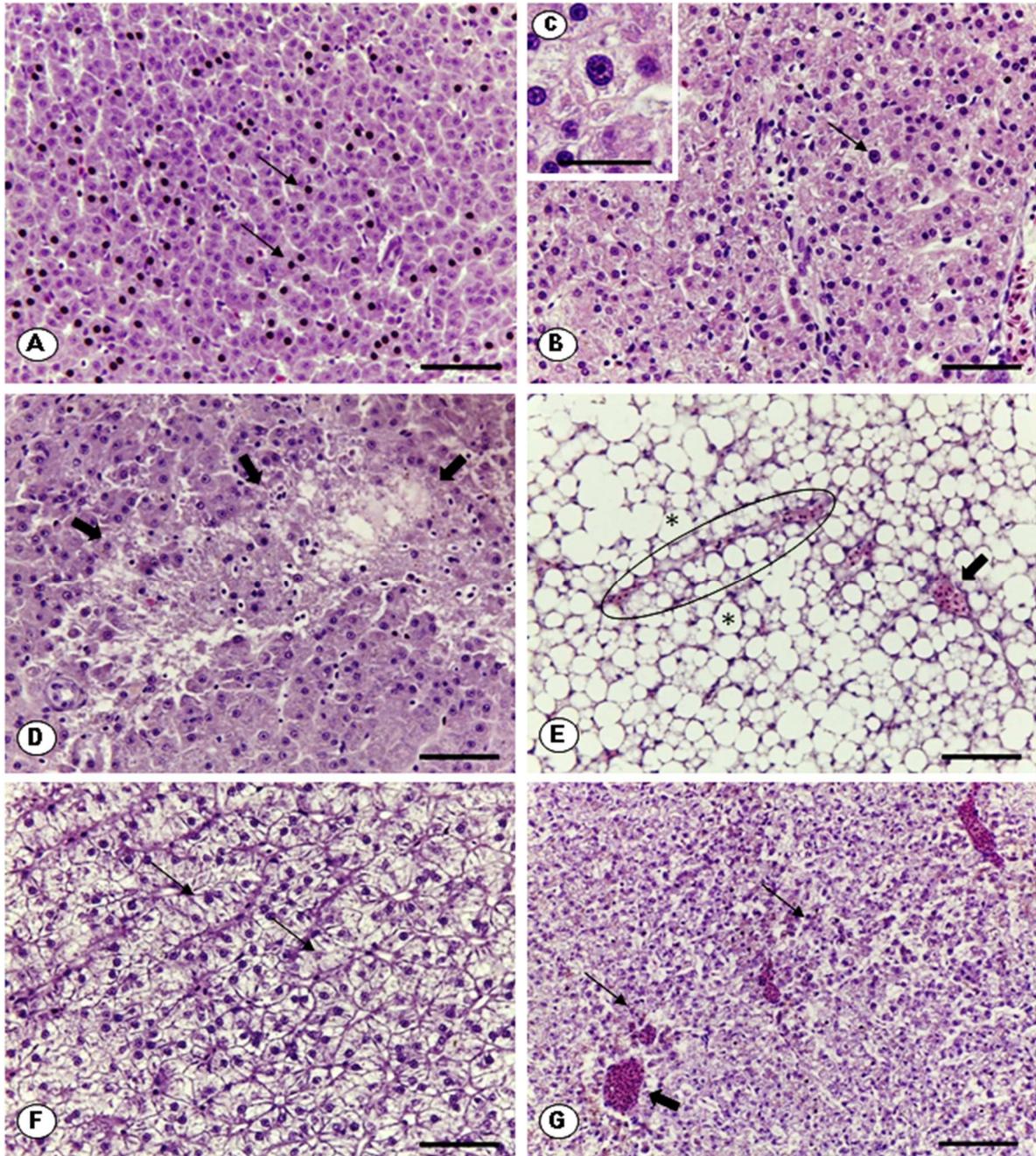
Tabela 115: Frequência (%) de alterações morfológicas no fígado de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais da campanha 1 (em Set/Out 2018). As lesões com alta frequência nos diferentes pontos amostrais foram destacadas em negrito.

Lesões hepáticas (%)	GUA2	VIX1	VIX2	CA1	CA2	CA3	CA4	FRD1	FRD3	FRD6	FRD8	FRD9	FRD10	BN1	BN2	ITA1	Média
Congestão de sinusóide	83	75	67	<b>100</b>	73	50	75	<b>100</b>	<b>95</b>	<b>85</b>	<b>93</b>	79	76	<b>100</b>	<b>100</b>	80	84
Congestão de vaso	17	<b>42</b>	33	<b>42</b>	9	<b>50</b>	25	<b>46</b>	<b>43</b>	30	<b>73</b>	<b>43</b>	<b>53</b>	<b>60</b>	29	0	37
Alterações Citoplasmáticas	33	62	<b>67</b>	58	45	<b>100</b>	50	38	48	<b>65</b>	<b>93</b>	<b>71</b>	<b>71</b>	<b>90</b>	57	60	63
Inclusões Citoplasmáticas	<b>50</b>	4	0	0	0	0	0	0	0	<b>10</b>	0	0	0	0	0	0	4
Alterações Nucleares	67	58	67	<b>83</b>	<b>100</b>	50	<b>75</b>	<b>92</b>	<b>81</b>	70	67	<b>100</b>	<b>76</b>	70	57	<b>80</b>	74
Atrofia	<b>17</b>	4	0	<b>17</b>	<b>17</b>	0	0	0	<b>24</b>	5	<b>13</b>	<b>14</b>	0	<b>20</b>	<b>14</b>	0	9
Necrose	50	62	67	67	73	<b>100</b>	<b>100</b>	54	<b>81</b>	65	0	<b>79</b>	<b>76</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>80</b>	73
Hipertrofia dos Hepatócitos	<b>17</b>	4	0	0	<b>18</b>	0	0	<b>31</b>	<b>19</b>	5	0	7	<b>12</b>	<b>20</b>	<b>14</b>	0	9
Centro de Melanomacrófagos	0	4	0	<b>17</b>	<b>27</b>	0	<b>50</b>	8	0	0	0	0	6	0	0	<b>20</b>	8
Infiltrado de leucócitos	50	58	33	58	45	<b>100</b>	50	<b>69</b>	48	55	40	<b>71</b>	53	50	<b>71</b>	<b>100</b>	60
Tumor Benigno	<b>17</b>	<b>4</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>14</b>	0	3
Tumor Maligno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>6</b>	0	0	0	<1
Parasita	0	8	0	<b>25</b>	<b>27</b>	0	<b>25</b>	<b>31</b>	<b>14</b>	10	0	<b>29</b>	<b>29</b>	0	0	<b>20</b>	13

Tabela 116: Frequência (%) de alterações morfológicas no fígado de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais do ambiente marinho durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019). As lesões com alta frequência nos diferentes pontos amostrais foram destacadas em negrito.

Lesões hepáticas (%)	GUA2	VIX1	VIX2	CA1	CA2	CA3	CA4	FRD1	FRD3	FRD6	FRD8	FRD9	FRD10	BN1	BN2	ITA1	Média
Congestão de sinusóide	<b>75</b>	<b>56</b>	<b>45</b>	<b>56</b>	35	22	22	29	23	22	<b>50</b>	15	<b>40</b>	<b>41</b>	17	<b>38</b>	<b>37</b>
Congestão de vaso	<b>75</b>	<b>56</b>	<b>41</b>	26	26	<b>48</b>	30	24	23	33	<b>50</b>	<b>55</b>	10	35	0	<b>48</b>	<b>36</b>
Alterações Citoplasmáticas	50	<b>78</b>	68	48	43	<b>83</b>	67	<b>88</b>	<b>73</b>	<b>78</b>	<b>82</b>	<b>75</b>	60	59	<b>92</b>	48	<b>68</b>
Inclusões Citoplasmáticas	0	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>13</b>	0	<b>6</b>	<b>5</b>	0	0	0	0	<b>6</b>	0	0	<b>3</b>
Alterações Nucleares	25	<b>67</b>	55	48	48	<b>65</b>	22	<b>94</b>	<b>73</b>	<b>78</b>	32	35	<b>60</b>	<b>82</b>	<b>67</b>	43	<b>56</b>
Atrofia	<b>50</b>	<b>72</b>	14	33	26	<b>48</b>	<b>52</b>	<b>53</b>	23	<b>44</b>	27	<b>40</b>	20	12	<b>42</b>	<b>38</b>	<b>37</b>
Necrose	<b>100</b>	56	<b>73</b>	52	65	<b>74</b>	63	<b>88</b>	<b>77</b>	56	64	<b>90</b>	65	<b>76</b>	67	<b>76</b>	<b>71</b>
Hipertrofia dos Hepatócitos	0	6	5	0	<b>13</b>	0	<b>7</b>	6	<b>9</b>	0	0	0	<b>10</b>	6	<b>8</b>	<b>19</b>	<b>6</b>
Centro de Melanomacrófagos	0	28	9	11	13	13	7	6	0	11	9	5	10	0	17	19	<b>10</b>
Infiltrado de leucócitos	<b>25</b>	<b>28</b>	<b>41</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	0	15	18	<b>27</b>	11	<b>55</b>	<b>25</b>	20	18	17	10	<b>23</b>
Tumor Benigno	0	<b>6</b>	<b>9</b>	0	<b>9</b>	0	<b>4</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>2</b>
Tumor Maligno	0	<b>17</b>	<b>5</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
Parasita	0	0	<b>23</b>	7	9	9	4	<b>24</b>	<b>41</b>	0	<b>14</b>	5	10	<b>29</b>	0	0	<b>11</b>

Figura 298: Alterações morfológicas mais frequentes observadas no fígado dos peixes coletados no ambiente marinho durante as campanhas marinhas 1 e 2. A, B e C: alterações nucleares (seta fina), em A foi evidenciado a atrofia nuclear e em B e C foi mostrado hipertrofia nuclear; D: necrose (seta grossa), E: esteatose (asterisco), congestão de sinusoide (círculo) e congestão de vaso sanguíneo (seta grossa); F: vacuolização citoplasmática (seta fina); G: atrofia (seta fina) e congestão de vaso sanguíneo (seta grossa). Coloração: Hematoxilina & Eosina. Barras: A, B, C, D, F = 50 µm e G= 100 µm.

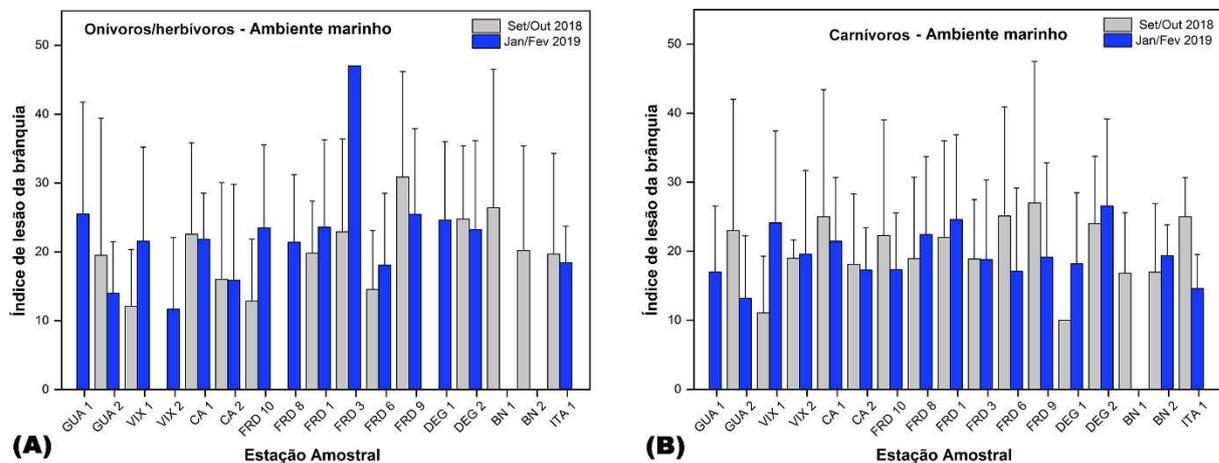


De modo geral, as brânquias dos peixes de ambas as guildas amostradas na campanha 2 apresentaram maiores índices de lesões em relação à campanha 1, principalmente em pontos localizados próximos à foz do rio Doce (Figura 299). Dos seis pontos amostrais do ambiente marinho, localizados na foz, quatro destes apresentaram aumento no índice de lesão da brânquia nos animais onívoros/herbívoros (grupo I) (FDR1, FDR3, FDR6 e FDR10). Vale ressaltar que dentre os pontos

amostrais localizados na foz, o ponto FDR9, onde foi observada redução no índice de lesão da brânquia, está entre os pontos mais distantes do local de deságue do rio Doce. Os animais onívoros/herbívoros do grupo I amostrados no ponto VIX1, durante a campanha 2, apresentaram maior índice de lesão na brânquia, quando comparados a campanha 1. Os pontos GUA1, VIX2, FDR8 e DEG1 não foram amostrados na campanha 1, portanto não é possível compará-los com os índices encontrados na campanha 2.

Os animais carnívoros apresentaram índice de lesão na brânquia maior na campanha 2, quando comparado a campanha 1, em seis dos dezessete pontos amostrais: VIX1, FDR8, FDR1, DEG1, DEG2 e BN2. Nos pontos GUA2 e ITA1 foram observados menores índices de lesão das brânquias dos animais carnívoros na campanha 2 em relação à campanha 1.

Figura 299: Índices de lesões da brânquia no ambiente marinho, referentes a campanha 1 (Set/Out 2018) e 2 (Jan/Fev 2019). A: animais onívoros/herbívoros (grupo I) e B: animais carnívoros (grupo II). Os dados são médias/desvio.



As alterações histopatológicas encontradas nas brânquias dos peixes analisados no ambiente marinho, durante a campanha 2, foram semelhantes àsquelas observadas na campanha 1, todavia houve variação na frequência das lesões entre as campanhas em estudo. As lesões mais frequentes observadas na brânquia, durante a campanha 1, são: aneurisma (57%), descamação do epitélio (55%), hiperplasia (43%) e fusão da lamela secundária (24%) (Tabela 117 e Figura 300). Já na campanha 2, foram: descamação do epitélio (53%), hiperplasia (49%), aneurisma (46%) e deslocamento de lamela primária (41%) (Tabela 118 e Figura 300). As demais lesões observadas em brânquias de peixes coletados no ambiente marinho, em ambas as campanhas, foram: atrofia de lamelas primária e secundária, necrose, hipertrofia das células de muco, infiltração de leucócitos e tumores benignos e malignos. A frequência de parasitas na brânquia aumentou na campanha 2 (37%), em relação à campanha 1 (13%).

Tabela 117: Frequência (%) de alterações morfológicas na brânquia de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais do ambiente marinho durante a campanha 1 (Set/Out 2018).

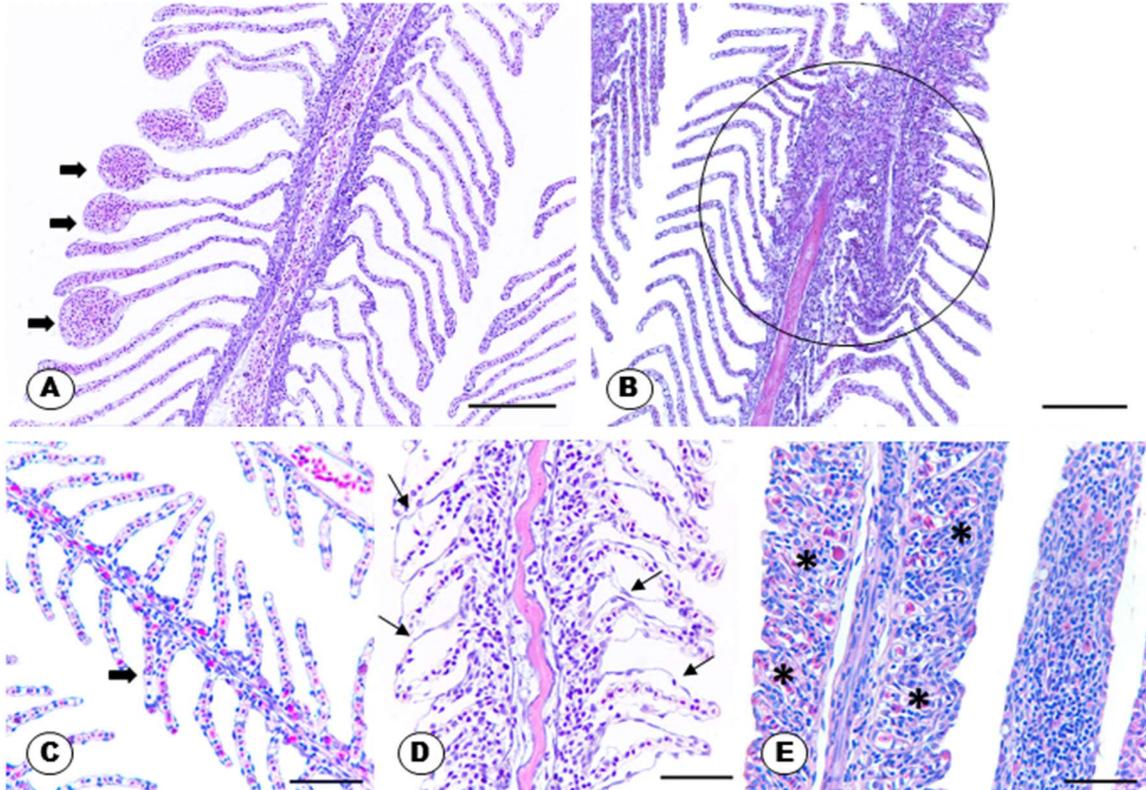
Lesões brânquias (%)	GUA2	VIX1	VIX2	CA1	CA2	CA3	CA4	FRD1	FRD3	FRD6	FRD8	FRD9	FRD10	BN1	BN2	ITA1	Média
Aneurisma	43	33	<u>100</u>	<u>73</u>	56	50	<u>67</u>	<u>69</u>	<u>65</u>	<u>59</u>	<u>86</u>	<u>71</u>	<u>65</u>	36	57	40	57
Descamação do epitélio	43	42	<u>100</u>	27	<u>56</u>	50	33	<u>61</u>	48	50	<u>64</u>	50	53	<u>91</u>	<u>86</u>	<u>80</u>	55
Deslocamento (1º lamela)	0	<u>12</u>	<u>33</u>	<u>18</u>	<u>22</u>	<u>50</u>	0	0	4	4	0	7	6	0	0	0	9
Fusão (2º lamela)	<u>29</u>	8	<u>67</u>	9	<u>33</u>	<u>50</u>	<u>33</u>	23	<u>30</u>	<u>27</u>	21	14	18	9	<u>43</u>	0	24
Atrofia (1º lamela)	14	17	0	0	<u>22</u>	0	<u>33</u>	0	17	<u>27</u>	<u>21</u>	<u>29</u>	18	<u>27</u>	<u>29</u>	<u>60</u>	19
Atrofia (2º lamela)	<u>29</u>	8	<u>33</u>	0	<u>22</u>	0	0	8	<u>22</u>	<u>36</u>	7	<u>21</u>	12	<u>36</u>	0	<u>40</u>	16
Necrose	<u>29</u>	12	0	<u>27</u>	11	0	0	<u>31</u>	13	<u>14</u>	0	<u>29</u>	6	9	<u>14</u>	<u>20</u>	13
Hipertrofia da célula de muco	<u>29</u>	4	<u>33</u>	<u>36</u>	<u>67</u>	0	0	8	<u>22</u>	9	<u>29</u>	7	<u>23</u>	<u>36</u>	0	0	18
Hiperplasia das células interlamelares	<u>57</u>	<u>46</u>	33	<u>73</u>	33	0	0	<u>46</u>	<u>74</u>	<u>64</u>	36	<u>64</u>	<u>53</u>	<u>45</u>	<u>86</u>	20	43
Infiltrado de leucócitos	<u>29</u>	17	0	<u>64</u>	0	0	<u>33</u>	<u>38</u>	<u>35</u>	4	14	<u>71</u>	<u>41</u>	9	14	0	22
Tumor Benigno	<u>14</u>	4	0	<u>27</u>	<u>11</u>	0	0	<u>23</u>	<u>9</u>	<u>14</u>	0	<u>14</u>	6	0	0	0	7
Tumor Maligno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<u>4</u>	0	0	<u>6</u>	0	0	0	<1
Parasita	0	8	0	<u>25</u>	<u>27</u>	0	<u>25</u>	<u>31</u>	<u>14</u>	10	0	<u>29</u>	<u>29</u>	0	0	<u>20</u>	<u>13</u>

Tabela 118: Frequência (%) de alterações morfológicas na brânquia de peixes coletados nos diferentes pontos amostrais do ambiente marinho durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019).

Lesões brânquias (%)	GUA2	VIX1	VIX2	CA1	CA2	CA3	CA4	FRD1	FRD3	FRD6	FRD8	FRD9	FRD10	BN1	BN2	ITA1	Média
Aneurisma	40	12	<u>45</u>	<u>65</u>	42	41	<u>44</u>	<u>60</u>	<u>46</u>	<u>40</u>	<u>40</u>	<u>52</u>	<u>52</u>	61	36	52	46
Descamação do epitélio	40	53	<u>55</u>	38	<u>50</u>	64	61	<u>64</u>	71	30	<u>60</u>	62	38	<u>39</u>	<u>82</u>	<u>38</u>	53
Deslocamento (1º lamela)	<u>0</u>	24	<u>50</u>	46	<u>58</u>	<u>41</u>	<u>39</u>	36	<u>46</u>	<u>40</u>	55	38	48	61	<u>27</u>	48	41
Fusão (2º lamela)	40	24	15	23	<u>21</u>	23	<u>28</u>	44	13	<u>20</u>	<u>5</u>	<u>29</u>	19	<u>28</u>	<u>55</u>	<u>19</u>	25
Atrofia (1º lamela)	<u>0</u>	12	<u>25</u>	12	<u>25</u>	0	6	8	<u>8</u>	<u>10</u>	15	<u>33</u>	10	<u>17</u>	9	<u>10</u>	12
Atrofia (2º lamela)	<u>60</u>	29	20	<u>12</u>	13	9	22	<u>36</u>	13	<u>20</u>	15	<u>14</u>	10	17	<u>27</u>	<u>10</u>	20
Necrose	0	<u>12</u>	<u>15</u>	<u>8</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	11	24	17	20	20	14	10	28	0	10	12
Hipertrofia da célula de muco	<u>60</u>	41	<u>35</u>	<u>15</u>	<u>46</u>	41	33	36	<u>21</u>	60	<u>20</u>	33	<u>38</u>	<u>17</u>	73	38	38
Hiperplasia das células interlamelares	<u>60</u>	<u>18</u>	60	<u>62</u>	46	45	61	<u>52</u>	<u>75</u>	<u>50</u>	35	<u>48</u>	<u>57</u>	<u>50</u>	<u>9</u>	57	49
Infiltrado de leucócitos	<u>20</u>	35	25	<u>12</u>	25	23	<u>17</u>	<u>24</u>	<u>58</u>	0	15	<u>10</u>	<u>29</u>	22	0	29	21
Tumor Benigno	<u>0</u>	6	5	<u>4</u>	<u>17</u>	9	22	<u>4</u>	<u>25</u>	<u>20</u>	5	<u>10</u>	5	0	9	5	9
Tumor Maligno	0	0	0	0	0	5	0	0	0	<u>0</u>	0	0	<u>0</u>	0	0	0	0
Parasita	20	35	50	35	54	32	28	50	54	40	25	29	31	39	36	38	37

Figura 300: Alterações morfológicas mais frequentes nas brânquias dos peixes coletados no ambiente marinho durante a campanha 1 e 2. A: aneurisma (seta grossa); B: deslocamento da lamela primária (círculo); C: fusão da lamela secundária (seta grossa); D: descamação do epitélio branquial (seta fina); E: hiperplasia total das lamelas secundárias (asterisco).

Coloração: Hematoxilina & Eosina. Barra: A, B, C, D e F = 50 µm.



A PCA realizada, a partir dos resultados de biomarcadores nos peixes marinhos categorizados como grupo I e coletado ao longo da campanha 1 e 2, sumarizou 57,6% da variabilidade nos dois primeiros componentes (Figura 301; Tabela 119 e Figura 302). O componente principal 1 agrupou todas as localidades amostradas na campanha 1 e quase todos os biomarcadores analisados, com exceção do micronúcleo (MN), os danos em lipídios (DanoLip) e a atividade da enzima lactato desidrogenase na brânquia (LDH\_b). No componente principal 2 que sumarizou 18% dos dados estão as localidades de FRD e as localidades ao norte da foz do Rio Doce (Ex: DEG, BN e ITA) e, também, estão agrupados neste quadrante a maioria dos biomarcadores (Ex: DanoLip, DanoDNA).

Figura 301: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de biomarcadores, lipoperoxidação (DanoLip; brânquia e fígado), concentração de metalotioneínas (Metal; fígado), proteínas carboniladas (DanoProt; músculo), níveis de sítios AP (DanoDNA; sangue), frequência de micronúcleos (MN; sangue), índices médios de lesões do fígado (IH\_f), índices médios de lesões na brânquia (IH\_b) atividade das enzimas catalase (CAT; brânquia e fígado), lactato desidrogenase (LDH; brânquia e fígado), malato desidrogenase (MDH; brânquia e fígado) e superóxido dismutase (SOD; brânquia e fígado) mensurados em amostras de peixes do grupo I. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA2]); VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1;CA2;CA3]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1,FRD3;FRD6;FRD8,FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2] e ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) nas campanhas marinhas 1 [Exp1] e 2 [Exp2].

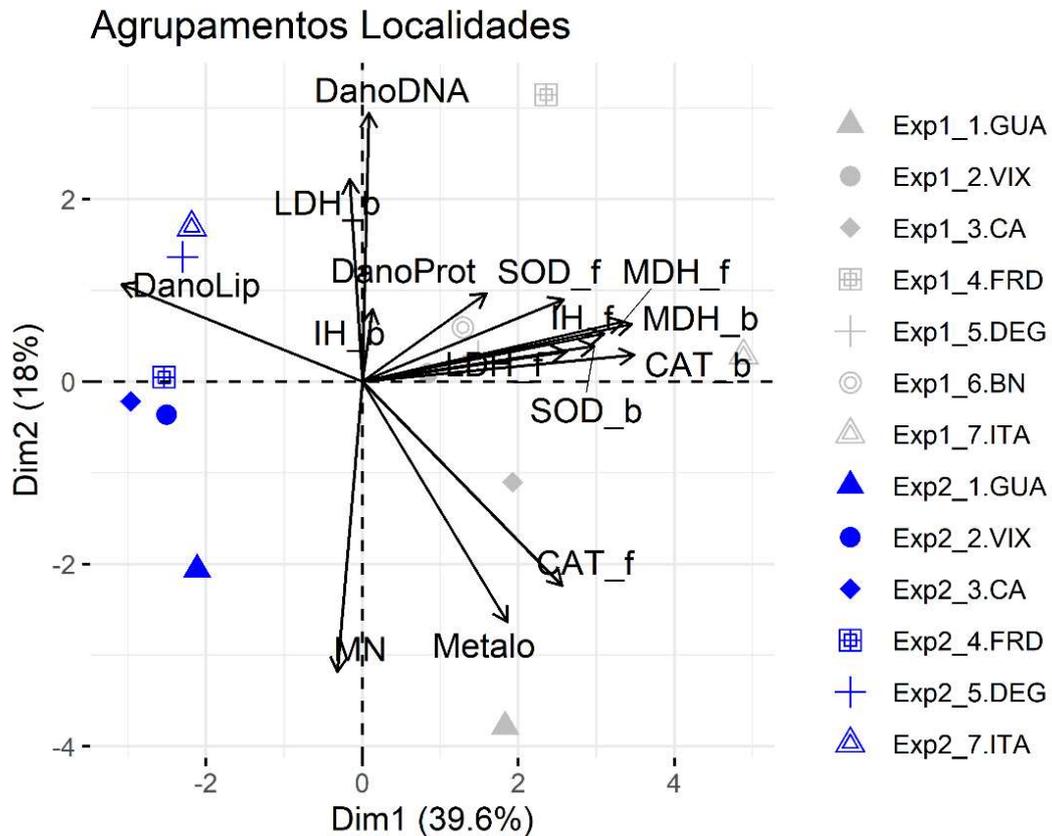


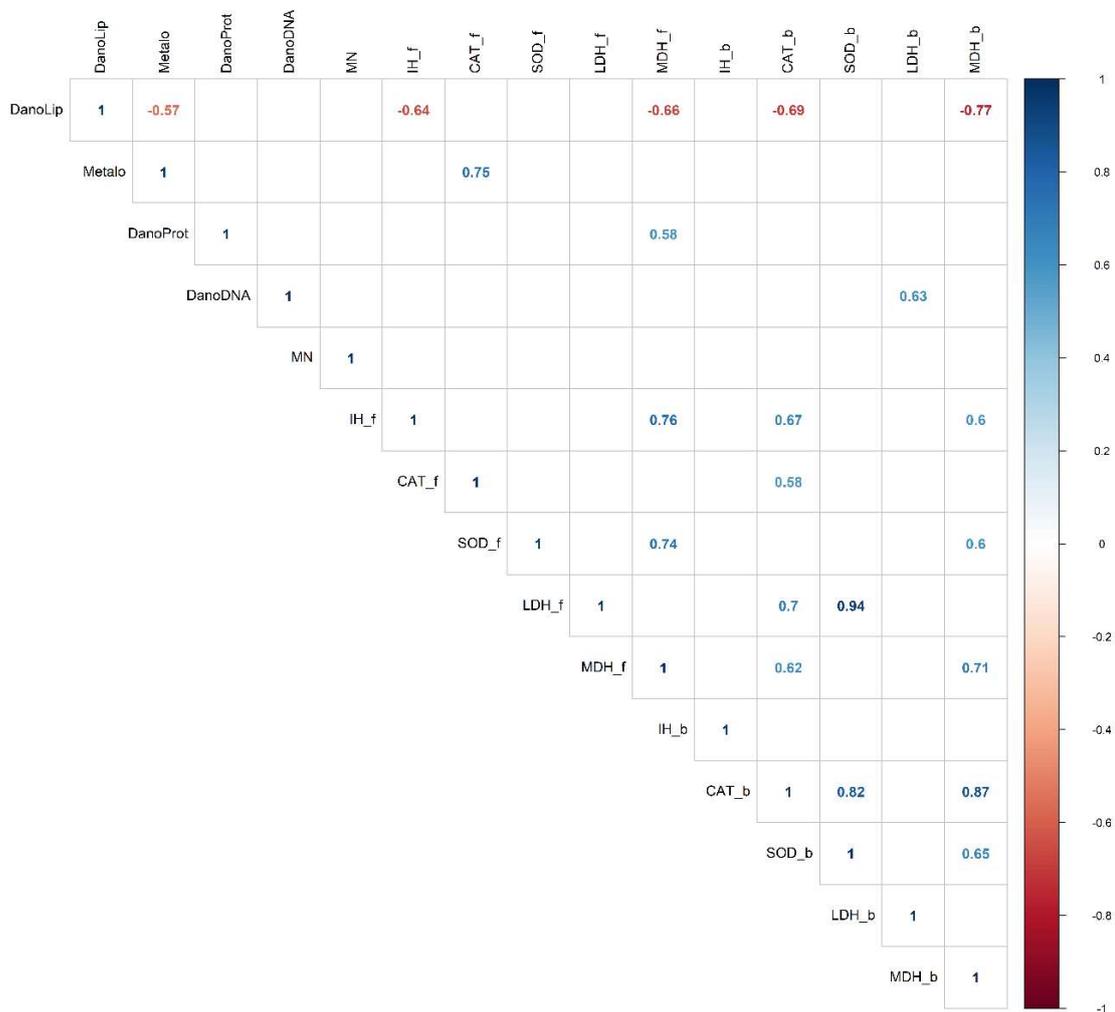
Tabela 119: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 301.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de variância</b>	<b>Percentual de variância acumulativa</b>
Dim.1	5,94	39,58	39,58
Dim.2	2,70	18,00	57,58
Dim.3	1,94	12,95	70,53
Dim.4	1,34	8,92	79,45
Dim.5	1,00	6,64	86,09
Dim.6	0,86	5,76	91,85
Dim.7	0,45	2,99	94,84
Dim.8	0,38	2,52	97,36
Dim.9	0,24	1,57	98,93
Dim.10	0,14	0,92	99,85

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.11	0,02	0,12	99,97
Dim.12	0,00	0,03	100,00

Figura 302: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas de biomarcadores, lipoperoxidação (DanoLip; brânquia e fígado), concentração de metalotioneínas (Metalto; fígado), proteínas carboniladas (DanoProt; músculo), níveis de sítios AP (DanoDNA; sangue), frequência de micronúcleos (MN; sangue), índices médios de lesões do fígado (IH\_f), índices médios de lesões na brânquia (IH\_b) atividade das enzimas catalase (CAT; brânquia e fígado), lactato desidrogenase (LDH; brânquia e fígado), malato desidrogenase (MDH; brânquia e fígado) e superóxido dismutase (SOD; brânquia e fígado) mensurados em amostras de peixes do grupo I. Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho.

Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas.



As variáveis que mais contribuíram para o componente principal 1 (PC1) são as enzimas catalase (CAT) e o malato desidrogenase (MDH), na brânquia (Figura 303). Os picos destas enzimas foram principalmente observados nas localidades de ITA (EXP1), CA e FRD (EXP2) (Figura 304).

Figura 303: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 301). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/15 = 6,6\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

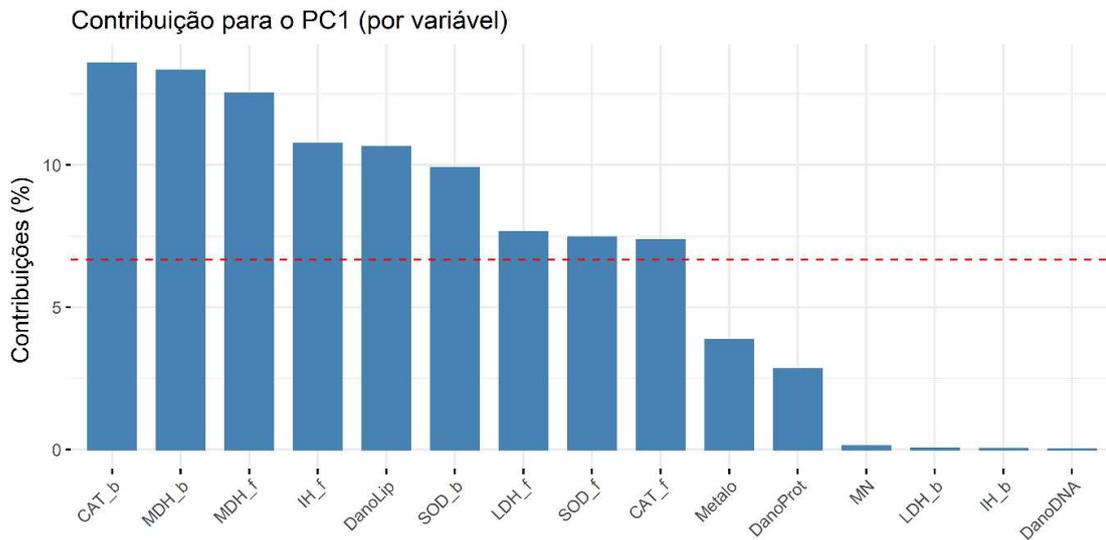
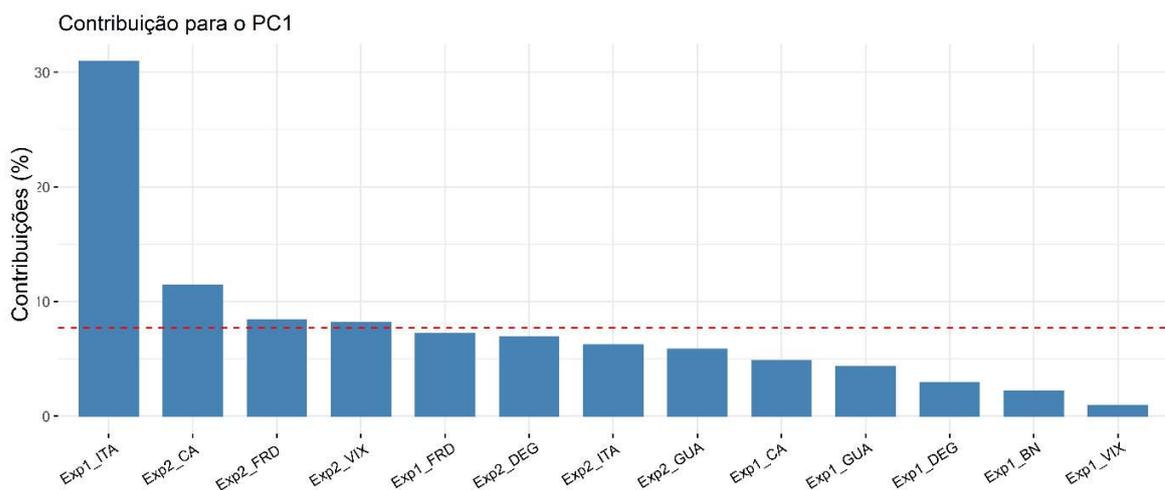


Figura 304: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 301). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/13 = 7,6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



No caso do componente principal 2, as variáveis que contribuíram significativamente foram a frequência de micronúcleos (MN) e danos no DNA (sítios AP) no sangue (Figura 305). Os picos destas variáveis foram, principalmente, nas localidades de GUA e FRD da campanha 1(EXP1) (Figura 306).

Figura 305: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 301). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/15 = 6,6\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

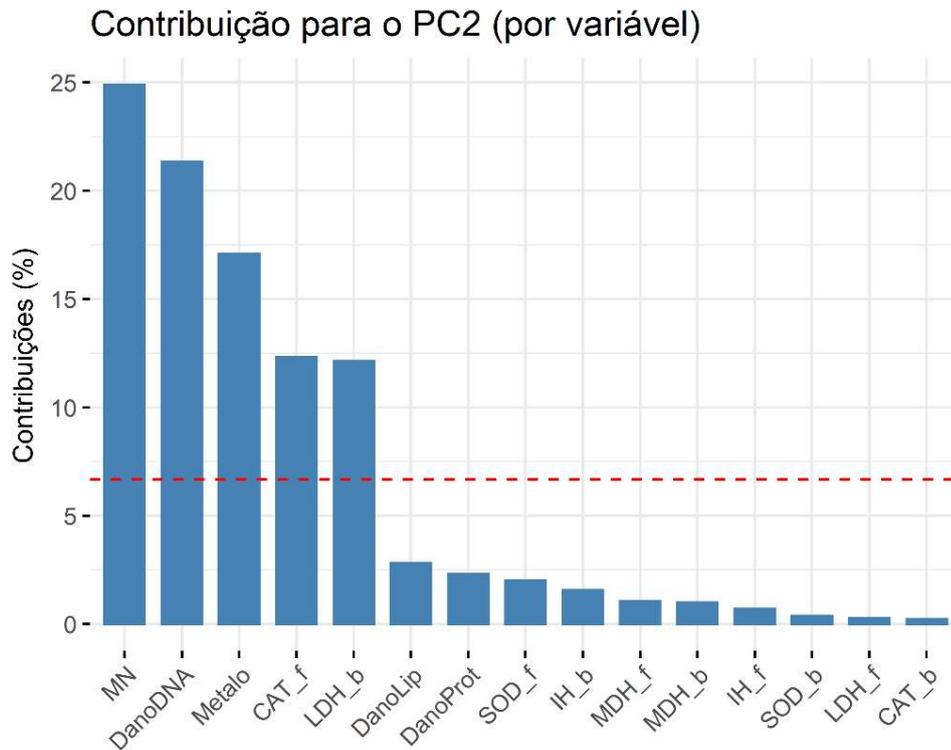
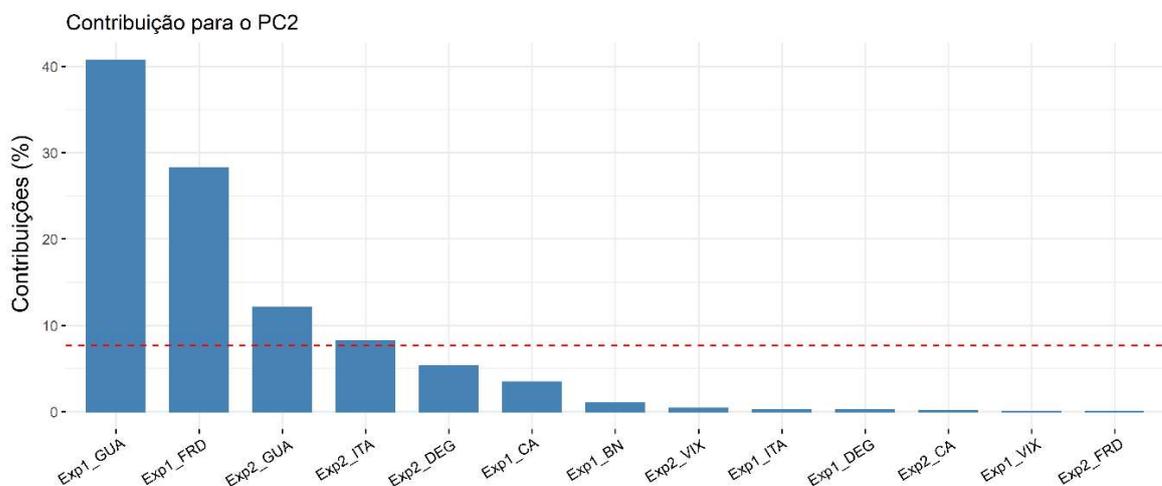
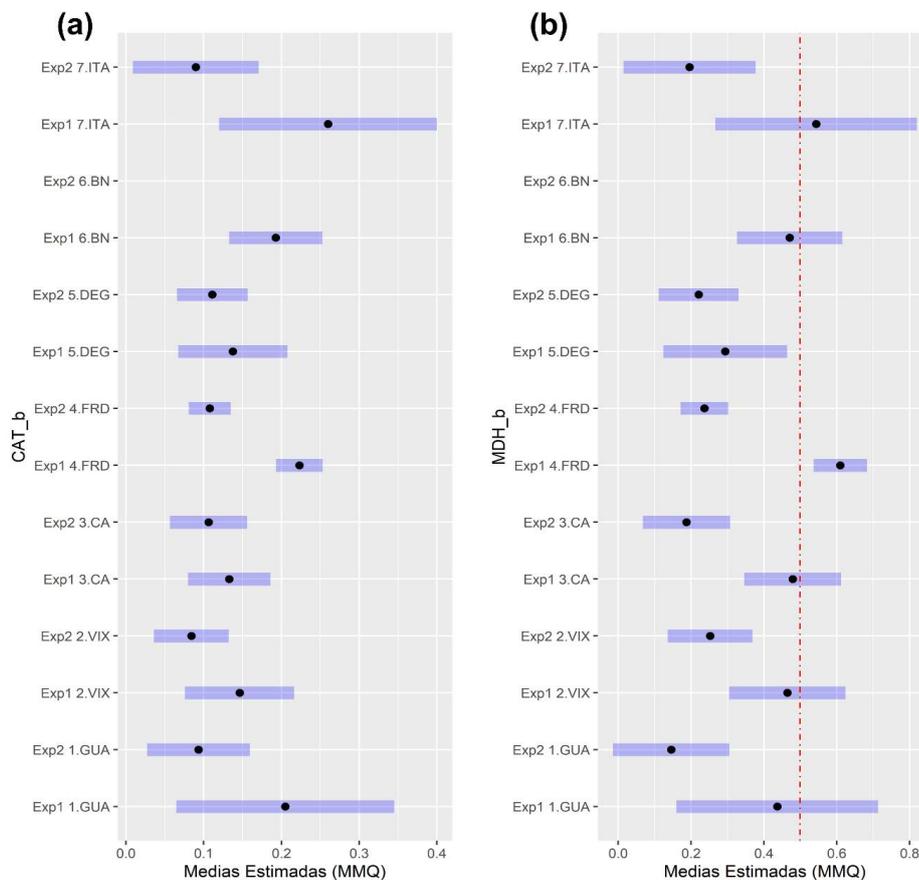


Figura 306: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 301). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/13 = 7,6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



As variáveis que se destacaram no componente principal 1, atividade da CAT e da MDH nas brânquias, foram avaliadas em mais detalhes, via análises univariadas. Como esperado para variáveis que se correlacionaram fortemente ao PC1 descrito na Figura 307, o tempo/campanha é o principal fator a alterar a atividade dessas enzimas.

Figura 307: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para os biomarcadores catalase na brânquia (CAT\_b) (a) e malato desidrogenase na brânquia (MDH\_b) (b) de peixes grupo I. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Nenhuma diferença entre áreas amostrais foi observada.

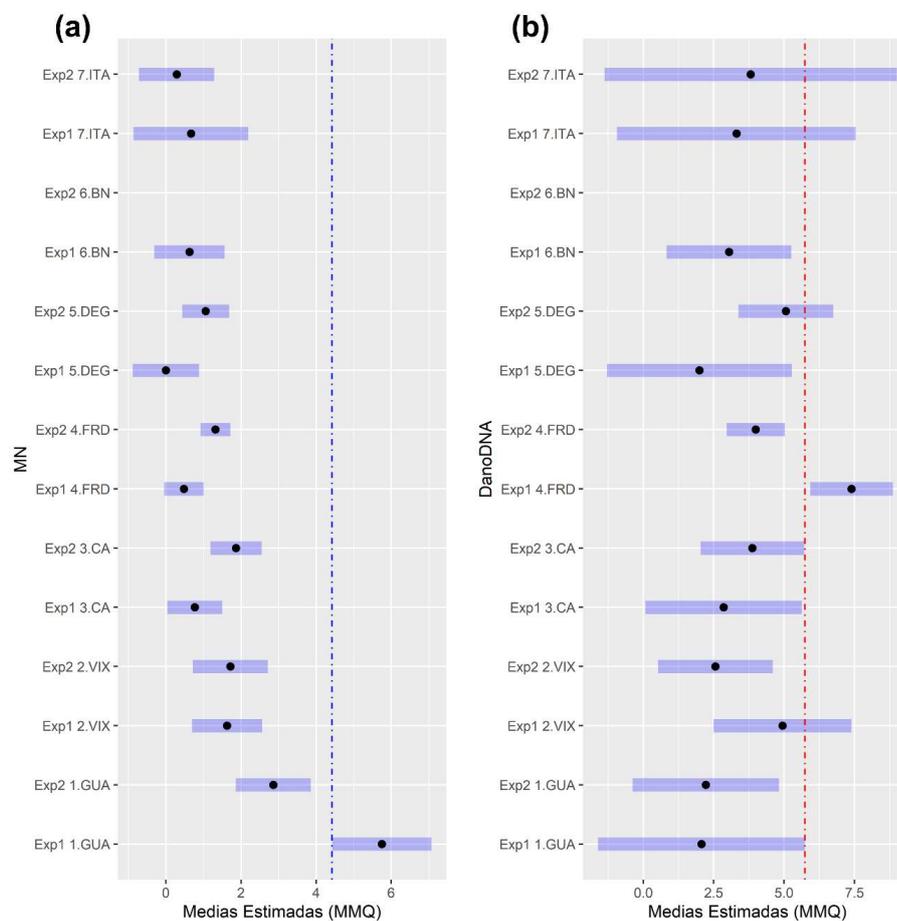


As variáveis MN e dano em DNA (sítios Ap) analisados no sangue, foram as que mais contribuíram para a variabilidade resumida no componente principal 2. Análises univariadas, aplicadas para detalhar os padrões espaço-temporais desses biomarcadores, indicam que a ocorrência de micronúcleos (MN), mutações no DNA, foi maior em peixes coletados em Guarapari (Figura 308). Este é um padrão inesperado, uma vez que esta localidade não se diferencia significativamente das demais quanto ao nível de contaminação. O dano oxidativo em DNA (DanoDNA; Sítios AP), por sua vez, apresentou padrão de resposta semelhante ao encontrado em camarões, com maior dano em organismos coletados em FRD. Os peixes grupo I, apanhados em FRD, apresentaram níveis significativamente mais altos de Fe, Cr e Pb, além de habitarem a área amostrada que sofreu maior aporte de metais na

ocasião do rompimento da barragem, e que está mais suscetível a aportes recorrentes/crônicos de material sedimentado na calha do rio Doce.

Como já discutido, um aumento no dano oxidativo em DNA é indicativo de alterações genéticas, além de indicar dano em macromoléculas e alteração bioquímica/fisiológica diretamente, e está associado a câncer, apoptose e, conseqüentemente, pode afetar os peixes em nível populacional.

Figura 308: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para os biomarcadores micronúcleo (MN) (a) sítios AP (DanoDNA) (b) de peixes grupo I. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com GUA na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, GUA/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.



A análise de componentes principais (PCA) realizada, a partir dos resultados de biomarcadores nos peixes marinhos categorizados como grupo II (onívoros com tendência à carnivorina, sendo assim chamados de carnívoros) e coletados ao longo da campanha 1 e 2, sumarizou 65,4% da variabilidade nos dois primeiros componentes (Figura 309; Tabela 120; Figura 310). Assim como os peixes do grupo I, o componente principal 1 que sumarizou 45,6% dos dados, agrupou todas as localidades amostradas na campanha 1, e quase todos os biomarcadores analisados, com exceção do micronúcleo (MN), os

danos em lipídios (DanoLip) e danos no DNA, que estão agrupados no quadrante noroeste juntamente com todas as localidades amostradas na campanha 2.

Figura 309: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de biomarcadores, lipoperoxidação (DanoLip; brânquia e fígado), concentração de metalotioneínas (Metal; fígado), proteínas carboniladas (DanoProt; músculo), níveis de sítios AP (DanoDNA; sangue), frequência de micronúcleos (MN; sangue), índices médios de lesões do fígado (IH\_f), índices médios de lesões na brânquia (IH\_b) atividade das enzimas catalase (CAT; brânquia e fígado), lactato desidrogenase (LDH; brânquia e fígado), malato desidrogenase (MDH; brânquia e fígado) e superóxido dismutase (SOD; brânquia e fígado) mensurados em amostras de peixes do grupo II. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, categorizados por localidade GUA (Guarapari [GUA1 e GUA2]; VIX (Vitória [VIX1 e VIX2]); CA (Costa das Algas [CA1;CA2;CA3]); FRD (Foz do Rio Doce [FRD1,FRD3;FRD6;FRD8,FRD9 e FRD10]); DEG (Degredo [DEG1 e DEG2]); BN (Barra Nova [BN1 e BN2] e ITA (Itaúnas [ITA1 e ITA2]) nas campanhas marinhas 1 [Exp1] e 2 [Exp2].

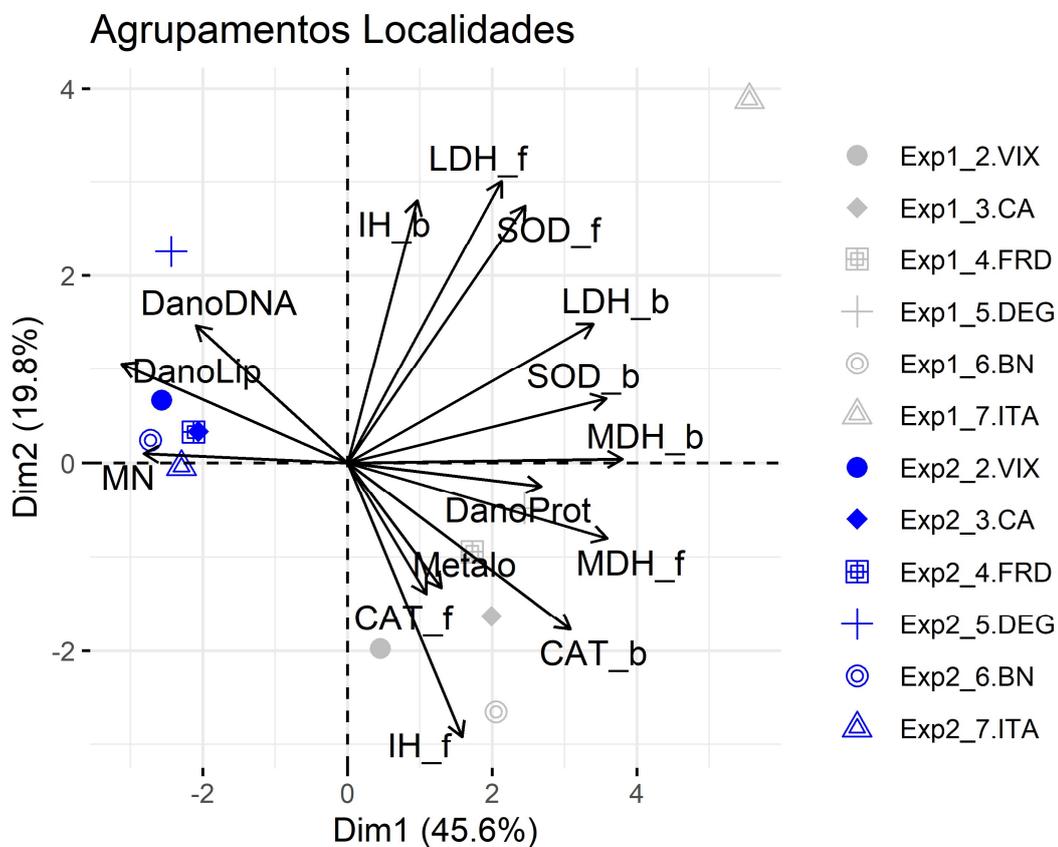


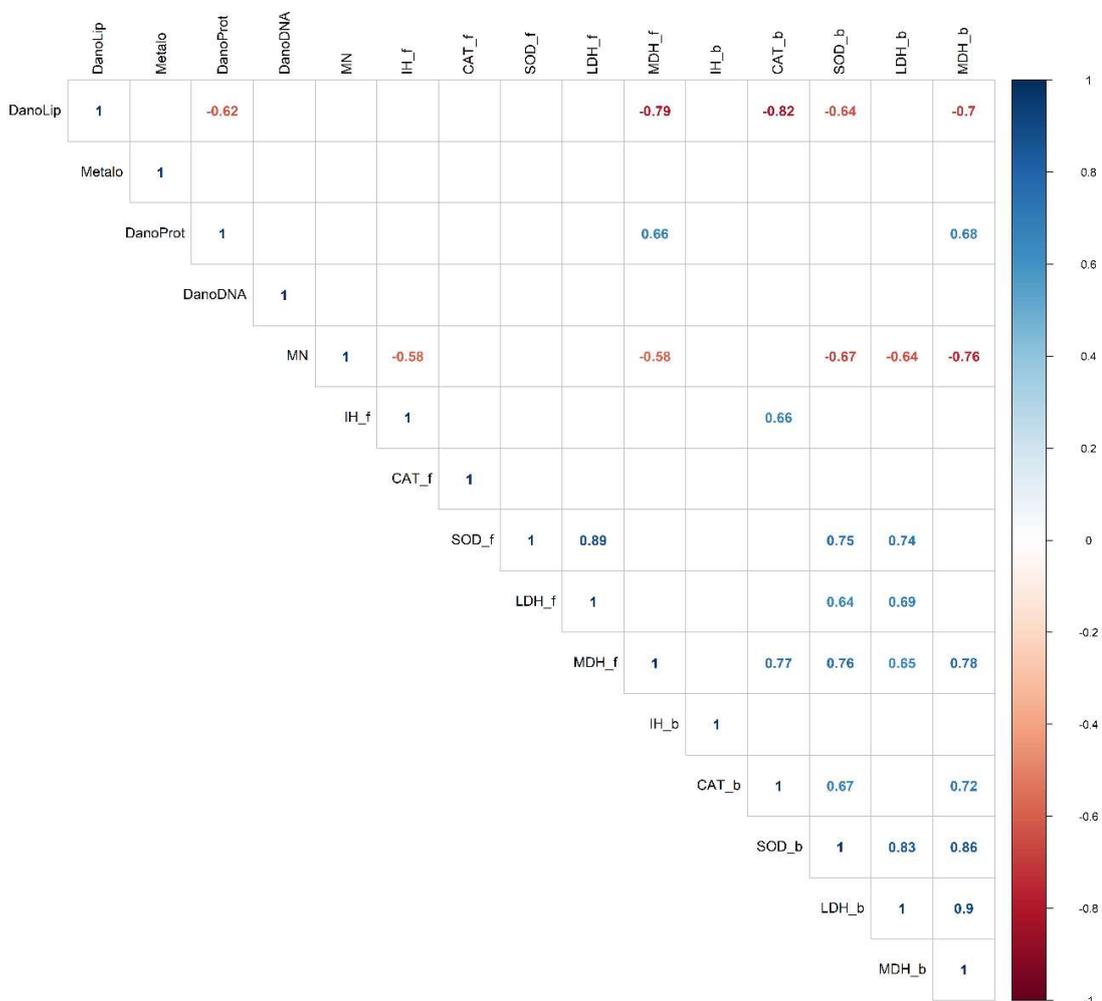
Tabela 120: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 309.

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.1	6,85	45,64	45,64
Dim.2	2,97	19,77	65,42
Dim.3	1,73	11,51	76,93
Dim.4	1,12	7,48	84,41
Dim.5	0,94	6,27	90,67
Dim.6	0,61	4,05	94,72
Dim.7	0,48	3,21	97,94

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.8	0,17	1,11	99,04
Dim.9	0,11	0,71	99,76
Dim.10	0,03	0,21	99,97
Dim.11	0,00	0,03	100,00

Figura 310: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas de biomarcadores, lipoperoxidação (DanoLip; brânquia e fígado), concentração de metalotioneínas (Metal; fígado), proteínas carboniladas (DanoProt; músculo), níveis de sítios AP (DanoDNA; sangue), frequência de micronúcleos (MN; sangue), índices médios de lesões do fígado (IH\_f), índices médios de lesões na brânquia (IH\_b) atividade das enzimas catalase (CAT; brânquia e fígado), lactato desidrogenase (LDH; brânquia e fígado), malato desidrogenase (MDH; brânquia e fígado) e superóxido dismutase (SOD; brânquia e fígado) mensurados em amostras de peixes do grupo II. Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho.

Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas.



A análise mais detalhada da PCA de biomarcadores de peixes marinhos do grupo II demonstra que as variáveis que mais contribuíram para o componente principal 1 (PC1) foram as enzimas malato desidrogenase e superóxido dismutase (Figura 311) na brânquia e no fígado, e seus picos foram evidentes na localidade de ITA na campanha 1 (Figura 312).

Figura 311: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 309). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/15 = 6,6\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

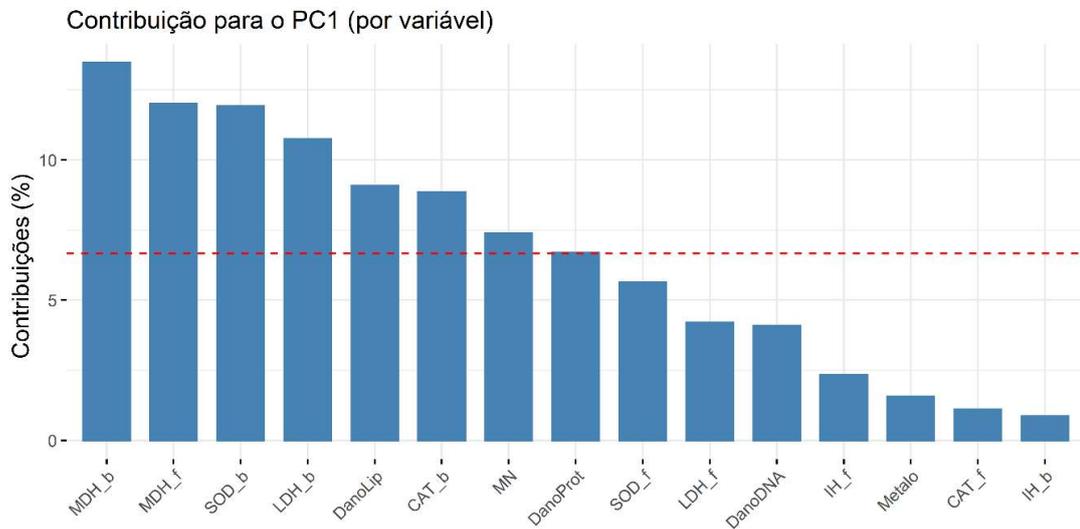
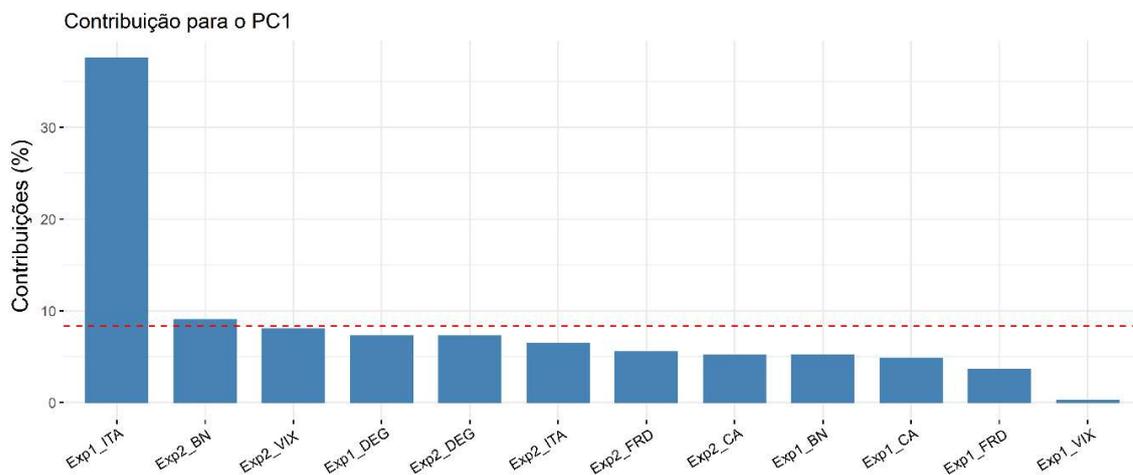


Figura 312: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 309). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/13 = 7,6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



Os principais contribuintes para o componente principal 2 (PC2) foram a enzima lactato desidrogenase (LDH) e os índices de lesões histológicas na brânquia (IH\_b) e no fígado (IH\_f) dos peixes (Figura 313). Evidenciou-se estes biomarcadores nas localidades de ITA e BN da campanha 1 (Figura 314).

Figura 313: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 309). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/15 = 6,6\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

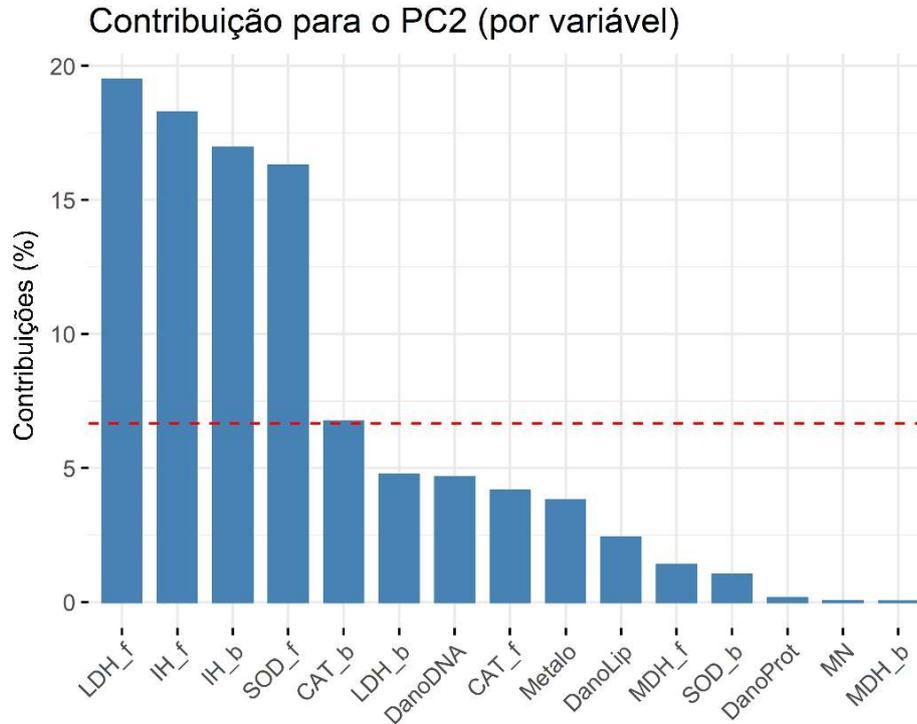
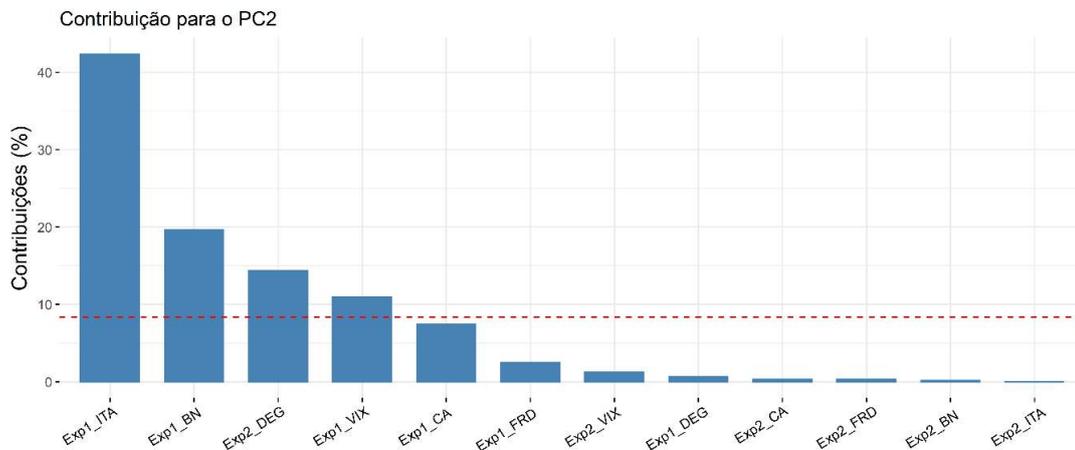


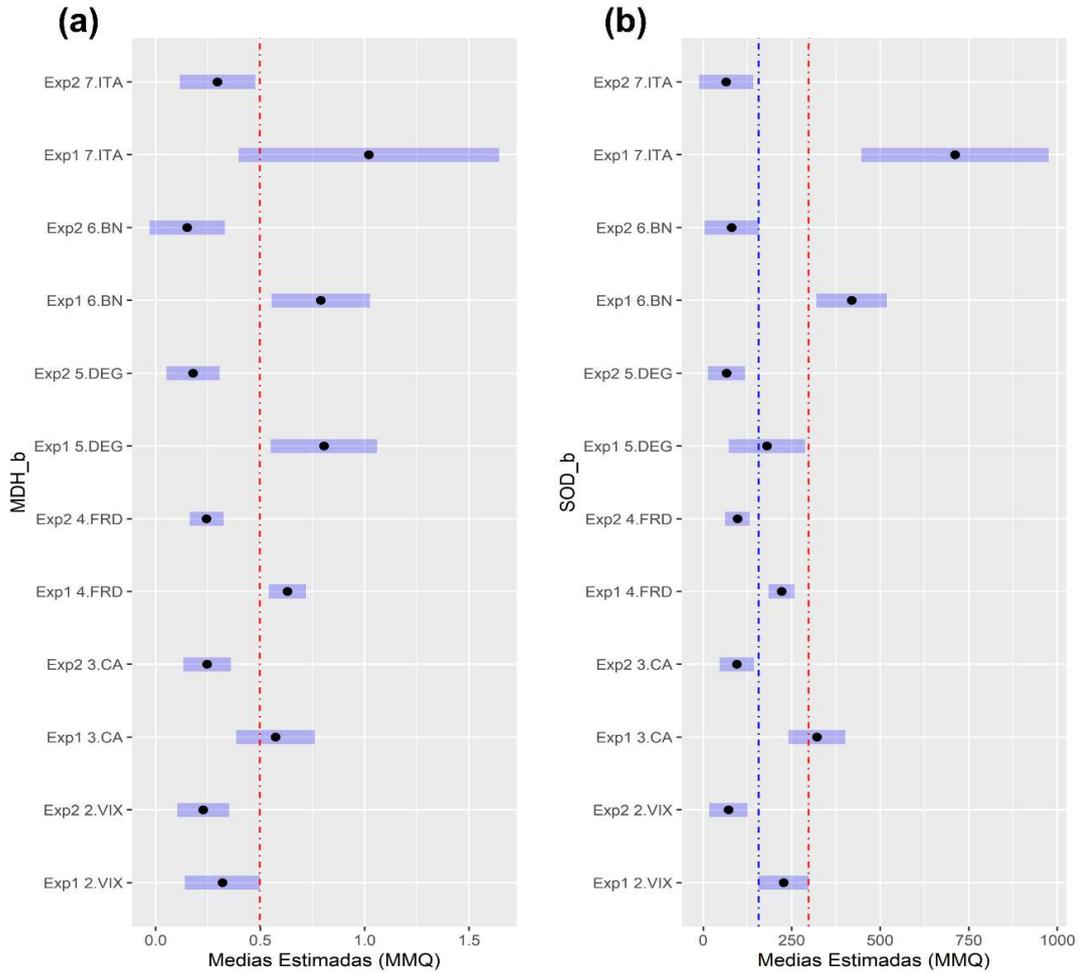
Figura 314: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2) (de acordo com a Figura 309). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/13 = 7,6\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



Os agrupamentos de variáveis, mensuradas em peixes do grupo II, foi semelhante ao observado para os peixes do grupo I, com nível trófico relativamente mais baixo. O componente principal 1 separou, no seu hemisfério positivo, as enzimas antioxidantes (SOD e CAT), de metabolismo energético (LDH e MDH) e de metabolismo de metais (Metal), juntamente com o dano oxidativo em proteínas mensurado no músculo, e, no seu hemisfério negativo, os danos em lipídios (LPO) e DNA (MN e sítio AP). O PC1 representa, principalmente, a variação sazonal, uma vez que, em seu setor positivo, agruparam-se os pontos da primeira campanha, que apresentaram peixes com maiores níveis de atividade enzimática e de dano histopatológico (IH). Já no seu setor negativo, agruparam-se os pontos da segunda campanha, que apresentaram peixes com maior nível de dano oxidativo (Figura 309).

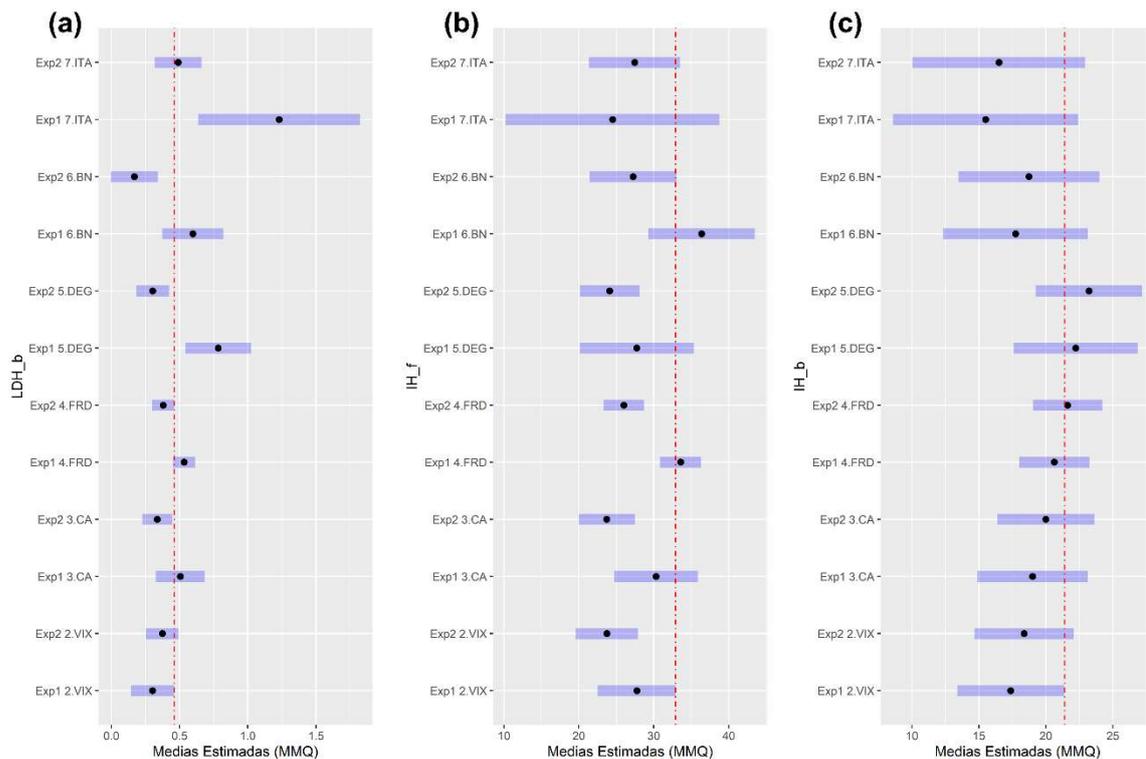
As variáveis que mais contribuíram para a variabilidade resumida no PC1 foram a atividade branquial da MDH e a SOD. Como pode ser detalhado pela análise univariada (Figura 315), a atividade dessas enzimas foram afetadas, primariamente, pelo fator temporal, sendo significativamente mais baixas no verão (em comparação com a primeira campanha). Os padrões sazonais dessas enzimas e suas relações com a bioacumulação de metais em peixes carnívoros, seguem a mesma discussão apresentada nos resultados obtidos para os peixes de menor nível trófico.

Figura 315: Comparações a posteriori (teste de Dunnet) para as enzimas malato desidrogenase na brânquia (MDH\_b) (a) superóxido dismutase (SOD\_b) (b) de peixes do grupo II. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.



A atividade da enzima LDH e os índices de dano histopatológico (IH) foram as variáveis que mais contribuíram para o PC2. Esses biomarcadores também foram avaliados com mais detalhe por análises univariadas (Figura 316), que indicaram um efeito temporal na LDH e IH do fígado. Além disso, as maiores médias de IH no fígado foram observadas em FRD e BN, durante a campanha 1. O dano histopatológico identificado nas brânquias de peixes carnívoros foi mais alto em FRD e DEG.

Figura 316: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnett) para a enzima lactato desidrogenase na brânquia (LDH\_b) (a) e o índice de lesão histológica no fígado (b) e na brânquia (c) de peixes do grupo II. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os cinco níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 6 localidades amostrais com VIX na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, VIX/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.



Em resumo, o fator temporal afetou mais a variabilidade de biomarcadores em peixes carnívoros do que o fator espacial. Respostas bioquímicas são fortemente afetadas por parâmetros abióticos associados à sazonalidade, com destaque para temperatura (Lushcack, 2011; Lesser, 2006). Ainda assim, diversos metais apresentaram o mesmo padrão de ausência de padrão espacial e forte variação temporal, de forma que essas variações temporais, na atividade de enzimas antioxidantes, estejam fortemente associadas aos metais (remeter a discussão dos resultados obtidos para peixes onívoros). Como padrão espacial mais relevante entre os biomarcadores mensurados em peixes carnívoros, é possível observar que o dano histopatológico nas brânquias foi relativamente maior em FRD e DEG.

Após o derramamento do rejeito de minério no rio Doce, os níveis de metais como ferro, chumbo, cobre e cromo, detectados na água atingida pela lama, foram maiores que os níveis aceitáveis pela legislação (Fernandes et al., 2016; Carvalho et al., 2017). Ademais, Observou-se, mais de três anos após o rompimento da barragem, o acúmulo de metais como mercúrio, chumbo, cromo, cádmio, manganês, zinco e ferro e arsênio em espécies de peixes de diferentes níveis tróficos, amostrados no ambiente marinho. Em espécies coletadas no ambiente marinho, os metais que mais acumularam no fígado

foram cobre e zinco e, nas brânquias, foi encontrada maior concentração de mercúrio e ferro. Observamos esse padrão, principalmente, em indivíduos coletados em pontos na foz do rio Doce, Costa da Algas e Itaúnas, quando comparado aos pontos “linha de base” (VIX).

Organismos aeróbicos produzem continuamente espécies reativas, como resultado do metabolismo oxidativo normal nas mitocôndrias (Traber, 2006; Urso; Clarkson, 2003; Ferreira; Matsubara, 1997). Em circunstâncias normais, as espécies reativas são neutralizadas por um elaborado sistema de defesa antioxidante, que consiste em enzimas como catalase, superóxido dismutase, glutathione peroxidase e numerosos antioxidantes não enzimáticos (Ignea et al., 2013; Urso; Clarkson, 2003; Young; Woodside, 2001; Ferreira; Matsubara, 1997).

Metais pesados são potenciais perturbadores da integridade dos mecanismos fisiológicos e bioquímicos em peixes. Estudos sobre captação e toxicidade decorrentes dessa classe de compostos químicos mostraram que peixes acumulam metais em seus tecidos e efeitos tóxicos ocorrem dependentes das concentrações, tempo de exposição e espécies (Heath, 1995; Jorgensen, 2010).

Em geral, os metais, especialmente os de transição como ferro, cobre e cromo participam ativamente na catálise de reações de oxirredução, capazes de gerar espécies reativas de oxigênio (ERO), incluindo o peróxido de hidrogênio (Barreiros; David, 2006). O estresse oxidativo causado pelo desequilíbrio entre ERO ou espécies reativas de nitrogênio (ERN) e sistema antioxidante biológico pode levar à modificação de macromoléculas como DNA, lipídios e proteínas (Evans et al., 2004; Xie et al., 2008).

As enzimas superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) são membros do sistema de defesa antioxidante endógeno e constituem, assim, a primeira linha de proteção contra a toxicidade oxidativa (Cao et al., 2012). A SOD está localizada no citosol, lisossomos, núcleo, matriz e espaço intermembranas da mitocôndria. Essa enzima atua na conversão do radical superóxido ( $O_2^{\cdot-}$ ), em peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) (Droge, 2002), protegendo, assim, a integridade de macromoléculas celulares, como DNA, lipídeos e proteínas. Já a CAT, encontrada nos peroxissomos, é responsável pela desintoxicação celular e oxidação de ácidos graxos de cadeia longa e é responsável pela conversão de peróxido de hidrogênio a água e oxigênio (Aebi, 1984).

O perfil enzimático do marcador SOD manteve seus níveis de atividade no tecido hepático dos peixes coletados no marinho, quando comparamos estação seca (Set/Out 2018) e chuvosa (Jan/Fev 2019), especialmente em pontos distantes da foz do Rio Doce. Em brânquias dos animais marinhos houve tendência à redução da atividade da enzima em questão, com destaque as localidades CA e FRD, onde o PC2, que relaciona a concentração de metais na brânquia dos peixes marinhos, indica Hg e Fe como variáveis de destaque. Estudos mostram a toxicidade do íon ferroso ( $Fe^{2+}$ ) para animais aquáticos, pois esse composto se liga à superfície branquial e é oxidado a íon férrico insolúvel ( $Fe^{3+}$ ), que cobre a superfície desse tecido e induz danos celulares, seguidos por disfunção respiratória (Davidson, 1993, Teien et al., 2008; Sevcikova et al., 2011; Debnath et al., 2012, , Slaninova et al., 2014,). Além disso, estudo feito em embrião de *Oryzias latipes*, relatou que a exposição ao nano-ferro inibiu a atividade da enzima antioxidante de maneira dose-dependente e induziu a peroxidação lipídica (Li et al., 2009). Já

os animais coletados nos pontos marinhos distantes da foz do Rio Doce (VIX1 - linha base - e GUA2) tiveram comportamento diferente ao mencionado, com tendência à manutenção dos níveis.

A LDH é localizada no citosol e catalisa a etapa terminal do metabolismo anaeróbico, promovendo a conversão de piruvato a lactato, concomitante com a oxidação/redução do NADH e NAD<sup>+</sup> (Voet; Voet, 2006; Lehninger; Cox; Nelson, 2011). A atividade e as propriedades funcionais desta enzima refletem o nível de resistência a situações estressoras (Zakhartsev et al., 2004). Nas células, os metais podem induzir mudanças na atividade de várias enzimas, afetando as vias metabólicas e as taxas de síntese de ATP, além de interromper o transporte de oxigênio e a biogênese mitocondrial (Depledge, 1984; Hansen et al., 1992; Craig et al., 2007).

Os valores obtidos na análise de LDH revelaram tendência à redução da atividade dessa enzima, nos tecidos hepático e branquial de animais coletados no marinho, com atenção especial ao tecido branquial de animais coletados no ambiente marinho nos pontos FRD8, FRD9 e FRD10.

No geral, a atividade da LDH, normalmente, não é afetada ou mesmo aumentada em peixes e invertebrados expostos ao Cu (Hansen et al., 1992; Cheney; Criddle, 1996; Tóth et al., 1996; Couture; Kumar, 2003). No entanto, estudo realizado por Antognelli et al. (2003) encontrou redução na atividade da LDH no fígado peixes da espécie *Sparus auratus* expostos ao Cu. Couture e Kumar (2003), sugeriram que reduções na capacidade aeróbica induzidas por Cu podem levar a uma indução compensatória da capacidade anaeróbica, como observado na espécie *Perca flavescens*.

Por outro lado, o LDH é significativamente afetado no caso de dano tecidual induzido pela toxicidade de metais pesados (Singh; Sharma, 1998). Estudos realizados por Elarabany e Bahnasawy (2019) demonstraram redução na atividade de LDH em *Clarias gariepinus* expostos tanto ao Cd quanto ao Pb em relação ao controle. A atividade do LDH foi reduzida na tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, quando exposta ao Cd (Almeida et al., 2001) e em *Clarias gariepinus* exposto ao Pb em diferentes estágios de desenvolvimento (Osman et al., 2007). Essa inibição pode ser devida à formação de um complexo que inibe a enzima (Singh; Sharma, 1998), interação direta entre metais pesados e LDH (Rajanna et al., 1990) ou inibição de processos metabólicos (Almeida et al., 2001).

No presente estudo, exceções a esse comportamento foram os pontos próximos à foz FRD9 (fígado em ambiente marinho), onde houve aumento da atividade da LDH. Em condições anóxicas, o corpo tenta alterar o metabolismo respiratório para anaerobiose (Calbreath, 1992). O piruvato, produto final da glicólise, que fornece energia, a partir da glicose em condições normais, não é direcionado ao ciclo de Krebs, mas reduzido ao lactato (Shobha-rani et al., 2000), levando ao aumento da atividade da LDH (Rojik et al., 1993).

Assim como a LDH, a MDH é uma importante enzima do metabolismo energético de todas as células. É uma desidrogenase da respiração celular que participa, principalmente, da última etapa do ciclo do ácido cítrico catalisando a conversão reversível do malato a oxaloacetato, com redução do NAD<sup>+</sup> a NADH. No citosol, o malato é reoxidado pela MDH citosólica em oxaloacetato, o qual é importante em diferentes vias metabólicas, incluindo o ciclo do ácido cítrico, gliconeogênese, síntese de aminoácidos e manutenção do balanço entre oxidação/redução. Ainda, facilita a troca de metabólitos entre o

citoplasma e organelas subcelulares (Goward; Nicholls, 1994; Musrati et al., 1998; Lehninger; Cox; Nelson, 2011).

Os valores encontrados na análise da enzima MDH sugeriram tendência à redução de sua atividade comparando-se os períodos seco e chuvoso em tecidos hepático e branquial de animais coletados em ambiente marinho. A redução da atividade da MDH pode ser atribuída à baixa oxidação de succinato (Passow et al., 1961) e, também, devido à ligação do agente tóxico com a enzima (Blackwood et al., 1961).

Diante dos resultados obtidos, constatou-se, em ambas as estações investigadas (período seco e chuvoso), elevada incidência de alterações morfológicas nos tecidos branquial e hepático de peixes coletados ao longo dos pontos amostrados no ambiente marinho. A metodologia adotada permitiu identificar impactos nos órgãos analisados e estabelecer correlações entre os índices de lesões e a dispersão de poluentes nesses pontos, além de comparações temporais entre as campanhas realizadas até o momento.

Histologicamente, a brânquia foi o órgão mais afetado durante o período chuvoso, quando comparado ao período de seca, sobretudo em pontos próximos à foz do Rio Doce. As características hidrodinâmicas e sedimentológicas da foz variam de acordo com comportamento das ondas, ventos, marés e mistura da água doce com a marinha. Dessa maneira, na estação chuvosa, a alta pluviosidade pode disponibilizar os metais da matriz sedimentar para a coluna d'água e, assim, expandir a disponibilidade de metal no ambiente (Martin; Mccutcheon, 1990; Innocentini, 2003; Nicolodi et al., 2010). Os resultados da concentração de metais na água, durante a estação chuvosa, mostram maiores níveis de ferro dissolvido, manganês total e cromo, principalmente, em pontos localizados na foz do rio Doce. Na brânquia, observou-se maior acumulação de mercúrio e ferro nessa estação, em peixes coletados em ambos os ambientes estudados. Assim como observado neste estudo, a bioacumulação de mercúrio e ferro foi notada em diferentes espécies de peixes analisadas, em condições experimentais e em ambientes naturais (Rabitto et al., 2011; Abdel-Monein et al., 2012; Javed et al., 2016; Santos et al., 2016; Singha et al., 2019).

Dentre as lesões observadas na brânquia, o deslocamento da lamela primaria foi a lesão mais frequente no período chuvoso. De acordo com Rossi (2008), lesões associadas ao deslocamento do epitélio branquial podem ser relacionadas com a contaminação aguda, o que justifica sua maior frequência nos peixes amostrados durante a estação chuvosa, onde o índice pluviométrico é maior e, conseqüentemente, a disponibilidade de metais e outros contaminantes no ambiente é expandida. Diversos autores descrevem alterações na estrutura branquial de peixes expostos a metais pesados e outros contaminantes em diferentes ambientes (Arellano et al., 1999; Garcia-Santos et al., 2007; Azevedo et al., 2013; Freire et al., 2015; Yamamoto et al., 2016; Santana et al., 2018).

A descamação do epitélio, lesão frequente em ambas as estações, pode ser desencadeada por estresse químico, causando disfunção respiratória por afetar as trocas gasosas, devido à redução da superfície do epitélio respiratório e, também, provocar distúrbios osmorregulatórios (Campos, 2007; Zeni, 2016). A perda de organização epitelial nas lamelas branquiais de peixes é uma lesão comumente

encontrada em estudos que avaliam exposição a poluentes (Camargo; Martinez 2007; Fontainhas-Fernandes et al., 2008; Rabitto et al., 2011; Brito et al., 2012; Yamamoto et al., 2016).

Outras alterações histopatológicas importantes, observadas nas brânquias, foram hiperplasia interlamelar e fusão da lamela secundária, consideradas, fisiologicamente, lesões com danos graves às brânquias (Torres et al., 2016). Além disso, podem ser consideradas adaptativas, pois aumentam a distância entre o ambiente externo e o sangue, servindo como uma barreira para a entrada de contaminantes, além de atuarem como um mecanismo de proteção que leva à diminuição da superfície respiratória (Campos, 2007). Essas lesões estão relacionadas com diversos contaminantes (Marcogliese et al., 2005), dentre eles a exposição a altas concentrações de cobre (Maharajan et al., 2016), ferro e outros metais (Abdel-Monein et al., 2012; Javed et al., 2016; Santos et al., 2016; Singha et al., 2019) e mercúrio (Rabitto et al., 2011; Abdel-monein et al., 2012).

O aneurisma, lesão com grande incidência nas lamelas secundárias, resulta do acúmulo de eritrócitos e morte das células dos pilares, levando à perda da integridade estrutural da lamela. Essa lesão pode estar associada a traumas físicos e químicos, em resposta aguda, a agentes estressores ambientais (Lopes et al., 2005; Liebel et al., 2013; Freire et al., 2015).

A maior frequência de parasitas observada nas brânquias dos peixes, no período chuvoso, pode ser uma resposta ao aumento de contaminantes dispersos nos ambientes e pode ter desencadeado infecções secundárias, embora esse órgão possua mecanismos de defesa parasitária (Zanolo; Yamamura, 2006). Ainda, o aumento de parasitas nesse órgão está relacionado a uma baixa resposta imune desses animais, conforme descrito por Brito et al. (2012) e Freire et al. (2015) ao avaliarem peixes Siluriformes e Characiformes, respectivamente, coletados em ambientes contaminados.

A brânquia possui uma grande superfície de contato com o ambiente e representa um importante órgão-alvo para poluentes dispersos na coluna d'água (Wong; Wong, 2000). O epitélio branquial possui estruturas vitais para a saúde dos peixes porque, além de ser o principal local de trocas gasosas, são responsáveis pelos processos de osmorregulação, de excreção de compostos nitrogenados e do equilíbrio ácido básico, bem como desempenham a função de órgão sensorial da gustação (Garcia-Santos et al., 2007). Portanto, alterações morfológicas nas brânquias podem representar estratégias adaptativas para manutenção de algumas funções fisiológicas e/ou um biomarcador para avaliar exposições agudas ou crônicas aos contaminantes presentes na água ou sedimento (Winkaler et al., 2001; Tkatcheva, et al., 2004). No primeiro ano do biomonitoramento da biota aquática do rio Doce e região costeira adjacente, a brânquia de peixes pode ser considerada um biomarcador para mensurar as condições dos ambientes amostrados.

Os peixes amostrados no ambiente marinho apresentaram, de forma geral, o índice de lesão no fígado menor durante o período chuvoso, quando comparado ao período de seca, em ambas as guildas tróficas. Azevedo et al (2013), ao avaliar alterações histológicas no fígado de uma espécie de bagre (*Cathorops spixii*), em pontos localizados no estuário de Santos - São Vicente – SP, que recebem diferentes poluentes, constatou que os índices de lesões desse órgão, durante a estação de seca, foi maior aos índices encontrados na estação chuvosa. Esse comportamento, também foi relatado por

Freire et al (2015), ao analisar alterações histológicas no fígado de uma espécie de lambari pertencente ao gênero *Astyanax* em dois pontos localizados no rio Iguaçu-PR, durante a estação seca e chuvosa. Segundo o autor, esses resultados sugerem que os contaminantes hepatotóxicos estão mais concentrados em períodos de menor precipitação.

O cobre e zinco foram os metais encontrados em maior concentração no fígado de peixes amostrados no ambiente marinho, especialmente nos pontos da foz do rio Doce, Costa das Algas e Itaúnas, durante a estação seca.

Dentre as alterações observadas no fígado em ambas as estações, a necrose, lesão frequente no ambiente marinho, é caracterizada pelo processo de morte celular ou tecidual, causada por lesões nucleares e citoplasmáticas irreversíveis, seguidas pela perda dos limites celulares e pela reabsorção por células fagocíticas (Thomson, 1978). Além disso, grandes e numerosas áreas necróticas podem levar à falência do órgão, causando comprometimento para a saúde do indivíduo e, conseqüentemente, afetar níveis mais elevados de organização biológica, como populações e comunidades (Rabitto et al., 2005). Assim, é classificada como lesão de grau de importância III, considerada uma lesão severa e irreversível (Bernet et al., 1999).

Identificou-se as alterações citoplasmáticas dos hepatócitos dos peixes observadas, no ambiente marinho, como esteatose e vacuolização do citoplasma. Pacheco e Santos (2002), descreveram o aumento da vacuolização dos hepatócitos como sinal de processo degenerativo, devido ao dano metabólico, possivelmente relacionado à exposição a água contaminada. Ademais, distúrbios citoplasmáticos, como a esteatose, são capazes de causar redução funcional ou mesmo falha da função do órgão (Bernet et al., 1999). Javed e colaboradores (2016) relatam vacuolização e esteatose no fígado em peixes com acúmulo de zinco, cobre e outros metais nesse órgão.

Nos animais amostrados no ambiente marinho, em ambas as estações, foram observadas hipertrofia e atrofia (núcleos picnóticos). De acordo com Maduenho et al. (2007) e Figueiredo-Fernandes et al. (2007), que estudaram a exposição de tilápias *Oreochromis niloticus* ao cobre, observaram aumento do tamanho dos núcleos dos hepatócitos destes indivíduos, assim como Paris-Palacios et al. (2000) em *Brachydanio rerio*, que também testaram a exposição ao cobre, sugerindo que esta alteração pode estar relacionada ao aumento da atividade metabólica decorrente da destoxificação. Pereira (2014), ao testar o efeito de detergentes biodegradáveis em duas espécies de peixes *Prochilodus lineatus* (curimatá) e *Astyanax altiparanae* (lambari), observaram redução da área do nuclear, uma vez que essas células estavam no início do processo de formação de núcleos inativos, podendo levar a morte celular.

A ocorrência de altos índices de lesões observados nos órgãos analisados (fígado e brânquia) indica que as condições ambientais, nesses pontos, estão comprometidas, visto que as características bioquímicas e histopatológicas de órgãos-alvos refletem/indicam condições ambientais específicas e representam tanto a intensidade quanto o tempo de exposição dos organismos às alterações do ambiente (Macedo-Veiga et al., 2013; Ameur et al., 2015). Além disso, as alterações morfológicas encontradas nos peixes coletados na bacia do Rio Doce e região costeira adjacente corroboram com

os estudos realizados em ambientes aquáticos degradados ou em laboratório utilizando metais e outros contaminantes e constituem uma resposta comum em peixes (Gundersen et al., 2000; Parispalácios et al., 2000; Schwaiger, 2001; Thophon et al., 2003; Oliveira-Ribeiro et al., 2005; Liebel et al., 2013; Macedo- Veiga et al., 2013; Aneur et al., 2015; Freire et al., 2015; Yamamoto et al., 2016; Santana et al., 2018).

#### 3.2.6.4 Biomarcadores em Corais e Hidrocorais

As tabelas seguintes apresentam os resultados dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO; nmol MDA/mg ptna), em níveis da enzima anidrase carbônica (AC; Unidade enzimática/mg ptna), em atividade da enzima Cálcio-ATPase (Ca-ATPase; mM Pi/mg ptna/min) e em atividade da enzima Magnésio-ATPase (Mg-ATPase; mM Pi/mg ptna/min), obtidos para corais e hidrocorais coletados nas estações amostrais na localidade de Abrolhos durante a campanha 1 (Set/Out 2018) (Tabela 121) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019) (Tabela 122).

Tabela 121: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna); níveis da enzima anidrase carbônica (AC; Unidade enzimática/mg ptna); atividade da enzima Cálcio-ATPase (Ca-ATPase; mM Pi/mg ptna/min) e atividade da enzima Magnésio-ATPase (Mg-ATPase; mM Pi/mg ptna/min) mensurados em amostras de corais (*Mussismilia harttii*) e hidrocorais (*Millepora alaicornis*) coletados nas estações amostrais na localidade de Abrolhos (ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1) durante a campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados são expressos em média  $\pm$  erro padrão.

Corais e hidrocorais - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)					
Ponto	Amostra (n)	LPO (nmol MDA/mg ptna)	AC (Unidade enzimática/mg ptna)	Ca-ATPase (mM Pi/mg ptna/min)	Mg-ATPase (mM Pi/mg ptna/min)
ABR01	<i>M. harttii</i> (n=5)	98,42 $\pm$ 17,66	18,59 $\pm$ 6,17	10,75 $\pm$ 1,67	8,96 $\pm$ 1,28
	<i>M. alaicornis</i> (n=5)	34,46 $\pm$ 11,06	33,23 $\pm$ 6,52	2,73 $\pm$ 0,16	3,19 $\pm$ 0,19
ABR02	<i>M. harttii</i> (n=5)	76,35 $\pm$ 38,41	24,19 $\pm$ 6,85	15,40 $\pm$ 4,06	20,95 $\pm$ 2,93
	<i>M. alaicornis</i> (n=5)	11,86 $\pm$ 2,53	30,86 $\pm$ 6,47	3,41 $\pm$ 0,92	3,28 $\pm$ 0,83
ABR04	<i>M. harttii</i> (n=5)	93,38 $\pm$ 26,67	11,60 $\pm$ 5,64	11,59 $\pm$ 1,07	12,66 $\pm$ 0,75
	<i>M. alaicornis</i> (n=5)	91,29 $\pm$ 31,92	35,77 $\pm$ 1,81	1,86 $\pm$ 0,13	2,34 $\pm$ 0,31
ABRC1	<i>M. harttii</i> (n=5)	85,83 $\pm$ 28,41	19,17 $\pm$ 5,34	17,18 $\pm$ 3,72	14,55 $\pm$ 2,90
	<i>M. alaicornis</i> (n=5)	120,50 $\pm$ 45,55	16,99 $\pm$ 3,12	2,25 $\pm$ 0,29	2,81 $\pm$ 0,34

Tabela 122: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg ptna); níveis da enzima anidrase carbônica (AC; Unidade enzimática/mg ptna); atividade da enzima Cálcio-ATPase (Ca-ATPase; mM Pi/mg ptna/min) e atividade da enzima Magnésio-ATPase (Mg-ATPase; mM Pi/mg ptna/min) mensurados em amostras de corais (*Mussismilia hartii*) e hidrocorais (*Millepora alcornis*) coletados nas estações amostrais na localidade de Abrolhos (ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1) durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média  $\pm$  erro padrão.

Corais e hidrocorais - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro)					
Ponto	Amostra (n)	LPO (nmol MDA/mg ptna)	AC (Unidade enzimática/mg ptna)	Ca-ATPase (mM Pi/mg ptna/ min)	Mg-ATPase (mM Pi/mg ptna/ min)
ABR01	<i>M. hartii</i> (n=6)	57,50 $\pm$ 4,76	49,71 $\pm$ 6,57	16,60 $\pm$ 5,03	16,07 $\pm$ 1,78
	<i>M. alcornis</i> (n=6)	33,03 $\pm$ 9,09	29,70 $\pm$ 3,28	3,18 $\pm$ 0,22	3,94 $\pm$ 0,37
ABR02	<i>M. hartii</i> (n=6)	74,65 $\pm$ 14,99	63,28 $\pm$ 11,68	18,90 $\pm$ 4,76	23,99 $\pm$ 7,61
	<i>M. alcornis</i> (n=5)	49,09 $\pm$ 18,43	31,75 $\pm$ 3,99	4,03 $\pm$ 0,23	5,12 $\pm$ 0,55
ABR04	<i>M. hartii</i> (n=6)	96,14 $\pm$ 15,07	54,30 $\pm$ 7,67	41,85 $\pm$ 11,95	44,77 $\pm$ 13,45
	<i>M. alcornis</i> (n=6)	49,24 $\pm$ 11,93	29,32 $\pm$ 4,08	3,76 $\pm$ 0,28	6,68 $\pm$ 1,56
ABRC1	<i>M. hartii</i> (n=6)	49,35 $\pm$ 10,52	71,42 $\pm$ 18,97	19,20 $\pm$ 2,44	19,92 $\pm$ 2,10
	<i>M. alcornis</i> (n=5)	32,18 $\pm$ 11,44	13,29 $\pm$ 2,35	2,90 $\pm$ 0,11	4,20 $\pm$ 0,36

A Análise de Componentes Principais, realizada com os resultados de biomarcadores em corais e hidrocorais, resumiu 75,3% da variabilidade geral dos dados nos dois primeiros componentes. O PC1, responsável por 51,7% da explicação, separou os resultados da segunda campanha (símbolos em azul) no seu setor positivo, e a primeira campanha no seu setor negativo. Sendo assim, a variabilidade temporal foi o fator que mais afetou as respostas bioquímicas avaliadas (Figura 317; Tabela 123; Figura 318).

Figura 317: Análise de Componentes Principais (PCA) aplicadas para os dados de biomarcadores (lipoperoxidação (LPO); níveis da enzima anidrase carbônica (AC) atividade da enzima Cálcio-ATPase (Ca) e atividade da enzima Magnésio-ATPase (Mg) mensurados em amostras de corais (*Mussismilia harttii*) e hidrocorais (*Millepora alcicornis*) Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, as estações amostrais na localidade de Abrolhos (ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1) nas campanhas 1 [E1] e 2 [E2].

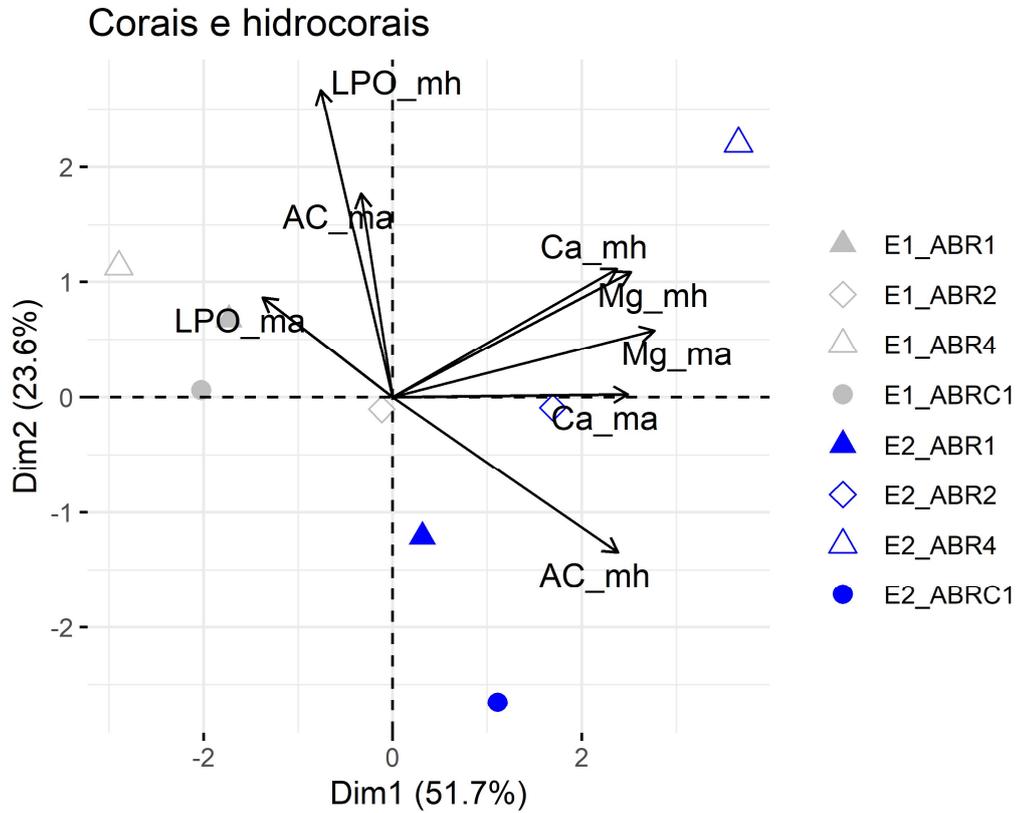
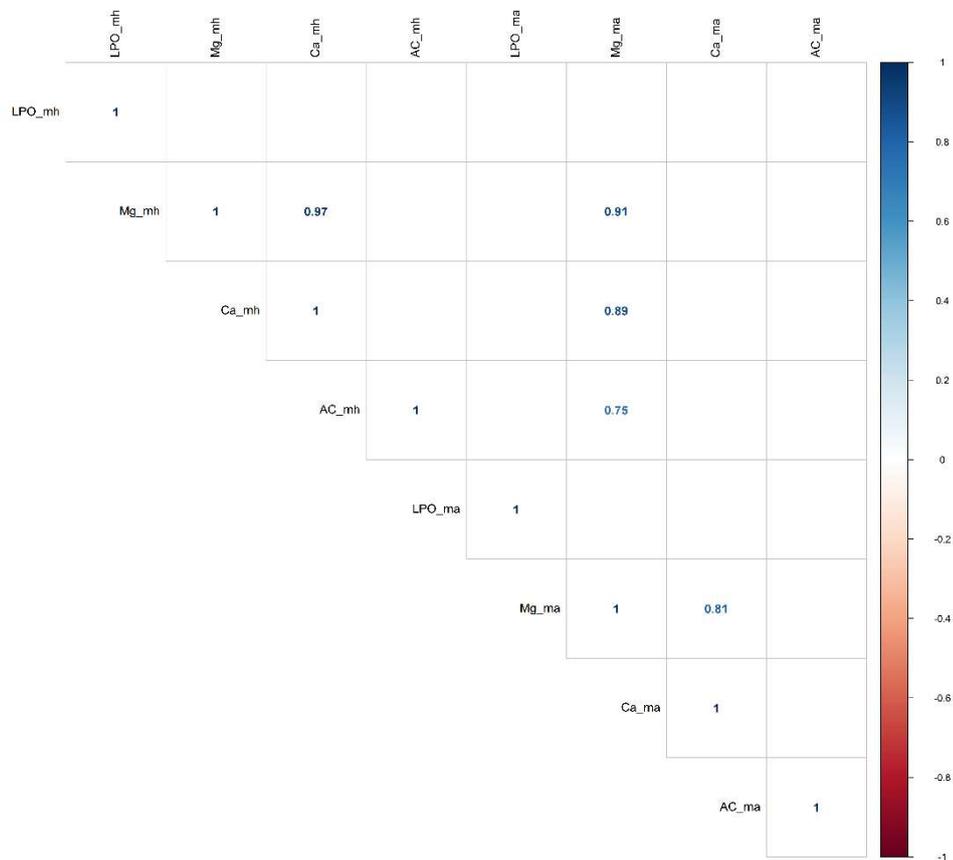


Tabela 123: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 317.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de variância</b>	<b>Percentual de variância acumulativa</b>
Dim.1	4,14	51,74	51,74
Dim.2	1,89	23,62	75,36
Dim.3	1,37	17,15	92,51
Dim.4	0,29	3,64	96,15
Dim.5	0,17	2,16	98,31
Dim.6	0,11	1,43	99,74
Dim.7	0,02	0,26	100,00

Figura 318: Correlação par a par entre variáveis normalizadas e centralizadas, dos biomarcadores de lipoperoxidação (LPO); níveis da enzima anidrase carbônica (AC); atividade da enzima Cálcio-ATPase (Ca) e atividade da enzima Magnésio-ATPase (Mg) mensurados em amostras de corais (*Mussismilia hartii*) e hidrocorais (*Millepora alcicornis*) coletados nas estações amostrais na localidade de Abrolhos (ABR01; ABR02; ABR04 e ABRC1) Correlações positivas estão indicadas em azul e as negativas em vermelho. Apenas correlações estatisticamente significativas ( $p < 0.05$ ) estão indicadas.



As variáveis que mais contribuíram para o padrão encontrado ao longo do PC1 foram a atividade das enzimas transportadoras Ca e Mg-ATPase, assim como a atividade da Anidrase carbônica. Esses biomarcadores estão associados ao processo de calcificação em corais e hidrocorais, e seus maiores valores, durante a campanha 2, pode ser um reflexo de diferentes padrões de crescimento. Ao mesmo tempo, a influência dos maiores níveis de metais – detectados também na campanha 2 – deve ser investigada (Figura 319). A Figura 320 indica que a estação amostral ABR4 foi a que mais contribuiu para o padrão resumido no PC1.

Figura 319: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

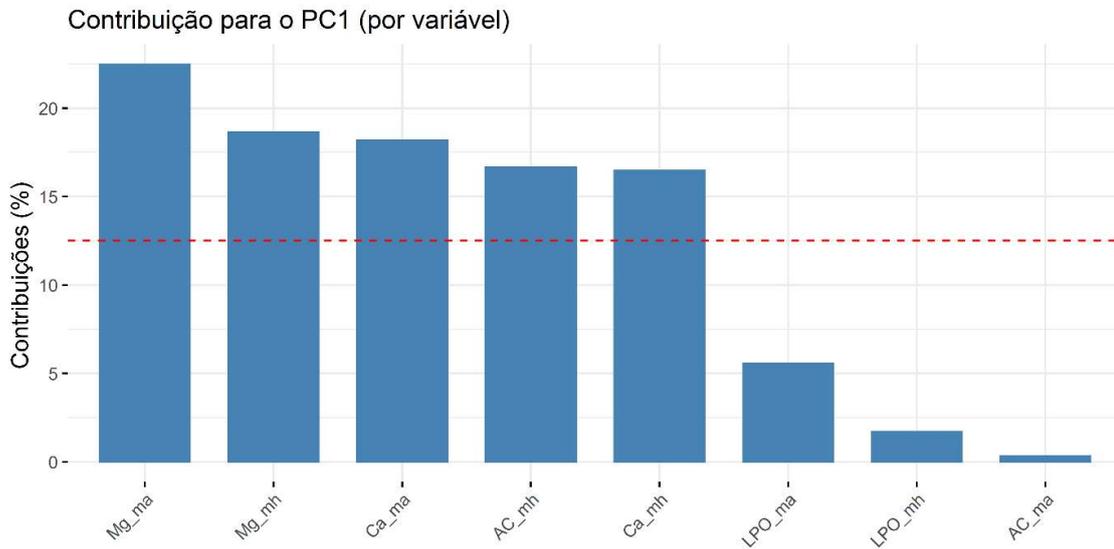
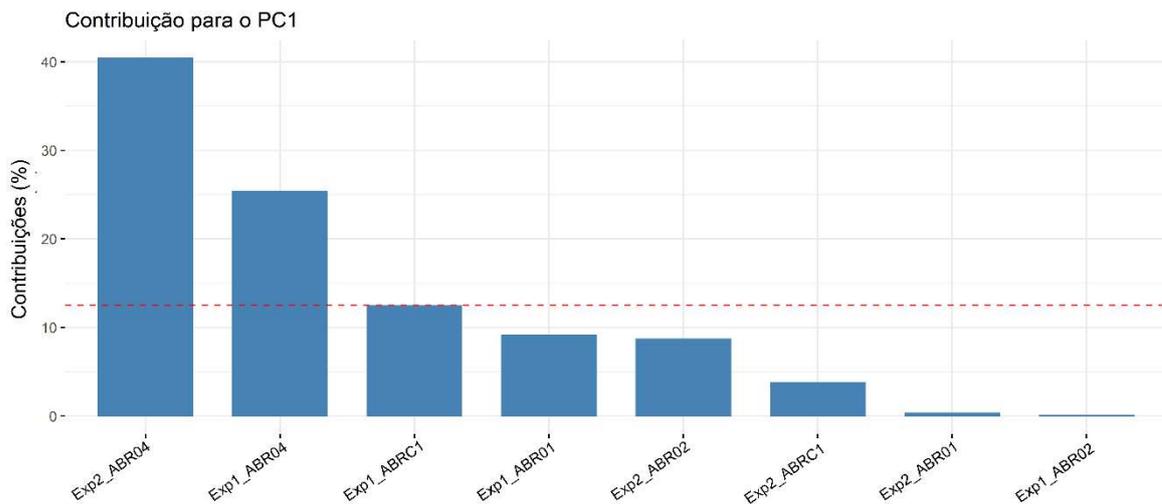


Figura 320: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



O componente principal 2 foi dirigido, principalmente, pelos níveis de dano oxidativo em lipídios (LPO) em *Millepora alcicornis*, e pela atividade da enzima Anidrase carbônica (Figura 321). Na Figura 322,

mostra que a campanha 2 e as localidades de ABRC1 e ABR04 contribuíram fortemente com o componente principal 2.

Figura 321: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

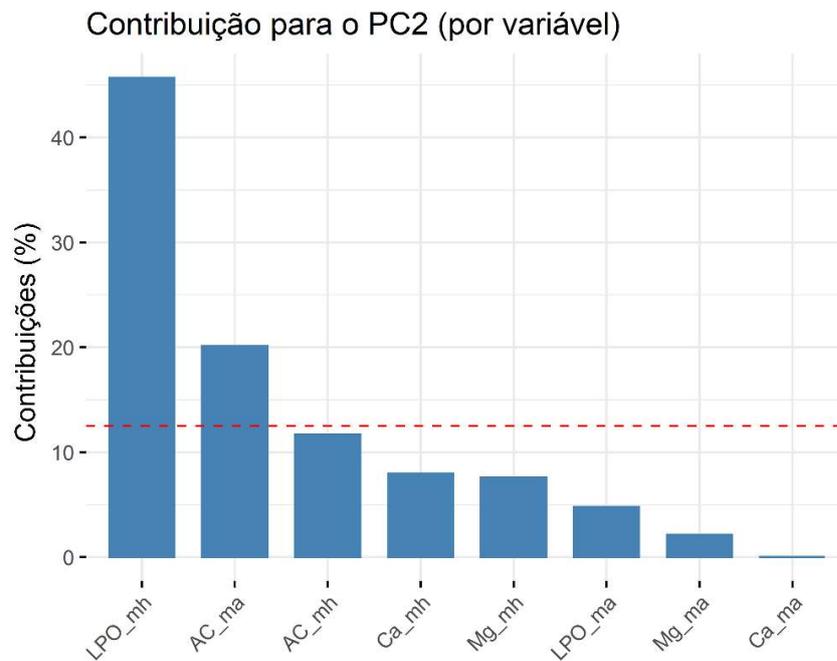
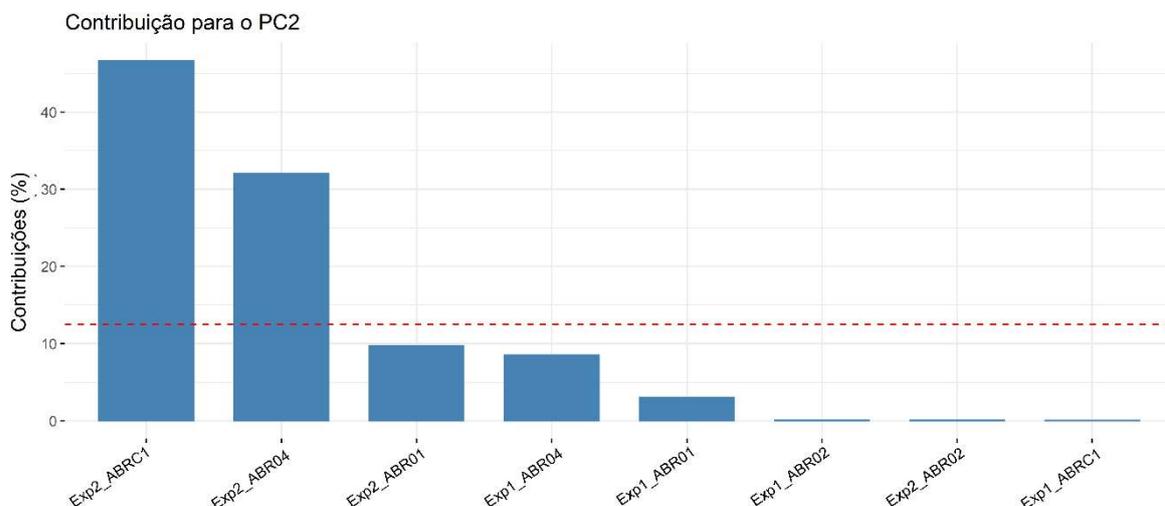


Figura 322: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/8 = 12,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



Mais da metade da variabilidade dos dados de biomarcadores em corais e hidrocorais está associada à diferença sazonal, uma vez que o PC1 explica 51,7% da variabilidade total e que este eixo marca a separação das variáveis que eram mais altas na campanha 1, em seu setor positivo, e as variáveis que aumentaram na campanha 2 em seu setor negativo. A concentração de metais no sedimento e a bioacumulação de metais nos organismos também foi dirigida, quase que exclusivamente, pelo fator temporal.

Os níveis de LPO em amostras do coral *Mussismilia harttii* e do hidrocoral *Millepora alcicornis* foram similares entre pontos dentro da área de Abrolhos. De forma geral, o dano oxidativo em lipídios foi maior na expedição realizada no período seco. O padrão esperado seria de maior nível de dano oxidativo na campanha realizada em período mais quente (Marangoni et al., 2019), e quando houve exposição a maiores níveis de metais (Valavanidis et al., 2006, Lushcack, 2011), que ocorreu na campanha 2. No entanto, Fonseca e colaboradores encontraram dano oxidativo mais baixo (em comparação com controles experimentais) em *Mussismilia harttii*, exposta a metais e aumento de temperatura de forma combinada, e discutem o papel de proteínas de choque térmico e recomposição/remodulação de lipídios em corais expostos a metais por tempo prolongado. Esse resultado sugere que os corais e hidrocorais estejam investindo energia no sistema antioxidante e no sistema de reparo de dano oxidativo a macromoléculas.

A atividade das enzimas Ca-ATPase e Mg-ATPase foi estimulada na estação chuvosa/verão, para as duas espécies analisadas, assim como a atividade da anidrase carbônica para a *M. harttii*. Fonseca e colaboradores também encontraram indução dessas enzimas em *M. harttii*, exposta, experimentalmente, a aquecimento e contaminação por cobre, corroborando a ideia de que os corais estão aumentando seu metabolismo relacionado à calcificação, em resposta a exposição à maiores níveis de metais (Figura 323 e Figura 324).

De forma geral, os corais e hidrocorais estão respondendo ao aumento no nível de metais que ocorreu na estação chuvosa, através de respostas bioquímicas indicativas de estresse fisiológico. Nenhum branqueamento foi observado nos recifes amostrados, mas considerando que biomarcadores bioquímicos respondem ao estresse antes de alterações visuais (Downs et al., 2002, Marangoni et al., 2019). Essa alteração bioquímica, observada da primeira para segunda campanha acendem um sinal de alerta de estresse fisiológico associado ao aumento de níveis gerais de metais nos pontos amostrados na região de Abrolhos.

Figura 323: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para atividade da Anidrase Carbônica (a) e atividade da Ca-ATPase (b) das amostras de corais *M.hartii*. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os quatro níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 4 localidades amostrais com ABRC1 na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, ABRC1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.

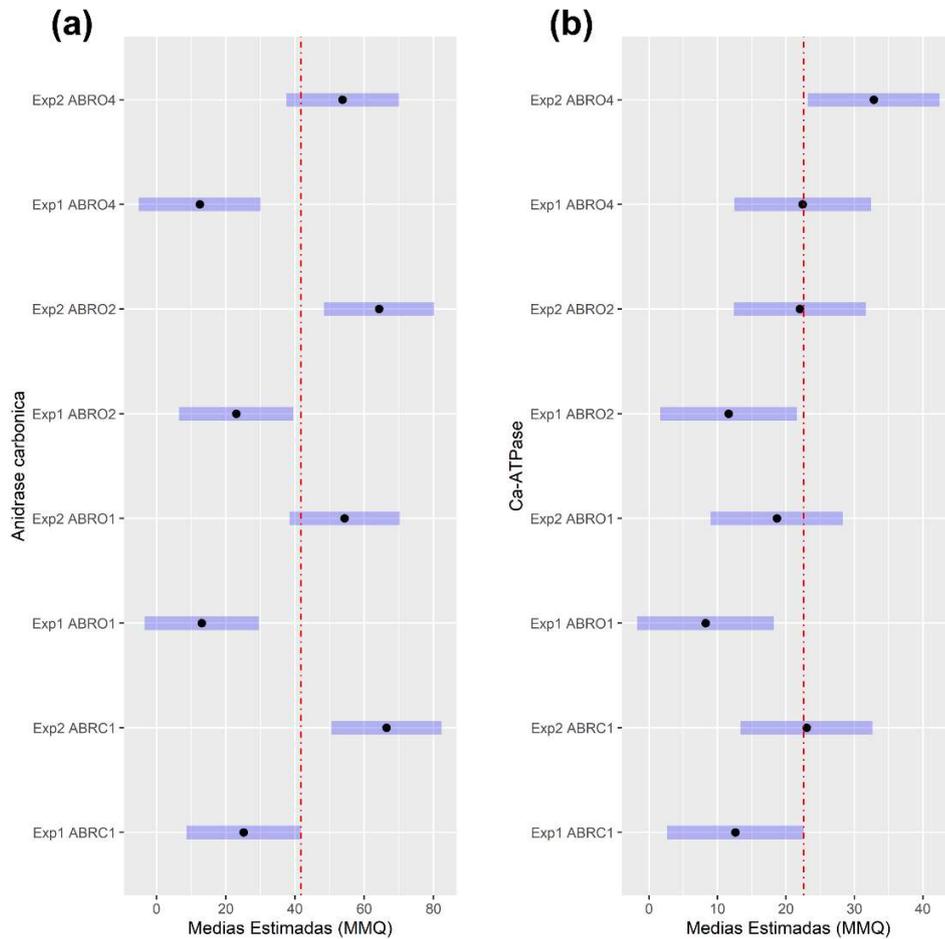
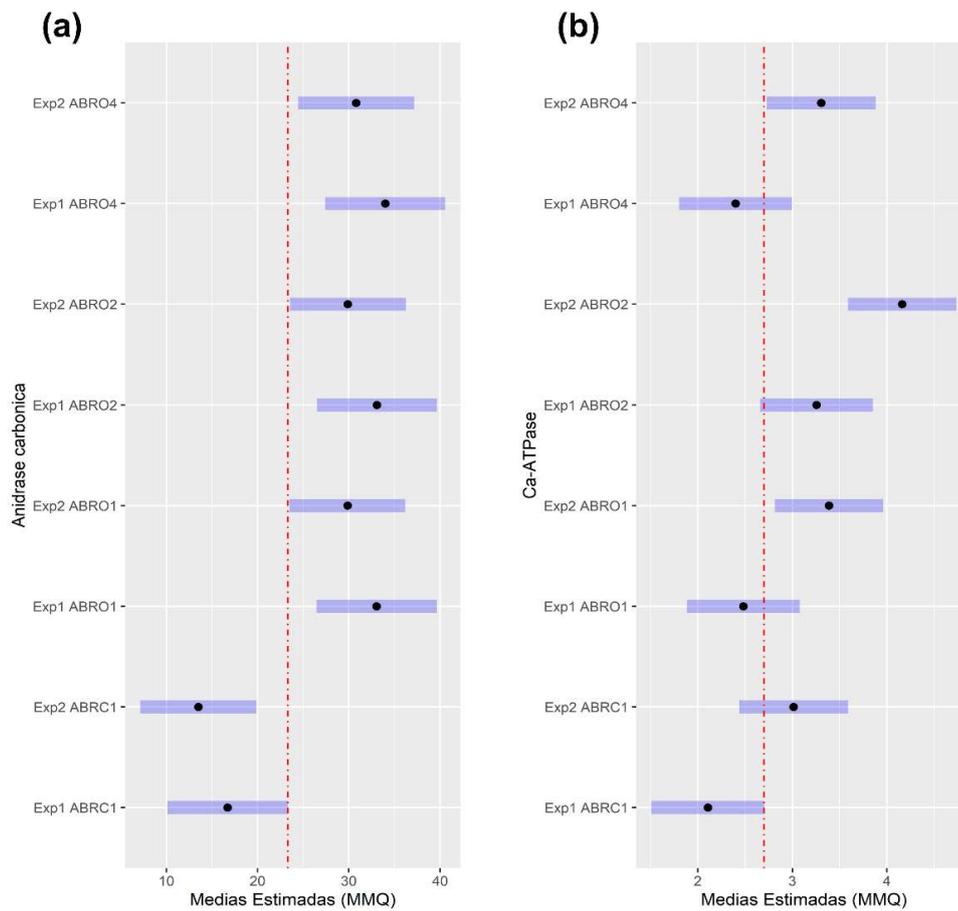


Figura 324: Comparações *a posteriori* (teste de Dunnet) para atividade da Anidrase Carbônica (a) e atividade da Ca-ATPase (b) das amostras de hidrocorais *M. allicornes*. Os termos do modelo estão listados no eixo y, sendo estes o fator temporal “Expedição/Campanha” com dois níveis, e os quatro níveis do fator espacial “Estação Amostral”, discriminando a comparação das 4 localidades amostrais com ABRC1 na campanha 1 (Exp1). Os pontos marcam as médias estimadas pelo teste aplicado, e os retângulos azuis delimitam o erro padrão obtido pelo modelo. Efeitos positivos (aumento significativos em relação à “linha de base” escolhida, ABRC1/Exp1) são observados em retângulos localizados à direita da linha vermelha.



### 3.3 META 3: MONITORAMENTO ECOTOXICOLÓGICO DO AMBIENTE PRAIAL

O monitoramento ecotoxicológico das praias adjacentes à desembocadura do Rio Doce, foi realizado entre Aracruz e São Mateus, através da avaliação de dados abióticos e bióticos, com coletas de água, sedimento e biota para análises da contaminação por metais e resposta de biomarcadores. Foram estabelecidas 10 estações amostrais ao longo deste litoral durante a campanha 1 (Setembro/Octubre 2018) e campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019). O mapa da malha amostral e as coordenadas geográficas das 10 estações amostrais são apresentados na seção “2. Metodologia Geral” (Figura 5 e Quadro 3, respectivamente).

#### 3.3.1 Parâmetros físico-químicos do ambiente praial

Em cada estação amostral do monitoramento praial, aferimos os parâmetros físico-químicos da água em campo (Tabela 124 e Tabela 125). Os parâmetros químicos avaliados na água foram: temperatura, condutividade, salinidade, pH, e oxigênio dissolvido.

O pH da água esteve dentro dos limites de 6,5 a 8,5, estabelecido pela resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA para águas salinas de Classe 1, exceto nos pontos DNU (pH 6,4) e ARP (pH 8,7) na campanha 1 e campanha 2, respectivamente. Além disso, podemos observar um perfil de aumento do pH em todos os pontos na campanha 2 (Jan/Fev 2019), em relação à campanha 1 (Set/Out 2018), estando de acordo com os períodos de seca/chuva no Espírito Santo. De maneira geral, para a bacia do rio Doce o período chuvoso abrange os meses de outubro a março, enquanto o período seco se estende de abril a setembro. Segundo Carvalho et al. (2000), com o aumento das chuvas, o pH tende a subir devido à maior diluição dos compostos dissolvidos e ao escoamento mais rápido. Em relação ao O<sub>2</sub> dissolvido na água, todos os valores permaneceram dentro dos valores recomendados pela legislação ( $\geq 6$  mg/L O<sub>2</sub>).

Tabela 124: Parâmetros físico-químicos da água aferidos no campo, nos dez pontos amostrados no monitoramento praial no Estado do Espírito Santo na Campanha 1 (Set/Out 2018).

Campanha 1 (Setembro/Octubre 2018)					
Estação amostral	Temperatura (°C)	Condutividade (mS/cm)	Salinidade	pH	O <sub>2</sub> dissolvido (mg/L)
ARR	27,9	54	36,8	6,72	12,6
ARP	25,1	52,9	36,2	6,7	12,6
DSB	25,5	50,5	34,1	6,7	10,7
DSC	25,4	19,99	32,4	6,7	11,2
DSR	26,3	47,5	32,6	6,69	13,3
DNP	25,3	52,7	36	6,71	12,5
DNC	26,7	43,8	28,9	6,7	10,9
DNPI	26,7	28,68	33,2	6,7	8,47
DNU	25,1	47,16	36,1	6,4	10,41
DNG	27,4	54,4	37,2	6,73	11,8

Tabela 125: Parâmetros físico-químicos da água aferidos no campo, nos dez pontos amostrados no monitoramento praiar no Estado do Espírito Santo durante a Campanha 2 (Jan/Fev 2019).

<b>Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)</b>					
<b>Estação amostral</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Condutividade (mS/cm)</b>	<b>Salinidade</b>	<b>pH</b>	<b>O<sub>2</sub> dissolvido (mg/L)</b>
ARR	26,3	54,16	34,81	8,1	11,46
ARP	26,8	54,6	34,74	8,7	8,53
DSB	24,6	*	31,3	7,79	8,8
DSC	24,8	52,66	34,8	8	9,75
DSR	23,7	50,86	34,07	8,12	9,5
DNP	25,3	53,69	34,26	8,03	9,3
DNC	28,6	56,98	35	8,15	8,6
DNPI	28,3	56,79	35,08	8,13	8,5
DNU	30,7	58,68	34,6	8,1	8,44
DNG	28,3	56,15	34,61	8,13	8,3

(\*) dados não obtidos

### 3.3.2 Concentração de metais na água do ambiente praiar

Na sequência, serão apresentados os resultados da campanha 1 (Set/Out 2018) (Tabela 126) e campanha 2 (Jan/Fev 2019) (Tabela 127) para a concentração de metais totais e dissolvidos nas amostras de água de superfície e fundo coletadas, em cada uma das 10 estações amostrais do ambiente praiar.

Tabela 126: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn analisados na água de superfície (ST = superfície total, SD = superfície dissolvido) e fundo (FT = fundo total, FD = fundo dissolvido) nos diferentes pontos amostrais do monitoramento do ambiente praial na campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados são expressos em média  $\pm$  erro padrão (EP,  $n = 3$ ).

Todos os metais estão confrontados com os valores máximos estabelecidos pela resolução do CONAMA 357/2005 para águas salinas classe 1.

Campanha 1 (Setembro/Octubre 2018)										
Ponto	Amostra	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		$\mu\text{g/L}$								
ARR	ST	0,69 $\pm$ 0,21	0,12 $\pm$ 0,04	0,34 $\pm$ 0,04	0,51 $\pm$ 0,12	109,53 $\pm$ 18,41	0,15 $\pm$ 0,03	6,7 $\pm$ 0,98	1,45 $\pm$ 0,005	5,85 $\pm$ 0,59
	FT	2,22 $\pm$ 0,14	0,11 $\pm$ 0,01	0,31 $\pm$ 0,02	0,7 $\pm$ 0,06	366,1 $\pm$ 140,61	0,19 $\pm$ 0,001	2,87 $\pm$ 0,32	1,44 $\pm$ 0,06	6,58 $\pm$ 0,48
	SD	0,38 $\pm$ 0,23	0,07 $\pm$ 0,01	0,23 $\pm$ 0,004	0,37 $\pm$ 0,02	67,68 $\pm$ 1,25	0,1 $\pm$ 0,01	4,18 $\pm$ 0,33	1,38 $\pm$ 0,03	3,55 $\pm$ 0,07
	FD	1,01 $\pm$ 0,32	0,08 $\pm$ 0,01	0,22 $\pm$ 0,04	0,48 $\pm$ 0,18	304,67 $\pm$ 107,28	0,17 $\pm$ 0,01	1,78 $\pm$ 0,6	1,41 $\pm$ 0,06	5,92 $\pm$ 0,69
ARP	ST	2,57 $\pm$ 0,44	0,28 $\pm$ 0,01	0,52 $\pm$ 0,02	0,99 $\pm$ 0,11	562,27 $\pm$ 96,15	0,09 $\pm$ 0,001	34,84 $\pm$ 2,52	1,03 $\pm$ 0,16	19,64 $\pm$ 3,73
	FT	1,1 $\pm$ 0,48	0,24 $\pm$ 0,03	0,57 $\pm$ 0,04	1,18 $\pm$ 0,23	695,2 $\pm$ 22,76	0,1 $\pm$ 0,001	21,95 $\pm$ 1,32	1,35 $\pm$ 0,04	33,67 $\pm$ 12,1
	SD	0,3 $\pm$ 0,12	0,25 $\pm$ 0,01	0,46 $\pm$ 0,01	0,84 $\pm$ 0,15	367,8 $\pm$ 46,45	0,06 $\pm$ 0,01	2,99 $\pm$ 0,57	0,75 $\pm$ 0,01	12,77 $\pm$ 1,01
	FD	0,26 $\pm$ 0,12	0,21 $\pm$ 0,03	0,47 $\pm$ 0,02	0,88 $\pm$ 0,12	87,15 $\pm$ 11,57	0,08 $\pm$ 0,001	4,39 $\pm$ 0,12	1,24 $\pm$ 0,07	23,64 $\pm$ 8,59
DSB	ST	0,71 $\pm$ 0,2	0,42 $\pm$ 0,36	8,65 $\pm$ 1,45	2,07 $\pm$ 0,28	663,4 $\pm$ 30,6	0,07 $\pm$ 0,001	10,21 $\pm$ 2,1	1,04 $\pm$ 0,01	40,86 $\pm$ 2,24
	FT	0,45 $\pm$ 0,16	0,03 $\pm$ 0,01	8,75 $\pm$ 1,97	1,95 $\pm$ 0,05	157,28 $\pm$ 69,68	0,08 $\pm$ 0,001	13,96 $\pm$ 3,94	1,09 $\pm$ 0,03	49,03 $\pm$ 2,72
	SD	0,17 $\pm$ 0,02	0,04 $\pm$ 0,01	4,97 $\pm$ 1,31	1,84 $\pm$ 0,23	219,33 $\pm$ 63,27	0,07 $\pm$ 0,001	5,59 $\pm$ 0,27	0,95 $\pm$ 0,01	33,26 $\pm$ 4,34
	FD	0,295 $\pm$ 0,04	0,02 $\pm$ 0,01	5,1 $\pm$ 0,11	1,53 $\pm$ 0,05	99,73 $\pm$ 35,39	0,07 $\pm$ 0,001	3,99 $\pm$ 1,51	0,99 $\pm$ 0,02	40,62 $\pm$ 3,64
DSC	ST	1,64 $\pm$ 0,68	0,11 $\pm$ 0,01	4,37 $\pm$ 0,09	1,83 $\pm$ 0,43	108,26 $\pm$ 36,89	0,2 $\pm$ 0,001	5,14 $\pm$ 0,47	1,26 $\pm$ 0,03	5,47 $\pm$ 1,16
	FT	1,5 $\pm$ 0,57	0,46 $\pm$ 0,13	6,58 $\pm$ 1,1	7,9 $\pm$ 1,05	562,07 $\pm$ 79,79	0,2 $\pm$ 0,001	45,57 $\pm$ 3,93	1,22 $\pm$ 0,12	6,67 $\pm$ 0,48
	SD	1,12 $\pm$ 0,31	0,08 $\pm$ 0,002	0,14 $\pm$ 0,01	0,61 $\pm$ 0,06	32,02 $\pm$ 7,58	0,16 $\pm$ 0,003	3,74 $\pm$ 0,14	1 $\pm$ 0,06	3,4 $\pm$ 0,61
	FD	0,27 $\pm$ 0,13	0,01 $\pm$ 0,002	5,48 $\pm$ 0,63	1,33 $\pm$ 0,25	53,82 $\pm$ 10,94	0,17 $\pm$ 0,03	11,73 $\pm$ 1,68	1,14 $\pm$ 0,05	4,47 $\pm$ 0,13
DSR	ST	1,39 $\pm$ 0,2	0,28 $\pm$ 0,01	0,57 $\pm$ 0,1	2,23 $\pm$ 0,36	558,2 $\pm$ 98,12	0,1 $\pm$ 0,001	22,52 $\pm$ 1,75	1,31 $\pm$ 0,09	21,71 $\pm$ 0,75
	FT	2,42 $\pm$ 1	0,21 $\pm$ 0,04	0,28 $\pm$ 0,09	3,96 $\pm$ 0,65	368,53 $\pm$ 57,42	0,18 $\pm$ 0,001	20,42 $\pm$ 0,97	1,41 $\pm$ 0,04	34,24 $\pm$ 3,32
	SD	0,4 $\pm$ 0,13	0,14 $\pm$ 0,005	0,48 $\pm$ 0,07	1,27 $\pm$ 0,09	60,81 $\pm$ 38,53	0,09 $\pm$ 0,002	6,07 $\pm$ 1,29	1,11 $\pm$ 0,06	20,44 $\pm$ 0,91
	FD	0,8 $\pm$ 0,02	0,13 $\pm$ 0,04	0,15 $\pm$ 0,03	2,97 $\pm$ 0,33	37,96 $\pm$ 16,73	0,16 $\pm$ 0,01	10,03 $\pm$ 1,13	1,34 $\pm$ 0,05	27,66 $\pm$ 1,42
DNP	ST	1,34 $\pm$ 0,06	0,01 $\pm$ 0,002	6,52 $\pm$ 1,09	1,41 $\pm$ 0,52	64,66 $\pm$ 9,78	0,07 $\pm$ 0,001	82,11 $\pm$ 9,58	1,05 $\pm$ 0,01	28,14 $\pm$ 1,95
	FT	0,69 $\pm$ 0,3	0,03 $\pm$ 0,01	7,55 $\pm$ 1,97	1,95 $\pm$ 0,52	1526,57 $\pm$ 738,21	0,07 $\pm$ 0,001	41,61 $\pm$ 11,63	1,06 $\pm$ 0,07	35,35 $\pm$ 3,1

Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)

Ponto	Amostra	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
	SD	0,09 ± 0,04	0,01 ± 0,001	4,08 ± 0,35	1 ± 0,18	47,58 ± 1,35	0,06 ± 0,001	4,98 ± 0,47	0,89 ± 0,06	21,4 ± 0,13
	FD	0,36 ± 0,12	0,01 ± 0,002	4,27 ± 0,2	1,62 ± 0,35	543,67 ± 185,34	0,06 ± 0,004	20,86 ± 0,69	0,09 ± 0,04	26,75 ± 0,84
DNC	ST	2,24 ± 0,8	0,11 ± 0,05	0,31 ± 0,02	0,21 ± 0,03	598,73 ± 164,85	0,2 ± 0,001	41,12 ± 17,49	1,39 ± 0,05	7,15 ± 0,7
	FT	1,88 ± 0,42	0,08 ± 0,03	4,65 ± 0,65	0,84 ± 0,17	72,58 ± 0,63	0,2 ± 0,001	16,28 ± 6,61	1,43 ± 0,03	6,87 ± 0,95
	SD	0,29 ± 0,13	0,05 ± 0,02	0,24 ± 0,006	0,12 ± 0,01	51,77 ± 10,36	0,17 ± 0,02	19,96 ± 4,95	0,01 ± 0,17	6,31 ± 0,3
	FD	0,95 ± 0,42	0,06 ± 0,02	3,58 ± 0,07	0,51 ± 0,12	46,32 ± 13,08	0,15 ± 0,01	14,31 ± 6,95	1,23 ± 0,06	5,56 ± 0,92
DNPI	ST	0,9 ± 0,31	0,08 ± 0,05	10,51 ± 3,2	4,19 ± 1,59	173,33 ± 27,63	0,2 ± 0	17,25 ± 2,48	1,12 ± 0,05	19,97 ± 1,18
	FT	0,68 ± 0,44	0,25 ± 0,21	12,01 ± 3,58	1,16 ± 0,12	205,98 ± 13,18	0,15 ± 0,06	44,54 ± 20,03	0,99 ± 0,06	25,49 ± 4,3
	SD	0,41 ± 0,17	0,02 ± 0,001	5,24 ± 2,77	1,59 ± 0,74	78,74 ± 1,67	0,14 ± 0,01	11,01 ± 4,1	0,96 ± 0,09	15,39 ± 0,09
	FD	0,16 ± 0,06	0,01 ± 0,002	6,73 ± 0,88	0,7 ± 0,15	160,08 ± 7,27	0,07 ± 0,001	7,61 ± 3,6	0,91 ± 0,04	16,55 ± 1,28
DNU	ST	1,99 ± 0,62	1,03 ± 0,62	0,36 ± 0,04	4,67 ± 1,2	304,73 ± 26,19	0,19 ± 0,001	20,3 ± 8,9	1,31 ± 0,06	15,71 ± 6,1
	FT	4,15 ± 1,39	0,16 ± 0,09	0,27 ± 0,04	3,05 ± 0,16	225,03 ± 40,13	0,19 ± 0	21,43 ± 17,62	1,34 ± 0,04	19,84 ± 4,65
	SD	0,37 ± 0,25	0,31 ± 0,2	0,26 ± 0,01	2,67 ± 0,55	46,03 ± 6,87	0,16 ± 0,01	3,12 ± 0,77	0,62 ± 0,12	8,33 ± 2,56
	FD	1,07 ± 0,39	0,13 ± 0,07	0,22 ± 0,02	2,28 ± 0,45	168,63 ± 32,32	0,18 ± 0,001	2,99 ± 1,16	0,88 ± 0,01	17,71 ± 3,8
DNG	ST	0,06 ± 0,02	0,24 ± 0,02	0,89 ± 0,28	0,82 ± 0,12	705,93 ± 119,44	0,13 ± 0,04	32,06 ± 12,37	1,39 ± 0,07	6,42 ± 0,54
	FT	0,41 ± 0,17	0,29 ± 0,02	0,63 ± 0,06	1,42 ± 0,15	510,2 ± 46,22	0,07 ± 0,001	8,67 ± 3,03	1,46 ± 0,04	13,99 ± 2,32
	SD	0,02 ± 0	0,17 ± 0,005	0,59 ± 0,13	0,48 ± 0,02	440,83 ± 72,91	0,07 ± 0	24,56 ± 13,27	1,25 ± 0,13	5,43 ± 0,91
	FD	0,22 ± 0,04	0,23 ± 0,04	0,19 ± 0,17	0,65 ± 0,01	357,77 ± 94	0,06 ± 0,01	6,54 ± 3,1	1,4 ± 0,03	8,98 ± 0,1
Valor permitido CONAMA 357/2005 Classe 1		10 µg/L As Total	5 µg/L Cd Total	5 µg/L Cu dissolvido	50 µg/L Cr Total	300 µg/L Fe dissolvido	0,2 µg/L Hg Total	100 µg/L Mn Total	10 µg/L Pb Total	90 µg/L Zn Total

Tabela 127: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e ZN analisados na água de superfície (ST = superfície total, SD = superfície dissolvido) e fundo (FT = fundo total, FD = fundo dissolvido) nos diferentes pontos amostrais do monitoramento do ambiente praial na campanha 2 (Jan/Fev 2018). Os resultados são expressos em média  $\pm$  erro padrão (EP,  $n = 3$ ). Os resultados são expressos em  $\mu\text{g/L}$ . Todos os metais estão confrontados com os valores máximos estabelecidos pela resolução do CONAMA 357/2005 para águas salinas classe 1.

Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto	Amostra	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		$\mu\text{g/L}$								
ARR	ST	1,89 $\pm$ 0,05	0,2 $\pm$ 0,02	2,17 $\pm$ 0,04	1,5 $\pm$ 0,13	428 $\pm$ 6,45	0,045 $\pm$ 0,001	22,89 $\pm$ 1,45	1,97 $\pm$ 0,01	27,48 $\pm$ 0,51
	FT	6,6 $\pm$ 0,44	0,32 $\pm$ 0,04	2,07 $\pm$ 0,18	1,52 $\pm$ 0,24	644,37 $\pm$ 3,34	0,028 $\pm$ 0,001	7,08 $\pm$ 0,04	1,79 $\pm$ 0,05	23,37 $\pm$ 0,21
	SD	1,24 $\pm$ 0,03	0,14 $\pm$ 0,01	0,63 $\pm$ 0,01	0,35 $\pm$ 0,001	104,8 $\pm$ 1,63	0,032 $\pm$ 0	5,28 $\pm$ 0,13	1,03 $\pm$ 0,2	5,32 $\pm$ 0,1
	FD	1,49 $\pm$ 0,04	0,13 $\pm$ 0,001	1,16 $\pm$ 0,02	0,43 $\pm$ 0,006	480,3 $\pm$ 3,37	0,016 $\pm$ 0,002	2,68 $\pm$ 0,1	1,06 $\pm$ 0,05	7,88 $\pm$ 0,04
ARP	ST	8,12 $\pm$ 0,36	0,82 $\pm$ 0,03	2,93 $\pm$ 0,32	2,15 $\pm$ 0,02	1319,33 $\pm$ 33,55	0,274 $\pm$ 0,003	87,31 $\pm$ 1,59	0,69 $\pm$ 0,03	54,3 $\pm$ 0,42
	FT	4,91 $\pm$ 0,56	0,69 $\pm$ 0,08	4,17 $\pm$ 0,29	2,36 $\pm$ 0,08	2104,67 $\pm$ 58,08	0,241 $\pm$ 0,001	68,65 $\pm$ 1,92	1,76 $\pm$ 0,07	227,03 $\pm$ 1,27
	SD	0,58 $\pm$ 0,06	0,37 $\pm$ 0,01	1,17 $\pm$ 0,03	0,75 $\pm$ 0,02	625 $\pm$ 7,63	0,018 $\pm$ 0	3,49 $\pm$ 0,17	0,58 $\pm$ 0,01	17,82 $\pm$ 0,53
	FD	0,52 $\pm$ 0,05	0,26 $\pm$ 0,01	1,16 $\pm$ 0,003	0,67 $\pm$ 0,01	167,33 $\pm$ 1,3	0,029 $\pm$ 0	6,59 $\pm$ 0,18	0,88 $\pm$ 0,03	22,13 $\pm$ 0,5
DSB	ST	2,74 $\pm$ 0,13	0,24 $\pm$ 0,09	6,19 $\pm$ 0,84	27,97 $\pm$ 1,43	2122,33 $\pm$ 3,76	0,313 $\pm$ 0,002	28,43 $\pm$ 1,95	1,16 $\pm$ 0,03	162,47 $\pm$ 8,96
	FT	1,97 $\pm$ 0,16	0,16 $\pm$ 0,01	5,82 $\pm$ 0,15	25,96 $\pm$ 1,56	284,6 $\pm$ 1,11	0,302 $\pm$ 0,002	41,33 $\pm$ 0,63	1,28 $\pm$ 0,03	185,13 $\pm$ 3,54
	SD	0,23 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0	2,42 $\pm$ 0,08	11,45 $\pm$ 0,03	228,97 $\pm$ 2,09	0,025 $\pm$ 0	7,38 $\pm$ 0,19	0,72 $\pm$ 0,004	43,22 $\pm$ 0,65
	FD	0,55 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,001	2,267 $\pm$ 0,01	7,66 $\pm$ 0,17	149,57 $\pm$ 3,14	0,026 $\pm$ 0	1,98 $\pm$ 0,18	0,74 $\pm$ 0,01	66,59 $\pm$ 0,2
DSC	ST	6,52 $\pm$ 1,2	0,32 $\pm$ 0,02	6,8 $\pm$ 0,65	17,45 $\pm$ 0,34	427,5 $\pm$ 14,42	0,072 $\pm$ 0,002	15,88 $\pm$ 0,66	1,56 $\pm$ 0,02	20,95 $\pm$ 1,17
	FT	6,27 $\pm$ 0,93	1,68 $\pm$ 0,07	20,32 $\pm$ 0,66	17,86 $\pm$ 0,82	1785 $\pm$ 38,16	0,08 $\pm$ 0,001	129,47 $\pm$ 1,32	1,65 $\pm$ 0,23	27,43 $\pm$ 0,81
	SD	1,32 $\pm$ 0,01	0,12 $\pm$ 0,002	0,83 $\pm$ 0,01	0,24 $\pm$ 0,01	64,69 $\pm$ 2,59	0,059 $\pm$ 0,001	5,28 $\pm$ 0,13	1,75 $\pm$ 0,05	4,44 $\pm$ 0,25
	FD	0,22 $\pm$ 0,02	0,02 $\pm$ 0,001	1,66 $\pm$ 0,04	8,22 $\pm$ 0,09	90,73 $\pm$ 1,51	0,075 $\pm$ 0,001	12,6 $\pm$ 0,55	0,86 $\pm$ 0,04	6,7 $\pm$ 0,19
DSR	ST	4,78 $\pm$ 0,18	0,82 $\pm$ 0,02	7,67 $\pm$ 0,64	2,57 $\pm$ 0,08	1140,33 $\pm$ 13,98	0,217 $\pm$ 0,002	67,03 $\pm$ 0,6	1,85 $\pm$ 0,03	89,23 $\pm$ 0,9
	FT	4,21 $\pm$ 0,05	0,75 $\pm$ 0,01	10,52 $\pm$ 0,65	1,44 $\pm$ 0,06	1271 $\pm$ 9,07	0,065 $\pm$ 0,005	63,39 $\pm$ 0,82	1,89 $\pm$ 0,08	159,33 $\pm$ 1,76
	SD	0,96 $\pm$ 0,01	0,22 $\pm$ 0,01	1,77 $\pm$ 0,01	0,76 $\pm$ 0,01	27,87 $\pm$ 0,66	0,034 $\pm$ 0,001	7,44 $\pm$ 0,30	0,83 $\pm$ 0,04	29,32 $\pm$ 0,04
	FD	1,2 $\pm$ 0,04	0,19 $\pm$ 0,01	4,79 $\pm$ 0,17	0,26 $\pm$ 0,01	26,93 $\pm$ 0,21	0,053 $\pm$ 0,001	13,72 $\pm$ 0,48	1,01 $\pm$ 0,04	33,48 $\pm$ 0,25
DNP	ST	3,84 $\pm$ 0,17	0,45 $\pm$ 0,02	2,54 $\pm$ 0,14	22,71 $\pm$ 1,03	146,7 $\pm$ 1,55	0,326 $\pm$ 0,003	245,73 $\pm$ 1,42	1,16 $\pm$ 0,02	118,27 $\pm$ 2,41
	FT	1,36 $\pm$ 0,22	0,08 $\pm$ 0,01	4,49 $\pm$ 0,27	16,83 $\pm$ 1,34	3578,67 $\pm$ 137,76	0,325 $\pm$ 0,003	90,96 $\pm$ 2,62	1,19 $\pm$ 0,13	133,73 $\pm$ 2,75

Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto	Amostra	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		µg/L								
	SD	0,25 ± 0,02	0,01 ± 0,001	1,2 ± 0,03	7,45 ± 0,14	71,37 ± 2,02	0,024 ± 0	7,47 ± 0,70	0,67 ± 0,04	32,1 ± 0,19
	FD	0,37 ± 0,01	0,02 ± 0,001	1,89 ± 0,05	6,98 ± 0,01	235,47 ± 6,61	0,024 ± 0,001	21,29 ± 1,04	0,74 ± 0,03	39,12 ± 0,47
DNC	ST	4,32 ± 0,16	0,21 ± 0,002	0,7 ± 0,03	1,33 ± 0,07	1061,67 ± 10,04	0,075 ± 0,003	46,14 ± 1,47	1,84 ± 0,1	24,33 ± 1,23
	FT	6,57 ± 0,48	0,35 ± 0,02	2,49 ± 0,14	15,92 ± 0,2	217,13 ± 1,87	0,068 ± 0,003	38,31 ± 0,97	1,8 ± 0,08	33,2 ± 1,66
	SD	0,57 ± 0,07	0,04 ± 0,001	0,19 ± 0,01	0,36 ± 0,01	107,6 ± 1,21	0,058 ± 0,001	19,93 ± 1,66	0,75 ± 0,13	9,13 ± 0,28
	FD	2,42 ± 0,09	0,12 ± 0,002	0,51 ± 0,06	5,37 ± 0,1	76,14 ± 3,19	0,052 ± 0,001	5,46 ± 0,16	0,92 ± 0,05	7,01 ± 0,39
DNPI	ST	3,33 ± 0,56	0,5 ± 0,01	17,53 ± 0,53	25,36 ± 1,75	626,07 ± 14,09	0,079 ± 0,001	44,21 ± 0,91	1,42 ± 0,02	75,6 ± 1,67
	FT	0,66 ± 0,08	0,15 ± 0,001	3,44 ± 0,37	31,34 ± 2,28	650,67 ± 10,82	0,18 ± 0,01	83,08 ± 0,32	1,18 ± 0,01	87,68 ± 2,5
	SD	0,61 ± 0,06	0,03 ± 0,001	1,38 ± 0,11	5,04 ± 0,54	121,4 ± 1,36	0,051 ± 0,001	7,85 ± 0,42	0,72 ± 0,07	23,08 ± 0,13
	FD	0,27 ± 0,02	0,02 ± 0,001	0,88 ± 0,04	8,09 ± 0,17	230,07 ± 2,40	0,026 ± 0,001	12,74 ± 1,29	0,68 ± 0,03	21,49 ± 0,24
DNU	ST	4,24 ± 0,52	3,72 ± 0,39	17,34 ± 0,9	1,27 ± 0,003	780,27 ± 22,49	0,027 ± 0,003	77,02 ± 1,69	1,69 ± 0,12	38,58 ± 1,07
	FT	7,40 ± 0,25	0,44 ± 0,05	9,13 ± 0,49	0,91 ± 0,05	541,17 ± 12,99	0,037 ± 0,001	18,75 ± 0,18	1,69 ± 0,04	65,1 ± 0,50
	SD	1,42 ± 0,12	0,05 ± 0,003	3,33 ± 0,16	0,48 ± 0,004	82,37 ± 1,76	0,015 ± 0,001	3,68 ± 0,15	0,47 ± 0,09	8,49 ± 0,50
	FD	1,62 ± 0,08	0,12 ± 0,001	3,42 ± 0,14	0,45 ± 0,02	182,93 ± 1,24	0,026 ± 0,003	2,82 ± 0,10	0,66 ± 0,004	21,23 ± 0,44
DNG	ST	0,24 ± 0,01	0,7 ± 0,07	2,77 ± 0,29	4,19 ± 0,75	2450 ± 68,5	0,25 ± 0,03	106,57 ± 1,38	1,71 ± 0,05	24,74 ± 2,17
	FT	0,85 ± 0,07	0,86 ± 0,07	4,24 ± 0,44	2,52 ± 0,25	1396 ± 51,87	0,308 ± 0,003	42,13 ± 0,81	2,02 ± 0,04	45,02 ± 0,86
	SD	0,14 ± 0,01	0,26 ± 0,01	0,73 ± 0,03	1,26 ± 0,02	567,9 ± 10,62	0,027 ± 0,001	15,85 ± 0,36	0,94 ± 0,09	6,48 ± 0,18
	FD	0,31 ± 0,04	0,28 ± 0,01	1,04 ± 0,08	0,28 ± 0,01	669,97 ± 9,24	0,021 ± 0,002	8,15 ± 0,14	1,05 ± 0,02	13,46 ± 0,16
Valor permitido CONAMA 357/2005 Classe 1		10 µg/L As Total	5 µg/L Cd Total	5 µg/L Cu dissolvido	50 µg/L Cr Total	300 µg/L Fe dissolvido	0,2 µg/L Hg Total	100 µg/L Mn Total	10 µg/L Pb Total	90 µg/L Zn Total

Os resultados das concentrações dos metais (total ou dissolvido) analisados na água foram confrontados com os limites permitidos para águas salinas (águas com salinidade igual ou superior a 30 ppm) Classe 1, conforme definido pela Resolução 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Na Campanha 1 (Set/Out 2018) somente o ferro dissolvido encontrava-se em desconformidade com o preconizado pela legislação em 3 pontos amostrais: ARP (Putiri), DNP (Povoação) e DNG (Guriri). Na Campanha 2 (Jan/Fev 2019), detectou-se concentrações de Fe, Mn, Hg e Zn acima dos limites permitidos na legislação brasileira para alguns pontos (Figura 325 à Figura 336). Os valores para concentração dos demais metais analisados na água, obtidos em ambas as coletas para os dez pontos monitorados no ambiente praial, estão dentro dos limites permitidos pela legislação brasileira.

Figura 325: Concentração de ferro dissolvido ( $\mu\text{g/L}$ ) em amostras de água (superfície) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de ferro dissolvido ( $300 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. As estações amostrais ao longo do eixo x estão dispostas conforme sua posição geográfica (do Sul para o Norte).

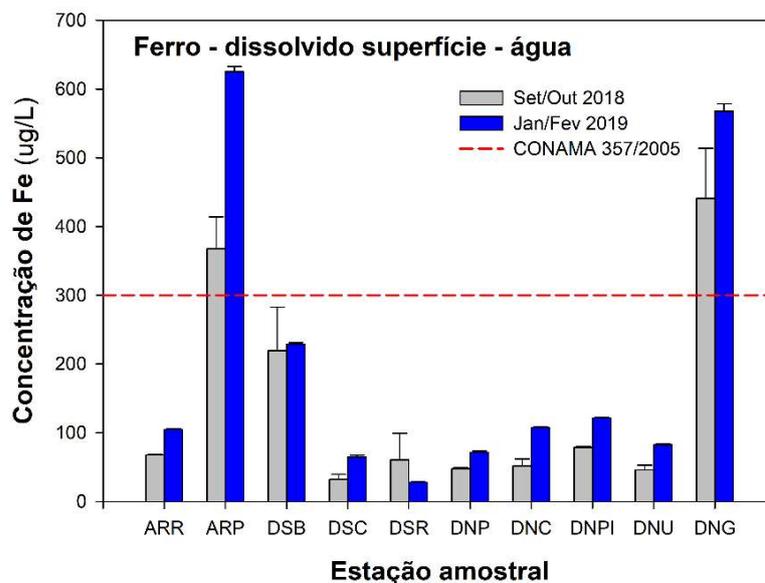
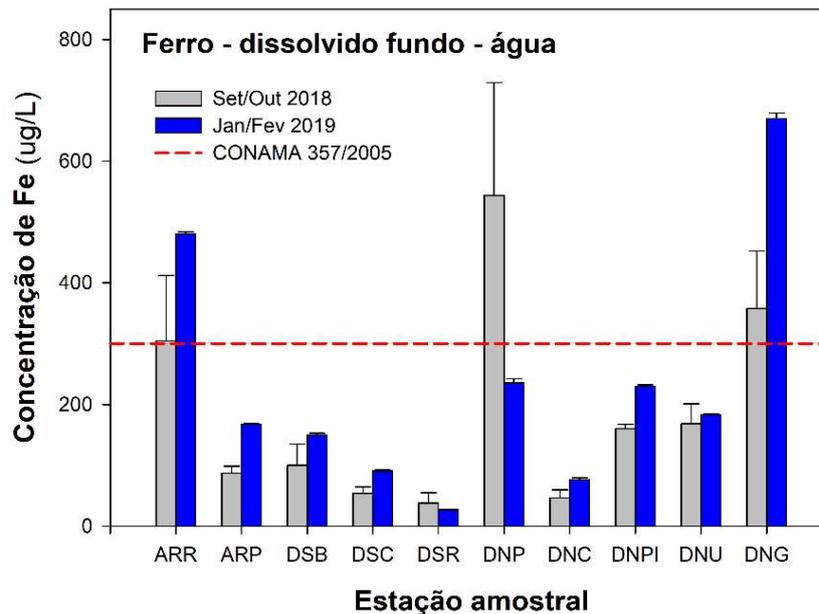


Figura 326: Concentração de ferro dissolvido ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de ferro dissolvido ( $300 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.



As maiores concentrações de Fe dissolvido (superfície) foram encontradas em ARP ( $625 \mu\text{g/L}$ ) e DNG ( $567,9 \mu\text{g/L}$ ), os quais se mantiveram acima da legislação e ainda com níveis maiores do que na Campanha 1, como pode ser visto na Tabela 126, Tabela 127 e na Figura 325. Na água de fundo, os níveis de ferro dissolvido também permaneceram acima da legislação, em comparação com a Campanha 1, e ainda maiores nos pontos ARR ( $480,3 \mu\text{g/L}$ ) e DNG ( $669,97 \mu\text{g/L}$ ), como pode ser visto nas Tabela 126, Tabela 127, e na Figura 326. É importante salientar que dois dos três pontos que apresentam concentrações de ferro dissolvido na água (superfície e/ou fundo) estão dentro de Unidades de Conservação. Putiri (ARP) e Refúgio (ARR) estão inseridos na Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (APA Costa das Algas), e o último, também, no Refúgio da Vida Silvestre de Santa Cruz (REVIS Santa Cruz).

O manganês apresentou níveis mais altos na água em todos os pontos na campanha 2 (Jan/Fev 2019), em comparação com a campanha 1 (Set/Out 2018), como pode ser visto na Figura 327 e Figura 328. As maiores concentrações de Mn total na água (superfície), na Campanha 2, foram encontradas nos pontos DNP ( $245,73 \mu\text{g/L}$ ) e DNG ( $106,57 \mu\text{g/L}$ ). Na água de fundo, a maior concentração ( $129,47 \mu\text{g/L}$ ), foi encontrada para o ponto DSC (Comboios), que está inserido na Unidade de Conservação da Reserva Indígena de Comboios.

Figura 327: Concentração de manganês total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (superfície) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Mn total ( $100 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.

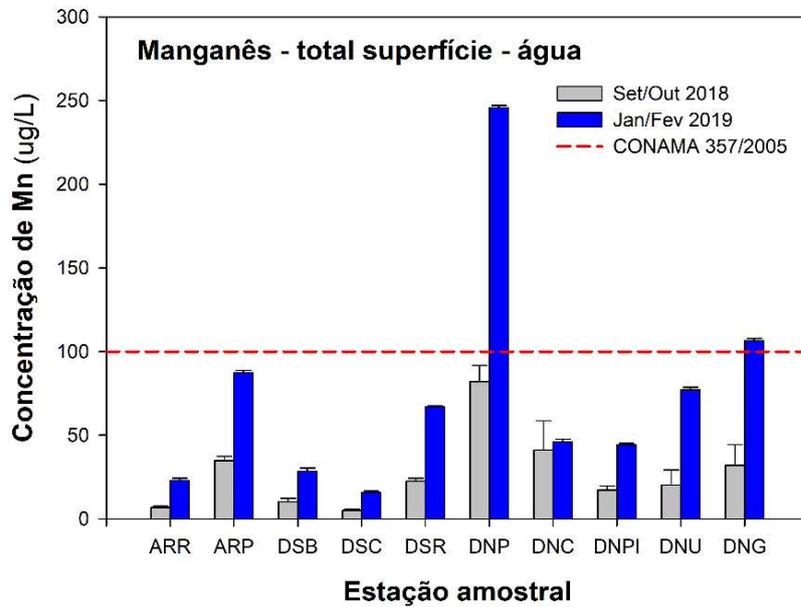
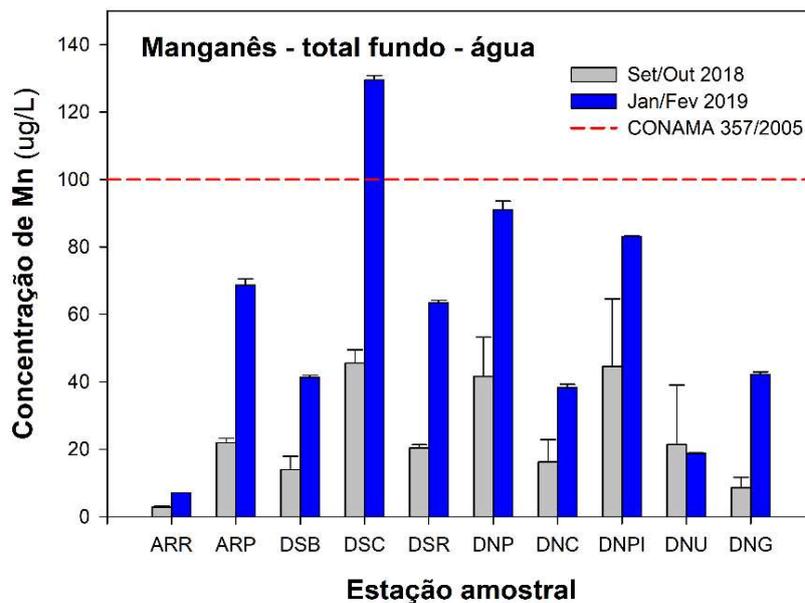


Figura 328: Concentração de manganês total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Mn total ( $100 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.



Os níveis de mercúrio total na água (superfície e/ou fundo) (Figura 329 e Figura 330) ultrapassaram o limite permitido na legislação (0,2 µg/L) em cinco dos dez pontos amostrais, ao longo do monitoramento praial: ARP (0,274 µg/L e 0,241 µg/L, superfície e fundo respectivamente), DSB (0,313 µg/L e 0,302 µg/L, superfície e fundo respectivamente), DSR (0,217 µg/L, superfície), DNP (0,326 µg/L e 0,325 µg/L, superfície e fundo respectivamente) e DNG (0,250 µg/L e 0,308 µg/L, superfície e fundo respectivamente).

Figura 329: Concentração de mercúrio total (µg/L) na amostra de água (superfície) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média ± erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Hg total (0,2 µg/L) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.

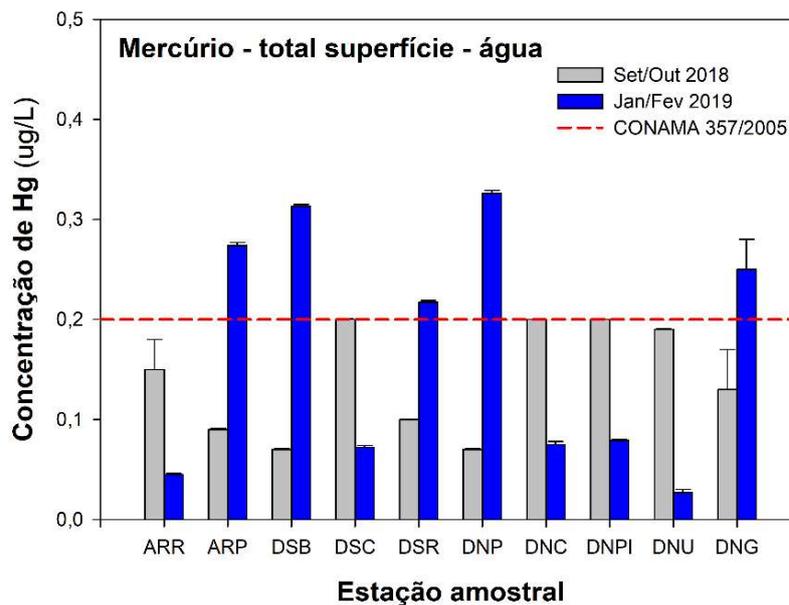
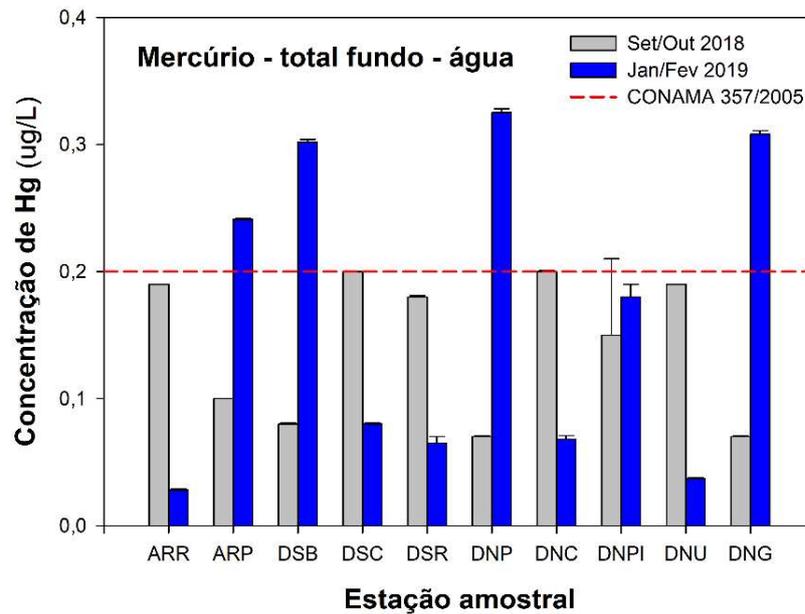
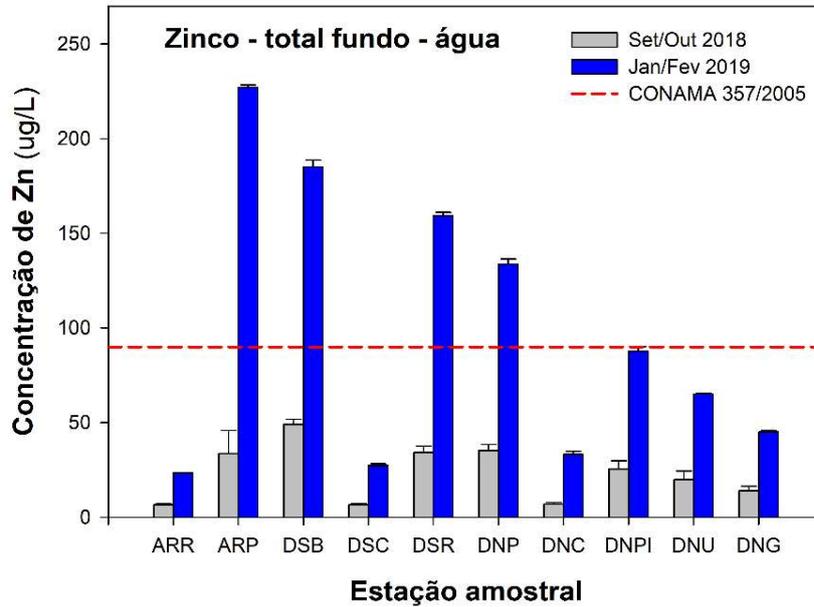


Figura 330: Concentração de mercúrio total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Hg total ( $0,2 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.



As concentrações de zinco total na água (fundo) estavam acima do limite estabelecido pela legislação ( $90 \mu\text{g/L}$ ) nos pontos amostrais, ARP ( $227,03 \mu\text{g/L}$ ), DSB ( $185,13 \mu\text{g/L}$ ), DSR ( $159,33 \mu\text{g/L}$ ) e DNP ( $133,73 \mu\text{g/L}$ ) (Figura 331).

Figura 331: Concentração de zinco total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Zn total ( $90 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.



Ao comparar a concentração dos demais metais na água da campanha 1 (Set/Out 2018) com a campanha 2 (Jan/Fev 2019), embora não tenham ultrapassado o limite estabelecido na legislação CONAMA 357/2005, mostraram aumento dos seus níveis em todos os pontos amostrais nas amostras de água de fundo (Figura 332 à Figura 336).

Figura 332: Concentração de arsênio total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de As total ( $10 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.

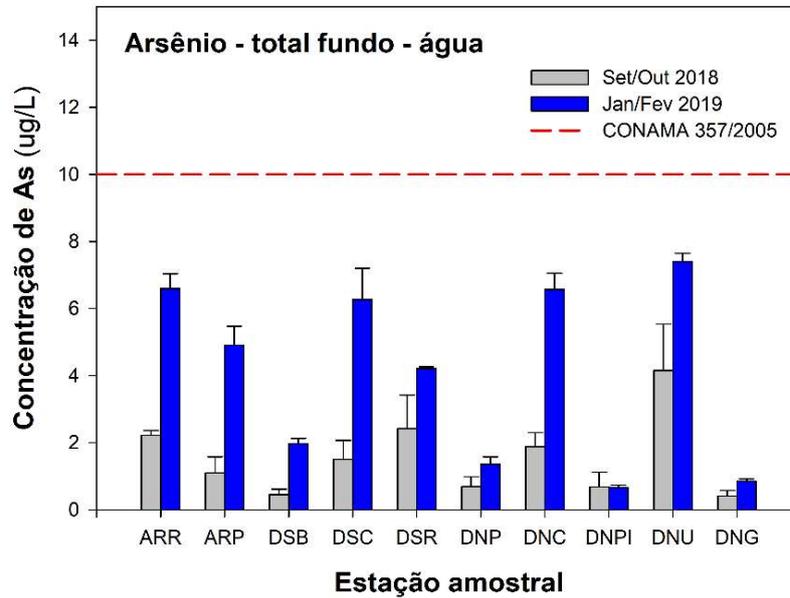


Figura 333: Concentração de cádmio total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cd total ( $5 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.

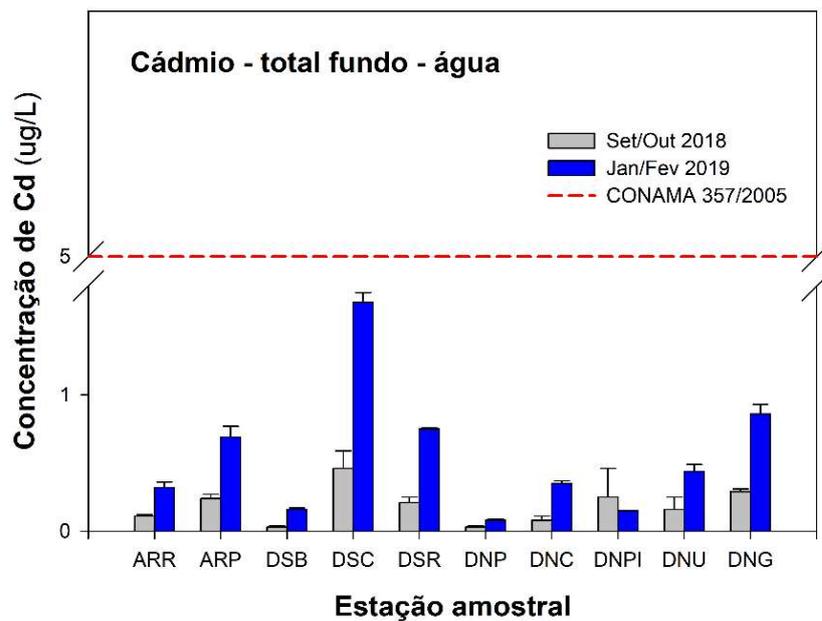


Figura 334: Concentração de cromo total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cr total ( $50 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.

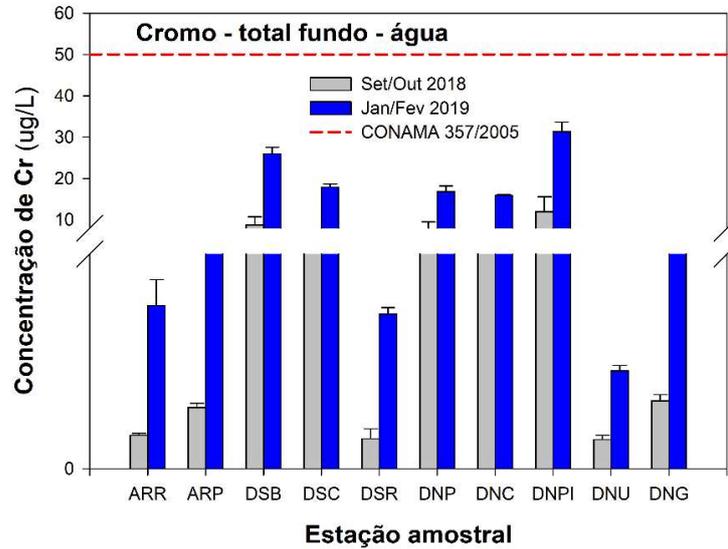


Figura 335: Concentração de cobre dissolvido ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cu dissolvido ( $5 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.

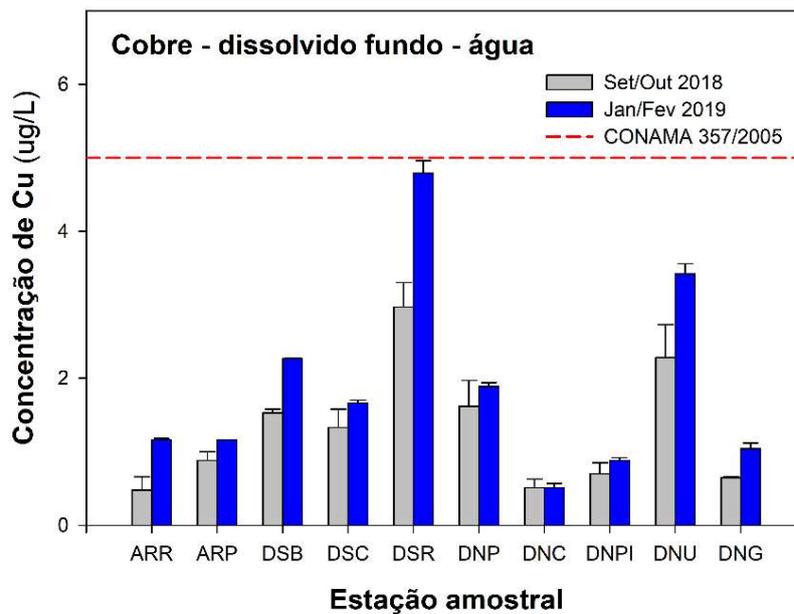
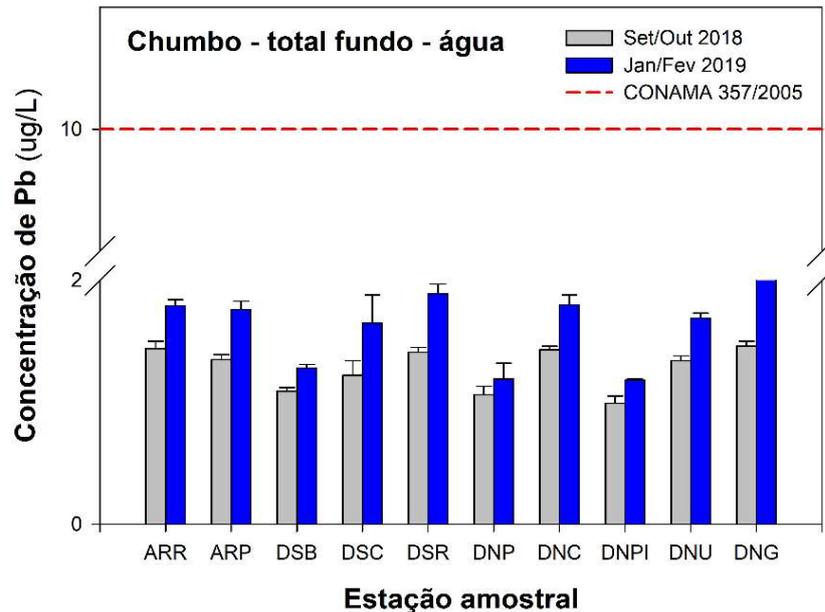


Figura 336: Concentração de chumbo total ( $\mu\text{g/L}$ ) na amostra de água (fundo) coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barra cinza) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Pb total ( $10 \mu\text{g/L}$ ) permitido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para água salina. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.



Em resumo, comparando as duas campanhas do monitoramento praiado realizadas pelo Anexo 1, podemos observar que os metais Cr, Fe e Mn, que estão associados com atividade de mineração, permanecem com seus níveis em elevação, ao longo do tempo, deixando claro que ainda existe um grande aporte destes metais nessas regiões costeiras, mesmo após três anos do evento do rompimento da barragem.

Ademais, aplicou-se uma Análise de Componentes Principais (PCA) para ordenação e avaliação geral da distribuição espacial dos metais na água, e uma ANOVA Multivariada Permutacional (PERMANOVA) foi aplicada para avaliar diferenças estatísticas entre os diferentes pontos amostrados.

Com o objetivo de verificar a existência de padrões de similaridade entre os 10 pontos de amostragem, por meio das variações nas concentrações de metais, assim como padrões de agrupamentos entre metais e sua associação com possíveis padrões espaciais, os dados foram submetidos a Análise de Componentes Principais (PCA). As setas representam as *variáveis* utilizadas na análise, a concentração dos metais na matriz avaliada. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por estação amostral.

A PCA realizada, utilizando como variáveis as concentrações dos metais Fe, Cr, Mn, Pb, Cd, Hg, Cu, Zn e As na fração total e dissolvida da água de fundo, coletada nas duas campanhas, ao longo dos 10 pontos amostrais, sumarizou 43% da variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões (Figura 337 e Tabela 128). O Componente Principal 1 sumarizou 25,4% dos dados. O Componente Principal 2 sumarizou 17,6% dos dados, separando, especialmente, os metais As, Cd e Cu no seu setor positivo e os metais Cr, Hg e Pb ao sul.

Figura 337: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais na água coletada nas campanhas 1 e 2. O código FT e fD indica determinações de metais realizadas em água de fundo nas frações total e dissolvida, respectivamente. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência); DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri).

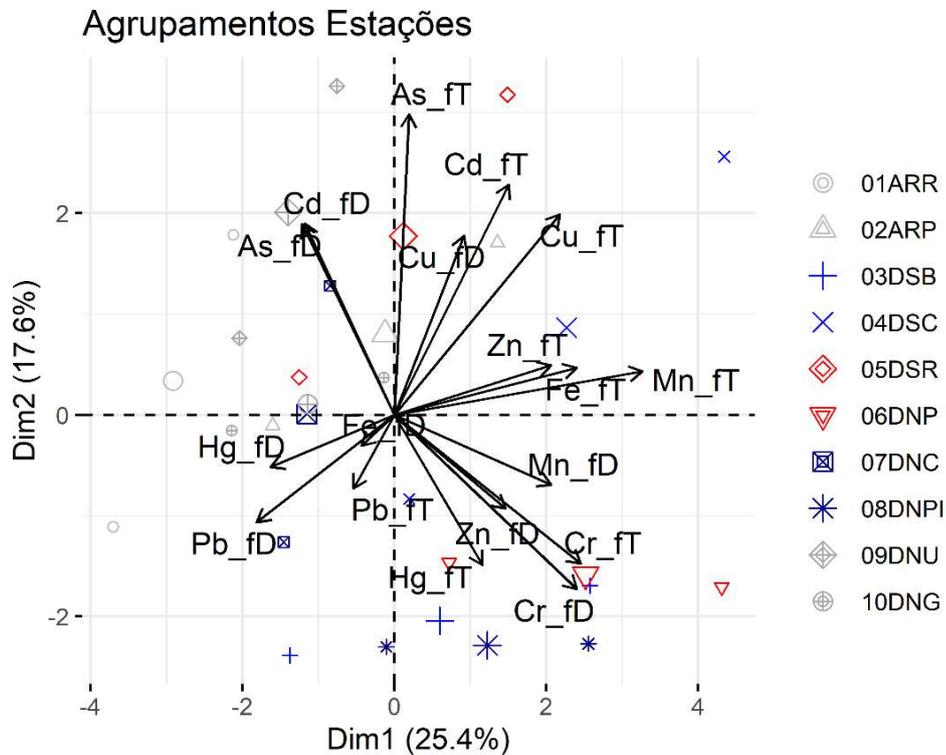


Tabela 128: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 337.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de Variância</b>	<b>Percentual de Variância Acumulativa</b>
Dim.1	4,577578	25,43099	25,43099
Dim.2	3,175592	17,64218	43,07317
Dim.3	2,274838	12,63799	55,71116
Dim.4	1,970927	10,9496	66,66075
Dim.5	1,503033	8,350185	75,01094
Dim.6	1,285144	7,139689	82,15063
Dim.7	0,975253	5,418073	87,5687
Dim.8	0,718321	3,990672	91,55937
Dim.9	0,600529	3,33627	94,89564
Dim.10	0,402271	2,234839	97,13048
Dim.11	0,213025	1,183474	98,31396
Dim.12	0,121456	0,674757	98,98871
Dim.13	0,085795	0,476637	99,46535
Dim.14	0,067564	0,375353	99,8407
Dim.15	0,019551	0,108616	99,94932

	Auto Valor	Percentual de Variância	Percentual de Variância Acumulativa
Dim.16	0,007112	0,039512	99,98883
Dim.17	0,001888	0,010487	99,99932
Dim.18	0,000123	0,000682	100

De acordo com a Figura 338, as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos ao longo do PC1 foram os metais Mn e Fe na fração total, e Cr nas duas frações. Os indivíduos (Figura 339) que mais contribuíram para os agrupamentos, ao longo do PC1, estão associados, principalmente, as localidades DSC e DNP, evidenciando a distribuição espacial dos metais Cr, Fe e Mn nesses pontos.

Figura 338: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente.

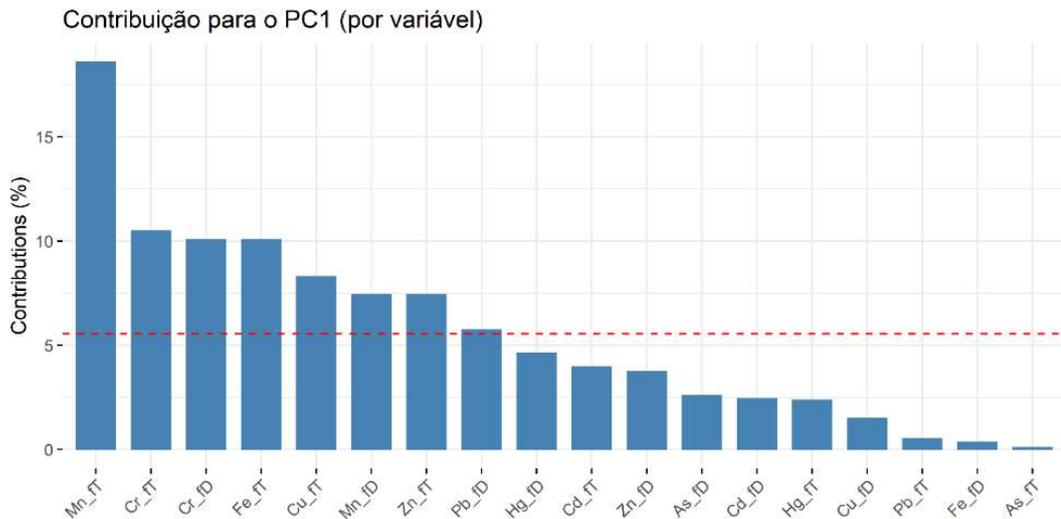
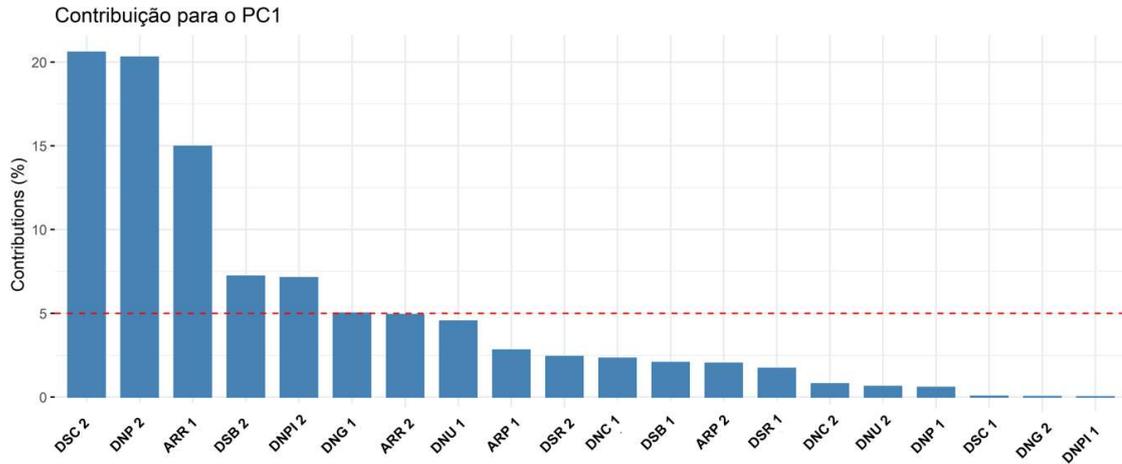


Figura 339: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.



Os metais As, Cd e Cu foram as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos observados, ao longo do PC2 (Figura 340), que por sua vez, também, foi influenciado por indivíduos associados aos pontos DNU, DSR, DSC (Figura 341).

Figura 340: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente.

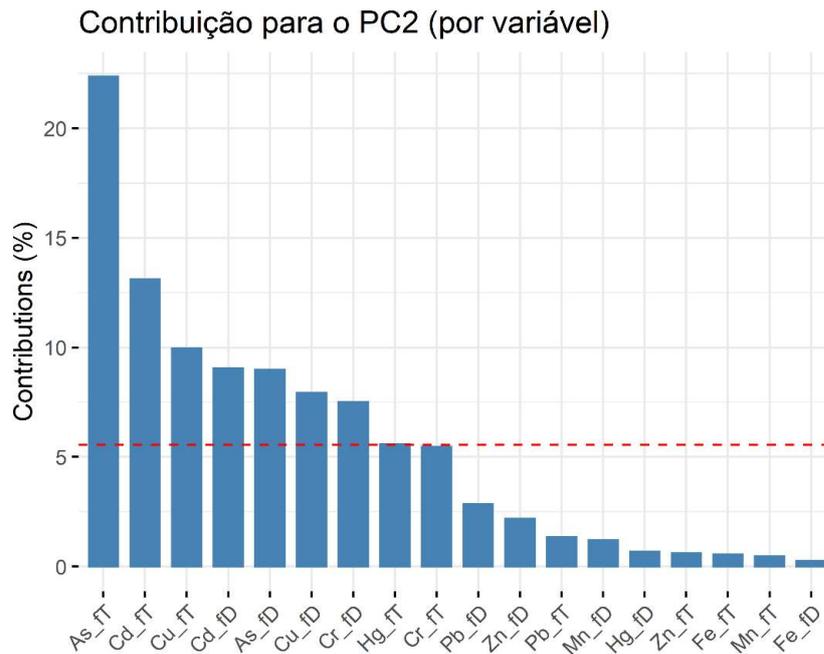
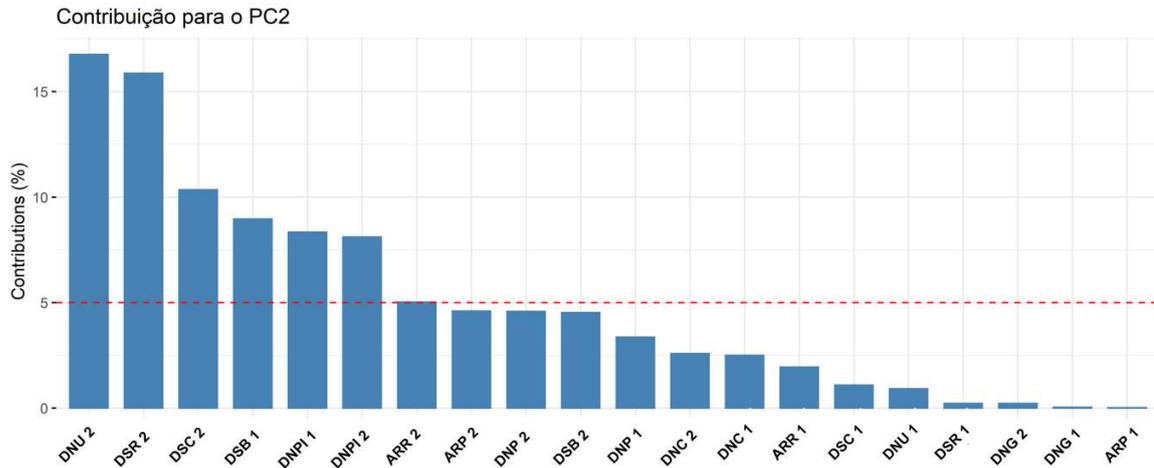


Figura 341: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.



A PERMANOVA corroborou a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as localidades (Tabela 129). Alterou-se, também, significativamente, o padrão de distribuição espacial dos metais pela expedição e a diferença temporal modificou o padrão espacial.

Tabela 129: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal (campanha), e do fator espacial (localidade) na concentração de metais na água. Permutação de Monte Carlo (n=4999). (\*) e em vermelho os valores de  $p < 0,05$ .

	Grau de liberdade	SQ	F	P valor
Expedição	1	151,17	40,344	0,0002*
Localidade	9	592,74	17,577	0,0002*
Expedição*Localidade	9	164,27	4,871	0,0002*
Resíduos	40	149,88		
Total	59	1058,07		

### 3.3.3 Concentração de metais no sedimento do ambiente praiial

Em cada ponto amostral foram coletadas amostras de sedimento seguindo métodos descritos no “Protocolo de Análises de Laboratório do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática na Área Ambiental I”, para quantificação da concentração dos elementos: Arsênio (As), Cádmiu (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúriu (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn). Na sequência, é apresentada a concentração de metais no sedimento dos 10 pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018) (Tabela 130) e campanha 2 (Jan/Fev 2019) (Tabela 131).

Tabela 130: Concentração (mg/kg) dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn no sedimento nos diferentes pontos amostrais do monitoramento do ambiente praial na Campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados são expressos em média  $\pm$  erro padrão.

Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)										
Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso seco								
ARR	4	0,005 $\pm$ 0,001	0,015 $\pm$ 0,002	0,71 $\pm$ 0,06	0,43 $\pm$ 0,04	24,57 $\pm$ 7,31	0,05 $\pm$ 0,006	17,7 $\pm$ 2,98	0,05 $\pm$ 0,006	165,84 $\pm$ 16,76
ARP	4	0,006 $\pm$ 0,001	0,001 $\pm$ 0	0,24 $\pm$ 0,02	0,34 $\pm$ 0,08	96,11 $\pm$ 8,14	0,01 $\pm$ 0	61,88 $\pm$ 7,9	1,99 $\pm$ 0,17	1,3 $\pm$ 0,06
DSB	4	0,005 $\pm$ 0,001	0,09 $\pm$ 0,09	0,08 $\pm$ 0,004	0,05 $\pm$ 0,02	11,52 $\pm$ 2,17	0,03 $\pm$ 0,004	4,49 $\pm$ 0,54	0,002 $\pm$ 0,001	16,05 $\pm$ 1,55
DSC	4	0,003 $\pm$ 0,001	0,001 $\pm$ 0	0,19 $\pm$ 0,005	0,02 $\pm$ 0,004	8,11 $\pm$ 0,75	0,03 $\pm$ 0,002	3,81 $\pm$ 0,44	0,005 $\pm$ 0,002	16,51 $\pm$ 1,49
DSR	4	0,006 $\pm$ 0,001	0,002 $\pm$ 0	0,75 $\pm$ 0,13	0,21 $\pm$ 0,05	13,94 $\pm$ 3,8	0,03 $\pm$ 0,02	8,73 $\pm$ 1,07	0,01 $\pm$ 0,01	49,62 $\pm$ 9,79
DNP	4	0,006 $\pm$ 0	0,001 $\pm$ 0	0,35 $\pm$ 0,09	0,006 $\pm$ 0,002	9,74 $\pm$ 1,32	0,03 $\pm$ 0,003	9,52 $\pm$ 0,78	0,02 $\pm$ 0,007	30,69 $\pm$ 3,66
DNC	4	0,003 $\pm$ 0,001	0,001 $\pm$ 0	0,44 $\pm$ 0,03	0,08 $\pm$ 0,03	11,78 $\pm$ 1,13	0,04 $\pm$ 0,005	11,61 $\pm$ 2,24	0,02 $\pm$ 0,004	35,22 $\pm$ 3,76
DNPI	4	0,008 $\pm$ 0,002	0,001 $\pm$ 0	0,22 $\pm$ 0,06	0,02 $\pm$ 0,01	10,25 $\pm$ 1,02	0,03 $\pm$ 0,002	7,72 $\pm$ 1,31	0,004 $\pm$ 0,001	19,07 $\pm$ 1,88
DNU	4	0,015 $\pm$ 0,003	0,0005 $\pm$ 0	0,18 $\pm$ 0,02	0,04 $\pm$ 0,004	8,36 $\pm$ 1,01	0,02 $\pm$ 0,002	5,72 $\pm$ 0,82	0,002 $\pm$ 0	25,78 $\pm$ 2,18
DNG	4	0,003 $\pm$ 0	0,001 $\pm$ 0	0,31 $\pm$ 0,08	0,11 $\pm$ 0,03	9,7 $\pm$ 0,47	0,02 $\pm$ 0,001	11,57 $\pm$ 0,96	0,005 $\pm$ 0,002	27,27 $\pm$ 3,84
Valor permitido CONAMA 357/2005 Nível 1		19	1,2	81	34	-	0,3	-	46,7	150

Tabela 131: Concentração (mg/kg) dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn no sedimento nos diferentes pontos amostrais do monitoramento do ambiente praial na campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média  $\pm$  erro padrão.

Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso seco								
ARR	4	0,006 $\pm$ 0	0,014 $\pm$ 0,001	0,86 $\pm$ 0,02	0,37 $\pm$ 0,004	22,8 $\pm$ 0,64	0,004 $\pm$ 0	24,97 $\pm$ 0,84	0,048 $\pm$ 0,003	50,17 $\pm$ 3,18
ARP	4	0,005 $\pm$ 0	0,002 $\pm$ 0	0,22 $\pm$ 0,002	0,45 $\pm$ 0,01	59,23 $\pm$ 0,4	0,001 $\pm$ 0	84,58 $\pm$ 0,31	2,9 $\pm$ 0,05	1,44 $\pm$ 0,07
DSB	4	0,04 $\pm$ 0,02	0,001 $\pm$ 0	0,1 $\pm$ 0,002	0,01 $\pm$ 0	12,67 $\pm$ 0,53	0,003 $\pm$ 0	5,44 $\pm$ 0,17	0,004 $\pm$ 0	14,91 $\pm$ 1,55
DSC	4	0,003 $\pm$ 0	0,007 $\pm$ 0,005	0,24 $\pm$ 0,02	0,03 $\pm$ 0,004	8,17 $\pm$ 0,38	0,003 $\pm$ 0	3,44 $\pm$ 0,1	0,011 $\pm$ 0,002	19,17 $\pm$ 0,18
DSR	4	0,009 $\pm$ 0	0,002 $\pm$ 0	0,75 $\pm$ 0,008	0,15 $\pm$ 0,04	16,09 $\pm$ 0,35	0,005 $\pm$ 0,001	8,61 $\pm$ 0,18	0,013 $\pm$ 0	42,08 $\pm$ 1,71
DNP	4	0,008 $\pm$ 0	0,001 $\pm$ 0	0,67 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,002	12,72 $\pm$ 0,64	0,004 $\pm$ 0	11,73 $\pm$ 0,2	0,043 $\pm$ 0,001	46,26 $\pm$ 1,07
DNC	4	0,002 $\pm$ 0	0,005 $\pm$ 0	0,54 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0	13,21 $\pm$ 1,09	0,005 $\pm$ 0	16,02 $\pm$ 0,28	0,015 $\pm$ 0	43,75 $\pm$ 1,67
DNPI	4	0,012 $\pm$ 0,001	0,002 $\pm$ 0	0,15 $\pm$ 0,001	0,05 $\pm$ 0,002	13,77 $\pm$ 0,1	0,003 $\pm$ 0	4,49 $\pm$ 0,17	0,004 $\pm$ 0	33,47 $\pm$ 0,52
DNU	4	0,02 $\pm$ 0,001	0,001 $\pm$ 0	0,24 $\pm$ 0,02	0,04 $\pm$ 0,001	6,7 $\pm$ 0,64	0,003 $\pm$ 0	4,29 $\pm$ 0,05	0,003 $\pm$ 0	44,36 $\pm$ 0,26
DNG	4	0,003 $\pm$ 0	0,001 $\pm$ 0	0,16 $\pm$ 0,01	0,045 $\pm$ 0,002	4,67 $\pm$ 0,18	0,003 $\pm$ 0	13,73 $\pm$ 0,26	0,006 $\pm$ 0	34,99 $\pm$ 2,37
Valor permitido CONAMA 357/2005 Nível 1		19	1,2	81	34	-	0,3	-	46,7	150

A concentração de todos os metais quantificados nas amostras de sedimento coletadas durante as duas campanhas (2018 e 2019) estão em conformidade com a concentração estabelecida pela resolução CONAMA 454/2012, exceto ferro (Fe) e manganês (Mn) que não estão na lista da legislação e, portanto, não há limite definido. Apesar disso, dentre os pontos amostrados, os maiores níveis de Cu, Fe, Mn e Pb foram encontrados no ponto ARP (Putiri) (Figura 342, Figura 343, Figura 344, Figura 345) e Cr no ponto ARR (Refúgio) (Figura 346), ambos inseridos na APA Costa das Algas, e Refúgio no REVIS Santa Cruz. Além disso, Cu, Cr, Mn e Pb apresentaram concentrações mais altas na campanha 2 (Jan/Fev 2019), em comparação com a campanha 1 (Set/Out 2018).

Figura 342: Concentração de cobre (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cu (34 mg/kg) permitido pela Resolução 454/2012 do CONAMA para sedimento. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.

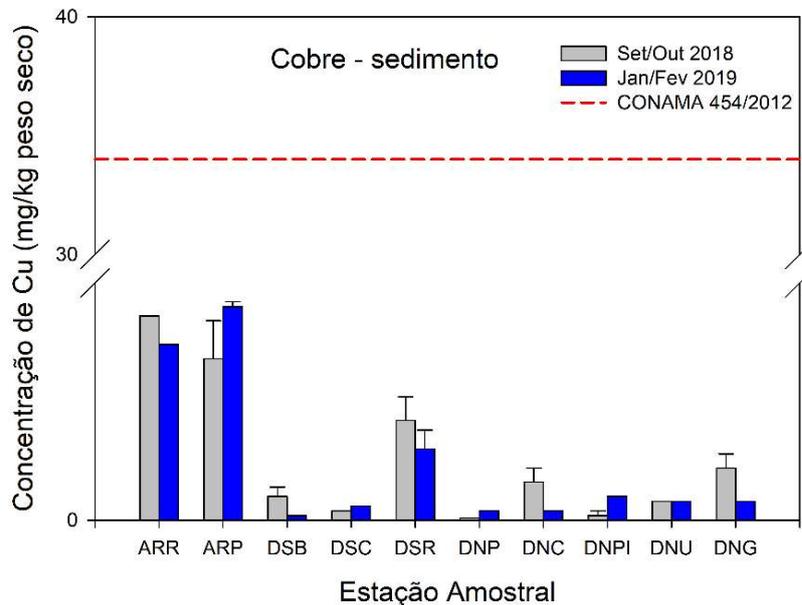


Figura 343: Concentração de ferro (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento coletadas nas 10 estações amostrais durante a campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.

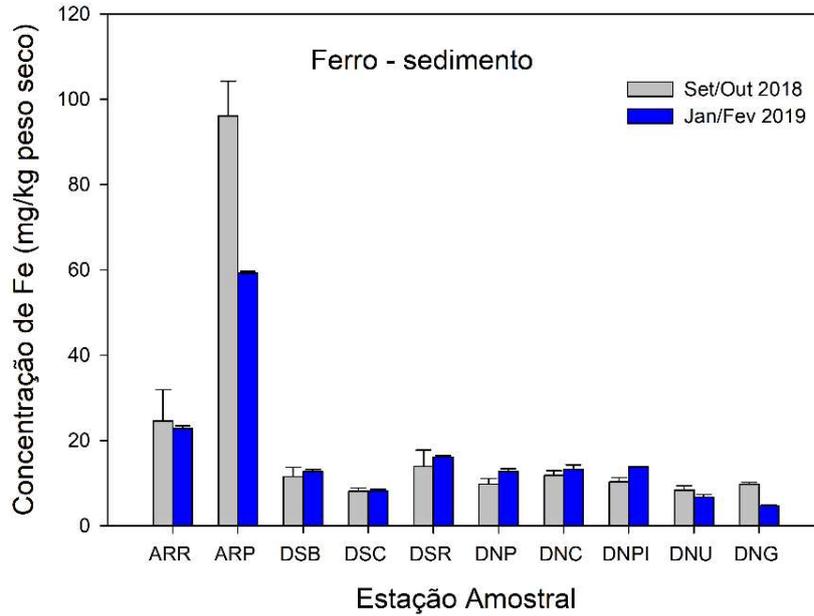


Figura 344: Concentração de manganês (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.

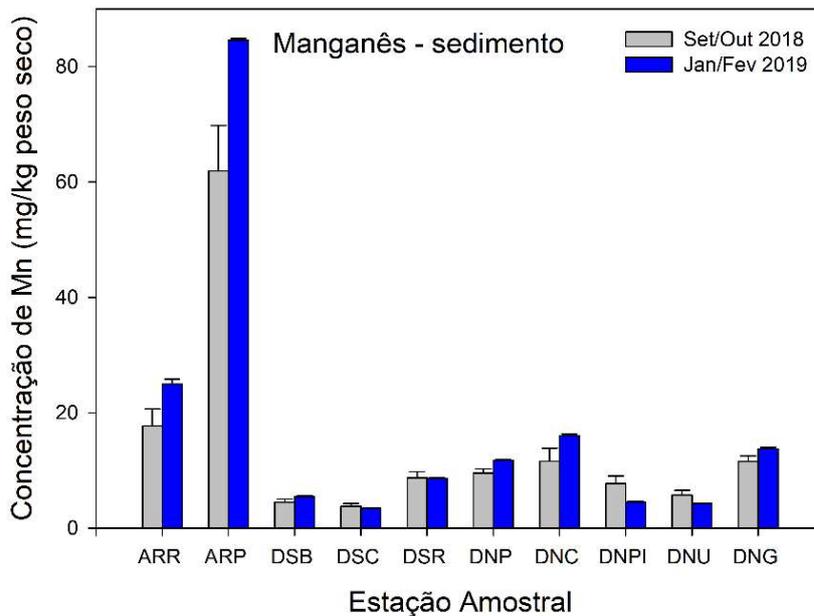


Figura 345: Concentração de Chumbo (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.

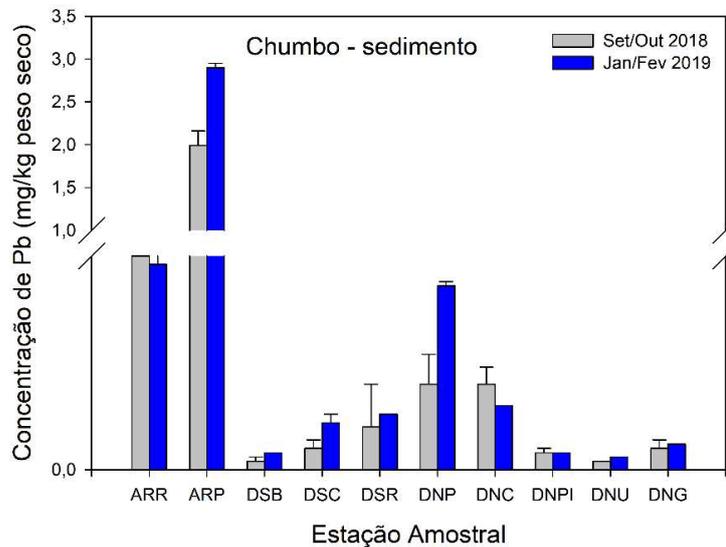
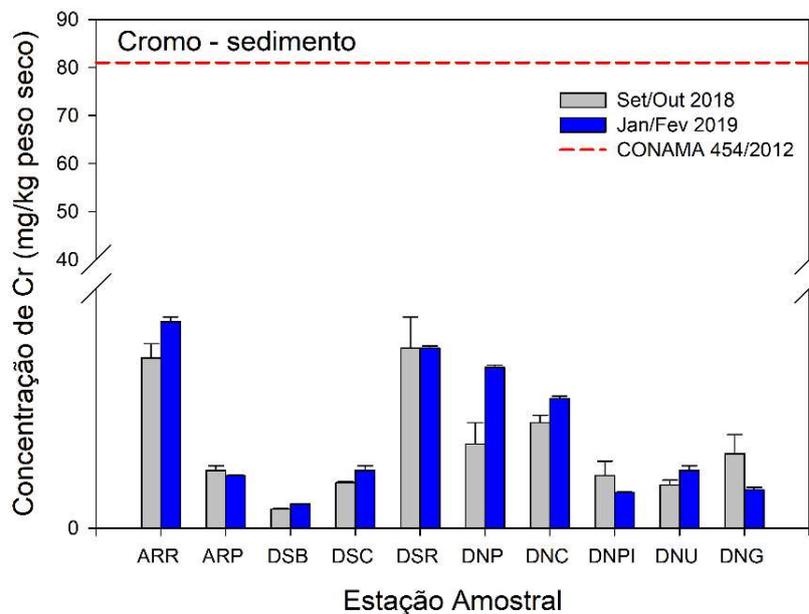


Figura 346: Concentração de Cromo (mg/kg peso seco) nas amostras de sedimento coletadas nas 10 estações amostrais durante a Campanha 1 (Set/Out 2018; Barras cinzas) e a Campanha 2 (Jan/Fev 2019; Barras azuis). Os resultados estão expressos em média  $\pm$  erro padrão. Linha vermelha pontilhada indica o valor limite de Cr (81 mg/kg) permitido pela Resolução 454/2012 do CONAMA para sedimento. Estações amostrais dispostas do Sul para o Norte.



A concentração de metais no sedimento indica que os metais Cu, Fe, Mn e Pb apresentaram um padrão espacial com maiores concentrações no sedimento coletado nos pontos mais ao Sul, com destaque, as praias de Refúgio e Putiri, onde estão situadas em Unidades de Conservação.

A PCA realizada, utilizando como variáveis as concentrações de todos os metais no sedimento coletado nas duas campanhas, ao longo de 10 estações amostrais, sumarizou 56,8% da variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões. O Componente Principal 1 sumarizou 30% dos dados, e agrupou as maiores concentrações de quase todos os metais a leste, exceto As e Zn. O Componente Principal 2 sumarizou 26,8% dos dados, separando principalmente o Cd, Cr, Pb e Hg no lado no seu setor positivo (Figura 347 e Tabela 132).

Figura 347: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais no sedimento coletado nas campanhas 1 e 2. O código S indica determinações de metais realizadas no sedimento. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência); DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri).

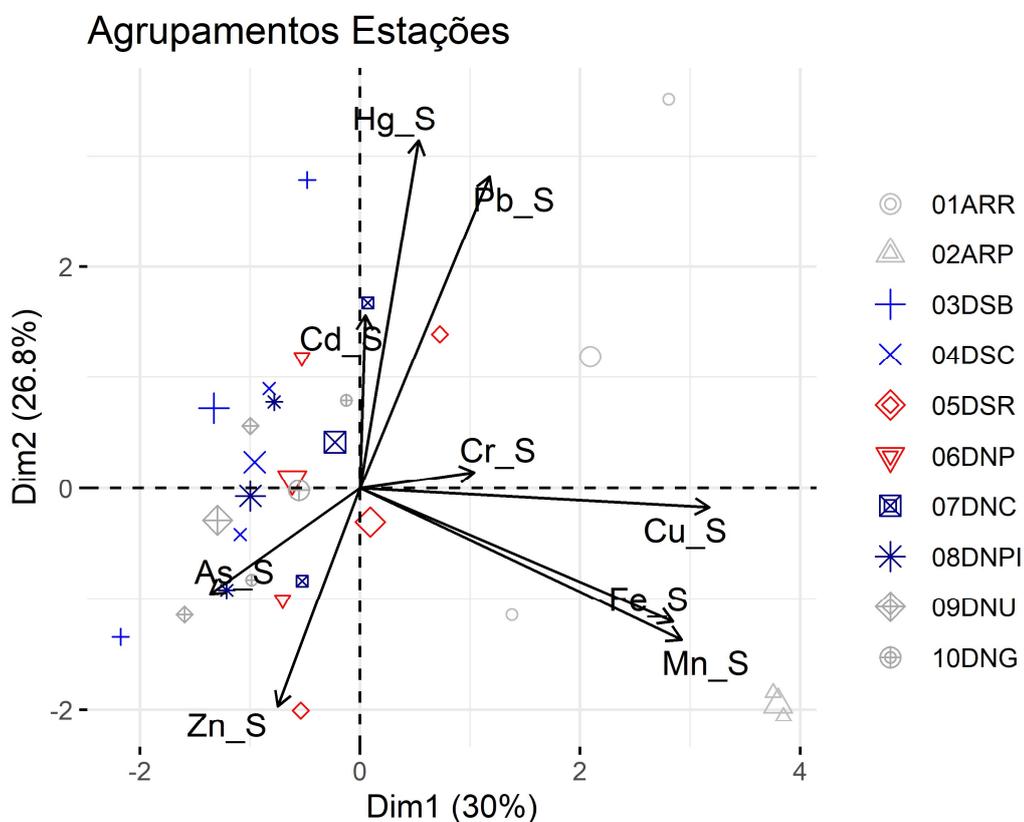


Tabela 132: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 25.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de Variância</b>	<b>Percentual de Variância Acumulativa</b>
Dim.1	2,699249	29,99166	29,99166
Dim.2	2,411034	26,78926	56,78092
Dim.3	1,584181	17,60202	74,38294
Dim.4	0,922434	10,24927	84,63221
Dim.5	0,818829	9,098096	93,7303
Dim.6	0,220247	2,44719	96,17749
Dim.7	0,199204	2,213376	98,39087

	Auto Valor	Percentual de Variância	Percentual de Variância Acumulativa
Dim.8	0,089524	0,994714	99,38558
Dim.9	0,055298	0,614418	100

As variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos ao longo do PC1 foram os metais Cu, Mn Fe e Mn (Figura 348). Os indivíduos que mais colaboraram para os agrupamentos ao longo do PC1 estão associados, principalmente, às localidades ARP, ARR e DSB (Figura 349). Os metais Hg, Pb e Zn foram as variáveis com maior aporte de contribuição para o PC2 (Figura 350), que por sua vez, também, recebeu considerável contribuição de indivíduos, associados às localidades ARR, DSB e ARP (Figura 351). De forma geral, o padrão espacial mais evidente foi de maiores concentrações de metais no sedimento nos pontos mais ao Sul.

Figura 348: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente.

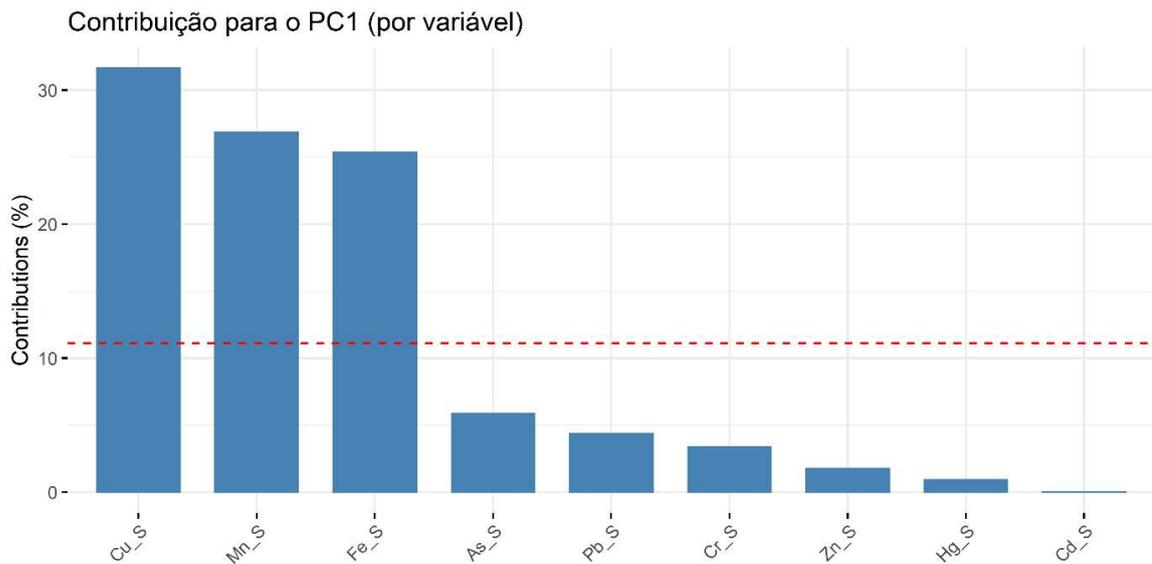


Figura 349: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.

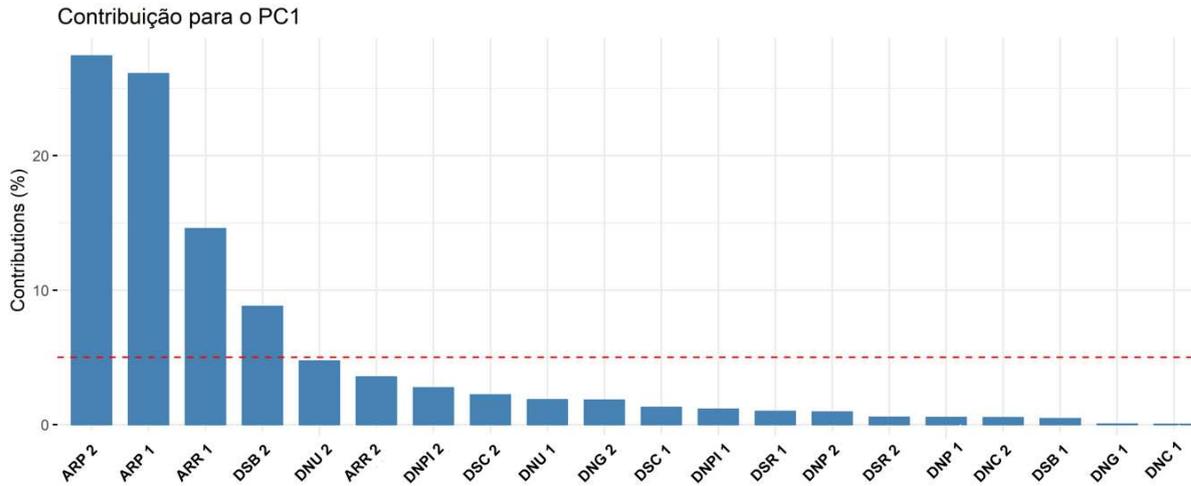


Figura 350: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente.

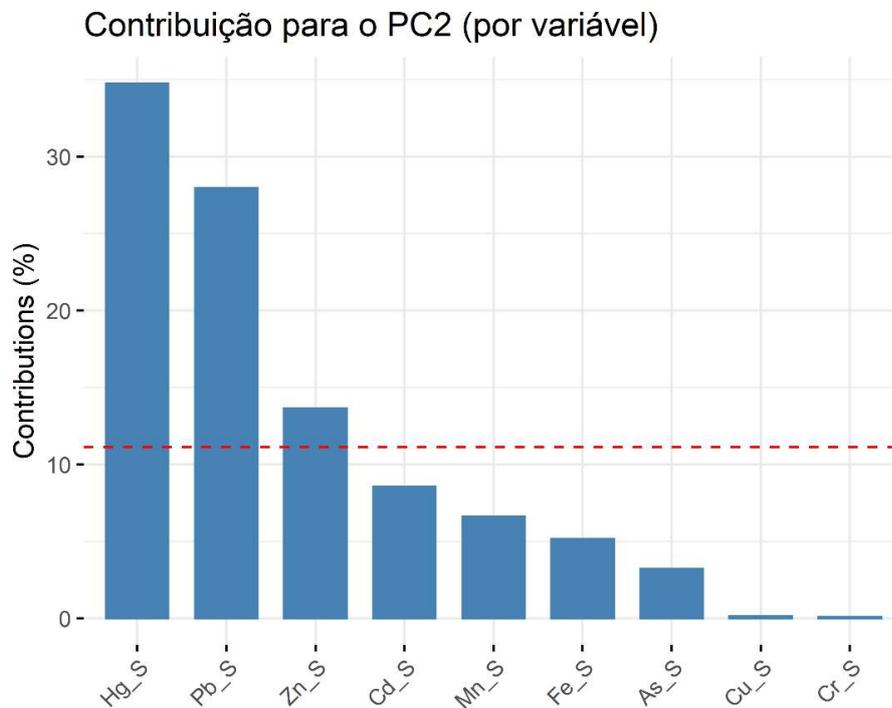
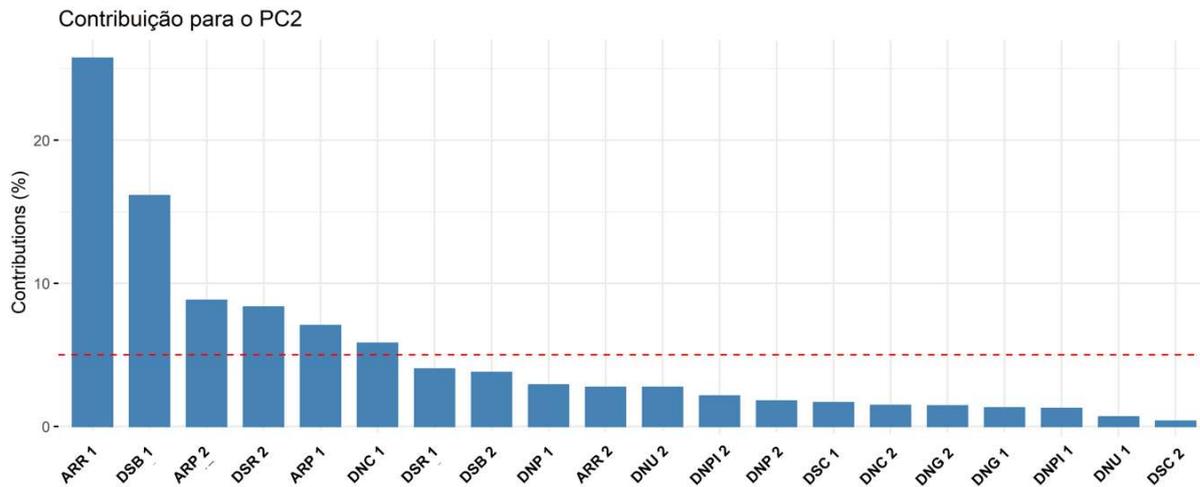


Figura 351: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria 1 / comprimento (variáveis) = 1/20 = 5%. Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.



A PERMANOVA corroborou a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as localidades (Tabela 133). O padrão de distribuição espacial dos metais, também, alterou-se, significativamente, pela expedição, além disso, a diferença temporal modificou o padrão espacial.

Tabela 133: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal (campanha), e do fator espacial (localidade) na concentração de metais no sedimento do ambiente praial. Permutação de Monte Carlo (n=4999). (\*) e em vermelho os valores de  $p < 0,05$ .

	Grau de liberdade	SQ	F	p
Expedição	1	91,63	28,72	0,0002*
Localidade	9	348,20	12,12	0,0002*
Expedição*Localidade	9	79,71	2,77	0,0002*
Resíduos	60	191,45		
Total	79	711,00		

### 3.3.4 Concentração de metais em organismos do ambiente praial

Com o objetivo de avaliar possíveis efeitos biológicos decorrentes da contaminação da água por metais e consequente bioacumulação nos organismos de diferentes níveis tróficos, realizou-se coletas de organismos típicos das regiões monitoradas. Dessa forma, no ambiente praial, em cada ponto amostral foram coletados os seguintes organismos: (i) poliqueta ( $n=6$ ); (ii) anfípoda ( $n=5$  pools, 5 indivíduos por pool); (iii) o isópoda *Excirolana* sp. ( $n=5$  pools, 5 indivíduos por pool); (iiii) o caranguejo *Ocypode quadrata* ( $n=6$ ).

Os próximos dados a serem mostrados neste relatório são os níveis de metais mensurados na biota coletada no ambiente praial. Para o ponto DSB (Barra do Riacho) não houve coleta de biota, pois não

encontramos os organismos propostos. Os poliquetas, apenas encontradas em alguns pontos amostrados.

#### 3.3.4.1 Concentração de metais em anfípodas

A Tabela 134 e Tabela 135 resumizam os resultados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) mensurados nos anfípodas, coletados nas estações amostrais do ambiente praial, durante a campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019), respectivamente.

Tabela 134: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média  $\pm$  erro padrão) em amostras de anfípodas ( $n=5$ , mg/kg de peso úmido) coletados nas estações amostrais do ambiente praiado durante a campanha 1 (Set/Out 2018).

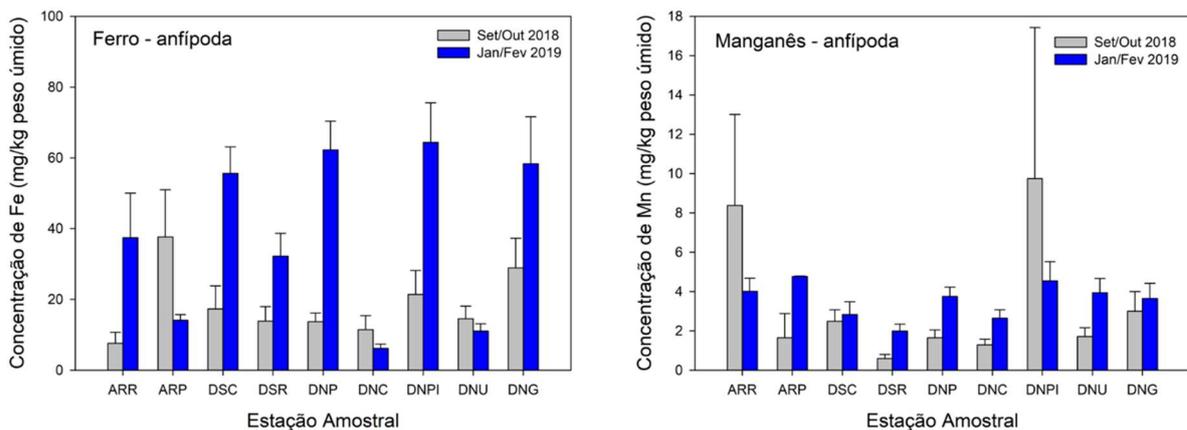
Anfípodas - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)									
Ponto	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
	mg/kg peso úmido								
ARR	0,63 $\pm$ 0,2	0,01 $\pm$ 0	2,69 $\pm$ 1,15	15,4 $\pm$ 5	7,61 $\pm$ 3,14	0,09 $\pm$ 0,03	8,38 $\pm$ 4,63	0,63 $\pm$ 0,24	28,74 $\pm$ 11,24
ARP	0,09 $\pm$ 0,05	0,001 $\pm$ 0	1,06 $\pm$ 0,26	6,14 $\pm$ 1,88	37,64 $\pm$ 13,32	0,02 $\pm$ 0,01	1,65 $\pm$ 1,23	0,06 $\pm$ 0,01	9,85 $\pm$ 3,37
DSC	0,35 $\pm$ 0,11	1,2 $\pm$ 0,44	0,62 $\pm$ 0,29	1,9 $\pm$ 0,47	17,32 $\pm$ 6,52	0,17 $\pm$ 0,04	2,49 $\pm$ 0,58	0,04 $\pm$ 0,01	16,21 $\pm$ 3,04
DSR	1,01 $\pm$ 0,33	0,02 $\pm$ 0,01	0,19 $\pm$ 0,06	7,58 $\pm$ 2,09	13,86 $\pm$ 4,1	0,01 $\pm$ 0,003	0,59 $\pm$ 0,21	0,05 $\pm$ 0,02	12,87 $\pm$ 2,75
DNP	0,39 $\pm$ 0,05	0,36 $\pm$ 0,1	1,27 $\pm$ 0,22	6,41 $\pm$ 1,77	13,68 $\pm$ 2,44	0,01 $\pm$ 0,001	1,65 $\pm$ 0,4	0,54 $\pm$ 0,09	8,44 $\pm$ 2,24
DNC	0,04 $\pm$ 0,02	0,19 $\pm$ 0,08	0,19 $\pm$ 0,04	3,47 $\pm$ 1,73	11,51 $\pm$ 3,93	0,18 $\pm$ 0,01	1,29 $\pm$ 0,29	0,07 $\pm$ 0,02	5,48 $\pm$ 2,75
DNPI	0,25 $\pm$ 0,09	0,56 $\pm$ 0,48	0,5 $\pm$ 0,39	6,15 $\pm$ 1,72	21,41 $\pm$ 6,78	0,21 $\pm$ 0,03	9,74 $\pm$ 7,69	0,24 $\pm$ 0,12	3,01 $\pm$ 0,95
DNU	0,04 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0	0,11 $\pm$ 0,03	0,61 $\pm$ 0,12	14,54 $\pm$ 3,56	0,06 $\pm$ 0,02	1,71 $\pm$ 0,45	0,32 $\pm$ 0,1	8,66 $\pm$ 2,55
DNG	2,7 $\pm$ 1,4	0,01 $\pm$ 0	0,5 $\pm$ 0,16	28,49 $\pm$ 8,01	28,91 $\pm$ 8,35	0,1 $\pm$ 0,001	3 $\pm$ 1	0,17 $\pm$ 0,02	40,69 $\pm$ 11,26

Tabela 135: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média  $\pm$  erro padrão) em amostras de anfípodas ( $n=5$ , mg/kg de peso úmido) coletados nas estações amostrais do ambiente praial durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019).

Anfípodas - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)									
Ponto	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
	mg/kg peso úmido								
ARR	0,25 $\pm$ 0,16	0,017 $\pm$ 0,003	0,02 $\pm$ 0,01	5,24 $\pm$ 1,34	37,42 $\pm$ 12,6	0,002 $\pm$ 0	4,01 $\pm$ 0,67	0,02 $\pm$ 0,01	15,4 $\pm$ 2
ARP	0,27 $\pm$ 0,08	0,025 $\pm$ 0,004	0,06 $\pm$ 0,01	4,31 $\pm$ 1,15	14,12 $\pm$ 1,58	0,002 $\pm$ 0	4,77 $\pm$ 0,03	0,03 $\pm$ 0,02	4,17 $\pm$ 3,6
DSC	0,63 $\pm$ 0,08	0,004 $\pm$ 0,002	0,02 $\pm$ 0,01	5,43 $\pm$ 1,36	55,6 $\pm$ 7,5	0,002 $\pm$ 0	2,83 $\pm$ 0,65	0,03 $\pm$ 0,005	18,59 $\pm$ 3,2
DSR	0,77 $\pm$ 0,14	0,005 $\pm$ 0,001	0,03 $\pm$ 0,01	2,28 $\pm$ 0,93	32,25 $\pm$ 6,46	0,001 $\pm$ 0	1,99 $\pm$ 0,36	0,02 $\pm$ 0,006	4,75 $\pm$ 1,32
DNP	0,19 $\pm$ 0,01	0,003 $\pm$ 0,001	0,033 $\pm$ 0,001	0,83 $\pm$ 0,34	62,25 $\pm$ 8,13	0,002 $\pm$ 0	3,75 $\pm$ 0,48	0,04 $\pm$ 0,01	3,64 $\pm$ 1,72
DNC	0,41 $\pm$ 0,07	0,04 $\pm$ 0,01	0,09 $\pm$ 0,02	5,54 $\pm$ 1,35	6,15 $\pm$ 1,23	0,003 $\pm$ 0,001	2,65 $\pm$ 0,42	0,05 $\pm$ 0,03	8,31 $\pm$ 4,04
DNPI	0,62 $\pm$ 0,18	0,03 $\pm$ 0,01	0,054 $\pm$ 0,004	14,54 $\pm$ 3,2	64,36 $\pm$ 11,22	0,002 $\pm$ 0,001	4,54 $\pm$ 0,98	0,03 $\pm$ 0,01	30,16 $\pm$ 3,84
DNU	0,3 $\pm$ 0,03	0,036 $\pm$ 0,006	0,02 $\pm$ 0,01	0,77 $\pm$ 0,43	11,04 $\pm$ 2,11	0,002 $\pm$ 0	3,94 $\pm$ 0,73	0,03 $\pm$ 0,01	25,27 $\pm$ 2,65
DNG	0,08 $\pm$ 0,01	0,028 $\pm$ 0,006	0,42 $\pm$ 0,09	0,63 $\pm$ 0,1	58,32 $\pm$ 13,29	0,001 $\pm$ 0	3,65 $\pm$ 0,77	0,05 $\pm$ 0,01	14,5 $\pm$ 2,67

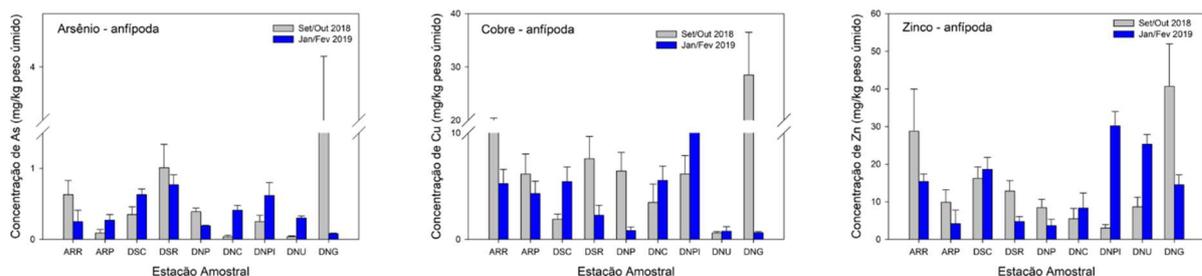
Com base nas concentrações dos diferentes metais nos anfípodas, observamos que, em geral, Fe e Mn foram mais altos, na maioria das estações amostrais na campanha 2 (Jan/Fev 2019). A bioacumulação de manganês (Mn) foi marcadamente maior em 7 das 10 estações amostrais, sendo: ARP (Putiri), DSC (Comboios), DSR (Regência), DNP (Povoação), DNC (Cacimbas) DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri), embora os maiores picos desse metal nos indivíduos tenham sido na campanha 1 em DNPI (8,57 ± 4,12 mg/kg peso úmido) e ARR (8,37 ± 4,63 mg/kg peso úmido). O ferro (Fe) também apresentou níveis mais elevados na campanha 2 (Jan/Fev 2019), quando comparado com a campanha 1 (Set/Out 2018), nos indivíduos dos pontos ARR (Refúgio), DSC (Comboios), DSR (Regência), DNP (Povoação), DNPI (Pontal do Ipiranga) e DNG (Guriri). Inclusive, as maiores concentrações foram encontradas na campanha 2 em DNPI (64,36 ± 11,22 mg/kg peso úmido) (Figura 352).

Figura 352: Concentração de Ferro (Fe) e Manganês (Mn) (mg/kg de peso úmido) em anfípodas nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



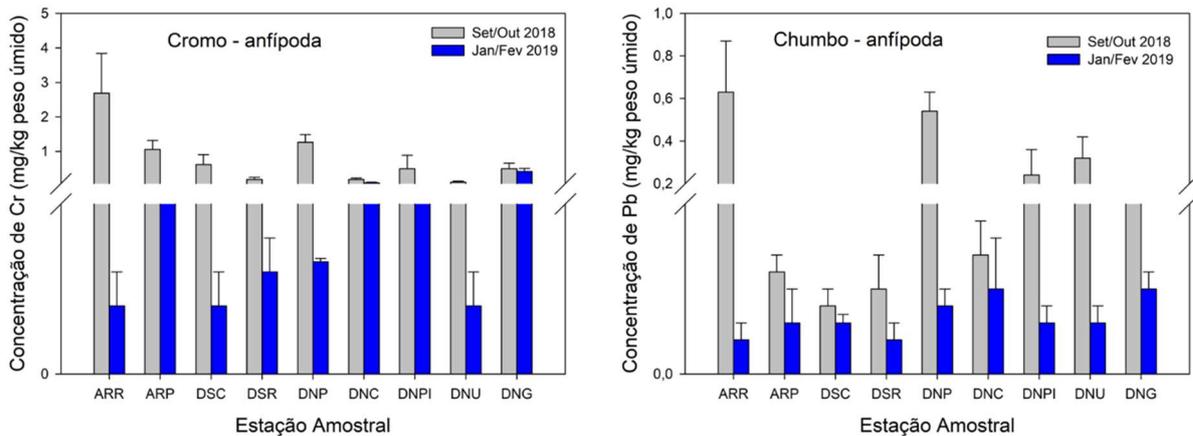
Os níveis de As, Cu e Zn foram elevados nos anfípodas amostrados em DNG durante a campanha 1 (Figura 353).

Figura 353: Concentração de Arsênio (As), Cobre (Cu) e Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) em anfípodas nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



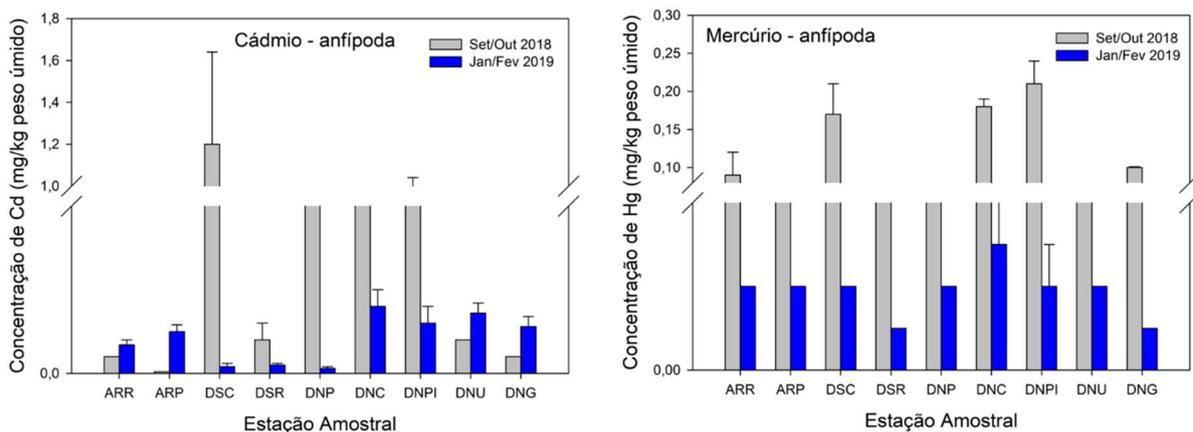
Observou-se, concentrações elevadas de Cr e Pb nos anfípodas, na estação amostral ARR, durante a campanha 1 (Figura 354).

Figura 354: Concentração de Cromo (Cr) e Chumbo (Pb) (mg/kg de peso úmido) em anfípodas nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



As concentrações de Cd e Hg em anfípodas foram mais altas na campanha 1, em DSC e DNPI, respectivamente (Figura 355).

Figura 355: Concentração de Cádmio (Cd) e Mercúrio (Hg) (mg/kg de peso úmido) em anfípodas nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



Os dados foram submetidos à Análise de Componentes Principais (PCA), onde as setas apresentam as *variáveis* utilizadas na análise e a concentração dos metais na matriz avaliada. Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise (pontos amostrais).

A PCA realizada, utilizando como variáveis as concentrações dos metais Fe, Cr, Mn, Pb, Cd, Hg, Cu, Zn e As, nos anfípodas coletados nas duas campanhas, ao longo dos pontos amostrais, sumarizou

57,9% da variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões (Figura 356 e Tabela 136). O Componente Principal 1 sumarizou 32,3% dos dados. O Componente Principal 2 sumarizou 25,6% dos dados.

Figura 356: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais nos anfípodos (anfip). Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência); DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri) e amostrados durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2).

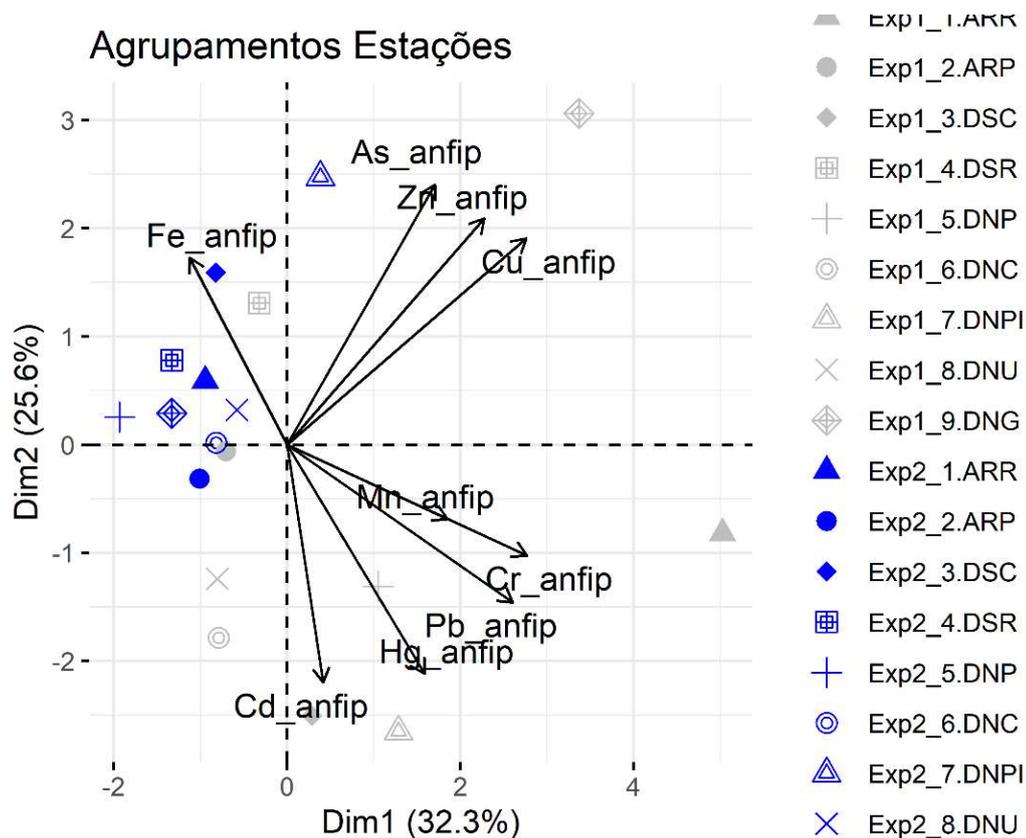


Tabela 136: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 356

	Auto Valor	Percentual de Variância	Percentual de Variância Acumulativa
Dim.1	2,908297	32,31442	32,31442
Dim.2	2,302487	25,58318	57,8976
Dim.3	1,254836	13,94262	71,84022
Dim.4	1,020365	11,33739	83,17761
Dim.5	0,54331	6,036773	89,21439
Dim.6	0,363108	4,034537	93,24892
Dim.7	0,331752	3,686134	96,93506
Dim.8	0,176737	1,963742	98,8988
Dim.9	0,099108	1,101202	100

De acordo com a Figura 357, as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos, ao longo do PC1, foram os metais Cr, Cu e Pb. Ainda, os indivíduos (Figura 358) que mais contribuíram para os agrupamentos estão associados, principalmente, às localidades ARR e DNG, ressaltando as maiores concentrações desses metais nos anfípodas, nos dois pontos mencionados para a campanha 1.

Figura 357: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente.

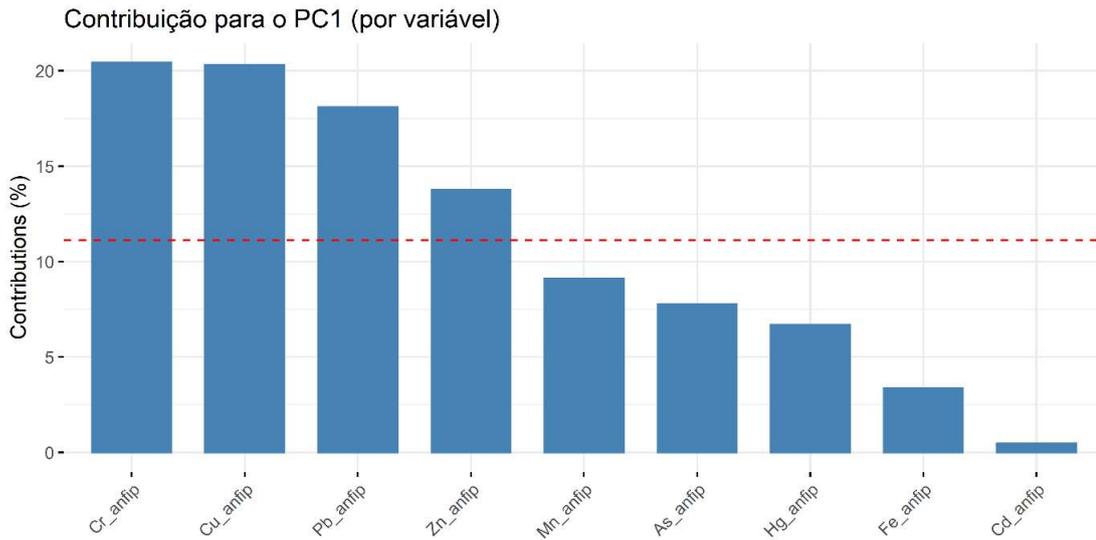
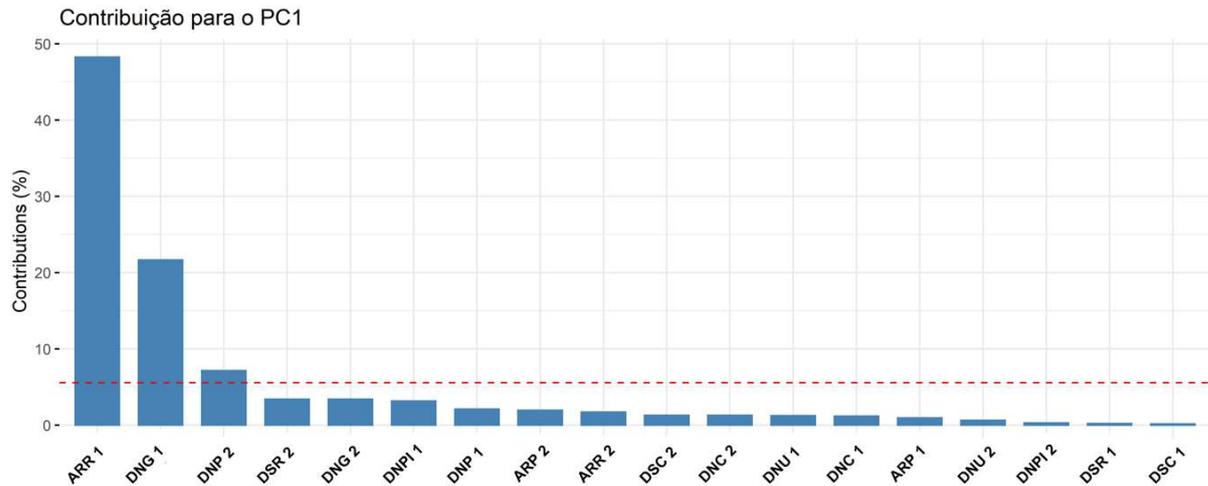


Figura 358: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.



Os metais As, Cd, Hg e Zn foram as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos observados ao longo do PC2 (Figura 359), que por sua vez foi influenciado por indivíduos associados aos pontos DSC, DNG e DNPI (Figura 360). Encontramos, de fato, de acordo com a Tabela 134 e a Tabela 135, as maiores concentrações de As e Zn, nos anfípodas de DNG (Figura 353), Cd em DSC (Comboios) e Hg em DNPI (Pontal do Ipiranga) (Figura 355) na Campanha 1, enquanto na Campanha 2, os anfípodas de DNPI apresentaram as maiores concentrações de Zn (Figura 353 e Tabela 135).

Figura 359: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente.

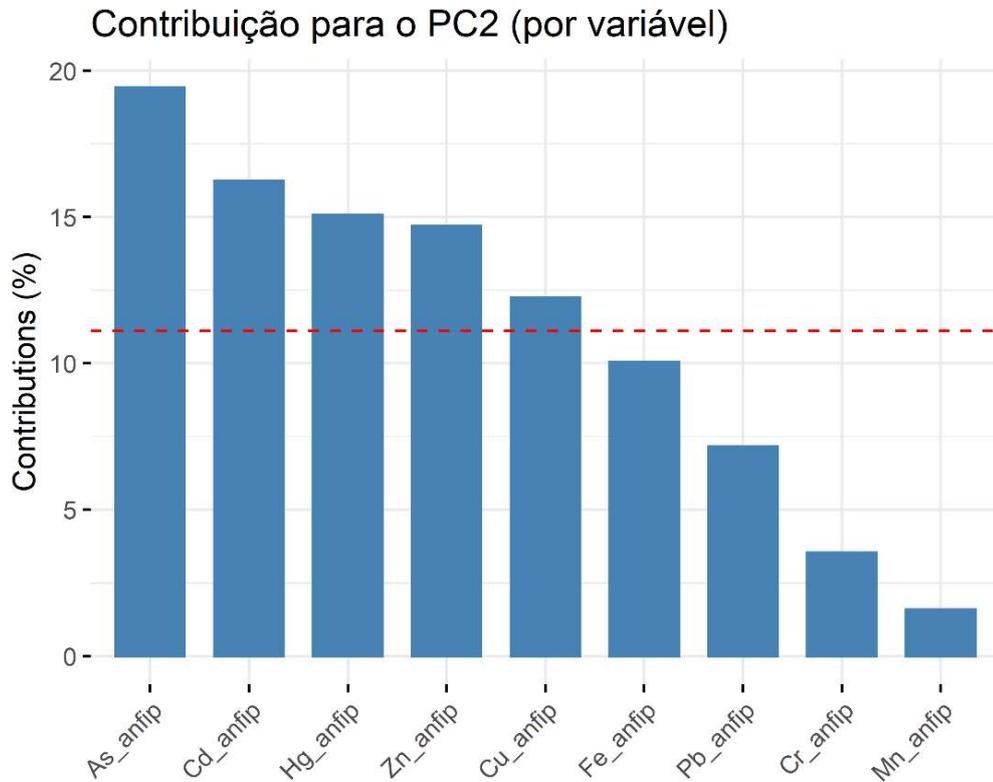
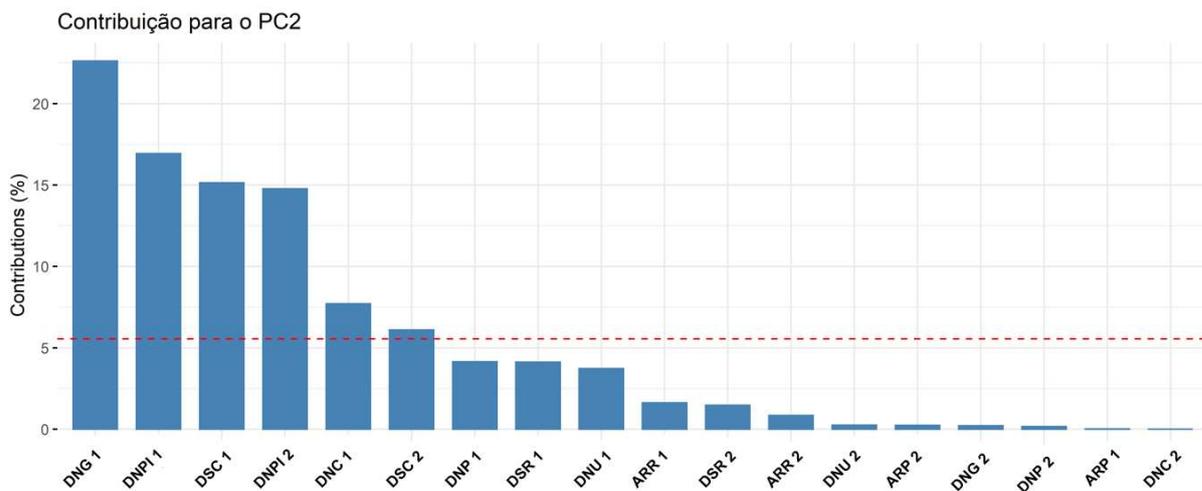


Figura 360: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/20 = 5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.



Em vista da falta de dados pretéritos ao rompimento da barragem, para comparações com os dados do ecossistema praiar, realizou-se comparações com os níveis de metais encontrados na literatura. De modo geral, para as concentrações de metais em anfípodos encontrados na literatura, a concentração de Cd, Cu, Pb e Zn nos anfípodos coletados foram menores em todos os pontos quando comparados ao referenciado pela literatura, em ambientes considerados contaminados por diferentes fontes (Shuhaimi-Othman et al., 2006).

#### 3.3.4.2 Concentração de metais em isópodos

A Tabela 137 e a Tabela 138 resumizam os resultados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) mensurados nos isópodos (*Excirolana sp.*), coletados nas estações amostrais do ambiente praiar durante a campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019), respectivamente. Na campanha 2, não foram encontrados/coletados isópodos no ponto DSR (Regência).

Tabela 137: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média  $\pm$  erro padrão) em amostras de isópodas ( $n=5$ , mg/kg de peso úmido) coletados nas estações amostrais do ambiente praial durante a Campanha 1 (Set/Out 2018).

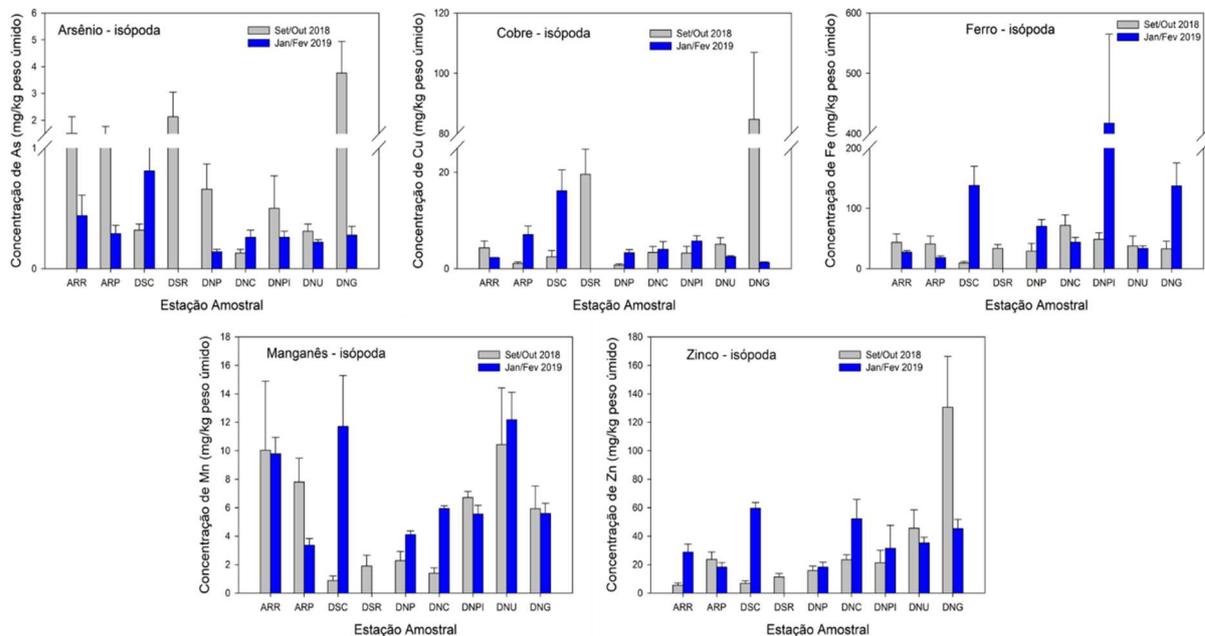
Isópodas - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)									
Ponto	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
	mg/kg peso úmido								
ARR	1,52 $\pm$ 0,61	0,28 $\pm$ 0,12	9,82 $\pm$ 5,54	4,34 $\pm$ 1,41	43,68 $\pm$ 13,8	0,39 $\pm$ 0,1	10,03 $\pm$ 4,86	0,66 $\pm$ 0,29	5,54 $\pm$ 1,57
ARP	1,42 $\pm$ 0,35	0,08 $\pm$ 0,02	1,67 $\pm$ 0,62	1,11 $\pm$ 0,28	40,88 $\pm$ 13,18	0,31 $\pm$ 0,05	7,8 $\pm$ 1,68	0,37 $\pm$ 0,1	23,76 $\pm$ 5,13
DSC	0,32 $\pm$ 0,05	0,1 $\pm$ 0,04	0,32 $\pm$ 0,12	2,47 $\pm$ 1,32	9,28 $\pm$ 2,7	0,007 $\pm$ 0,002	0,89 $\pm$ 0,31	0,08 $\pm$ 0,05	6,75 $\pm$ 1,89
DSR	2,13 $\pm$ 0,92	0,01 $\pm$ 0	0,05 $\pm$ 0,01	19,57 $\pm$ 5,22	33,69 $\pm$ 6,44	0,02 $\pm$ 0,002	1,9 $\pm$ 0,76	0,92 $\pm$ 0,26	11,44 $\pm$ 2,27
DNP	0,66 $\pm$ 0,21	0,31 $\pm$ 0,14	0,34 $\pm$ 0,14	0,75 $\pm$ 0,3	29,17 $\pm$ 12,77	0,27 $\pm$ 0,16	2,28 $\pm$ 0,65	0,21 $\pm$ 0,1	15,8 $\pm$ 3,2
DNC	0,13 $\pm$ 0,03	0,18 $\pm$ 0,07	0,33 $\pm$ 0,04	3,38 $\pm$ 1,22	72,17 $\pm$ 17,18	0,37 $\pm$ 0,06	1,39 $\pm$ 0,38	0,25 $\pm$ 0,1	23,43 $\pm$ 3,54
DNPI	0,5 $\pm$ 0,27	0,06 $\pm$ 0,03	0,41 $\pm$ 0,15	3,26 $\pm$ 1,39	48,66 $\pm$ 11,04	0,12 $\pm$ 0,06	6,71 $\pm$ 0,43	0,25 $\pm$ 0,08	21,34 $\pm$ 8,75
DNU	0,31 $\pm$ 0,06	0,14 $\pm$ 0,05	0,42 $\pm$ 0,15	5,07 $\pm$ 1,35	37,9 $\pm$ 16,19	0,25 $\pm$ 0,05	10,44 $\pm$ 3,97	0,22 $\pm$ 0,05	45,54 $\pm$ 12,91
DNG	3,76 $\pm$ 1,18	0,02 $\pm$ 0	0,61 $\pm$ 0,26	84,72 $\pm$ 22,22	32,95 $\pm$ 12,67	0,23 $\pm$ 0,03	5,94 $\pm$ 1,58	0,27 $\pm$ 0,05	130,56 $\pm$ 35,68

Tabela 138: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média  $\pm$  erro padrão) em amostras de isópodas ( $n=5$ , mg/kg de peso úmido) coletados nas estações amostrais do ambiente praiado durante a Campanha 2 (Jan/Fev 2019).

Isópodas - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
ARR	2	0,44 $\pm$ 0,17	0,07 $\pm$ 0,02	0,04 $\pm$ 0,01	2,28 $\pm$ 0,05	27,23 $\pm$ 3,15	0,004 $\pm$ 0,001	9,79 $\pm$ 1,15	0,025 $\pm$ 0,002	28,85 $\pm$ 5,61
ARP	5	0,29 $\pm$ 0,07	0,013 $\pm$ 0,004	0,07 $\pm$ 0,02	7,06 $\pm$ 1,8	18,3 $\pm$ 3,12	0,002 $\pm$ 0	3,35 $\pm$ 0,49	0,022 $\pm$ 0,006	18,29 $\pm$ 3,13
DSC	5	0,81 $\pm$ 0,19	0,025 $\pm$ 0,005	0,09 $\pm$ 0,03	16,14 $\pm$ 4,32	138 $\pm$ 32,12	0,005 $\pm$ 0,001	11,71 $\pm$ 3,58	0,17 $\pm$ 0,05	59,6 $\pm$ 4,05
DNP	5	0,14 $\pm$ 0,02	0,01 $\pm$ 0,002	0,05 $\pm$ 0,01	3,31 $\pm$ 0,66	70,19 $\pm$ 11,39	0,002 $\pm$ 0	4,11 $\pm$ 0,26	0,05 $\pm$ 0,02	18,24 $\pm$ 3,53
DNC	5	0,26 $\pm$ 0,06	0,03 $\pm$ 0,01	0,09 $\pm$ 0,03	4,02 $\pm$ 1,59	43,86 $\pm$ 8,2	0,004 $\pm$ 0	5,95 $\pm$ 0,19	0,08 $\pm$ 0,05	52,29 $\pm$ 13,5
DNPI	5	0,26 $\pm$ 0,05	0,015 $\pm$ 0,005	0,15 $\pm$ 0,08	5,74 $\pm$ 1,11	417,38 $\pm$ 147,76	0,003 $\pm$ 0	5,56 $\pm$ 0,61	0,05 $\pm$ 0,01	31,43 $\pm$ 16,21
DNU	5	0,22 $\pm$ 0,02	0,05 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,02	2,49 $\pm$ 0,21	33,69 $\pm$ 4,44	0,003 $\pm$ 0,001	12,18 $\pm$ 1,92	0,06 $\pm$ 0,01	35,24 $\pm$ 4,01
DNG	5	0,28 $\pm$ 0,07	0,04 $\pm$ 0,01	0,03 $\pm$ 0,01	1,33 $\pm$ 0,1	137,23 $\pm$ 38,19	0,002 $\pm$ 0	5,59 $\pm$ 0,72	0,04 $\pm$ 0,01	45,31 $\pm$ 6,44

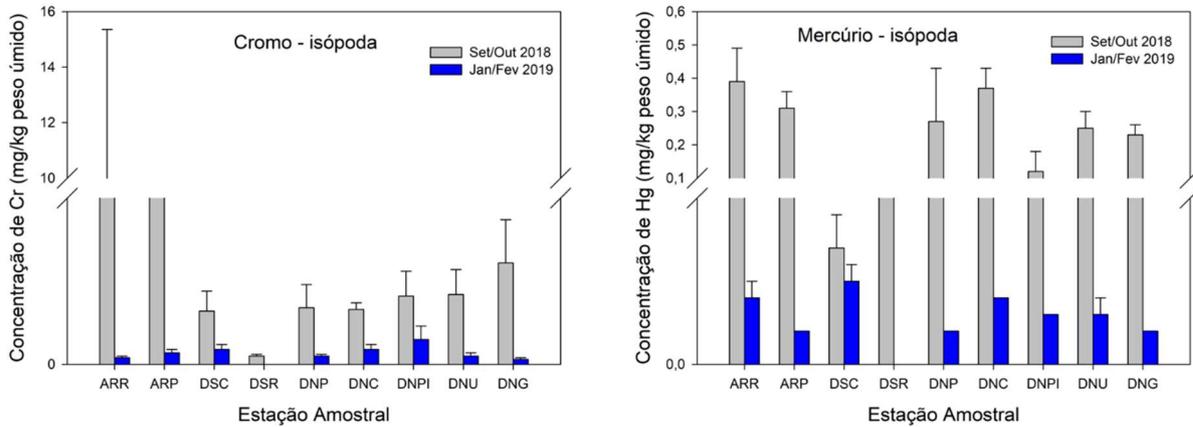
Com base nas concentrações dos diferentes metais nos isópoda (*Excirolana sp.*), o mais notável, comparando-se as diferenças entre as duas campanhas de monitoramento do ambiente praial, é que, os indivíduos do ponto DSC (Comboios) apresentaram as maiores concentrações de As, Cu, Mn e Zn, além do Fe que, também, mostraram um incremento em relação à campanha 1 (Figura 361). Cabe salientar que o ponto DSC está inserido na UC Reserva Biológica de Comboios. Inclusive, é importante ressaltar que os metais Fe e Mn apresentaram, assim como nos anfípoda, aumento na campanha 2, em diversos pontos em relação à campanha 1, com um pico de Mn ocorrendo em DSC ( $11,71 \pm 3,58$  mg/kg de peso úmido) e os maiores valores de Fe em DNPI ( $417,38 \pm 147,76$  mg/kg de peso úmido). Os maiores valores de As, Cu e Zn nos isópoda são relatados no ponto DNG (Figura 361).

Figura 361: Concentração de Arsênio (As), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) em isópoda nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



No ponto ARR (Figura 362), encontramos as maiores concentrações de Cr e Hg nos isópoda.

Figura 362: Concentração de Cromo (Cr) e Mercúrio (Hg) (mg/kg de peso úmido) em isópodas nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



A PCA realizada utilizando como variáveis as concentrações dos metais Fe, Cr, Mn, Pb, Cd, Hg, Cu, Zn e As nos isópodas coletados nas duas campanhas, ao longo dos pontos amostrais, sumarizou 61,4% da variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões (Figura 363 e Tabela 139). O Componente Principal 1 sumarizou 32,2% dos dados, enquanto o Componente Principal 2 29,2% dos dados.

Figura 363: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais nos isópodos (isop). Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência); DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri) e amostrados durante a campanha 1 (Exp1) e a campanha 2 (Exp2).

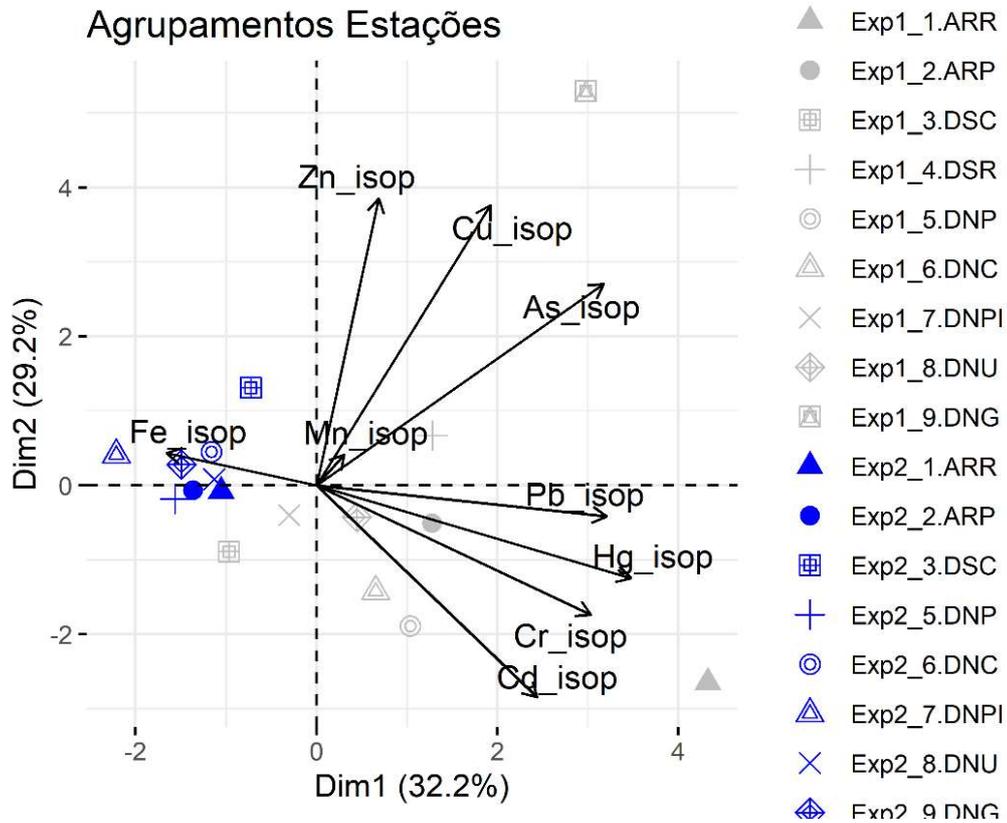


Tabela 139: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 363.

	Auto Valor	Percentual de Variância	Percentual de Variância Acumulativa
Dim.1	2,897999	32,19999	32,19999
Dim.2	2,627158	29,19065	61,39063
Dim.3	1,219583	13,55092	74,94156
Dim.4	0,90304	10,03378	84,97533
Dim.5	0,81109	9,012108	93,98744
Dim.6	0,300829	3,342542	97,32998
Dim.7	0,149816	1,66462	98,9946
Dim.8	0,062586	0,695404	99,69001
Dim.9	0,027899	0,309991	100

De acordo com a Figura 364, as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos, ao longo do PC1, foram os metais Hg, Pb e As, e os indivíduos (Figura 365) que mais contribuíram para os agrupamentos estão associados, principalmente, as localidades ARR e DNG.

Figura 364: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente.

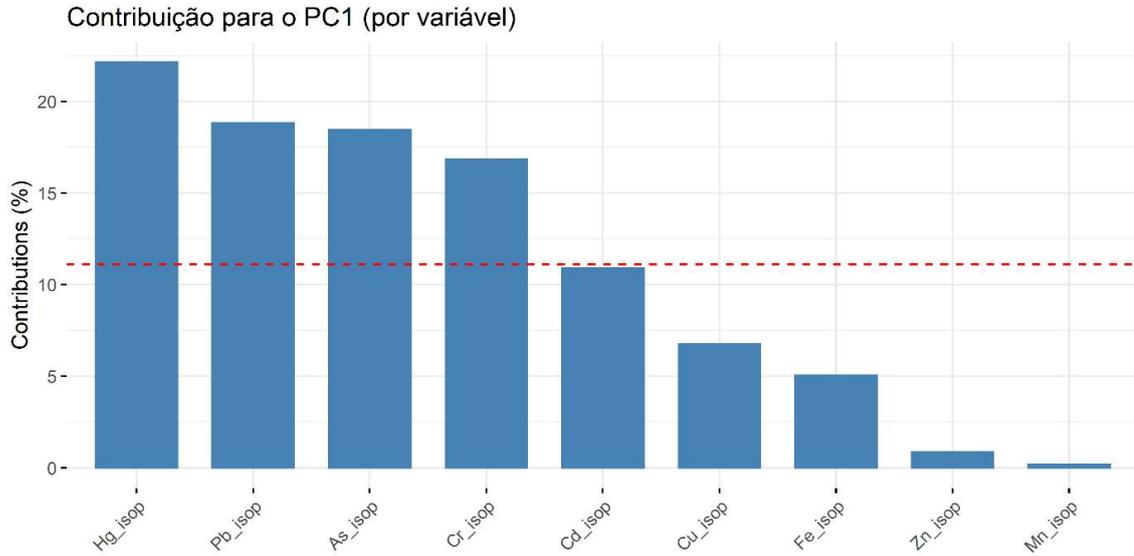
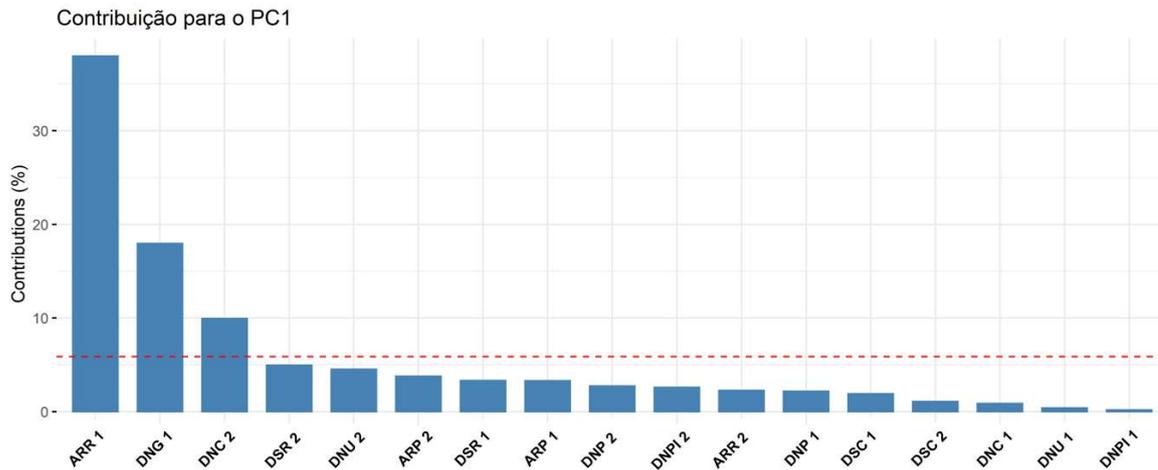


Figura 365: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/17 = 5,8\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.



Os metais Cu e Zn foram as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos observados ao longo do PC2 (Figura 366), que por sua vez também foi influenciado por indivíduos associados ao ponto DNG (Figura 367). Com as maiores concentrações de Cu e Zn nos isópodos coletados em Guriri (DNG), na campanha 1 (Figura 367).

Figura 366: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente.

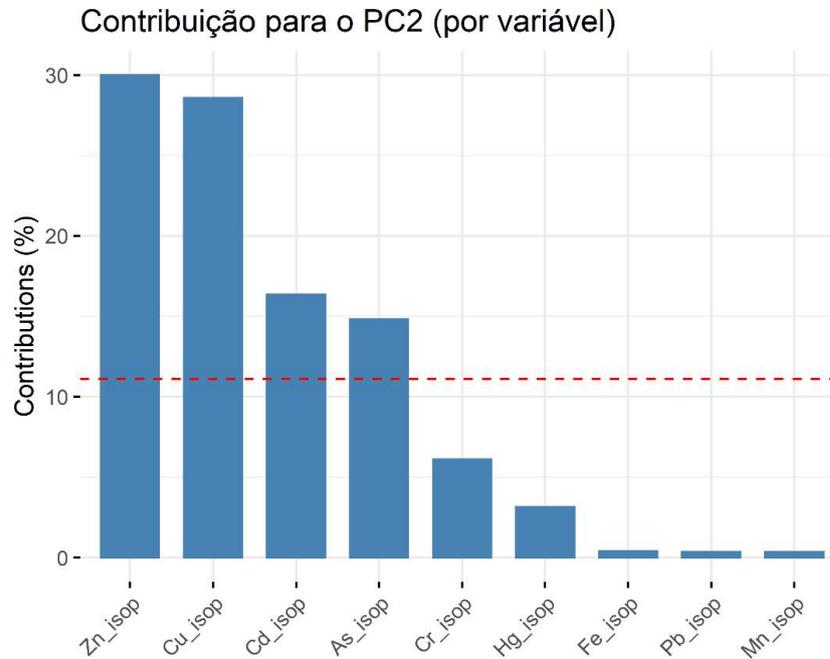
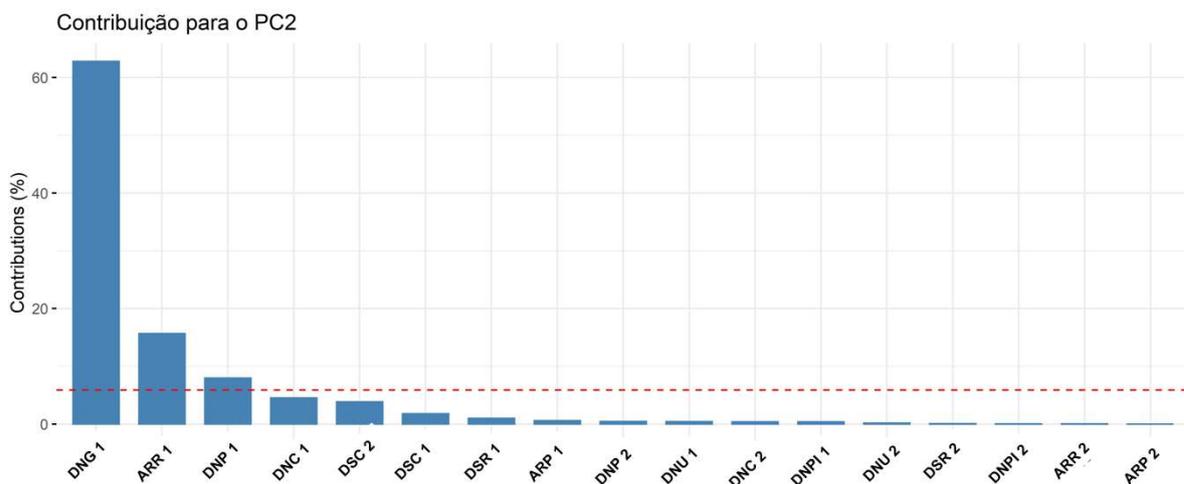


Figura 367: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/17 = 5,8\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.



#### 3.3.4.3 Concentração de metais em poliquetas

A Tabela 140 e a Tabela 141 resumizam os resultados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn), mensurados nos poliquetas coletados nas estações amostrais do ambiente praial, durante a campanha 1 (Set/Out 2018) e campanha 2 (Jan/Fev 2019), respectivamente. Diferentemente dos demais componentes da biota, os poliquetas não foram encontrados/coletados em todos os pontos, e na Campanha 2 coletou-se apenas indivíduos em dois locais, devido à dificuldade em encontra-los.

Tabela 140: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média  $\pm$  erro padrão) em amostras de poliquetas (mg/kg de peso úmido) coletados nas estações amostrais do ambiente praial durante a campanha 1 (Set/Out 2018).

Poliquetas - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)										
Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
ARR	3	2,29 $\pm$ 0,78	0,46 $\pm$ 0,33	12,62 $\pm$ 7,84	19,29 $\pm$ 4,63	17,94 $\pm$ 4,17	0,38 $\pm$ 0,06	16,58 $\pm$ 6,39	1,15 $\pm$ 0,49	5,51 $\pm$ 0,87
ARP	5	1,34 $\pm$ 0,4	1,07 $\pm$ 0,84	2,02 $\pm$ 0,66	23,44 $\pm$ 10,75	54,39 $\pm$ 10,97	0,38 $\pm$ 0,1	10,95 $\pm$ 2,45	0,23 $\pm$ 0,11	100,48 $\pm$ 25,51
DSC	5	3,49 $\pm$ 1,48	0,25 $\pm$ 0,18	0,45 $\pm$ 0,14	13,31 $\pm$ 5,17	28,13 $\pm$ 7,52	0,76 $\pm$ 0,38	27 $\pm$ 11,09	1,75 $\pm$ 0,64	18,46 $\pm$ 5,07
DNP	6	5,91 $\pm$ 1,73	3,41 $\pm$ 1,64	10,56 $\pm$ 3,33	9,61 $\pm$ 2,25	73,42 $\pm$ 12,36	2,37 $\pm$ 0,51	37,43 $\pm$ 10,31	1,23 $\pm$ 0,42	102,72 $\pm$ 32,02
DNC	4	3,54 $\pm$ 0,83	0,44 $\pm$ 0,39	0,39 $\pm$ 0,13	53,7 $\pm$ 9,69	25,51 $\pm$ 5,91	0,44 $\pm$ 0,14	13,39 $\pm$ 4,19	0,12 $\pm$ 0,07	22,81 $\pm$ 6,02
DNPI	4	2,75 $\pm$ 0,56	0,79 $\pm$ 0,44	0,63 $\pm$ 0,1	3,43 $\pm$ 1,14	51,08 $\pm$ 14,51	0,44 $\pm$ 0,15	6,88 $\pm$ 1,8	0,31 $\pm$ 0,15	40,62 $\pm$ 10,78
DNU	5	5,64 $\pm$ 2,16	0,81 $\pm$ 0,49	2,1 $\pm$ 0,99	25,33 $\pm$ 8,04	180,71 $\pm$ 45,12	0,17 $\pm$ 0,06	38,44 $\pm$ 17,42	0,61 $\pm$ 0,17	197,11 $\pm$ 83,63

Tabela 141: Concentração dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (média  $\pm$  erro padrão) em amostras de poliquetas (mg/kg de peso úmido) coletados nas estações amostrais do ambiente praial durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019).

Poliquetas - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)										
Ponto	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
ARR	6	0,55 $\pm$ 0,14	0,09 $\pm$ 0,02	0,13 $\pm$ 0,02	43,34 $\pm$ 7,83	648,72 $\pm$ 66,39	0,005 $\pm$ 0,001	17,19 $\pm$ 3,4	0,04 $\pm$ 0,01	52,03 $\pm$ 14,08
DNG	2	0,2 $\pm$ 0,06	0,27 $\pm$ 0,01	1,56 $\pm$ 0,27	20,83 $\pm$ 2,03	277,21 $\pm$ 66,05	0,013 $\pm$ 0,001	39,31 $\pm$ 9,64	0,28 $\pm$ 0,02	97,74 $\pm$ 1,2

Devido à dificuldade de coletar poliquetas em todas as estações amostrais do monitoramento do ambiente praial, a única comparação possível entre os níveis de metais, nesses indivíduos, nas Campanhas 1 e 2, dá-se em Refúgio (ARR). Dessa forma, a bioacumulação de Cu, Fe e Zn nos poliquetas coletados, em Refúgio (ARR), foi maior na campanha 2 (Figura 368). Apesar disso, as maiores concentrações dos metais Cd, Cr, Hg, Mn e Pb nos poliquetas coletados na Campanha 2 foram encontradas em Guriri (DNG) (Figura 369).

Figura 368: Concentração de Cobre (Cu), Ferro (Fe), e Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) em poliquetas amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.

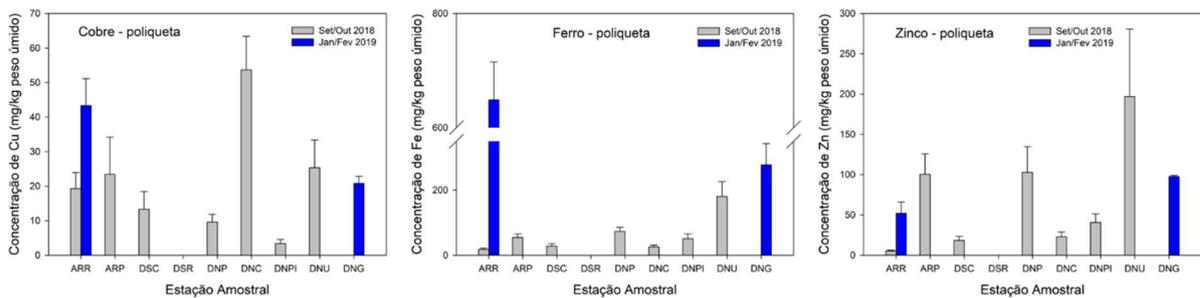
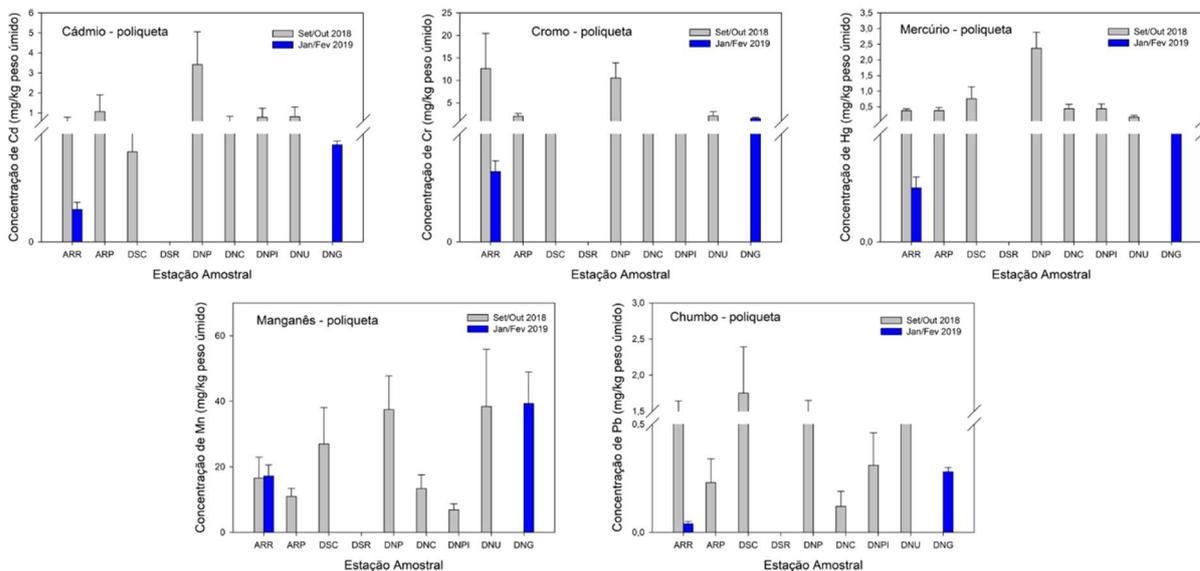


Figura 369: Concentração de Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn) e Chumbo (Pb) (mg/kg de peso úmido) em poliquetas amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



A PCA realizada utilizando como variáveis as concentrações dos elementos Fe, Cr, Mn, Pb, Cd, Hg, Cu, Zn e As nos poliquetas coletados nas duas campanhas, ao longo dos pontos amostrais, sumarizou 64,1% da variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões (Figura 370 e Tabela 142). O

Componente Principal 1 sumarizou 44,3% dos dados, quanto o Componente Principal 2 19,8% dos dados.

Figura 370: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais nos poliquetas (poli). Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência); DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri) e amostrados durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2).

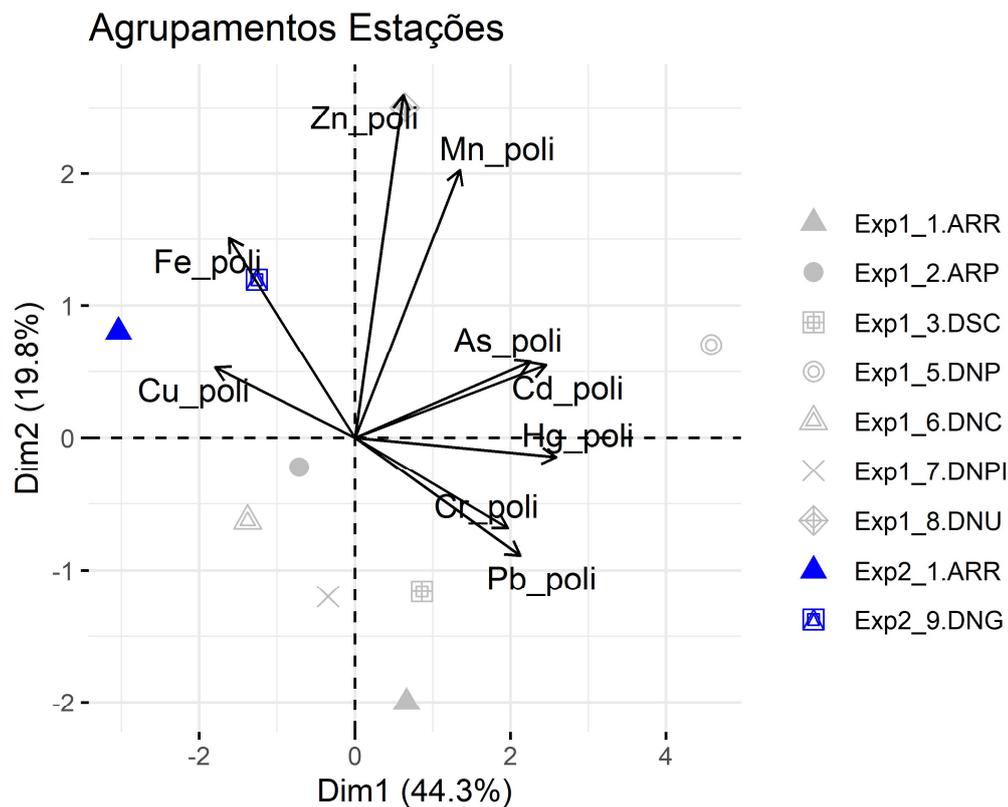


Tabela 142: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 370.

	Auto Valor	Percentual de Variância	Percentual de Variância Acumulativa
Dim.1	3,989863	44,33181	44,33181
Dim.2	1,784724	19,83027	64,16208
Dim.3	0,930087	10,3343	74,49638
Dim.4	0,828253	9,202808	83,69919
Dim.5	0,684371	7,60412	91,30331
Dim.6	0,477393	5,304364	96,60768
Dim.7	0,228356	2,537289	99,14496
Dim.8	0,076953	0,855036	100

De acordo com a Figura 371, as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos, ao longo do PC1, foram os metais Hg, Cd e As. Os indivíduos (Figura 372) que mais colaboraram para os

agrupamentos estão associados, principalmente, as localidades DNP (Campanha 1) e ARR (Campanha 2), evidenciando as maiores concentrações desses metais nos poliquetas nos dois pontos mencionados (Figura 373).

Figura 371: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente.

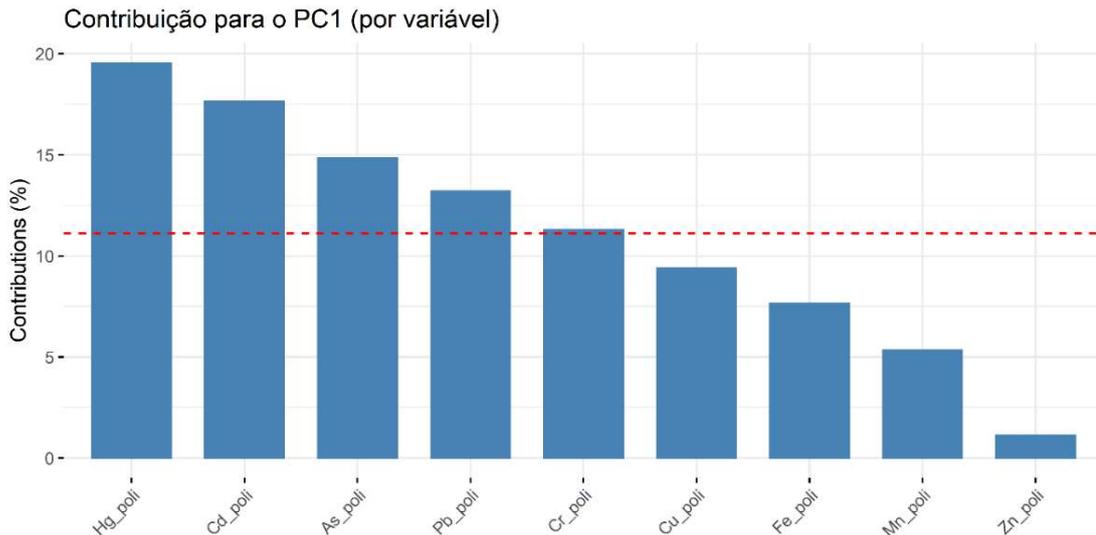


Figura 372: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/9 = 11,1\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.

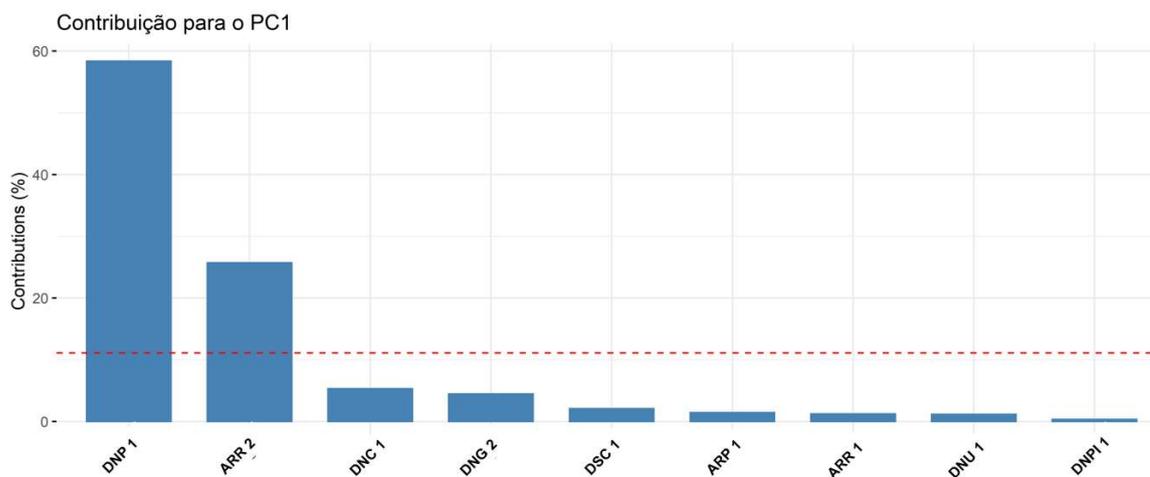
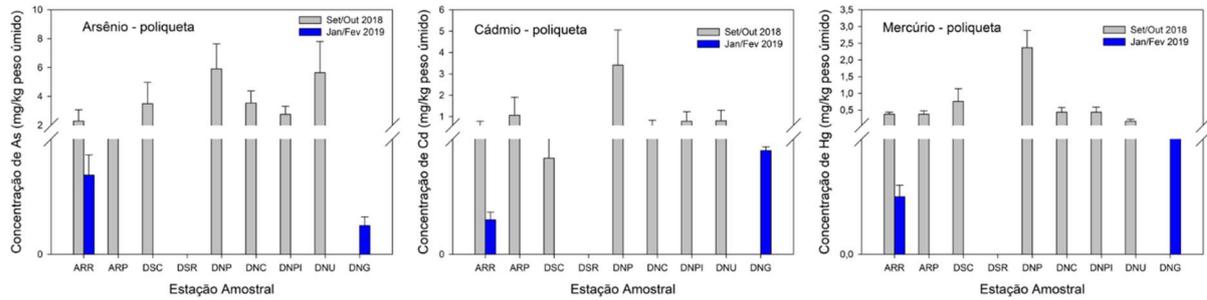


Figura 373: Concentração de Arsênio (As), Cádmiio (Cd) e Mercúrio (Hg) (mg/kg de peso úmido) em poliquetas nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



Os metais Zn e Mn foram as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos observados ao longo do PC2 (Figura 374), que por sua vez, influenciou-se, também, por indivíduos associados ao ponto DNU e ARR (Figura 375). Com as maiores concentrações de Mn e Zn nos poliquetas coletados em DNU (Urussuquara) na campanha 1 (Figura 376).

Figura 374: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria 1 / comprimento (variáveis) = 1/9 = 11,1%. Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente.

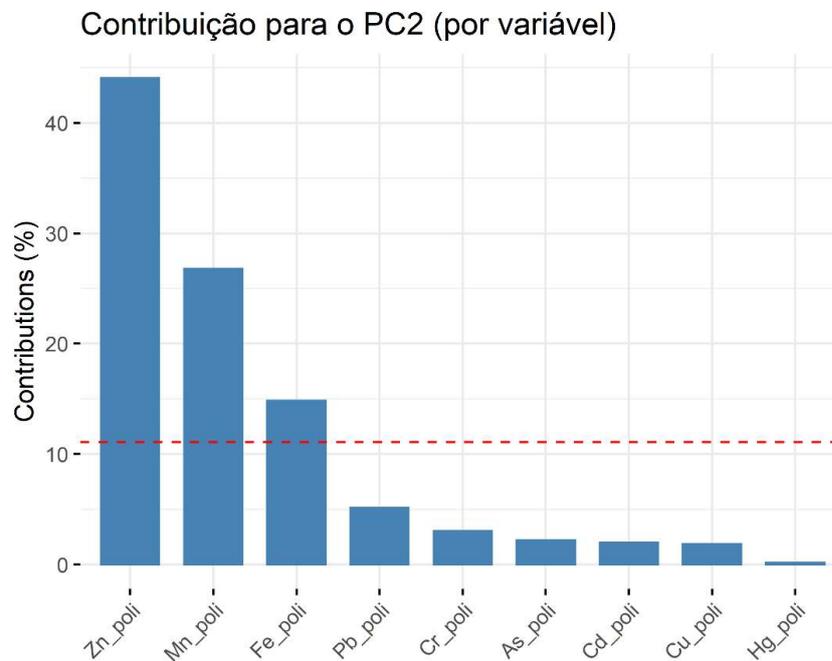


Figura 375: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria 1 / comprimento (variáveis) = 1/9 = 11,1%. Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.

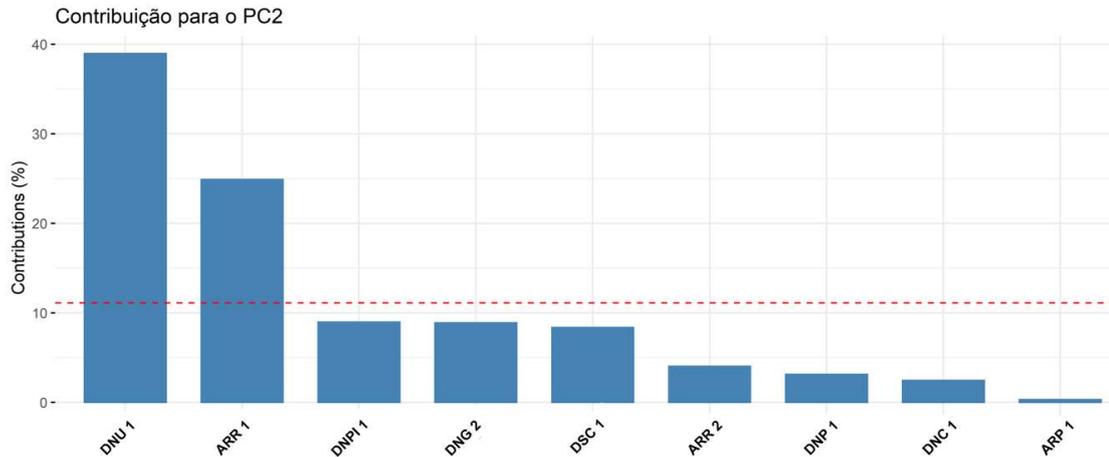
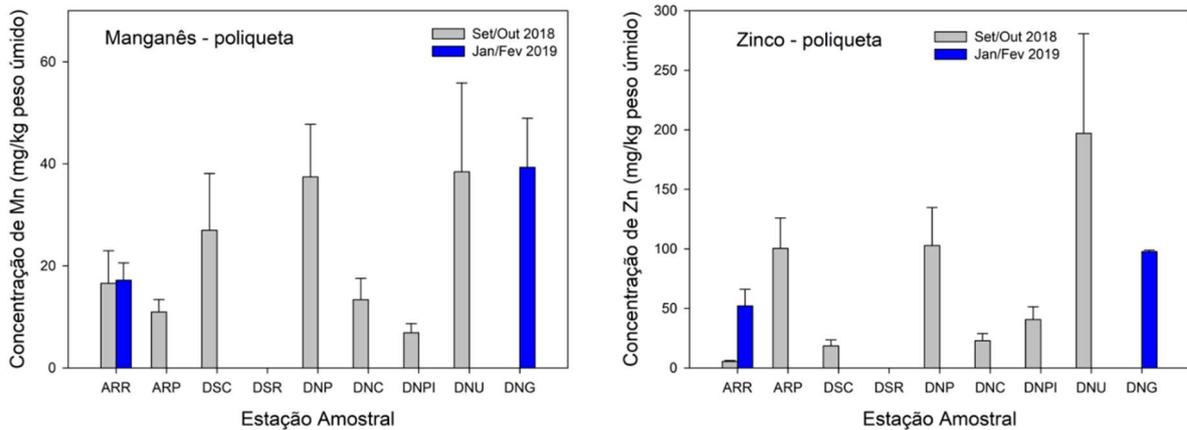


Figura 376: Concentração de Manganês (Mn) e Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) em poliquetas nos pontos amostrados na campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.



#### 3.3.4.4 Concentração de metais no caranguejo (*Ocypode quadrata*)

A Tabela 143 e a Tabela 144 resumam os resultados de concentração dos elementos Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) mensurados nos diferentes tecidos (brânquia, hepatopâncreas e músculo) dos caranguejos coletados nas estações amostrais do ambiente praial, durante a Campanha 1 e Campanha 2, respectivamente.

Tabela 143: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn em diferentes tecidos (T) (B = brânquia, H = hepatopâncreas, M = músculo) de caranguejos (*Ocypode quadrata*) coletados na campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados foram expressos em média  $\pm$  erro padrão.

Caranguejo - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)											
Ponto	T	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
			mg/kg peso úmido								
ARR	B	6	0,09 $\pm$ 0,03	0,03 $\pm$ 0,02	0,46 $\pm$ 0,3	5,46 $\pm$ 3,8	20,92 $\pm$ 8,68	0,019 $\pm$ 0,004	1,4 $\pm$ 0,97	0,02 $\pm$ 0	115,48 $\pm$ 115,2
	H	6	1,13 $\pm$ 0,67	0,02 $\pm$ 0	0,6 $\pm$ 0,17	9,4 $\pm$ 5,29	18,89 $\pm$ 6,46	0,08 $\pm$ 0,03	2,32 $\pm$ 0,76	0,29 $\pm$ 0,24	12,04 $\pm$ 3,79
	M	6	1,88 $\pm$ 1,23	0,02 $\pm$ 0,01	0,18 $\pm$ 0,13	3,3 $\pm$ 1,23	4,64 $\pm$ 1,13	0,009 $\pm$ 0,003	1,55 $\pm$ 1,02	0,02 $\pm$ 0	3,54 $\pm$ 1,6
ARP	B	5	0,84 $\pm$ 0,64	0,003 $\pm$ 0	4,42 $\pm$ 3,38	1,27 $\pm$ 0,42	3,61 $\pm$ 1,35	0,09 $\pm$ 0,05	2,27 $\pm$ 1,59	0,04 $\pm$ 0	0,72 $\pm$ 0,53
	H	5	0,19 $\pm$ 0,16	0,11 $\pm$ 0,09	1,84 $\pm$ 0,71	1,84 $\pm$ 0,76	3,87 $\pm$ 1,17	0,24 $\pm$ 0,13	2,89 $\pm$ 1,84	0,11 $\pm$ 0,07	5,88 $\pm$ 1,92
	M	6	0,22 $\pm$ 0,1	0,02 $\pm$ 0,01	2,11 $\pm$ 0,8	1,95 $\pm$ 0,77	3,33 $\pm$ 0,93	0,04 $\pm$ 0,01	0,38 $\pm$ 0,1	0,06 $\pm$ 0,03	1,66 $\pm$ 0,36
DSC	B	6	1 $\pm$ 0,24	0,1 $\pm$ 0,02	1,71 $\pm$ 1,11	6,2 $\pm$ 0,45	16,55 $\pm$ 7,16	0,06 $\pm$ 0,04	5,42 $\pm$ 1,91	0,32 $\pm$ 0,11	72,8 $\pm$ 54,18
	H	6	1,94 $\pm$ 0,64	0,38 $\pm$ 0,09	0,91 $\pm$ 0,31	7,29 $\pm$ 2,6	32,12 $\pm$ 7,53	0,13 $\pm$ 0,09	7,98 $\pm$ 3,56	1,24 $\pm$ 1,08	34,72 $\pm$ 14,37
	M	6	1,35 $\pm$ 0,4	0,15 $\pm$ 0,08	0,28 $\pm$ 0,07	3,14 $\pm$ 0,94	8,82 $\pm$ 2,42	0,01 $\pm$ 0,01	3,06 $\pm$ 0,92	0,08 $\pm$ 0,05	19,38 $\pm$ 3
DSR	B	6	1,61 $\pm$ 0,72	0,28 $\pm$ 0,09	0,22 $\pm$ 0,12	14,18 $\pm$ 8,14	22,96 $\pm$ 8,39	0,009 $\pm$ 0,003	6,83 $\pm$ 2,87	1,46 $\pm$ 0,87	15,41 $\pm$ 4,35
	H	6	0,62 $\pm$ 0,2	0,24 $\pm$ 0,12	1,12 $\pm$ 1,06	8,2 $\pm$ 3,33	24,93 $\pm$ 7,35	0,06 $\pm$ 0,03	2,36 $\pm$ 1,47	0,84 $\pm$ 0,28	14,46 $\pm$ 4,62
	M	6	0,24 $\pm$ 0,07	0,09 $\pm$ 0,04	0,11 $\pm$ 0,04	4,43 $\pm$ 1,47	3,16 $\pm$ 0,85	0,01 $\pm$ 0,01	0,46 $\pm$ 0,1	0,26 $\pm$ 0,03	6,57 $\pm$ 2,16
DNP	B	5	0,15 $\pm$ 0,03	0,003 $\pm$ 0	0,43 $\pm$ 0,07	5,06 $\pm$ 1,25	33,46 $\pm$ 10,05	0,008 $\pm$ 0,001	0,42 $\pm$ 0,16	0,34 $\pm$ 0,09	8,4 $\pm$ 2,73
	H	6	2,76 $\pm$ 1,63	0,08 $\pm$ 0,05	1,24 $\pm$ 0,52	20,56 $\pm$ 12,37	31,82 $\pm$ 5,28	0,05 $\pm$ 0,03	0,63 $\pm$ 0,45	0,42 $\pm$ 0,17	14,9 $\pm$ 3,36
	M	6	0,41 $\pm$ 0,25	0,01 $\pm$ 0	0,81 $\pm$ 0,25	4,56 $\pm$ 1,43	3,21 $\pm$ 0,95	0,007 $\pm$ 0,001	1,18 $\pm$ 0,56	0,25 $\pm$ 0,1	5,5 $\pm$ 1,16
DNC	B	4	0,18 $\pm$ 0,01	0,08 $\pm$ 0,03	0,09 $\pm$ 0,03	2,32 $\pm$ 0,76	21,62 $\pm$ 6,68	0,06 $\pm$ 0,01	0,69 $\pm$ 0,31	0,08 $\pm$ 0,05	2,54 $\pm$ 0,73
	H	6	0,53 $\pm$ 0,19	0,15 $\pm$ 0,11	0,34 $\pm$ 0,18	58,16 $\pm$ 12,39	29,86 $\pm$ 7,84	0,3 $\pm$ 0,16	3,77 $\pm$ 2,11	0,13 $\pm$ 0,07	12,63 $\pm$ 2,92
	M	6	0,4 $\pm$ 0,1	0,13 $\pm$ 0,07	0,14 $\pm$ 0,08	1,63 $\pm$ 0,51	4,08 $\pm$ 1,11	0,05 $\pm$ 0,01	0,99 $\pm$ 0,45	0,06 $\pm$ 0,04	6,32 $\pm$ 2,13
DNPI	B	4	0,08 $\pm$ 0,05	0,18 $\pm$ 0,15	0,34 $\pm$ 0,04	14,98 $\pm$ 2,41	36,74 $\pm$ 13,59	0,06 $\pm$ 0,01	1,7 $\pm$ 1,06	0,17 $\pm$ 0,14	9,13 $\pm$ 4,29
	H	6	1,36 $\pm$ 1,12	0,29 $\pm$ 0,19	0,18 $\pm$ 0,07	30,11 $\pm$ 11,69	27,51 $\pm$ 7,03	0,11 $\pm$ 0,04	4,37 $\pm$ 1,49	0,29 $\pm$ 0,13	13,48 $\pm$ 3,25
	M	6	0,29 $\pm$ 0,24	0,17 $\pm$ 0,13	0,34 $\pm$ 0,12	2,34 $\pm$ 0,81	8,53 $\pm$ 2,21	0,02 $\pm$ 0,01	3,85 $\pm$ 1,49	0,11 $\pm$ 0,05	9,49 $\pm$ 2,76
DNU	B	5	0,19 $\pm$ 0,1	0,17 $\pm$ 0,16	0,77 $\pm$ 0,35	26,3 $\pm$ 13,68	21,12 $\pm$ 8,63	0,14 $\pm$ 0,1	1,95 $\pm$ 0,86	0,04 $\pm$ 0,01	12,42 $\pm$ 10,07

Caranguejo - Campanha 1 (Setembro/Octubre 2018)

Ponto	T	N	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
			mg/kg peso úmido								
	H	6	0,05 ± 0,01	0,02 ± 0,01	1,68 ± 0,84	21,98 ± 10,26	33,92 ± 13,37	0,16 ± 0,06	1,96 ± 0,41	0,16 ± 0,1	8,66 ± 2,5
	M	6	0,07 ± 0,04	0,04 ± 0,03	0,3 ± 0,13	0,98 ± 0,35	4,31 ± 1,87	0,02 ± 0,003	1,01 ± 0,41	0,02 ± 0	1,4 ± 0,29
DNG	B	6	0,03 ± 0	0,02 ± 0,01	0,32 ± 0,1	2,09 ± 1,12	21,38 ± 6,26	0,03 ± 0,01	2,51 ± 1,09	0,09 ± 0,06	81,09 ± 13,34
	H	6	0,63 ± 0,57	0,01 ± 0,01	1,31 ± 0,58	2,49 ± 1,61	107 ± 24,83	0,1 ± 0,03	5,79 ± 1,4	0,25 ± 0,11	40,21 ± 13,39
	M	6	0,04 ± 0,03	0,004 ± 0	0,15 ± 0,04	1,97 ± 1,6	10,23 ± 2,02	0,02 ± 0,002	0,48 ± 0,08	0,03 ± 0,01	3,44 ± 0,68

Tabela 144: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn em diferentes tecidos (T) (B = brânquia, H = hepatopâncreas, M = músculo) de caranguejos (*Ocypode quadrata*) coletados na campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados foram expressos em média ± erro padrão (n = 6).

Caranguejos - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
ARR	B	0,08 ± 0,04	0,019 ± 0,003	0,05 ± 0,02	45,49 ± 5,16	46,55 ± 4,84	0,001 ± 0	3,34 ± 0,53	0,005 ± 0,001	41,49 ± 8,47
	H	0,37 ± 0,08	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	33,46 ± 8,08	45,52 ± 9,52	0,001 ± 0	5,14 ± 0,74	0,008 ± 0,001	32,3 ± 3,64
	M	0,36 ± 0,06	0,01 ± 0,001	0,05 ± 0,03	15,31 ± 2,28	25,96 ± 5,52	0,003 ± 0	1,6 ± 0,18	0,005 ± 0,001	18,49 ± 2,74
ARP	B	0,13 ± 0,06	0,023 ± 0,005	0,06 ± 0,02	40,11 ± 5,83	13,96 ± 1,57	0,001 ± 0	3,27 ± 0,83	0,008 ± 0,002	8,1 ± 3,13
	H	0,61 ± 0,13	0,016 ± 0,004	0,1 ± 0,06	4,63 ± 1,42	11,37 ± 1,5	0,002 ± 0	3,72 ± 0,54	0,007 ± 0,001	3,63 ± 0,98
	M	0,5 ± 0,05	0,01 ± 0,002	0,04 ± 0,01	10,06 ± 1,8	4,43 ± 0,79	0,005 ± 0,001	1,42 ± 0,26	0,003 ± 0,001	6,9 ± 0,78
DSC	B	0,08 ± 0,03	0,005 ± 0,001	0,04 ± 0,01	26,19 ± 2,76	56,93 ± 10,08	0,001 ± 0	2,87 ± 0,19	0,024 ± 0,006	14,97 ± 2,75
	H	0,49 ± 0,17	0,1 ± 0,03	0,09 ± 0,06	62,24 ± 13,98	77,87 ± 18,46	0,005 ± 0,001	6,2 ± 1,03	0,1 ± 0,05	54,13 ± 13,81
	M	0,49 ± 0,06	0,009 ± 0,003	0,03 ± 0,01	15,42 ± 3,05	13,14 ± 2,18	0,011 ± 0,005	1,43 ± 0,26	0,02 ± 0,01	16,33 ± 1,73
DSR	B	0,04 ± 0,01	0,006 ± 0,001	0,021 ± 0,004	31,29 ± 5,05	22,52 ± 2,75	0,001 ± 0	1,89 ± 0,37	0,03 ± 0,01	55,04 ± 12,1
	H	1,55 ± 0,34	0,018 ± 0,005	0,04 ± 0,01	54,77 ± 11,6	83,06 ± 24,47	0,004 ± 0,001	4,59 ± 0,17	0,17 ± 0,12	43,06 ± 7,05
	M	0,56 ± 0,05	0,003 ± 0,001	0,04 ± 0,01	9,17 ± 1,62	21,94 ± 4,54	0,008 ± 0,003	0,96 ± 0,13	0,006 ± 0,001	23,33 ± 2,31

Caranguejos - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto	T	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		mg/kg peso úmido								
DNP	B	0,1 ± 0,01	0,006 ± 0,001	0,02 ± 0,01	35,42 ± 8,18	51,19 ± 6,54	0,002 ± 0	2,47 ± 0,35	0,04 ± 0,01	30,94 ± 6,66
	H	0,26 ± 0,07	0,024 ± 0,007	0,1 ± 0,03	47,07 ± 11,53	93,89 ± 14,93	0,004 ± 0	5,37 ± 0,43	0,06 ± 0,01	52,69 ± 8,91
	M	0,46 ± 0,09	0,005 ± 0,001	0,016 ± 0,005	7,73 ± 1,31	22,81 ± 4,48	0,005 ± 0,001	1,44 ± 0,25	0,02 ± 0,01	28,61 ± 2,12
DNC	B	0,24 ± 0,04	0,011 ± 0,002	0,029 ± 0,007	33,65 ± 10,59	35,44 ± 6,67	0,002 ± 0	2,78 ± 0,48	0,05 ± 0,01	22,61 ± 6,08
	H	0,62 ± 0,08	0,035 ± 0,005	0,02 ± 0,01	42,16 ± 7,33	24,04 ± 3,33	0,002 ± 0	3,83 ± 0,68	0,02 ± 0,01	44,2 ± 9,67
	M	0,29 ± 0,06	0,005 ± 0,001	0,03 ± 0,01	10,07 ± 2,13	4,37 ± 0,89	0,01 ± 0,004	1,34 ± 0,34	0,03 ± 0,01	20,31 ± 5,52
DNPI	B	0,07 ± 0,02	0,3 ± 0,1	0,1 ± 0,06	43,15 ± 7,76	16,52 ± 8	0,003 ± 0,001	3,78 ± 1,17	0,02 ± 0,01	30,18 ± 6,7
	H	0,42 ± 0,06	0,3 ± 0,1	0,04 ± 0,01	12,15 ± 3,14	11,62 ± 4,27	0,007 ± 0,005	4,69 ± 0,63	0,08 ± 0,03	34,9 ± 13,9
	M	0,16 ± 0,02	0,012 ± 0,002	0,04 ± 0,01	5,84 ± 0,59	3,83 ± 1,22	0,014 ± 0,007	1,22 ± 0,26	0,008 ± 0,002	20,36 ± 2,79
DNU	B	0,03 ± 0,01	0,1 ± 0,001	0,03 ± 0,01	32,49 ± 4,8	53,59 ± 9,92	0,001 ± 0	2,19 ± 0,55	0,011 ± 0,004	13,95 ± 2,52
	H	0,28 ± 0,06	0,012 ± 0,004	0,02 ± 0,01	52,46 ± 9,81	49,83 ± 10,12	0,004 ± 0,001	3,53 ± 0,8	0,017 ± 0,006	32,29 ± 9,23
	M	0,22 ± 0,02	0,011 ± 0,002	0,04 ± 0,01	7,81 ± 1,49	4,41 ± 0,88	0,004 ± 0,001	1,27 ± 0,23	0,006 ± 0,002	40,61 ± 4,66
DNG	B	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,002	0,02 ± 0,01	7,98 ± 1,27	23,94 ± 6,95	0,001 ± 0	1,45 ± 0,12	0,006 ± 0,001	38,78 ± 6,93
	H	0,04 ± 0,01	0,05 ± 0,02	0,03 ± 0,01	19,15 ± 3,76	55,09 ± 11,79	0,003 ± 0,001	5,33 ± 1,15	0,025 ± 0,005	24,58 ± 6,05
	M	0,12 ± 0,02	0,008 ± 0,001	0,017 ± 0,003	4,39 ± 1,32	21,16 ± 3,78	0 ± 0	0,77 ± 0,08	0,006 ± 0,001	33,95 ± 3,39

A PCA realizada, utilizando como variáveis as concentrações dos elementos Fe, Cr, Mn, Pb, Cd, Hg, Cu, Zn e As, nos caranguejos (*Ocypode quadrata*) coletados nas duas campanhas, ao longo dos pontos amostrais, sumarizou 48,4% da variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões. O Componente Principal 1 sumarizou 32,4% dos dados eoO Componente Principal 2 16% dos dados (Figura 377 e Tabela 145).

Figura 377: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais nos diferentes tecidos do caranguejo *Ocypode quadrata* (hepatopâncreas [h], brânquia [b] e músculo [m]) . Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência); DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri) e amostrados durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2).

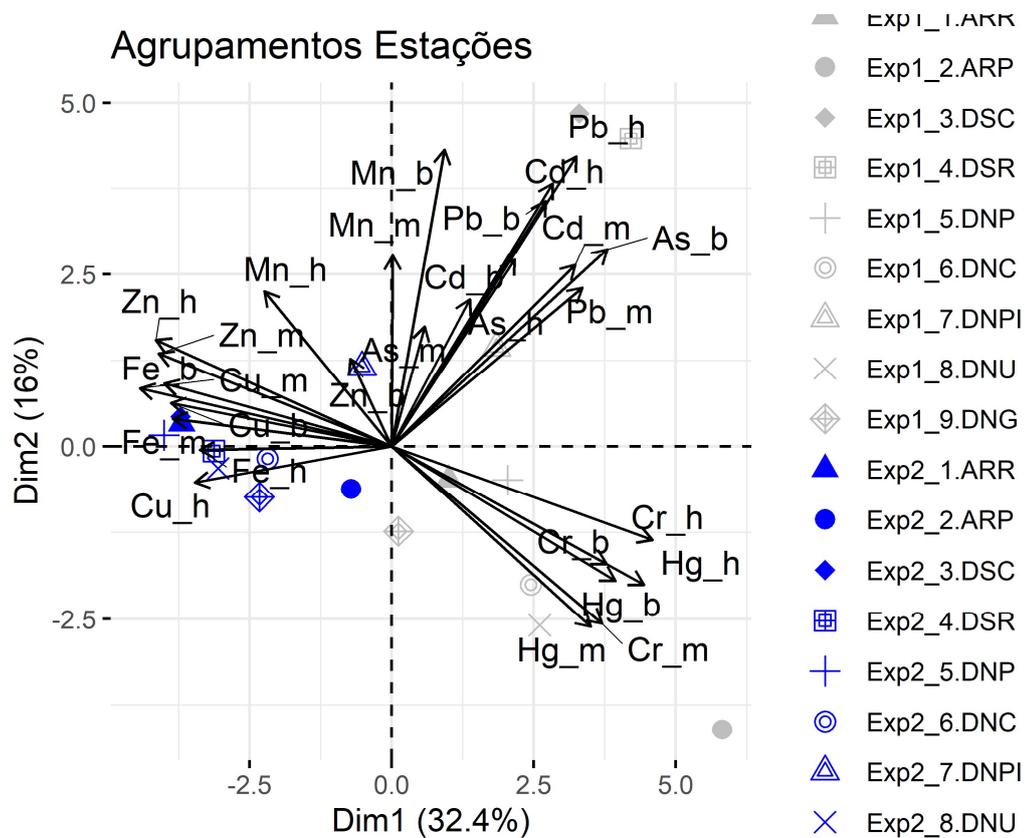


Tabela 145: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 377.

	Auto Valor	Percentual de Variância	Percentual de Variância Acumulativa
Dim.1	8,751743	32,41386	32,41386
Dim.2	4,330146	16,03758	48,45144
Dim.3	2,755444	10,20535	58,65679
Dim.4	2,386378	8,838435	67,49523
Dim.5	1,999953	7,407232	74,90246
Dim.6	1,760339	6,519775	81,42223
Dim.7	1,347932	4,99234	86,41457
Dim.8	0,82444	3,053482	89,46805

	Auto Valor	Percentual de Variância	Percentual de Variância Acumulativa
Dim.9	0,715066	2,648391	92,11645
Dim.10	0,583972	2,162861	94,27931
Dim.11	0,568864	2,106902	96,38621
Dim.12	0,350801	1,299264	97,68547
Dim.13	0,296781	1,099191	98,78466
Dim.14	0,118277	0,438062	99,22272
Dim.15	0,075941	0,281263	99,50399
Dim.16	0,072689	0,269219	99,77321
Dim.17	0,061234	0,226794	100

De acordo com a Figura 378, as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos, ao longo do PC1, foram os metais Cr e Hg no hepatopâncreas, bem como Cu no músculo. Os indivíduos (Figura 379) que mais colaboraram para os agrupamentos, associaram-se, sobretudo, ao ponto ARP.

Figura 378: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente.

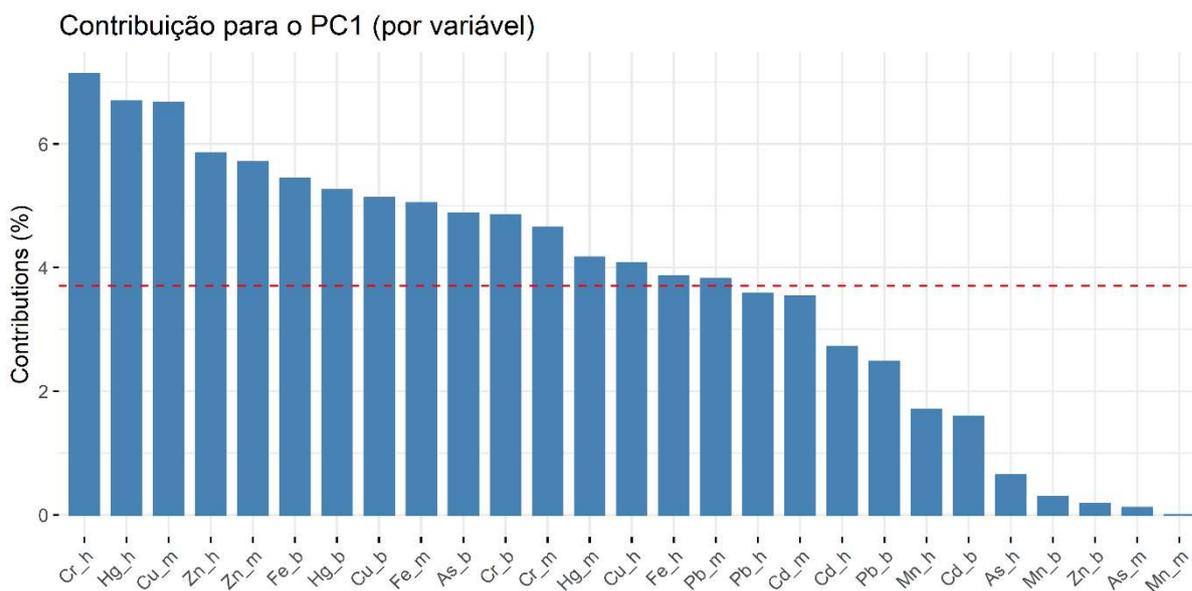
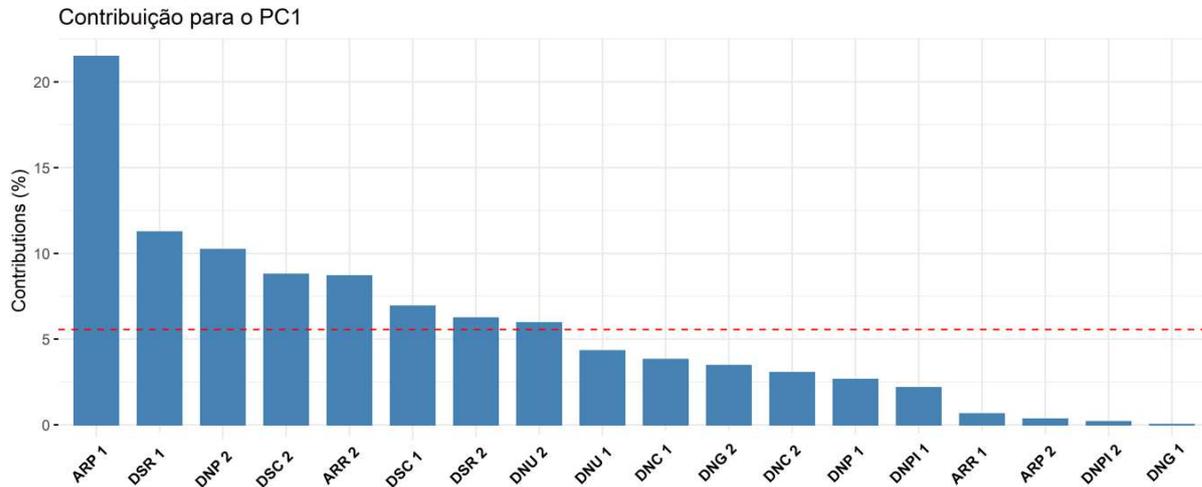


Figura 379: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.



Os metais Mn e Pb no tecido branquial, Cd e Pb no hepatopâncreas, foram as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos observados ao longo do PC2 (Figura 380), que por sua vez, também foi influenciado por indivíduos associados ao ponto DSC e DSR (Figura 381). Encontramos as maiores concentrações de Mn ( $6,83 \pm 2,87$  mg/kg peso úmido) e Pb ( $1,46 \pm 0,87$  mg/kg peso úmido) nas brânquias, em DSR; enquanto os maiores valores de Cd ( $0,38 \pm 0,09$  peso úmido) e Pb ( $1,24 \pm 1,08$  peso úmido) no hepatopâncreas, em DSC, na Campanha 1 (Figura 382).

Figura 380: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente.

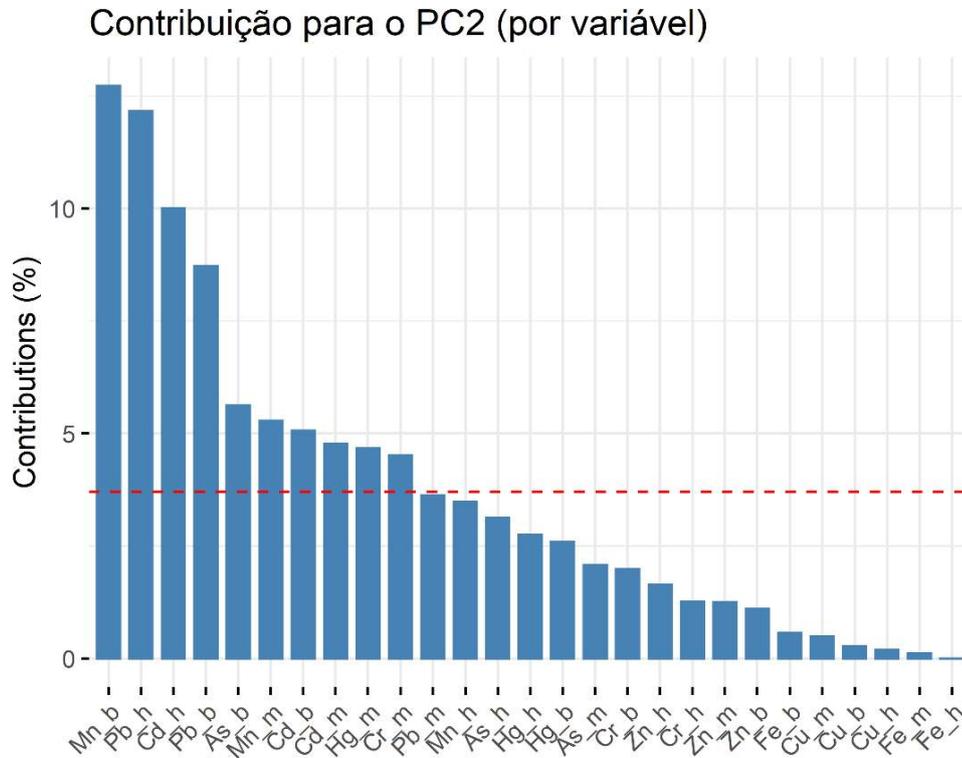


Figura 381: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/18 = 5,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.

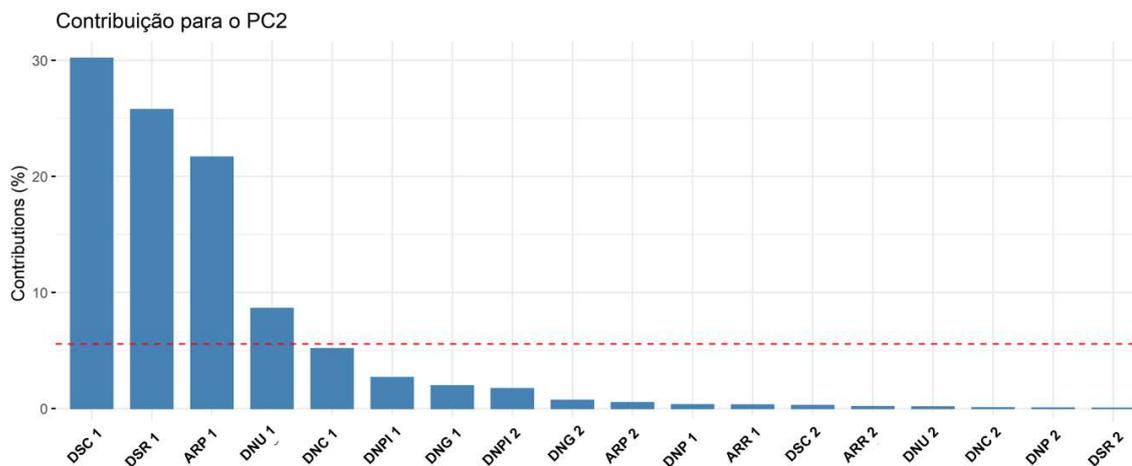
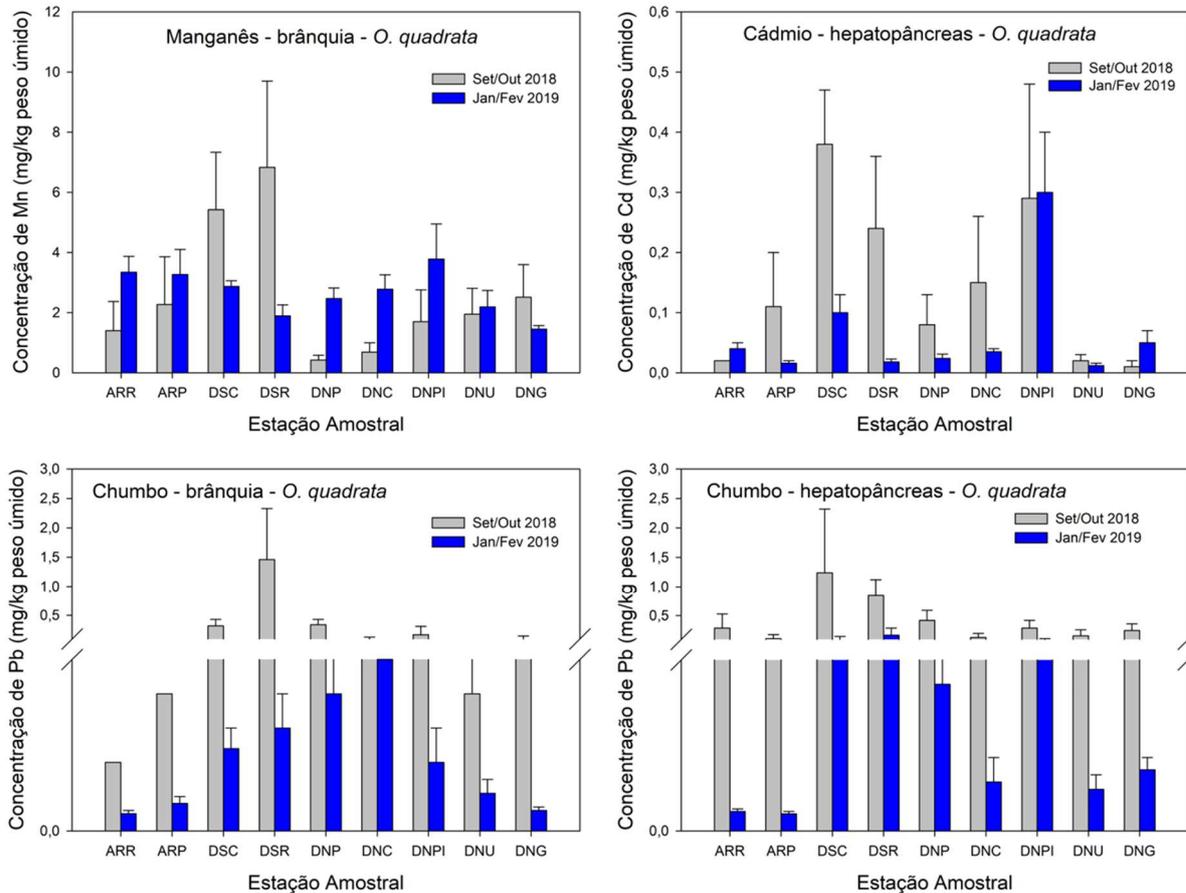


Figura 382: Concentração de Manganês (Mn) e Chumbo (Pb) no tecido branquial; Cádmiio (Cd) e Chumbo (Pb) no hepatopâncreas (mg/kg de peso úmido) em caranguejos nos pontos amostrados campanha 1 (Set/Out 2018; barras cinzas) e na campanha 2 (Jan/Fev 2019; barras azuis) do monitoramento praial. Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.

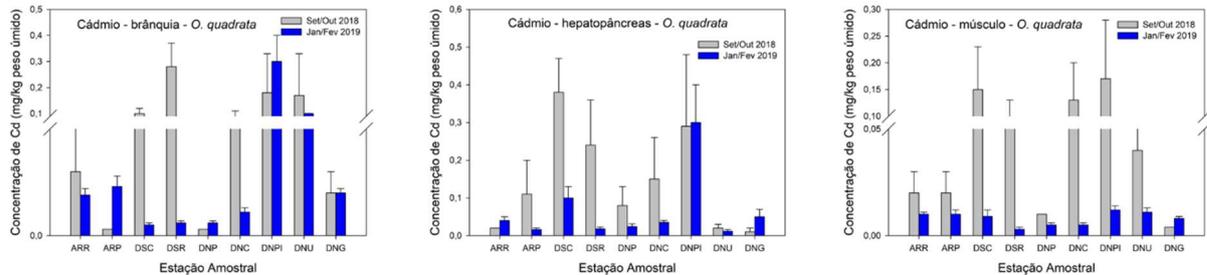


De modo geral, o acúmulo dos metais avaliados no caranguejo *Ocypode quadrata* é, marcadamente, maior no tecido branquial e hepatopâncreas do que no músculo (Tabela 143 e Tabela 144). Abaixo, será feita uma descrição de cada metal com base nos resultados encontrados nas duas campanhas de monitoramento do ambiente praial, além de confrontar com dados descritos na literatura para acumulação dos metais coincidentes em espécies de caranguejos, levando em consideração a dificuldade em se encontrar trabalhos referentes à bioacumulação, na mesma espécie, e, também, devido à ausência de dados pretéritos com essa espécie na região amostrada:

- **Arsênio:** A concentração mais alta encontrada foi no hepatopâncreas dos indivíduos do ponto DNP ( $2,76 \pm 1,63$  mg/kg peso úmido) na campanha 1 (Set/Out 2018).
- **Cádmiio:** A literatura mostra que, as concentrações de cádmio estavam abaixo do limite de detecção nos tecidos de *Ucides cordatus* (Merfa, 2010) em duas regiões de manguezais na Baixada Santista, ambiente considerado contaminado por metais. Já os caranguejos das praias monitoradas no Espírito

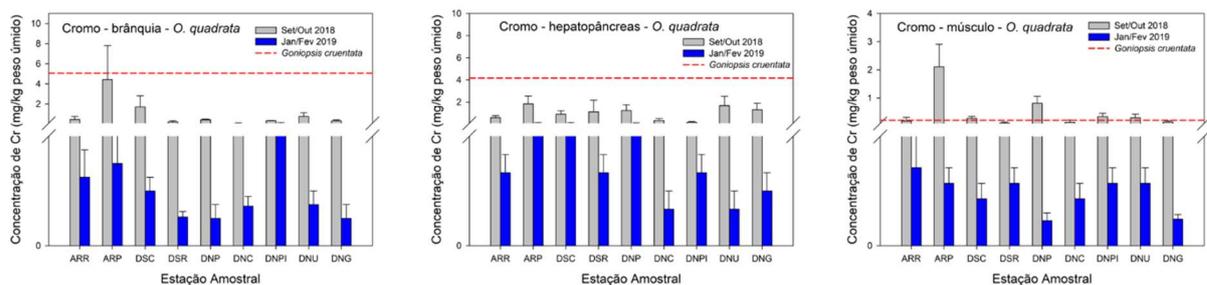
Santo apresentaram um padrão de maior concentração de cádmio nos tecidos durante estação seca (campanha 1, Set/Out 2018) (Figura 383).

Figura 383: Concentração de Cádmio (Cd) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



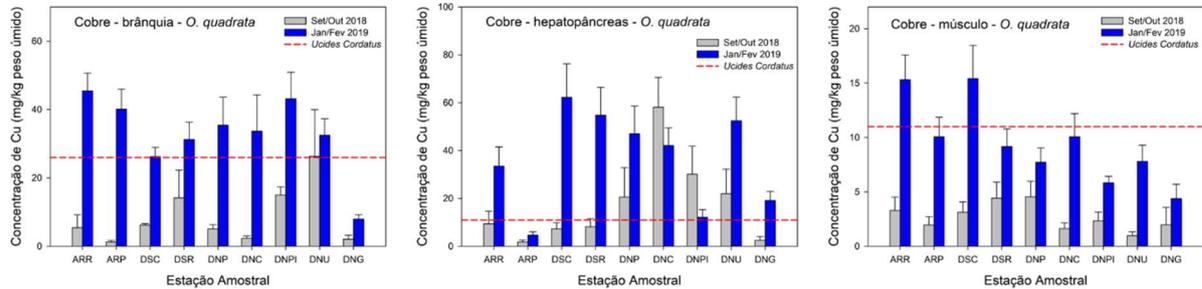
- Cromo: Com base na Figura 384, os maiores níveis de Cromo (Cr) nos três tecidos de *O. quadrata* são encontrados na campanha 1 (estação seca, Set/Out 2018). A linha vermelha tracejada nos gráficos abaixo são as maiores concentrações (médias) encontradas para o metal cromo, em *Goniopsis cruentata* de manguezais no Sul da Bahia (loais considerados contaminados por metais) (Carneiro et al., 2018). Pode-se perceber, dessa forma, que as maiores concentrações de cromo (Cr) nos caranguejos das praias amostradas no Espírito Santo foram encontradas no ponto ARP (Putiri), o qual está localizado na Unidade de Conservação APA Costa das Algas.

Figura 384: Concentração de Cromo (Cr) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis), a linha vermelha tracejada representa o valor médio de Cr em cada tecido de *Goniopsis cruentata* (Carneiro et al., 2018). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



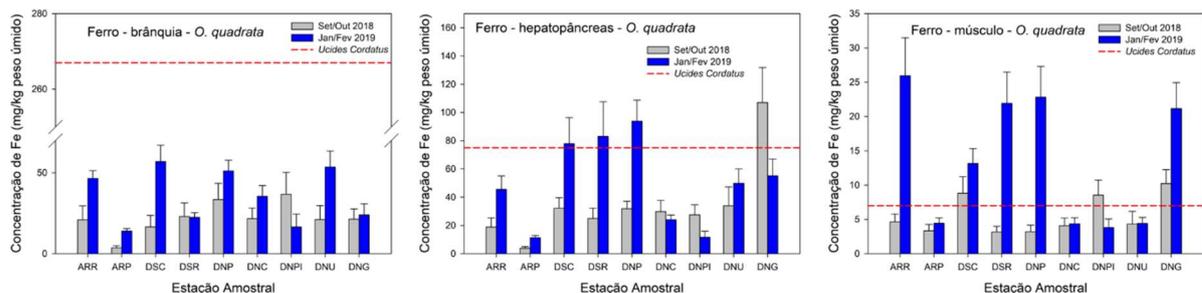
- Cobre: As concentrações de cobre nos três tecidos estavam elevadas em todos os pontos na campanha 2 (Jan/Fev 2019), exceto no hepatopâncreas de indivíduos dos pontos DNC (Cacimbas) e DNPI (Pontal do Ipiranga). Tais concentrações, estavam acima dos valores relatados na literatura para *U. cordatus* (Merfa, 2010) (Figura 385). No entanto, foram menores que as mensuradas em *Goniopsis cruentata* (Carneiro et al., 2018).

Figura 385: Concentração de Cobre (Cu) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis), a linha vermelha tracejada representa o valor médio de Cu em cada tecido de *U. cordatus* (Merfa et al., 2010). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



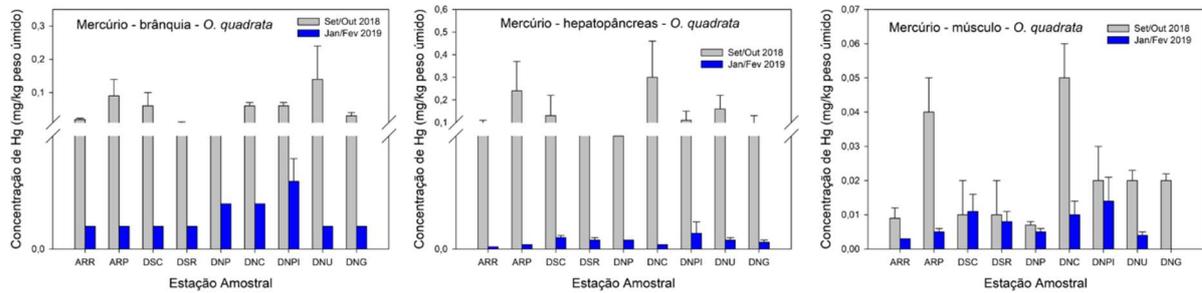
- **Ferro:** Ao comparar as duas campanhas amostrais, observa-se que na campanha 2 (Jan/Fev 2019), de modo geral, os caranguejos apresentam concentrações maiores de ferro em relação à campanha 1 (Set/Out 2018). Além disso, a bioacumulação de ferro (Fe) no hepatopâncreas e músculo é maior nos pontos mais próximos à Foz do Rio Doce (DSR e DNP). Os níveis de ferro (Fe) foram maiores no tecido branquial e no hepatopâncreas dos caranguejos *O. quadrata*, embora no tecido branquial os níveis tenham sido menores do que os relatados para *U. cordatus* (Merfa, 2010), enquanto no hepatopâncreas e músculo, foram superiores (Figura 386).

Figura 386: Concentração de Ferro (Fe) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis), a linha vermelha tracejada representa o valor médio de Cu em cada tecido de *U. cordatus* (Merfa et al., 2010). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



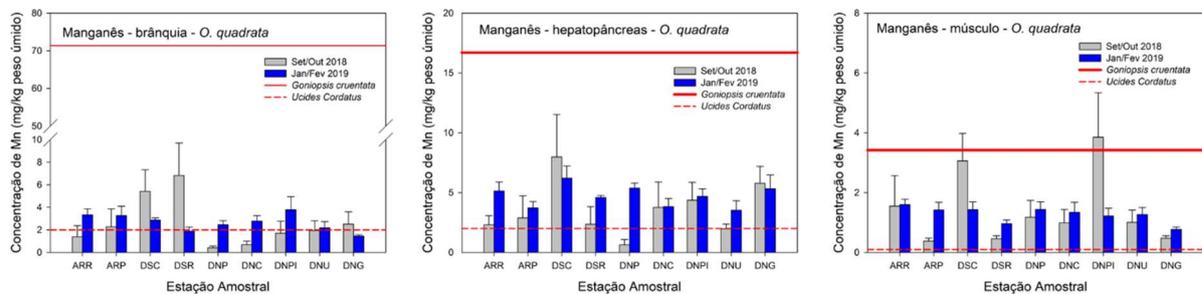
- **Mercúrio:** Os níveis de mercúrio foram mais altos na campanha 1 (Set/Out 2018) (Figura 387).

Figura 387: Concentração de Mercúrio (Hg) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



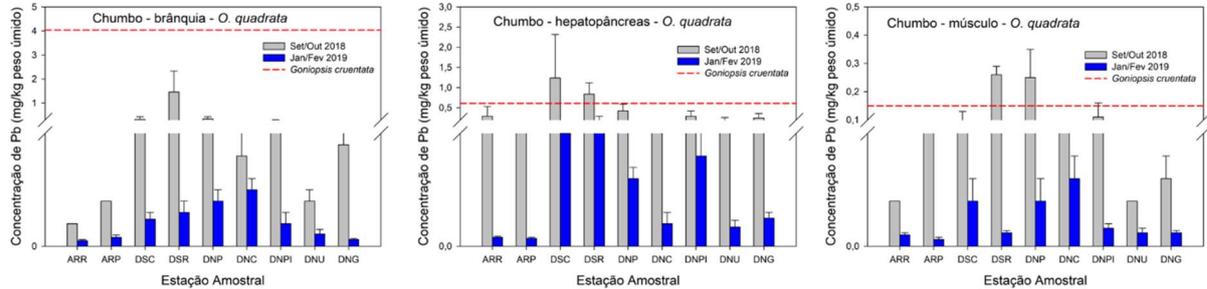
- **Manganês:** As concentrações de manganês, principalmente, no hepatopâncreas e no músculo, estavam acima das encontradas na literatura para o caranguejo *U. cordatus* (Merfa, 2010) (linha vermelha tracejada), mas abaixo das relatadas para *Goniopsis cruentata* (Carneiro et al., 2018) (linha vermelha contínua) (Figura 388).

Figura 388: Concentração de Manganês (Mn) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis), a linha vermelha tracejada (no limite inferior) representa o valor médio de Cu em cada tecido de *U. cordatus* (Merfa et al., 2010), enquanto a linha vermelha contínua (limite superior) representa as médias nos mesmos tecidos de *Goniopsis cruentata* (Carneiro et al., 2018). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



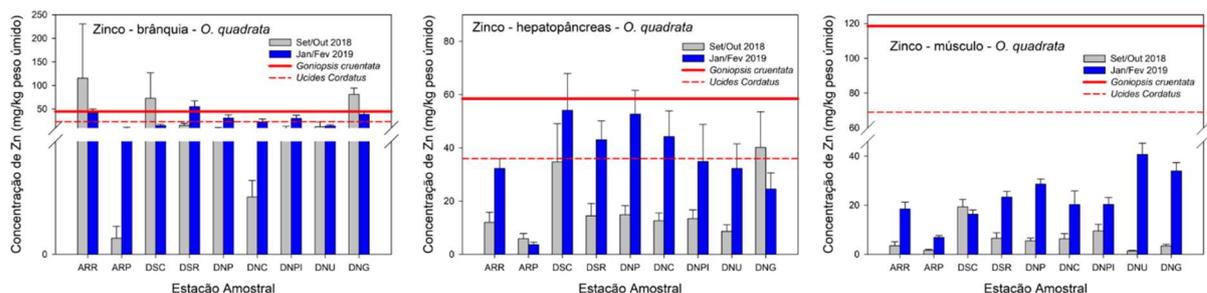
- **Chumbo:** A concentração de chumbo mensurada de na maioria dos tecidos, em grande parte das estações amostrais, estão abaixo do relatado na literatura para *Goniopsis cruentata* (Carneiro et al., 2018), exceto para hepatopâncreas em DSC ( $1,24 \pm 1,08$  mg/kg peso úmido), músculo em DNP ( $0,25 \pm 0,1$  mg/kg peso úmido) e ambos em DSR (Regência) na campanha 1 (Set/Out 2018) (Figura 389).

Figura 389: Concentração de Chumbo (Pb) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis), a linha vermelha tracejada representa o valor médio de Pb em cada tecido de *Goniopsis cruentata* (Carneiro et al., 2018). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



- Zinco: Ao comparar as concentrações de zinco, deste monitoramento, com a literatura percebemos que a concentração na brânquia foi semelhante à relatada para *U. cordatus* (Merfa, 2010) e *Goniopsis cruentata* (Carneiro et al., 2018). Entretanto, no hepatopâncreas, as concentrações de zinco foram maiores do que o encontrado na literatura para *U. cordatus* (Merfa, 2010), embora tenha sido menor do que em *Goniopsis cruentata* (Carneiro et al., 2018). Para o músculo todas as concentrações de zinco, em *Ocypode quadrata*, estavam abaixo das relatadas na literatura para outras espécies de caranguejos (Merfa et al., 2010; Carneiro et al., 2018) (Figura 390).

Figura 390: Concentração de Zinco (Zn) (mg/kg de peso úmido) no tecido branquial, hepatopâncreas e músculo de *Ocypode quadrata* na Campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e Campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis), a linha vermelha tracejada (no limite inferior) representa o valor médio de Zn em cada tecido de *U. cordatus* (Merfa et al., 2010), enquanto a linha vermelha contínua (limite superior) representa as médias nos tecidos de *Goniopsis cruentata* (Carneiro et al., 2018). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



### 3.3.5 Biomarcadores em organismos do ambiente praiá

Para os organismos coletados nas diferentes estações amostrais do ambiente praiá, além dos níveis de metais nos tecidos, foram avaliados os biomarcadores de efeito, como danos oxidativos em lipídios (lipoperoxidação – LPO), em proteínas (proteínas carboniladas – PCO somente em *Ocypode quadrata*) e no DNA (Sítios AP somente em *Ocypode quadrata*), além do biomarcador de exposição, níveis de metalotioneínas (MT).

### 3.3.5.1 Biomarcadores em Anfípodas, isópodas e poliquetas

A Tabela 146 e a Tabela 147 reúnem os resultados dos biomarcadores mensurados nos anfípodas, isópodas e poliquetas coletados durante a Campanha 1 e 2 de monitoramento ecotoxicológico do ambiente praial, respectivamente. Em alguns pontos amostrais na Campanha 1 e 2 não coletou-se poliquetas no número previsto ( $n=6$ ), ou não foram encontrados na estação amostral estabelecida (sendo assim, não há poliquetas em todos os pontos amostrais).

Tabela 146: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg proteína) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg proteína) mensurados em amostras de anfípoda, isópoda (*pools*) e poliquetas coletados no monitoramento praiar durante a campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados são expressos em média ± erro padrão.

Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)												
Ponto	Anfípoda				Isópoda				Poliqueta			
	LPO (nmol MDA/mg ptna)		MT (µg MT/mg ptna)		LPO (nmol MDA/mg ptna)		MT (µg MT/mg ptna)		LPO (nmol MDA/mg ptna)		MT (µg MT/mg ptna)	
	N	Média	N	Média	N	Média	N	Média	N	Média	N	Média
ARR	4	3,34 ± 1,65	4	25,6 ± 4,54	3	2,85 ± 0,85	4	10,04 ± 1,41	4	31,16 ± 15,14	4	23,79 ± 7,78
ARP	4	3,87 ± 0,69	3	13 ± 2,18	3	2,44 ± 0,9	4	11,08 ± 0,79	4	39,32 ± 14,25	5	21,63 ± 6,9
DSC	5	4,45 ± 1,47	4	15,26 ± 2,64	3	0,69 ± 0,31	4	17,9 ± 8,84	5	25,34 ± 10,91	5	4,95 ± 2,33
DSR	3	0,86 ± 0,09	4	14,31 ± 5,2	4	1,79 ± 0,5	4	9,45 ± 0,37	*	*		*
DNP	4	1,53 ± 0,42	3	6,8 ± 1,72	4	3,02 ± 0,32	4	10,69 ± 0,84	5	49,25 ± 12,72	3	26,18 ± 8,45
DNC	4	2,15 ± 0,45	4	13,69 ± 4,51	5	2,36 ± 0,39	5	5,57 ± 1,09	5	16,77 ± 4,94	5	14,88 ± 4,22
DNPI	3	2,77 ± 0,46	4	6,64 ± 0,88	3	3,8 ± 0,7	4	9,9 ± 1,56	3	15,33 ± 2,39	4	5,54 ± 1,57
DNU	3	3,99 ± 0,6	4	12,56 ± 1,59	4	2,8 ± 0,82	4	16,52 ± 4,14	3	29,56 ± 6,18	3	6,25 ± 1,91
DNG	4	3,15 ± 0,97	3	10,23 ± 0,81	4	3,72 ± 1,31	4	14,15 ± 3,93	*	*		*

(\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

Tabela 147: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg proteína) e concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg proteína) mensurados em amostras de anfípoda, isópoda (*pools*) e poliquetas coletados no monitoramento praiar durante a Campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média ± erro padrão.

Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)												
Ponto	Anfípoda				Isópoda				Poliqueta			
	LPO (nmol MDA/mg ptna)		MT (µg MT/mg ptna)		LPO (nmol MDA/mg ptna)		MT (µg MT/mg ptna)		LPO (nmol MDA/mg ptna)		MT (µg MT/mg ptna)	
	N	Média	N	Média	N	Média	N	Média	N	Média	N	Média
ARR	4	0,62 ± 0,26	5	49,6 ± 9,01	*	*	4	12,12 ± 3,15	5	2,56 ± 0,67	5	14,27 ± 3,64
ARP	4	0,37 ± 0,03	4	29,27 ± 8,91	5	2,79 ± 1,06	*	*	*	*	*	*
DSC	5	0,44 ± 0,08	5	24,92 ± 4	6	5,3 ± 1,56	6	20,56 ± 6,51	*	*	*	*
DSR	4	0,27 ± 0,12	5	43,24 ± 6,38	8	*	*	*	*	*	*	*
DNP	4	2,74 ± 1,17	5	33,06 ± 7,78	5	0,36 ± 0,13	5	7,2 ± 2,23	*	*	*	*
DNC	6	0,88 ± 0,23	6	14,65 ± 1,4	5	1,57 ± 0,53	5	6,04 ± 1,33	*	*	*	*
DNPI	6	1 ± 0,36	5	20,29 ± 4,06	5	8,26 ± 3,26	4	15,03 ± 2,75	*	*	*	*
DNU	5	0,73 ± 0,07	5	17,92 ± 3,46	5	3,81 ± 1,54	5	17,68 ± 1,84	*	*	*	*
DNG	5	5,13 ± 0,29	5	37,88 ± 2,26	5	2,28 ± 0,99	5	15,77 ± 3,96	1	0,79	1	5,66

(\*) significa que não há amostra ou não foi possível calcular.

A PCA realizada, a partir dos resultados de biomarcadores bioquímicos nos anfípodos, isópodos e poliquetas, coletados ao longo das duas campanhas, nos pontos amostrais do ambiente praial, sumarizou 58,3% da variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões. O Componente Principal 1 sumarizou 33% dos dados e o Componente Principal 2 25,3% dos dados (Figura 391 e Tabela 148).

Figura 391: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de biomarcadores (DanoLip[LPO] e Metalotioneína) em anfípodos (anf), isópodos (iso) e poliquetas (poli). Os símbolos representam os *indivíduos* utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência); DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri) amostrados durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2).

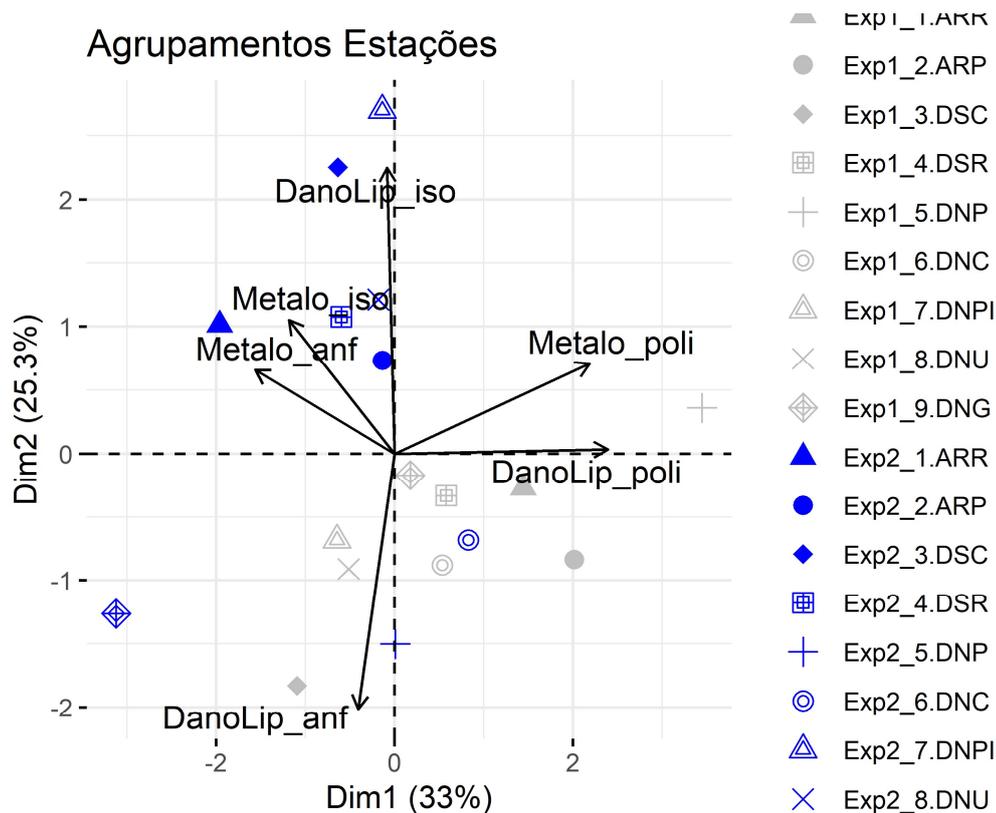


Tabela 148: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 391.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de Variância</b>	<b>Percentual de Variância Acumulativa</b>
Dim.1	1,97987	32,99783	32,99783
Dim.2	1,520242	25,33737	58,33519
Dim.3	1,340014	22,33357	80,66877
Dim.4	0,639939	10,66564	91,33441
Dim.5	0,415913	6,931891	98,2663
Dim.6	0,104022	1,733699	100

De acordo com Figura 392, as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos, ao longo do PC1, foram LPO (DanoLip) e metalotioneína (Metalo) nos poliquetas (poli). As variáveis que mais

colaboraram para os agrupamentos observados, ao longo do PC2 (Figura 393), são LPO (DanoLip) em anfípodas (anf) e isópodas (iso). Os indivíduos (Figura 394) que mais contribuíram para os agrupamentos, PC1 e PC2, associaram-se, principalmente, com as localidades DNP e DNG .

Figura 392: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/6 = 16,6\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente.

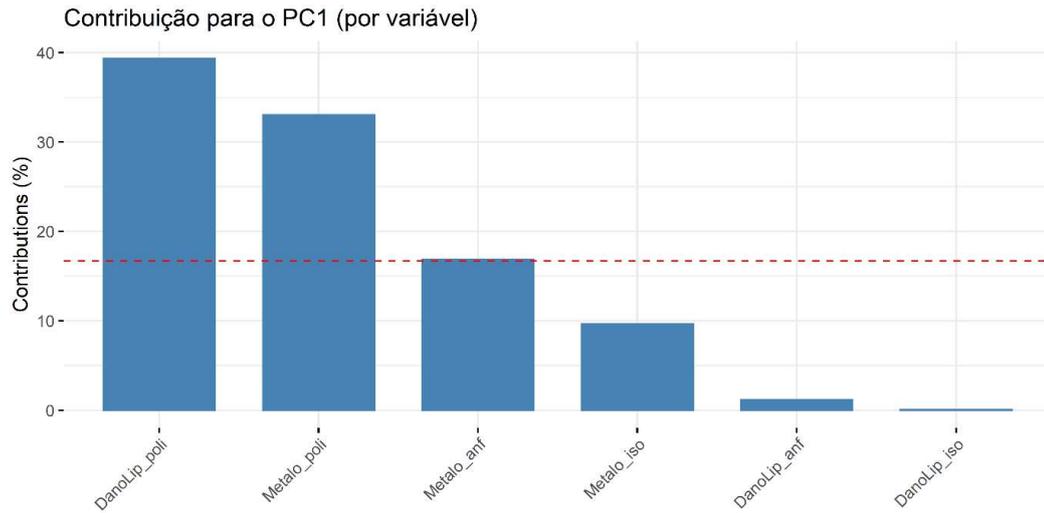


Figura 393: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/6 = 16,6\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente.

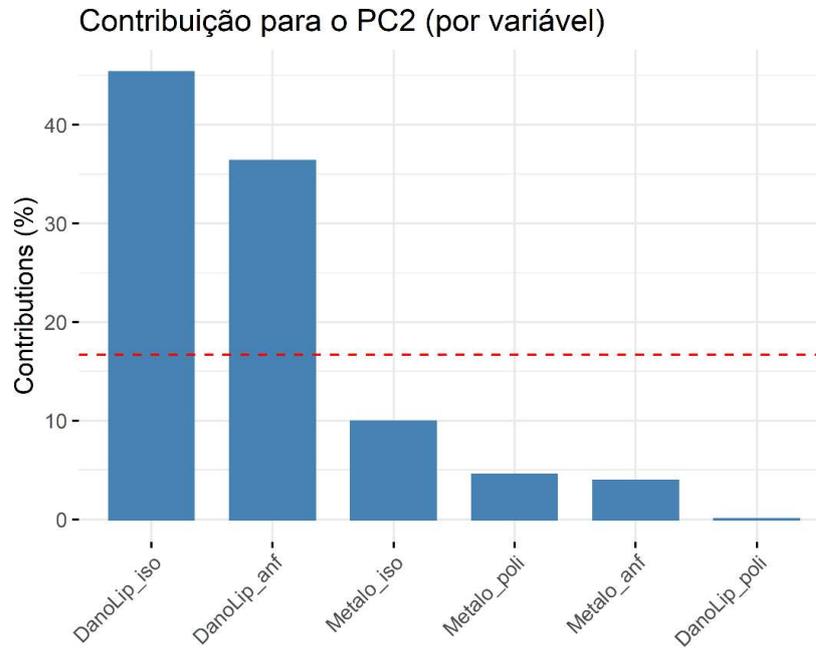
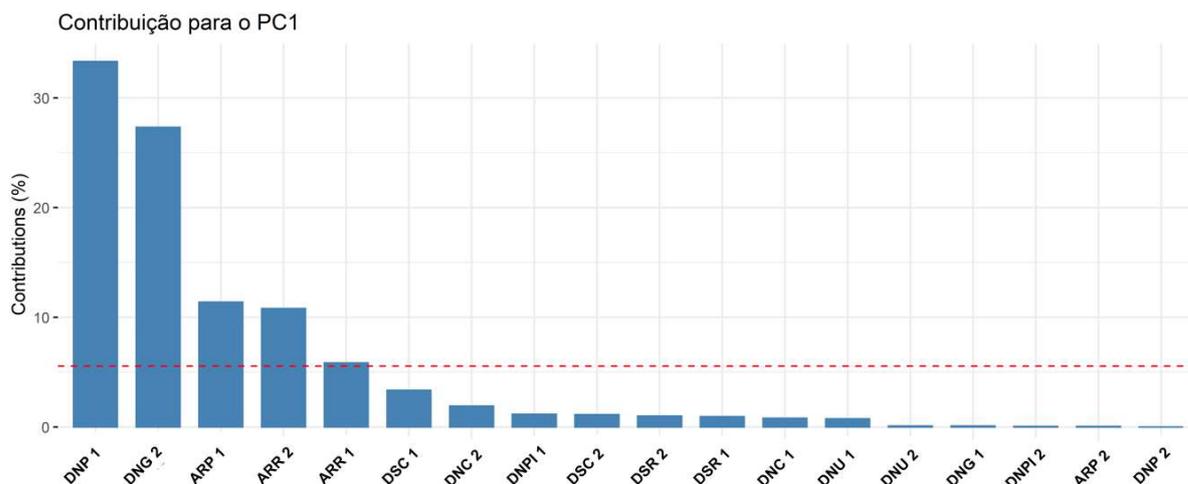


Figura 394: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) e Componente Principal 1 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/18 = 5,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.



Observamos nos anfípodas os maiores níveis de dano oxidativo em lipídios (Lipoperoxidação - LPO) na campanha 1, nos organismos coletados em DSC ( $4,45 \pm 1,47$  nmol MDA/mg proteína), enquanto, na campanha 2, os maiores valores são encontrados nos indivíduos coletados em DNG ( $5,13 \pm 0,29$

nmol MDA/mg proteína) (Figura 395). Ao compararmos as duas campanhas, percebemos um aumento nos valores em dois pontos amostrais (DNP e DNG). No ponto DNG (Guriri), houve um incremento dos níveis de Fe na água, inclusive, os valores encontram-se acima dos valores permitidos pelo CONAMA 357/2005, além de um aumento dos valores de Fe nos anfípodas (Figura 396). Tal fato, poderia explicar os valores maiores de LPO nesses indivíduos, visto que altos níveis deste metal, nos organismos, podem conduzir a um aumento na geração de dano oxidativo, principalmente a lipoperoxidação (LPO) (Sies, 1991; Halliwell, 2009). O ferro, que é encontrado na água e nos tecidos em alta quantidade, pode estar facilitando a transformação do ânion superóxido ( $O_2^{\bullet-}$ ) e do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), espécies altamente reativas, induzindo o início da peroxidação lipídica. Dessa forma, como o mecanismo bioquímico que relaciona a causa e o efeito destes dois constituintes está bem fundamentado na literatura, sugerimos que danos oxidativos em lípidios (LPO) podem ter ocorrido em função da bioacumulação de Fe nestes organismos.

Figura 395: Níveis de dano oxidativo em lípidios (Lipoperoxidação - LPO) em anfípodas coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.

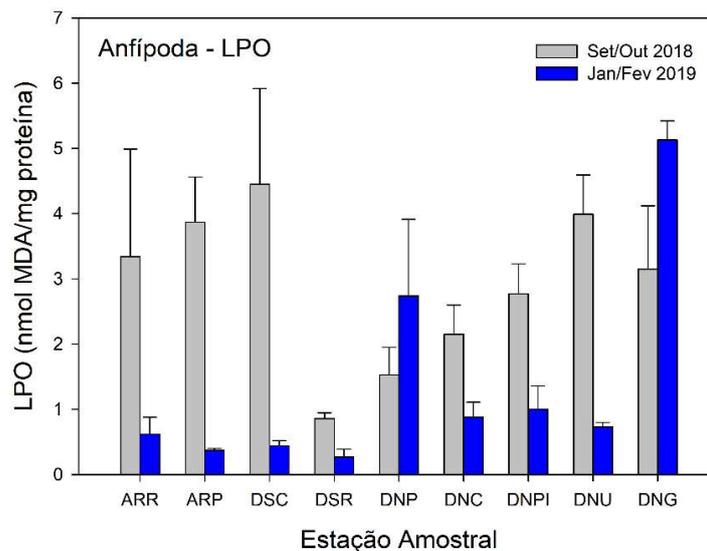
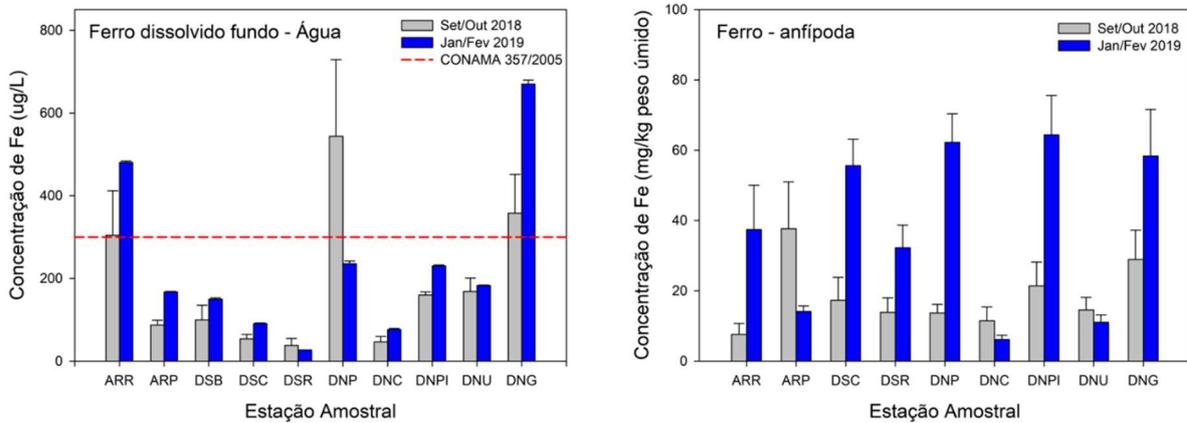
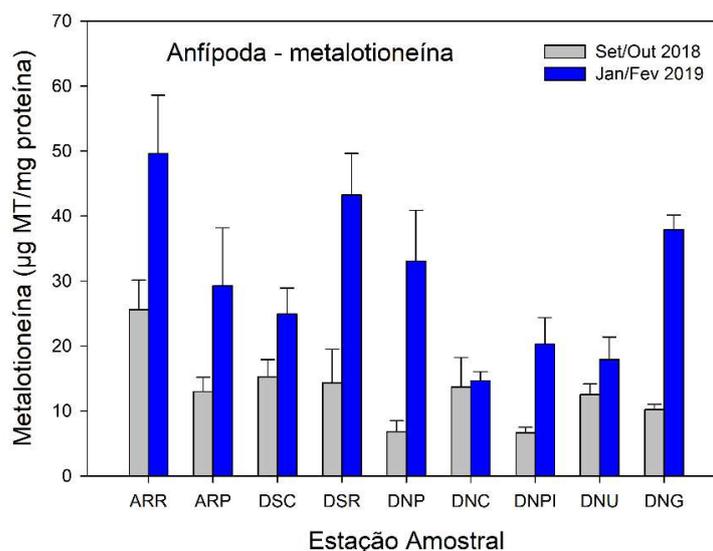


Figura 396: Concentração de Fe dissolvido na água ( $\mu\text{g/L}$ ) e níveis de Fe em anfípodas coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



Para fins comparativos, alguns resultados também foram apresentados na forma de gráficos (Figuras abaixo). De forma geral, observa-se um forte efeito temporal na resposta fisiológica dos anfípodas, com maior indução de metalotioneínas durante a campanha 2 (Figura 397). Sabe-se que a metalotioneína é sintetizada em resposta à contaminação por metais em vertebrados e invertebrados, além disso diversos estudos mostraram que existe uma relação direta entre a síntese de MT e a bioacumulação de metais nos tecidos dos organismos (Ghasemian et al., 2016).

Figura 397: Níveis de metalotioneínas (MT) em anfípodas coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



No que tange aos isópodos, os maiores níveis de dano lipídico (LPO) foram encontrados nos indivíduos coletados em DNPI, seguido do ponto DSC na campanha 2 (Figura 398). Interessantemente, os indivíduos coletados, em tais pontos amostrais, apresentam os maiores níveis de Fe (Figura 399),

apoiando a explicação dada acima para os níveis de Fe e LPO, encontrados nos anfípodos, visto o conhecido papel do ferro na reação de Fenton, que é quando ele reage com o peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) gerando radicais hidroxila (•OH). O radical hidroxila causa danos ao DNA, às proteínas e aos lipídios (Barreiros et al., 2006). Já os valores de metalotioneína, mantiveram-se constantes entre as duas campanhas (Figura 400).

Figura 398: Níveis de dano oxidativo em lipídios (Lipoperoxidação - LPO) em isópodos coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.

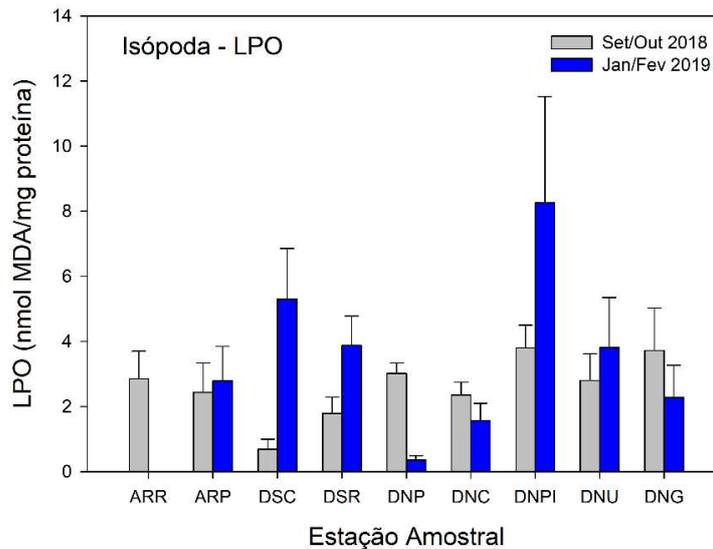


Figura 399: Concentração de Fe (mg/kg peso úmido) em isópodos coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média ± erro padrão.

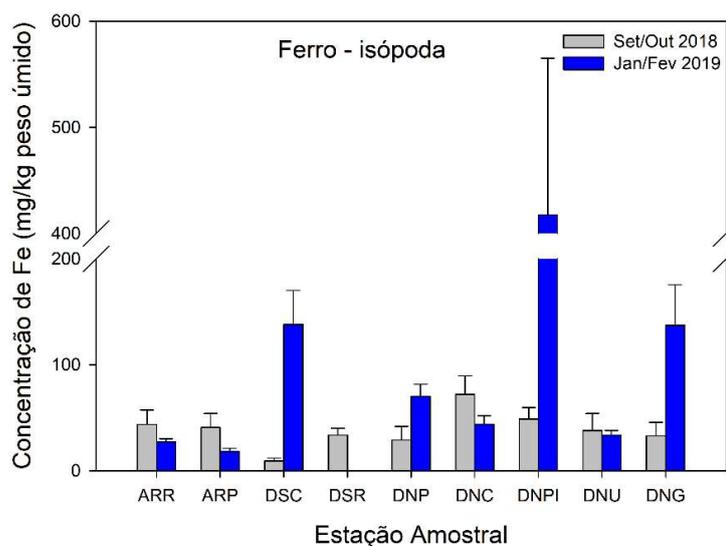
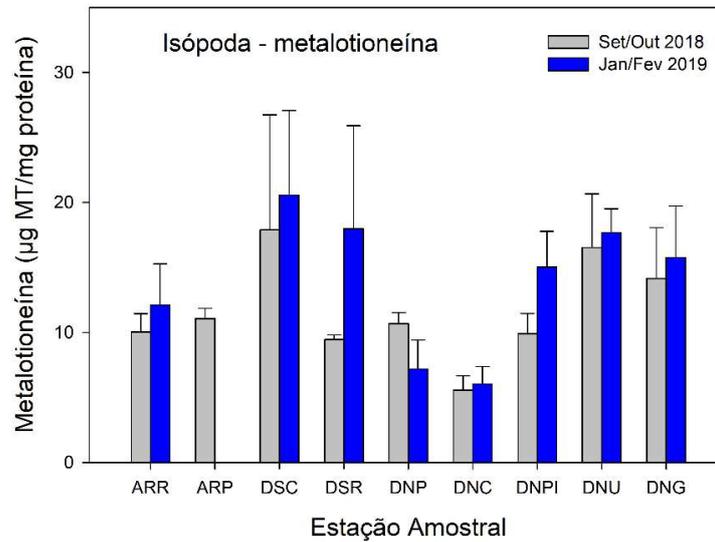
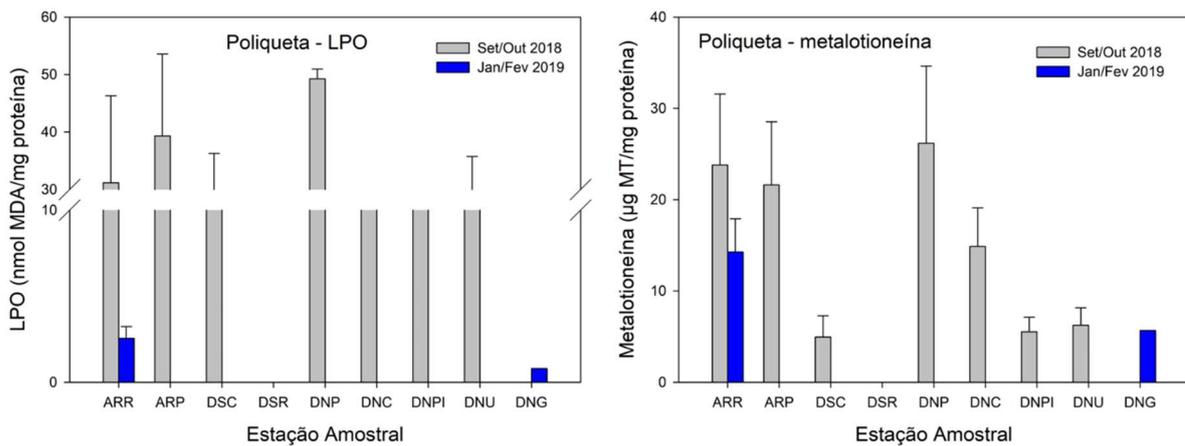


Figura 400: Níveis de metalotioneínas (MT) em isópodas coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



Devido ao número reduzido de poliquetas coletados, torna-se inviável fazer uma comparação entre os diferentes pontos amostrais, o que somente é possível para ARR. De modo geral, os valores de LPO e metalotioneína foram maiores na campanha 1 (Figura 401).

Figura 401: Níveis de dano oxidativo em lipídios (Lipoperoxidação - LPO) e níveis de metalotioneínas (MT) em poliquetas coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



### 3.3.5.2 Biomarcadores no caranguejo *Ocypode quadrata*

A Tabela 149 e a Tabela 150 resumam os resultados de biomarcadores mensurados no caranguejo praiado *Ocypode quadrata*, na Campanha 1 e 2, respectivamente.

Tabela 149: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg proteína), concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg proteína), níveis de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg proteína) e danos no DNA (Sítios AP/10<sup>5</sup> bp) mensurados em diferentes tecidos de caranguejo (*Ocypode quadrata*) (músculo; brânquia; hepatopâncreas e hemolinfa) coletados no ambiente praiado durante a campanha 1 (Set/Out 2018). Os resultados são expressos em média ± erro padrão (EP).

Caranguejo - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)					
Ponto	Hepatopâncreas		Brânquia	Músculo	Hemolinfa
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT (µg MT/mg ptna)	LPO (nmol MDA/mg ptna)	PCO (nmol PC/mg ptna)	Sítio AP (Sítio AP/10 <sup>5</sup> bp)
ARR	3,5 ± 0,63	86,93 ± 26,74	1,12 ± 0,16	1,07 ± 0,24	12,96 ± 5,96
ARP	9,35 ± 3,36	39,25	1,73 ± 0,85	1,5 ± 0,29	9,99 ± 3,06
DSC	10,86 ± 2,35	138,92 ± 53,01	1,7 ± 0,12	1,76 ± 0,52	3,75 ± 0,53
DSR	3,24 ± 0,38	22,67 ± 12,28	1,04 ± 0,18	1,1 ± 0,47	9,17 ± 1,21
DNP	4,43 ± 0,9	22,74 ± 5,64	1,03 ± 0,11	0,82 ± 0,06	16,35 ± 5,2
DNC	14,42 ± 3,68	20,49 ± 4,51	1,9 ± 0,1	2,35 ± 0,5	3,58 ± 0,67
DNPI	9,85 ± 2,93	44,14 ± 11,44	1,65 ± 0,31	1,81 ± 0,97	3,94 ± 0,41
DNU	6,95 ± 1,67	25,67 ± 4,64	0,81 ± 0,07	0,88 ± 0,01	5,99 ± 0,58
DNG	4,94 ± 0,66	44,87 ± 8,87	1,43 ± 0,21	0,63 ± 0,17	14,68 ± 5,22

(\*) não se aplica ou não há amostra.

Tabela 150: Biomarcadores de lipoperoxidação (LPO; nmol MDA/mg proteína), concentração de metalotioneínas (MT; µg MT/mg proteína), níveis de proteínas carboniladas (PCO; nmol PC/mg proteína) e danos no DNA (Sítios AP/10<sup>5</sup> bp) mensurados em diferentes tecidos de caranguejo (*Ocypode quadrata*) (músculo; brânquia; hepatopâncreas e hemolinfa) coletados no ambiente praiado durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019). Os resultados são expressos em média ± erro padrão (EP).

Caranguejo - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)					
Ponto	Hepatopâncreas		Brânquia	Músculo	Hemolinfa
	LPO (nmol MDA/mg ptna)	MT (µg MT/mg ptna)	LPO (nmol MDA/mg ptna)	PCO (nmol PC/mg ptna)	Sítio AP (Sítio AP/10 <sup>5</sup> bp)
ARR	1,82 ± 0,39	41,21 ± 10,76	1,38 ± 0,7	2,3 ± 0,28	6,13 ± 0,97
ARP	0,77 ± 0,25	48,81 ± 13,3	2,66 ± 0,75	4,12 ± 1,05	6,08 ± 0,71
DSC	2,08 ± 0,77	53,06 ± 15,12	4 ± 0,88	2,58 ± 0,43	6,41 ± 0,54
DSR	3,72 ± 0,98	34,99 ± 10,4	1,53 ± 0,5	2,71 ± 0,32	5,74 ± 0,57
DNP	2,94 ± 1,17	65,46 ± 11,42	0,55 ± 0,26	2,25 ± 0,17	5,97 ± 0,57
DNC	6,27 ± 2,42	56,63 ± 5,47	1,4 ± 0,19	1,95 ± 0,32	5,43 ± 0,53
DNPI	4,44 ± 0,95	90,84 ± 32,09	1,18 ± 0,27	1,3 ± 0,21	4,85 ± 0,32
DNU	3,87 ± 0,78	21,4 ± 3,24	0,94 ± 0,36	2,4 ± 0,36	5,4 ± 0,48
DNG	5,88 ± 1,73	43,52 ± 5,62	0,78 ± 0,24	1,97 ± 0,45	4,73 ± 0,13

(\*) não se aplica ou não há amostra.

A PCA realizada, utilizando como variáveis os biomarcadores nos caranguejos coletados nas duas campanhas, ao longo dos pontos amostrais, resumiu 62,6% da variabilidade dos dados nas duas primeiras dimensões. O Componente Principal 1 resumiu 36,8% dos dados e o 2 25,8% dos dados (Figura 402 e Tabela 151).

Figura 402: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de biomarcadores (Dano Lip [LPO]; DanoProt [PCO]; Metalo [MT] e DanoDNA [Sítios AP]) nos diferentes tecidos (hepatopâncreas [h]; brânquia; músculo e hemolinfa) dos caranguejos. Os símbolos representam os indivíduos utilizados na análise, categorizados por ponto amostral ARR (Refúgio); ARP (Putiri); DSB (Barra do Riacho); DSC (Comboios); DSR (Regência); DNP (Povoação); DNC (Cacimbas); DNPI (Pontal do Ipiranga), DNU (Urussuquara) e DNG (Guriri) e amostrados na campanha 1 (Exp1) e na campanha 2 (Exp2).

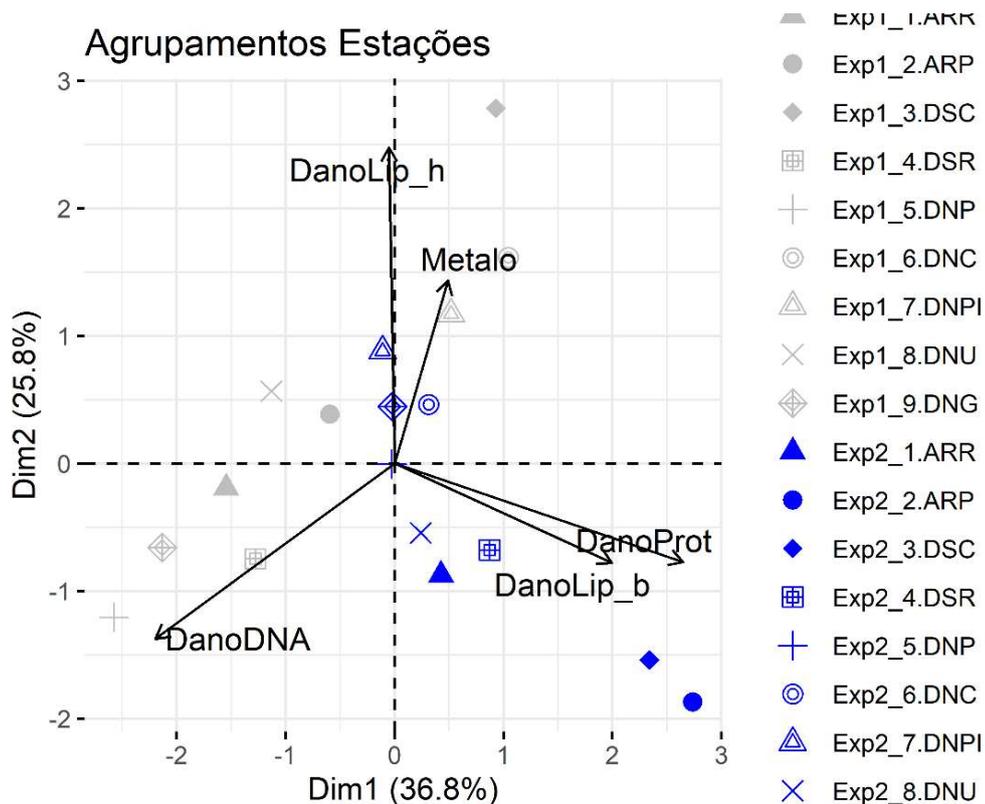


Tabela 151: Tabela de autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado na Figura 80.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de Variância</b>	<b>Percentual de Variância Acumulativa</b>
Dim.1	1,841242	36,82483	36,82483
Dim.2	1,291982	25,83965	62,66448
Dim.3	0,942747	18,85495	81,51942
Dim.4	0,740846	14,81691	96,33633
Dim.5	0,183183	3,663666	100

De acordo com a Figura 403, as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos, ao longo do PC1, foram dano em proteína (PCO no músculo) e dano de DNA (hemolinfa), enquanto que os

indivíduos (Figura 404) que mais colaboraram para os agrupamentos estão associados, principalmente, às localidades ARP, DNP, DSC, DNG.

Figura 403: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/5 = 20\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente

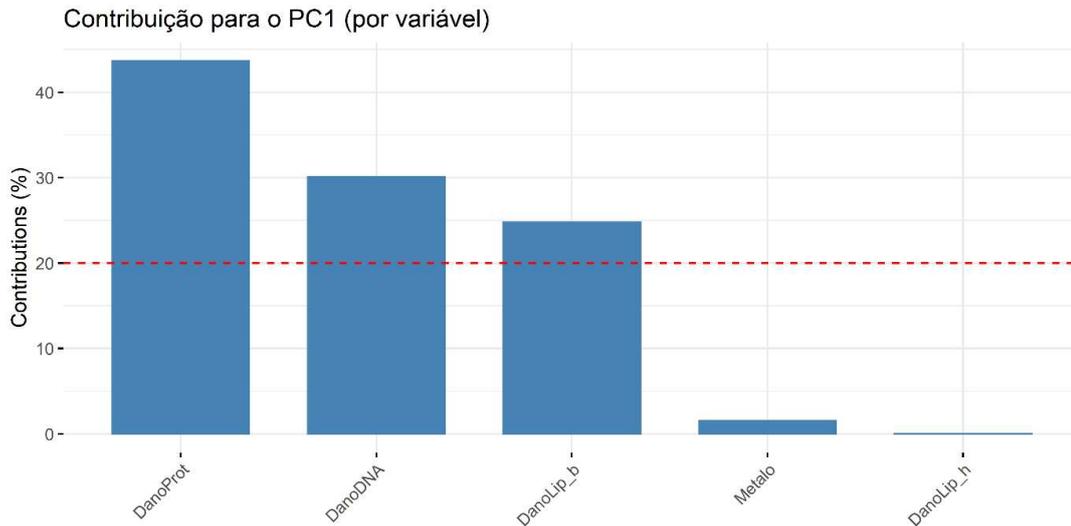
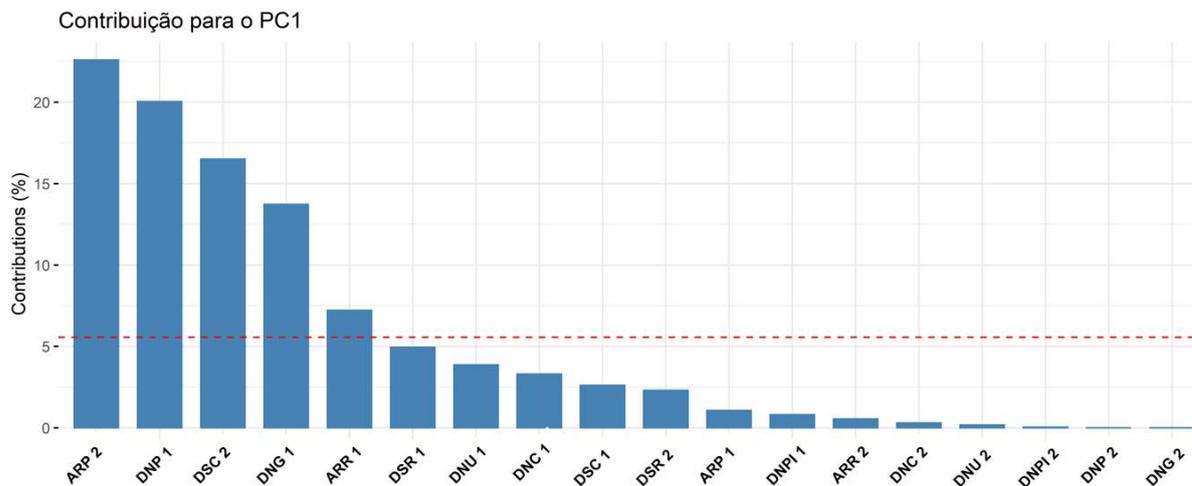


Figura 404: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento} (\text{variáveis}) = 1/18 = 5,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.



A variável que mais cooperou para os agrupamentos observados ao longo do PC2 (Figura 405) foi dano lipídico (LPO) no hepatopâncreas. Os indivíduos (Figura 406) que mais contribuíram para os agrupamentos ao longo do PC2 estão associados, principalmente, às localidades DSC, ARP e DNPI.

Figura 405: Contribuição (em %) de cada variável para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição das variáveis fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/5 = 20\%$ . Para um determinado componente, uma variável com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante para contribuir com o componente.

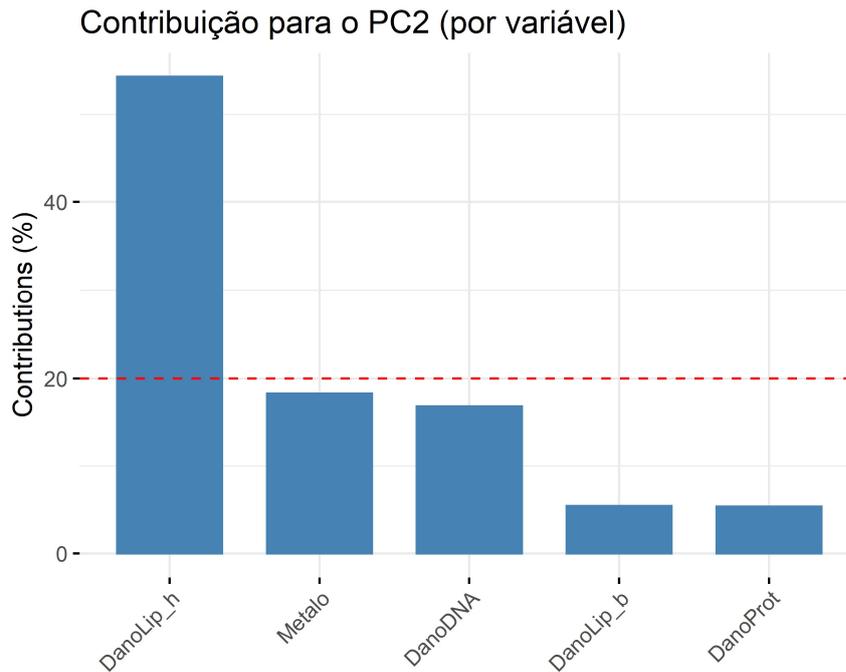
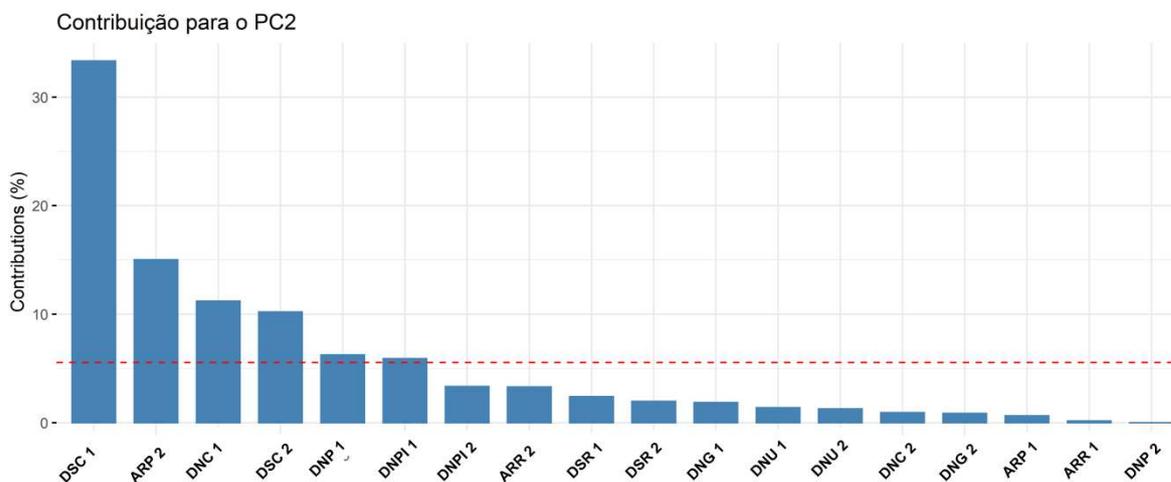


Figura 406: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/18 = 5,5\%$ . Para um determinado componente, um indivíduo/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerada como importante.



Para os caranguejos (*O. quadrata*), os resultados que mais se destacaram foram o aumento de dano lipídico (LPO) no tecido branquial nos animais coletados nos pontos ao sul da Foz do Rio Doce, em relação aos demais (Figura 407), sendo o maior valor encontrado para os indivíduos coletados em DSC (Reserva Indígena de Comboios). Assim como para os anfípodas e isópodas, os quais apresentaram aumento na LPO e maiores níveis de Fe no ponto relacionado, para os caranguejos, o resultado foi o mesmo, com aumento dos níveis de Fe, sendo encontrado nas brânquias dos indivíduos coletados em DSC (Figura 408). Dessa maneira, novamente, corroborando o papel do Fe na indução de dano lipídico.

Figura 407: Níveis de dano oxidativo em lipídios (Lipoperoxidação - LPO) nas brânquias do caranguejo *Ocypode quadrata* coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.

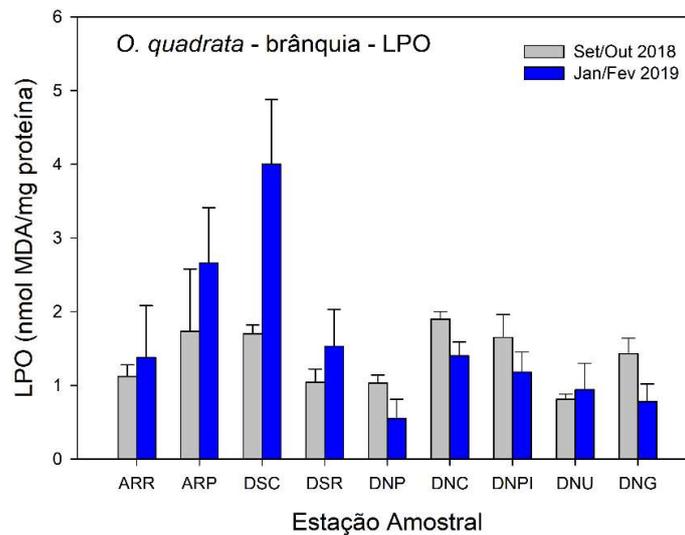
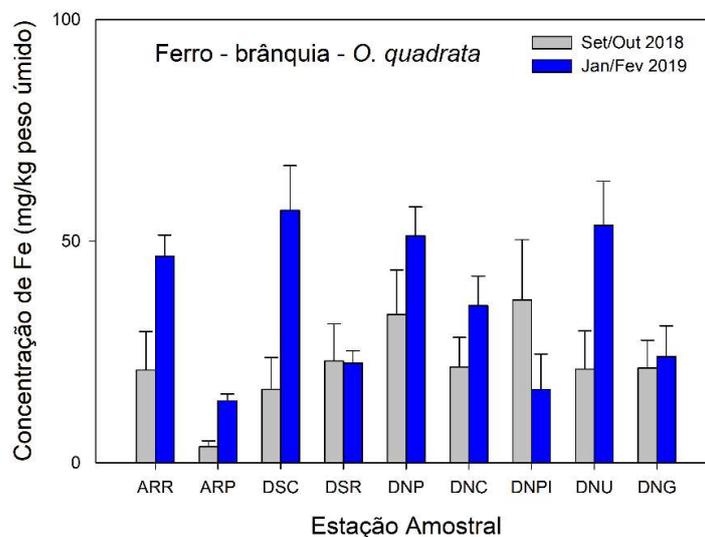
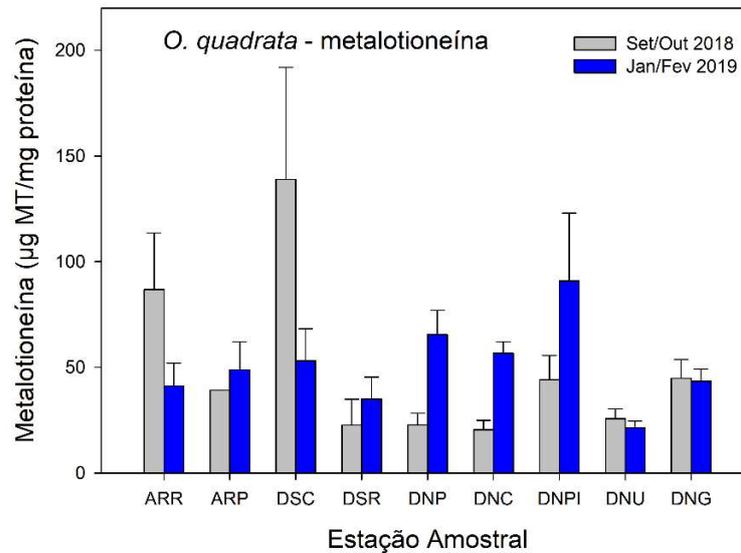


Figura 408: Níveis Fe (ferro) nas brânquias do caranguejo *Ocypode quadrata* coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão



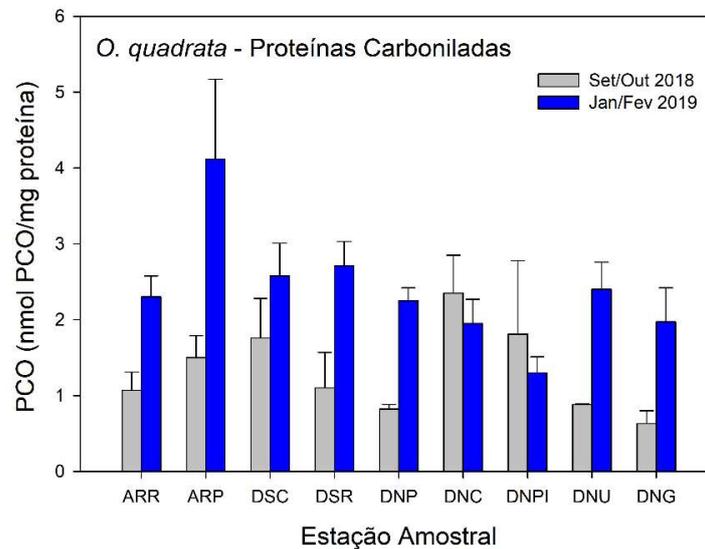
Encontramos os maiores valores no conteúdo de MT (metalotioneínas) no hepatopâncreas dos caranguejos coletados, ao longo das estações amostrais, em DSC ( $138,92 \pm 53,01 \mu\text{g MT/mg proteína}$ ). Na campanha 2, os maiores níveis foram encontrados nos animais coletados em DNPI ( $90,84 \pm 32,09 \mu\text{g MT/mg proteína}$ ) (Figura 409).

Figura 409: Níveis de metalotioneína (MT) no hepatopâncreas do caranguejo *Ocypode quadrata* coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



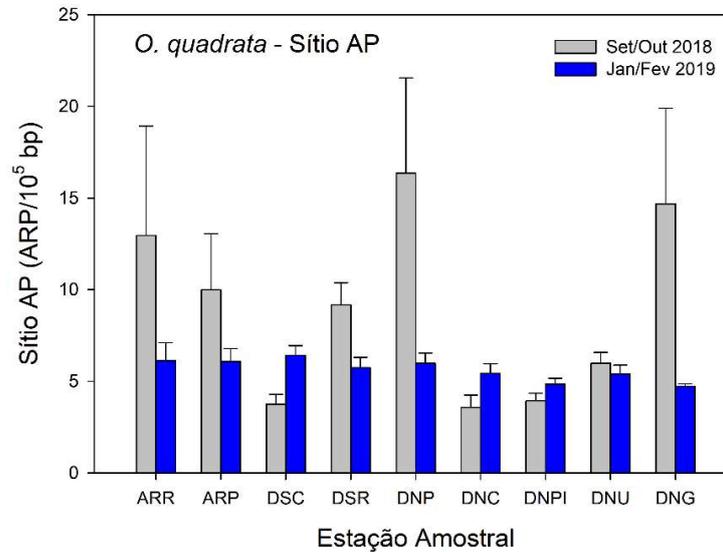
Os valores de proteínas carboniladas foram maiores em quase todos os pontos na campanha 2, em relação à campanha 1 (Figura 410).

Figura 410: Níveis de proteínas carboniladas (PCO) no músculo do caranguejo *Ocypode quadrata* coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



Em bioquímica e genética molecular, um Sítio AP (sítio apurínico/apirimidínico) é um local no DNA que não possui uma base de purina nem de pirimidina, espontaneamente ou devido a danos no DNA. Reações de oxidação promovidas por espécies reativas de oxigênio podem produzir, além de alterações moleculares (peroxidação de lipídeos de membrana), também, a alteração de bases nitrogenadas no DNA, resultando no aparecimento de sítios apurínicos e apirimidínicos (sítios AP) (Almeida, 1998). Os valores de sítio AP, para os caranguejos amostrados nas diferentes estações foram maiores na campanha 1 (Figura 411).

Figura 411: Valores de Sítio AP na hemolinfa do caranguejo *Ocypode quadrata* coletados na campanha 1 (Set/Out 2018, colunas de cor cinza) e campanha 2 (Jan/Fev 2019, colunas azuis). Os dados estão apresentados como média  $\pm$  erro padrão.



Com base nos resultados obtidos, de maneira geral, os principais efeitos biológicos observados, na biota da região costeira contemplada pelo monitoramento praiar, foram demonstrados pelo aumento nos níveis de danos oxidativos, especialmente a lipoperoxidação (LPO), exceto no hepatopâncreas do caranguejo *Ocypode quadrata*; e pelo aumento no conteúdo de metalotioneínas (MT), em resposta aos níveis mais elevados de alguns metais em determinados pontos amostrais.

Os resultados da campanha 2 demonstram claramente, um aumento nos níveis de peroxidação lipídica (LPO) nos anfípodos e isópodos com os níveis de Fe nos organismos, além de aumento nas brânquias do caranguejo *Ocypode quadrata*, principalmente nos indivíduos coletados no ponto DSC (Reserva Biológica de Comboios). A peroxidação lipídica expressa o dano oxidativo que ocorre em um sistema, quando não há equilíbrio entre as espécies reativas de oxigênio (ERO) e a resposta do antioxidante. Ocorre aumento dos radicais hidroxila ( $\text{OH}\cdot$ ), sobretudo na presença de níveis elevados de metais como cobre, zinco, cromo e, principalmente, ferro (Olakolu et al., 2012). Sendo assim, a medida da lipoperoxidação tem sido largamente utilizada como biomarcador de estresse oxidativo, induzido por contaminantes, de maneira especial, os metais (Monserrat et al., 2007).

Outro biomarcador que respondeu muito bem na biota do ambiente praiar foi a metalotioneína (MT), que apresentou aumento na campanha 2, de acordo com os maiores níveis de determinados metais, em relação à campanha 1.

Os resultados apresentados sobre a concentração dos diferentes metais analisados na água e sedimento do ambiente praiar podem apresentar variações devido à sazonalidade, como podemos ver pelas diferenças encontradas entre as duas campanhas de monitoramento e entre as localidades amostradas. Dessa forma, é de extrema importância o acompanhamento dos níveis de metais no

ambiente, assim como na biota e as respostas biológicas encontradas nas diferentes estações do ano (Seca/Chuvosa).

### 3.4 META 4: MONITORAMENTO ECOTOXICOLÓGICO DOS MANGUEZAIS

Os manguezais são ecossistemas costeiros de transição entre os biomas terrestre e marinho, onde há o encontro das águas de rios com o mar. São ambientes característicos de regiões tropicais e subtropicais, associados às margens de baías, de enseadas, de barras, de desembocaduras de rios, de lagunas e de reentrâncias costeiras (Schaeffer-Novelli et al., 2000; Hogarth, 2015). Os manguezais desempenham um importante papel como exportador de matéria orgânica para os estuários, contribuindo para a produtividade primária na zona costeira. Por essa razão, constituem-se em ecossistemas complexos e dos mais férteis e diversificados do planeta (Jennerjan & Ittekkot, 2004; Hogarth 2015). A sua biodiversidade faz com que essas áreas se constituam em grandes "berçários" naturais, tanto para as espécies típicas desses ambientes, como para animais, aves, peixes, moluscos e crustáceos, que, aqui, encontram as condições ideais para reprodução, eclosão, criadouro e abrigo. Além disso, os manguezais produzem mais de 95% do alimento que o homem captura no mar. Por essa razão, a sua manutenção é vital para a subsistência das comunidades pesqueiras que vivem em seu entorno (Robertson e Duke, 1987; Ferreira et al., 2016).

Neste sentido, conforme descrito no Apêndice V (Alterações Ecológicas na Dinâmica dos Manguezais e Vegetação de Restinga sob Influência dos Sedimentos Provenientes do Rio Doce) do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA), o monitoramento do manguezais tem sido realizado na área de influência direta do rompimento da barragem (Foz do Rio Doce), bem como nas áreas de influência consideradas, atualmente, como indiretas, a saber: Confluência dos Rios Piraquê Açú e Mirim (pertencente à Reserva do Desenvolvimento Sustentável Municipal Piraquê Açú e Piraquê Mirim), Manguezais de franja na área do Revis de Santa Cruz (pertencente à APA Costa das Algas e Revis Santa Cruz), Rio Urussuquara, Rio Mariricu e Rio São Mateus (pertencente à APA Conceição da Barra) e Rio Caravelas (pertencente à APA Ponta da Baleia/Abrolhos). Nos manguezais, em cada ponto amostral foram coletados os caranguejos guaiamu (*Cardisoma guanhumi*) ( $n=6$ ) e o caranguejos-uçá (*Ucides cordatus*) ( $n=6$ ). Entretanto, durante a execução do monitoramento, houve a necessidade de inclusão de uma nova espécie, pertencente ao mesmo nível trófico das outras, conhecida popularmente como caranguejo vermelho (*Goniopsis cruentata*) ( $n=6$ ). A inclusão desta nova espécie, deve-se ao fato da inexistência de *U. cordatus* no ponto referente à Foz do Rio Doce. Ademais, houve a necessidade de inclusão de um novo ponto de coleta na região de Revis Santa Cruz (RSC2). Isso se deve ao fato de que um dos caranguejos utilizados para o monitoramento (*Cardisoma guanhumi*) não foi encontrado no ponto RSC1. Neste sentido, o ponto RSC2 foi adicionado ao monitoramento, sendo um total de 8 regiões de manguezal. Considerando a proximidade entre RSC1 e RSC2, os resultados para estes pontos serão unidos e apresentados como um ponto único (RSC).

Na primeira fase do PMBA, o monitoramento do ambiente de manguezal foi realizado em um período de 16 meses (julho 2018 – novembro 2019), sendo realizada duas expedições para coletas de material.

A primeira coleta foi realizada entre os meses de setembro e outubro de 2018 (Campanha 1; inverno) e a segunda entre os meses de janeiro e fevereiro de 2019 (Campanha 2; verão). Portanto, neste relatório serão mostrados os dados da campanha 1 e da campanha 2 de forma comparativa, englobando todos os pontos de coleta. Para tanto, inicialmente, serão mostrados os resultados da concentração de metais nos tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) dos caranguejos de manguezal. Em seguida, os resultados da avaliação dos biomarcadores sobre os mesmos tecidos. Por fim, serão indicados os resultados da correlação (causa/efeitos) entre a concentração de metais e biomarcadores nos tecidos da biota, através da Análise de Componentes Principais (PCA). Os resultados apresentados serão comparados com dados pretéritos de relatórios de monitoramento de antes e depois do rompimento, bem como com dados da literatura, a fim de demonstrar a real situação dos manguezais nos dias atuais.

### 3.4.1 Concentração de metais em organismos dos manguezais

Como mencionado acima, os primeiros resultados a serem apresentados são em relação à concentração dos metais nos tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) de ambos caranguejos escolhidos no monitoramento da campanha 1 (Set/Out 2018) e da campanha 2 (Jan/Fev 2019) (Tabela 152 e Tabela 153).

Tabela 152: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Hg e As nas brânquias (B), hepatopâncreas (H) e músculo (M) de *U. cordatus*, *C. guanhamu* e *G. cruentata* nos manguezais da campanha 1 (Set/Out 2018) do monitoramento do manguezal. Ao final são mostrados os valores de referência dos seguintes metais: Cd, Pb, Hg e As de acordo com a resolução Anvisa 42/2013. No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os resultados são expressos em média  $\pm$  erro padrão.

Caranguejo - Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)											
Ponto	Espécie (n)	T	Cr	Cd	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb	Hg	As
			mg/kg de peso úmido								
PAM	<i>U. Cordatus</i> (7)	B	1,72 $\pm$ 0,40	0,01 $\pm$ 0,00	13,80 $\pm$ 6,23	18,40 $\pm$ 4,19	15,09 $\pm$ 2,41	0,63 $\pm$ 0,13	0,08 $\pm$ 0,01	0,08 $\pm$ 0,01	0,04 $\pm$ 0,01
		H	7,35 $\pm$ 2,22	0,03 $\pm$ 0,00	26,12 $\pm$ 4,93	54,41 $\pm$ 10,73	17,15 $\pm$ 8,802	1,99 $\pm$ 0,35	0,58 $\pm$ 0,2	0,17 $\pm$ 0,03	0,32 $\pm$ 0,11
		M	1,42 $\pm$ 0,41	0,11 $\pm$ 0,02	1,49 $\pm$ 0,16	29,52 $\pm$ 3,8	21,24 $\pm$ 8,75	0,62 $\pm$ 0,18	0,029 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,00	0,23 $\pm$ 0,06
PAM	<i>C. guanhamu</i> (6)	B	1,52 $\pm$ 0,31	0,006 $\pm$ 0,003	92,03 $\pm$ 36,9	15,32 $\pm$ 4,09	5,88 $\pm$ 1,11	0,44 $\pm$ 0,08	0,06 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,00	0,17 $\pm$ 0,06
		H	4,55 $\pm$ 1,83	0,009 $\pm$ 0,006	22,13 $\pm$ 11,1	37,65 $\pm$ 9,49	6,09 $\pm$ 2,48	1,51 $\pm$ 0,56	0,32 $\pm$ 0,07	0,12 $\pm$ 0,04	0,12 $\pm$ 0,02

Caranguejo - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)

Ponto	Espécie (n)	T	Cr	Cd	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb	Hg	As
			mg/kg de peso úmido								
		M	1,84 ± 0,58	0,02 ± 0,00	2,81 ± 0,27	26,2 ± 3,57	6,62 ± 3,00	0,66 ± 0,09	0,03 ± 0,014	0,01 ± 0,00	0,24 ± 0,05
		B	4,78 ± 1,58	0,006 ± 0,00	92,03 ± 36,9	15,32 ± 4,09	5,88 ± 1,11	0,44 ± 0,08	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,00	0,17 ± 0,06
RSC	<i>U. cordatus</i> (6)	H	6,42 ± 0,92	0,009 ± 0,006	22,13 ± 11,1	37,65 ± 9,49	6,09 ± 2,487	1,51 ± 0,56	0,32 ± 0,07	0,12 ± 0,04	0,12 ± 0,027
		M	3,19± 0,44	0,02 ± 0,00	2,81 ± 0,27	26,28 ± 3,57	6,62 ± 3,00	0,68 ± 0,09	0,03 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,24 ± 0,05
		B	3,00 ± 0,38	0,01 ± 0,00	0,12 ± 0,03	23,22 ± 3,00	5,40 ± 1,483	0,86 ± 0,14	0,18 ± 0,08	0,01 ± 0,00	0,20 ± 0,06
RSC	<i>C. guanhamu</i> (7)	H	9,63 ± 3,00	0,01 ± 0,00	8,05 ± 4,00	124,7 ± 33,44	3,31 ± 1,48	1,20 ± 0,29	0,11 ± 0,03	0,23 ± 0,06	0,26 ± 0,07
		M	2,94 ± 0,53	0,001 ± 0,000	1,47 ± 0,37	9,07 ± 1,054	3,04 ± 1,2	0,63 ± 0,12	0,54 ± 0,11	0,11 ± 0,01	0,09 ± 0,00
		B	3,00± 0,38	0,01 ± 0,00	0,12 ± 0,03	23,22 ± 3,00	5,40 ± 1,48	0,86 ± 0,14	0,18 ± 0,08	0,01 ± 0,00	0,20 ± 0,06
FRG	<i>G. cruentata</i> (6)	H	9,63 ± 3,00	0,01 ± 0,003	8,05 ± 4,00	124,7 ± 33,44	3,31 ± 1,48	1,20 ± 0,29	0,11 ± 0,03	0,23 ± 0,06	0,260 ± 0,07
		M	2,94 ± 0,53	0,001 ± 0,000	1,47 ± 0,37	9,07 ± 1,05	3,04 ± 1,20	0,63 ± 0,12	0,54 ± 0,11	0,11 ± 0,01	0,09 ± 0,00
		B	2,26 ± 0,26	0,005 ± 0,001	0,02 ± 0,01	52,35 ± 20,93	10,27 ± 3,124	0,436 ± 0,073	0,101 ± 0,018	0,00 ± 0,00	0,125 ± 0,030
FRG	<i>C. guanhamu</i> (6)	H	2,62 ± 0,62	0,002 ± 0,001	0,26 ± 0,07	31,70 ± 7,99	5,74 ± 2,38	0,63 ± 0,17	0,04 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,10 ± 0,04
		M	2,30 ± 0,19	0,001 ± 0,000	1,44 ± 0,28	25,18 ± 3,114	2,44 ± 0,59	3,19 ± 0,99	1,15 ± 0,45	0,03 ± 0,02	0,06 ± 0,01

Caranguejo - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)

Ponto	Espécie (n)	T	Cr	Cd	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb	Hg	As
			mg/kg de peso úmido								
RUR	<i>U. cordatus</i> (6)	B	2,89 ± 1,40	0,006 ± 0,003	0,07 ± 0,02	3,29 ± 0,91	4,29 ± 2,31	0,87 ± 0,27	0,09 ± 0,02	0,03 ± 0,02	0,18 ± 0,09
		H	3,46 ± 0,90	0,001 ± 0,000	0,04 ± 0,01	50,34 ± 25,57	3,20 ± 1,15	0,04 ± 0,01	0,05 ± 0,007	0,13 ± 0,02	0,05 ± 0,04
		M	2,27 ± 0,13	0,00 ± 0,00	1,176 ± 0,131	23,66 ± 0,953	1,020 ± 0,272	0,24 ± 0,08	0,32 ± 0,09	0,00 ± 0,00	0,054 ± 0,014
RUR	<i>C. guanhamu</i> (6)	B	8,82 ± 1,36	0,005 ± 0,001	0,17 ± 0,10	31,59± 11,91	19,93 ± 5,95	1,38 ± 0,53	0,30 ± 0,03	0,05 ± 0,00	0,42 ± 0,17
		H	2,33 ± 0,42	0,003 ± 0,002	0,01 ± 0,006	29,98 ± 2,24	3,53 ± 1,43	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,06 ± 0,02
		M	2,30 ± 0,1	0,001 ± 0,000	1,44 ± 0,28	25,18 ± 3,11	2,44 ± 0,59	3,19 ± 0,99	1,15 ± 0,45	0,03 ± 0,02	0,08 ± 0,01
RMA	<i>U. cordatus</i> (6)	B	3,59 ± 0,83	0,01 ± 0,006	4,36 ± 0,74	23,67 ± 5,47	9,50 ± 3,53	0,48 ± 0,07	0,11 ± 0,02	0,05 ± 0,00	0,12 ± 0,06
		H	2,16 ± 0,54	0,02 ± 0,008	0,14 ± 0,05	64,10 ± 13,73	30,21 ± 8,39	0,90 ± 0,30	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,18 ± 0,04
		M	1,98 ± 0,22	0,001 ± 0,000	2,22 ± 0,41	30,32 ± 2,92	1,68 ± 0,60	0,09 ± 0,03	0,03 ± 0,007	0,00 ± 0,00	0,07 ± 0,01
RMA	<i>C. guanhamu</i> (6)	B	1,19 ± 0,46	0,04 ± 0,01	3,15 ± 0,96	14,18 ± 2,09	1,88 ± 0,98	0,46 ± 0,07	0,03 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,05 ± 0,02
		H	1,40 ± 0,47	0,009 ± 0,001	0,55 ± 0,53	17,52 ± 2,77	3,99 ± 0,93	0,21 ± 0,05	0,01 ± 0,00	0,05 ± 0,00	0,06 ± 0,02
		M	2,31 ± 0,60	0,001 ± 0,000	2,29 ± 0,37	28,81 ± 2,48	2,72 ± 2,10	0,16 ± 0,06	0,03 ± 0,010	0,01 ± 0,00	0,15 ± 0,04
RSM	<i>U. cordatus</i> (6)	B	4,53 ± 1,06	0,01 ± 0,007	2,33 ± 0,61	10,66 ± 4,75	22,15 ± 13,15	2,87 ± 0,75	0,18 ± 0,03	0,03 ± 0,00	0,12 ± 0,02

Caranguejo - Campanha 1 (Setembro/Octubro 2018)

Ponto	Espécie (n)	T	Cr	Cd	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb	Hg	As
			mg/kg de peso úmido								
		H	1,97 ± 0,40	0,004 ± 0,000	2,75 ± 0,56	4,90 ± 2,07	15,29 ± 5,83	1,69 ± 0,58	0,99 ± 0,27	0,21 ± 0,04	0,09 ± 0,06
		M	4,47 ± 0,67	0,001 ± 0,000	0,79 ± 0,17	26,58 ± 1,37	1,68 ± 0,43	0,40 ± 0,13	0,65 ± 0,22	0,01 ± 0,00	0,05 ± 0,01
		B	3,91 ± 0,29	0,02 ± 0,005	2,55 ± 0,33	5,97 ± 1,42	12,11 ± 3,54	2,72 ± 0,62	0,18 ± 0,04	0,04 ± 0,00	0,13 ± 0,05
RSM	<i>C. guanhamu</i> (6)	H	1,77 ± 0,38	0,004 ± 0,001	3,90 ± 0,81	3,41 ± 0,96	9,11 ± 4,71	1,14 ± 0,29	0,50 ± 0,33	0,19 ± 0,03	0,06 ± 0,02
		M	3,22 ± 0,54	0,001 ± 0,000	0,32 ± 0,06	24,51 ± 1,50	1,26 ± 0,21	0,29 ± 0,06	1,39 ± 0,39	0,00 ± 0,00	0,20 ± 0,11
		B	1,73 ± 0,33	0,01 ± 0,006	1,79 ± 0,48	21,59 ± 2,72	91,73 ± 39,58	2,34 ± 1,51	0,32 ± 0,07	0,05 ± 0,00	0,06 ± 0,01
RCA	<i>U. cordatus</i> (6)	H	1,61 ± 0,34	0,01 ± 0,05	0,24 ± 0,13	15,94 ± 4,36	63,13 ± 26,93	0,87 ± 0,23	0,07 ± 0,01	0,00 ± 0,00	0,11 ± 0,01
		M	0,87 ± 0,27	0,01 ± 0,00	1,28 ± 0,22	8,96 ± 4,25	2,26 ± 0,77	0,53 ± 0,15	0,11 ± 0,03	0,05 ± 0,00	0,14 ± 0,05
		B	1,93 ± 0,57	0,15 ± 0,06	2,84 ± 0,62	15,55 ± 3,01	1,93 ± 0,35	1,66 ± 0,36	0,27 ± 0,13	0,07 ± 0,01	0,08 ± 0,01
RCA	<i>C. guanhamu</i> (6)	H	1,71 ± 0,51	0,004 ± 0,001	1,69 ± 0,74	10,64 ± 2,69	74,18 ± 39,74	0,74 ± 0,17	0,10 ± 0,02	0,00 ± 0,00	0,07 ± 0,01
		M	1,29 ± 0,39	0,003 ± 0,001	1,94 ± 0,54	29,13 ± 2,65	7,21 ± 3,16	0,25 ± 0,10	0,08 ± 0,008	0,05 ± 0,01	0,10 ± 0,03
		M	-	0,5	-	-	-	-	0,5	0,5	1,0

Tabela 153: Concentração (mg/kg de peso úmido) dos elementos Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Hg e As nas brânquias (B), hepatopâncreas (H) e músculo (M) de *U. cordatus*, *C. guanhamu* e *G. cruentata* nos manguezais da campanha 2 (Jan/Fev 2019) do monitoramento do manguezal. Ao final são mostrados os valores de referência dos seguintes metais: Cd, Pb, Hg e As de acordo com a resolução Anvisa 42/2013. No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os resultados são expressos em média  $\pm$  erro padrão.

Caranguejo - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)											
Ponto	Espécie (n)	T	Cr	Cd	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb	Hg	As
			mg/kg de peso úmido								
PAM	<i>U. Cordatus</i> (6)	B	0,00 $\pm$ 0,00	0,004 $\pm$ 0,002	12,11 $\pm$ 3,22	135,8 $\pm$ 27,65	2,08 $\pm$ 0,36	13,86 $\pm$ 2,27	0,02 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,11 $\pm$ 0,03
		H	0,02 $\pm$ 0,01	0,002 $\pm$ 0,001	2,39 $\pm$ 0,87	110,3 $\pm$ 19,99	1,44 $\pm$ 0,13	25,22 $\pm$ 2,71	0,01 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,17 $\pm$ 0,03
		M	0,01 $\pm$ 0,00	0,004 $\pm$ 0,001	1,67 $\pm$ 1,26	19,40 $\pm$ 1,39	1,28 $\pm$ 0,18	36,66 $\pm$ 1,32	0,01 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,40 $\pm$ 0,08
PAM	<i>C. guanhamu</i> (6)	B	0,01 $\pm$ 0,00	0,002 $\pm$ 0,001	23,37 $\pm$ 3,54	17,15 $\pm$ 3,02	1,67 $\pm$ 0,40	11,25 $\pm$ 1,76	0,02 $\pm$ 0,007	0,00 $\pm$ 0,00	0,20 $\pm$ 0,02
		H	0,01 $\pm$ 0,00	0,004 $\pm$ 0,002	23,59 $\pm$ 7,61	9,45 $\pm$ 1,83	1,80 $\pm$ 0,27	17,54 $\pm$ 6,46	0,06 $\pm$ 0,04	0,00 $\pm$ 0,00	0,40 $\pm$ 0,06
		M	0,01 $\pm$ 0,00	0,003 $\pm$ 0,001	3,00 $\pm$ 1,13	6,10 $\pm$ 0,59	1,43 $\pm$ 0,16	23,42 $\pm$ 6,23	0,04 $\pm$ 0,02	0,00 $\pm$ 0,00	1,03 $\pm$ 0,06
RSC	<i>U. cordatus</i> (6)	B	0,04 $\pm$ 0,01	0,004 $\pm$ 0,001	3,03 $\pm$ 0,42	6,52 $\pm$ 0,55	2,49 $\pm$ 0,33	14,82 $\pm$ 1,07	0,04 $\pm$ 0,01	0,00 $\pm$ 0,00	0,05 $\pm$ 0,01
		H	0,03 $\pm$ 0,00	0,003 $\pm$ 0,001	0,54 $\pm$ 0,14	4,97 $\pm$ 0,67	1,96 $\pm$ 0,18	42,68 $\pm$ 4,05	0,01 $\pm$ 0,003	0,00 $\pm$ 0,00	0,33 $\pm$ 0,02
		M	0,02 $\pm$ 0,00	0,002 $\pm$ 0,000	0,15 $\pm$ 0,02	4,15 $\pm$ 0,85	1,60 $\pm$ 0,18	44,18 $\pm$ 1,70	0,040 $\pm$ 0,008	0,00 $\pm$ 0,00	0,59 $\pm$ 0,04
RSC	<i>C. guanhamu</i> (6)	B	0,03 $\pm$ 0,00	0,003 $\pm$ 0,001	25,78 $\pm$ 4,40	21,04 $\pm$ 9,20	2,25 $\pm$ 0,80	10,49 $\pm$ 2,40	0,04 $\pm$ 0,01	0,00 $\pm$ 0,00	0,25 $\pm$ 0,04
		H	0,01 $\pm$ 0,00	0,001 $\pm$ 0,000	28,40 $\pm$ 4,54	9,98 $\pm$ 2,35	2,08 $\pm$ 0,18	35,28 $\pm$ 3,87	0,02 $\pm$ 0,008	0,00 $\pm$ 0,00	0,48 $\pm$ 0,09
		M	0,00 $\pm$ 0,00	0,002 $\pm$ 0,000	1,89 $\pm$ 0,41	3,50 $\pm$ 0,41	1,31 $\pm$ 0,12	46,45 $\pm$ 2,99	0,03 $\pm$ 0,009	0,00 $\pm$ 0,00	0,93 $\pm$ 0,07

Caranguejo - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto	Espécie (n)	T	Cr	Cd	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb	Hg	As
			mg/kg de peso úmido								
FRG	<i>G. cruentata</i> (6)	B	0,07 ± 0,01	0,003 ± 0,001	12,92 ± 2,47	29,01 ± 3,80	6,16 ± 0,92	8,58 ± 1,55	0,05 ± 0,02	0,00 ± 0,00	0,17 ± 0,03
		H	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,004	105,7 ± 18,91	16,62 ± 4,21	5,59 ± 0,63	30,01 ± 3,011	0,07 ± 0,03	0,00 ± 0,00	0,73 ± 0,14
		M	0,03 ± 0,01	0,004 ± 0,001	20,36 ± 9,43	9,61 ± 2,59	2,54 ± 0,53	13,05 ± 2,21	0,03 ± 0,010	0,01 ± 0,00	0,68 ± 0,10
FRG	<i>C. guanhamu</i> (6)	B	0,02 ± 0,00	0,003 ± 0,001	23,40 ± 3,65	22,95 ± 4,73	2,25 ± 0,40	5,38 ± 1,34	0,030 ± 0,010	0,00 ± 0,00	0,24 ± 0,01
		H	0,02 ± 0,00	0,003 ± 0,001	43,80 ± 4,21	26,38 ± 9,08	5,31 ± 0,63	16,17 ± 2,64	0,02 ± 0,006	0,00 ± 0,00	0,53 ± 0,10
		M	0,02 ± 0,00	0,007 ± 0,006	3,19 ± 0,69	7,28 ± 1,05	2,66 ± 0,45	27,20 ± 3,42	0,04 ± 0,012	0,00 ± 0,00	0,99 ± 0,09
RUR	<i>U. cordatus</i> (6)	B	0,02 ± 0,00	0,003 ± 0,001	9,68 ± 2,41	272,3 ± 113,9	1,28 ± 0,31	4,94 ± 0,98	0,004 ± 0,001	0,00 ± 0,00	0,04 ± 0,01
		H	0,01 ± 0,00	0,004 ± 0,001	18,95 ± 3,33	410,2 ± 83,88	4,33 ± 0,50	16,10 ± 4,78	0,002 ± 0,000	0,00 ± 0,00	0,06 ± 0,007
		M	0,02 ± 0,00	0,004 ± 0,001	2,18 ± 1,22	100,2 ± 12,81	1,50 ± 0,16	11,49 ± 2,53	0,002 ± 0,000	0,00 ± 0,00	0,23 ± 0,02
RUR	<i>C. guanhamu</i> (6)	B	0,00 ± 0,00	0,005 ± 0,002	2,16 ± 0,73	54,83 ± 11,14	2,11 ± 0,39	8,39 ± 2,706	0,003 ± 0,001	0,00 ± 0,00	0,27 ± 0,05
		H	0,02 ± 0,01	0,008 ± 0,002	28,75 ± 7,11	305,8 ± 110,2	2,68 ± 0,57	9,11 ± 2,58	0,01 ± 0,005	0,00 ± 0,00	0,06 ± 0,01
		M	0,01 ± 0,00	0,004 ± 0,001	18,95 ± 3,33	410,21 ± 83,88	4,33 ± 0,50	16,10 ± 4,78	0,002 ± 0,000	0,00 ± 0,00	0,06 ± 0,007
RMA	<i>U. cordatus</i> (6)	B	0,02 ± 0,00	0,005 ± 0,001	3,62 ± 0,76	369,9 ± 82,73	1,68 ± 0,12	1,21 ± 0,34	0,003 ± 0,002	0,00 ± 0,00	0,037 ± 0,009

Caranguejo - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)

Ponto	Espécie (n)	T	Cr	Cd	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb	Hg	As	
			mg/kg de peso úmido									
		H	0,01 ± 0,00	0,005 ± 0,001	11,92 ± 1,80	179,2 ± 38,53	3,67 ± 0,33	3,07 ± 1,12	0,002 ± 0,000	0,00 ± 0,00	0,01 ± 0,007	
			M	0,01 ± 0,00	0,007 ± 0,001	0,21 ± 0,02	21,10 ± 2,44	1,83 ± 0,16	4,12 ± 0,95	0,002 ± 0,000	0,00 ± 0,00	0,02 ± 0,006
				B	0,03 ± 0,02	0,006 ± 0,001	5,24 ± 1,36	112,4 ± 19,04	3,09 ± 0,79	1,45 ± 0,47	0,010 ± 0,004	0,00 ± 0,00
RMA	<i>C. guanhamu</i> (6)	H	0,03 ± 0,01	0,004 ± 0,001	24,24 ± 3,93	206,7 ± 25,89	4,59 ± 0,84	2,42 ± 0,57	0,006 ± 0,002	0,00 ± 0,00	0,16 ± 0,05	
			M	0,01 ± 0,00	0,004 ± 0,001	11,44 ± 2,79	11,88 ± 1,97	2,22 ± 0,30	5,18 ± 0,99	0,003 ± 0,001	0,00 ± 0,00	0,28 ± 0,06
				B	4,53 ± 1,06	0,01 ± 0,007	2,33 ± 0,61	10,66 ± 4,75	22,15 ± 13,15	2,87 ± 0,75	0,18 ± 0,03	0,03 ± 0,00
RSM	<i>U. cordatus</i> (6)	H	1,97 ± 0,40	0,004 ± 0,000	2,75 ± 0,56	4,90 ± 2,07	15,29 ± 5,83	1,69 ± 0,58	0,99 ± 0,27	0,21 ± 0,04	0,09 ± 0,06	
			M	4,47 ± 0,67	0,001 ± 0,000	0,79 ± 0,17	26,58 ± 1,37	1,68 ± 0,43	0,40 ± 0,13	0,65 ± 0,22	0,01 ± 0,00	0,05 ± 0,01
				B	3,91 ± 0,29	0,02 ± 0,005	2,55 ± 0,33	5,97 ± 1,42	12,11 ± 3,54	2,72 ± 0,62	0,18 ± 0,04	0,04 ± 0,00
RSM	<i>C. guanhamu</i> (6)	H	1,77 ± 0,38	0,004 ± 0,001	3,90 ± 0,81	3,41 ± 0,96	9,11 ± 4,71	1,14 ± 0,29	0,50 ± 0,33	0,19 ± 0,03	0,06 ± 0,02	
			M	3,22 ± 0,54	0,001 ± 0,000	0,32 ± 0,06	24,51 ± 1,50	1,26 ± 0,21	0,29 ± 0,06	1,39 ± 0,39	0,00 ± 0,00	0,20 ± 0,11
				B	1,73 ± 0,33	0,01 ± 0,006	1,79 ± 0,48	21,59 ± 2,72	91,73 ± 39,58	2,34 ± 1,51	0,32 ± 0,07	0,05 ± 0,00
RCA	<i>U. cordatus</i> (6)	H	1,61 ± 0,34	0,01 ± 0,05	0,24 ± 0,13	15,94 ± 4,36	63,13 ± 26,93	0,87 ± 0,23	0,07 ± 0,01	0,00 ± 0,00	0,11 ± 0,01	

Caranguejo - Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)											
Ponto	Espécie (n)	T	Cr	Cd	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb	Hg	As
			mg/kg de peso úmido								
		M	0,87 ± 0,27	0,01 ± 0,00	1,28 ± 0,22	8,96 ± 4,25	2,26 ± 0,77	0,53 ± 0,15	0,11 ± 0,03	0,05 ± 0,00	0,14 ± 0,05
		B	1,93 ± 0,57	0,15 ± 0,06	2,84 ± 0,62	15,55 ± 3,01	1,93 ± 0,35	1,66 ± 0,36	0,27 ± 0,13	0,07 ± 0,01	0,08 ± 0,01
RCA	C. <i>guanhamu</i> (6)	H	1,71 ± 0,51	0,004 ± 0,001	1,69 ± 0,74	10,64 ± 2,69	74,18 ± 39,74	0,74 ± 0,17	0,10 ± 0,02	0,00 ± 0,00	0,07 ± 0,01
		M	1,29 ± 0,39	0,003 ± 0,001	1,94 ± 0,54	29,13 ± 2,650	7,21 ± 3,16	0,25 ± 0,10	0,08 ± 0,008	0,05 ± 0,01	0,10 ± 0,03
<b>Anvisa (RDC 42/2013)</b>		<b>M</b>	-	<b>0,5</b>	-	-	-	-	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>1,0</b>

Fontes: Autoria própria e Anvisa RDC42/2013

Quando analisamos os níveis de todos os metais na biota do manguezal (Tabela 152 e Tabela 153), observamos variações nos níveis de ferro, manganês, cromo, zinco e um aumento dos níveis de chumbo em alguns pontos nas duas campanhas. Em relação ao chumbo, de acordo com a resolução 42/2013 da ANVISA, podemos observar que os níveis deste metal foram maiores no músculo de alguns caranguejos coletados na campanha 1 (Set/Out 2018) e acima dos valores permitidos pela resolução (Tabela 152). O aumento dos níveis de chumbo no músculo foi observado nos pontos: RSC, FRG, RUR e RSM.

Em relação ao ferro, notamos um aumento deste metal em brânquias e hepatopâncreas dos caranguejos, na campanha 2 (verão, jan/fev 2019), em relação à campanha 1 (inverno, set/out 2018). Este aumento foi observado em todos os pontos ao norte da Foz em Regência (RUR, RMA, RSM e RCA) e um ao sul (PAM) (Figura 412 e Figura 413). Além disso, quando comparamos os níveis de ferro com dados da literatura para ambientes contaminados que utilizaram caranguejos como biomonitoradores (Figura 412 e Figura 413), verificamos que os níveis de ferro, do presente monitoramento, estão superiores nas brânquias e hepatopâncreas. No músculo, observou-se um aumento de ferro na campanha 2 somente em dois pontos, ao norte de Regência, Rio Urussuquara (RUR) e Caravelas (RCA). Nos demais pontos analisados, os níveis de ferro estiveram mais altos na campanha 1 em comparação a campanha 2 (Figura 414). Somente para os pontos ao norte (RUR e RCA), os níveis de ferro estão acima da média do metal no músculo de caranguejos de ambientes contaminados, obtidos da literatura (Figura 414– linha tracejada).

Figura 412: Níveis de ferro (Fe) nas brânquias de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Fe são aferidos em mg/kg de peso úmido. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Fe em brânquias de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.

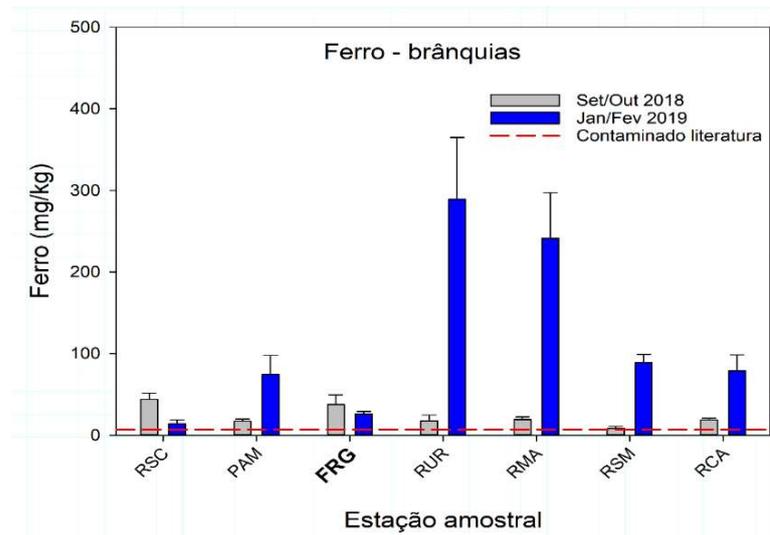


Figura 413: Níveis de ferro (Fe) no hepatopâncreas de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Fe são aferidos em mg/kg de peso úmido. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Fe em hepatopâncreas de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.

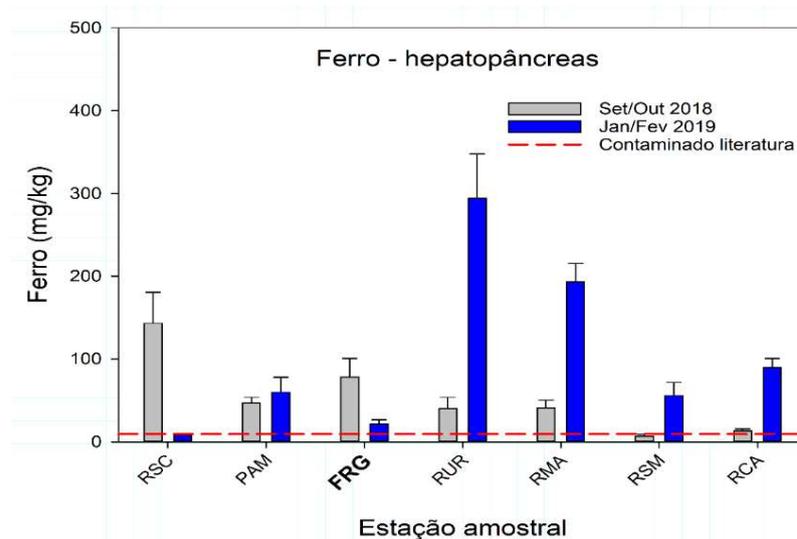
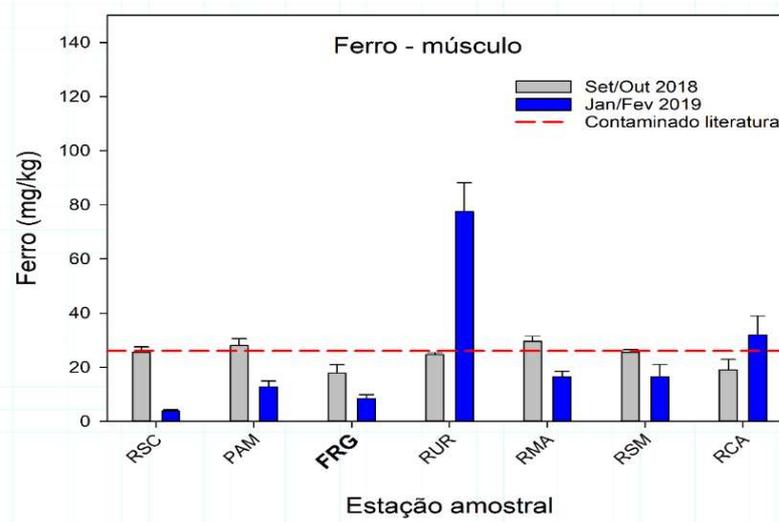


Figura 414: Níveis ferro (Fe) no músculo de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis cruentata*. Os níveis de Fe são aferidos em mg/kg de peso úmido. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Fe no músculo de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.



Em relação ao manganês (Mn), houve um aumento dos níveis deste metal, na campanha 1 quando comparada à campanha 2, em praticamente todos os tecidos analisados (Figura 415, Figura 416 e Figura 417). Nas brânquias, observamos níveis elevados de manganês em todos os pontos analisados na campanha 1 (Figura 415). Quando comparamos os níveis de Mn para este tecido com dados da literatura, observamos que, para o ponto mais ao sul do monitoramento no Revis Santa Cruz (RSC) e no ponto mais ao norte no Rio Caravelas (RCA), os níveis permaneceram acima das médias (Figura 415 – linha tracejada). Perfil similar ao encontrado nas brânquias foi observado quando analisamos os níveis de manganês no hepatopâncreas. Neste tecido, observamos um aumento de na campanha 1 em relação à campanha 2, a exceção do Rio Urussuquara (RUR) (Figura 416). Porém, quando comparamos os níveis com a literatura, todos os pontos monitorados permaneceram abaixo, com exceção do Rio Mariricu (RMA) e do Rio Caravelas (RCA), ambos ao norte de Regência (Figura 416 – linha tracejada). No músculo também observamos um aumento na campanha 1 quando comparado à campanha 2 (Figura 417). Porém, para este tecido, constatamos que a exceção do Rio São Mateus (RSM), todos os outros pontos tiveram níveis superiores de manganês, quando comparamos à literatura (Figura 417 – linha tracejada).

Figura 415: Níveis de manganês (Mn) nas brânquias de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Mn são aferidos em mg/kg de peso úmido. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Mn nas brânquias de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.

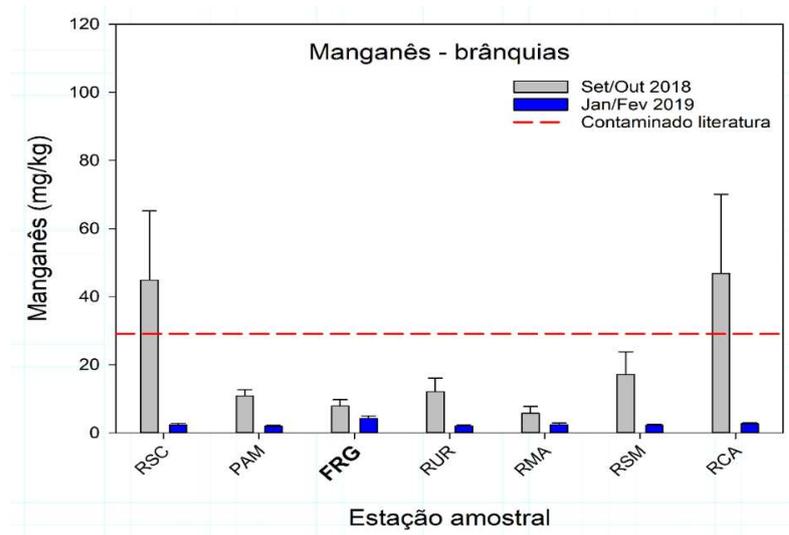


Figura 416: Níveis de manganês (Mn) no hepatopâncreas de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal nas coletas de inverno (Set/Out - 2018) e de verão (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Mn são aferidos em mg/kg de peso úmido. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Mn no hepatopâncreas de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.

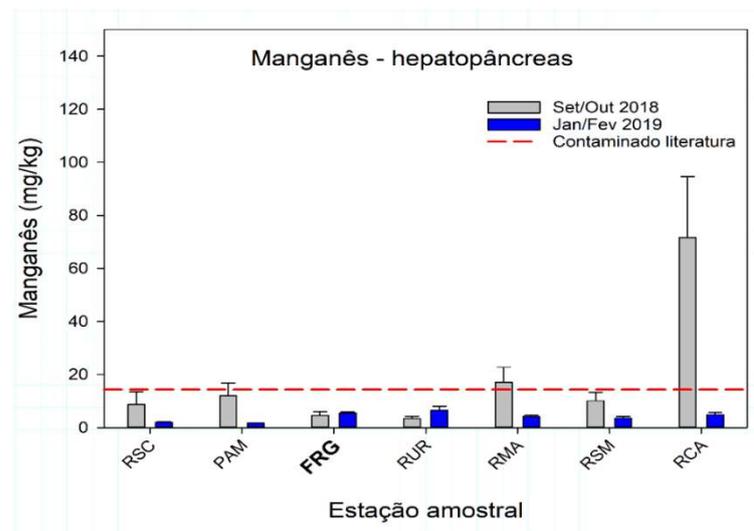
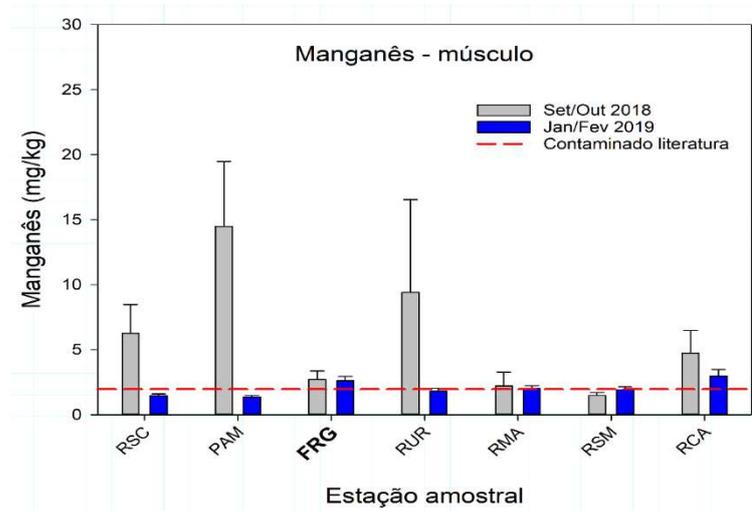
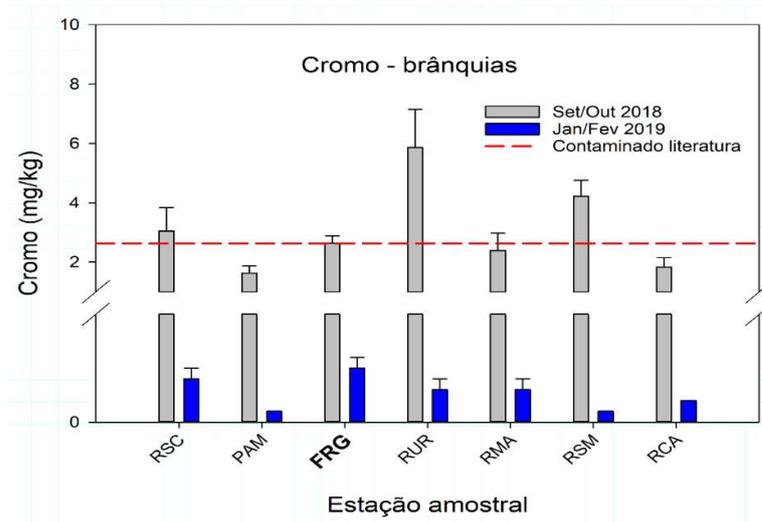


Figura 417: Níveis de manganês (Mn) no músculo de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Mn são aferidos em mg/kg de peso úmido. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Mn no músculo de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.



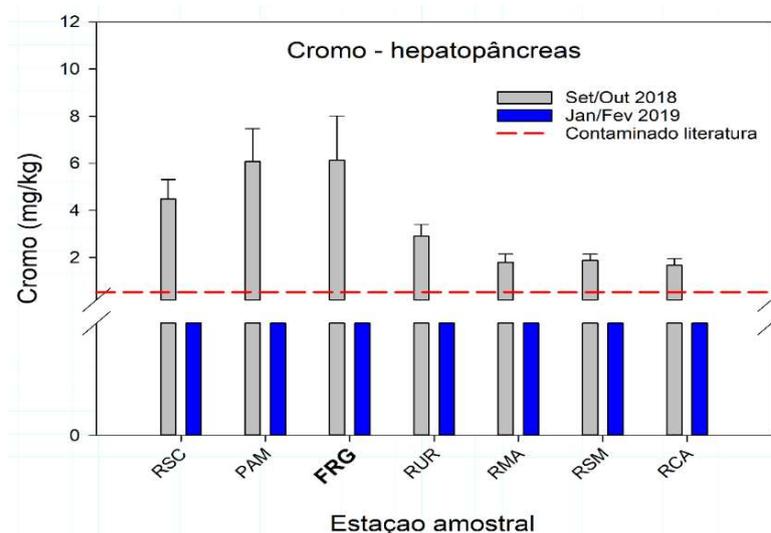
Para o cromo (Cr), verificamos distintos perfis de acordo com a estação de coleta (Figura 418, Figura 419 e Figura 420). Nas brânquias verificamos que os níveis na campanha 1 foram maiores do que na campanha 2, para todos os pontos monitorados (Figura 418). Quando comparamos os níveis de bioacumulação deste metal com os dados da literatura, verificamos aumento na campanha 1 para os pontos do Revis Santa Cruz (RVS), Rio Urussuquara (RUR) e Rio São Mateus (RSM) (Figura 418 – linha tracejada).

Figura 418: Níveis de cromo (Cr) nas brânquias de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis cruentata*. Os níveis de Cr são aferidos em mg/kg de peso úmido. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Cr nas brânquias de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média ± EP.



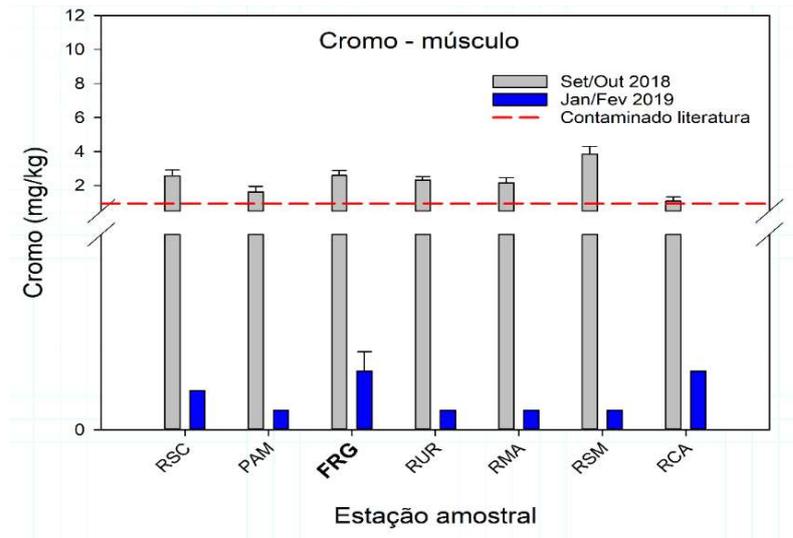
No hepatopâncreas, também verificamos um aumento de cromo (Cr) na campanha 1 em relação à campanha 2 (Figura 419). Semelhantemente ao observado para as brânquias, altos níveis de cromo foram observados na primeira campanha em relação a resultados obtidas da literatura em todos os manguezais monitorados (Figura 419 – linha tracejada).

Figura 419: Níveis de cromo (Cr) no hepatopâncreas de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis cruentata*. Os níveis de Cr são aferidos em mg/kg. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Cr no hepatopâncreas de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média ± EP.



No músculo, observamos o mesmo perfil, ou seja, altos níveis de Cr na campanha 1 em relação à campanha 2 (Figura 420). Quando comparamos com dados da literatura também averiguamos que todos os pontos da campanha 1 apresentaram níveis de cromo elevados (Figura 420 –linha tracejada).

Figura 420: Níveis de cromo (Cr) no músculo de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis cruentata*. Os níveis de Cr são aferidos em mg/kg. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Cr no músculo de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.



Quando avaliamos o zinco (Zn) em todos os tecidos, observamos um aumento deste metal em todos os tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo), para todos pontos monitorados na campanha 2 em comparação à campanha 1, demonstrando um perfil sazonal de acumulação deste metal (Figura 421, Figura 422 e Figura 423). Quando comparamos com dados da literatura, observamos que os níveis de zinco encontrados em nosso monitoramento estão abaixo da média de valores encontrados para ambientes contaminados (Figura 421, Figura 422 e Figura 423 – linhas tracejadas).

Figura 421: Níveis de zinco (Zn) nas brânquias de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Zn são aferidos em mg/kg. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Zn nas brânquias de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.

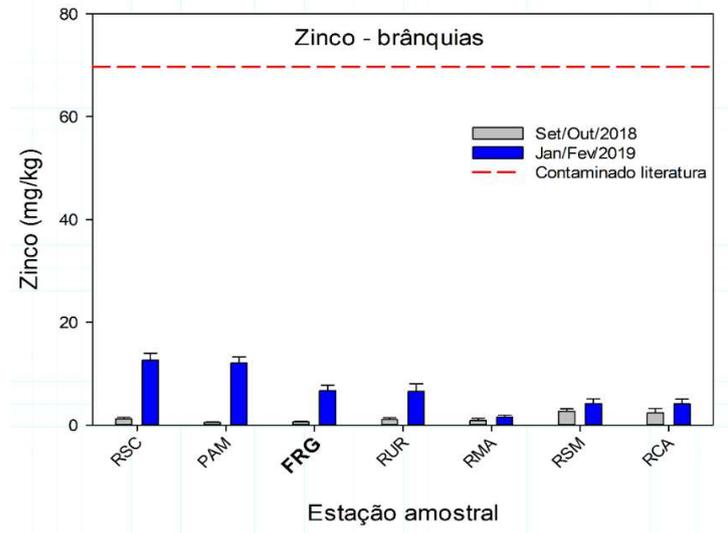


Figura 422: Níveis de zinco (Zn) no hepatopâncreas de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Zn são aferidos em mg/kg. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Zn no hepatopâncreas de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.

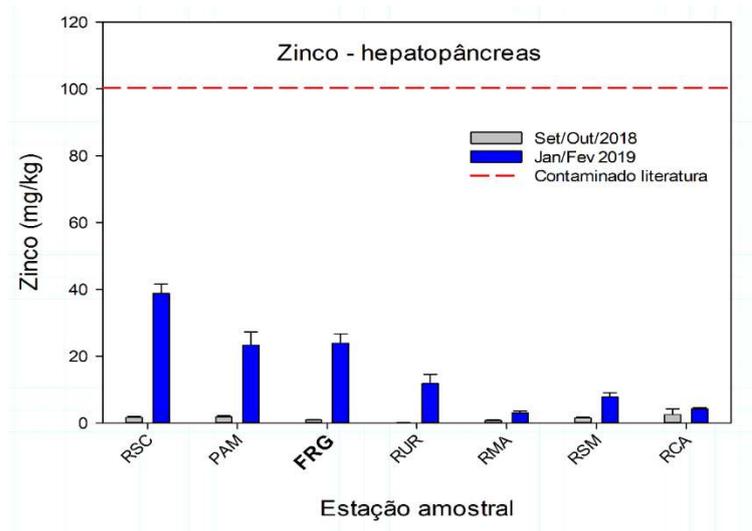
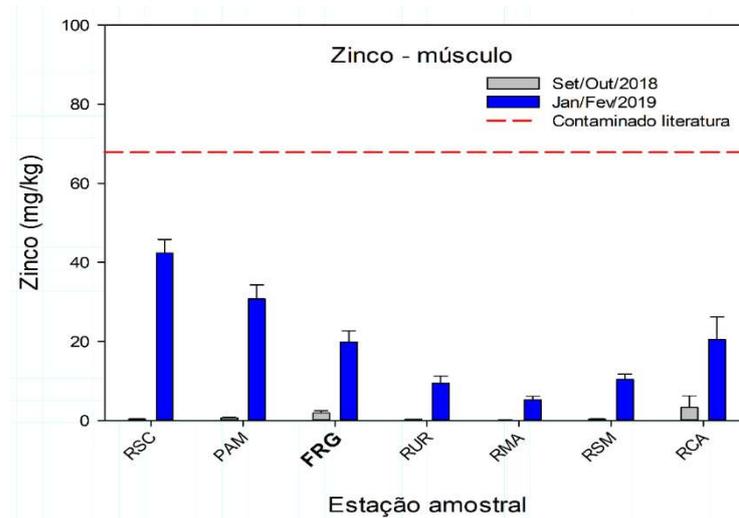
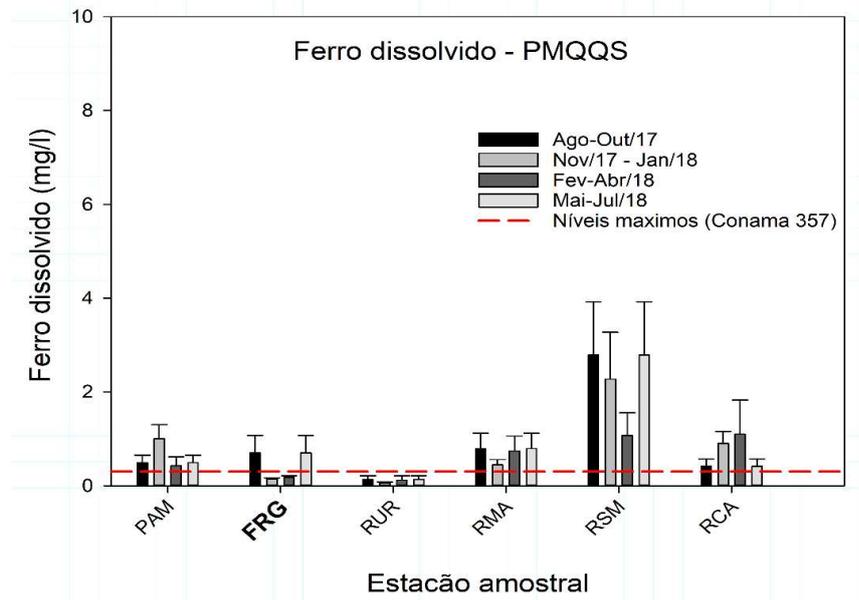


Figura 423: Níveis de zinco (Zn) no músculo de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de Zn são aferidos em mg/kg. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de Zn no musculo de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.



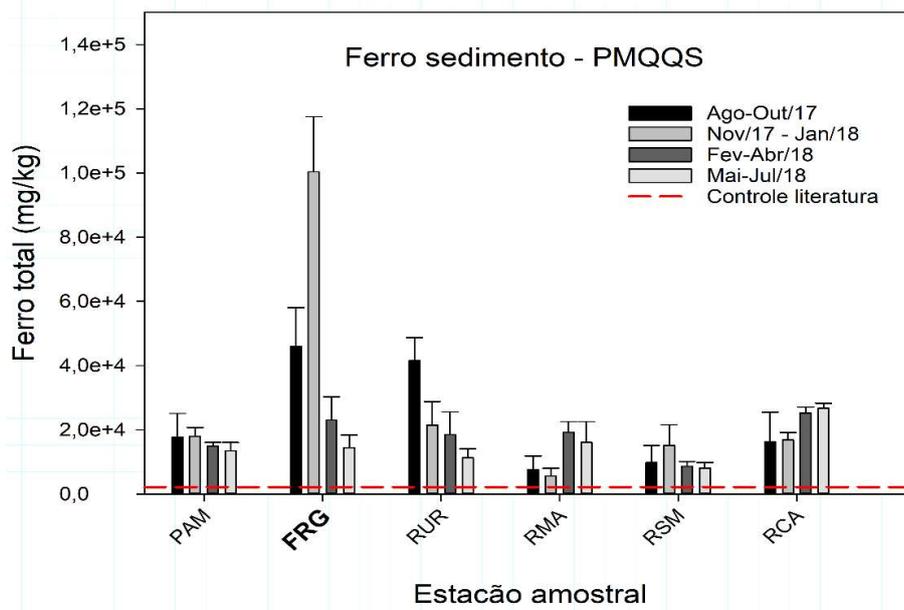
Logo após, avaliamos os dados fornecidos pelo Programa de Monitoramento Quali-quantitativo e Sistemático (PMQQS) pelo período de um ano (2017 -2018) que quantificou os níveis de metais nos manguezais. Observamos aumento dos níveis de ferro dissolvido (Figura 424) em praticamente todos os pontos durante todo monitoramento, a exceção do Rio Urussuquara (RUR) quando comparamos acima da legislação do Conama 357/2005 (Figura 424 – linha tracejada). Além disso, também notamos altos níveis de ferro no sedimento (Figura 425), quando conferimos com os dados da literatura para manguezais, próximos aos ambientes estudados (Figura 425– linha tracejada).

Figura 424: Níveis de ferro (Fe) dissolvido nos manguezais monitorados através do PMQQS (2017 – 2018). Os resultados são expressos em períodos trienais. A linha tracejada mostra os níveis máximos permitidos pela resolução CONAMA 357/2005. Os níveis de Fe são aferidos em mg/L. Os dados são apresentados como média ± EP.



Fonte: PMQQS

Figura 425: Níveis de ferro (Fe) no sedimento dos manguezais monitorados através do PMQQS (2017 – 2018). Os resultados são expressos em períodos trienais. A linha tracejada mostra a média dos níveis de ferro quantificados do rompimento das barragens em manguezais próximos aos ambientes monitorados. Os níveis de Fe são aferidos em mg/kg. Os dados são apresentados como média ± EP.



Fonte: PMQQS

Quando avaliamos os níveis de manganês na água, através dos dados do PMQQS (2017 -2018), observamos um aumento deste metal, durante todo período de monitoramento no Rio Mariricu (RMA) entre os meses de agosto a outubro de 2017 na Foz do Rio Doce (FRG) (Figura 426) quando comparamos com os níveis do CONAMA 357/2005 (Figura 426– linha tracejada). No sedimento, todos os manguezais monitorados tiveram altos níveis de manganês (Figura 427), quando comparamos com a média de Mn, em manguezais considerados não contaminados antes e depois do rompimento das barragens (Figura 427 – linha tracejada).

Figura 426: Níveis de manganês (Mn) nos manguezais monitorados através do PMQQS (2017 – 2018). Os resultados são expressos em períodos trienais. A linha tracejada mostra os níveis máximos permitidos pela resolução CONAMA 357/2005. Os níveis de Mn são aferidos em mg/l. Os dados são apresentados como média ± EP.

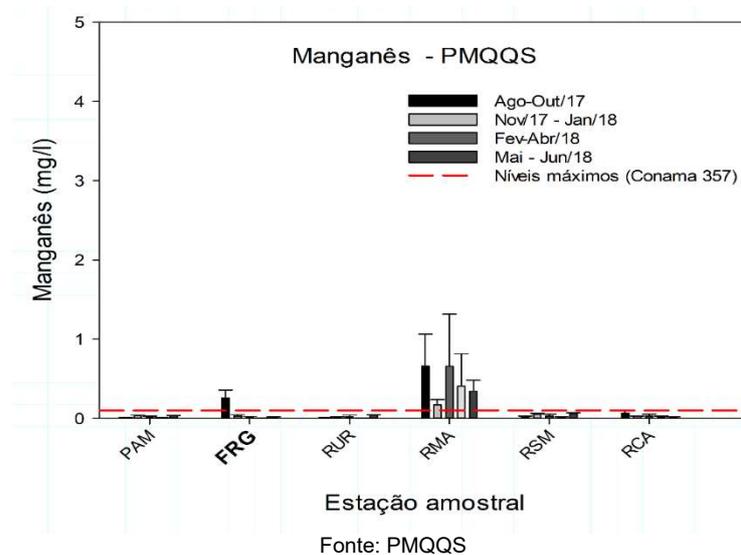
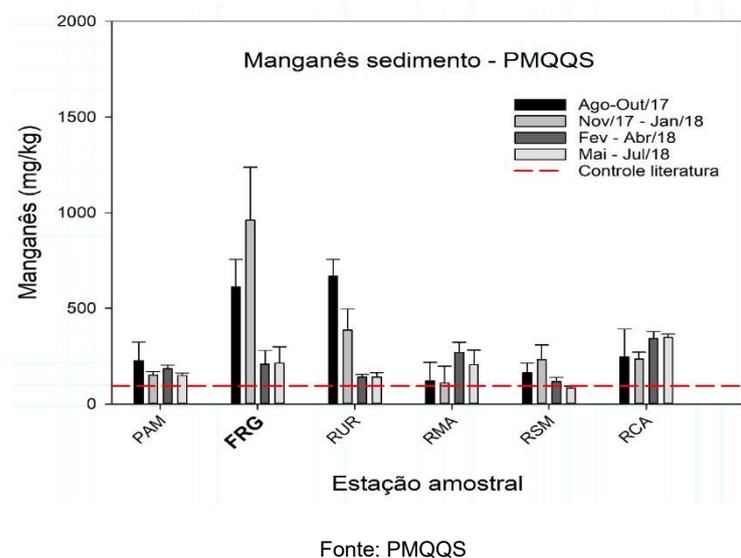


Figura 427: Níveis de manganês (Mn) no sedimento dos manguezais monitorados através do PMQQS (2017 – 2018). Os resultados são expressos em períodos trienais. A linha tracejada mostra a média dos níveis de manganês quantificados em estudos de antes e depois do rompimento das barragens em manguezais próximos aos ambientes monitorados. Os níveis de Mn são aferidos em mg/kg. Os dados são apresentados como média ± EP.



Para o cromo (Cr) dissolvido na água não observamos variações durante todo período de monitoramento do PMQQS (Figura 428). Além disso, os níveis deste metal estão abaixo dos valores máximos do CONAMA 357/2005 (Figura 428 – linha tracejada). Entretanto, quando avaliamos os dados no sedimento, observamos variações nos níveis de cromo em todos os manguezais monitorados (Figura 429). Ainda, os níveis encontrados deste metal estão acima das médias da literatura, para manguezais próximos antes do rompimento das barragens (Figura 429 – linha tracejada).

Figura 428: Níveis de cromo (Cr) nos manguezais monitorados através do PMQQS (2017 – 2018). Os resultados são expressos em períodos trienais. A linha tracejada mostra os níveis máximos permitidos pela resolução CONAMA 357/2005. Os níveis de Cr são aferidos em mg/L. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.

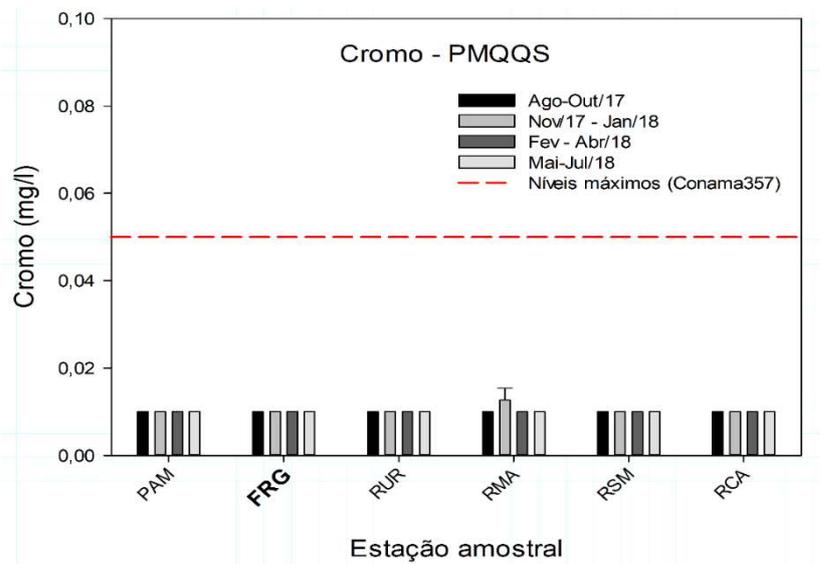
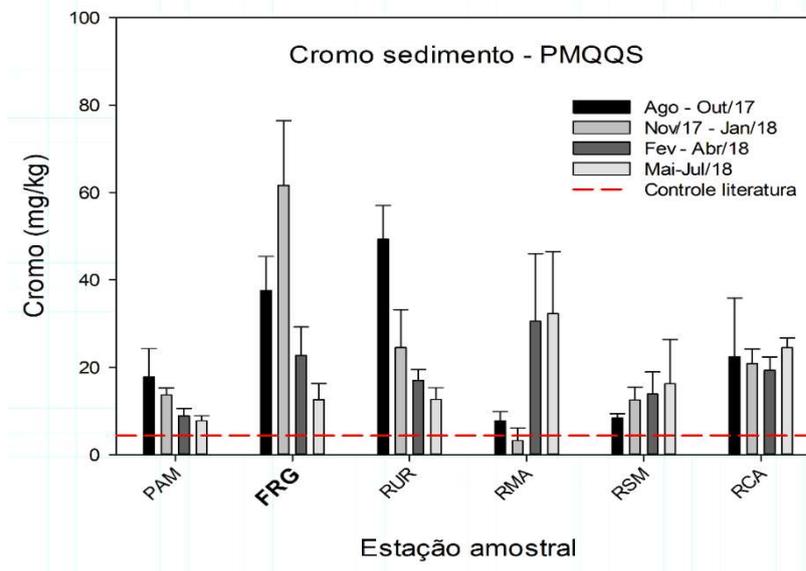


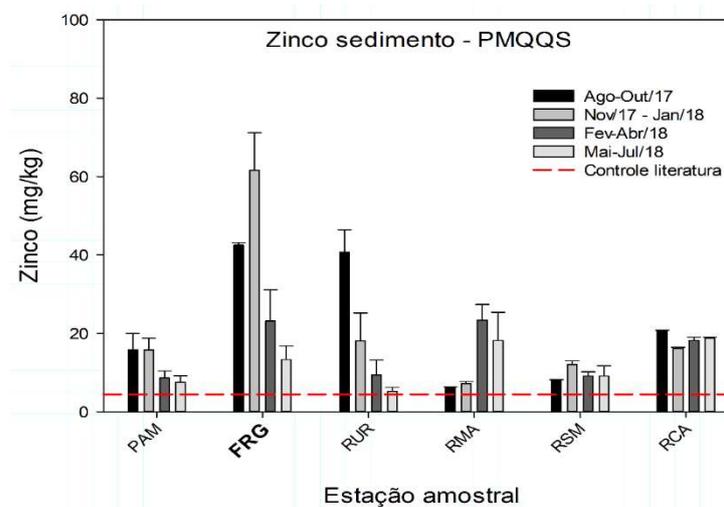
Figura 429: Níveis de cromo (Cr) no sedimento dos manguezais monitorados através do PMQQS (2017 – 2018). Os resultados são expressos em períodos trienais. A linha tracejada mostra a média dos níveis de manganês quantificados de estudos de antes e depois do rompimento das barragens em manguezais próximos aos ambientes monitorados. Os níveis de cr são aferidos em mg/kg. Os dados são apresentados como média ± EP.



Fonte: PMQQS

Em relação ao zinco (Zn), seus valores deste metal dissolvido na água ficaram abaixo do limite de detecção de 0,003 mg/L, nas análises realizadas. Porém, no sedimento foram observadas variações deste metal em todos os manguezais avaliadas (Figura 430). Quando comparados à literatura, os valores reportados no PMQQS ficaram acima da média de Zn, quantificadas em manguezais próximos aos monitorados, antes do rompimento das barragens (Figura 430 – linha tracejada).

Figura 430: Níveis de zinco (Zn) no sedimento dos manguezais monitorados através do PMQQS (2017 – 2018). Os resultados são expressos em períodos trienais. A linha tracejada mostra a média dos níveis de zinco quantificados de estudos de antes e depois do rompimento das barragens em manguezais próximos aos ambientes monitorados. Os níveis de Zn são aferidos em mg/kg. Os dados são apresentados como média ± EP



Fonte: PMQQS

Logo após, utilizamos técnicas de estatística multivariada para identificar padrões de similaridades entre as variáveis (pontos amostrais, metais e tecidos). Portanto, realizamos uma Análise de Componentes Principais (PCA) para ordenação e avaliação geral da distribuição espacial dos metais nos tecidos em ambos os pontos nas duas campanhas (Figura 431 e Tabela 154). A partir desta análise, podemos observar que existem dois padrões claros. O primeiro padrão mostra que diversos metais se concentraram nos seguintes pontos amostras: RSC, FRG, RUR e RSM na campanha 1. Neste padrão, podemos constatar que o cromo (Cr) mostrou moderada correlação (37,8% DIM 1), apresentando-se alto em todos os tecidos analisados. No segundo padrão, que é menos robusto (15,6% DIM 2), podemos observar que alguns metais incluindo o zinco (Zn), estão mais concentrados no músculo e hepatopâncreas de caranguejos, coletados na campanha 2, nos pontos do RSC e do FRG.

Figura 431: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de concentração de metais nos tecidos de caranguejos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) na expedição de inverno (campanha 1; símbolos em cinza) e na expedição de verão (campanha 2; símbolos azuis). Os símbolos representam os pontos amostrados.

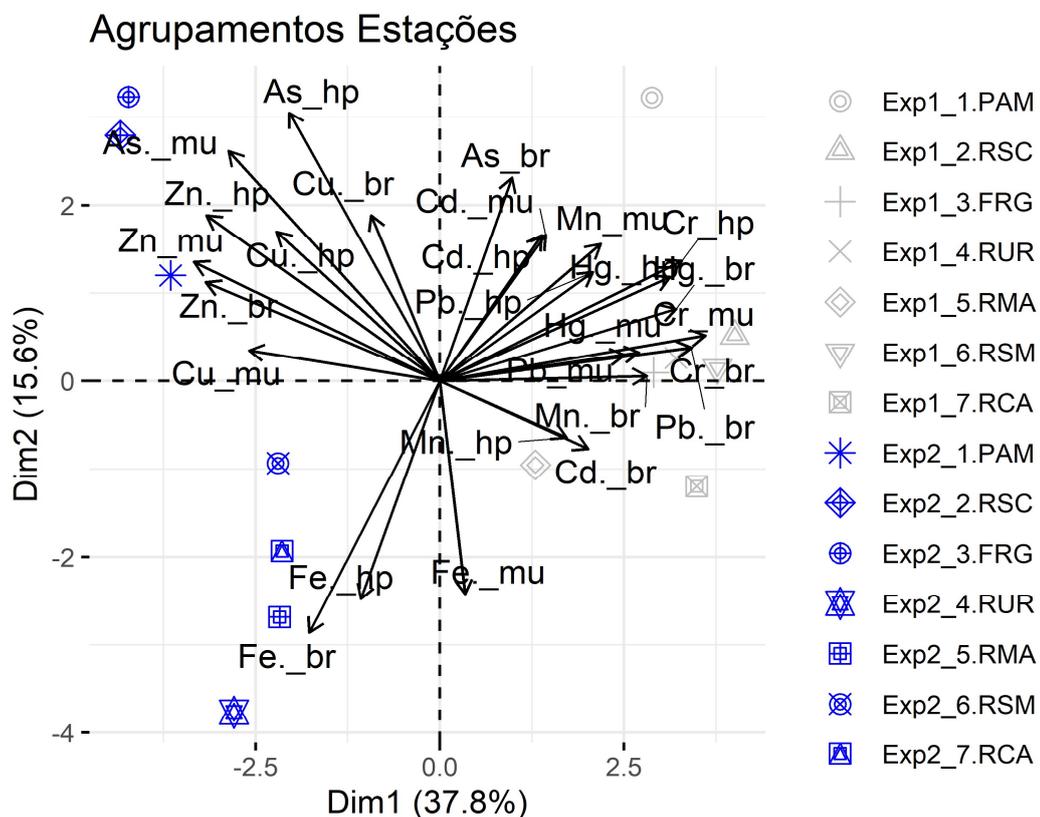


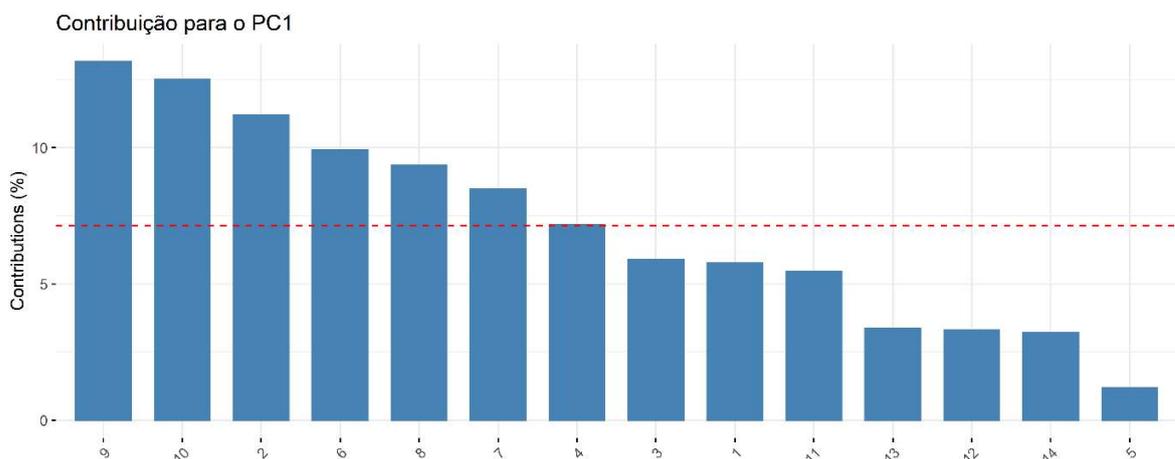
Tabela 154: Autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado da Figura 431.

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.1	10,21	37,82	37,82
Dim.2	4,19	15,55	53,37
Dim.3	3,65	13,52	66,90
Dim.4	2,99	11,09	78,00

	Auto Valor	Percentual de variância	Percentual de variância acumulativa
Dim.5	1,38	5,11	83,12
Dim.6	1,31	4,86	87,98
Dim.7	1,07	3,96	91,94
Dim.8	0,80	2,99	94,93
Dim.9	0,51	1,89	96,83
Dim.10	0,46	1,72	98,55
Dim.11	0,26	0,98	99,53
Dim.12	0,08	0,31	99,84
Dim.13	0,04	0,15	100

Em seguida, avaliamos a contribuição de cada ponto amostral para a Análise de PCA (Figura 432). Neste caso, com o intuito de evidenciar quais pontos amostrados tiveram mais contribuição (%), quando avaliamos a PCA (Figura 432). Nesta figura, observa-se que os pontos que mais contribuem para o componente principal 1 (PC1) no eixo X foram: Revis Santa Cruz (9 e 2), Foz do Rio Doce (10), Rio São Mateus (6) e Rio Caravelas (8).

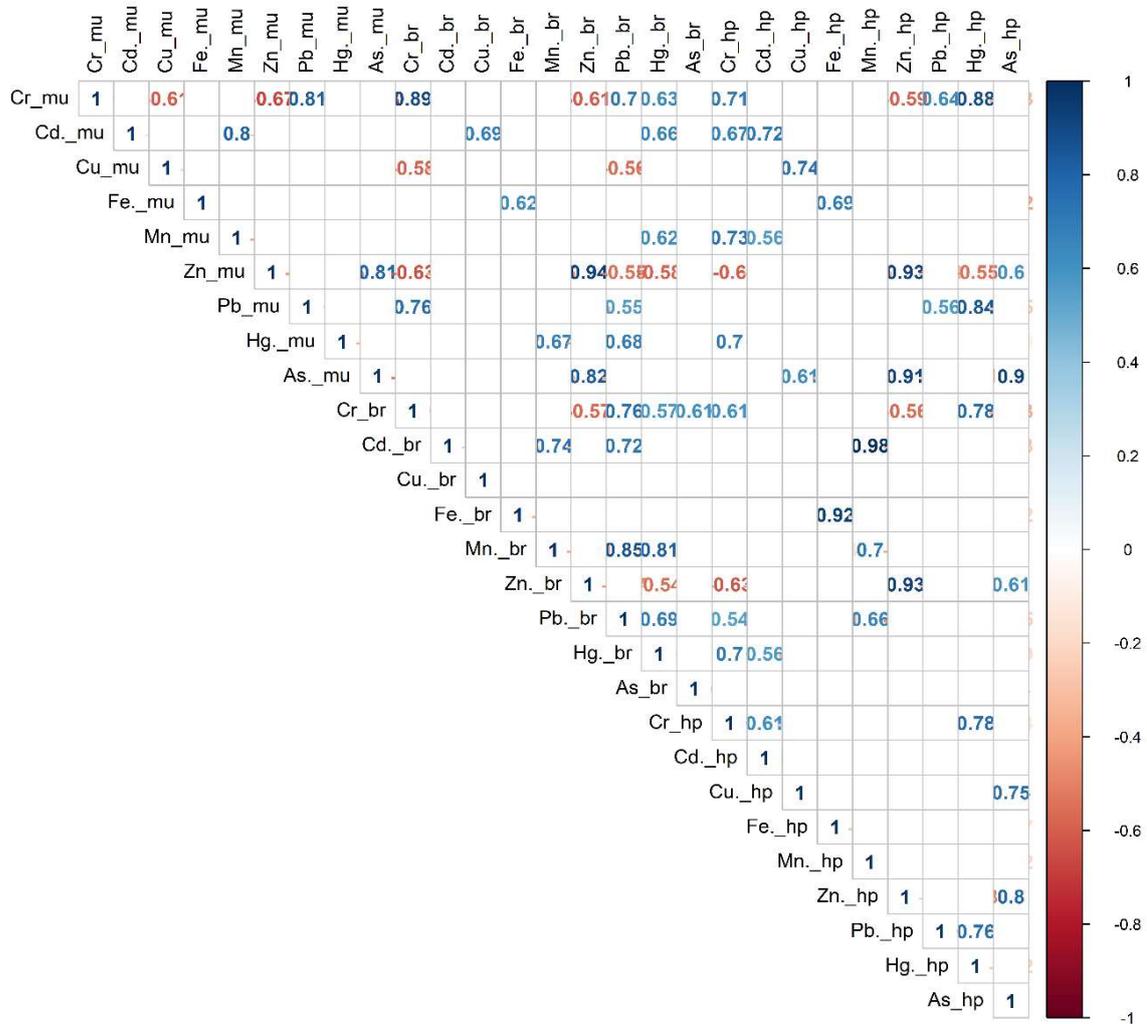
Figura 432: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/14 = 7,1\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo*/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente. No eixo x os valores se referem aos pontos amostrais como segue: 9 e 2 (RSC), 10 (FRG), 6 (RSM), 8 (RCA).



A partir disso, realizamos uma comparação par a par (Pearson), a fim de verificar de forma mais clara a existência destas correlações (Figura 433). Sendo assim, partindo da análise de correlações par a par, conseguimos observar que existem várias correlações positivas, quando avaliamos todos os metais nos tecidos de animais de ambas expedições. Analisando a figura, percebe-se forte correlação do cromo (Cr) em brânquias, hepatopâncreas e músculo dos caranguejos. Além disso, também

podemos observar correlação do ferro nos mesmos tecidos. Secundariamente, o zinco (Zn) mostrou moderada correlação em todos os tecidos analisados.

Figura 433: Representação gráfica de correlações (Pearson) par a par entre as variáveis estudadas. Correlações positivas são exibidas em azul e negativas na cor vermelha. A intensidade da cor e o tamanho do círculo são proporcionais aos coeficientes de correlação. Apenas correlações significativas ( $p < 0.05$ ) são mostradas.



Em seguida, analisamos as variáveis que mais contribuíram para os agrupamentos, ao longo do PC1, para o manguezal (Figura 434). Neste caso, os metais que mais contribuíram foram o cromo (Cr) e zinco (Zn), nos três tecidos, seguidos de chumbo e mercúrio nas brânquias. Logo após, também analisamos as variáveis que mais contribuíram para o agrupamento ao longo do PC2 (Figura 435). Neste caso, as variáveis que mais contribuíram foram o ferro, nos três tecidos, seguidos do arsênio também nos três tecidos.

Figura 434: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo*/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

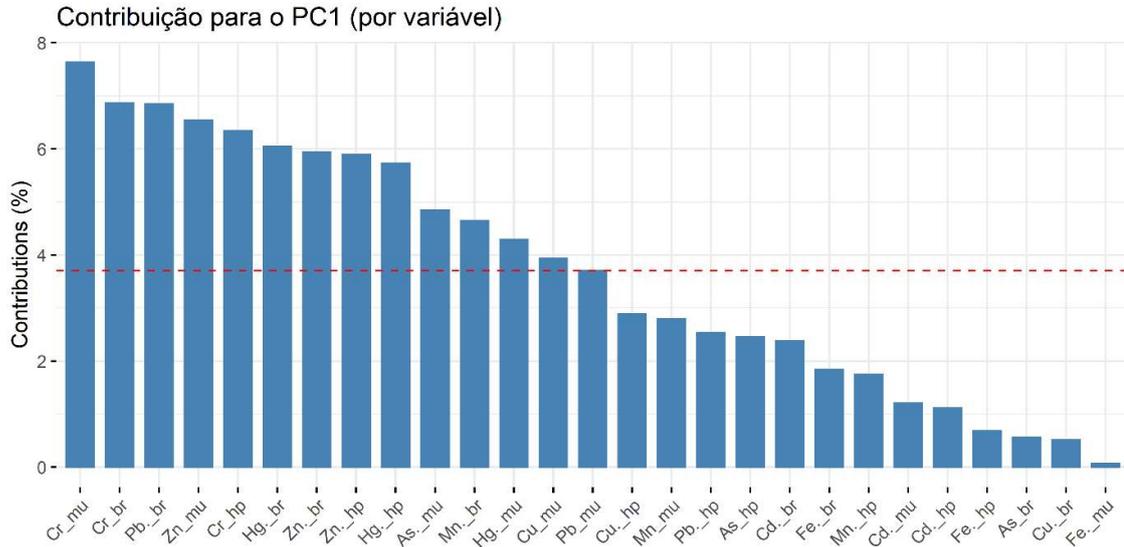
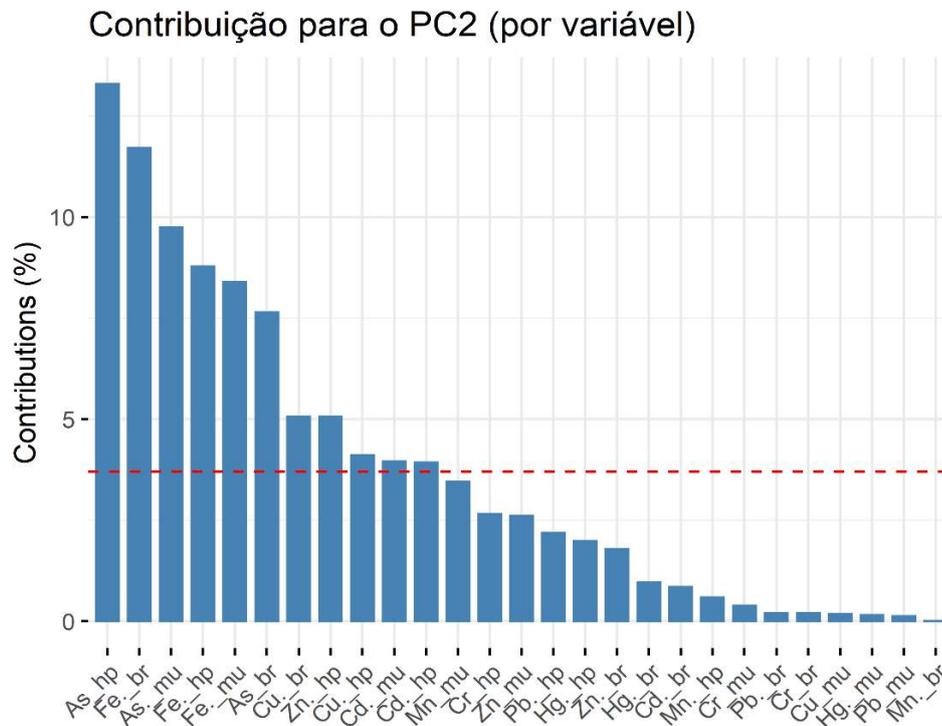


Figura 435: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 2 (PC2). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/27 = 3,7\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo*/fator com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



Através da PERMANOVA, podemos inferir que ocorreu diferenças entre as campanhas e as localidades amostradas ( $p < 0,0001$ ) (Tabela 155). Além disso, correlacionando ambas as variáveis (campanha x localidade) ressaltamos que as respostas observadas, em relação à bioacumulação de metais na biota e os efeitos observados sobre biomarcadores, demonstraram perfis opostos ( $p < 0,001$ ) entre as duas campanhas.

Tabela 155: PERMANOVA calculada a partir da matriz de distância Euclidiana para efeito do fator temporal, Campanha, e do fator espacial, Localidade, na concentração de metais nas brânquias, hepatopâncreas e músculo. Permutação de Monte Carlo ( $n=4999$ ). Em vermelho valores de  $p < 0,05$ .

	Grau de liberdade	SQ	F	p
Campanha	1	821,48	53,94	$p < 0,0001^*$
Localidade	7	798,30	7,48	$p < 0,0001^*$
Campanha*Localidade	5	531,00	6,97	$p < 0,0001^*$
Resíduos	153	2330,90		
Total	166	4482,00		

Logo após o rompimento das Barragens em Mariana - MG, relatórios demonstraram um impacto imediato nas condições de química da água, concentração de sólidos em suspensão e sedimento com um aumento expressivo de cromo (Cr), ferro (Fe) e manganês (Mn) (Queiroz et al. 2018). Após o rompimento, a Fundação RENOVA lançou o Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo e Sistemático (PMQQS), que vem monitorando desde 2017 de forma contínua, algumas das áreas impactadas diretamente, como a extensão do Rio Doce e áreas adjacentes, como os ambientes de manguezal. Neste sentido, o presente relatório (PMBA), que foi lançado posteriormente ao PMQQS, utilizará os dados pretéritos ao mesmo, bem como, outras fontes anteriores e posteriores ao acidente de manguezais que fazem parte do monitoramento ou estão próximos, afim de traçar a real situação dos manguezais que têm sido monitorados desde o acidente.

Por se tratar de um monitoramento após o rompimento de uma barragem e o metal ferro estar presente na lama de rejeitos, no presente relatório (PMBA) foi possível observar um aumento dos níveis desse metal em ambas campanhas, nos diversos tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) dos caranguejos monitorados. Nas brânquias (Figura 412) e hepatopâncreas (Figura 413) observamos um aumento expressivo de ferro nos manguezais, ao norte da Foz do Rio Doce em Regência (FRG). Por outro lado, no músculo (Figura 414), apresentou o níveis mais elevados na campanha 1, a exceção do Rio Urussuquara (RUR), que mostrou níveis de ferro superiores na campanha 2. Quando selecionamos trabalhos publicados, no qual caranguejos foram coletados em ambientes com alta contaminação por metais, observamos que, em nosso monitoramento (PMBA), os níveis de ferro estavam acima da literatura. Por exemplo, em um estudo realizado em um ponto considerado contaminado no litoral de Santos – SP, utilizando *Ucides cordatus* como biomonitor, foram observados níveis de ferro de 2,51 mg/kg para músculo, 1,43 mg/kg para brânquias, e 9,3 mg/kg para hepatopâncreas (Harris e Santos, 2000). Em outro estudo realizado com a espécie *Cardisoma crassum*, pertencente ao mesmo gênero de *C. guanhama*, valores de 12,3 mg/kg foram encontrados na brânquias em estação seca, e de 49,6

mg/kg encontrados no músculo, em estação chuvosa de uma região que recebe aporte de contaminação em Puerto Vallarta – México (Rodríguez-Saldaña et al., 2018). Em nosso monitoramento, achamos níveis de ferro que variaram de 8,3 até 289 mg/kg nas brânquias, 6,6 até 294,1 mg/kg no hepatopâncreas, e de 6,5 até 78 mg/kg no músculo. Como podemos observar, os altos níveis de Fe encontrados em nosso monitoramento estão acima dos resultados da literatura, demonstrando alta contaminação com Fe em praticamente todas estações de mangue avaliadas. Portanto, a próxima pergunta é saber se a contaminação dos caranguejos, nos mangues, tem relação com o ambiente.

Quando avaliamos os dados fornecidos pelo PMQQS, que monitoraram os manguezais por um ano (2017- 2018), percebe-se que, em comparação ao CONAMA 357/2005, os níveis de ferro dissolvido estavam altos em praticamente todos os pontos amostrados, durante todo monitoramento, a exceção do Rio Urussuquara (RUR) (Figura 424). Além disso, também observamos altos níveis de ferro no sedimento, em relação a dados da literatura, para todos os manguezais monitorados (Figura 425). Neste caso, apesar de não existir legislação para Fe no sedimento, trabalhos publicados antes e depois do rompimento em manguezais considerados livres de contaminação e próximos dos ambientes monitorados, demonstraram que os níveis de ferro no sedimento estão muito abaixo dos encontrados no relatório do PMQQS (Figura 425) (Bernini et al., 2010; Kumar et al., 2015). Tais indícios demonstram, primeiramente, que a contaminação dos caranguejos está relacionada à do ambiente. Além disso, estudos realizados antes e depois do rompimento das barragens (Bernini et al., 2010; Kumar et al., 2015) em manguezais próximos aos ambientes monitorados demonstram que, possivelmente, o aumento dos níveis de ferro na água e no sedimento tenham forte correlação com o evento do rompimento da barragem em Mariana - MG.

Para o manganês, observamos altos níveis deste metal na campanha 1 em comparação à 2 para todos os tecidos analisados (Figura 415, Figura 416 e Figura 417). Quando conferimos os níveis de manganês dos caranguejos, monitorados pelo PMBA, com dados da literatura, observamos que em um estudo realizado no Rio Jequitinhonha, no Sul da Bahia, com a espécie *Goniopsis cruentata*, também utilizado em nosso monitoramento, foram observados níveis de 1,8 mg/kg para o músculo, 27 mg/kg para o hepatopâncreas e 57 mg/kg nas brânquias (Carneiro et al., 2018). Por outro lado, em um estudo com a espécie *Portunus pelagicus*, realizado na Baía do Kuwait, a qual recebeu grande aporte de contaminação por metais oriundos da Guerra do Golfo, baixos níveis de Mn foram encontrados no músculo (2,1 mg/kg), brânquias (1,1 mg/kg) e hepatopâncreas (1,6 mg/kg) (Al Mohama et al., 2001). Em nosso monitoramento, os níveis de manganês variaram nas duas expedições, sendo encontrados valores de 1,95 até 46,8 mg/kg nas brânquias, 1,51 até 71,6 mg/kg no hepatopâncreas e de 1,36 até 14,5 mg/kg no músculo. Portanto, para o manganês, podemos observar que existe um efeito sazonal inverso ao do ferro, ou seja, níveis mais altos na coleta de inverno (campanha 1, set/out 2018) do que na coleta de verão (campanha 2, Jan/fev 2019). Porém, mesmo assim, os níveis deste metal se mostraram acima dos dados da literatura, na biota do mangue, demonstrando que houve bioacumulação deste metal.

Através dos dados do PMQQS (2017 -2018), observa-se um aumento pronunciado de Mn na matriz água, durante todo período de monitoramento no Rio Mariricu (RMA) e entre os meses de agosto a

outubro na Foz do Rio Doce (FRG) (Figura 426). Quando comparamos com os dados do CONAMA 357/2005, verifica-se que, para estes dois pontos, os níveis estavam acima do permitido (Figura 426). No sedimento, todos os manguezais monitorados tiveram altos níveis de manganês, quando comparados a dados da literatura (Figura 427). Neste sentido, verificamos que em ambientes de manguezal considerados não contaminados por metais próximos das regiões monitoradas, os níveis de manganês estavam bem abaixo do que observado no monitoramento (Bernini et al., 2010; Kumar et al., 2015). Por outro lado, Carvalho e colaboradores (2017) ,verificaram altos níveis de manganês após a chegada da pluma de rejeitos no Foz do Rio Doce. Outrossim, Coppo e colaboradores (2018), constataram altos níveis deste metal na água e sedimento nos manguezais. Portanto, é possível que os altos níveis observados na água e sedimento nos manguezais (PMQQS) tenham forte correlação com rejeitos do rompimento das barragens em Mariana (MG) (Carvalho et al., 2017 e Coppo et al.,2018), o que favoreceu a contaminação em todos tecidos dos caranguejos analisados.

A análise de correlação (PCA) de ambos os metais mostrou, inicialmente, que existem um perfil sazonal, mostrando bioacumulação de determinados metais em uma estação e de outros na estação seguinte (Figura 431). Além disso, a PCA correlacionou os metais nos diversos ambientes e mostrou que nos pontos RSC, FRG, RSM e RCA ocorreram maiores correlações (Figura 431). Isso demonstra que, possivelmente, dentre todos ambientes, estes sejam os mais impactados com metais na biota. Os metais que mostraram fortes correlações tanto na PC1 quanto na PC2, entre os tecidos e ambientes, destacam-se o cromo e o zinco (Figura 432, Figura 434 e Figura 435).

Quando plotamos os dados de cromo para cada ambiente, em ambas campanhas, observamos que os níveis deste metal se mantiveram altos na campanha 1, quando comparamos com a campanha 2, para todos os tecidos (Figura 418, Figura 419 e Figura 420), demonstrando possíveis efeitos sazonais. Ao comparar os níveis de cromo em todos os tecidos com dados da literatura, o estudos realizados com *U. cordatus*, mostraram contaminação desta espécie na Baía de Curuçá, no Estado do Pará (0,46 mg/Kg, músculo) (Silva et al., 2018), Baía de Todos os Santos – BA (0,36 mg/Kg, músculo) (Ramos et al., 2013) e Cubatão – SP (0,25, 0,37 e 0,52 mg/Kg, para músculo, brânquias e hepatopâncreas, respectivamente) (Pinheiro et al., 2012). Comparando os dados do presente monitoramento (PMBA) com a literatura, verificamos que os níveis de cromo nas brânquias variaram de 0,01 até 5,45 mg/kg, no hepatopâncreas e no músculo de 0,01 até 6,12 e 0,01 até 3,85 mg/kg. Tal resultado, demonstra um efeito pronunciado da sazonalidade para o cromo, demonstrando níveis mais altos da coleta de inverno. De fato, os dados do PMQQS (2017 – 2018), indicam baixos níveis de cromo na água, abaixo dos níveis do CONAMA 357 (Figura 428). Porém, no sedimento, houve um aumento de em todos os pontos, durante todo monitoramento quando comparamos com dados da literatura antes e depois do rompimento das barragens (Bernini et al., 2010; Kumar et al.,2015) (Figura 429). Sendo assim, possivelmente, a bioacumulação de cromo nos tecidos dos caranguejos está relacionado à sazonalidade, e que, durante os meses de seca, ocorra um aumento da disponibilidade deste metal no sedimento.

A análise de PCA mostrou que o zinco teve alta correlação entre os tecidos (Figura 431). Quando avaliamos os níveis deste metal nos tecidos dos caranguejos, indicou níveis mais altos na campanha

2 em comparação à campanha 1, em todos os tecidos (Figura 421, Figura 422 e Figura 423), demonstrando efeitos sazonais. Quando comparamos os níveis de zinco com dados da literatura observamos que apesar de existir variações sazonais, os valores estão bem abaixo daqueles observados na literatura (Al Mohama et al., 2001; Jesus et al., 2004; Rodríguez-Saldaña et al., 2018; Silva et al., 2018). Dados do PMQQS (Figura 430), demonstraram altos níveis de zinco no sedimento, em relação a dados da literatura para ambientes controle, próximos aos manguezais monitorados. Portanto, esses resultados semelhantes ao cromo, mostram que o zinco aumentou nos tecidos na estação de inverno e que este aumento se deve, provavelmente, a uma maior biodisponibilidade deste metal, a partir do sedimento.

### 3.4.2 Biomarcadores em organismos dos manguezais (caranguejos)

Os primeiros resultados a serem mostrados são em relação aos níveis de biomarcadores nos tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) de ambos caranguejos escolhidos no monitoramento da campanha 1 (Set/Out 2018) e da campanha 2 (Jan/Fev 2019) (Tabela 156 e Tabela 157).

Tabela 156: Análise em diferentes tecidos (brânquia, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa) dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO) e níveis de danos oxidativos no DNA (sítios AP) nos caranguejos *U. cordatus*, *C. guanhamu* e *G. cruentata* coletados nos manguezais durante a campanha 1 (Set/Out 2018) do monitoramento do manguezal. No ponto da foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os resultados são expressos como média ± EP.

Caranguejos – Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)						
Pont o	Espécie (n)	Hepatopâncreas		Brânquia	Músculo	Hemolinfa
		MT (µg MT/mg de ptna)	LPO (nmol MDA/mg de ptna)	LPO (nmol MDA/mg de ptna)	PCO (nmol PC/mg de ptna)	Sítios AP (Sítios AP/10 <sup>5</sup> bp)
RSC	<i>U. cordatus</i> (7)	15,012 ± 2,529	2,487 ± 0,356	0,659 ± 0,106	0,656 ± 0,116	9,165 ± 1,679
RSC	<i>C. guanhamu</i> (7)	8,021 ± 1,301	2,643 ± 0,481	0,733 ± 0,089	0,479 ± 0,081	6,443 ± 0,510
PAM	<i>U. cordatus</i> (7)	17,547 ± 1,672	1,326 ± 0,254	1,299 ± 0,393	0,793 ± 0,103	9,289 ± 0,788
PAM	<i>C. guanhamu</i> (7)	13,944 ± 2,008	1,842 ± 0,294	0,570 ± 0,074	0,519 ± 0,083	6,174 ± 0,418
FRG	<i>G. cruentata</i> (6)	14,160 ± 6,133	3,335 ± 1,235	1,799 ± 0,254	2,010 ± 0,331	7,823 ± 0,973
FRG	<i>C. guanhamu</i> (6)	16,310 ± 5,827	1,630 ± 0,554	0,865 ± 0,153	0,721 ± 0,084	7,782 ± 0,487
RUR	<i>U. cordatus</i> (6)	12,578 ± 1,580	1,821 ± 0,374	1,108 ± 0,183	1,005 ± 0,199	9,761 ± 1,438

Caranguejos – Campanha 1 (Setembro/Outubro 2018)

Ponto	Espécie (n)	Hepatopâncreas		Brânquia	Músculo	Hemolinfa
RUR	<i>C. guanhamu</i> (6)	9,541 ± 4,250	1,552 ± 0,257	0,874 ± 0,143	0,789 ± 0,118	8,207 ± 0,577
RMA	<i>U. cordatus</i> (6)	17,398 ± 3,580	2,239 ± 0,863	0,601 ± 0,087	0,777 ± 0,079	9,911 ± 1,614
RMA	<i>C. guanhamu</i> (6)	11,350 ± 2,096	1,088 ± 0,305	0,885 ± 0,157	0,993 ± 0,195	5,282 ± 0,703
RSM	<i>U. cordatus</i> (6)	12,297 ± 2,257	1,602 ± 0,383	0,734 ± 0,152	0,783 ± 0,065	9,246 ± 1,721
RSM	<i>C. guanhamu</i> (6)	8,113 ± 3,092	2,534 ± 0,844	0,840 ± 0,121	1,166 ± 0,425	7,926 ± 0,427
RCA	<i>U. cordatus</i> (6)	9,127 ± 3,616	0,890 ± 0,191	0,720 ± 0,128	0,784 ± 0,112	6,354 ± 1,249
RCA	<i>C. guanhamu</i> (6)	16,356 ± 6,390	1,602 ± 0,182	0,981 ± 0,335	1,606 ± 0,808	5,463 ± 1,334

Tabela 157: Análise em diferentes tecidos (brânquia, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa) dos biomarcadores de dano oxidativo em lípidios (LPO), níveis de metalotioneína (MT), níveis de proteínas carboniladas (PCO) e níveis de danos oxidativos no DNA (sítios AP) nos caranguejos *U. cordatus*, *C. guanhamu* e *G. cruentata* coletados nos manguezais durante a campanha 2 (Jan/Fev 2019) do monitoramento do manguezal. No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os resultados são expressos como média  $\pm$  EP.

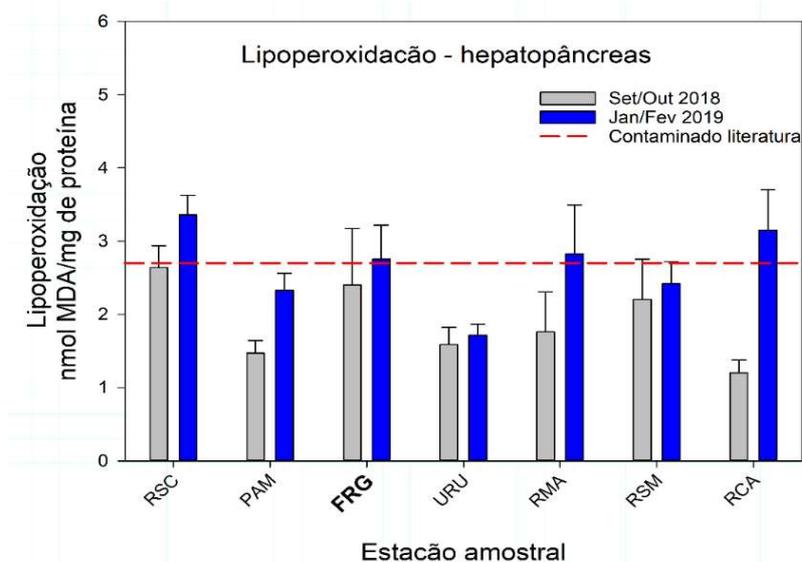
Caranguejos – Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)						
Ponto	Espécie (n)	Hepatopâncreas		Brânquia	Músculo	Hemolinfa
		MT ( $\mu\text{g MT/mg de ptna}$ )	LPO (nmol MDA/mg de ptna)	LPO (nmol MDA/mg de ptna)	PCO (nmol PC/mg de ptna)	Sítios AP (Sítios AP/ $10^5$ bp)
RSC	<i>U. cordatus</i> (6)	55,703 $\pm$ 14,944	3,209 $\pm$ 0,427	0,992 $\pm$ 0,540	5,197 $\pm$ 0,170	6,581 $\pm$ 0,215
RSC	<i>C. guanhamu</i> (6)	56,241 $\pm$ 6,911	3,506 $\pm$ 0,356	1,522 $\pm$ 0,423	4,879 $\pm$ 0,578	7,379 $\pm$ 0,392
PAM	<i>U. cordatus</i> (6)	49,889 $\pm$ 1,975	1,925 $\pm$ 0,268	0,190 $\pm$ 0,025	4,087 $\pm$ 0,647	5,975 $\pm$ 0,553
PAM	<i>C. guanhamu</i> (6)	60,023 $\pm$ 6,353	2,547 $\pm$ 0,354	0,267 $\pm$ 0,021	3,111 $\pm$ 0,394	5,250 $\pm$ 0,479
FRG	<i>G. cruentata</i> (6)	26,183 $\pm$ 5,768	4,110 $\pm$ 0,433	3,284 $\pm$ 0,244	6,868 $\pm$ 0,501	5,750 $\pm$ 0,144
FRG	<i>C. guanhamu</i> (6)	46,829 $\pm$ 5,610	1,400 $\pm$ 0,183	1,415 $\pm$ 0,542	4,411 $\pm$ 0,629	8,185 $\pm$ 0,593
RUR	<i>U. cordatus</i> (6)	44,887 $\pm$ 1,955	1,507 $\pm$ 0,183	1,843 $\pm$ 0,707	4,493 $\pm$ 0,295	7,313 $\pm$ 0,594
RUR	<i>C. guanhamu</i> (6)	47,467 $\pm$ 6,745	1,920 $\pm$ 0,231	1,786 $\pm$ 0,357	4,765 $\pm$ 0,719	7,530 $\pm$ 0,778
RMA	<i>U. cordatus</i> (6)	155,136 $\pm$ 56,430	2,201 $\pm$ 0,389	1,090 $\pm$ 0,415	3,572 $\pm$ 0,385	10,46 $\pm$ 1,79
RMA	<i>C. guanhamu</i> (6)	91,489 $\pm$ 16,776	3,572 $\pm$ 1,350	0,212 $\pm$ 0,018	3,819 $\pm$ 0,442	6,069 $\pm$ 0,678
RSM	<i>U. cordatus</i> (6)	171,311 $\pm$ 24,740	2,288 $\pm$ 0,472	1,059 $\pm$ 0,356	5,155 $\pm$ 0,553	6,940 $\pm$ 0,393
RSM	<i>C. guanhamu</i> (6)	79,674 $\pm$ 16,559	2,551 $\pm$ 0,404	0,210 $\pm$ 0,009	3,730 $\pm$ 0,188	7,013 $\pm$ 0,790
RCA	<i>U. cordatus</i> (6)	234,412 $\pm$ 24,849	3,706 $\pm$ 0,932	0,238 $\pm$ 0,021	2,942 $\pm$ 0,354	7,812 $\pm$ 0,199

**Caranguejos – Campanha 2 (Janeiro/Fevereiro 2019)**

Ponto	Espécie (n)	Hepatopâncreas		Brânquia	Músculo	Hemolinfa
		MT ( $\mu\text{g MT/mg de ptna}$ )	LPO (nmol MDA/mg de ptna)	LPO (nmol MDA/mg de ptna)	PCO (nmol PC/mg de ptna)	Sítios AP (Sítios AP/ $10^5$ bp)
RCA	<i>C. guanhamu</i> (6)	38,502 $\pm$ 4,985	2,596 $\pm$ 0,403	1,326 $\pm$ 0,371	3,612 $\pm$ 0,593	7,417 $\pm$ 0,679

Após análise das Tabela 156 e Tabela 157, os resultados foram plotados em gráficos. Neste sentido, quando analisamos os níveis de lipídios peroxidados (LPO) a partir da quantificação dos níveis de malondialdeído (MDA), através do método TBARS em hepatopâncreas de ambos os caranguejos, percebe-se níveis elevados na campanha 2, quando comparada à campanha 1 (Figura 436). Além disso, quando comparamos com dados da literatura, em caranguejos que vivem em ambientes contaminados por metais e analisados pelo mesmo método, observamos que na maioria dos pontos monitorados na campanha 2 os níveis de MDA estão na mesma ordem de magnitude ou acima dos resultados (Figura 436- linha tracejada).

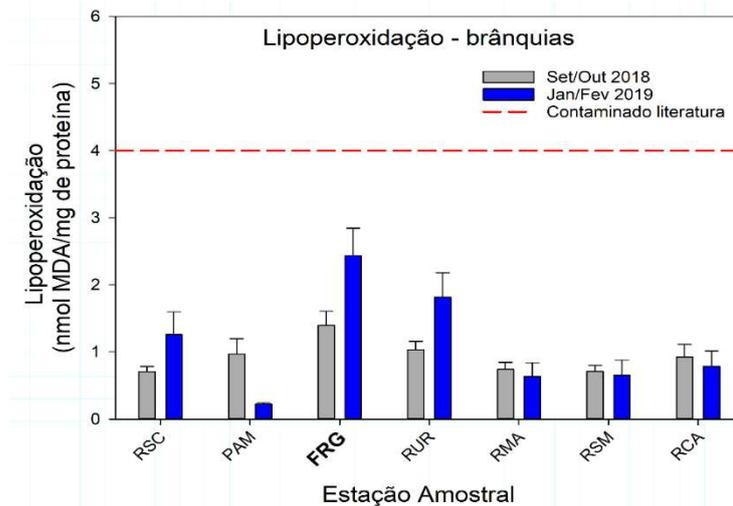
Figura 436: Lipoperoxidação pelo método de TBARS em hepatopâncreas de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos de coleta do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de lipídios peroxidados (LPO) são aferidos em nmol de MDA/mg de proteína. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de MDA por TBARS em hepatopâncreas de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.



Nas brânquias, houve um aumento de MDA em caranguejos coletados na campanha 2 em comparação à campanha 1, nos pontos Revis Santa Cruz (RSC), Foz do Rio Doce (FRG) e Rio Urussuquara (RUR)

(Figura 437). Porém, os níveis de MDA para este tecido permaneceram abaixo da média dos dados da literatura para ambientes contaminados. (Figura 437- linha tracejada).

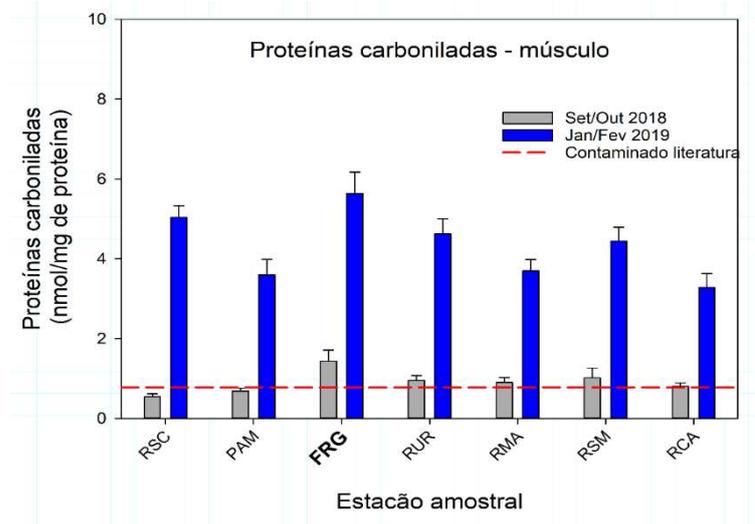
Figura 437: Lipoperoxidação pelo método de TBARS em brânquias de caranguejos (*U. cordatus*, *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. Os níveis de MDA são aferidos em nmol de MDA/mg de proteína. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de MDA por TBARS em brânquias de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.



No hepatopâncreas e brânquias verificamos variações nos níveis de MDA, com aumento deste produto da lipoperoxidação na campanha 2 em relação à campanha 1. Comparando-se os níveis de MDA do presente relatório, com estudos realizados em ambientes contaminados, utilizando o mesmo grupo de organismos e as mesmas técnicas, averiguamos perfis distintos. No hepatopâncreas observamos que os pontos RSC, FRG, RMA e RCA tiveram maiores níveis de lipoperoxidação na campanha 2, comparado à literatura (Paital et al., 2010; Diaz-Jamarilo et al., 2013). Nas brânquias, apesar de existir variações sazonais, os níveis de lipoperoxidação estão abaixo dos valores da literatura (Diaz-Jamarilo et al., 2013).

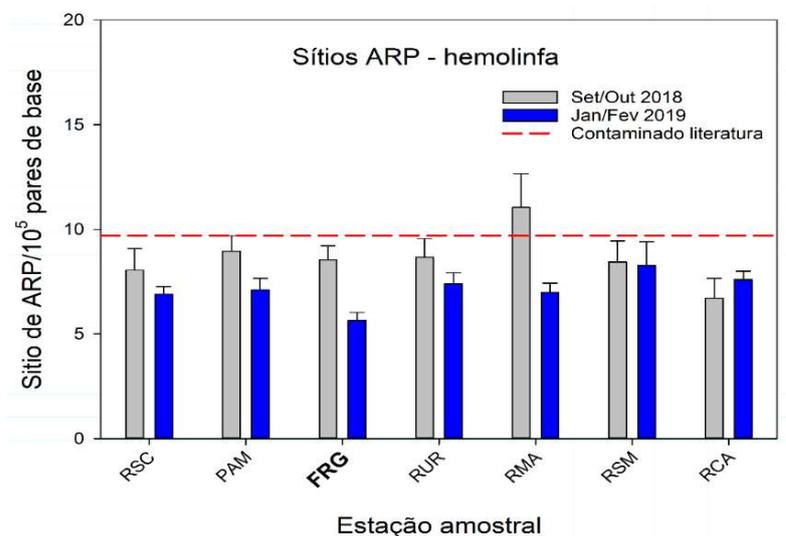
Ao quantificarmos os níveis de proteínas carboniladas (PCO) no músculo dos caranguejos, observamos um aumento pronunciado na campanha 2 em relação à 1 (Figura 438). Os níveis de PCO, do presente monitoramento, mantiveram-se bem acima dos níveis da literatura (Romero et al., 2007; Paital et al., 2010; Freire et al., 2011) em todos os ambientes monitorados (Figura 438– linha tracejada).

Figura 438: Níveis de proteínas carboniladas (PCO) em músculos de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out - 2018) e na campanha 2 (Jan/Fev - 2019). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG) *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis cruentata*. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de PCO em músculos de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os níveis de PCO são aferidos em nmol PC/mg de proteína. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.



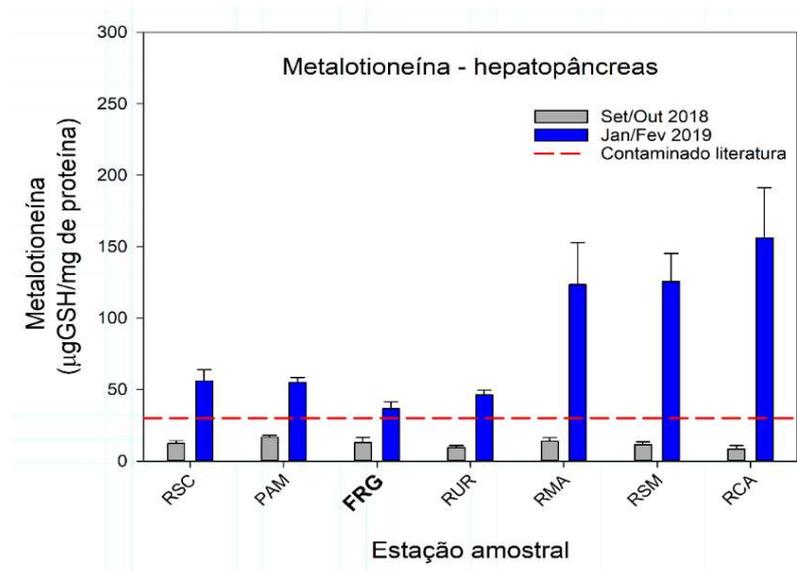
Os possíveis danos de DNA, avaliados na hemolinfa dos caranguejos, através da quantificação de sítios apurínicos/apirimidínicos (AP), mantiveram-se relativamente constantes, tanto na campanha 1 quanto na 2 (Figura 439). O aparecimento de sítios AP são os mais frequentes produtos de dano de DNA, através da clivagem das ligações glicolíticas entre as bases de deoxiribose (Khodyreva et al., 2010). Os poucos estudos da literatura (Vijayavel et al., 2012) utilizando a mesma técnica, demonstram de maneira geral que os caranguejos coletados, em ambas campanhas, apresentam níveis equivalentes de danos no DNA (Figura 439 – linha tracejada).

Figura 439: Níveis de sítios AP na hemolinfa de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos do ambiente de manguezal nas expedições de inverno (Set/Out – 2018- barra cinza) e de verão (Jan/Fev – 2019 – barra azul). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG), *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados de dano de DNA na hemolinfa de caranguejos coletados em ambientes contaminados. O dano de DNA é aferido em níveis de Sítio Ap (ARP/10<sup>5</sup> bp). Os dados são apresentados como média ± EP.



Avaliando os níveis de metalotioneína (MT) no hepatopâncreas, observamos um aumento na segunda campanha para todos os pontos, quando comparada à primeira (Figura 440). Além disso, ao confrontar com dados da literatura (Pedersen et al., 1997; Pan e Zhang, 2006), em todos os pontos da segunda campanha, os níveis de MT foram superiores (Figura 440- linha tracejada), sendo que para os pontos do Rio Mariricu (RMA), Rio São Mateus (RSM) e Rio Caravelas (RCA), os níveis foram ainda maiores. Isso demonstra que, possivelmente, exista contaminação dos tecidos dos caranguejos coletados naqueles pontos.

Figura 440: Níveis de metalotioneína (MT) de caranguejos (*U. cordatus* e *C. guanhamu*) coletados nos diversos pontos do ambiente de manguezal na campanha 1 (Set/Out – 2018- barra cinza) e na campanha 2 (Jan/Fev – 2019 – barra azul). No ponto da Foz do Rio Doce (FRG), *Ucides cordatus* foi substituído por *Goniopsis. cruentata*. A linha tracejada em vermelho mostra a média dos resultados dos níveis de MT no hepatopâncreas de caranguejos coletados em ambientes contaminados. Os níveis de metalotioneína são aferidos em  $\mu\text{g MT/mg}$  de proteína. Os dados são apresentados como média  $\pm$  EP.



Logo após, utilizamos técnicas de estatística multivariada para identificar padrões de similaridades entre as variáveis (pontos amostrais, biomarcadores e tecidos). Portanto, realizamos uma Análise de Componentes Principais (PCA) para ordenação e avaliação geral da distribuição espacial dos biomarcadores nos tecidos em ambos os pontos nas duas campanhas (Figura 450, Tabela 158). A partir desta análise inicial, existem dois padrões distintos nas duas campanhas. Na campanha 1, constata-se que houve aumento dos níveis de lipoperoxidação nas brânquias, nos pontos FRG e RUR, aumento de lipoperoxidação no hepatopâncreas, aumento dos níveis de metalotioneína nos pontos PAM, RMA, RSM e RCA e danos proteicos em RSC, com moderada correlação na campanha 2 (48,6% DIM 1). Na campanha 1, fraca correlação foi observada entre os pontos amostrado e o surgimento de dano lipídico em brânquias e danos de DNA (24,5% DIM 2).

Figura 441: Análise de Componentes Principais aplicadas para os dados de níveis de biomarcadores nos tecidos de caranguejos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) nos diferentes pontos do monitoramento dos manguezais durante a campanha 1 (símbolos em cinza) e na campanha 2 (símbolos azuis).

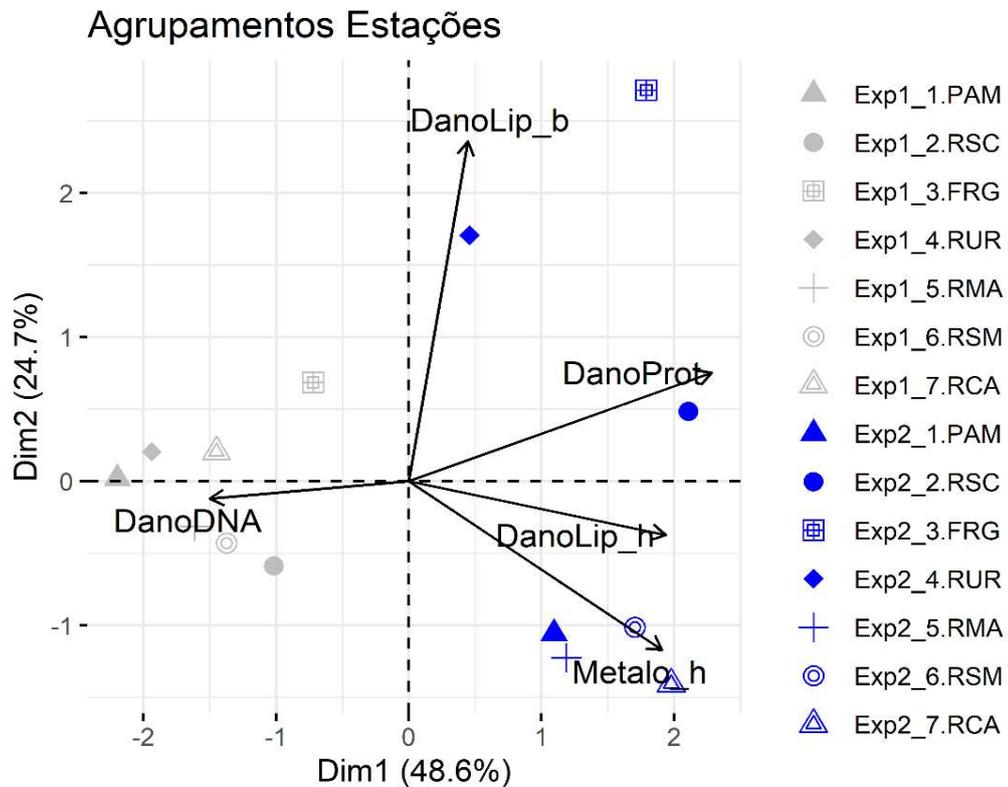


Tabela 158: Autovalores correspondentes à Análise de Componentes Principais (PCA) plotado da Figura 441.

	<b>Auto Valor</b>	<b>Percentual de variância</b>	<b>Percentual de variância acumulativa</b>
Dim.1	2,42	48,57	48,57
Dim.2	1,23	24,72	73,30
Dim.3	0,86	17,33	90,63
Dim.4	0,38	7,75	98,38
Dim.5	0,08	1,61	100,00

Em seguida, avaliamos que as variáveis mais contributivas para os agrupamentos, ao longo do PC1, para o manguezal (Figura 442) foram danos proteicos (PCO) no músculo, seguidos de danos lipídicos (LPO) e aumento dos níveis de metalotioneína (MT) no hepatopâncreas. Logo após, também analisamos as variáveis que mais contribuíram para o agrupamento ao longo do PC2 (Figura 443). Neste caso, as variáveis que mais contribuíram foi a lipoperoxidação nas brânquias (LPO).

Figura 442: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC1) (de acordo com a Figura 441). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/5 = 20\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo/fator* com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.

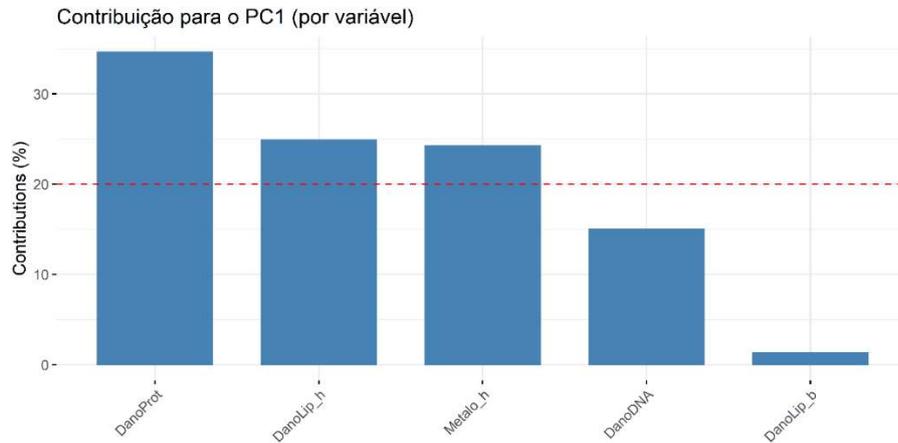
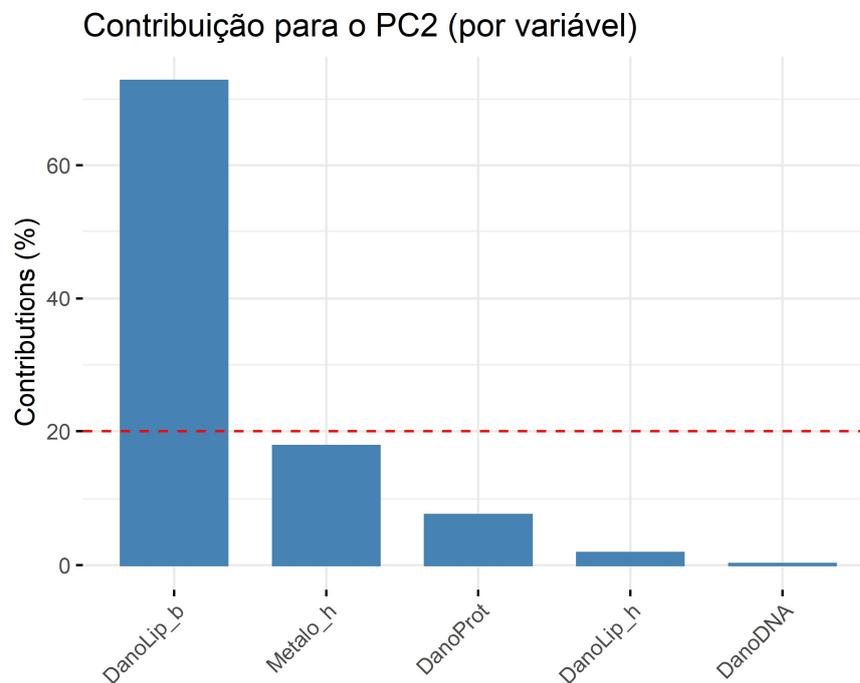


Figura 443: Contribuição (em %) de cada indivíduo/fator para o Componente Principal 1 (PC2) (de acordo com a Figura 441). A linha tracejada vermelha indica a contribuição média esperada. Se a contribuição fosse uniforme, o valor esperado seria  $1 / \text{comprimento (variáveis)} = 1/5 = 20\%$ . Para um determinado componente, um *indivíduo/fator* com uma contribuição maior do que esse corte pode ser considerado como importante para contribuir com o componente.



Por fim, realizamos correlações para a par (Pearson) entre as variáveis (metal, biomarcadores e tecidos), como forma de verificar possíveis interações que demonstram relação causa/efeito. Considerando a Tabela 159, percebe-se a existência de diversas interações (Tabela 159 – valores em

negrito). Inicialmente, existe correlação ( $p < 0,05$ ) entre o aumento de ferro, no hepatopâncreas, e o surgimento de danos lipídicos no mesmo tecido, assim como também a correlação existente entre o aumento de cromo no hepatopâncreas, com o aumento dos níveis de metalotioneína (MT). Diversas correlações foram observadas quando avaliamos os níveis de metais com o surgimento de danos proteicos (PCO). Notamos fortes correlações entre os metais cromo e PCO ( $p < 0,0001$ ), zinco e PCO ( $p < 0,001$ ), Mn, Cu e Hg e PCO ( $p < 0,05$ ), além de correlações entre o surgimento de danos de DNA na hemolinfa e o aumento dos seguintes metais: Zn ( $p < 0,001$ ), Mn ( $p < 0,05$ ), Cr ( $p < 0,05$ ) e As ( $p < 0,05$ ) no músculo.

Tabela 159: Correlação (Pearson) par a par entre as variáveis estudadas (metais e biomarcadores nos tecidos). Os asteriscos demonstram correlações significativas entre as variáveis. \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,001$ , \*\*\*  $p < 0,0001$ .

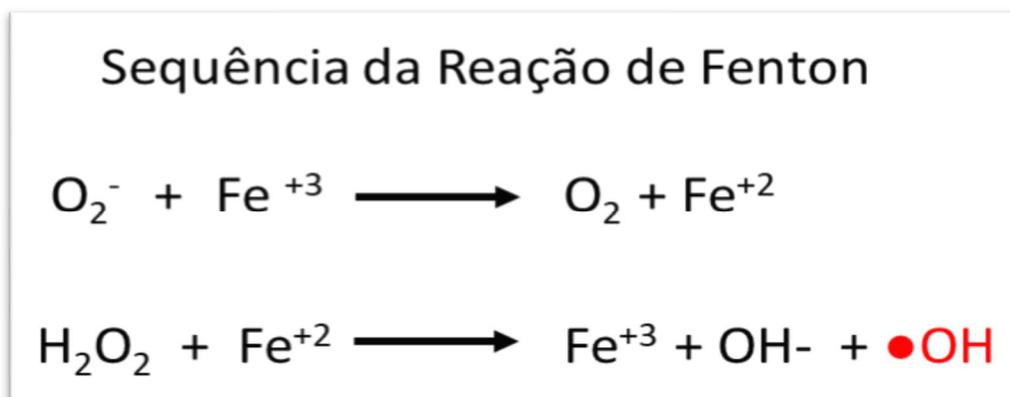
	LPO_br	LPO_hp	MT_hp	PCO_mu	Dano DNA_hem
Cr_mu	-0,18	-0,36	<b>-0,68**</b>	<b>-0,83***</b>	<b>0,63*</b>
Cd_mu	-0,09	-0,21	-0,22	-0,38	0,41
Cu_mu	0,44	<b>0,54*</b>	<b>0,58*</b>	<b>0,65*</b>	-0,20
Fe_mu	0,22	-0,40	-0,06	-0,06	0,24
Mn_mu	-0,04	-0,49	-0,37	<b>-0,55*</b>	<b>0,56*</b>
Zn_mu	0,11	<b>0,64*</b>	0,40	<b>0,74**</b>	<b>-0,68**</b>
Pb_mu	-0,01	-0,12	-0,47	-0,49	0,42
Hg_mu	0,03	-0,22	-0,52	<b>-0,59*</b>	0,14
As_mu	0,29	-0,45	0,07	<b>0,68**</b>	<b>-0,64*</b>
Cr_br	-0,15	-0,53	<b>-0,65*</b>	<b>-0,79***</b>	<b>0,60*</b>
Cd_br	-0,15	-0,18	-0,36	-0,49	-0,12
Cu_br	0,15	0,05	-0,01	0,19	0,03
Fe_br	0,15	-0,35	0,44	0,46	-0,07
Mn_br	-0,17	0,44	-0,49	<b>-0,63*</b>	0,08
Zn_br	0,12	-0,50	0,23	<b>0,73**</b>	<b>-0,77**</b>
Pb_br	-0,10	-0,44	<b>-0,70**</b>	<b>-0,76**</b>	0,23
Hg_br	-0,25	-0,01	<b>-0,60*</b>	<b>-0,79***</b>	0,44
As_br	0,21	-0,40	-0,51	-0,17	0,14
Cr_hp	-0,06	0,28	<b>-0,61*</b>	<b>-0,78***</b>	<b>0,62*</b>
Cd_hp	0,14	0,31	-0,39	-0,40	0,42
Cu_hp	<b>0,79***</b>	0,06	0,09	<b>0,64*</b>	-0,10
Fe_hp	0,23	<b>-0,56*</b>	0,27	0,30	0,07
Mn_hp	-0,07	0,52	-0,33	-0,41	-0,15
Zn_hp	0,32	-0,25	0,14	<b>0,76**</b>	<b>-0,64*</b>
Pb_hp	-0,14	0,25	-0,39	-0,45	0,45
Hg_hp	-0,07	-0,29	<b>-0,57*</b>	<b>-0,68**</b>	<b>0,68**</b>
As_hp	<b>0,55*</b>	0,34	-0,20	0,53	-0,41

Está bem estabelecido na literatura que o aumento dos níveis de metais nos tecidos atua de forma catalítica sobre componentes biológicos, causando deterioração de macromoléculas (Stohs e

Bagchi,1995; Jakimska et al,2011; Lushchack et al.,2011). Metais como ferro (Fe), cobre (Cu), cromo (Cr,) mercúrio (Hg), zinco (Zn) e manganês (Hg) têm a habilidade de, ao reagirem com componentes biológicos, formarem espécies reativas de oxigênio (ERO), como por exemplo radical ânion superóxido ( $O_2^-$ ), peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e o radical hidroxila ( $\bullet OH$ ) (Stohs e Bagchi,1995; Morcillo et al.,2016). Como resultado, o aumento dos níveis destas moléculas pode causar danos em macromoléculas como carbonilação de proteínas, danos lipídicos e mutações de bases nitrogenadas nas fitas de DNA e RNA (Sies 2000; Halliwell e Guteridge, 2007; Luschack et al., 2015).

Em nosso monitoramento, verificamos diversas correlações entre metais e biomarcadores. Em relação ao ferro, a correlação indica o aumento de LPO no hepatopâncreas. Apesar do ferro ser importante em diversos processos fisiológicos, altos níveis deste metal nos organismos podem conduzir a diversos efeitos deletérios. Em peixes, foi observado uma diminuição do crescimento após ingestão com altas doses deste metal (Baket et al.,1997). Em outro estudo com peixes, houve aumento dos níveis de lipídios peroxidados e proteínas carboniladas (Bagnyukova et al.,2006). Em mexilhões foi notado aumento de ERO e aumento da mortalidade (Viarengo et al.,1999). O aumento de ferro nos sistemas biológicos conduz ao aumento de ERO, a qual pode promover a geração de danos oxidativos, principalmente peroxidação lipídica (LPO), através da reação de Fenton (Figura 444) (Sies, 2000; Halliwell e Guteridge, 2007; Boveris et al., 2012). Portanto, é provável que os danos lipídicos (LPO), indicados hepatopâncreas, ocorreram em função da bioacumulação de Fe.

Figura 444: Sequência química da reação de Fenton.



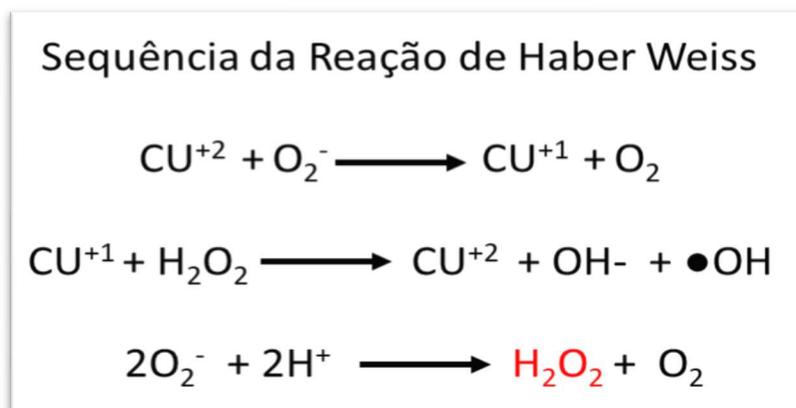
Fonte: Adaptado de Halliwell e Gutteridge, 2017.

O cromo (Cr) tem mostrado diversos efeitos de toxicidades aguda e crônica, neurotoxicidade, genotoxicidade e efeitos carcinogênicos (Von Burg e Liu, 1993; Burrows,2019). Os efeitos celulares do Cr (IV) e Cr (III) concentram-se na depleção dos estoques de antioxidantes não enzimáticos como a glutathiona (GSH), danos proteicos e danos de DNA (Sugiyama,1991; Kart et al.,2016 Lunardelli et al.,2018; Burrows, 2019). Em relação a este último, estudos *in vitro* demonstraram que o cromo diretamente induz o aumento de radical hidroxila, e que esta molécula ocasiona o aumento da clivagem da fita de DNA (Kart et al.,2016; Lunardelli et al.,2018). Em peixes, altos níveis de cromo causaram aumento de LPO (Farag et al.,2006). Em outro estudo com caranguejos houve um aumento de LPO após exposição ao cromo (Sridevi et al.,1998). Em nosso monitoramento, observamos correlação entre

o Cr e o aumento de sítios AP. Portanto, é provável que o aumento de Cr nos tecidos tenha causado aumento de danos no DNA das espécies estudadas. Além disso, este metal também apresentou correlação com a metalotioneína (MT), uma família de proteínas de baixo peso molecular, contendo resíduos de cisteína em sua constituição, capazes de se ligar a metais (Viarengo et al., 1997). Logo, tal resultado demonstra que houve a bioacumulação de cromo no hepatopâncreas, o que casou aumento dos níveis de MT como forma de detoxificação.

O cobre (Cu) demonstrou ter correlação tanto com o aumento da PCO quanto com danos de DNA. Em organismos aquáticos, ele causou aumento de LPO e PCO em crustáceos e peixes (Pedrajas et al., 1995; Browver e Browver, 1998; Craig et al., 2007). O cobre atua como cofator de diversas enzimas como as oxidases e oxigenases (Gutteridge, 1984). Em altas concentrações, causa aumento na geração de ERO, principalmente H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, através da reação de Haber Weiss (Figura 445), podendo causar danos em proteínas, lipídios de membranas e dano de DNA (Halliwell e Gutteridge, 2017).

Figura 445: Sequência química da reação de Haber Weiss.



Fonte: Adaptado de Halliwell e Gutteridge, 2017.

Outra correlação observada foi entre o manganês (Mn), danos proteicos (PCO) e danos de DNA. Em altas concentrações, o manganês demonstrou efeitos metabólicos e disfunção mitocondrial. Além disso, foi relatado que este metal causa alterações endócrinas, efeitos no sistema imune, diminuição no metabolismo de carboidratos e neurotoxicidade (Dolci et al., 2013; Kida, 2014). Em peixes, altos níveis de manganês causaram aumento de danos de DNA e estresse oxidativo (Bagniukova et al., 2007; Grim et al., 2013; Tuzuki et al., 2017). O mecanismo de toxicidade do manganês, ocorre da mesma forma como os metais citados acima, através do aumento na geração de ERO (Martinez-Finley et al., 2013).

Com relação ao zinco, apesar deste metal ser importante para diversas funções relacionadas ao crescimento e reprodução, em altas concentrações apresenta diversos efeitos tóxicos sobre diversos processos fisiológicas. Por exemplo, em crustáceos, causa aumento da mortalidade, diminuição da reprodução e crescimento, alteração no consumo de oxigênio, excreção de amônia, diminuição da atividade da acetilcolinesterase, diminuição na atividade da Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATPase e diminuição do sistema antioxidante (Elumalai et al., 1997; Bianchini e Castilho, 1999, De Schamphelaere et al., 2004; Wu e Chen, 2004).

Por fim, o mercúrio (Hg) causa diversos efeitos deletérios, como aumento da mortalidade inibição da atividade da acetilcolinesterase e diminuição da atividade de diversas enzimas do metabolismo (Bano et al., 1989; Goyer et al., 1991; Zhang et al., 2016). O mecanismo de toxicidade deste metal se concentra na depleção de grupos tiol e grupos sulfidrilas como a glutatona (GSH) (Goyer et al., 1991), danos lipídicos e dano de DNA (Srikanth et al., 2015; Zhang et al., 2017). Em peixes, altos níveis de mercúrio causaram aumento de LPO (Berntssen et al., 2003) e diminuição do sistema antioxidante (Mieiro et al., 2010). Em crustáceos, altos níveis de mercúrio acarretaram em diminuição do sistema imune e depleção do sistema antioxidante (Singaram et al., 2013).

Principais resultados observados no monitoramento dos manguezais:

- Como conclusões do monitoramento do ambiente de manguezal, verificamos que houve contaminação em todos os tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) dos caranguejos avaliados, sendo que a contaminação parece estar relacionada, principalmente, com os metais: ferro (Fe), cromo (Cr), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn).
- Os valores de bioacumulação por ferro nas brânquias e hepatopâncreas se mostraram mais altos do que a média da literatura para ambientes contaminados.
- Os valores de bioacumulação por manganês no músculo se mostrou mais alto do que a média da literatura para ambientes contaminados.
- Os valores de bioacumulação por cromo em todos os tecidos analisados se mostraram maiores que a média em animais descritos na literatura para ambientes contaminados.
- Através da análise dos dados do PMQQS, podemos constatar que existe relação entre a bioacumulação dos metais nos tecidos e a concentração dos mesmos na água e no sedimento.
- Observamos através de análises de correlação (PCA) que houve um efeito sazonal, onde os metais ferro e zinco apresentaram níveis mais altos na estação seca (Campanha 1, set/out 2018), em relação à estação chuvosa (Campanha 2, jan/fev 2019), enquanto manganês e cromo indicaram valores maiores, na estação chuvosa (jan/fev 2019) em relação à estação de seca (set/out 2018).
- Com relação aos biomarcadores, verificamos que os níveis de lipoperoxidação e de metalotioneína no hepatopâncreas foram maiores que a média reportada na literatura que utilizou o mesmo método.
- A exceção da análise de sitio AP que demonstrou valores maiores na estação seca (set/out 2018), os demais biomarcadores apresentaram valores maiores que a média da literatura na estação chuvosa (jan/fev 2019).
- Através de análises de correlação entre metais e biomarcadores verificamos existir diversas correlações positivas, demonstrando relação causa/efeito entre a bioacumulação dos metais nos tecidos dos caranguejos e o surgimento de danos bioquímicos nos mesmos.

### 3.5 META 5: MONITORAMENTO ECOTOXICOLÓGICO DA MICROBIOTA

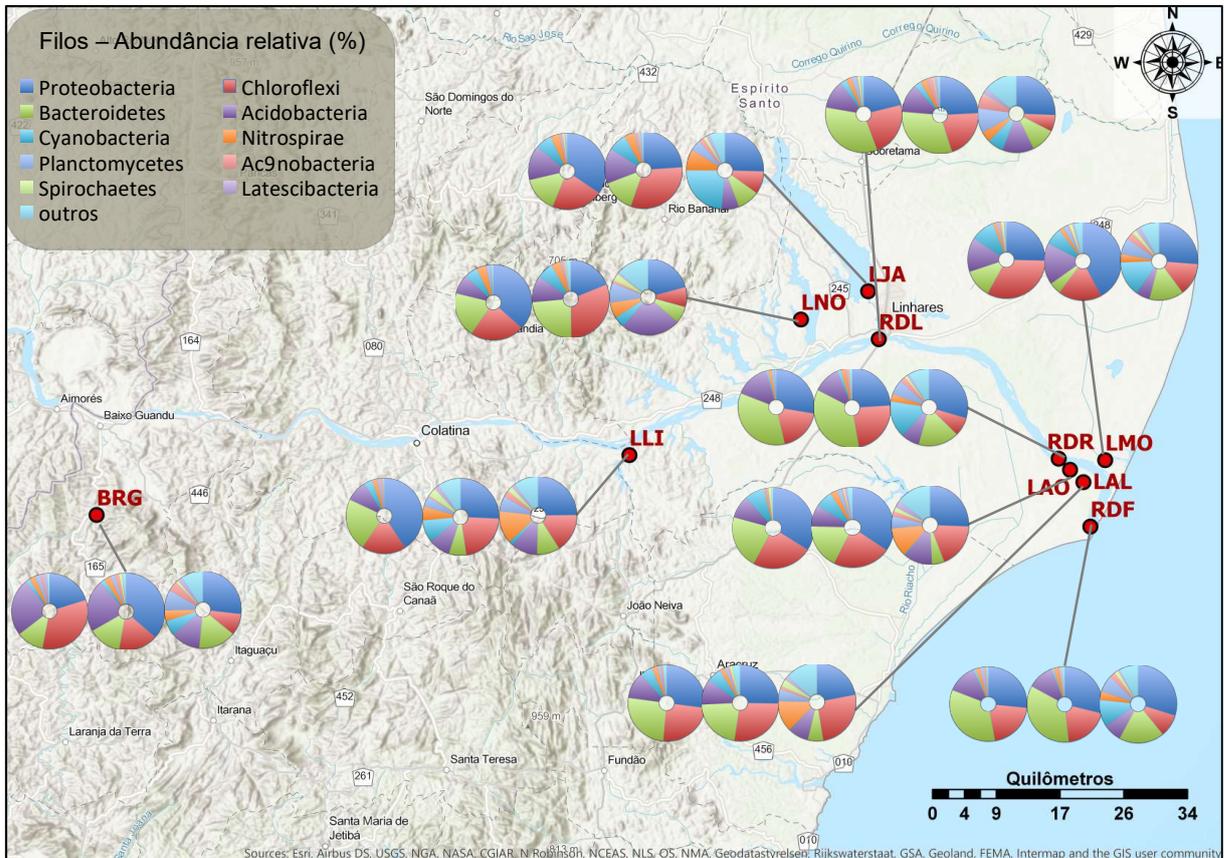
O monitoramento da composição microbiana em amostras de água, sedimento e coral nos ambientes predeterminados foi realizado em sua totalidade, exceto quando não foi possível a obtenção das amostras, por motivo logístico ou climático. As análises de microbiologia foram efetivadas, levando em consideração a existência de três ambientes principais e distintos entre si, devido à características geográficas, às físico-químicas e às bióticas. Tais ambientes considerados: (i) porção capixaba do Rio Doce, incluindo lagos e estuário (amostras de água e sedimento); (ii) foz do Rio Doce e região costeira adjacente (amostras de água e sedimento), e (iii) região de Abrolhos (amostras de água, sedimento e coral). Esta análise visou, inicialmente, a descrição das comunidades microbianas nos referidos ambientes, seguido pela análise de possíveis perturbações em tais comunidades e sua relação com a presença de metais e características físico-químicas.

O monitoramento da comunidade microbiana total em amostras de água (superfície e fundo), sedimento e hidrocorais e corais (espécies *Millepora alcicornis* e *Mussismilia harttii*), foi realizado, utilizando-se triplicatas das amostras em cada ponto de coleta. As coletas de água e sedimento foram realizadas nos 10 pontos de amostragem do Rio Doce, no estado do Espírito Santo (Tabela 160 à Tabela 163), e nos 25 pontos de amostragem na foz do Rio Doce e região costeira adjacente, incluindo a região de Abrolhos (Tabela 170 e Tabela 171). Obtivemos os corais das espécies *Millepora alcicornis* e *Mussismilia harttii* em 3 pontos na região de Abrolhos e em 1 ponto ao norte do parque (Tabela 184 à Tabela 189). O total de amostras coletadas nas duas campanhas foi de 378. As análises da microbiota total em amostras de água, sedimento e associada aos corais foram realizadas através da extração do DNA total e posterior sequenciamento de DNA, utilizando-se sequenciadores de nova geração (Illumina MiSeq) e processadas utilizando o software Qiime 2-2019,1. As ordenações foram geradas através do software RStudio Version 1,1,383, e realizou-se, adicionalmente, um teste de porcentagem de similaridade (SIMPER), com os dados obtidos

#### 3.5.1 Composição da microbiota na água e no sedimento do Rio Doce no estado do Espírito Santo (incluindo lagos e estuário)

O resumo dos resultados obtidos para a abundância relativa dos Filos bacterianos predominantes no monitoramento dulcícola estão apresentados na Figura 446. A figura apresenta um resumo dos resultados obtidos para água superficial, água de fundo e sedimento. Estes resultados serão apresentados a seguir, em separado para as diferentes matrizes ambientais.

Figura 446: Localização das estações de coleta no Rio Doce e a abundância relativa dos Filos bacterianos predominantes. Os gráficos de pizza representam da esquerda para direita: água de superfície, água de fundo e sedimento, respectivamente.



Os dados obtidos das Tabela 160 à Tabela 163 revelaram similaridades no que diz respeito aos índices de diversidade (Shannon) e riqueza (número de OTUs) para todas as amostras referentes à porção capixaba do Rio Doce, tanto da campanha 1 quanto da campanha 2. De maneira geral, em alguns pontos avaliados para as amostras de água houve um pequeno aumento nos índices de diversidade e uma pequena redução nos índices de riqueza. Para as amostras de sedimento, a variação é ainda menor, com exceção dos pontos LAL e RDF, que revelaram uma elevação da riqueza, e o ponto LNO que revelou uma redução.

Tabela 160: Identificação dos pontos amostrais para água do Rio Doce e índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 1).

Localização	Estação	Profundidade	Índice de Shannon	Número de OTUs	Data (coleta)
Baixo Rio Guandu	BRG	Superfície	7,81E+15	753	20/09/18
	BRG	Fundo	7,32E+15	754	20/09/18
Lagoa do Limão	LLI	Superfície	6,62E+15	415	22/09/18
	LLI	Fundo	3,73E+15	429	22/09/18
Lagoa Nova	LNO	Superfície	6,60E+15	375	24/09/18
	LNO	Fundo	2,36E+16	339	24/09/18
Lagoa Japaranã	LJA	Superfície	2,85E+16	553	26/09/18

Localização	Estação	Profundidade	Índice de Shannon	Número de OTUs	Data (coleta)
Rio Doce (Linhares)	LJA	Fundo	7,82E+15	729	26/09/18
	RDL	Superfície	8,38E+15	837	06/10/18
	RDL	Fundo	7,85E+15	663	06/10/18
Rio Doce (Regência)	RDR	Superfície	7,25E+15	629	28/09/18
	RDR	Fundo	4,96E+15	544	28/09/18
Lagoa do Areão	LAR	Superfície	6,63E+15	352	03/10/18
	LAR	Fundo	6,45E+15	287	03/10/18
Lagoa do Areal	LAL	Superfície	4,95E+16	575	27/09/18
	LAL	Fundo	4,78E+15	943	27/09/18
Lagoa Monsaraz	LMO	Superfície	6,84E+15	369	04/10/18
	LMO	Fundo	6,32E+15	299	04/10/18
Rio Doce (foz)	RDF	Superfície	6,98E+15	575	01/10/18
	RDF	Fundo	6,82E+15	551	01/10/18

Tabela 161: Identificação dos pontos amostrais para sedimento do Rio Doce e índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 1).

Localização	Estação	Índice de Shannon	Número de OTUs	Data (coleta)
Baixo Rio Guandu	BRG	6,50E+15	1144	20/09/18
Lagoa do Limão	LLI	9,63E+15	1187	22/09/18
Lagoa Nova	LNO	4,07E+15	1883	24/09/18
Lagoa Japaranã	LJA	6,59E+15	1278	26/09/18
Rio Doce (Linhares)	RDL	5,16E+15	1084	06/10/18
Rio Doce (Regência)	RDR	9,79E+15	1032	28/09/18
Lagoa do Areão	LAR	3,99E+15	1452	03/10/18
Lagoa do Areal	LAL	9,31E+15	932	27/09/18
Lagoa Monsaraz	LMO	5,05E+15	1261	04/10/18
Rio Doce (foz)	RDF	8,59E+15	718	01/10/18

Tabela 162: Identificação dos pontos amostrais para água do Rio Doce e índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 2).

Localização	Estação	Profundidade	Índice de Shannon	Número de OTUs	Data (coleta)
Baixo Rio Guandu	BRG	Superfície	5,2E+15	626	10/01/19
	BRG	Fundo	8,1E+15	586	10/01/19
Lagoa do Limão	LLI	Superfície	6,1E+15	295	14/01/19
	LLI	Fundo	8,4E+15	873	14/01/19
Lagoa Nova	LNO	Superfície	4,4E+15	347	18/01/19
	LNO	Fundo	7,0E+15	423	18/01/19
Lagoa Japaranã	LJA	Superfície	6,6E+16	300	20/01/19
	LJA	Fundo	6,9E+15	439	20/01/19
Rio Doce (Linhares)	RDL	Superfície	2,6E+16	460	23/01/19

Localização	Estação	Profundidade	Índice de Shannon	Número de OTUs	Data (coleta)
Rio Doce (Regência)	RDL	Fundo	2,7E+16	482	23/01/19
	RDR	Superfície	6,6E+16	325	27/01/19
	RDR	Fundo	4,7E+15	372	27/01/19
Lagoa do Areão	LAR	Superfície	6,3E+15	251	30/01/19
	LAR	Fundo	6,7E+15	435	30/01/19
Lagoa do Areal	LAL	Superfície	3,7E+15	347	01/02/19
	LAL	Fundo	2,7E+16	540	01/02/19
Lagoa Monsaraz	LMO	Superfície	2,8E+16	391	25/01/19
	LMO	Fundo	7,9E+15	605	25/01/19
Rio Doce (foz)	RDF	Superfície	6,7E+15	346	03/02/19
	RDF	Fundo	7,1E+15	487	03/02/19

Tabela 163: Identificação dos pontos amostrais para sedimento do Rio Doce e índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza ( Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 2).

Localização	Estação	Índice de Shannon	Número de OTUs	Data (coleta)
Baixo Rio Guandu	BRG	6,7E+15	1277	10/01/19
Lagoa do Limão	LLI	9,6E+15	1169	10/01/19
Lagoa Nova	LNO	9,1E+15	960	14/01/19
Lagoa Japaranã	LJA	9,2E+15	1288	14/01/19
Rio Doce (Linhares)	RDL	9,7E+15	1240	18/01/19
Rio Doce (Regência)	RDR	9,5E+15	1241	18/01/19
Lagoa do Areão	LAR	9,6E+15	1206	20/01/19
Lagoa do Areal	LAL	6,7E+15	1391	20/01/19
Lagoa Monsaraz	LMO	9,3E+15	1216	23/01/19
Rio Doce (foz)	RDF	9,6E+15	1318	23/01/19

### 3.5.1.1 Composição da microbiota na água de superfície do Rio Doce no estado do Espírito Santo (incluindo lagos e estuário)

A análise da abundância relativa da comunidade bacteriana das águas de superfície do Rio Doce, durante a campanha 1, está demonstrada na Figura 447. Os filos mais abundantes foram Actinobacteria, Proteobacteria, Cianobacteria e Bacteroidetes. Da campanha 1 para a campanha 2 foram observadas algumas diferenças nas suas abundâncias relativas, com destaque para as estações RDF, RDR e BRG, que apresentaram na campanha 1 valores de 53,25%, 48,77% e 8,23% para Cianobacteria, respectivamente, enquanto que os dados mais recentes da campanha 2 demonstram 26,65%, 27,70% e 20,17%, para as mesmas estações (Figura 447 e Figura 448).

Figura 447: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

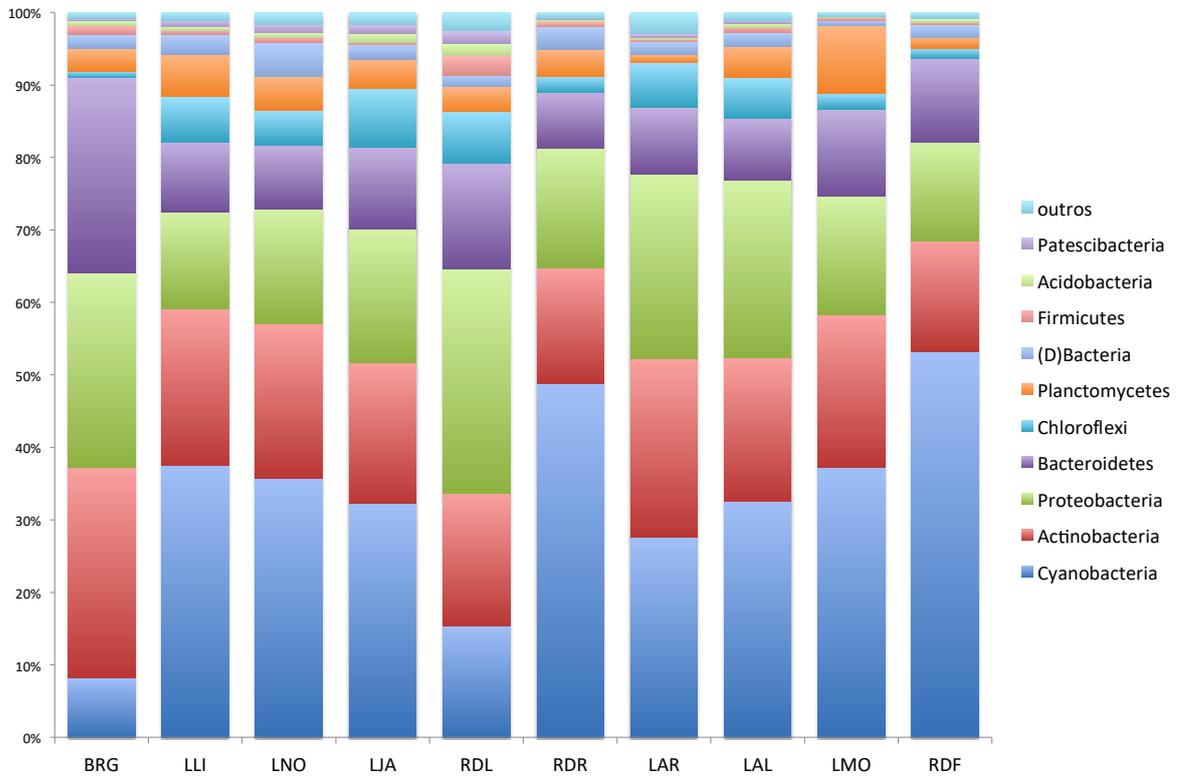
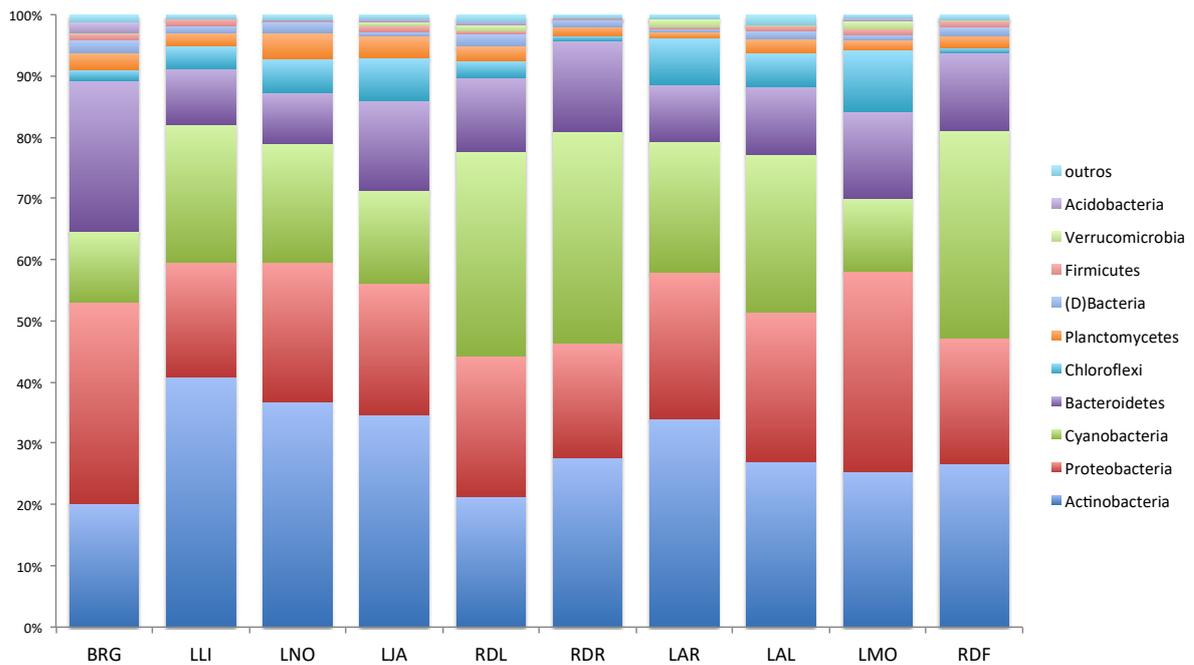


Figura 448: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".



Para abundância relativa a nível de gênero, fica evidente, nas duas campanhas, a grande dominância de apenas dois gêneros, Cyanobium e hgcl clade. Com exceção para o ponto BRG, que praticamente não havia Cyanobium (Figura 449 e Figura 450). Em alguns pontos, os dois gêneros somavam mais de 50% de toda comunidade. De maneira geral, da campanha 1 para a campanha 2, nota-se uma diminuição de Cyanobium, em especial para as amostras referentes a foz do Rio Doce (RDF).

Figura 449: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

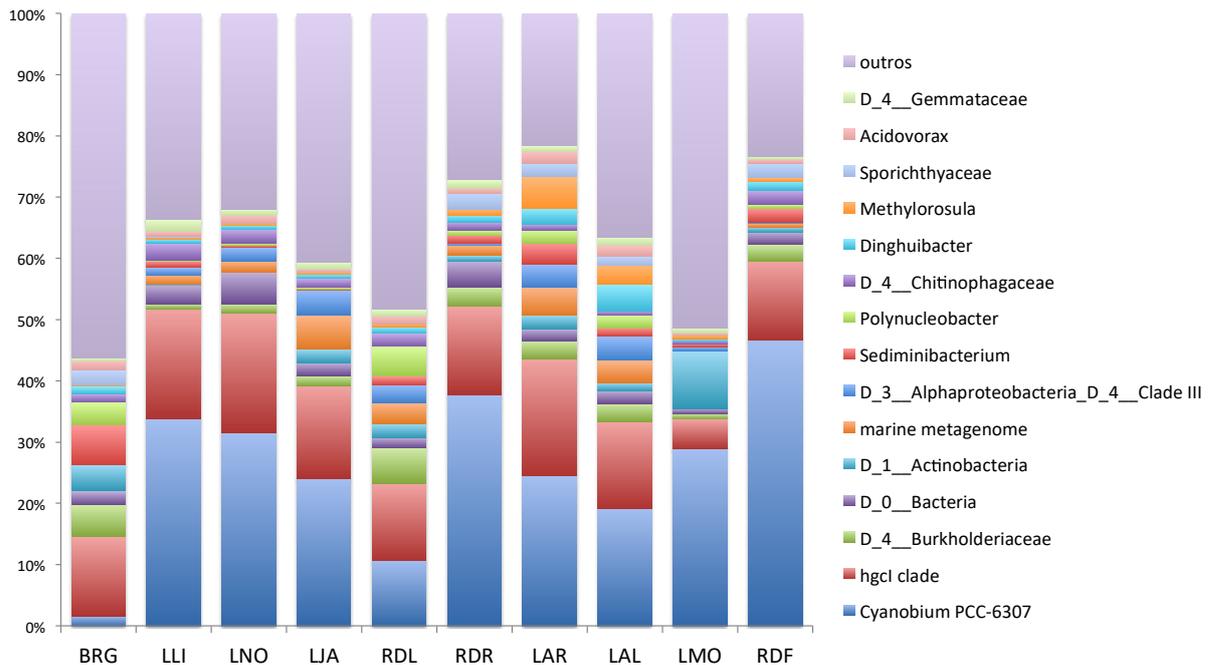
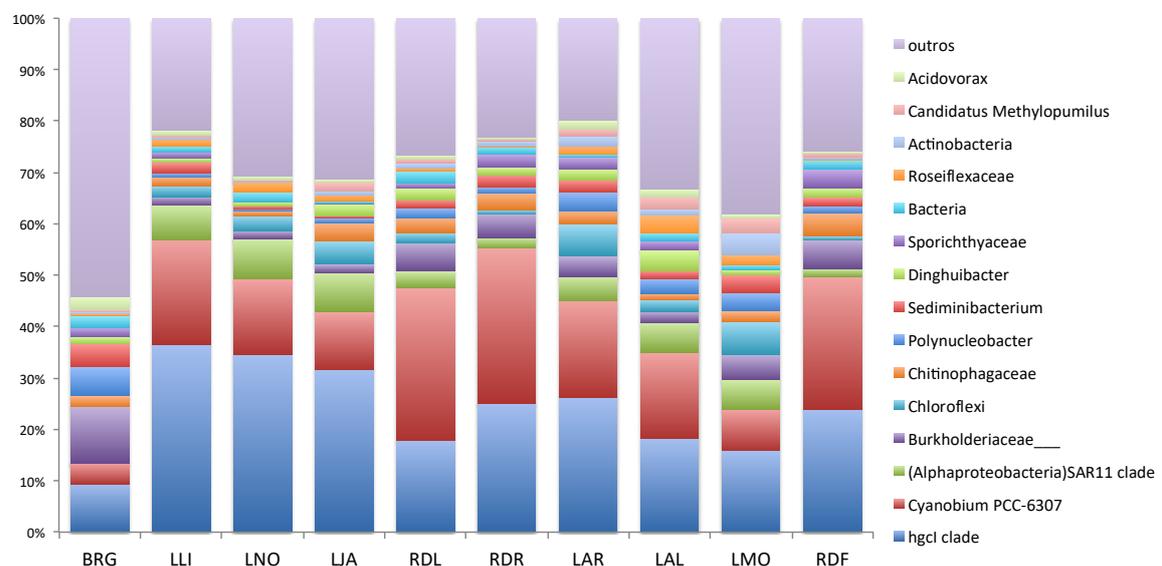
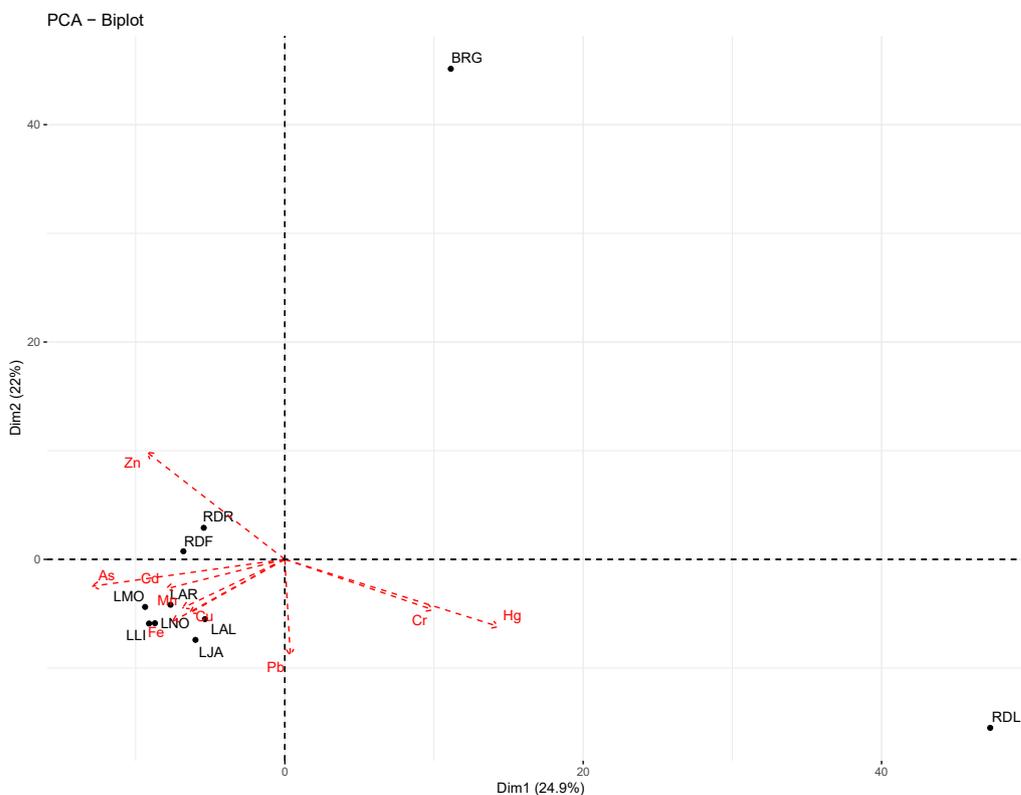


Figura 450: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".



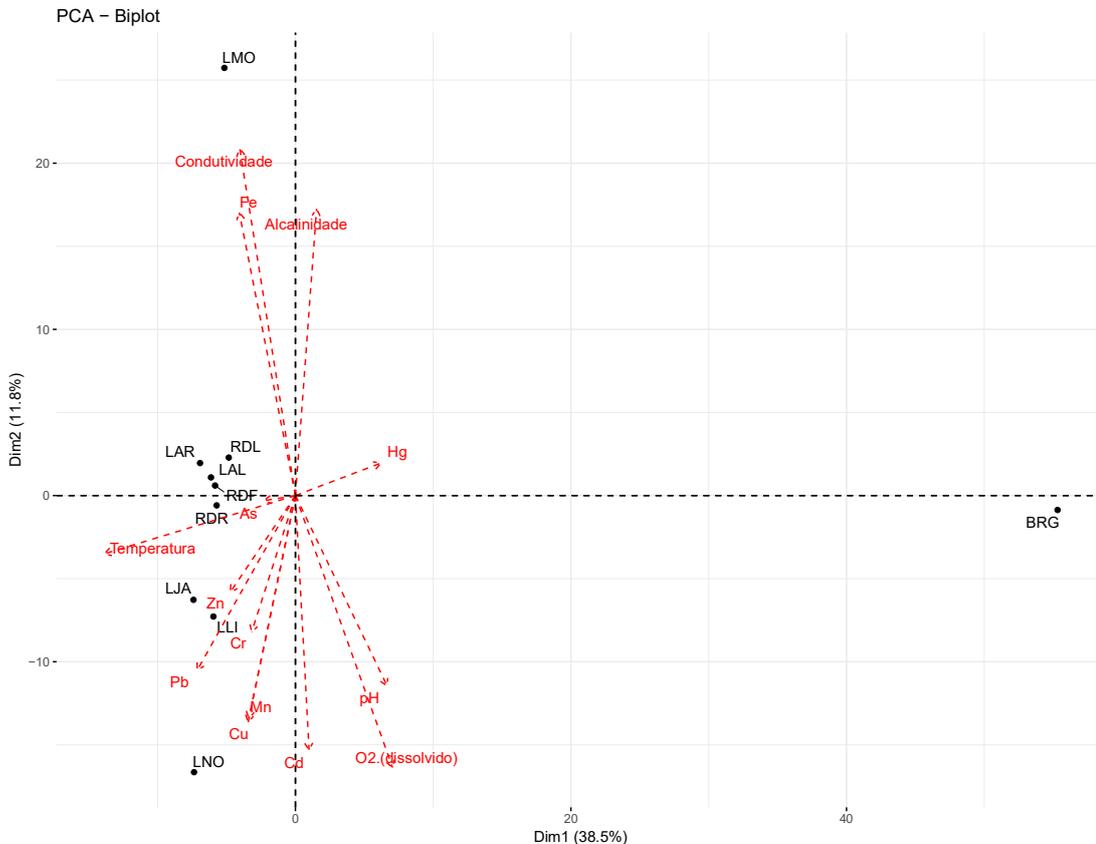
A análise dos componentes principais (PCA) para as amostras de água de superfície, que revela a similaridade ou dissimilaridade, a nível bacteriano dos pontos analisados, revelou, nas duas campanhas, a formação de um grande grupo influenciado pela maioria dos metais encontrados no estudo (Figura 451 e Figura 452). Na campanha 1, todas as amostras que não eram de rio se agruparam no terceiro quadrante, separando das amostras de rio, em especial dos pontos RDL e BRG, que demonstraram grande distanciamento de todas os pontos e também entre si. Na campanha 2, o ponto BRG continuou distante dos demais. No entanto, RDL se aproximou, enquanto que o ponto LMO se distanciou dos demais. Com relação aos demais pontos, as amostras que não eram de rio diminuíram a semelhança entre si, e os pontos LAR e LAL se aproximaram dos pontos RDF, RDL e RDR.

Figura 451: Análise de PCA das amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.



A análise realizada durante a campanha 1 também havia revelado a formação de uma grande comunidade principal, contendo a maioria das estações em estudo e com distanciamento da estação BRG. Porém, a estação RDL apresentava perfil similar ao núcleo formado pelas comunidades comuns, enquanto que a estação LMO havia sido agrupada de forma distinta e sofrendo influência da presença de Fe e dos índices de condutividade e alcalinidade do meio (Figura 452).

Figura 452: Análise de PCA das amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.



Com o objetivo de melhor identificar possíveis grupos microbianos, relacionados à presença de metais pesados ao longo do Rio Doce, foi realizada uma análise da porcentagem de similaridade (SIMPER), somente com amostras coletadas no Rio Doce e Baixo Guandu, excluindo-se as obtidas nas lagoas localizadas no entorno do Rio Doce. Isto deve-se ao fato de que além de ser o foco principal do presente monitoramento, o Rio Doce também apresenta características físico-químicas e de dinâmica de populações diferentes das encontradas nas lagoas, uma vez que são habitats distintos.

Neste sentido, foram utilizadas, inicialmente, apenas as amostras de rio BRG, RDL, RDR e RDF como mostrado na Tabela 164. A análise da porcentagem de similaridade (SIMPER) tem como fundamento a correlação entre as variáveis utilizadas (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) com o agrupamento obtido por cada estação, para assim buscar quantificar a importância de determinada OTU, para o perfil encontrado em determinado ponto de coleta. O resultado da análise de SIMPER, para as amostras de água de superfície do Rio Doce, apresentou expressiva correlação entre os táxon Cyanobium com as estações do Rio Doce, quando comparado com o Baixo Rio Guandu (BRG). Na campanha 1, a maior correlação foi com a foz do rio (RDF), já na campanha 2 foi com Regência (RDR). Vale ressaltar, ainda, uma diminuição, da campanha 1 para a campanha 2, da influência de Cyanobium e um aumento da influência de hgcl clade, o que pode indicar uma alteração importante na dinâmica de populações entre a campanha 1 e a 2. A influência de Cyanobium caiu de 28,64 para 18,11%. Já

para o taxon hgcl clade, que não estava entre os quatros mais influentes na campanha 1, foi o segundo que mais influenciou na campanha 2, 11,66% (Tabela 164 e Tabela 165). A diminuição da grande influência de apenas um gênero pode estar relacionado com uma recuperação do Rio Doce, no entanto mais amostragens são necessárias para avaliar se essas alterações não estão relacionadas à sazonalidade.

Tabela 164: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 1).

Táxon	Contribuição (%)	Contribuição Cumulativa (%)	BRG	RDL	RDR	RDF
<i>Cyanobium PCC-6307</i>	28,64	28,64	0,0158	0,107	0,377	0,466
<i>Sediminibacterium</i>	2,966	31,6	0,0659	0,0138	0,0124	0,0211
<i>Polynucleobacter</i>	2,739	34,34	0,0363	0,0499	0,0089	0,0074
<i>D_2_Actinobacteria</i>	2,112	36,45	0,0436	0,0235	0,0096	0,0084
<i>D_4_Burkholderiaceae</i>	2,047	38,5	0,0534	0,058	0,0321	0,0265

Tabela 165: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície do Rio Doce (Campanha 2).

Táxon	Contribuição (%)	Contribuição Cumulativa (%)	BRG	RDL	RDR	RDF
<i>Cyanobium PCC-6307</i>	18,11	18,11	0,0408	0,296	0,302	0,258
<i>hgcl clade</i> (Actinobacteria)	11,66	29,77	0,0936	0,18	0,25	0,24
<i>Burkholderiaceae</i>	4,113	33,89	0,109	0,0553	0,0473	0,0558
<i>Pseudarcicella</i>	3,625	37,51	0,0565	0,00377	0,00208	0,00243
<i>Polynucleobacter</i>	3,165	40,68	0,0582	0,0193	0,0119	0,0145

### 3.5.1.2 Composição da microbiota na água de fundo do Rio Doce no estado do Espírito Santo (incluindo lagos e estuário)

A análise de abundância relativa para filios bacterianos na água de fundo revelou que os filios mais abundantes foram Proteobacteria, Cyanobacteria, Actinobacteria e Bacteroidetes em ambas campanhas, com pequenas alterações na abundância de alguns filios entre a campanha 1 e a campanha 2 (Figura 453 e Figura 454). Como destaques, observou-se na campanha 2 que para as estações localizadas no Rio Doce (RDL, RDR e RDF) o filo mais abundante foi Cynobacteria, bem como que para a estação BRG o filo mais abundante foi Proteobacteria. Por outro lado, o filo Bacteroidetes esteve presente em 21% para a estação BRG, enquanto que para as demais estações no Rio Doce o mesmo filo apresentou 12,14%, 11,43% e 11,31% de abundância, respectivamente para RDL, RDR e RDF. Comparando com os dados da campanha 1, observou-se que Proteobacteria teve sua abundância reduzida nos pontos RDL (28,99% para 24,22%), RDR (27,20% para 24,03%) e RDF

(43,27% para 28,80%), mas teve aumento no ponto BRG (33,66% para 36,46%). Além disso, uma maior abundância de Bacteroidetes na estação BRG, em comparação com as demais estações no Rio Doce (RDL, RDR e RDF), também foi observada (Figura 454).

Figura 453: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais frequentemente encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

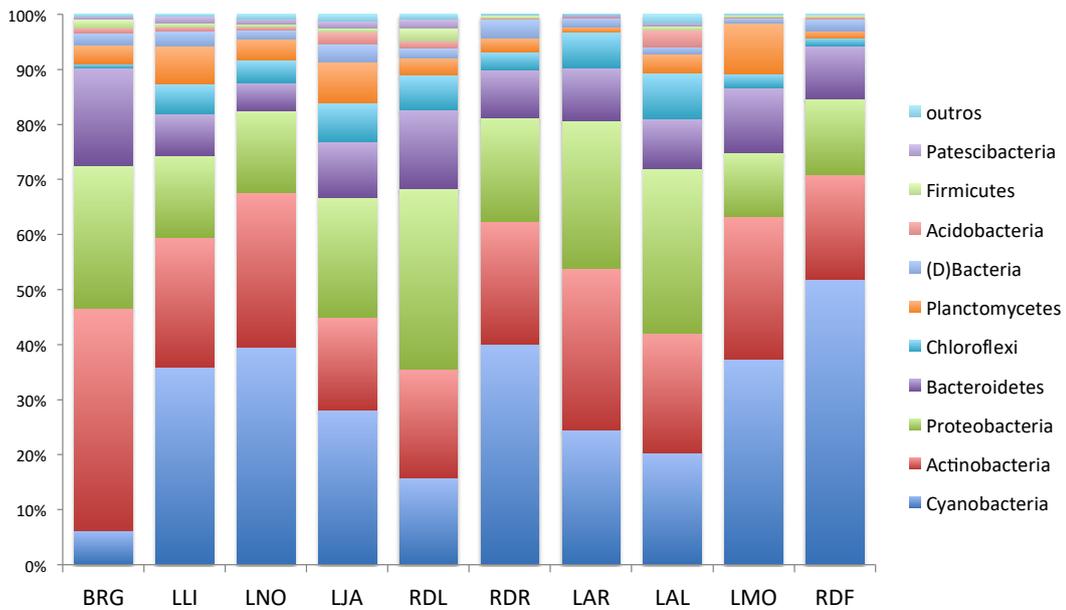
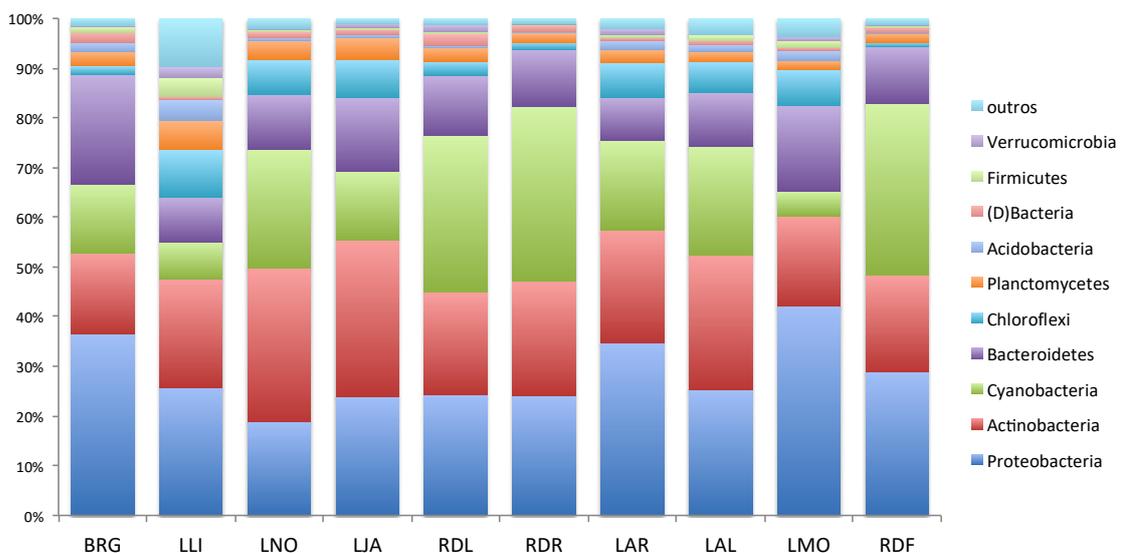


Figura 454: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais frequentemente encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".



Analisando a abundância relativa dos gêneros mais encontrados em água de profundidade, observou-se os mesmos táxons encontrados na água de superfície (hgcl clade e Cyanobium) (Figura 455 e Figura 456). Comparando as duas campanhas, houve, inicialmente, uma inversão entre as abundâncias relativas de hgcl clade e Cyanobium, e uma estreita relação com a presença de Cyanobium com as estações RDL, RDR e RDF, uma vez que estes pontos apresentaram as maiores porcentagens para o referido grupo bacteriano (Figura 456). Na campanha 2, apesar destes dois táxons apresentarem maior abundância, em relação a todas as estações estudadas, os mesmos não foram predominantes para a estação BRG, que teve como mais abundante o gênero bacteriano Polynucleobacter (Figura 455).

Figura 455: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

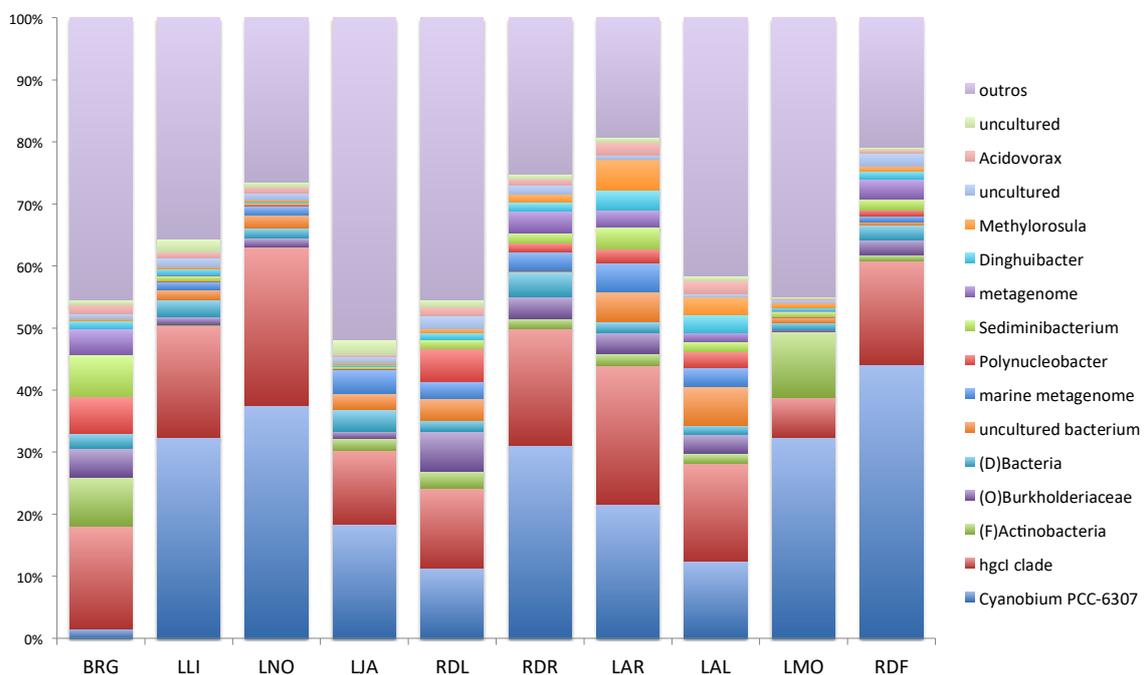
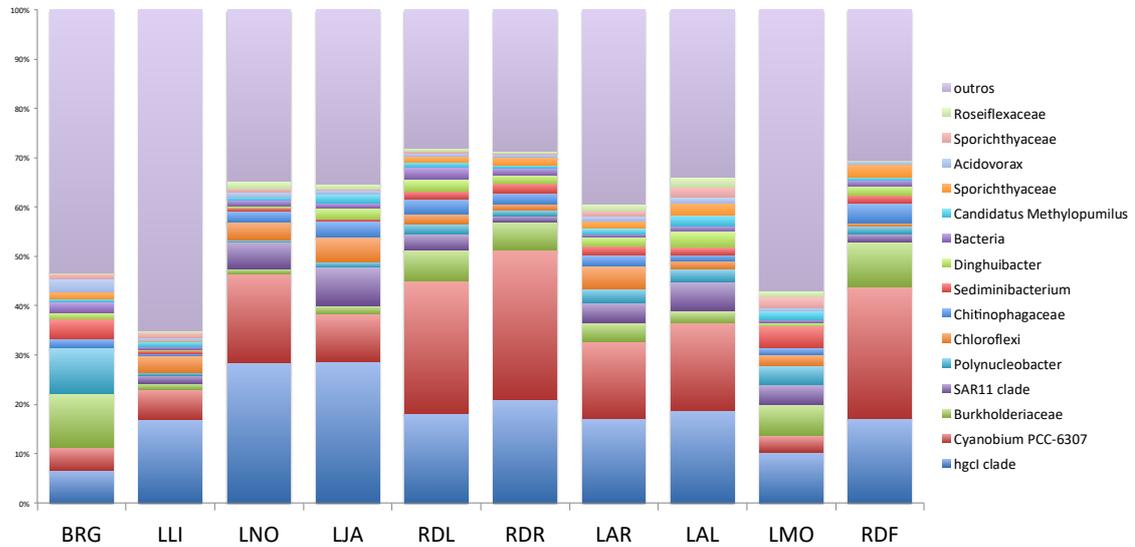
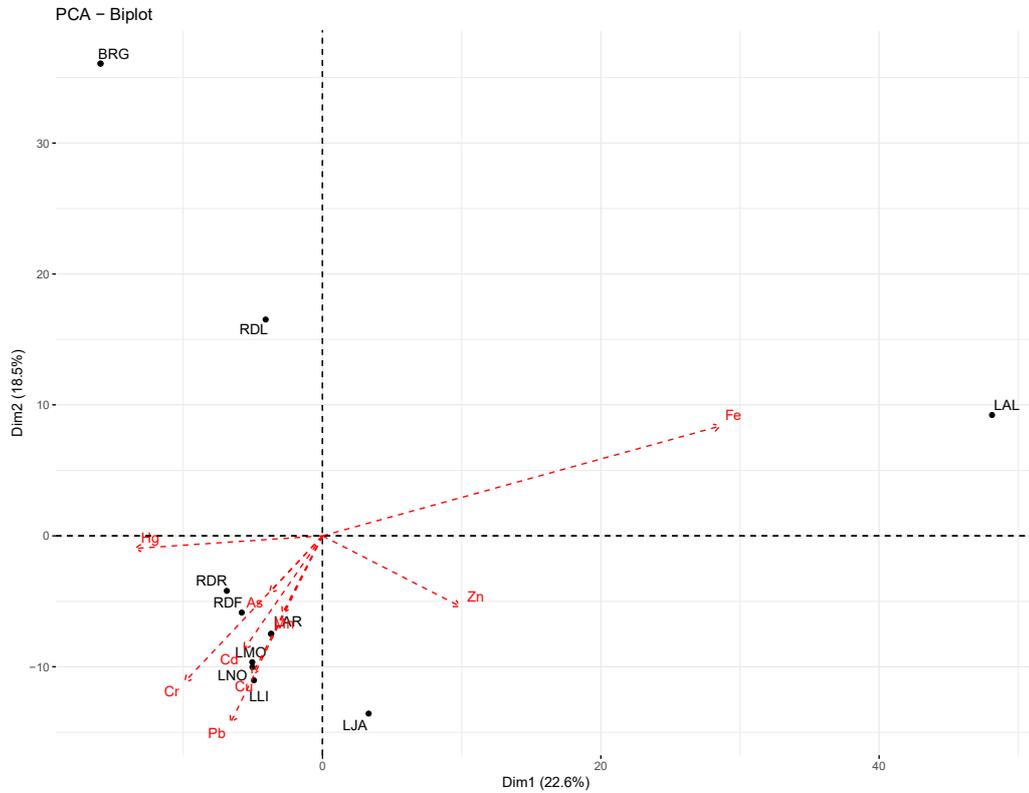


Figura 456: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.



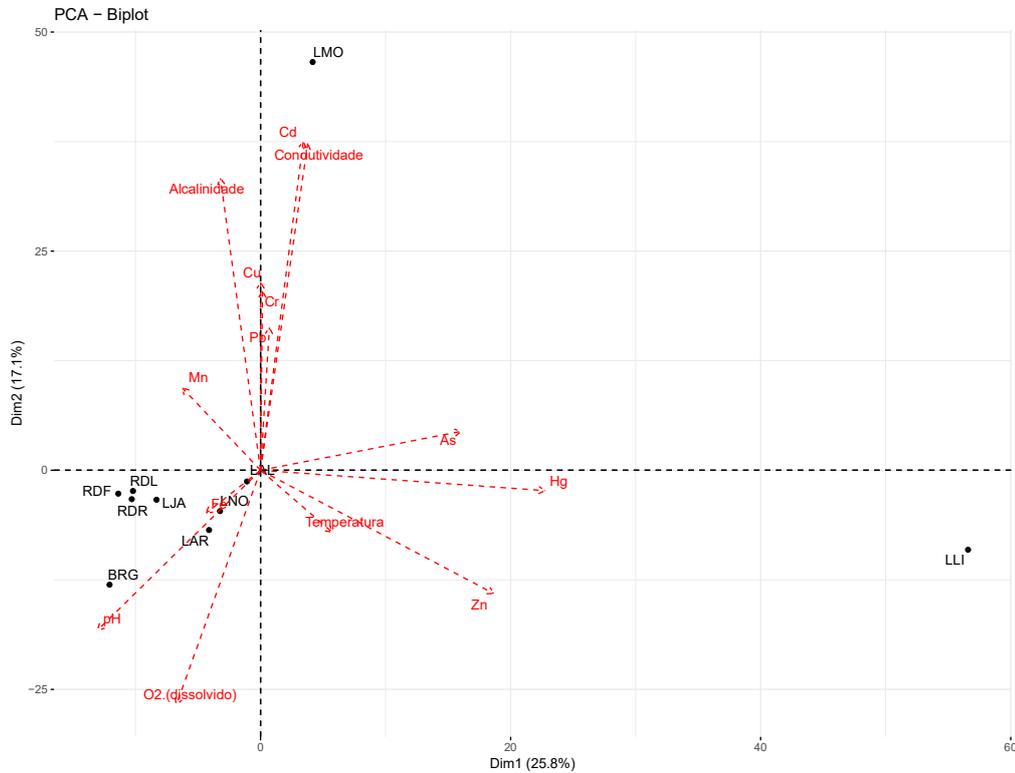
A ordenação gerada com amostras de água de profundidade apresentou perfil similar às amostras de superfície, no que diz respeito à formação de um grupo principal formado pela maioria das estações em análise (Figura 457 e Figura 458). Contudo, houve alterações das estações com perfis mais distintos, especificamente, as estações LAL, RDL e BRG na campanha 1, e LMO e LLI na campanha 2 (Figura 457).

Figura 457: Análise de PCA das amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.



No entanto, estes mesmos pontos parecem ter sofrido alterações induzidas pela presença de metais. As estações localizadas no Rio Doce se mantiveram juntas, representando características de comunidade microbiana similar. Comparando estes dados com os obtidos na campanha 1, observa-se diferença nas estações que mais se distanciaram dos grupos compartilhados. Na campanha 1, as estações BRG, LAL e RDL haviam sido as mais distintas (Figura 458).

Figura 458: Análise de PCA das amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.



A análise de SIMPER para as amostras de água de profundidade do Rio Doce também é condizente com os resultados encontrados para água de superfície. O táxon Cyanobium foi o que mais influenciou as estações localizadas no Rio Doce (RDL, RDR e RDF), comparado com a estação BRG. E na campanha 2 houve uma diminuição da influência de Cyanobium e aumento da influência de hgcl clade (Tabela 166 e Tabela 167).

Tabela 166: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 1).

Táxon	Contribuição (%)	Contribuição Cumulativa (%)	BRG	RDL	RDR	RDF
Cyanobium PCC-6307	27,25	27,25	0,0159	0,113	0,312	0,441
D_2_Actinobacteria	4,087	31,34	0,0805	0,0269	0,0151	0,0107
Polynucleobacter	3,47	34,81	0,059	0,0532	0,0142	0,0094
hgcl clade	3,27	38,08	0,164	0,129	0,188	0,166
Sediminibacterium	2,90	40,99	0,0674	0,015	0,0174	0,0174

Tabela 167: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo do Rio Doce (Campanha 2).

Táxon	Contribuição (%)	Contribuição Cumulativa (%)	BRG	RDL	RDR	RDF
Cyanobium PCC-6307	16,74	16,74	0,0463	0,266	0,3	0,266
hgcl clade (Actinobacteria)	9,507	26,25	0,0659	0,18	0,207	0,171
Polynucleobacter	5,289	31,54	0,0914	0,0203	0,0123	0,0175
Burkholderiaceae	3,948	35,49	0,108	0,0632	0,0571	0,0896
Pseudarcicella	3,247	38,73	0,0499	0,00377	0,00127	0,00218

### 3.5.1.3 Composição da microbiota no sedimento do Rio Doce no estado do Espírito Santo (incluindo lagos e estuário)

A abundância relativa dos filos mais abundantes no sedimento para as duas campanhas estão demonstrados Figura 459 e Figura 460. Comparando os dados de ambas campanhas foi observado algumas alterações. Apesar dos táxons predominantes encontrados nas duas campanhas terem se mantido, visualizou-se uma inversão do terceiro filo mais abundante, que na campanha 1 havia sido Acidobacteria e na campanha 2 trocou de lugar com Bacteroidetes. Além disso, houve grande redução na abundância relativa de Proteobacteria para os pontos RDF, LMO e BRG, com especial atenção para o ponto RDF que teve uma redução de 14%. Adicionalmente, também foi observado uma alteração marcante no ponto LNO para o filo Acidobacteria que saltou de 9%, na campanha 1, para 24,86% na campanha 2. Planctomycetes e Actinobacteria, que apresentaram a sua maior abundância no ponto mais contaminado com metal na campanha 2 (RDL), também eram abundantes nos demais pontos localizados no sedimento do Rio Doce e Baixo Rio Guandu (BRG, RDR e RDF) durante a campanha 1. No entanto, da campanha 1 para campanha 2, Planctomycetes diminuiu nos pontos RDR e RDF, mantendo a sua maior abundância no ponto RDL, enquanto Actinobacteria diminuiu em todos os pontos localizados no Rio Doce e Baixo Guandu (BRG, RDR e RDF), mantendo também a sua maior abundância no ponto RDL. Estes dois filos são conhecidos por aumentar a sua abundância em locais contaminados com metais pesados. Bactérias pertencentes ao filo Planctomycetes possuem a capacidade de realizar a atividade ANAMMOX (do inglês Anaerobic Ammonium Oxidation), e o aumento da atividade ANAMMOX pode estar relacionado à presença de metais pesados, como o ocorrido no Rio Doce. O aumento desta atividade pode impactar ciclos biogeoquímicos importantes para o ambiente, como a ciclagem de nitrogênio, uma vez que o aumento da atividade ANAMMOX pode significar uma elevação na perda do nitrogênio fixado (Dang, 2013). Já as bactérias do filo Actinobacteria possuem mecanismos conhecidos de resistência, acumulação e metabolização de metais pesados (Schmidt, 2005; Haferburg, 2009; Ivshina, 2013; El Baz, 2015), sendo utilizado como bioindicadores (Walter, 2012) e na biorremediação de ambientes impactados (Alvarez, 2017).

Mais especificamente para a campanha 2, o ponto LAL apresentou maior abundância de Cloroflexi (25,41%), quando comparado aos outros pontos do Rio Doce, seguido pelos pontos LAR, LLI e LMO. O filo Acidobacteria foi mais preponderante no ponto LNO, Cianobactéria foi encontrado com maior

relevância nos pontos LJA (23,56%), RDR (15,40%) e LMO (14,62%). Os pontos LAR, LAL e LMO apresentaram também a presença do filo Omnitrophicaeota em proporção superior aos demais pontos (3,70; 3,25 e 1,35%, respectivamente). Os filios Planctomycetes (10,29%) e Actinobacteria (5,82%) apresentaram suas maiores abundâncias nas amostras do ponto RDL, aquele com maior concentração de metais pesados. As médias de Planctomycetes e Actinobacteria em todos os pontos foram 6,78% e 2,77%, respectivamente (Figura 460).

Figura 459: Classificação taxonômica das amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filios mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

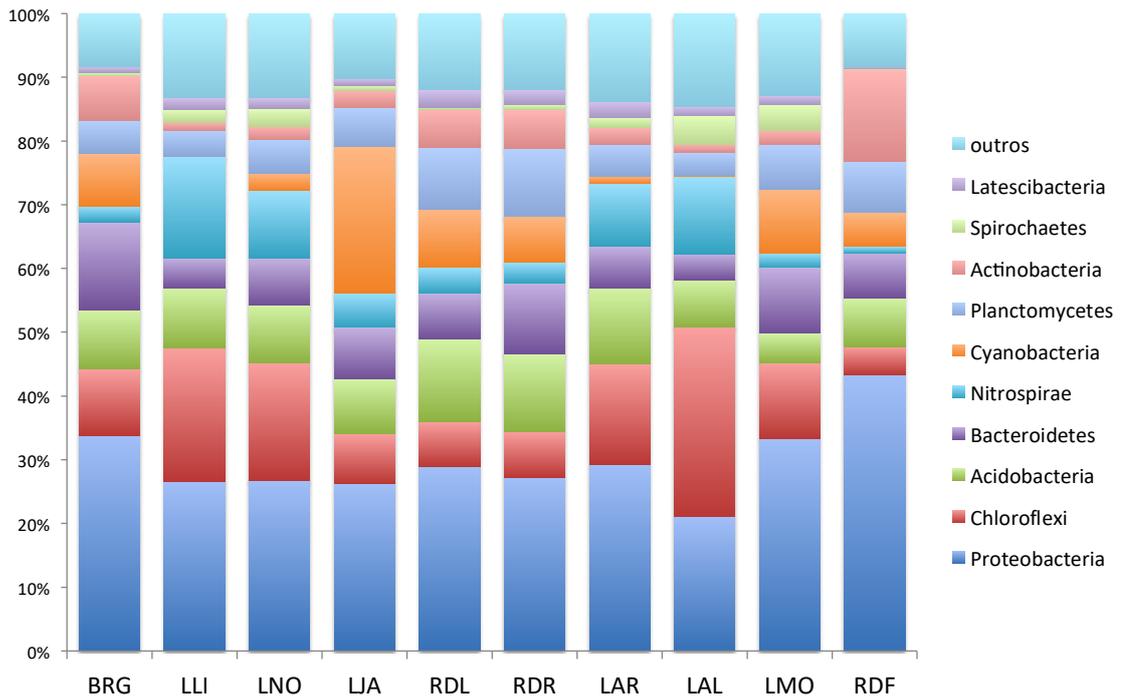
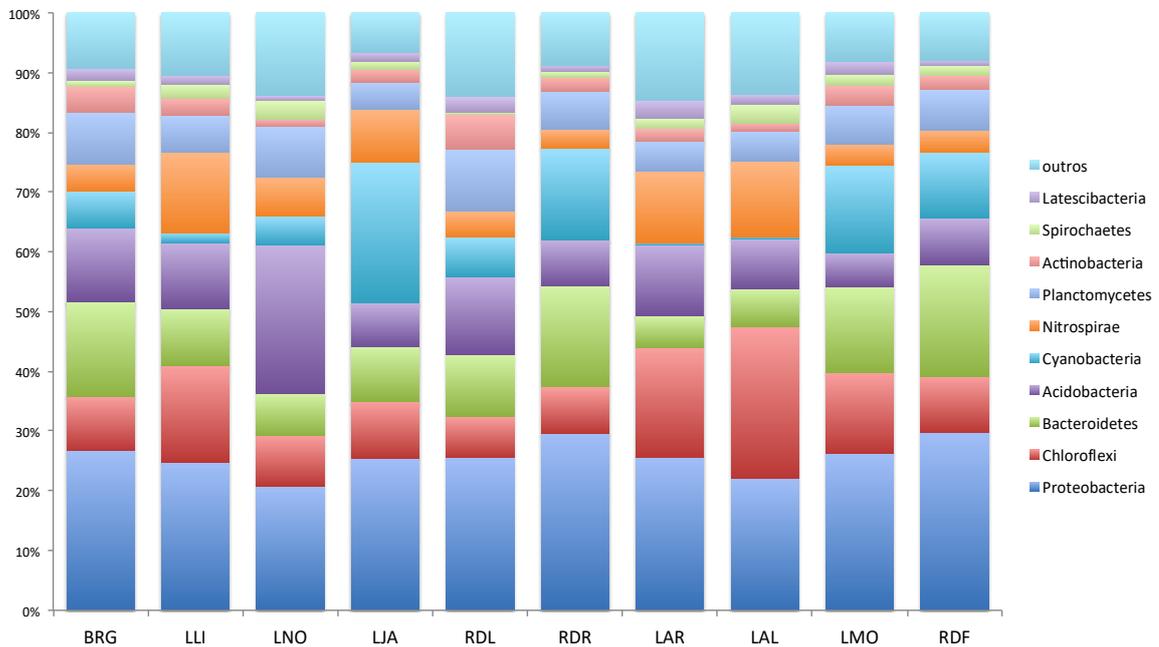


Figura 460: Classificação taxonômica das amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.



Os resultados de abundância relativa a nível de gênero para as duas campanhas revelaram maior abundância dos táxons Anaerolineacea, Nitrospira, Thermodesulfovibrionia e Spirochaeta (Figura 461 e Figura 462). Anaerolineacea foi anteriormente relatada em solo severamente contaminado com metais pesados, como sendo o táxon mais abundante do estudo (Lia, 2017). Esta grande abundância de Anaerolineaceae, em local contaminado, pode estar relacionado com a sua capacidade de reduzir metal pesado em simbiose com archaeas (Liang, 2017).

Figura 461: Classificação taxonômica das amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

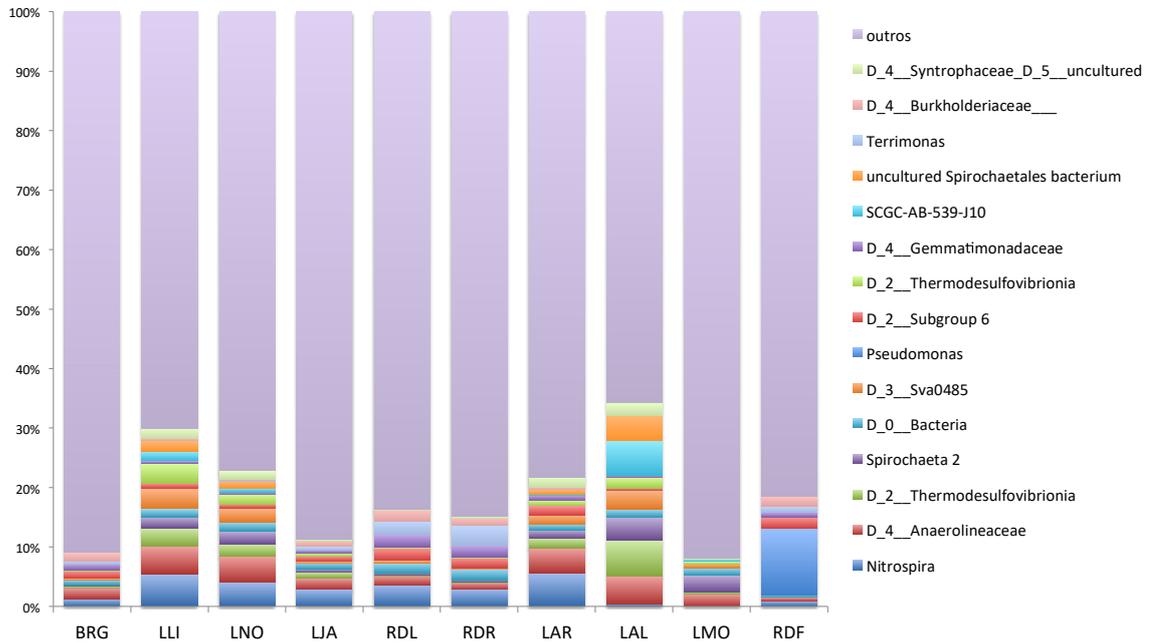
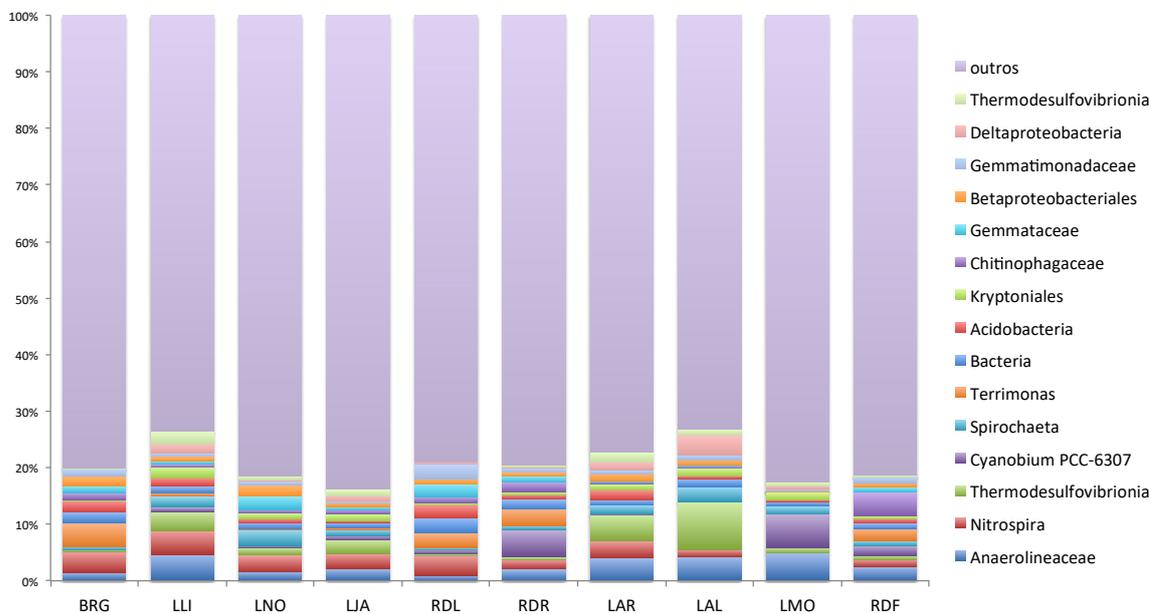


Figura 462: Classificação taxonômica das amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".



Devido a maior concentração de metais pesados no ponto RDL, principalmente na campanha 2, foram avaliados os táxons que apresentaram a sua maior concentração neste ponto. Estes foram: Pirellulaceae (RDL 3,27%, média total 1,68%), Gaiellales (RDL 2,77%, média total 0,79%),

Gemmatimonadaceae (RDL 2,66%, média total 0,92%), Gemmataceae (RDL 2,30%, média total 1,00%), Nitrosomonadaceae (RDL 1,85%, média total 0,72%), Anaeromyxobacter (RDL 1,41%, média total 0,72%), Latescibacteria (RDL 1,14%, média total 0,55%). Para todos os táxons, a abundância no ponto RDL foi por volta do dobro ou mais da média total. O primeiro e o quarto táxon mais abundante são pertencentes ao filo Planctomycetes e o segundo mais abundantes ao filo Actinobacteria.

Com exceção apenas da família Gemmatales, todos os outros grupos taxonômicos já foram relatados em ambientes com metais pesados. Como exemplo, pode-se citar os seguintes grupos taxonômicos: Pirellulaceae em sedimento de rio (Chen, 2018), Gaiellales em sedimento inundado (Yang, 2015), Gemmatimonadaceae em solo (Gołębiewski, 2014; Wang, 2014), Nitrosomonadaceae em sedimento de rio e solo (Chen, 2018, Gołębiewski, 2014), Anaeromyxobacter em sedimento inundado (He, 2010; Huaidong, 2017), e Latescibacteria também em sedimento inundado (Zang, 2019).

As análises dos componentes principais (PCA) para as amostras de sedimento das duas campanhas demonstraram agrupamentos similares dos principais pontos analisados, bem como sua relação com a quantificação dos metais em análise, porém com uma separação mais evidente nos dados mais recentes (Figura 463 e Figura 464). Além disso, o ponto LMO, que de acordo com dados mais recentes não apresentou correlação com a presença de nenhum dos metais em estudo, na campanha 1 apresentou estreita relação com Cd. Em ambas campanhas é possível observar na PCA a formação de dois grandes grupos: i) amostras de rio: Rio Doce e Baixo Rio Guandu (RDF, RDR, RDL e BRG) e; ii) amostras das lagoas próximas ao Rio Doce (LJA, LLI, LNO, LAR e LAL) (Figura 463 e Figura 464). Adicionalmente, observa-se a influência dos níveis de metais sobre a comunidade microbiana destes pontos. Em uma análise geral, o ponto LJA apresenta maior concentração da maioria dos metais analisados entre as amostras de lagoa e, este fator, pode estar contribuindo para alterações de comunidades microbianas. O ponto LMO (Lagoa Monsaraz) apresentou perfil microbiano bem distinto dos demais, o que levou ao grande distanciamento dos outros pontos, bem como a não correlação com a presença dos metais quantificados. Isto pode ser explicado pela entrada de água salgada nesta lagoa, o que torna um ambiente físico-quimicamente mais distinto.

Figura 463: Análise de PCA das amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais.

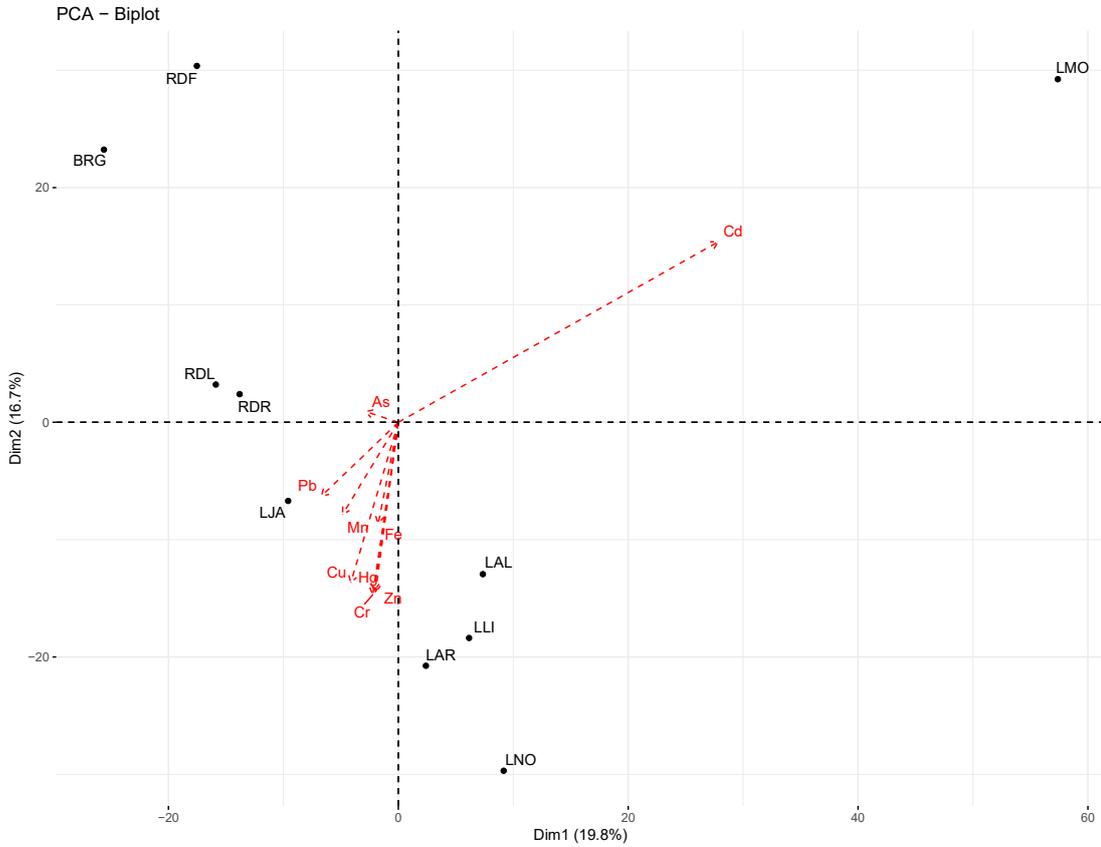
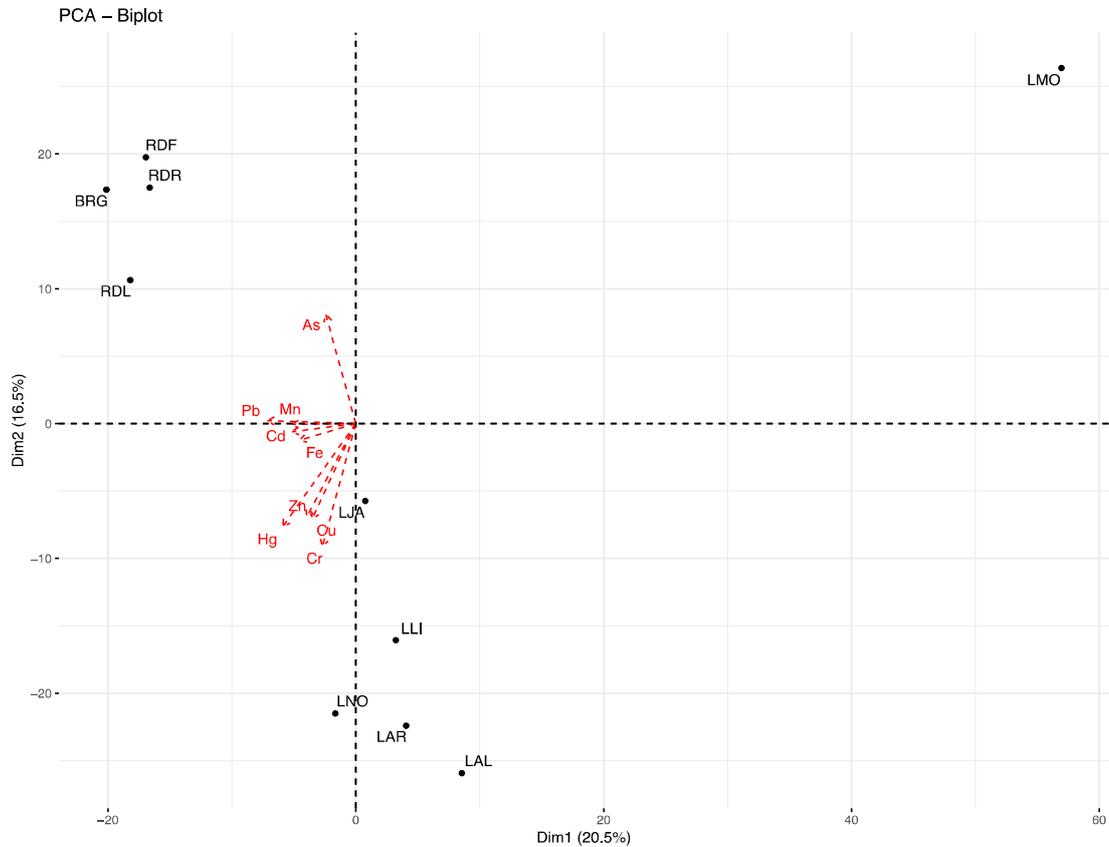


Figura 464: Análise de PCA das amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais.



Com base na ordenação apresentada na Figura 463 e Figura 464, e com o objetivo de melhor identificar possíveis grupos microbianos relacionados à presença de metais pesados ao longo do Rio Doce, foi realizada uma análise da porcentagem de similaridade (SIMPER), somente com amostras coletadas no Rio Doce e Baixo Guandu, devido as suas características específicas para a comunidade bacteriana (Tabela 168). Da mesma forma como analisado para as amostras de água.

Tabela 168: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 1).

Taxon	Contribuição (%)	Contribuição Cumulativa (%)	BRG	RDL	RDR	RDF
Pseudomonas	5,25	5,25	0,000295	9,94E-05	0,00055	0,112
Gramella	2,55	7,80	0,0544	0	0	0
Nocardia	1,79	9,60	0	0	0	0,0382
Nitrospira	1,50	11,11	0,0132	0,0363	0,0293	0,00967
Terrimonas	1,45	12,56	0,00555	0,0209	0,0331	0,0104

O resultado da análise de SIMPER para as amostras de sedimento do Rio Doce não demonstrou uma grande influência de apenas um grupo, como observado nas amostras de água (Tabela 168 e Tabela 169). Na campanha 1, o gênero que mais influenciou foi *Pseudomonas* para a foz do Rio Doce (RDF). *Nocardia*, também, demonstrou influência para RDF, aparecendo somente nesta estação, enquanto que o grupo *Gramella*, segundo com maior influência nos agrupamentos, só foi encontrado na estação BRG. Na campanha 2, o gênero que mais influenciou foi *Cyanobium*, o mesmo para as amostras de água, mas com uma influência bem menor para o sedimento. Nas duas campanhas, os 5 grupos microbianos mais relevantes para o ordenamento do perfil microbiano contribuíram em conjunto em 10% da similaridade ou dissimilaridade entre as estações.

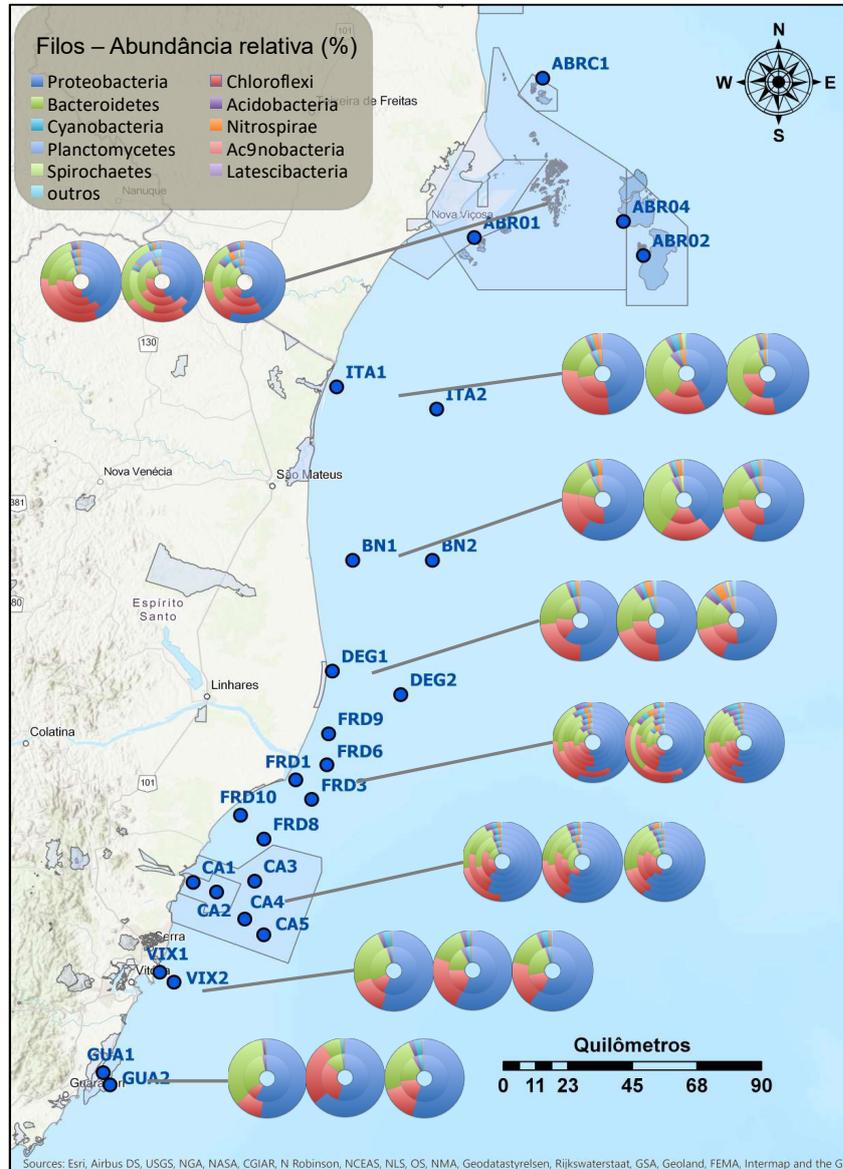
Tabela 169: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de sedimento do Rio Doce (Campanha 2).

Taxon	Contribuição (%)	Contribuição Cumulativa (%)	BRG	RDL	RDR	RDF
<i>Cyanobium</i> PCC-6307	2,98	2,98	0,000143	0,00738	0,0496	0,0174
Chitinophagaceae	1,85	4,83	0,0111	0,0107	0,0183	0,041
<i>Nitrospira</i>	1,76	6,60	0,0372	0,0353	0,0159	0,0125
<i>Dinghuibacter</i>	1,50	8,10	0,00247	0,000869	0,0213	0,0208
<i>Novosphingobium</i>	1,26	9,37	0,0101	0,00309	0,0248	0,012

### 3.5.2 Composição da microbiota na água e no sedimento da Foz do Rio Doce e região costeira adjacente

O resumo dos resultados obtidos para a abundância relativa dos Filos bacterianos predominantes no ambiente marinho estão apresentados na Figura 465. A figura apresenta um resumo dos resultados obtidos para água superficial, água de fundo e sedimento. Estes resultados serão apresentados a seguir em separado para as diferentes matrizes ambientais.

Figura 465: Localização das estações de coleta na foz do Rio Doce e região costeira adjacente, destacando a abundância relativa dos Filos bacterianos predominantes. Os gráficos representam da esquerda para direita: água de superfície, água de fundo e sedimento, respectivamente.



Em relação aos índices de diversidade (Shannon) e riqueza (Número de OTUs) da água do ambiente marinho, os locais que mostraram os maiores valores, na campanha 1, foram: Foz do Rio Doce, Costa das Algas, 1 ponto em Barra Nova (BN02) e Itaúnas (ITA01) e 2 pontos em Abrolhos (ABR01 e ABRC1) (Tabela 170). Isto pode ser explicado pela influência dos rios, como o Rio Doce para as amostras da Foz do Rio Doce, o Rio Piraquê-Açu para as amostras da Costa das Algas e o Rio São Mateus para as amostras de Barra Nova e Itaúnas. Em Abrolhos, os pontos que demonstraram os maiores índices são os mais próximos ao continente, o que também pode estar relacionados a uma maior influência da costa. As estações na Foz do Rio Doce, Costa das Algas e Barra Nova (CA04, FRD06, FRD01 e BN01) também apresentaram maiores valores de diversidade, enquanto que FRD01, FRD10 e DEG01 apresentaram os maiores índices de riqueza. O que corrobora com os dados da campanha 2, sobre a

influência dos rios citados acima. Vale ressaltar que na campanha 1 as amostras de água de superfície apresentaram maior diversidade nas estações GUA1, GUA2, FRD1, BN2, ITA1 e ABR1, enquanto que as amostras de fundo foram mais diversas nos pontos CA4, FRD1, FRD6, BN1 e ABR2 (Tabela 170).

Em relação aos índices de diversidade e riqueza do sedimento do ambiente marinho, na campanha 1, é possível visualizar uma diferença de riqueza entre as estações avaliadas. Por exemplo, a estação ABR02 e GUA02 apresentaram 451 OTUs, enquanto a estação CA04 apresentou 1763 OTUs. No entanto, a campanha 2 não demonstrou grandes diferenças entre as estações amostradas (Tabela 171) como visto também no sedimento do Rio Doce. Em geral, as amostras de sedimento mostraram grande diversidade e uma riqueza superior as amostras de água. Comparando as duas campanhas, nota-se de forma geral um aumento no índice de riqueza da campanha 1 para a campanha 2. Esta elevação de riqueza é nítida em Abrolhos, por exemplo, o ponto referente ao Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (ABR 02), praticamente triplicou o número de OTUs da campanha 1 para a campanha 2 (Tabela 170 e Tabela 171).

Tabela 170: Identificação dos pontos amostrais para água na foz do Rio Doce e região costeira adjacente, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 1).

Localização	Unidade de Conservação	Estação	Profundidade	Índice de Shannon	Número de OTUs
Guarapari	APA de Setiba	GUA01	Superfície	5,5E+15	283
		GUA01	Fundo	5,0E+15	228
Guarapari	APA de Setiba	GUA02	Superfície	2,9E+15	256
		GUA02	Fundo	3,9E+15	365
Vitória	-	VIX01	Superfície	6,6E+15	365
	-	VIX01	Fundo	2,5E+16	362
Vitória	-	VIX02	Superfície	6,1E+15	340
	-	VIX02	Fundo	6,9E+15	560
Costa das Algas	Revis Santa Cruz	CA01	Superfície	2,4E+16	361
		CA01	Fundo	2,9E+16	502
Costa das Algas	Revis Santa Cruz	CA02	Superfície	2,5E+16	331
		CA02	Fundo	2,6E+16	397
Costa das Algas	APA Costa das Algas	CA03	Superfície	6,9E+15	496
		CA03	Fundo	7,2E+15	551
Costa das Algas	APA Costa das Algas	CA04	Superfície	2,5E+16	327
		CA04	Fundo	3,7E+16	362
Costa das Algas	APA Costa das Algas	CA05	Superfície	4,6E+16	410
		CA05	Fundo	2,7E+15	471
Foz do Rio Doce	-	FRD01	Superfície	7,4E+15	659
	-	FRD01	Fundo	7,8E+15	960
Foz do Rio Doce	-	FRD03	Superfície	6,6E+15	385
	-	FRD03	Fundo	7,5E+15	630
Foz do Rio Doce	-	FRD06	Superfície	2,7E+16	470
	-	FRD06	Fundo	7,4E+15	554

Localização	Unidade de Conservação	Estação	Profundidade	Índice de Shannon	Número de OTUs
Foz do Rio Doce	-	FRD08	Superfície	4,6E+15	425
	-	FRD08	Fundo	7,4E+15	458
Foz do Rio Doce	-	FRD9	Superfície	4,1E+16	274
	-	FRD9	Fundo	6,4E+15	397
Foz do Rio Doce	-	FRD10	Superfície	2,8E+16	464
	-	FRD10	Fundo	8,3E+15	884
Degredo	ARIE do Degredo	DEG01	Superfície	6,1E+15	310
		DEG01	Fundo	3,9E+15	505
Degredo	-	DEG02	Superfície	4,0E+15	231
	-	DEG02	Fundo	3,2E+16	280
Barra Nova	-	BN01	Superfície	6,3E+15	313
	-	BN01	Fundo	3,6E+16	360
Barra Nova	-	BN02	Superfície	6,3E+15	255
	-	BN02	Fundo	2,4E+16	363
Itaunas	Parque Estadual de Itaúnas	ITA01	Superfície	6,1E+15	277
		ITA01	Fundo	6,5E+15	376
Itaunas	-	ITA02	Superfície	3,2E+16	253
	-	ITA02	Fundo	6,6E+15	367
Abrolhos	Resex de Cassurubá	ABR01	Superfície	6,5E+15	352
		ABR01	Fundo	2,6E+16	442
Abrolhos	-	ABRC1	Superfície	2,1E+16	316
	-	ABRC1	Fundo	6,4E+15	374
Abrolhos	Parque Nacional Marinho de Abrolhos	ABR02	Superfície	2,3E+16	269
		ABR02	Fundo	6,0E+15	322
Abrolhos	APA Ponta da Baleia/Abrolhos	ABR04	Superfície	6,2E+15	336
		ABR04	Fundo	6,4E+15	346

Tabela 171: Identificação dos pontos amostrais para sedimento na foz do Rio Doce e região costeira adjacente, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 2).

Localização	Unidade de Conservação	Estação	Índice de Shannon	Número de OTUs
Guarapari	APA de Setiba	GUA01	9,7E+15	1374
		GUA02	9,9E+15	1544
Vitoria	-	VIX01	9,5E+15	1166
	-	VIX02	9,4E+15	1079
Costa das Algas	Revis Santa Cruz	CA01	9,4E+15	1157
		CA02	9,4E+15	1122
	APA Costa das Algas	CA03	3,9E+15	1492
		CA04	9,6E+15	1271
		CA05	7,0E+15	1647

Localização	Unidade de Conservação	Estação	Índice de Shannon	Número de OTUs
Foz do Rio Doce	-	FRD01	9,3E+15	1051
	-	FRD03	9,9E+15	1576
	-	FRD06	6,5E+15	1032
	-	FRD08	9,5E+15	1182
	-	FRD9	5,2E+15	1017
	-	FRD10	9,4E+15	1189
Degredo	ARIE do Degredo	DEG01	6,7E+15	1387
	-	DEG02	9,4E+15	1100
Barra Nova	-	BN01	9,6E+15	1306
	-	BN02	9,0E+15	954
Itaunas	Parque Estadual de Itaúnas	ITA01	6,4E+15	1007
	-	ITA02	9,6E+15	1578
Abrolhos	Resex de Cassurubá	ABR01	9,6E+15	1496
	-	ABRC1	9,7E+15	1635
	Parque Nacional Marinho de Abrolhos	ABR02	9,2E+15	1150
	APA Ponta da Baleia/Abrolhos	ABR04	6,6E+15	1216

### 3.5.2.1 Composição da microbiota na água de superfície da Foz do Rio Doce e região costeira adjacente

As abundâncias relativas dos filos encontrados nas amostras de água de superfície das duas campanhas revelaram como grupos mais abundantes Proteobactéria, Cianobactéria, Bacteroidetes (Figura 466 e Figura 467). A diferença entre as campanhas foi em relação ao quarto filo mais abundante, na primeira foi Planctomycetes e na segunda Actinobacteria. Em ambas campanhas, os três primeiros filos mais abundantes foram responsáveis por mais de 90% da comunidade e tiveram de maneira geral distribuição similar entre as estações analisadas. Como destaque da campanha 2, o filo Cianobactéria apresentou maior proporção nas amostras mais ao norte, iniciando pelos pontos em Abrolhos (>30%), enquanto que os pontos mais ao sul foram tendo sua abundância reduzida até Guarapari (GUA01 e GUA 02), onde obteve valores de 7% de abundância apenas. Na campanha 1 não foi visualizado esse padrão.

Figura 466: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.

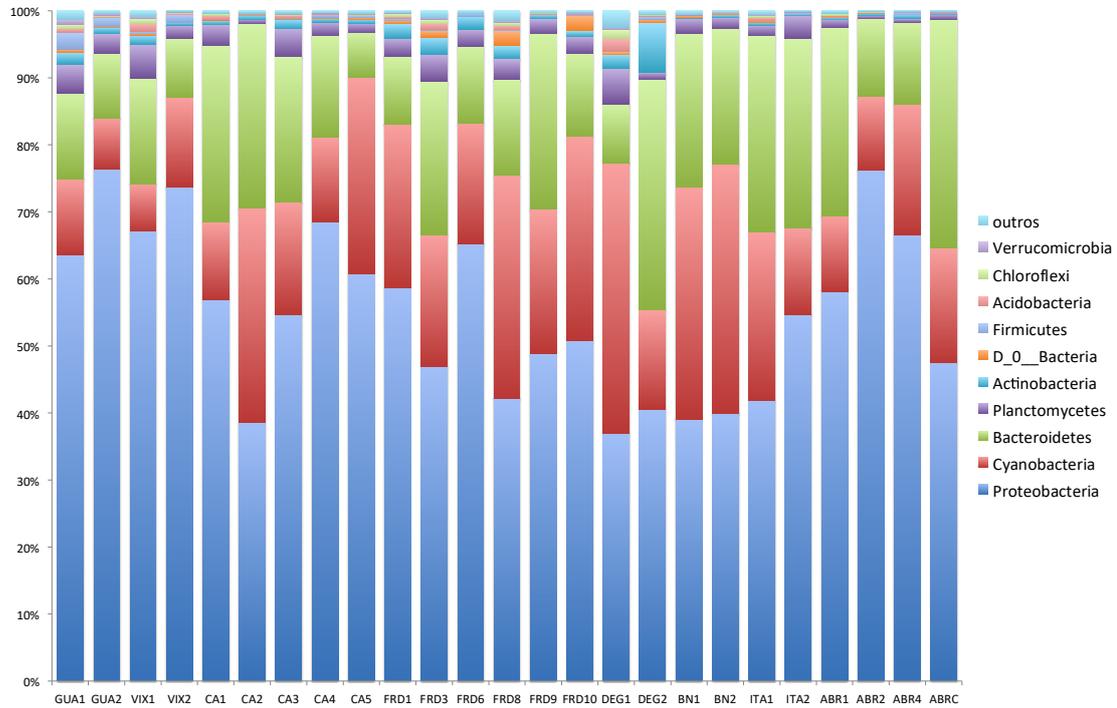
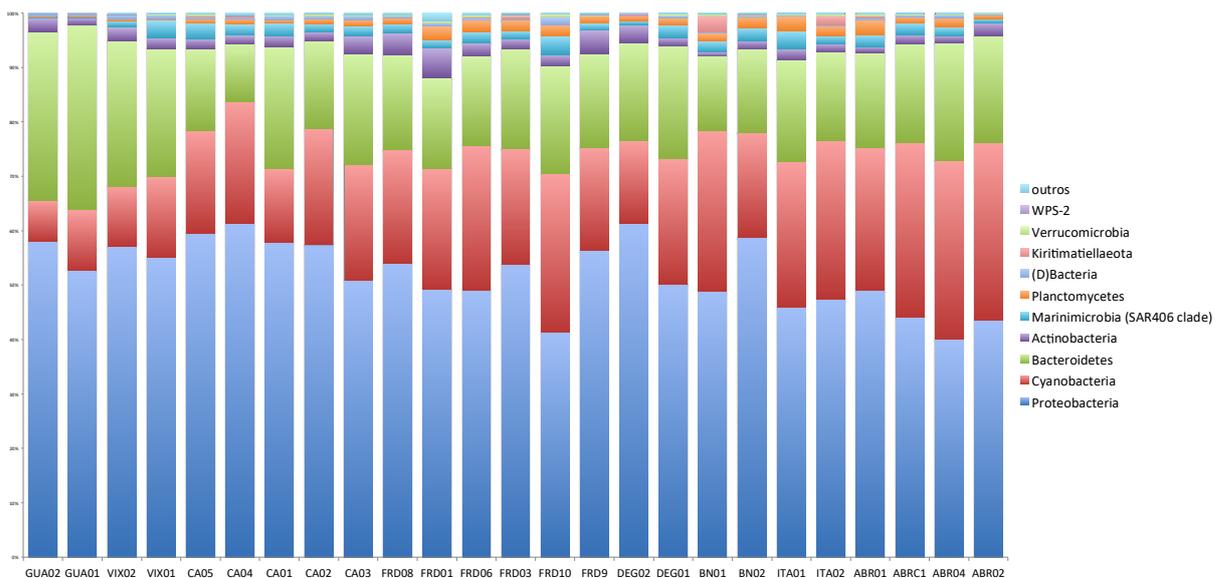


Figura 467: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.



Na análise dos gêneros bacterianos presentes nas águas de superfície do ambiente marinho na campanha 1, a ordem decrescente de abundância foi *Synechococcus*, *Psychrobacter*, *Halomonas* e

Alteromonas (Figura 468). Na campanha 2 a ordem foi Synechococcus, ordem SAR11, Erythrobacte, Família Rhodobacteraceae e Halomonas (Figura 469). O gênero Synechococcus apresentou característica decrescente dos pontos mais ao norte, onde chegou a mais de 30% em abundância relativa em Abrolhos, e dos pontos ao sul, com abundância relativa de 5% para Guarapari. Padrão este não visualizado na campanha 1.

A grande abundância do gênero Erythrobacter em Vitória e principalmente em Guarapari pode estar indicando contaminação da água do mar por hidrocarbonetos do petróleo nesta região. Erythrobacter é um gênero bacteriano comum no ambiente marinho, com capacidade conhecida de degradação de hidrocarbonetos do petróleo e normalmente tem sua abundância aumentada em ambientes marinhos contaminados por óleo. Este gênero foi o mais abundante em amostras de óleo coletadas na superfície da água do mar, após o grande vazamento decorrente da explosão da plataforma Deepwater Horizon, em 2010 no Golfo do México, Estados Unidos (Liu, 2013).

Figura 468: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

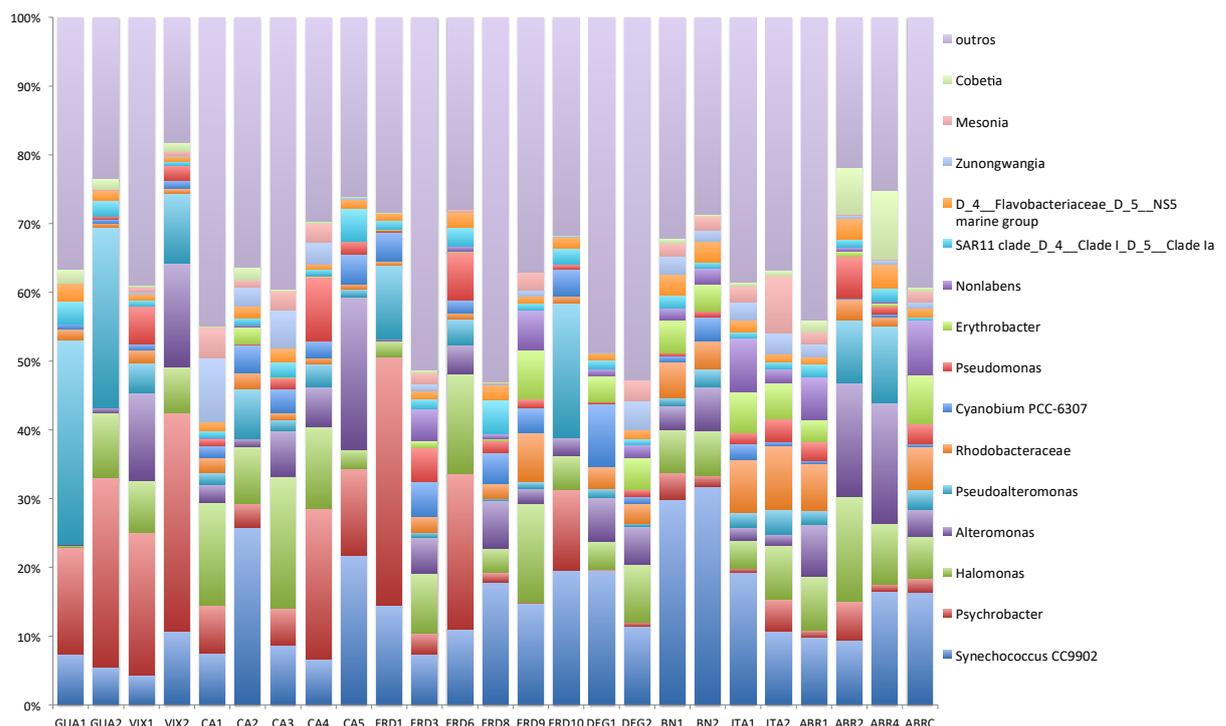
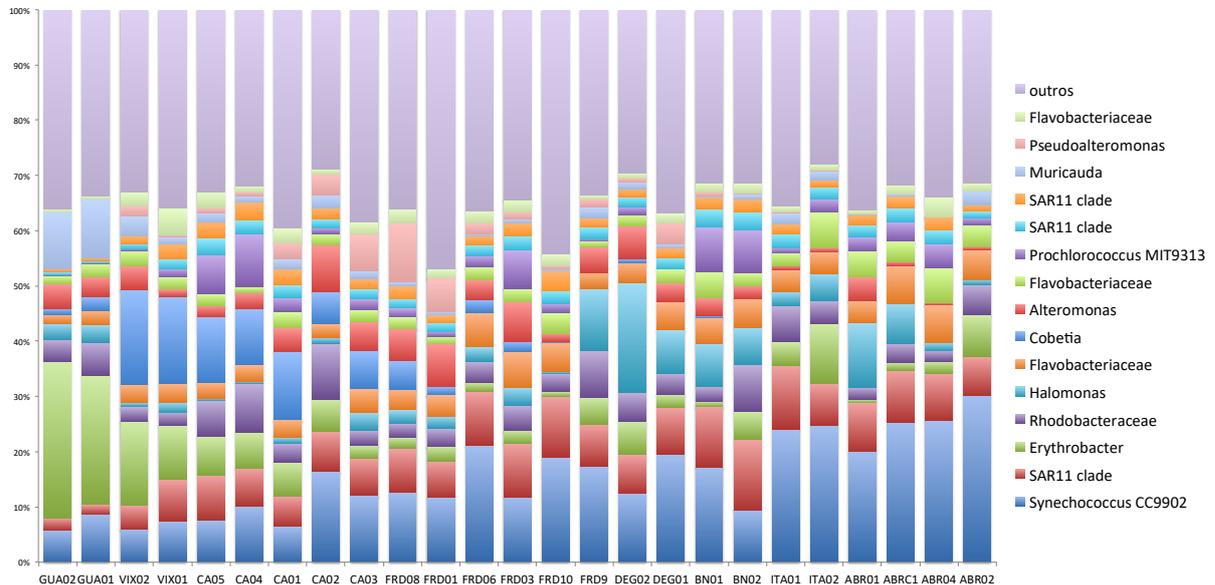


Figura 469: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.



Os grupos *Synechococcus* e SAR11 são, normalmente, os mais abundantes da comunidade bacteriana da água do mar (Sunagawa, 2015). O que revela que, possivelmente, não há um grande impacto nos grupos mais abundantes da comunidade bacteriana na grande maioria dos pontos analisados. *Synechococcus* está entre os principais produtores primários do ambiente marinho, e a diminuição de sua abundância, ao se distanciar de Abrolhos, pode estar relacionada com uma menor produção primária.

A análise dos componentes principais (PCA) das águas de superfície da campanha 1 revelou uma grande similaridade entre as estações. No entanto, esta análise ficou um pouco comprometida devida a grande diferença das amostras de Degredo (DEG1 e DEG2) (Figura 470). Na campanha 2, a análise de PCA separou as amostras em dois grupos (Figura 471). Um dos grupos foi formado pelas amostras coletadas ao sul da Foz do Rio Doce (CA, GUA e VIX), incluindo os dois pontos mais ao sul da Foz (FRD08 e FRD10), e o outro grupo com as amostras coletadas ao norte do Rio Doce (DG, BN, ITA e ABR) e os demais pontos da Foz (FRD3, FRD6 e FRD9). Os quadrantes 1 e 2 formados pelas estações ao sul da foz do Rio Doce são influenciados, principalmente, por pH, Fe, Pb e As. Os quadrantes 3 e 4 formados por amostras das estações ao norte Foz do Rio Doce, são influenciadas principalmente por Cd, Cr, Mn, Hg, além da temperatura e oxigênio dissolvido. Adicionalmente, as estações FRD01 e CA01 foram as que mais se distanciaram do perfil comum dentre todos os pontos. Isto pode ser explicado pela maior proximidade e conseqüentemente influência dos rios Doce e Piraquê-Açu, respectivamente. Entretanto, o distanciamento entre estes dois pontos na PCA revela que os dois rios influenciam a composição da comunidade bacteriana da água do mar de formas distintas. O que pode ter uma relação com o rompimento da barragem de Mariana. Neste sentido a estação FRD01 parece estar fortemente influenciada pelos níveis de turbidez e Cu na água.

Figura 470: Análise de PCA das amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1).  
As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.

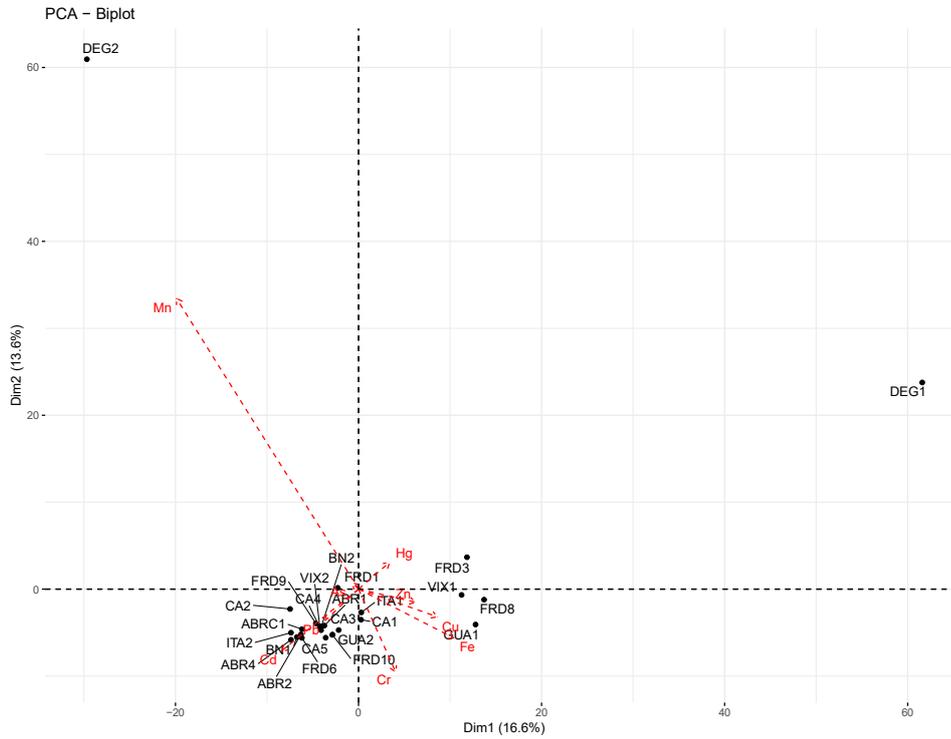
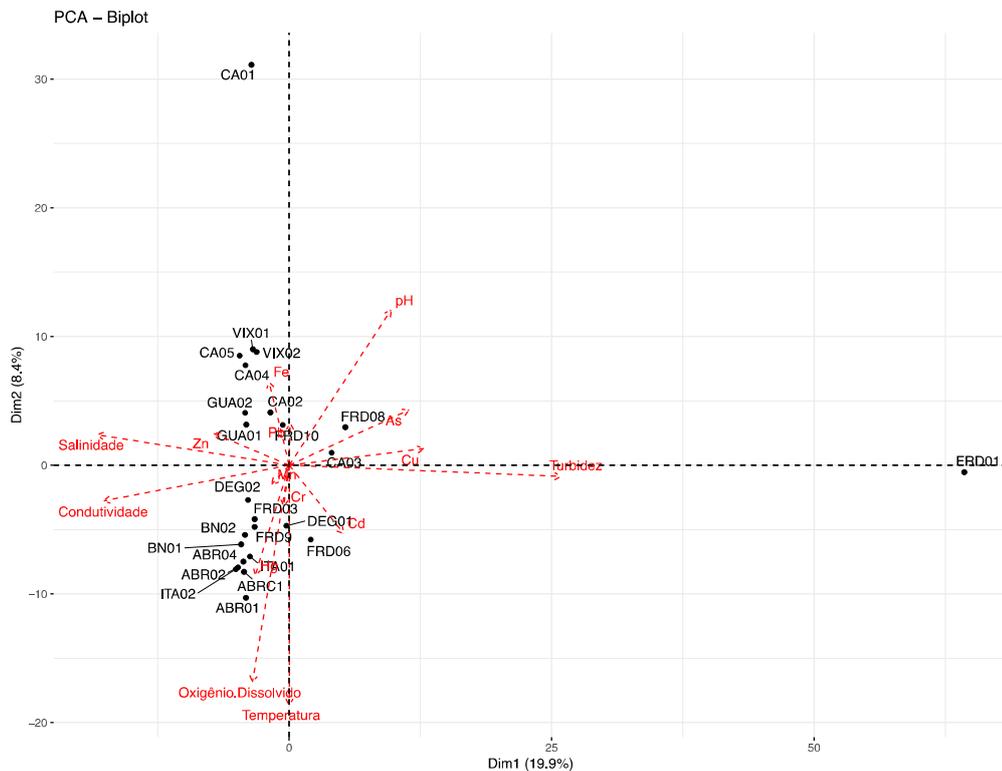


Figura 471: Análise de PCA das amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2).  
As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.



O teste de SIMPER das duas campanhas revelou que *Synechococcus* teve a maior importância na distribuição das amostras analisadas, sendo responsável por 16,28% e 9,47% da ordenação na campanha 1 e 2, respectivamente (Tabela 172 à Tabela 175). Os demais táxons com maior importância variaram entre as duas campanhas. Na campanha 1, foram Rhodobacteraceae, Nonlabens, Zunongwangia e Cyanobium, enquanto na campanha 2 foram Erythrobacter, Cobetia e Halomonas. A influência de *Synechococcus* na campanha 2 corrobora os resultados de abundância relativa, uma vez que este gênero esteve presente em todas as amostras testadas tendo aumento de contribuição, a partir da região de Costa das algas e atingindo seu ápice na região de Itaúnas e Abrolhos. Na campanha 1, *Synechococcus* apresentou maior relevância para as estações CA2, BN1 e BN2. Porém, também esteve presente em todas as estações, tendo seus menores valores na região de Guarapari e Vitória.

Tabela 172: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1).

Taxon	Contribuição (%)	Contribuição Cumulativa%	GUA1	GUA2	VIX1	VIX2	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	FRD1	FRD3	FRD6	FRD8
Synechococcus CC9902	16,28	16,28	0,070	0,054	0,043	0,105	0,074	0,254	0,080	0,063	0,207	0,132	0,069	0,099	0,157
D_4__Rhodobacteraceae	5,42	21,70	0,015	0,007	0,019	0,006	0,021	0,023	0,009	0,009	0,008	0,005	0,022	0,007	0,019
Nonlabens	4,79	26,48	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000	0,045	0,007	0,005
Zunongwangia	4,39	30,87	0,000	0,000	0,002	0,001	0,091	0,028	0,051	0,031	0,002	0,000	0,009	0,001	0,001
Cyanobium PCC-6307	4,34	35,21	0,007	0,005	0,008	0,013	0,017	0,039	0,033	0,023	0,041	0,039	0,047	0,017	0,040

Tabela 173: continuação: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1).

Taxon	Contribuição (%)	Contribuição Cumulativa%	FRD9	FRD10	DEG1	DEG2	BN1	BN2	ITA1	ITA2	ABR1	ABR2	ABR4	ABRC
Synechococcus CC9902	16,28	16,28	0,145	0,180	0,184	0,111	0,277	0,306	0,188	0,105	0,097	0,092	0,156	0,162
D_4__Rhodobacteraceae	5,42	21,70	0,071	0,009	0,030	0,029	0,048	0,040	0,074	0,090	0,066	0,029	0,012	0,062
Nonlabens	4,79	26,48	0,056	0,000	0,009	0,017	0,016	0,023	0,076	0,020	0,062	0,005	0,004	0,078
Zunongwangia	4,39	30,87	0,008	0,001	0,001	0,041	0,024	0,016	0,027	0,030	0,018	0,004	0,005	0,008
Cyanobium PCC-6307	4,34	35,21	0,035	0,036	0,085	0,010	0,008	0,033	0,023	0,006	0,005	0,002	0,005	0,005

Tabela 174: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa%	GUA01	GUA02	VIX01	VIX02	CA01	CA02	CA03	CA04	CA05	FRD01	FRD03	FRD06	FRD08
Synechococcus CC9902	9,475	9,475	0,086	0,059	0,075	0,060	0,064	0,164	0,120	0,102	0,075	0,117	0,117	0,211	0,126
Erythrobacter	7,715	17,19	0,233	0,283	0,098	0,152	0,061	0,058	0,024	0,064	0,071	0,026	0,023	0,016	0,020
Cobetia	6,072	23,26	0,026	0,012	0,156	0,172	0,122	0,059	0,068	0,102	0,118	0,016	0,019	0,023	0,052
Halomonas	5,673	28,94	0,033	0,030	0,018	0,009	0,010	0,012	0,032	0,003	0,004	0,022	0,033	0,027	0,025
SAR11 (Alphaproteob.)	3,8	32,74	0,018	0,022	0,075	0,044	0,056	0,073	0,068	0,068	0,082	0,066	0,097	0,099	0,080

Tabela 175: continuação: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	FRD9	FRD10	DEG01	DEG02	BN01	BN02	ITA01	ITA02	ABR01	ABR02	ABR04	ABR01
Synechococcus CC9902	9,475	9,475	0,174	0,189	0,194	0,125	0,172	0,0947	0,24	0,247	0,201	0,301	0,256	0,253
Erythrobacter	7,715	17,19	0,0485	0,00863	0,0247	0,0609	0,00924	0,0505	0,0421	0,108	0,00631	0,075	0,021	0,0146
Cobetia	6,072	23,26	0,000458	0,000333	0,000574	0,00725	0,00381	4,98E-05	0	0	0	0	0	0
Halomonas	5,673	28,94	0,113	0,00423	0,0786	0,197	0,0768	0,0666	0,0252	0,0497	0,117	0,00996	0,0154	0,0721

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	FRD9	FRD10	DEG01	DEG02	BN01	BN02	ITA01	ITA02	ABR01	ABR02	ABR04	ABRC1
SAR11 (Alphaproteob, )	3,8	32,74	0,076	0,111	0,0852	0,0694	0,109	0,128	0,117	0,077	0,0876	0,0713	0,0859	0,0931

### 3.5.2.2 Composição da microbiota na água de fundo da Foz do Rio Doce e região costeira adjacente

Em amostras de água de profundidade os filos mais abundantes na campanha 1 foram Proteobactéria (55,59%), Cianobactéria (19,21%) e Bacteroidetes (16,94%) (Figura 472), na campanha 2, a abundância relativa foi Proteobactéria (50,03%), Bacteroidetes (21,91%) e Cianobactéria (20,21%) (Figura 473). Adicionalmente, na campanha 2, apenas para a estação ABR04, o filo Firmicutes apresentou 10,65% de abundância relativa, enquanto que nas demais estações sua presença foi inferior e 2%. O filo Firmicutes também já havia apresentado elevação pontual quando na campanha 1 foi responsável por 12,67% de abundância relativa na estação ABRC1.

Figura 472: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

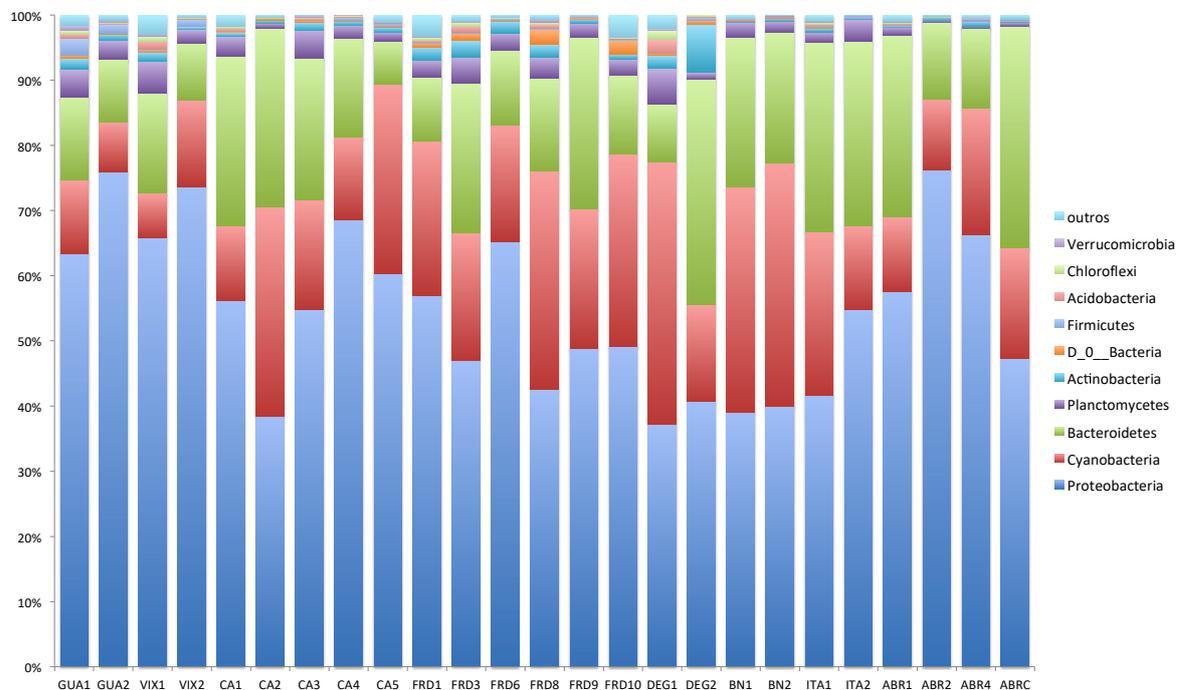
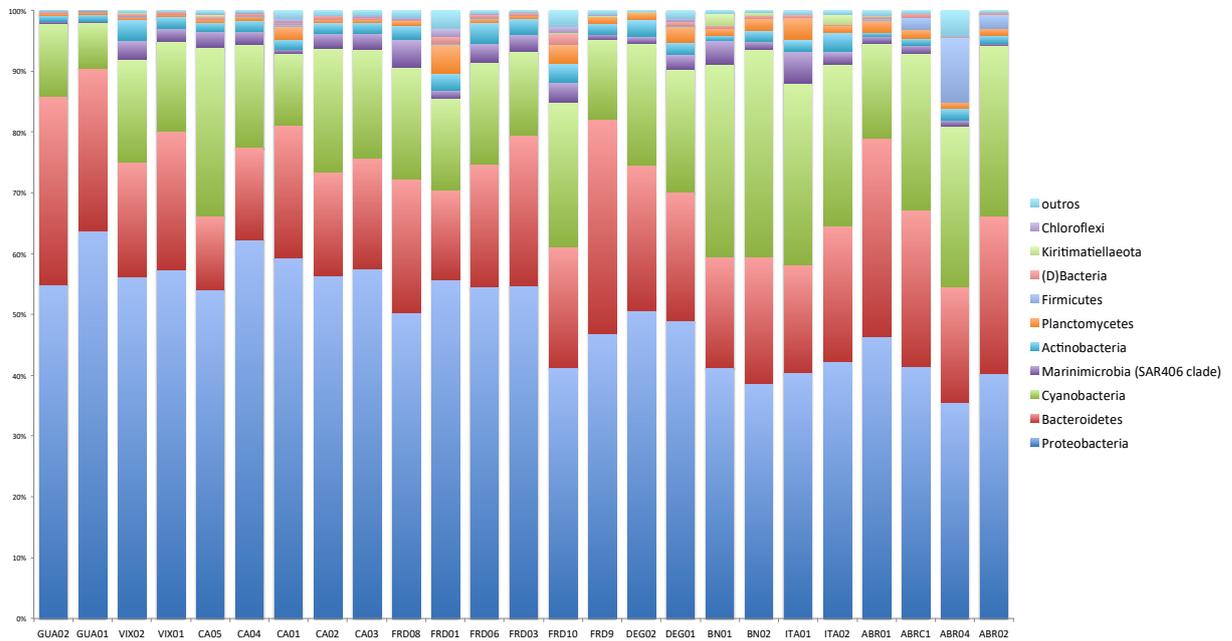


Figura 473: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.



A abundância relativa dos gêneros bacterianos na água de fundo foi similar a água de superfície. Os gêneros na campanha 1 foram *Synechococcus* CC9902 (12,70%), *Psychrobacter* (10,84%), *Alteromonas* (7,89%) e *Halomonas* (5,56%) como mais abundantes (Figura 474). Na campanha 2 foram *Synechococcus* CC9902 (11,64%), SAR11 (7,18%), *Erythrobacter* (5,73%) e Família *Rhodobacteraceae* (5,24%)(Figura 475). Destacou-se, na campanha 2, o gênero *Synechococcus* com abundância superior a 20% para estações em Barra Nova e Abrolhos, enquanto *Erythrobacter* e *Cobetia* parecem estar diretamente relacionados com Guarapari (*Erythrobacter* – 29%) e Vitória (*Cobetia* – 16%).

Figura 474: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

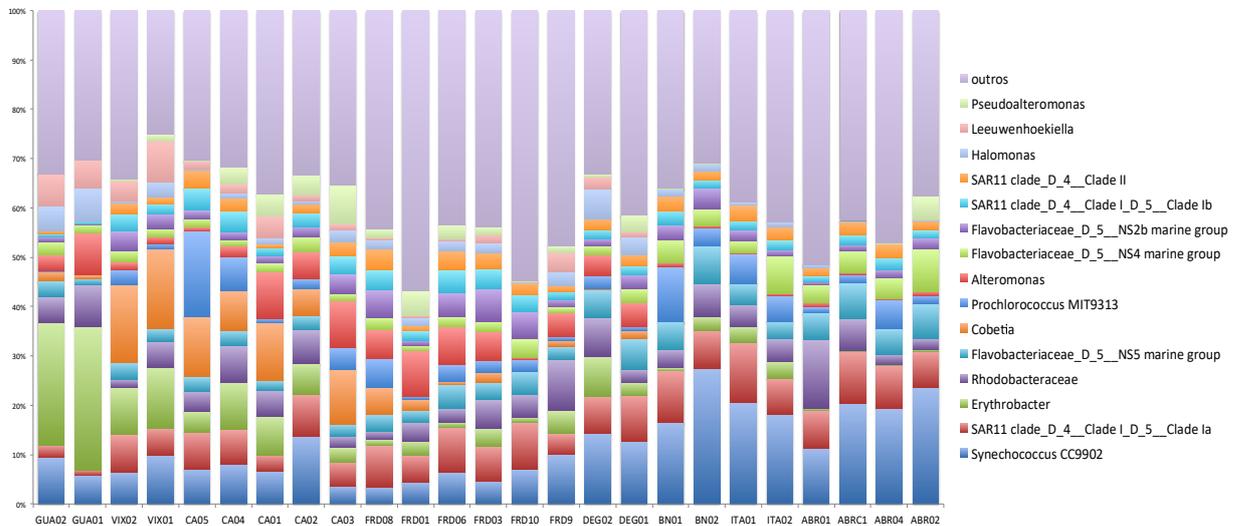
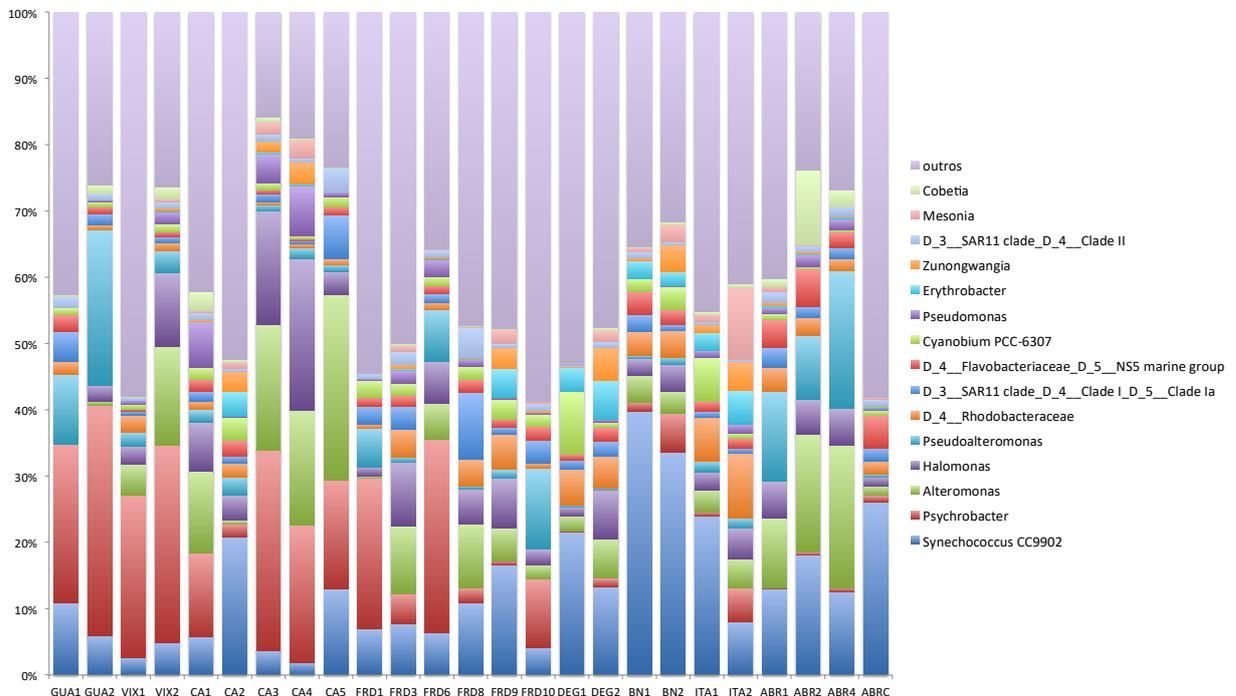


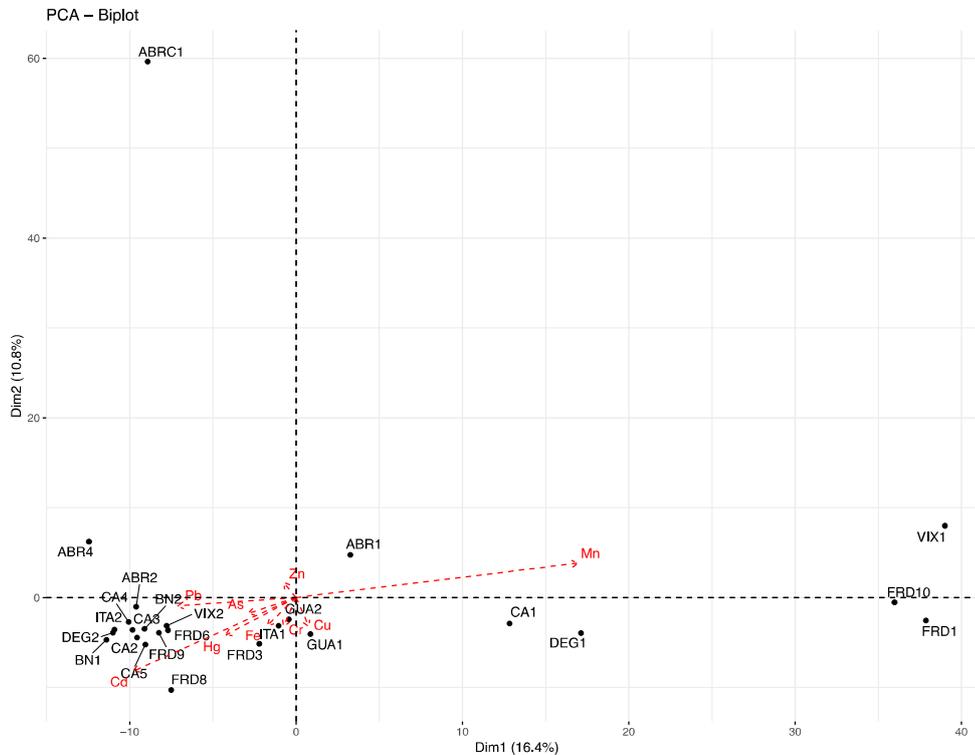
Figura 475: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".



Comparando as análises de PCA da campanha 1 e campanha 2, é possível observar uma ligeira diferença entre os pontos. Na campanha 1, os pontos FRD10 e FRD01 foram agrupados junto com VIX1, sendo possivelmente influenciados pela presença de Mn, enquanto que CA01 foi agrupado junto

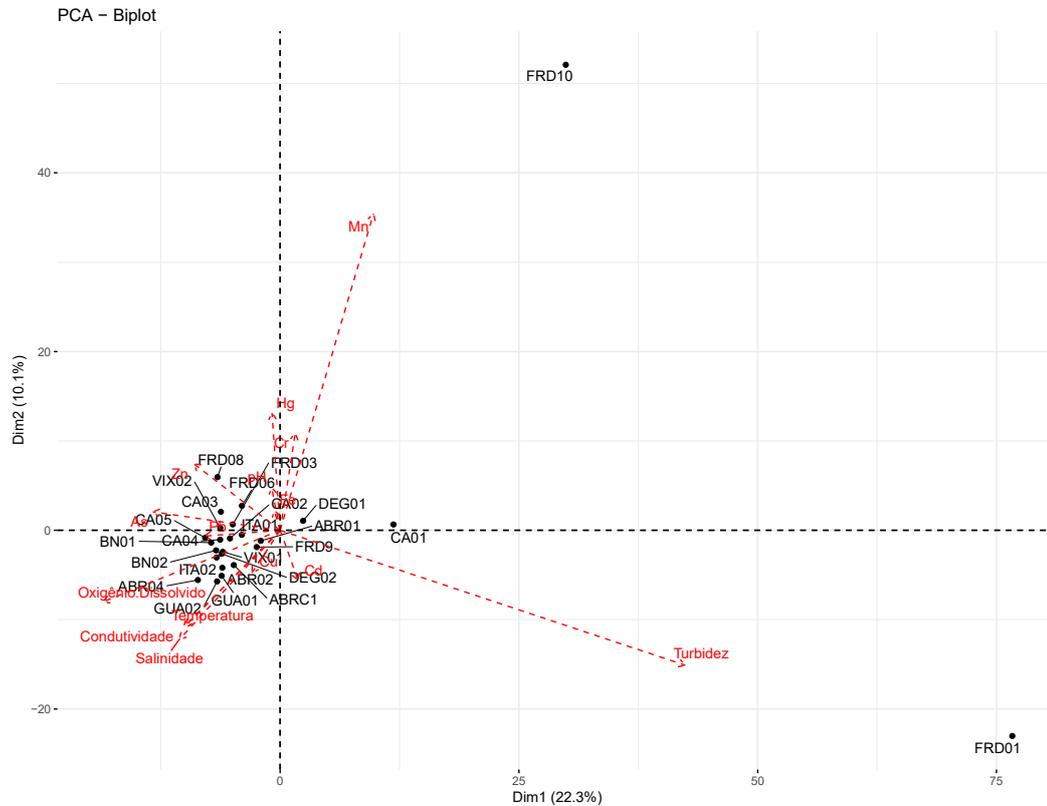
com DEG 1. As demais estações apresentaram menor diferença de perfil microbiano quando comparadas as citadas anteriormente (Figura 476).

Figura 476: Análise de PCA das amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.



Na campanha 2, a ordenação gerada apresentou basicamente a formação de um grande grupo formado pela maioria das estações de amostragem e duas das estações analisadas foram agrupadas afastadas do grupo principal (FRD01 e FRD10) (Figura 477). Estes dois pontos estão intimamente relacionados com a presença de Mn (ponto FRD10) e pela turbidez (ponto FRD01), além de serem os pontos da Foz do Rio Doce mais próximos a costa. O distanciamento desses dois pontos dos demais revela grande influência do Rio Doce.

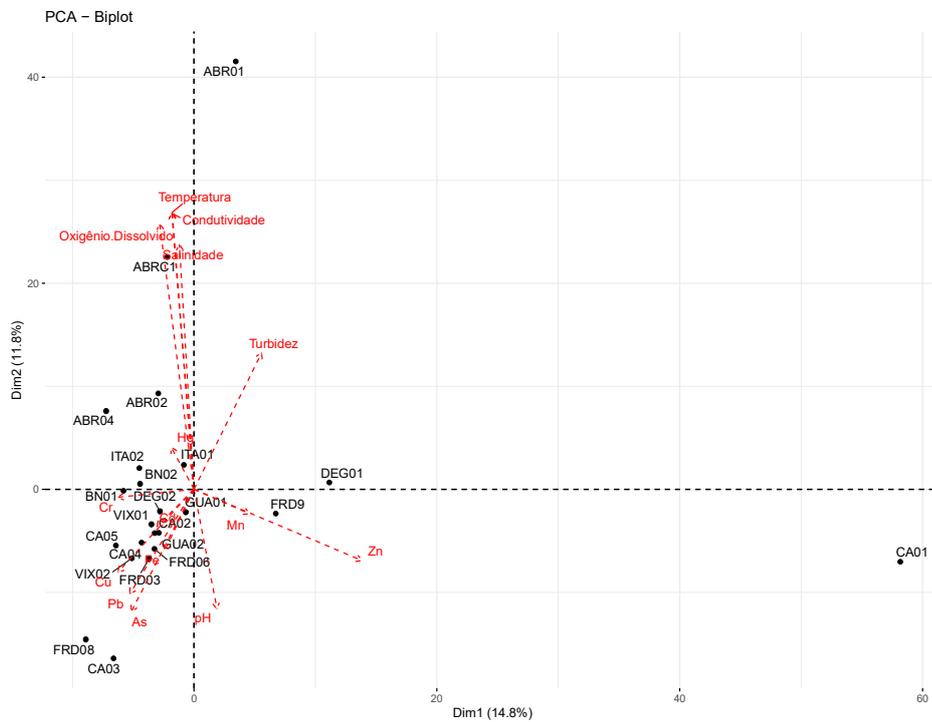
Figura 477: Análise de PCA das amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.



Devido ao grande distanciamento dos pontos FRD10 e FRD01 dos demais pontos, realizou-se uma nova ordenação da campanha 2, excluindo estes pontos. De acordo com a nova ordenação da (Figura 478) é possível uma melhor percepção da separação de amostras de Abrolhos junto com Itaúnas e Barra Nova (Quadrantes 1 e 2), sendo influenciadas, principalmente, por salinidade, oxigênio dissolvido, condutividade e temperatura. Por outro lado, observa-se nos quadrantes 3 e 4 o agrupamento das estações de Foz do Rio Doce, Costa das Algas, Guarapari e Vitória, sendo influenciadas principalmente por Fe, Mn, pH, As, Pb, Cu e Cd.

Comparando as campanhas 1 e 2 é possível observar uma ligeira diferença entre os pontos. Neste caso, para os dados da campanha 1 os pontos FRD10 e FRD01 foram agrupados junto com VIX1, sendo, possivelmente, influenciados pela presença de Mn, enquanto que CA01 foi agrupado junto com DEG1.

Figura 478: Análise de PCA das amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2), sem a presença das amostras FRD01 e FRD10, As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.



O teste de SIMPER de ambas campanhas revelou que o táxon que mais contribuiu para o perfil microbiano das ordenações foi *Synechococcus*. Diminuindo sua contribuição de 18,41% para 8,26%, da campanha 1 para a campanha 2. No entanto, a contribuição dos demais táxons foi maior na campanha 2. Estes táxons também são diferentes entre as duas campanhas (Tabela 176 à Tabela 179). Vale ressaltar ainda que o gênero *Alteromonas*, na campanha 2, parece estar altamente relacionado com a região da foz do Rio Doce e apresenta contribuição reduzida, quando em estações mais afastadas.

Tabela 176: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	GUA1	GUA2	VIX1	VIX2	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	FRD1	FRD3	FRD6	FRD8
Synechococcus CC9902	18,41	18,41	0,104	0,058	0,026	0,048	0,057	0,199	0,036	0,019	0,123	0,065	0,072	0,060	0,098
D_4__Rhodobacteraceae	4,36	22,77	0,018	0,007	0,025	0,012	0,013	0,020	0,005	0,006	0,008	0,006	0,039	0,010	0,036
Cyanobium PCC-6307	3,05	25,82	0,010	0,007	0,008	0,011	0,018	0,033	0,010	0,005	0,014	0,024	0,018	0,013	0,019
Zunongwangia	2,938	28,76	0,000	0,000	0,001	0,004	0,003	0,030	0,018	0,032	0,001	0,000	0,006	0,003	0,001
Mesonia	2,915	31,68	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003	0,008	0,017	0,027	0,001	0,000	0,008	0,002	0,001

Tabela 177: continuação: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	FRD9	FRD10	DEG1	DEG2	BN1	BN2	ITA1	ITA2	ABR1	ABR2	ABR4	ABRC
Synechococcus CC9902	18,41	18,41	0,160	0,040	0,205	0,128	0,365	0,325	0,233	0,079	0,126	0,176	0,123	0,250
D_4__Rhodobacteraceae	4,36	22,77	0,051	0,007	0,051	0,046	0,032	0,039	0,064	0,096	0,036	0,025	0,017	0,019
Cyanobium PCC-6307	3,05	25,82	0,029	0,017	0,089	0,007	0,017	0,033	0,064	0,008	0,008	0,003	0,004	0,007
Zunongwangia	2,938	28,76	0,031	0,002	0,001	0,049	0,005	0,039	0,012	0,042	0,004	0,004	0,002	0,002
Mesonia	2,915	31,68	0,021	0,002	0,001	0,015	0,006	0,024	0,011	0,106	0,007	0,001	0,001	0,002

Tabela 178: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	GUA01	GUA02	VIX01	VIX02	CA01	CA02	CA03	CA04	CA05	FRD01	FRD03	FRD06	FRD08
Synechococcus CC9902	8,264	8,264	0,059	0,094	0,098	0,064	0,067	0,138	0,036	0,080	0,070	0,045	0,046	0,064	0,035
Erythrobacter	7,143	15,41	0,291	0,249	0,124	0,096	0,080	0,063	0,029	0,095	0,044	0,028	0,035	0,012	0,012
Cobetia	5,538	20,94	0,007	0,017	0,161	0,159	0,117	0,055	0,112	0,080	0,121	0,023	0,020	0,006	0,055
Alteromonas	3,942	24,89	0,086	0,032	0,014	0,016	0,094	0,054	0,095	0,023	0,008	0,091	0,058	0,076	0,058
Prochlorococcus MIT9313	3,78	28,67	0,001	0,002	0,011	0,029	0,009	0,022	0,045	0,070	0,172	0,006	0,024	0,035	0,059

Tabela 179: continuação: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	FRD9	FRD10	DEG01	DEG02	BN01	BN02	ITA01	ITA02	ABR1	ABR2	ABR4	ABRC
Synechococcus CC9902	8,264	8,264	0,1	0,0712	0,127	0,143	0,165	0,275	0,205	0,181	0,113	0,237	0,194	0,203
Erythrobacter	7,143	15,41	0,0467	0,00978	0,0268	0,0807	0,00571	0,0288	0,0327	0,0343	0,00353	0,00552	0,000912	0,0008
Cobetia	5,538	20,94	0,0128	0,000102	0,0147	0,00197	0	2,13E-05	0	0	0	0	0	0
Alteromonas	3,942	24,89	0,0478	0,00597	0,0473	0,0434	0,00919	0,00323	0,0019	0,00334	0,00848	0,00921	0,00192	0,00347
Prochlorococcus MIT9313	3,78	28,67	0,00758	0,0237	0,00931	0,0267	0,111	0,0359	0,0597	0,0522	0,0113	0,0156	0,0587	0,0176

### 3.5.2.3 Composição da microbiota no sedimento da Foz do Rio Doce e região costeira adjacente

A abundância relativa para as amostras de sedimento nas estações da foz do Rio Doce e região costeira adjacente, coletadas na campanha 1, apresentou como filos mais abundantes para todas as estações Proteobactéria, Cianobactéria e Bacteroidetes. Os referidos filos foram responsáveis por mais de 90% dos filos encontrados (Figura 479). Este perfil também foi encontrado nas análises realizadas na campanha 2 (Figura 480). Comparativamente, da campanha 1 para a campanha 2 houve redução da abundância do filo Proteobactéria e aumento de Cianobactéria e Bacteroidetes.

Figura 479: Classificação taxonômica das amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

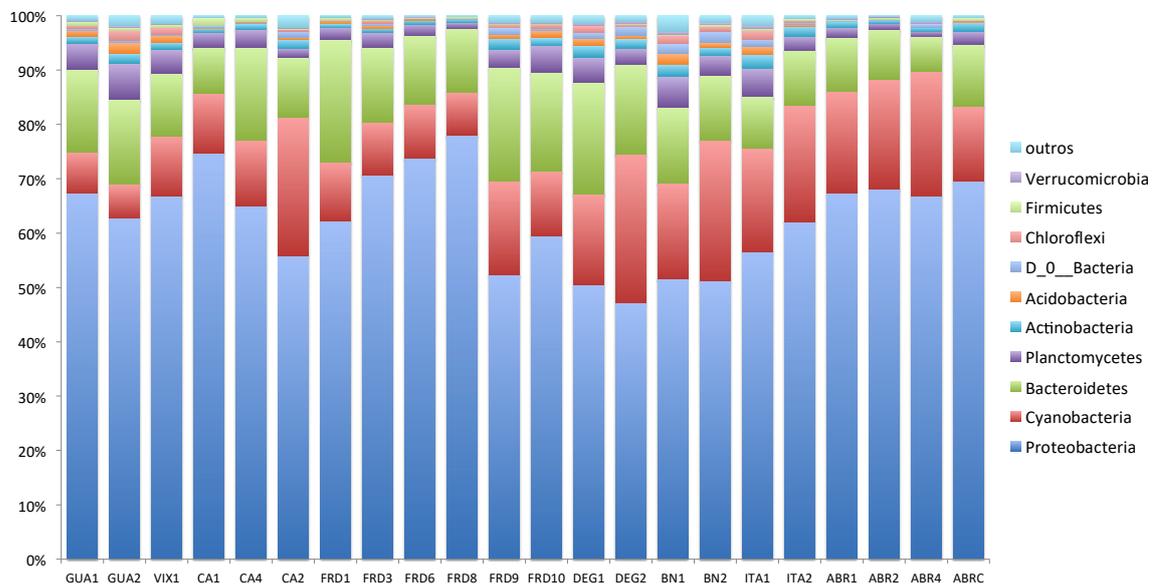
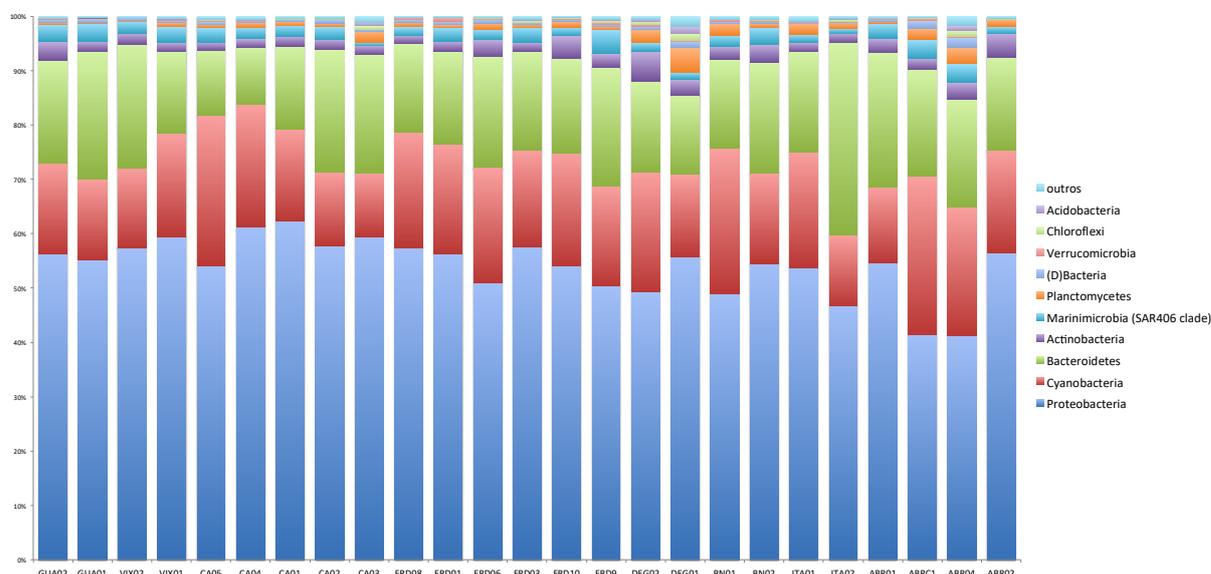


Figura 480: Classificação taxonômica das amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.



Os resultados de abundância relativa para gêneros referentes as campanhas 1 e 2 estão apresentados na Figura 481 e Figura 482. Comparando a campanha 1 com a campanha 2 houve uma grande alteração na comunidade bacteriana do sedimento marinho. Na campanha 1, os gêneros mais abundantes apresentaram uma abundância relativa bem superior. Os 5 táxons mais abundantes dominavam quase 50% da comunidade, enquanto na campanha 2 os 5 mais abundantes dominavam um pouco mais do que 10%. Outro resultado interessante foi que todos esses 5 táxons mais frequentes na campanha 1 praticamente sumiram na campanha 2. O gênero mais abundante na campanha 1 foi *Psychrobacter* com 16,85% em média, sendo este táxon conhecido por sua habilidade de crescer em baixas temperaturas (Kim, 2012). Como a campanha 1 foi realizada no inverno, as alterações na comunidade bacteriana do sedimento marinho podem estar relacionadas com sazonalidade.

Para a campanha 2, os táxons mais presentes em todas as amostras apresentaram abundância de 1 a 3% dentre todos os gêneros encontrados. O táxon mais abundante na média de todas as amostras foi *Anaerolineaceae*, este também foi o taxon mais abundante no sedimento do Rio Doce. A maior abundância deste táxon no sedimento marinho foi nas amostras da foz do Rio Doce, diminuindo gradativamente a sua abundância para as amostras ao norte e ao sul da foz, com exceção das amostras da Costa das Algas (CA), onde diminui consideravelmente, mas volta a aparecer em Vitória (VIX) e Guarapari (GUA). Esta distribuição pode estar relacionada com a influência da pluma do Rio Doce no sedimento marinho da região costeira adjacente. Nas amostras da Costa das Algas (CA) a sua menor concentração pode estar relacionada com a influência de um outro rio, o Rio Piraquê-Açu, o que diminuiria a influência do Rio Doce. *Anaerolineaceae* já foi descrito previamente como o táxon mais abundante em ambiente severamente impactado com metais pesados (Lia, 2017), e pode ser um bioindicador do impacto da lama de Mariana e do sedimento do Rio Doce no sedimento marinho.

Outro gênero com alta abundância média em todas as amostras de sedimento marinho foi *Rhodopirellula*. Este gênero pertence a classe Pirellulaceae e filo Planctomycetes, táxons que mostraram sua maior abundância justamente no ponto do Rio Doce mais contaminado com metais pesados (Linhares (RDL). *Rhodopirellula* foi anteriormente descrita em locais contaminados com metais pesados, inclusive sedimento de rio (Chen, 2018). Este gênero possui um elevado número de genes de resistência a metais pesados, o que permite a habilidade de resistir e/ou reduzir metais em altas concentrações (Blais et al., 1992; Von Canstein et al., 1999; Lage et al., 2012; Huang et al., 2016; Huang et al., 2017). *Rhodopirellula*, assim como a classe Pirellulaceae e filo Planctomycetes, são conhecidos por realizar ANAMMOX, podendo também ser um potencial bioindicador da influência da lama de Mariana e do sedimento do Rio Doce no sedimento marinho. O gênero *Thermodesulfobionia* foi o segundo mais abundante nas amostras da foz (FRD) e terceiro mais abundante nas amostras do Rio Doce, mantendo uma concentração elevada ao norte, nas amostras de Degredo (DEG) e Barra Nova (BN), e diminuindo, consideravelmente, nas amostras de Itaúnas (ITA) e Abrolhos (ABR). Esse gênero pode estar, também, relacionado a pluma do Rio Doce, e surge como um potencial bioindicador.

Figura 481: Classificação taxonômica das amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

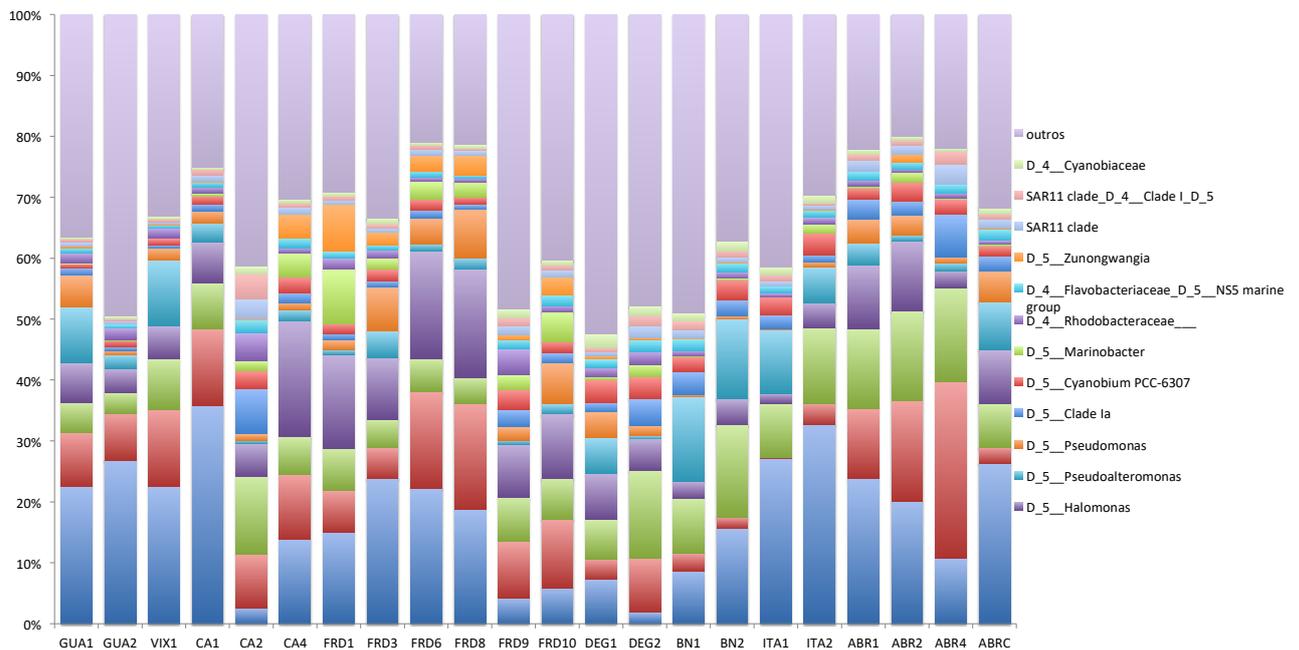
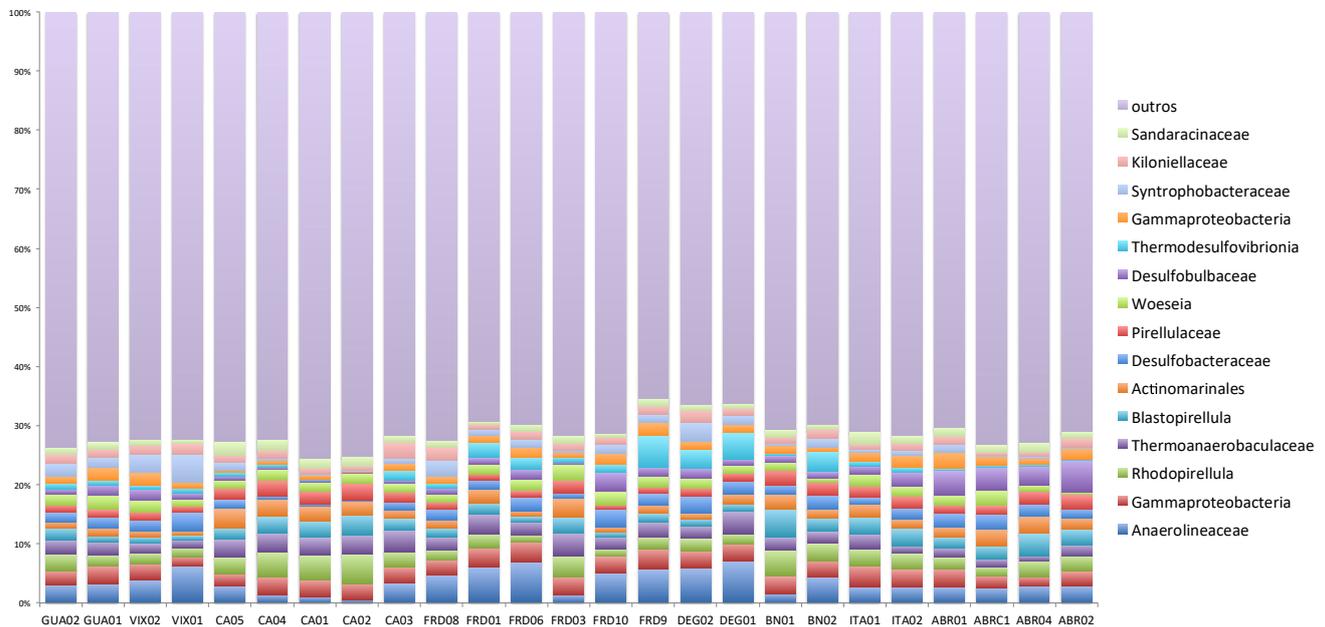


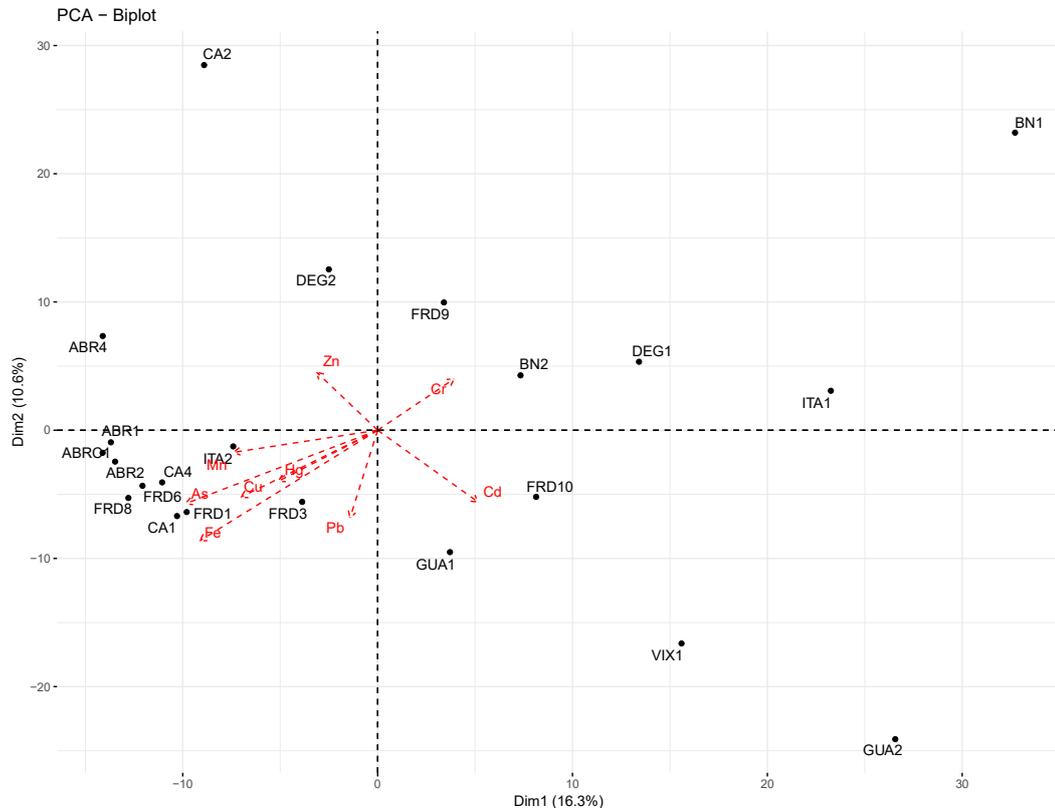
Figura 482: Classificação taxonômica das amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.



A análise dos componentes principais (PCA) da campanha 1 revelou uma grande semelhança entre os pontos da foz do Rio Doce (FRD) e Abrolhos (ABR) (Figura 483). Este resultado pode estar demonstrando um forte impacto e influência do Rio Doce na composição da comunidade bacteriana do sedimento de Abrolhos, o que pode estar diretamente relacionado com o rompimento da barragem de Mariana. No entanto, os resultados da campanha 2 parecem demonstrar uma diminuição desta influência, o que pode estar relacionado com características temporais ou sazonalidade (Figura 484).

Neste sentido, a PCA da campanha 2 revelou agrupamentos condizentes com características regionais das estações analisadas. De acordo com a visualização inicial, percebe-se o afastamento das amostras das estações localizadas em Abrolhos em relação as amostras da foz do Rio Doce (Figura 484). Além disto, observa-se que as estações mais influenciadas pelo Rio Doce, localizadas no quadrante 2, são as mais próximas do foz (FRD, DEG, GUA e VIX), com exceção de Costa das Algas (CA). Já as estações agrupadas no quadrante 3, Costa das Algas (CA), podem estar sendo influenciadas pelo Rio Piraquê-Açu, por isso se distanciaram das demais amostras. No quadrante 4, estão representadas estações com perfil mais semelhante ao encontrado em Abrolhos, mantendo Barra Nova (BN) e Itaúnas (ITA) um gradiente de distanciamento em relação a foz do Rio Doce e aproximação em relação a Abrolhos.

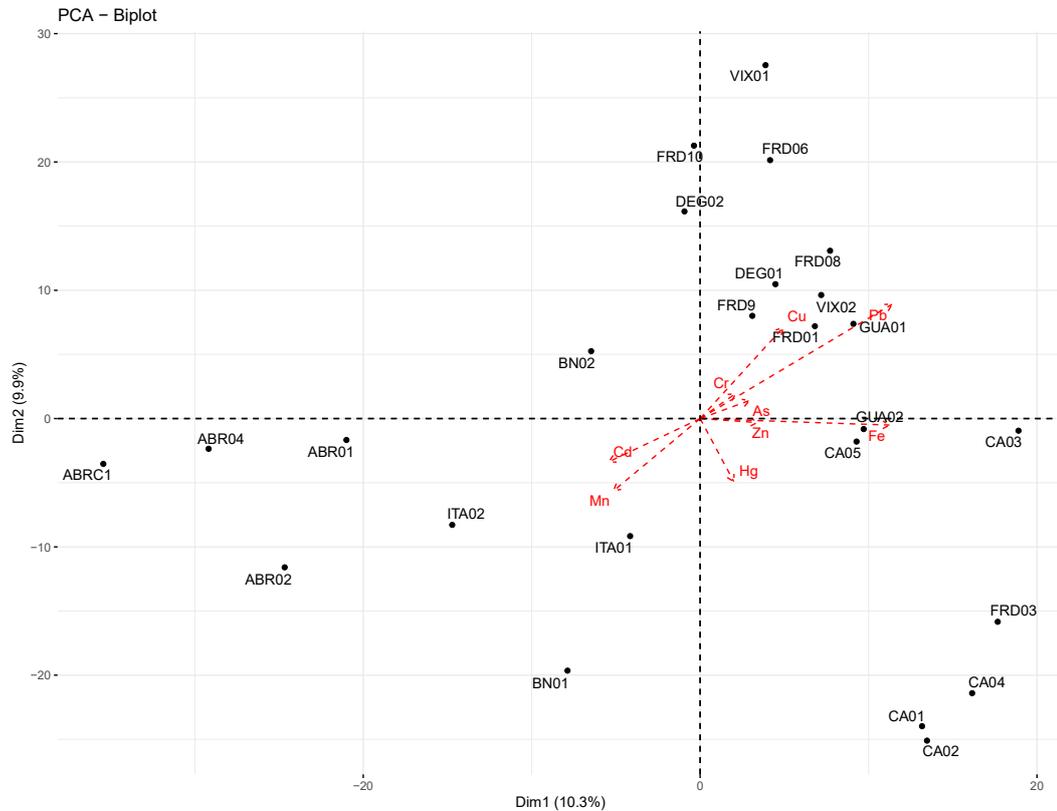
Figura 483: Análise de PCA das amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.



Estes resultados estão revelando que a comunidade bacteriana do sedimento de Abrolhos foi a que demonstrou maior diferença em relação ao sedimento da foz do Rio Doce, sendo Itaúnas e Barra Nova um meio termo entre Abrolhos e a foz do Rio Doce. As demais amostras revelaram uma comunidade bacteriana mais similar a foz do Rio Doce, com exceção da Costa das Algas, que sofre influência de um outro rio, o Rio Piraquê-Açu.

Considerando a influência dos metais nas análises de PCA da campanha 2, observa-se que o metal Fe está mais associado às amostras ao sul do Rio Doce, incluindo Degredo localizado ao norte. Já o Mn está mais relacionado aos pontos ao norte, como Itaúnas, Barra Nova e Abrolhos. Comparando os dados das campanhas 1 e 2, nota-se diferença no agrupamento do perfil microbiano, onde na campanha 1, as estações em Abrolhos apresentaram perfis mais similares ao de algumas estações da Costa das Algas, Rio Doce e Itaúnas (Figura 483).

Figura 484: Análise de PCA das amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.



Analisando os resultados de SIMPER de ambas campanhas (Tabela 180 a Tabela 183), é possível perceber grande alteração entre os grupos microbianos mais predominantes e contributivos para a formação do perfil microbiano encontrado para as estações em análise. Nenhum dos grupos mais relevantes na campanha 1 esteve presente nas análises da campanha 2. Além disso, enquanto que na campanha 1 os cinco principais grupos eram responsáveis por 28,12% (maior contribuição de *Synechococcus* CC9902 – 13,36%) da formação do perfil das amostras, na campanha 2 essa proporção caiu para 9,19% (maior contribuição de *Anaerolineaceae* – 2,78%). A análise por SIMPER da campanha 2 revelou maior contribuição da família *Anaerolineaceae* para o diferenciamento do perfil microbiano dentre todas as estações analisadas (Tabela 180 e Tabela 183). Esta família está presente em elevada proporção na maioria das estações localizadas na Foz do Rio Doce e pontos adjacentes, tanto ao norte quanto ao sul. Outros grupos bacterianos importantes e que estão presentes em grandes proporções nestas amostras são o Filo *Acidobacteria* e a família *Solibacteraceae*. Adicionalmente, também foi encontrado o gênero *Nitrospira*, que apresenta forte relação com alguns dos ambientes que mais sofrem influência dos rios da região.

Tabela 180: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	GUA1	GUA2	VIX1	VIX2	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	FRD1	FRD3	FRD6	FRD8
Synechococcus CC9902	13,36	13,36	0,050	0,035	0,083	0,074	0,127	0,061	0,069	0,048	0,056	0,043	0,050	0,035	0,083
Zunongwangia	5,375	18,73	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,040	0,077	0,022	0,026	0,033	0,002	0,002	0,001
Mesonia	3,288	22,02	0,008	0,001	0,005	0,003	0,001	0,023	0,041	0,019	0,017	0,021	0,008	0,001	0,005
Cyanobium PCC-6307	3,241	25,26	0,008	0,009	0,011	0,013	0,030	0,026	0,016	0,019	0,019	0,013	0,008	0,009	0,011
D_4__Rhodobacteraceae	2,86	28,12	0,017	0,020	0,017	0,009	0,044	0,009	0,019	0,015	0,008	0,006	0,017	0,020	0,017

Tabela 181: continuação: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 1).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	FRD9	FRD10	DEG1	DEG2	BN1	BN2	ITA1	ITA2	ABR1	ABR2	ABR4	ABRC
Synechococcus CC9902	13,36	13,36	0,073	0,068	0,065	0,146	0,090	0,154	0,089	0,124	0,130	0,149	0,156	0,072
Zunongwangia	5,375	18,73	0,008	0,029	0,006	0,003	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,013	0,000	0,002
Mesonia	3,288	22,02	0,009	0,015	0,015	0,004	0,002	0,001	0,000	0,001	0,004	0,015	0,000	0,002
Cyanobium PCC-6307	3,241	25,26	0,032	0,019	0,037	0,037	0,024	0,033	0,029	0,036	0,017	0,031	0,024	0,016
D_4__Rhodobacteraceae	2,86	28,12	0,043	0,010	0,014	0,022	0,008	0,011	0,006	0,011	0,009	0,006	0,009	0,006

Tabela 182: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	GUA0 1	GUA0 2	VIX0 1	VIX0 2	CA0 1	CA0 2	CA0 3	CA0 4	CA0 5	FRD0 1	FRD0 3	FRD0 6	FRD0 8
Anaerolineaceae	2,78	2,78	0,032	0,030	0,063	0,039	0,010	0,006	0,033	0,013	0,028	0,061	0,014	0,069	0,048
Thermodesulfovibrionia	1,676	4,45	0,007	0,010	0,009	0,007	0,002	0,000	0,017	0,004	0,006	0,026	0,009	0,020	0,009
Desulfobulbaceae	1,646	6,10	0,017	0,008	0,010	0,018	0,004	0,002	0,007	0,004	0,006	0,010	0,004	0,018	0,009
Syntrophobacteraceae	1,603	7,70	0,017	0,022	0,048	0,032	0,002	0,001	0,008	0,004	0,013	0,009	0,004	0,014	0,028
Rhodopirellula	1,495	9,19	0,018	0,028	0,015	0,018	0,042	0,050	0,024	0,041	0,028	0,024	0,037	0,013	0,017

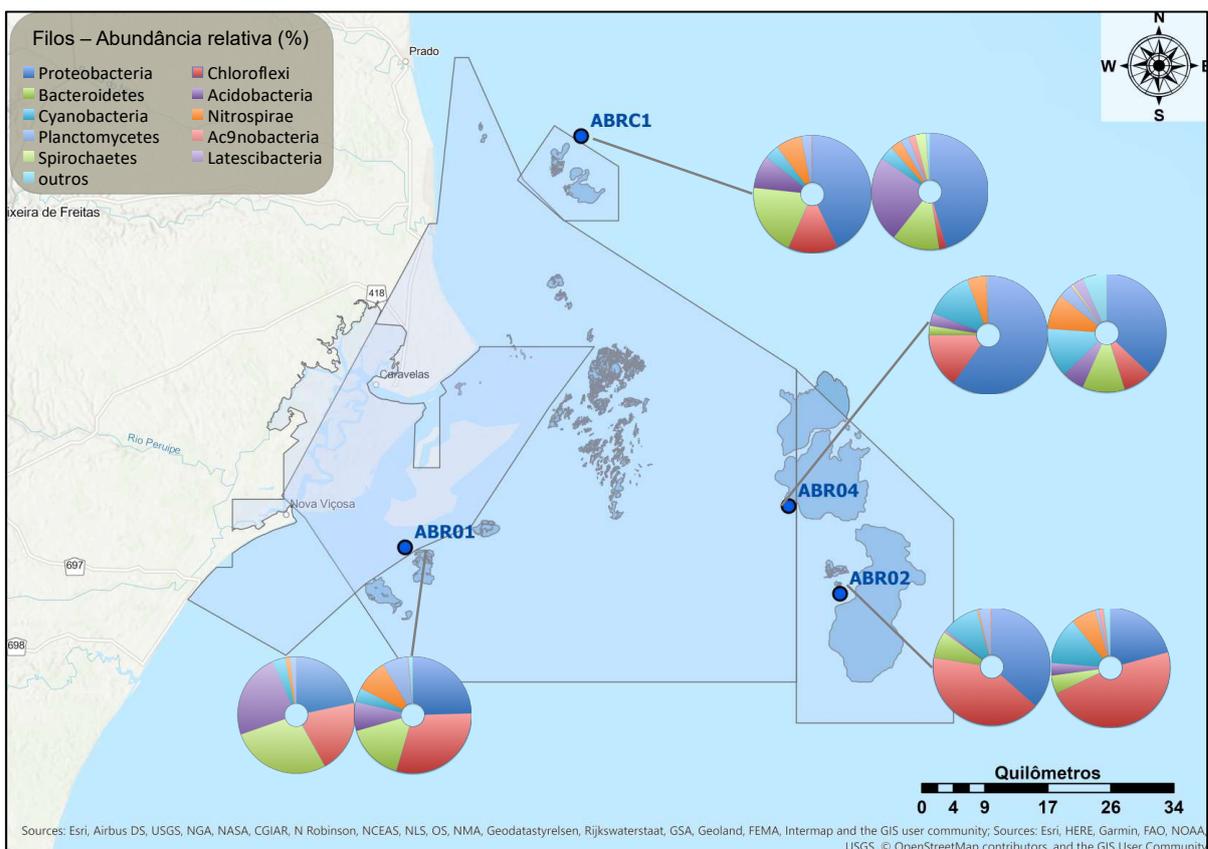
Tabela 183: continuação: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de sedimento da foz do Rio Doce e região costeira adjacente (Campanha 2).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	FRD9	FRD10	DEG01	DEG02	BN01	BN02	ITA01	ITA02	ABR01	ABR02	ABR04	ABRC1
Anaerolineaceae	2,78	2,78	0,057	0,051	0,071	0,059	0,015	0,044	0,028	0,027	0,026	0,029	0,029	0,025
Thermodesulfovibrionia	1,676	4,45	0,054	0,015	0,046	0,032	0,005	0,034	0,009	0,009	0,003	0,002	0,003	0,002
Desulfobulbaceae	1,646	6,10	0,016	0,033	0,010	0,016	0,010	0,012	0,014	0,023	0,041	0,054	0,032	0,039
Syntrophobacteraceae	1,603	7,70	0,014	0,015	0,015	0,034	0,004	0,015	0,005	0,009	0,014	0,003	0,004	0,003
Rhodopirellula	1,495	9,19	0,020	0,012	0,018	0,020	0,044	0,030	0,028	0,027	0,021	0,026	0,027	0,015

### 3.5.3 Composição da microbiota na região de Abrolhos

O resumo dos resultados obtidos para a abundância relativa dos Filos bacterianos predominantes nas amostras de corais da região de Abrolhos estão apresentados na Figura 485. A figura apresenta um resumo dos resultados obtidos para as espécies *Milepora alcicornis* e *Mussismilla harttii*. Estes resultados serão mais detalhados a seguir, relacionando com o panorama da comunidade bacteriana presente nas amostras de água e sedimento desta região.

Figura 485: Localização das estações de coleta na região de Abrolhos, destacando a abundância relativa dos Filos bacterianos predominantes nas amostras de coral. Os gráficos representam da esquerda para a direita: *Milepora alcicornis* e *Mussismilla harttii*, respectivamente.



Os índices de diversidade e riqueza para sedimento, água e corais de Abrolhos são descritos a seguir. Para as amostras de sedimento durante a campanha 1, notou-se que o menor índice de diversidade foi encontrado na estação ABR04 (Tabela 185). Na campanha 2 os resultados revelaram uma diversidade inferior apenas para o ponto ABRC1, enquanto os demais pontos apresentaram similaridade (Tabela 188).

Para água de superfície, os maiores índices de diversidade na campanha 1 foram para os pontos ABR01 e ABRC1 (Tabela 184) e na campanha 2, para os pontos ABRC1 e ABR02 (Tabela 187). Quando amostras de água de profundidade da campanha 2 são avaliados, os índices de diversidade foram similares, porém, o ponto ABR02 apresentou riqueza superior aos demais pontos (Tabela 187).

Este perfil foi alterado durante as duas campanhas, uma vez que na campanha 1 a estação mais diversa havia sido ABRC1 e os maiores índices de riqueza encontrados havia sido para ABR01 e ABRC1 (Tabela 184).

Em relação aos corais, comparando as campanhas 1 e 2, nota-se um aumento na riqueza da comunidade bacteriana para o coral *M. alvicornis*, apresentando na campanha 2 uma riqueza dez vezes maior do que o coral *M. hartii* (Tabela 186 à Tabela 189). Quando comparado a mesma espécie nos diferentes pontos de coleta durante a campanha 2, todos os pontos revelaram uma grande semelhança entres os índices, com exceção da espécie *M. alvicornis* no ponto ABR01, que mostrou uma elevação no índice de diversidade (Tabela 189).

Tabela 184: Identificação dos pontos amostrais para água na região de Abrolhos, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 1).

Localização	Unidade de Conservação	Estação	Profundidade	Índice de Shannon	Número de OTUs
Abrolhos	Resex de Cassurubá	ABR01	Superfície	2,4E+16	308
		ABR01	Fundo	6,7E+15	626
Abrolhos	-	ABRC1	Superfície	2,3E+16	280
	-	ABRC1	Fundo	2,3E+16	534
Abrolhos	Parque Nacional Marinho de Abrolhos	ABR02	Superfície	5,0E+15	212
		ABR02	Fundo	3,5E+15	254
Abrolhos	APA Ponta da Baleia/Abrolhos	ABR04	Superfície	3,5E+15	218
		ABR04	Fundo	5,0E+15	270

Tabela 185: Identificação dos pontos amostrais para sedimento na região de Abrolhos, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 1).

Localização	Unidade de Conservação	Estação	Índice de Shannon	Número de OTUs
Abrolhos	Resex de Cassurubá	ABR01	6,8E+15	1435
	-	ABRC1	9,1E+15	987
	Parque Nacional Marinho de Abrolhos	ABR02	9,3E+15	1179
	APA Ponta da Baleia/Abrolhos	ABR04	9,3E+14	1073

Tabela 186: Identificação dos pontos amostrais coral na região de Abrolhos, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 1).

Localização	Estação	Espécie	Índice de Shannon	Número de OTUs
Abrolhos	ABR01	<i>Millepora alvicornis</i>	3,0E+16	416
	ABR01	<i>Mussismilia hartii</i>	8,2E+15	636
	ABRC1	<i>Millepora alvicornis</i>	4,7E+15	123
	ABRC1	<i>Mussismilia hartii</i>	5,4E+15	169

	ABR04	<i>Millepora alcicornis</i>	5,3E+15	403
	ABR04	<i>Mussismilia harttii</i>	3,1E+16	254
	ABR02	<i>Millepora alcicornis</i>	3,1E+16	104
	ABR02	<i>Mussismilia harttii</i>	5,7E+15	241

Tabela 187: Identificação dos pontos amostrais para água da região de Abrolhos, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 2).

Localização	Unidade de Conservação	Estação	Profundidade	Índice de Shannon	Número de OTUs
Abrolhos	Resex de Cassurubá	ABR01	Superfície	2,5E+16	303
		ABR01	Fundo	3,5E+14	596
Abrolhos	-	ABRC1	Superfície	3,8E+15	276
	-	ABRC1	Fundo	6,2E+15	508
Abrolhos	Parque Nacional Marinho de Abrolhos	ABR02	Superfície	5,0E+15	204
		ABR02	Fundo	1,9E+16	247
Abrolhos	APA Ponta da Baleia/Abrolhos	ABR04	Superfície	5,0E+15	211
		ABR04	Fundo	4,9E+15	249

Tabela 188: Identificação dos pontos amostrais para sedimento na região de Abrolhos, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 2).

Localização	Unidade de Conservação	Estação	Índice de Shannon	Número de OTUs
Abrolhos	Resex de Cassurubá	ABR01	9,0E+15	902
	-	ABRC1	5,8E+15	893
	Parque Nacional Marinho de Abrolhos	ABR02	5,1E+16	451
	APA Ponta da Baleia/Abrolhos	ABR04	7,5E+15	641

Tabela 189: Identificação dos pontos amostrais coral na região de Abrolhos, índices de diversidade (Índice de Shannon) e riqueza (Unidades taxonômicas operacionais – OTU) (Campanha 2).

Localização	Estação	Espécie	Índice de Shannon	Número de OTUs
Abrolhos	ABR01	<i>Millepora alcicornis</i>	2,15E+16	1,49E+03
	ABR01	<i>Mussismilia harttii</i>	4,87E+15	3,49E+02
	ABRC1	<i>Millepora alcicornis</i>	6,56E+15	1,64E+03
	ABRC1	<i>Mussismilia harttii</i>	6,68E+15	3,15E+02
	ABR04	<i>Millepora alcicornis</i>	1,88E+15	1,22E+03
	ABR04	<i>Mussismilia harttii</i>	3,09E+15	3,36E+02
	ABR02	<i>Millepora alcicornis</i>	3,97E+15	1,15E+03
	ABR02	<i>Mussismilia harttii</i>	8,10E+15	2,67E+02

### 3.5.3.1 Composição da microbiota na água de superfície da região de Abrolhos

A abundância relativa dos filos encontrados em água de superfície, durante a campanha 1, nas estações de Abrolhos revelou maioria para Proteobactéria (61,81%), Bacteroidetes (21,67%) e Cynobacteria (14,87%) (Figura 486). Os resultados da campanha 2 foram Proteobactéria (43,97%), Cyanobacteria (31,07%) e Bacteroidetes (19,27%) (Figura 487). De forma geral, os resultados demonstraram grande redução da abundância relativa para os três mais abundantes filos entre a as campanhas 1 e 2. Além disso, observa-se uma troca na abundância de Bacteroidetes com Cyanobacteria. Adicionalmente, apesar de ter havido uma redução de proporção dos três filos mais abundantes, o filo Cyanobacteria apresentou aumento entre as duas campanhas.

Figura 486: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

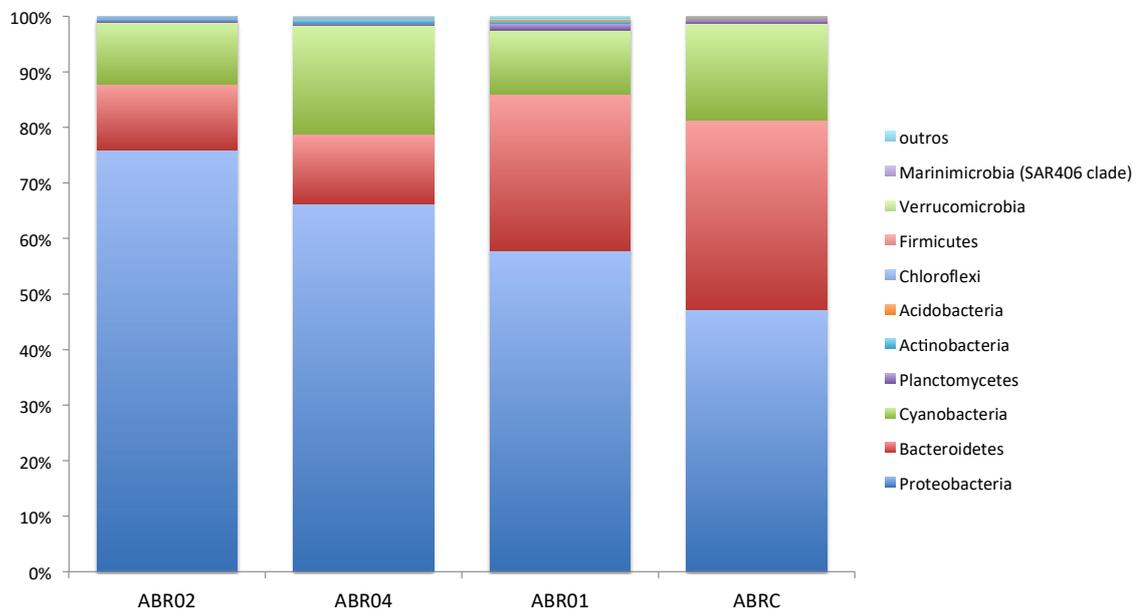
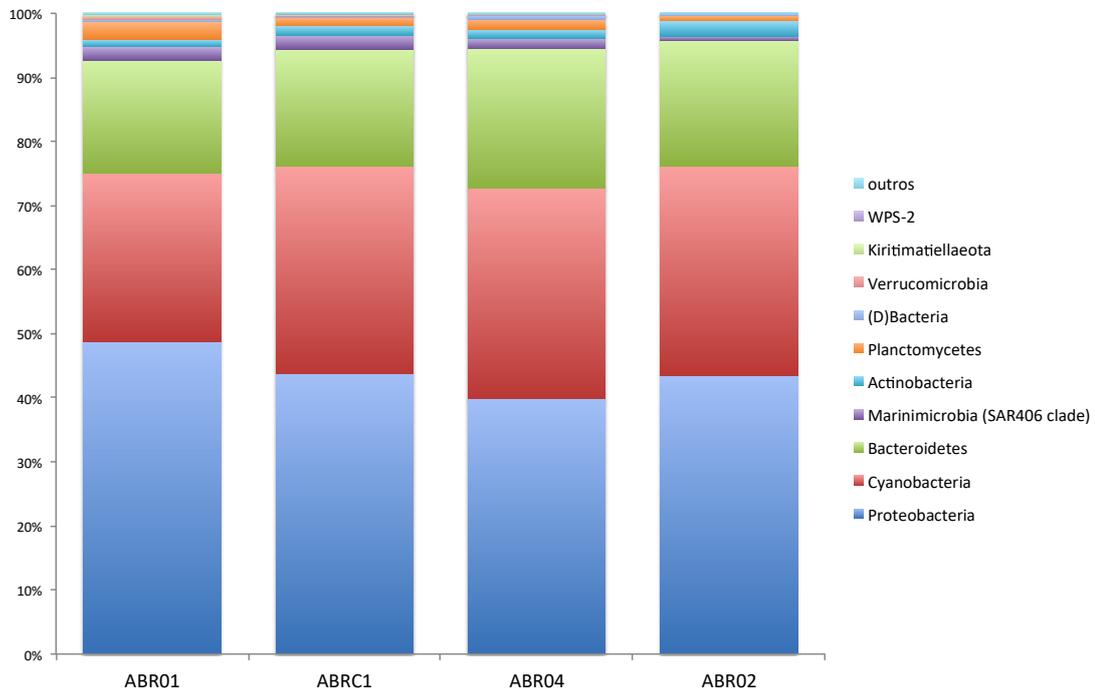


Figura 487: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.



A abundância relativa a nível de gênero da campanha 1 demonstrou maior abundância para Desulfobulraceae, Gammaproteobacteria, Rhodobacteraceae e Anaerolineaceae (Figura 488). Os resultados da campanha 2 demonstraram maior abundância relativa para Synechococcus, ordem SAR11, família Flavobacteriaceae e Halomonas. Adicionalmente, o gênero Erythrobacter apresentou elevada abundância relativa apenas para a estação ABR02 (Figura 489).

Figura 488: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

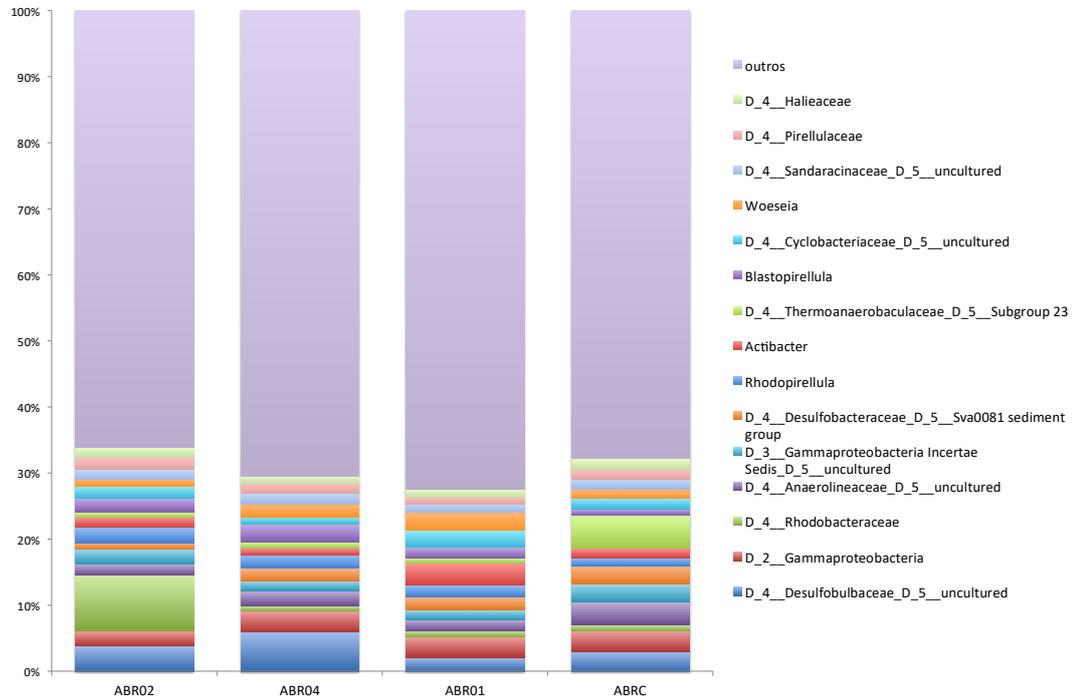
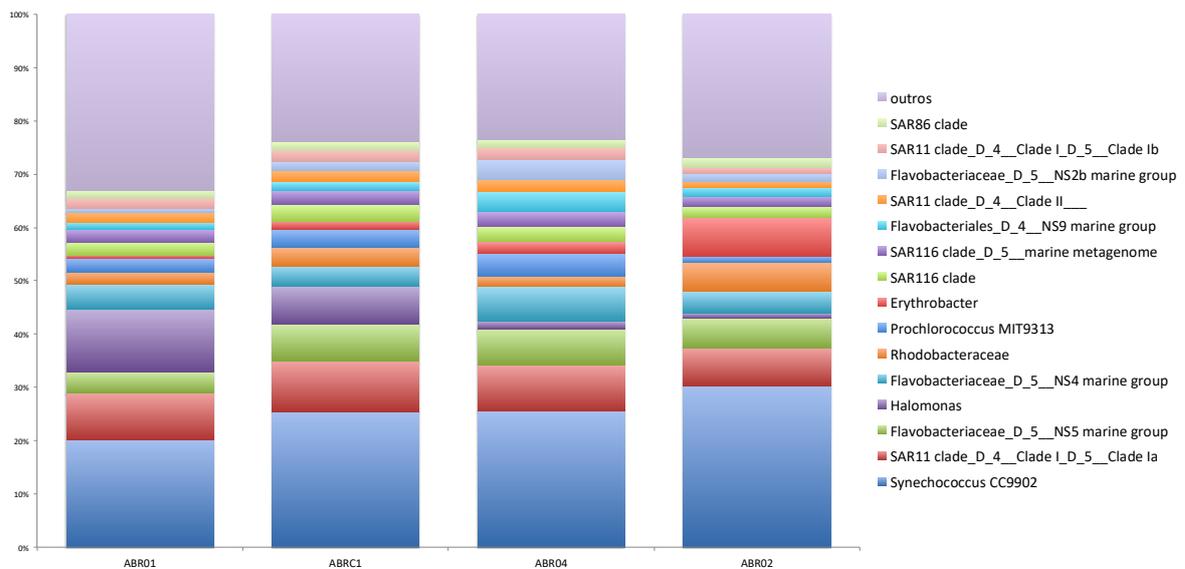


Figura 489: Classificação taxonômica das amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".



A ordenação realizada com as amostras de água de superfície de Abrolhos para as duas campanhas estão demonstradas na Figura 490 e Figura 491. A ordenação para campanha 2 apresentou boa

representação, com base nos valores obtidos para as Dimensões 1 e 2 utilizadas. Desta forma, é possível constatar boa separação de todas as estações. O perfil microbiano da estação ABR04 foi influenciado pela presença dos metais Mn, Fe, Pb, Cr e Zn de forma mais acentuada, enquanto que ABRC1 e ABR01 foram influenciados, principalmente, por Cu, As, Cd e Hg, além de turbidez, temperatura e condutividade. Por fim, a estação ABR02 parece ter sido mais influenciada pelo pH e taxas de oxigênio dissolvido. Quando comparados com os resultados da campanha 1, observa-se que os pontos mais próximos também foram ABRC1 e ABR1. Ademais, podemos relacionar o perfil de comunidade encontrado na estação ABR4 com a presença de Mn, bem como Hg, Fe, Cr e Zn com menor influência. Estes últimos metais também parecem ter sido responsáveis pelo perfil microbiano encontrado na estação ABR2, incluindo Pb. Já as estações ABR1 e ABRC1 parecem estar sendo mais influenciadas por Cd, Cu e As.

Figura 490: Análise de PCA das amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.

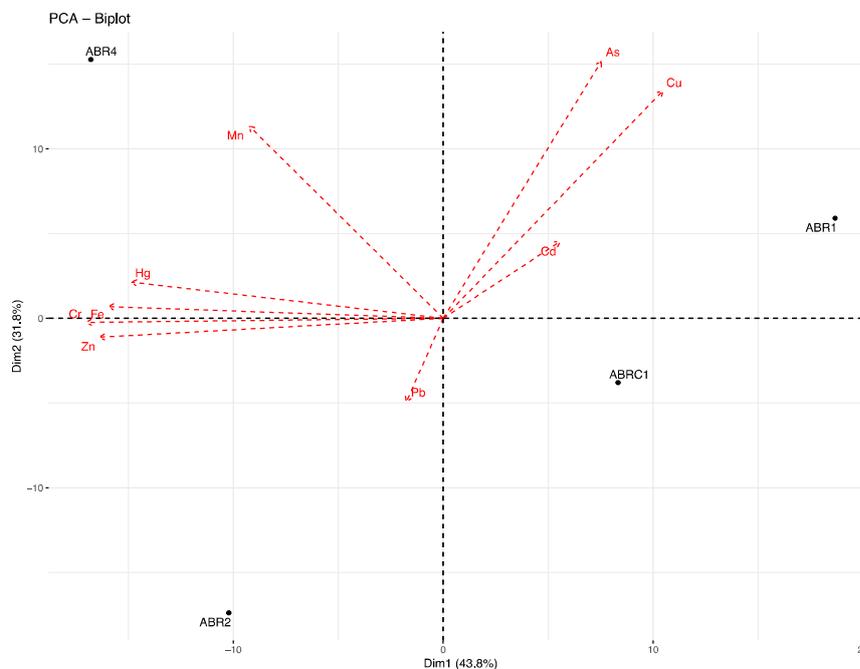
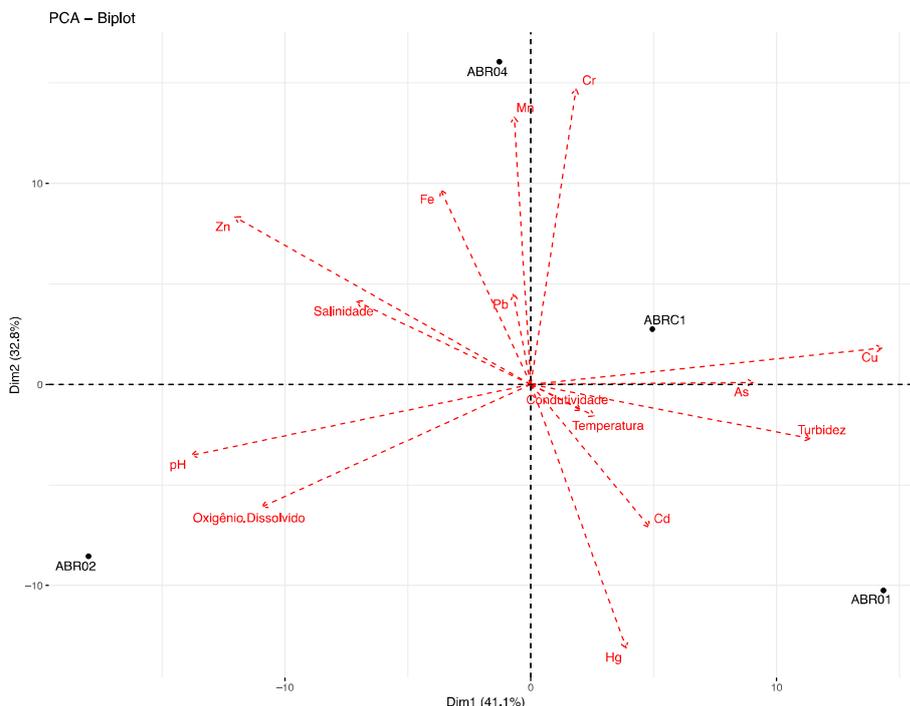


Figura 491: Análise de PCA das amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.



A análise por SIMPER das amostras da campanha 1 revelaram maiores contribuições para Halomonas, Pseudoalteromonas, Cyanobiaceae e Rhodobacteraceae. Neste caso, Halomonas, Pseudoalteromonas e Cyanobiaceae estavam diretamente relacionados às estações ABR2 e ABR4, enquanto que Rhodobacteraceae se relacionou às estações ABR1 e ABRC1 (Tabela 190). Pela análise de SIMPER da campanha 2 podemos verificar que os táxons que mais contribuíram para a ordenação anteriormente analisada foram Halomonas, Synechococcus, Erythrobacter e Alteromonas. Vale ressaltar, que o gênero Halomonas é responsável por 12% de tal ordenação e que o mesmo está relacionado, sobretudo, às estações ABR01 e ABRC1, sendo encontrado em baixas proporções nas estações ABR04 e ABR02 (Tabela 191). Halomonas é um bioindicador de elevada concentração de clorofila A e sólidos suspensos em águas de recifes de coral (Galsi, 2019). O que vai de acordo com os resultados da PCA, que mostram que a separação dos pontos ABR01 e ABRC1 são influenciados pela turbidez, principalmente, o ponto ABR01, que possui maior concentração de Halomonas.

Tabela 190: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 1).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	ABR01	ABRC1	ABR04	ABR02
Cobetia	5,794	11,22	11,22	0,008	0,012	0,119
Alteromonas	4,043	7,83	19,05	0,045	0,043	0,175
Mesoflavibacter	3,798	7,35	26,41	0,039	0,141	0,001
Halomonas	2,67	5,17	31,58	0,074	0,065	0,052

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	ABR01	ABRC1	ABR04	ABR02
Synechococcus CC9902	2,626	5,08	36,67	0,092	0,136	0,172

Tabela 191: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de superfície da região de Abrolhos (Campanha 2).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	ABR01	ABRC1	ABR04	ABR02
Halomonas	12,62	12,62	0,117	0,072	0,016	0,010
Synechococcus CC9902	9,601	22,22	0,201	0,254	0,256	0,302
Erythrobacter	6,204	28,42	0,006	0,015	0,021	0,073
Alteromonas	3,529	31,95	0,042	0,007	0,005	0,005
Rhodobacteraceae	3,476	35,43	0,022	0,034	0,020	0,054

### 3.5.3.2 Composição da microbiota na água de fundo da região de Abrolhos

As análises da abundância relativa para filo das águas de profundidade nas duas campanhas estão demonstradas na Figura 492 e Figura 493. Comparando as duas campanhas, os filos mais dominantes são semelhantes. Contudo, observou-se uma redução geral dentre os quatro filos mais abundantes, que na campanha 1 eram: Proteobactéria (54,49%), Cyanobacteria (19,97%), Bacteroidetes (16,21%), e Firmicutes (8,81%). Além disso, os filos Cyanobacteria e Bacteroidetes trocaram posição no que diz respeito a representatividade na comunidade microbiana, bem como o filo Firmicutes, que também apresentou elevação apenas para a estação ABRC1 (12,65%). A campanha 2 revelou as maiores abundâncias relativas para os filos Proteobactéria (40,61%), Bacteroidetes (25,96%), Cyanobacteria (24,06%) e Firmicutes (3,83%). Vale salientar que a presença do filo Firmicutes dentre os mais abundantes se deve à presença na estação ABR04 (10,67%), enquanto que as demais estações apresentam o mesmo filo com abundância inferior a 2,5% (Figura 493).

Figura 492: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

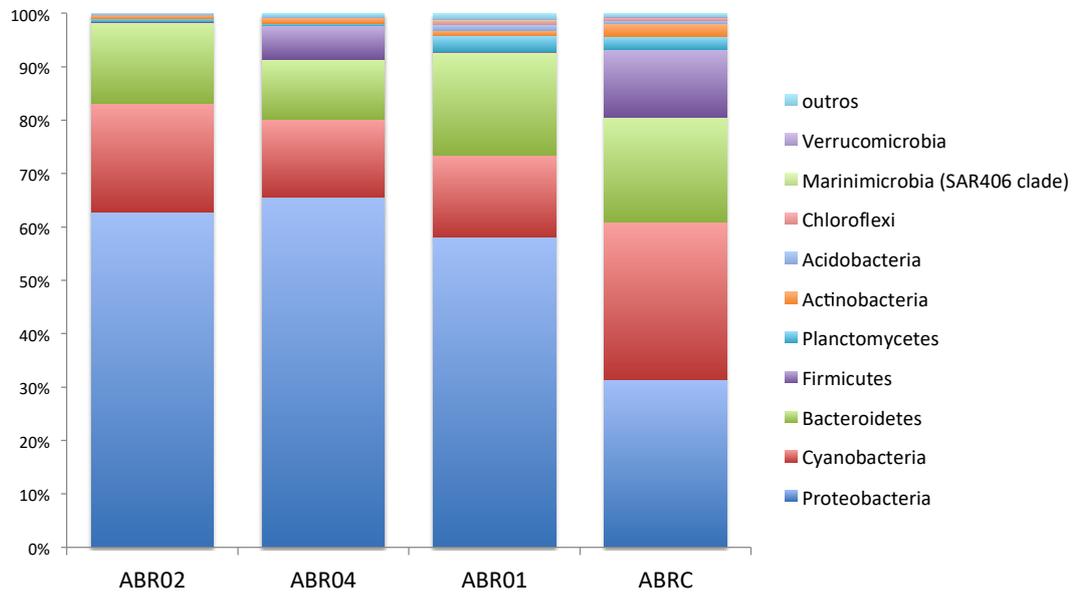
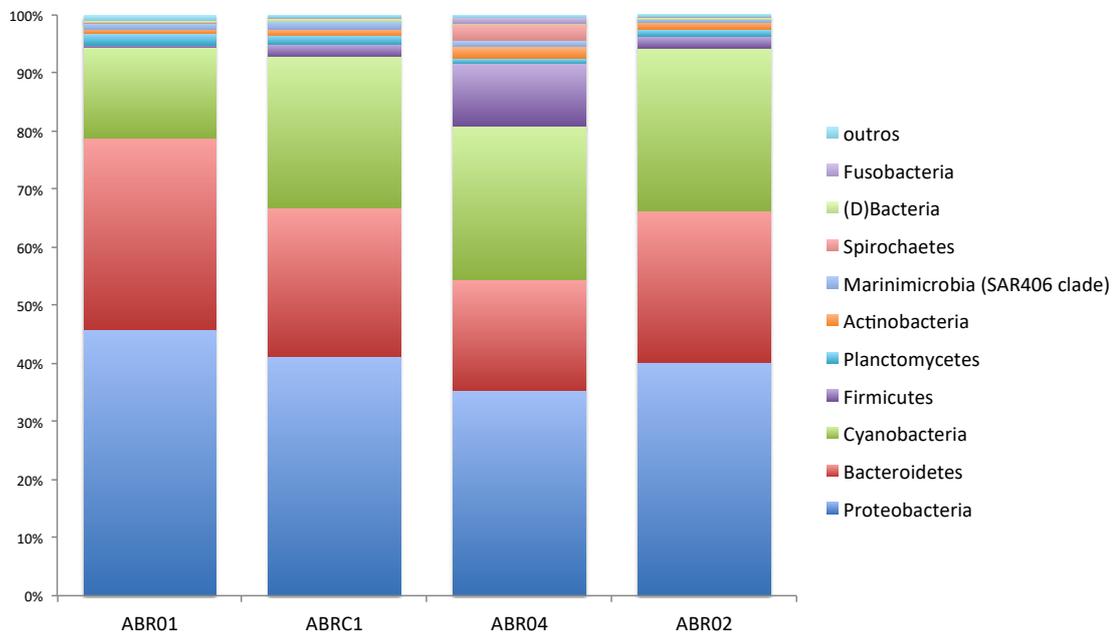


Figura 493: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".



Os gêneros mais encontrados na campanha 1, para água de profundidade, foram *Synechococcus* (16,11%), *Pseudoalteromonas* (11,24%), *Alteromonas* (9,77%) e *Cobetia* (8,30%) (Figura 494). Enquanto que na campanha 2 foram *Synechococcus* (18,74%), um gênero da ordem SAR11 (8,60%), um gênero da família Flavobacteriaceae (6,24%), um gênero da família Rhodobacteraceae (6,03%) e

um gênero da família Cryomorphaceae (5,43%). Como destaques, a família Rhodobacteraceae (6,03%) e a família Cryomorphaceae (5,43%) parecem estar mais relacionados com a estação ABR01 (Figura 495).

Figura 494: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

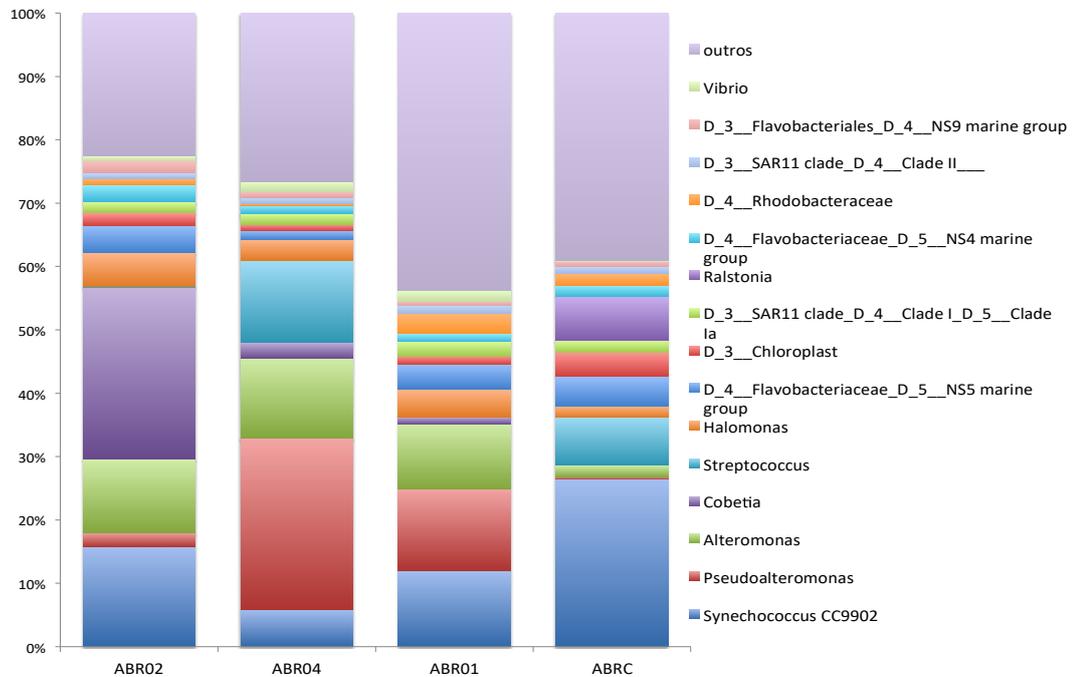
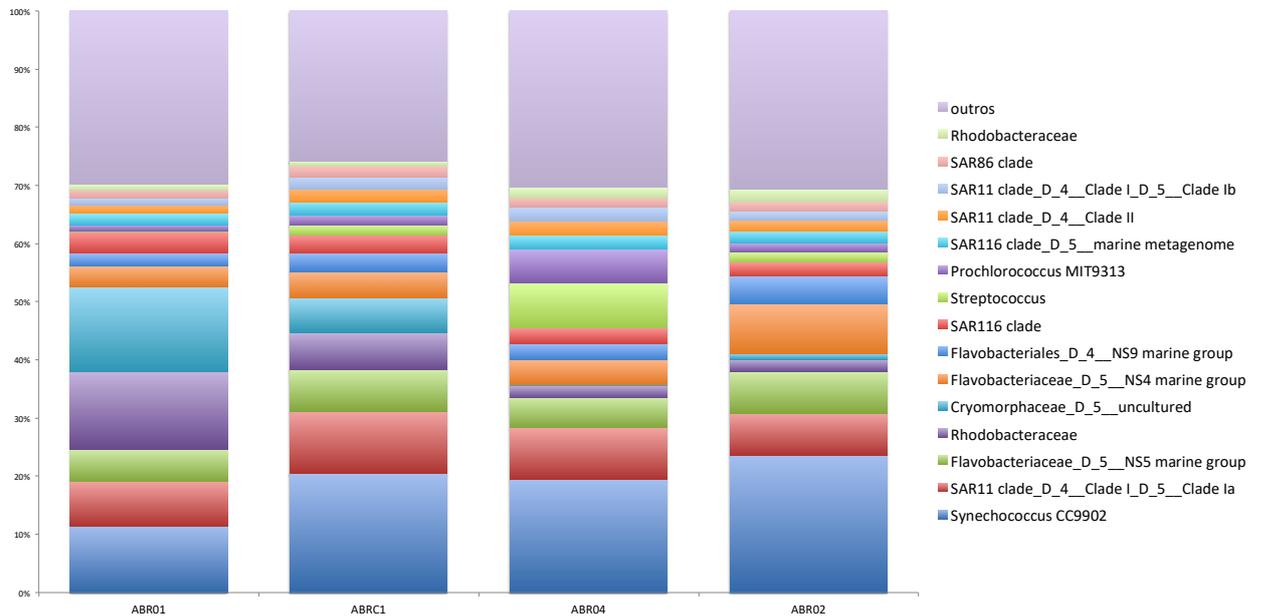


Figura 495: Classificação taxonômica das amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.



As análises de PCA demonstraram que as ordenações das duas campanhas foram bem semelhantes (Figura 496 e Figura 497), com alteração apenas para a variável Hg, que foi relacionada com as estações ABR02 e ABR04 na campanha 1 (Figura 496). Na campanha 2, os pontos ABR02 e ABR04 foram agrupados juntos e parecem ter recebido influência, sobretudo, dos metais As, Zn, Mn, Fe e Cr, além de também estarem relacionados com o pH, salinidade e oxigênio dissolvido. A estação ABRC1 também apresentou perfil distinto, porém sofreu forte influência dos níveis de Pb e Cd, além da turbidez, temperatura e condutividade. Por fim, a estação ABR01 foi mais influenciada por Hg e Cd (Figura 497).

Figura 496: Análise de PCA das amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.

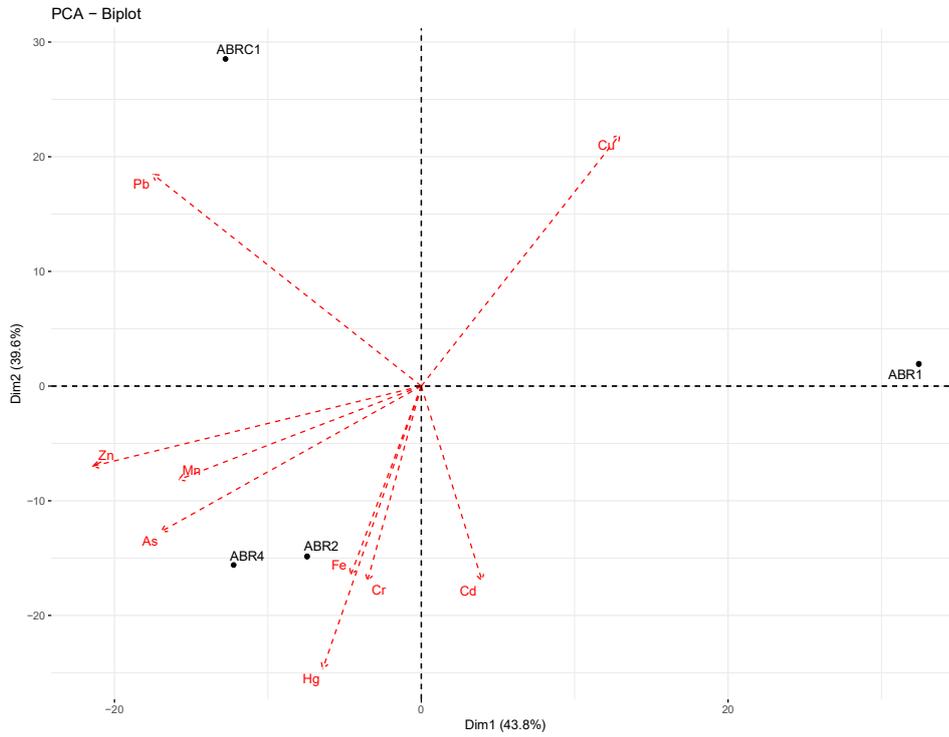
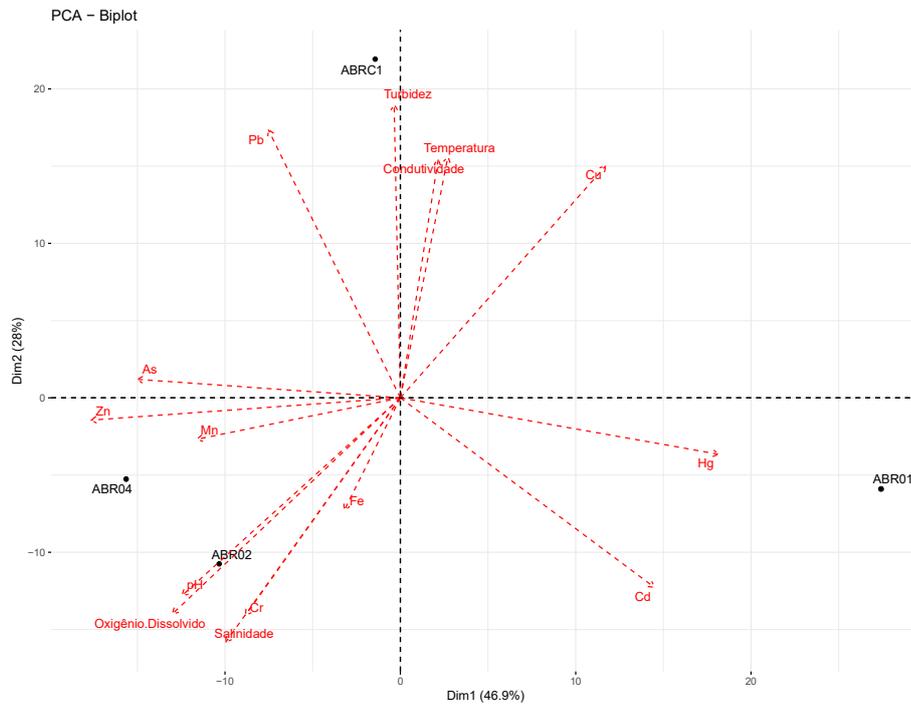


Figura 497: Análise de PCA das amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais e dos fatores físico-químicos.



A análise por SIMPER da campanha 1 revelou os seguintes taxons como maiores contribuidores para a ordenação: Synechococcus, seguido por Pseudoalteromonas, Psychrobacter e Cyanobiaceae. Neste caso, os taxons Synechococcus e Pseudoalteromonas apresentaram influência nas ordenações das estações ABR2, ABR4 e ABR1 (Tabela 192). Na campanha 2, a maior contribuição foi da família Cryomorphaceae, seguido pelo gênero Synechococcus, família Rhodobacteraceae e gênero Streptococcus (Tabela 193). Dentre estes taxons, Cryomorphaceae e Rhodobacteraceae tiveram participação maior no perfil microbiano encontrado nas estações ABR01 e ABRC1.

Tabela 192: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 1).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	ABR01	ABRC1	ABR04	ABR02
Pseudoalteromonas	15,04	15,04	0,140	0,002	0,284	0,023
Cobetia	13,88	28,91	0,012	0,001	0,026	0,293
Synechococcus						
CC9902	10,87	39,78	0,131	0,281	0,062	0,171
Streptococcus	7,613	47,39	0,000	0,080	0,136	0,000
Alteromonas	5,526	52,92	0,112	0,020	0,134	0,125

Tabela 193: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de água de fundo da região de Abrolhos (Campanha 2).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	ABR01	ABRC1	ABR04	ABR02
Cryomorphaceae	11,1	11,1	0,145	0,060	0,001	0,010
Synechococcus						
CC9902	9,584	20,68	0,114	0,204	0,195	0,237
Rhodobacteraceae	8,855	29,54	0,134	0,064	0,022	0,022
Streptococcus	6,221	35,76	0,000	0,017	0,076	0,017
Flavobacteriaceae	3,63	39,39	0,037	0,045	0,043	0,085

### 3.5.3.3 Composição da microbiota no sedimento da região de Abrolhos

Os filos com maior abundância encontrados nas amostras de sedimento das estações de abrolhos na campanha 1 foram Proteobactéria (42,98%), Planctomycetes (14,03%), Bacteroidetes (13,57%) e Acidobacteria (6,52%) (Figura 498). Na campanha 2 foram Proteobacteria (39,65%), Cyanobacteria (30,10%) e Bacteroidetes (21,58%) (Figura 499). Como pode ser observado, diferentemente da campanha 1, na campanha 2 o filo Planctomycetes apresentou média de apenas 1,14%. Além disso, percebe-se também uma forte presença do filo Firmicutes apenas na estação ABRC1.

Figura 498: Classificação taxonômica das amostras de sedimento da região de Abrolhos (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

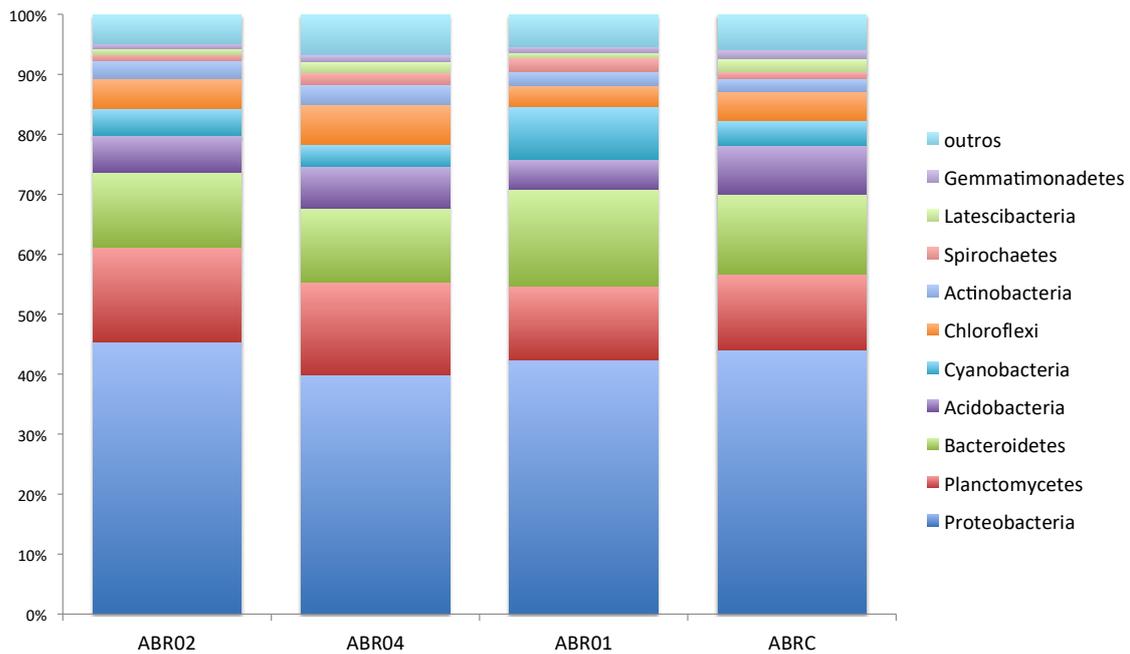
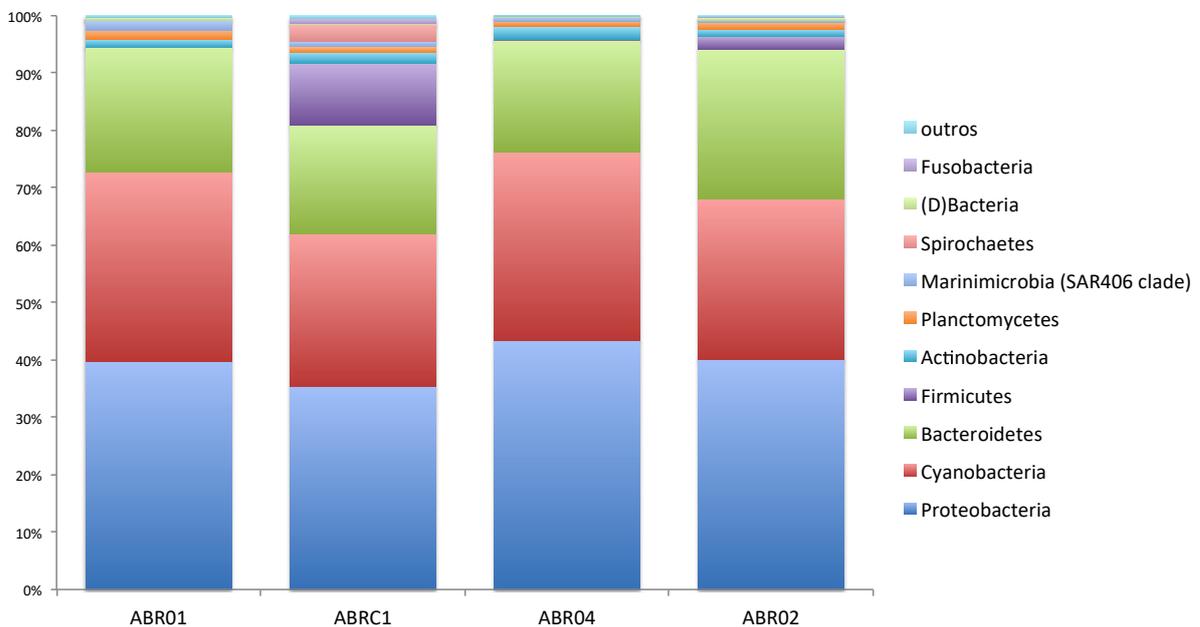


Figura 499: Classificação taxonômica das amostras de sedimento da região de Abrolhos (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".



A abundância relativa a nível de gênero das duas campanhas estão demonstrados na Figura 500 e Figura 501. Os taxons bacterianos encontrados em maior abundância na campanha 2 foram *Synechococcus* (22,58%), ordem SAR11 (7,17%) e família Flavobacteriaceae (5,53%) (Figura 501). Importante salientar que a família Spirochaetaceae, apesar de não ter sido observada entre os mais abundantes filos, apresentou 11,85% de abundância relativa na estação ABR02, enquanto que não foi

encontrada em nenhuma das demais estações. Comparando estes dados com os da campanha 1, observou-se maiores abundâncias relativas para Desulfobulbaceae (3,97%), Gammaproteobacteria (3,15%), Rhodobacteraceae (2,93%) e Anaerolineaceae (2,43%). Não havendo dominância de um gênero bacteriano, como na campanha 2. Na campanha 1, os valores de abundância relativa se mostraram mais distribuídos. Como destaque, observa-se que a estação ABR02 também havia apresentado discrepância na abundância relativa de Rhodobacteraceae, visto que este grupo estava presente em 8,90%, enquanto que nas outras estações este valor foi inferior a 1%.

Figura 500: Classificação taxonômica das amostras de sedimento da região de Abrolhos (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

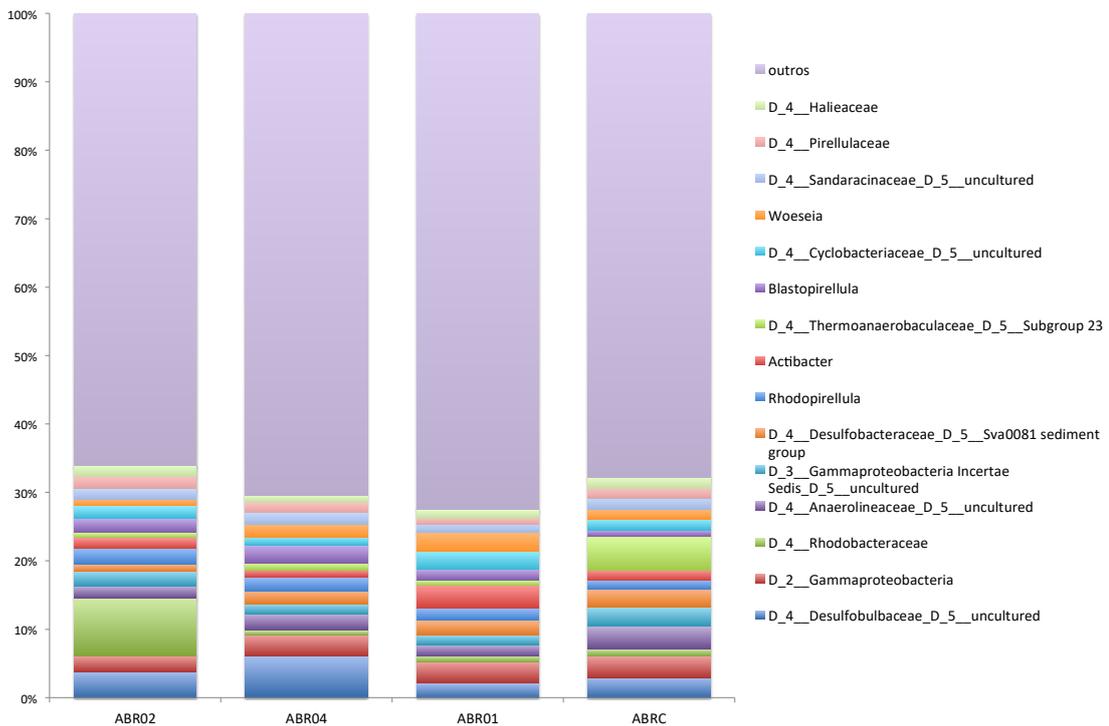
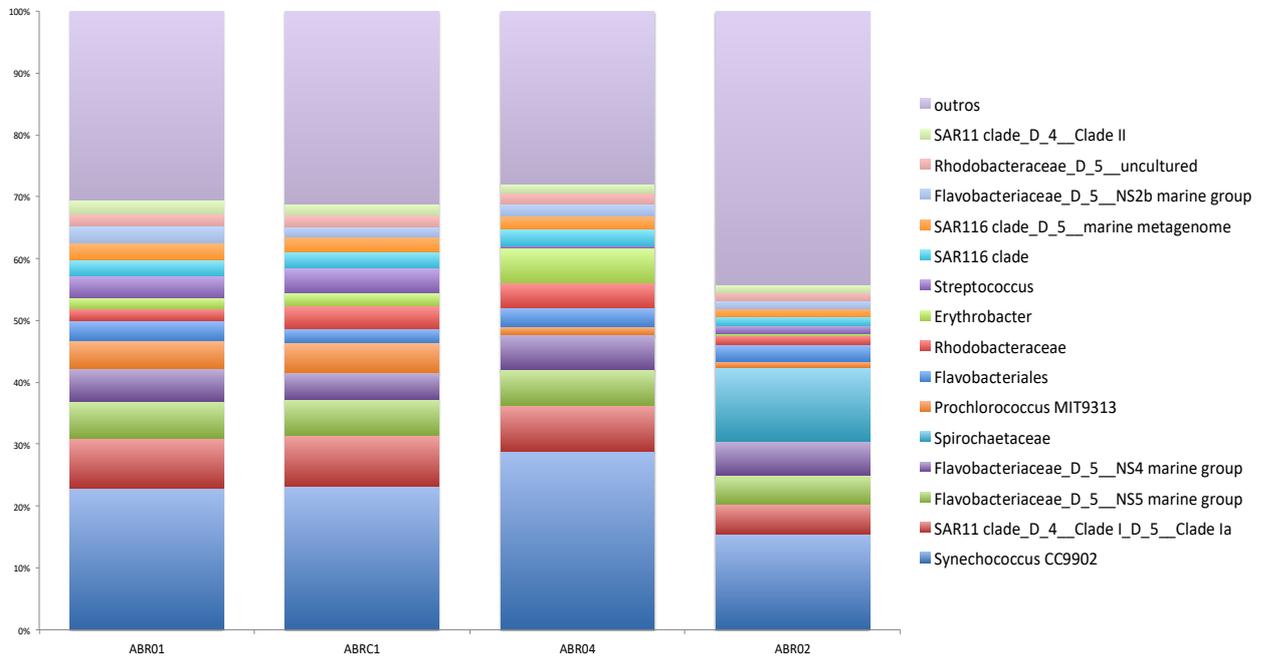


Figura 501: Classificação taxonômica das amostras de água de sedimento da região de Abrolhos (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".



A ordenação gerada com dados da campanha 1 revelou diferença entre os quatro pontos, sendo ABR01 o intermediário entre todos os pontos, e o ponto ABRC1 o mais influenciado pelos metais pesados (Figura 502). Para campanha 2 foi possível observar o agrupamento das amostras ABRC1 e ABR01 no primeiro quadrante (Figura 503). Estas mesmas amostras parecem ter sido fortemente influenciadas por todos os metais analisados neste segundo monitoramento, exceto para Hg que orientou-se para as amostras da estação ABR04 no terceiro quadrante. Além disso, as amostras da estação ABR02 parecem ter menor similaridade com as demais e foi posicionada no segundo quadrante e com pouca influência dos metais em análise.

Figura 502: Análise de PCA das amostras de sedimento da região de Abrolhos (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais.

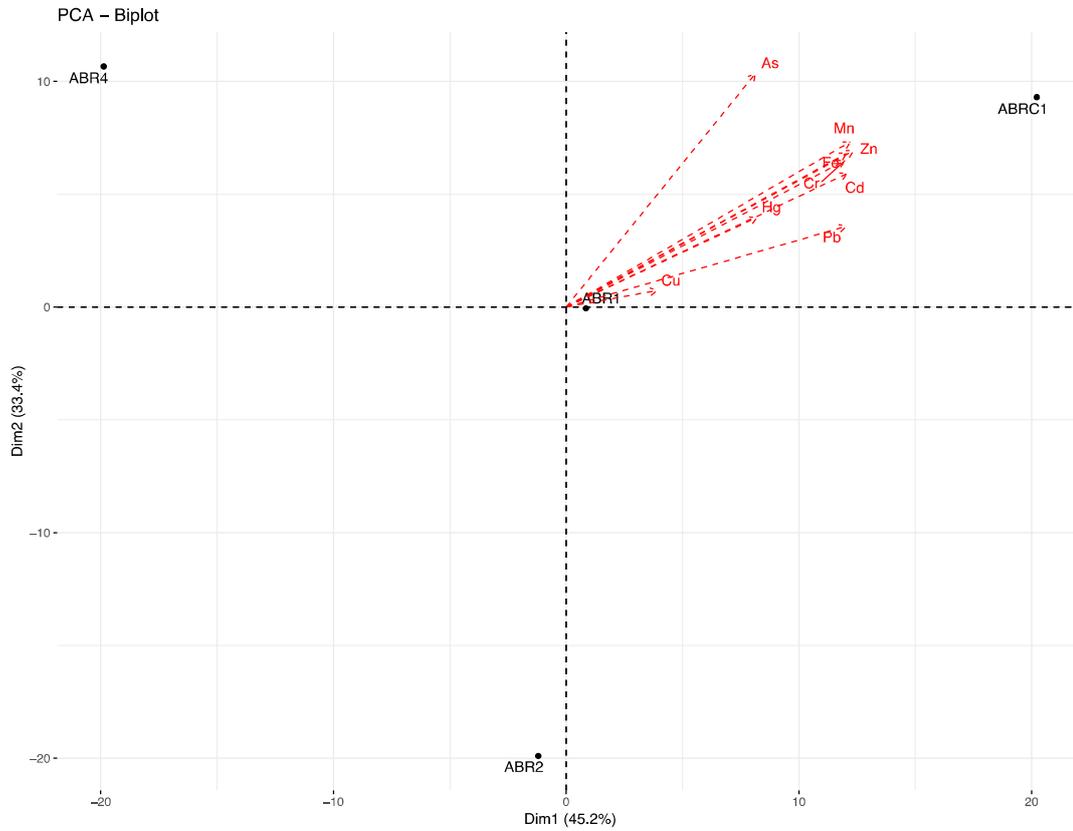
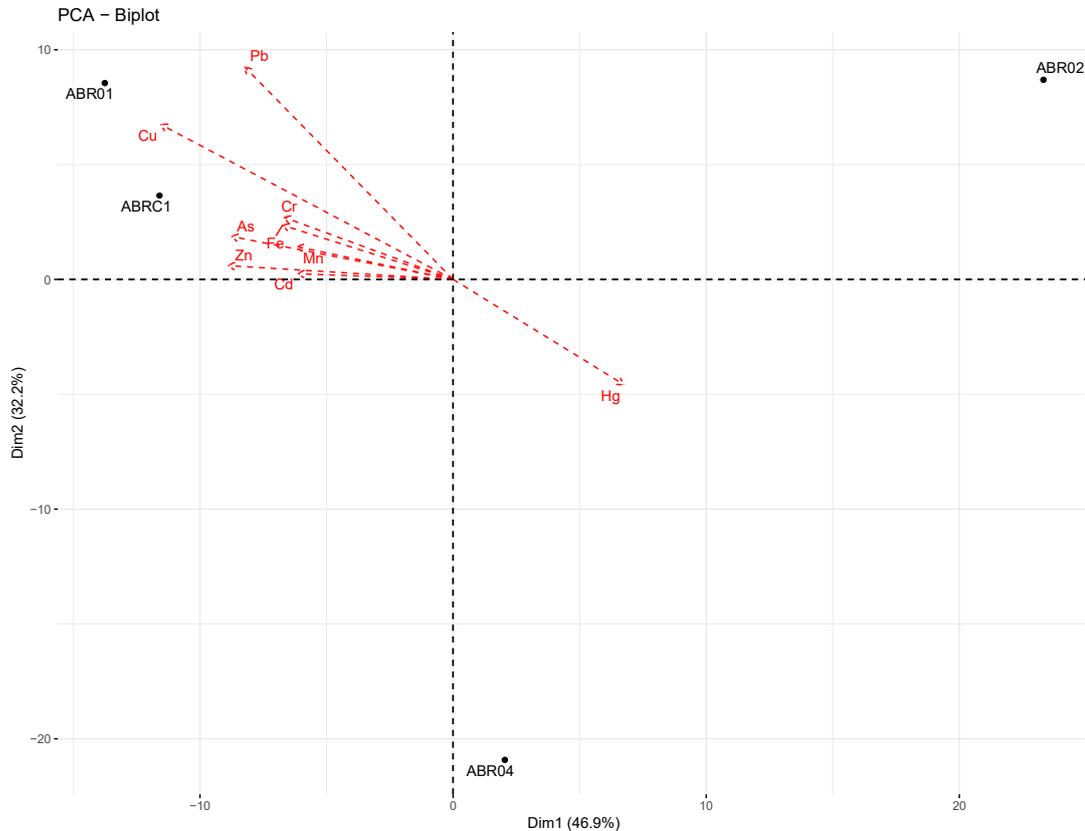


Figura 503: Análise de PCA das amostras de sedimento da região de Abrolhos (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais.



O teste de SIMPER com as amostras da campanha 1 revelaram perfil bem distinto dos encontrados na campanha 2. De acordo com as análises é possível perceber grande alteração na comunidade microbiana e diminuição da contribuição dos taxons dominantes (Tabela 194). Dentre os taxons com maior contribuição na formação do perfil da comunidade bacteriana, a família Desulfobulbaceae foi a única que continuou dentre os cinco mais abundantes.

Na campanha 2, o teste de SIMPER revelou maior contribuição na ordenação por parte do gênero Robiginitalea, que está estreitamente relacionado com as estações ABR01 e ABRC1. Este perfil também foi observado para o gênero Woeseia nas mesmas estações, como pode ser observado na (Tabela 195)

Tabela 194: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras sedimento da região de Abrolhos (Campanha 1).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	ABR01	ABRC1	ABR04	ABR02
D_4__Rhodobacteraceae	5,66	5,66	0,010	0,011	0,008	0,089
D_4__Thermoanaerobaculaceae	3,26	8,91	0,007	0,054	0,009	0,008
D_4__Desulfobulbaceae	3,10	12,01	0,023	0,031	0,064	0,041

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	ABR01	ABRC1	ABR04	ABR02
Actibacter	1,68	13,68	0,036	0,016	0,012	0,016
D_4__Anaerolineaceae	1,52	15,21	0,017	0,037	0,025	0,019

Tabela 195: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras sedimento da região de Abrolhos (Campanha 2).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	ABR01	ABRC1	ABR04	ABR02
Robignitalea	2,11	2,11	0,026	0,013	0,006	0,000
D_4__Desulfobulbaceae	1,898	4,008	0,041	0,039	0,032	0,054
Woeseia	1,863	5,87	0,018	0,027	0,010	0,004
Romboutsia	1,83	7,701	0,004	0,001	0,001	0,024
Blastopirellula	1,715	9,416	0,018	0,021	0,038	0,027

#### 3.5.3.4 Composição da microbiota no hidrocoral *Millepora alcicornis* da região de Abrolhos

Para análise de abundância relativa à nível de filo, o hidrocoral da espécie *M. alcicornis* demonstrou diferenças entre os pontos avaliados em ambas as campanhas e entre as campanhas. Comparando as duas campanhas, a maior alteração foi nos corais do ponto ABR02, que revelaram uma grande diminuição de Firmicutes e grande aumento de Spirochaetes da campanha 1 para 2 (Figura 504 e Figura 505). Na campanha 2, o ponto ABR01 apresentou grande abundância de Halanaerobiaeota e o ponto ABR04 de Bacteroidetes (Figura 505). Esta grande diferença na comunidade bacteriana em corais da mesma espécie, principalmente a nível de filo, é um forte indício de disbiose. De acordo com princípio ecológico “Anna Kareninna”, indivíduos em disbiose, frequentemente demonstram uma grande variabilidade na sua comunidade microbiana, quando comparado com indivíduos saudáveis. Corais em disbiose são mais sensíveis a estressores ambientais do que corais saudáveis.

Figura 504: Classificação taxonômica das amostras de hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.

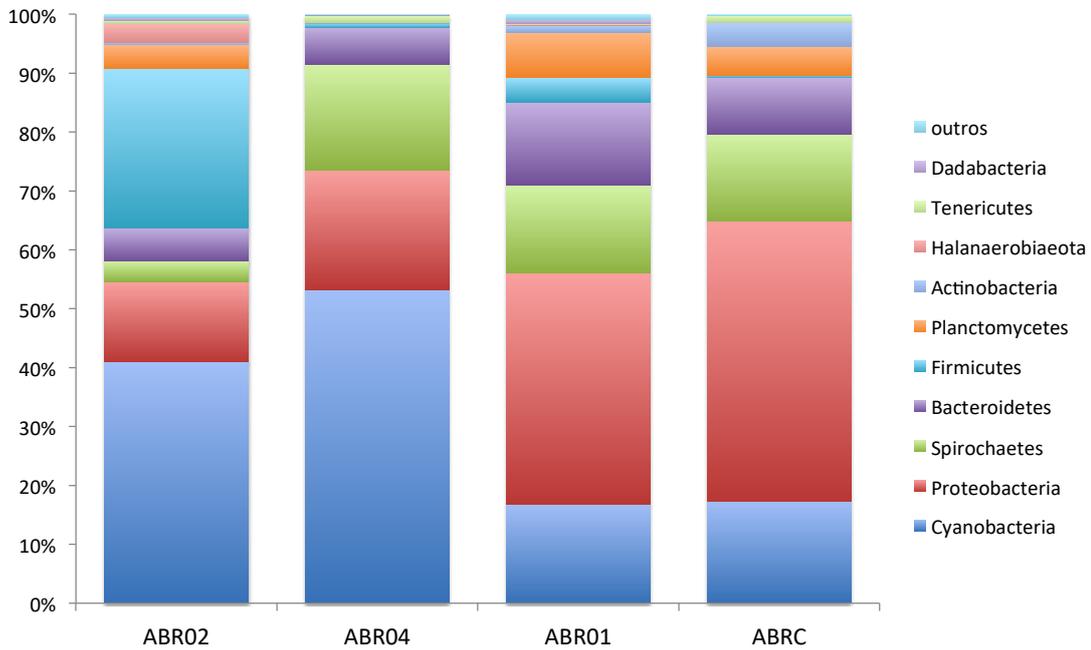
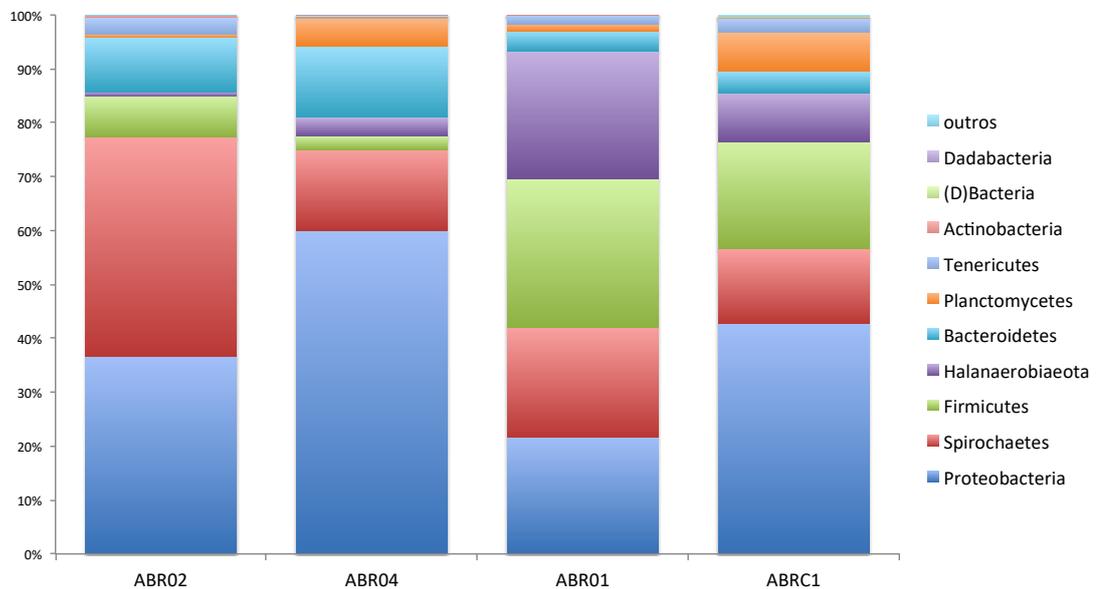


Figura 505: Classificação taxonômica das amostras de hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.

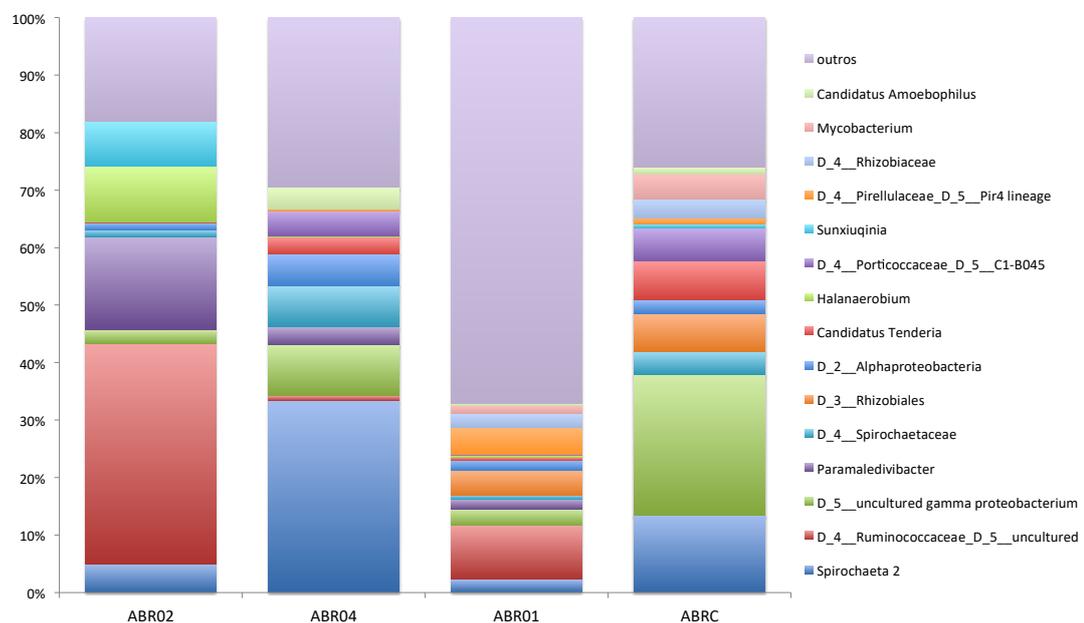


Quando analisamos a abundância relativa a nível de gênero, as diferenças entre os diferentes pontos de Abrolhos fica ainda mais clara (Figura 506 e Figura 507). Ao comparar as duas campanhas, nota-se um aumento de Spirochaeta em todos os pontos. Na campanha 1, apenas ABR04 já possuía grande abundância de Spirochaeta. No entanto, Halanaerobium que era abundante em ABR02 na campanha

1, diminuiu neste ponto e aumentou nos pontos ABR01 e ABRC1. Ruminococcaceae apresentou a mesma alteração, diminuindo em ABR02 e aumentando em ABR01 e ABRC1.

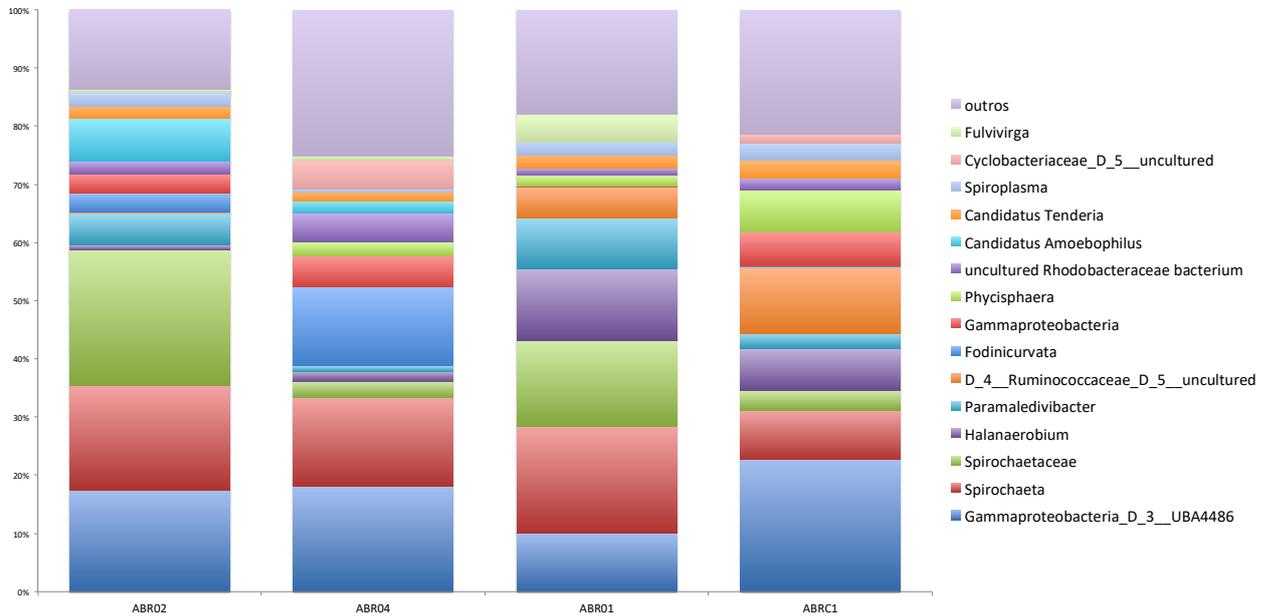
Na campanha 2, os mais abundantes foram: um gênero não cultivado da classe Gammaproteobacteria, Spirochaeta, um gênero da família Spirochaetaceae e Halanaerobium (Figura 507). Importante ressaltar que Spirochaetaceae apresentou menor abundância na estação ABRC1, Halanaerobium foi mais relacionado às estações ABR01 e ABRC1, e o gênero da família Ruminococcaceae indicou relevância apenas para as estações ABR01 e ABRC1, sendo o segundo mais abundante em ABRC1.

Figura 506: Classificação taxonômica das amostras de hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".



Comparado à campanha 1 (Figura 506), apenas ABR04 possuía grande abundância de Spirochaeta, Da campanha 1 para 2 houve um aumento de Spirochaeta em todos os pontos, Halanaerobium era abundante em ABR02, tendo diminuído sua abundância neste ponto e aumentado nos pontos ABR01 e ABRC1. Ruminococcaceae apresentou a mesma alteração, diminuindo em ABR02 e aumentando em ABR01 e ABRC1.

Figura 507: Classificação taxonômica das amostras de hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como “Outros”.



A análise dos componentes principais corrobora com os resultados anteriores, pois também demonstrou grande diferença na comunidade bacteriana entre os pontos avaliados para o hidrocoral *M. alcicornis* (Figura 508 e Figura 509), reforçando a possibilidade de disbiose. O ponto ABR04 na campanha 1 ficou próximo ao ponto ABR02, enquanto na campanha 2 ficou próximo ao ponto ABR01. Ainda na campanha 1, ABRC1 parece ter sido mais influenciado pela presença dos metais Cd, Pb, Zn e Mn, quando comparado às demais estações (Figura 508).

Mais especificamente na campanha 2, os pontos ABR04 e ABR01 foram relacionados à presença de Mn e Zn, principalmente (Figura 509). A estação ABRC1 não apresentou perfil similar aos demais pontos e, também, parece não ter sido mais afetada pelos metais analisados, como na campanha 1. A estação ABR02 apresentou perfil distinto e parece estar estritamente relacionada à presença de Cu, Fe, Hg e As.

Figura 508: Análise de PCA das amostras de hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais.

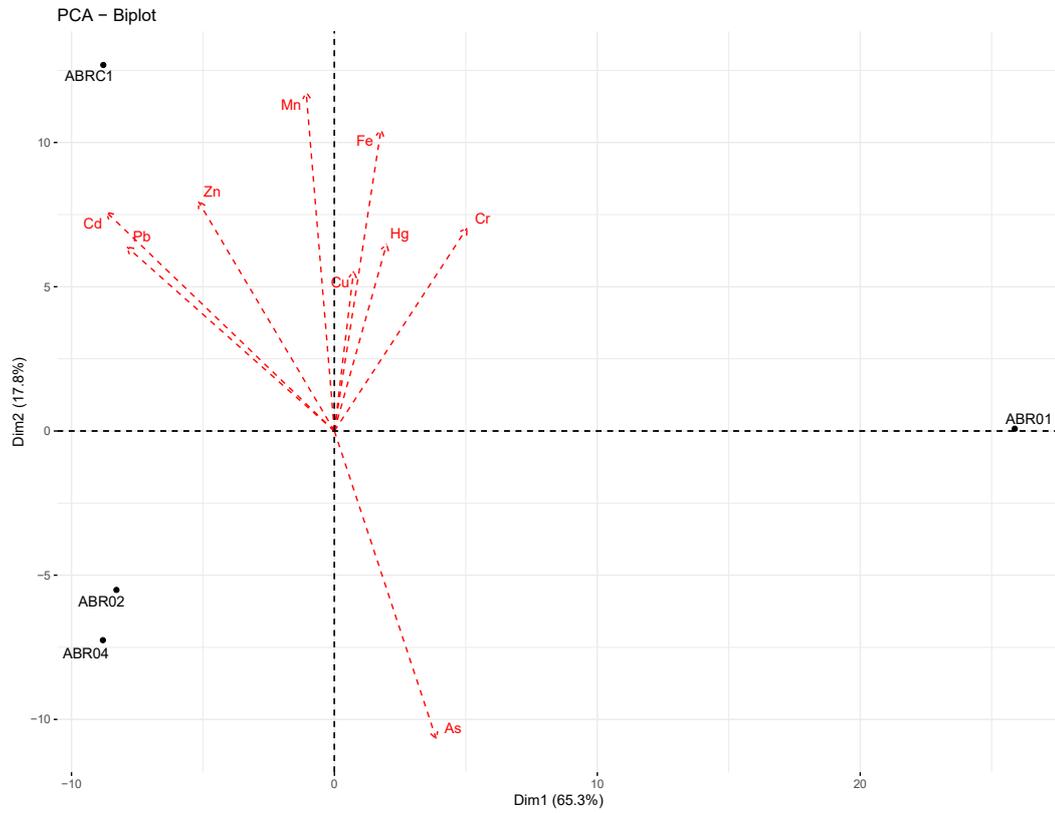
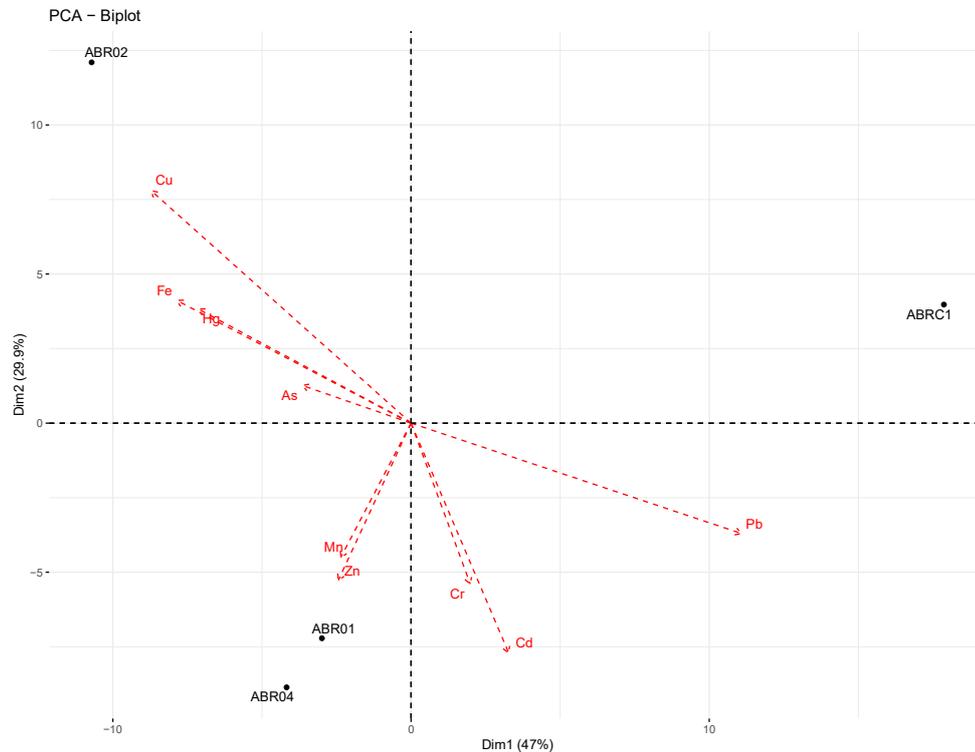


Figura 509: Análise de PCA das amostras de hidrocoral da espécie *Millepora alcicornis* (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais.



As análises de SIMPER da campanha 1 revelaram forte influência da Família Ruminococcaceae, relacionado com a estação ABR02, seguido pelo gênero Spirochaeta, com forte influência e contribuição nas estações ABR04 e ABRC1 (Tabela 196). Muitas bactérias do gênero Ruminococcaceae são comuns do intestino humano, e sua presença pode estar relacionada com contaminação por esgoto.

A Análise por SIMPER da campanha 2 revelou contribuição, de aproximadamente 11%, da família Spirochaetaceae (Tabela 197). Este grupo microbiano se relaciona, sobretudo, com as estações ABR02 e ABR01. Além disso, o gênero Halanaerobium também manifestou grande importância estando relacionado às estações ABR01 e ABRC1.

Spirochaetaceae está entre os gêneros mais abundantes no sedimento do Rio Doce e sua grande abundância no hidrocoral *M. alcicornis* pode estar relacionado com o rompimento da Barragem de Mariana. E ainda, foi avaliado também na campanha 1, grande abundância de membros da família Pirellulaceae, táxon mais abundante no região mais contaminada do Rio Doce, Linhares (RDL). Sendo este, também, potencial bioindicador do impacto causado por Mariana nos corais de Abrolhos.

Tabela 196: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de hidrocoral da espécie *Millepora alicornis* (Campanha 1).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	ABR01	ABRC1	ABR04	ABR02
D_4__Ruminococcaceae	13,55	13,55	0,383	0,008	0,094	0,000
D_5__Spirochaeta 2	11,17	24,72	0,050	0,334	0,023	0,134
D_2__Gammaproteobacteria	7,899	32,62	0,024	0,088	0,028	0,244
Paramaledivibacter	5,517	38,14	0,163	0,032	0,018	0,000
Halanaerobium	3,216	41,36	0,096	0,001	0,005	0,000

Tabela 197: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de hidrocoral da espécie *Millepora alicornis* (Campanha 2).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	ABR01	ABRC1	ABR04	ABR02
Spirochaetaceae	10,98	10,98	0,234	0,030	0,148	0,035
Gammaproteobacteria	9,231	20,21	0,174	0,180	0,101	0,227
Spirochaeta	8,989	29,2	0,180	0,153	0,182	0,084
Halanaerobium	7,385	36,58	0,007	0,017	0,123	0,071
Fodinicurvata	6,37	42,95	0,033	0,135	0,000	0,001

### 3.5.3.5 Composição da microbiota no coral *Mussismilia hartii* da região de Abrolhos

Os filos mais abundantes na campanha 1 para o coral da espécie *Mussismilia hartii* foram Proteobactéria (34,89%), Firmicutes (12,27%), Bacteroidetes (10,22%) e Planctomycetes (9,03%) (Figura 510). Já na campanha 2, foram Proteobactéria (28,55%), Acidobactéria (19,29%), Bacteroidetes (10,08%) e Planctomycetes (9,20%). Como destaques da campanha 2 é possível citar a presença maior do filo Proteobactéria na estação ABRC1 (40,57%), assim como a maior presença de Acidobactéria nas estações ABR02 e ABR01 e de Planctomycetes na estação ABRC1 (Figura 511).

Figura 510: Classificação taxonômica das amostras de coral da espécie *Mussismilia hartii* (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

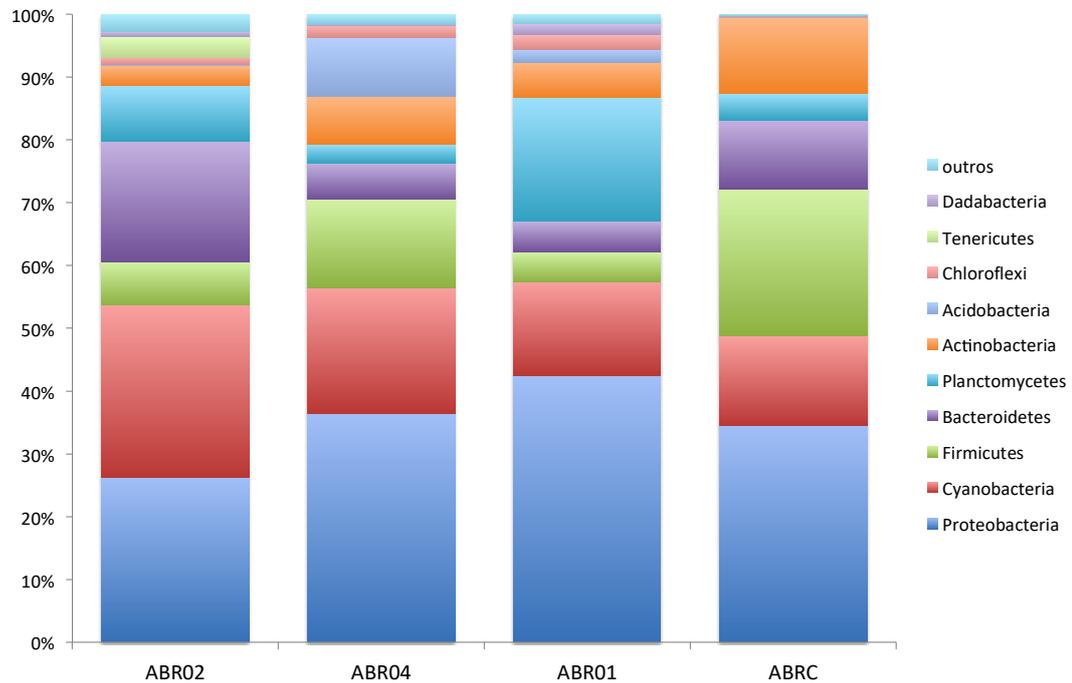
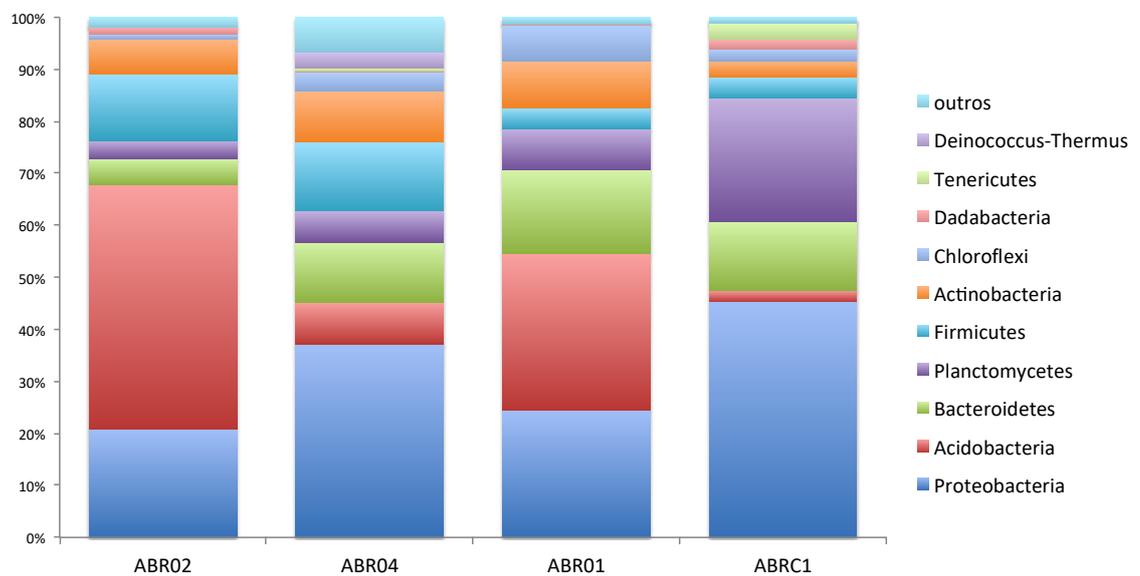


Figura 511: Classificação taxonômica das amostras de coral da espécie *Mussismilia hartii* (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos Filos mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".

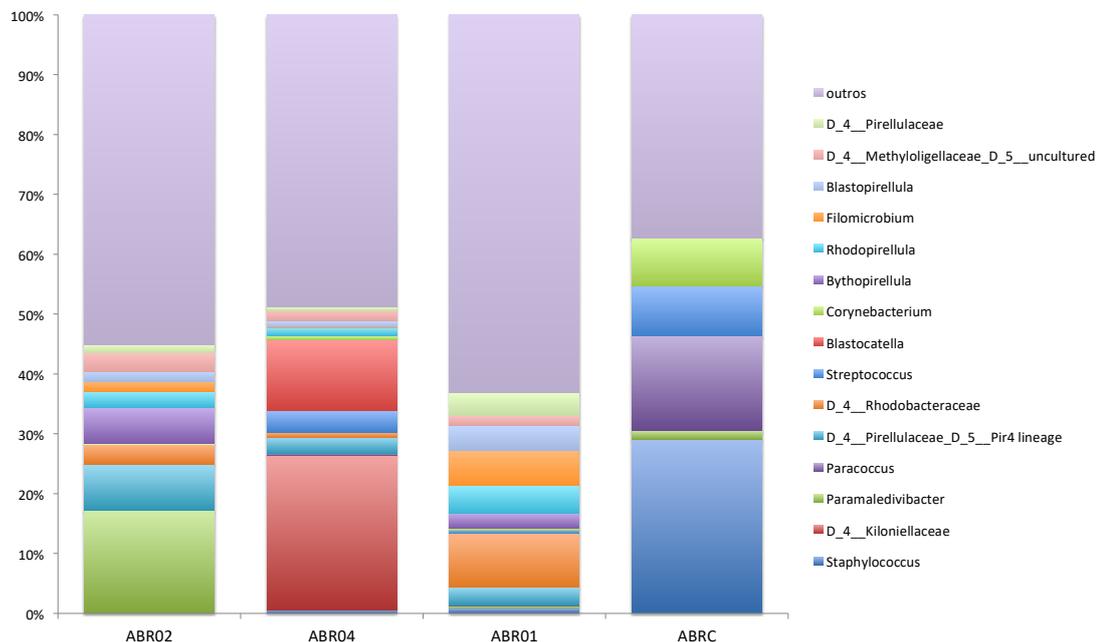


A nível de gênero fica evidente a grande diferença entre os indivíduos da mesma espécie, o que também sugere disbiose para a espécie de coral *M. hartii*, assim como visualizado para *M. alcicornis*. Na campanha 1, o gênero *Blastocatella*, mais abundante na campanha 2, apresentou alta abundância apenas no ponto ABR04 (11,94%) (Figura 512), curiosamente o ponto que não demonstrou alta

abundância na campanha 2. Os resultados da campanha 1, revelaram ainda grande quantidades de *Staphylococcus* (29,14%) e *Paracoccus* (15,82%) no ponto ABRC1, enquanto o ponto ABR04 revelou grande abundancia de *Kiloniellaceae* (25,86%) e o ponto ABR02 apresentou *Paramaledivibacter* (17,18%).

Na campanha 2, foi observado uma presença massiva do gênero *Blastocatella* nas amostras das estações ABR02 e ABR01 com 42,49% e 24,06%, respectivamente (Figura 513). Por outro lado, este mesmo gênero bacteriano não foi observado na estação ABR04 e esteve próximo de 0% na estação ABRC1. Além disso, o gênero da família *Flavobacteriaceae* foi encontrado em alta abundância na estação ABR01 (13,54%). Os corais dos pontos ABR04 e ABRC1 mostraram uma distribuição mais equitativa entre os gêneros, sem a dominância de apenas um ou dois gêneros como nos pontos ABR01 e ABR02. *Blastocatella* ainda não tem o seu possível papel estudado em corais. No entanto, este gênero pertence ao filo *Acidobacteria*, relatado em elevada abundância em coral branqueado (Mouchka, 2010). Cabe também destacar que *Flavobacteriaceae* é um conhecido indicador de estresse ambiental em coral (McDevitt-Irwin, 2017). Estes resultados podem estar revelando um estresse nos corais do ponto ABR01 e ABR02.

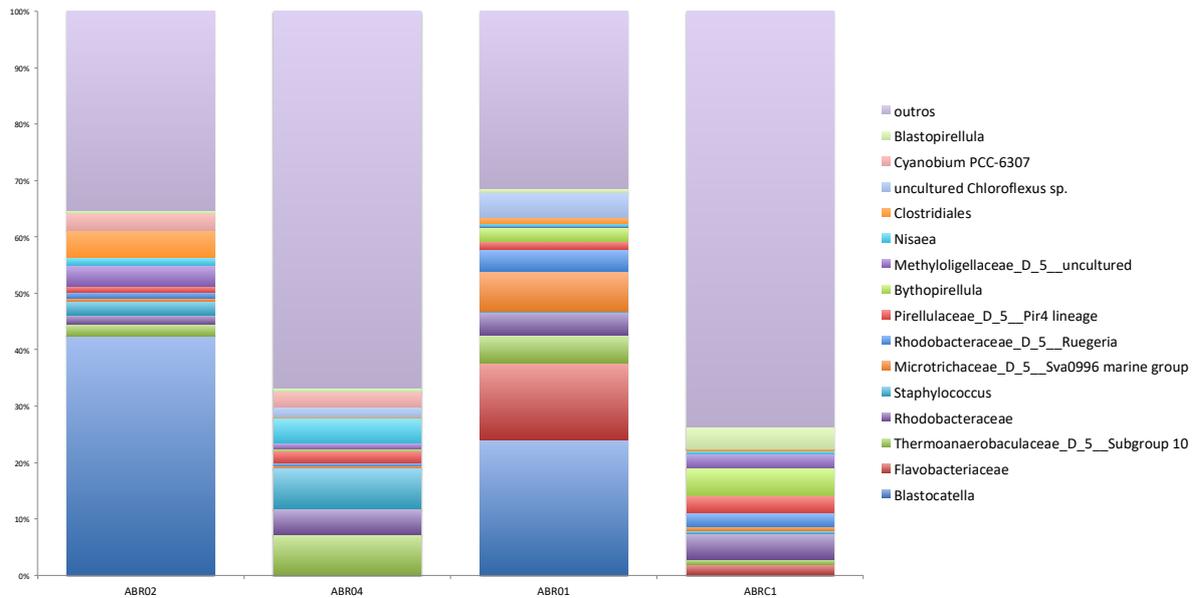
Figura 512: Classificação taxonômica das amostras de coral da espécie *Mussismilia hartii* (Campanha 1). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".



Adicionalmente, a grande abundância em ambas as campanhas de gêneros pertencentes a família *Pirellulaceae*, táxon mais abundante na região mais contaminada do Rio Doce, Linhares (RDL). Esta classe foi sugerida no presente trabalho, como bioindicadora de metais pesados no sedimento do Rio Doce, e agora também é sugerida como bioindicadora da presença do sedimento do Rio Doce e de metais pesados no ambiente marinho. Este grupo bacteriano possui um elevado número de genes de

resistência a metais pesados, o que permite a habilidade de resistir e/ou reduzir metais em altas concentrações. Porém, na campanha 1 a abundância desta classe em todos os corais *M. hartii* de Abrolhos foi de 11,97%, caindo na campanha 2 para 8,32%, o que pode indicar uma possível diminuição do impacto.

Figura 513: Classificação taxonômica das amostras de coral da espécie *Mussismilia hartii* (Campanha 2). São mostradas as abundâncias relativas dos gêneros mais encontrados bem como os menos abundantes identificados como "Outros".



A ordenação gerada com base nos componentes principais das duas campanhas separou as quatro estações, assim como em *M. alcicornis* (Figura 514 e Figura 515), que corrobora a possibilidade de disbiose. Os resultados das campanhas 1 e 2 mostraram ordenação bem similar, havendo uma troca apenas das posições das estações ABRC1 e ABR01. Aparentemente, o perfil microbiano destes dois pontos se correlacionou ao longo do tempo, bem como a influência dos metais analisados, que na campanha 1 estavam agindo mais sobre a estação ABR01 e na campanha 2 sobre ABRC1.

Figura 514: Análise de PCA das amostras de coral da espécie *Mussismilia hartii* (Campanha 1). As setas em vermelho indicam a influência dos metais.

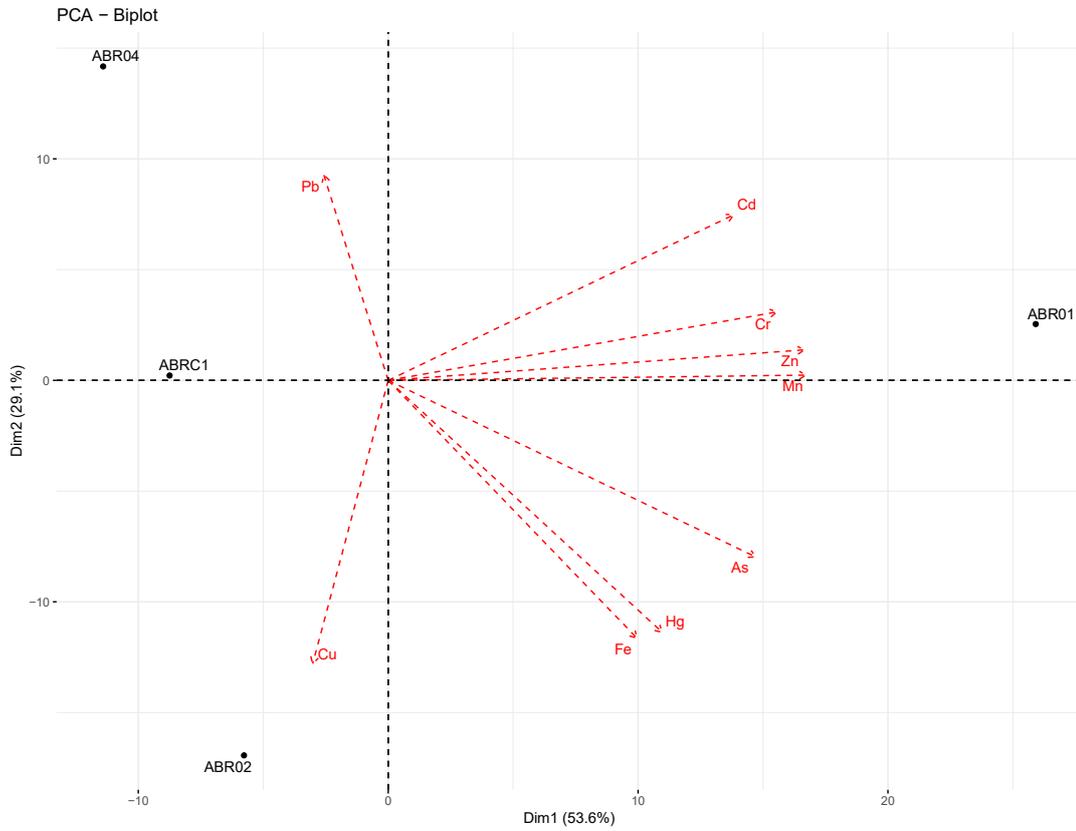
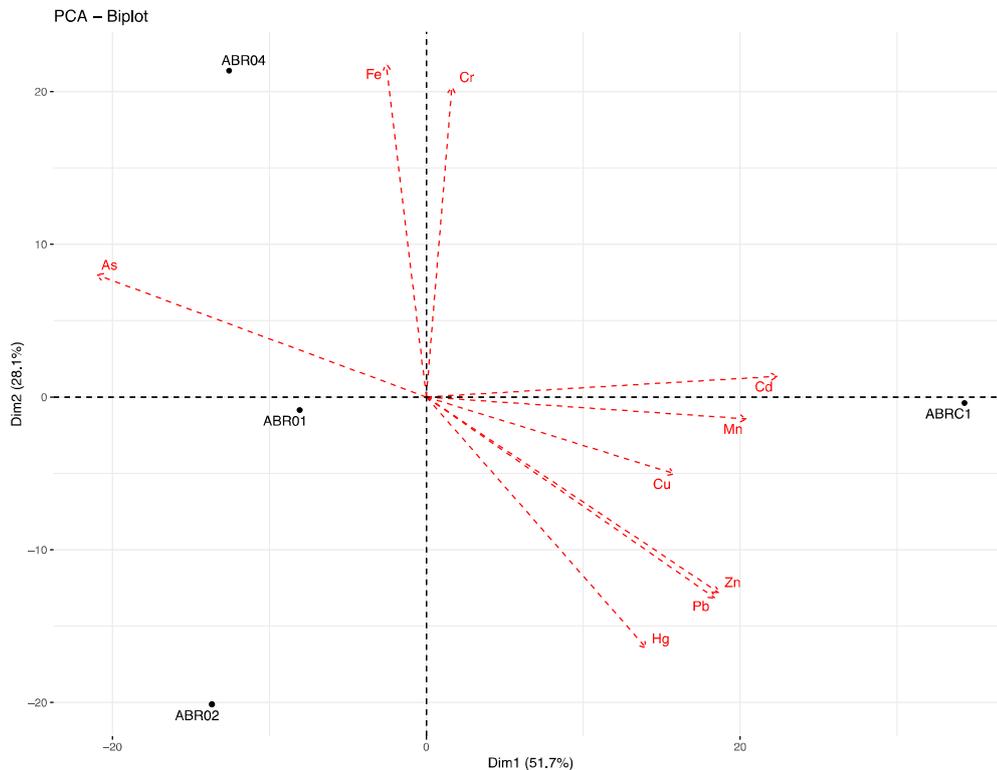


Figura 515: Análise de PCA das amostras de coral da espécie *Mussismilia hartii* (Campanha 2). As setas em vermelho indicam a influência dos metais.



As análises de SIMPER das campanhas 1 e 2 revelaram influência de grupos distintos (Tabela 198 e Tabela 199). Na campanha 1, o gênero *Staphylococcus* foi responsável pela ordenação na estação ABRC1, enquanto que a família *Kiloniellaceae* contribuiu para a estação ABR04. *Paramaledivibacter* e *Rhodobacteraceae* foram relacionadas as estações ABR02 e ABR01, respectivamente. Na campanha 2, a classe *Blastocatellia* foi altamente relacionada com as estações ABR02 e ABR01, sendo responsável por mais de 16% da ordenação deste ponto. A família *Flavobacteriaceae* demonstrou papel importante na ordenação da estação ABR01.

Tabela 198: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de coral da espécie *Mussismilia hartii* (Campanha 1).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	ABR01	ABRC1	ABR04	ABR02
<i>Staphylococcus</i>	8,62	8,65	0,000	0,006	0,009	0,291
D_4__ <i>Kiloniellaceae</i>	7,63	16,25	0,000	0,259	0,000	0,000
<i>Paramaledivibacter</i>	5,18	21,43	0,172	0,000	0,003	0,014
<i>Paracoccus</i>	4,67	26,11	0,000	0,002	0,002	0,158
<i>Blastocatella</i>	3,52	29,64	0,000	0,119	0,000	0,000

Tabela 199: Resultado da análise de percentual de similaridade (SIMPER) para amostras de coral da espécie *Mussismilia hartii* (Campanha 2).

Taxon	Contribuição %	Contribuição Cumulativa %	ABR01	ABRC1	ABR04	ABR02
Blastocatella	16,09	16,09	0,425	0,000	0,241	0,001
Flavobacteriaceae	4,52	20,61	0,000	0,000	0,135	0,018
Thermoanaerobaculaceae	3,02	23,63	0,020	0,072	0,049	0,009
Staphylococcus	2,42	26,06	0,024	0,073	0,003	0,005
Microtrichaceae	2,22	28,28	0,006	0,003	0,071	0,008

A grande diferença na comunidade bacteriana em corais da mesma espécie, até mesmo a nível de filo, relatado para as duas espécies avaliadas e nas duas campanhas, é um forte indício de disbiose. De acordo com princípio ecológico “Anna Kareninna”, indivíduos em disbiose, frequentemente, demonstram uma grande variabilidade na sua comunidade microbiana, quando comparado com indivíduos saudáveis.

E ainda, bactérias pertencentes a família Pirellulaceae estão sendo propostas no presente trabalho, como bioindicadores da presença do sedimento do Rio Doce e de metais pesados em corais de Abrolhos. Este grupo bacteriano foi o mais abundante no sedimento da região do Rio Doce com maior concentração de metais, Linhares (RDL), e ainda, já foi previamente relatado como a mais abundante em sedimentos de outros rios contaminados com metais pesados (Chen, 2018).

Devido ao exposto, foram avaliadas as abundâncias relativas destas bactérias nestes corais, na campanha 1 e campanha 2. Vale ressaltar que a família Pirellulaceae não é comum em corais tropicais e de águas rasas. As análises da comunidade bacteriana associada aos corais demonstraram uma elevada abundância dessas bactérias, principalmente no coral *M. hartii*. A maior abundância nesta espécie de coral pode estar relacionada a sua maior quantidade de muco, o que facilita a captura de bactérias da água do mar. Da primeira para a segunda campanha, houve uma diminuição destas bactérias em *M. hartii* nos pontos ABR01 (21,56 para 5,26%) e ABR02 (20,40 para 2,40%), aumento no ponto ABRC1 (0 para 19,29%), e se manteve constante no ponto ABR03 (5,93 para 5,26%).

Para a espécie de hidrocoral *M. alcornis*, este potencial bioindicador foi visualizado em menor abundância, sendo elevado apenas em dois pontos da campanha 1 ABR01 (12,09%) e ABRC1 (3,57%). Na campanha 2 também houve uma diminuição na sua porcentagem, ficando menor que 1% em todos os pontos.

Pelos resultados descritos acima, é possível sugerir que os corais de Abrolhos foram impactados pela presença do sedimento do Rio Doce e que este impacto parece estar diminuindo com o passar do tempo. Impactos que levem a alterações na comunidade bacteriana associada aos corais são um dano muito grave para o animal, pois o seu bacterioma é de extrema importância para a sua saúde e até mesmo evolução. Um coral com a comunidade bacteriana alterada entra no processo chamado de disbiose, o que torna o organismo muito mais sensível a outros agentes estressores como aumento da

temperatura, diminuição do pH ou a presença de outros contaminantes. Pequenas alterações ambientais que não causariam dano aos corais, podem levar corais em disbiose a morte. A morte de corais dentro do ecossistema recifal pode levar o ecossistema a um colapso, transformando um ambiente extremamente diverso em um ambiente dominado quase que exclusivamente por algas. Isto fica ainda mais grave por se tratar do Arquipélago dos Abrolhos, ambiente que abriga a maior biodiversidade marinha de todo Atlântico Sul.

Principais conclusões:

As análises microbiológicas nas amostras do Rio Doce revelaram diferença dos pontos localizados na calha do rio, comparados aos localizados em lagoas adjacentes. De maneira geral, tanto amostras localizadas no Rio Doce quanto em lagoas adjacentes apresentam influência da presença de metais pesados na formação e manutenção das comunidades microbianas, porém, precisam ser analisadas separadamente por apresentarem características distintas de ambiente, que interferem diretamente na microbiota.

As amostras de sedimento dos pontos localizados no Rio Doce apresentaram melhor possibilidade de mapeamento e acompanhamento de grupos microbianos. Entre as amostras do rio, no ponto com maior concentração de metais (Linhares – RDL), dos 7 táxons mais abundantes 6 já haviam sido previamente descritos em alta abundância em outros locais também contaminados com metais pesados. Por isso, são sugeridos no presente trabalho como potenciais bioindicadores de metais pesados no Rio Doce, são eles: Pirellulaceae, Gaiellales, Gemmatimonadaceae, Nitrosomonadaceae, Anaeromyxobacter, Latescibacteria. Além destes táxons, foi possível ainda identificar o aumento de grupos microbianos com capacidade ANAMMOX, o que pode estar relacionado com a presença de metais pesados. Neste contexto, a família Anaerolineacea (filo Planctomycetes), foi o táxon mais abundante em todas as amostras de sedimento do Rio Doce, e é sugerida como potencial bioindicador da presença do sedimento do Rio Doce e de metais pesados em outros ambientes. Anaerolineaceae já foi descrita previamente como o táxon mais abundante em ambiente severamente impactado com metais pesados.

Nas amostras de sedimento marinho, podemos destacar este potencial bioindicador (Anaerolineaceae) em concentrações mais elevada nas amostras da foz do Rio Doce, tendo a sua concentração diminuída gradativamente ao se afastar da foz, tanto para o norte quanto para o sul. Outro gênero com alta abundância média em todas as amostras de sedimento marinho foi Rhodopirellula. Este gênero pertence à família Pirellulaceae (filo Planctomycetes), família esta que já foi sugerida como bioindicadora de metais pesados no sedimento do Rio Doce, e agora também é sugerida como bioindicadora da presença do sedimento do Rio Doce e de metais pesados no ambiente marinho. Este grupo bacteriano possui um elevado número de genes de resistência a metais pesados, o que permite a habilidade de resistir e/ou reduzir metais em altas concentrações, e apresentou sua maior abundância, justamente na porção do Rio Doce mais contaminado com metal pesado.

Estes resultados sugerem a influência do sedimento do Rio Doce na comunidade bacteriana do sedimento marinho de todas as regiões costeiras adjacentes avaliadas. As bactérias do sedimento marinho possuem papel fundamental na funcionalidade do ambiente marinho, como funções

importantes nos ciclos biogeoquímicos, ciclagem de nutrientes e metabolismo final de compostos orgânicos. Alterações na comunidade bacteriana destes ambientes podem afetar de forma drástica todo o ecossistema.

Nas análises da comunidade bacteriana associada aos corais, podemos destacar ainda, para os corais da espécie *M. hartii*, a presença de táxons bacterianos que estão intimamente relacionados ao branqueamento de corais (Acidobacteria), bem como a conhecidos indicadores de stress em coral (Flavobacteriaceae). Além disso, a grande diferença na comunidade bacteriana em corais da mesma espécie relatada no presente estudo, é um forte indício, que corrobora com os dados anteriores, para uma possível disbiose nos corais avaliados. Um coral em disbiose esta mais sensível a outros possíveis estressores ambientais, como aumento da temperatura, esgoto e a presença de hidrocarbonetos de petróleo, que afeta no momento grande parte do litoral nordestino. Neste sentido, pequenas alterações ambientais que não causariam danos aos corais de Abrolhos, podem desencadear uma grande mortalidade no ecossistema mais biodiverso do Atlântico Sul.

Pela elevada abundância de Pirellulaceae nestes corais, potencial bioindicador abordado no presente estudo, é possível sugerir que os corais de Abrolhos estão impactados, ou sejam em disbiose, possivelmente devido a presença do sedimento do Rio Doce e metais pesados relacionados ao rompimento da barragem de Mariana.

### 3.6 META 6: MONITORAMENTO ECOTOXICOLÓGICO DE AVES

Todas as aves amostradas receberam uma numeração sequencial de três dígitos (#000), correspondente ao indivíduo da espécie que foi amostrada, independentemente do método (capturada, coletada ou recolhida; Quadro 19 e Quadro 20). A amostra e o material, referente à ave amostrada, receberam uma etiqueta ou marcação, com a respectiva numeração de campo. Cada número de campo possui informações do nome científico, local da amostra com coordenadas geográficas, data da amostra, nome do coletor, método de obtenção da amostra, bem como outras informações e observações pertinentes. As informações correspondentes à relação das amostras obtidas foram organizadas pela sequência dos números de campo (Quadro 21).

Quadro 19: Locais amostrados e respectivos métodos de coleta utilizados em cada local durante o período de 16 de setembro a 11 de outubro de 2018, na execução da campanha 1 do Anexo 1.

Município	Localidade	Coordenadas (DATUM WGS 84)	Método
Aracruz	Mangue Pontal Piraquê-açu	19°57'0.28"S, 40° 9'23.98"O	Captura
		19°57'0.44"S, 40° 9'19.70"O	
		19°57'0.85"S, 40° 9'24.15"O	
		19°57'1.19"S, 40° 9'23.11"O	
		19°57'1.24"S, 40° 9'19.87"O	
		19°56'59.30"S, 40° 9'25.80"O	Coleta
		19°57'0.76"S, 40° 9'18.33"O	
		19°57'0.76"S, 40° 9'18.33"O	

Município	Localidade	Coordenadas (DATUM WGS 84)	Método
		19°57'0.80"S, 40° 9'17.8"O	
	Manguezal Piraquê-açu	19°57'17.1"S, 40°10'18.5"O	
	Mangue Pontal Piraquê-açu	19°57'7.60"S, 40° 9'49.3"O	
Regência Augusta	Estuário Foz Rio Doce, Ilha	19°37'20.25"S, 39°48'53.04"O	Captura
		19°37'20.68"S, 39°48'54.62"O	
		19°37'20.85"S, 39°48'56.40"O	
		19°37'21.13"S, 39°48'58.63"O	
	Estuário Foz Rio Doce	19°38'1.81"S, 39°49'26.56"O	
		19°38'3.57"S, 39°49'26.67"O	
		19°38'7.46"S, 39°49'26.13"O	
	Estuário Foz Rio Doce, Ilha	19°36'59.95"S, 39°48'53.79"O	Coleta
		19°37'13.60"S, 39°49'1.70"O	
		19°37'18.63"S, 39°48'58.26"O	
		19°37'20.07"S, 39°48'59.23"O	
		19°37'49.60"S, 39°49'20.00"O	
19°38'22.95"S, 39°48'57.38"O			
Estuário Foz Rio Doce	19°38'27.22"S, 39°49'26.70"O	Coleta	
	19°38'5.56"S, 39°49'26.72"O		
	19°38'7.46"S, 39°49'26.13"O		
São Mateus	Praia de Guriri	18°36'30.31"S, 39°43'44.86"O	Captura
		18°36'36.51"S, 39°43'40.83"O	
		18°36'42.13"S, 39°43'44.57"O	
		18°37'2.00"S, 39°43'52.23"O	
		18°36'21.31"S, 39°43'39.01"O	
	Praia de Guriri	18°36'23.8"S, 39°43'50.4"O	Coleta
		18°36'31.23"S, 39°44'09.27"O	
		18°36'32.81"S, 39°43'39.92"O	
		18°37'52.73"S, 39°44'10.31"O	
		18°37'57.10"S, 39°44'12.45"O	
		18°40'56.73"S, 39°44'42.01"O	
		18°37'0.99"S, 39°43'50.06"O	
	18°38'49.53"S, 39°44'22.47"O	Recolhimento	

Quadro 20: Locais amostrados e respectivos métodos de coleta utilizados em cada local durante o período de 15 a 30 de janeiro de 2019, na execução da campanha 2 do Anexo 1.

Município/ Estado	Localidade	Local das amostras Coordenadas (DATUM WGS 84)	Método
Aracruz-ES	Pontal Piraquê-açu	19°57'17.1"S; 40°10'18.5"O	Coleta
		19°57'1.24"S; 40° 9'19.87"O	Captura
		19°57'00.67"S; 40°9'25.03"W	

Município/ Estado	Localidade	Local das amostras Coordenadas (DATUM WGS 84)	Método
		19°57'00.67"S; 40°9'25.03"W	Coleta/baixa em rede
		19°57'0.85"S; 40° 9'24.15"O	Captura
		19°57'0.28"S; 40° 9'23.98"O	
		19°56'59,25"S; 40°9'26.22"W	Coleta
	Rodovia ES-010, Praia de Coqueiral	19°56'41.2"S; 40°8'47.0"W	Coleta/atropelada
	Pontal Piraquê-açu	19°37'21.13"S; 39°48'58.63"W	
		19°37'21.13"S; 39°48'58.63"W	Captura
Linhares, ES	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	19°38'7.46"S; 39°49'26.13"W	Captura
		19°38'3.57"S; 39°49'26.67"W	
		19°38'1.81"S; 39°49'26.56"W	
		19°38'06.00"S; 39°49'26.0"W	Coleta
		19°38'03.36"S; 39°49'26.54"W	
		19°38'01.5"S; 39°48'48.3"W	
		19°37'59.62"S; 39°49'26.27"W	
		19°37'59.0"S; 39°48'41.0"W	Coleta
	Praia Regência, Distrito de Regência Augusta	19°37'47"S; 39°49'04.0"W	Coleta
		19°37'24.6"S; 39°49'01.0"W	
	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	19°36'55.9"S; 39°48'49.0"W	Coleta
		19°36'55.70"S; 39°48'48.87"W	Captura
		19°36'53.10"S; 39°48'48.26"W	
		19°36'52.9"S; 39°48'48.9"W	Coleta
São Mateus, ES	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	18°43'22.0"S; 39°44'50.4"O	Coleta/atropelada
		18°36'26.27S; 39°43'55.02"O	Coleta
		18°36'25.55S; 39°44'3.12"O	
		18°36'23.53"S; 39°44'2.75"O	Captura
		18°36'22.33"S; 39°44'3.93"O	
		18°36'22.31"S; 39°44'40.58"O	Coleta/atropelada
		18°36'22.31"S; 39°44'0.32"O	Coleta
		18°36'31.47"S, 39°44'9.17"O	
		18°36'21.50"S; 39°44'5.75"O	
		18°36'21.33"S; 39°44'3.93"O	Captura
		18°36'21.12"S; 39°44'6.56"O	Coleta
		18°36'18.41"S; 39°44'3.93"O	
		18°36'15.36"S; 39°44'5.24"O	Captura

Quadro 21: Amostras de aves obtidas durante as campanhas do Anexo 1 realizadas de 16/09/2018 a 11/10/2018 (campanha 1) e de 15 a 30/01/2019 (campanha 2).

No. Camp o	Método	Espécie	Guilda	Ambiente	Data	Localidade	Município/ Estado	Coordenadas (DATUM WGS 84)	Coletor
#001	Coleta	<i>Egretta caerulea</i>	Piscívoro e inv. aquático	Mangue	19/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'17.1"S, 40°10'18.5"O	Joenck, C. M.
#002	Coleta	<i>Nyctanassa violacea</i>	Piscívoro e inv. aquático	Mangue	20/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'7.60"S, 40°9'49.3"O	Joenck, C. M.
#003	Coleta	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	20/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.76"S, 40°9'18.33"O	Joenck, C. M.
#004	Coleta	<i>Actitis macularius</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	20/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.80"S, 40°9'17.8"O	Joenck, C. M.
#005	Coleta	<i>Crotophaga major</i>	Onívoro	Mangue	21/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°56'59.30"S, 40°9'25.80"O	Joenck, C. M.
#006	Coleta	<i>Fluvicola nengeta</i>	Insetívoro	Mangue	22/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.76"S, 40°9'18.33"O	Joenck, C. M.
#007	Captura	<i>Egretta caerulea</i>	Piscívoro e inv. aquático	Mangue	21/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'1.24"S, 40°9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#008	Captura	<i>Chloroceryle americana</i>	Piscívoro	Mangue	21/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.28"S, 40°9'23.98"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#009	Captura	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Onívoro	Mangue	21/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.85"S, 40°9'24.15"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#010	Captura	<i>Chloroceryle americana</i>	Piscívoro	Mangue	21/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.28"S, 40°9'23.98"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#011	Captura	<i>Myiozetestes similis</i>	Onívoro	Mangue	21/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.44"S, 40°9'19.70"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#012	Captura	<i>Myiozetestes similis</i>	Onívoro	Mangue	21/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.44"S, 40°9'19.70"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#013	Captura	<i>Nyctanassa violacea</i>	Piscívoro e inv. aquático	Mangue	21/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.44"S, 40°9'19.70"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#014	Captura	<i>Amazilia versicolor</i>	Nectarívoro e insetívoro	Mangue	21/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.85"S, 40°9'24.15"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#015	Captura	<i>Conirostrum bicolor</i>	Onívoro	Mangue	22/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.28"S, 40°9'23.98"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#016	Captura	<i>Dendroplex picus</i>	Insetívoro	Mangue	22/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.28"S, 40°9'23.98"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#017	Captura	<i>Paroaria dominicana</i>	Granívoro	Mangue	22/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.85"S, 40°9'24.15"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#018	Captura	<i>Conirostrum bicolor</i>	Onívoro	Mangue	22/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.28"S, 40°9'23.98"O	Joenck, C. M e Repenning, M.

No. Camp o	Método	Espécie	Guildd	Ambiente	Data	Localidade	Município/ Estado	Coordenadas (DATUM WGS 84)	Coletor
#019	Captura	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Onívoro	Mangue	21/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.28"S, 40° 9'23.98"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#020	Captura	<i>Paroaria dominicana</i>	Onívoro	Mangue	22/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.85"S, 40° 9'24.15"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#021	Captura	<i>Actitis macularius</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	22/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'1.19"S, 40° 9'23.11"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#022	Captura	<i>Myiozetetes similis</i>	Onívoro	Mangue	22/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'1.24"S, 40° 9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#023	Captura	<i>Dendroplex picus</i>	Insetívoro	Mangue	22/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.28"S, 40° 9'23.98"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#024	Captura	<i>Dendroplex picus</i>	Insetívoro	Mangue	22/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.28"S, 40° 9'23.98"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#025	Captura	<i>Myiarchus tyrannulus</i>	Onívoro	Mangue	22/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.44"S, 40° 9'19.70"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#026	Captura	<i>Dendroplex picus</i>	Insetívoro	Mangue	22/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.44"S, 40° 9'19.70"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#027	Captura	<i>Chloroceryle americana</i>	Piscívoro	Mangue	22/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.28"S, 40° 9'23.98"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#028	Captura	<i>Chloroceryle americana</i>	Piscívoro	Mangue	22/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.28"S, 40° 9'23.98"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#029	Captura	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Onívoro	Mangue	22/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'1.24"S, 40° 9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#030	Captura	<i>Amazilia versicolor</i>	Nectarívoro e insetívoro	Mangue	24/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.44"S, 40° 9'19.70"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#031	Captura	<i>Chloroceryle americana</i>	Piscívoro	Mangue	24/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.44"S, 40° 9'19.70"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#032	Captura	<i>Euphonia violacea</i>	Frugívoro	Mangue	24/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.44"S, 40° 9'19.70"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#033	Captura	<i>Columbina talpacoti</i>	Granívoro	Mangue	24/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'1.24"S, 40° 9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#034	Captura	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Onívoro	Mangue	24/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.28"S, 40° 9'23.98"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#035	Captura	<i>Dendroplex picus</i>	Insetívoro	Mangue	24/09/2018	Pontal Piraquê-açu	Aracruz-ES	19°57'0.44"S, 40° 9'19.70"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#036	Captura	<i>Sporophila collaris</i>	Granívoro	Estuário, ilha	26/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'20.25"S, 39°48'53.04"W	Joenck, C. M e Repenning, M.

No. Camp o	Método	Espécie	Guildd	Ambiente	Data	Localidade	Município/ Estado	Coordenadas (DATUM WGS 84)	Coletor
#037	Captura	<i>Certhiaxis cinnamomea</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	26/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'20.68"S, 39°48'54.62"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#038	Captura	<i>Pseuocolopteri x sclateri</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	26/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'20.25"S, 39°48'53.04"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#039	Captura	<i>Vanellus chilensis</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Estuário, ilha	26/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'20.85"S, 39°48'56.40"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#040	Coleta	<i>Phaetusa simplex</i>	Piscívoro	Estuário	26/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'22.95"S, 39°48'57.38"W	Repenning, M.
#041	Captura	<i>Anthus lutescens</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	26/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'21.13"S, 39°48'58.63"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#042	Captura	<i>Certhiaxis cinnamomea</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	26/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'20.68"S, 39°48'54.62"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#043	Captura	<i>Sporophila collaris</i>	Granívoro	Estuário, ilha	26/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'20.25"S, 39°48'53.04"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#044	Coleta	<i>Rallus longirostris</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Estuário	26/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'13.60"S, 39°49'1.70"W	Joenck, C. M.
#045	Coleta	<i>Crotophaga major</i>	Onívoro	Estuário	27/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'49.60"S, 39°49'20.00"W	Joenck, C. M.
#046	Coleta	<i>Porzana albicollis</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Estuário	27/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'18.63"S, 39°48'58.26"W	Joenck, C. M.
#047	Coleta	<i>Anthus lutescens</i>	Insetívoro	Estuário	26/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'20.07"S, 39°48'59.23"W	Joenck, C. M.
#048	Coleta	<i>Egretta thula</i>	Piscívoro e inv. aquático	Estuário	27/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'27.22"S, 39°49'26.70"W	Joenck, C. M.
#049	Captura	<i>Crotophaga major</i>	Onívoro	Estuário	28/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'6.76"S, 39°49'26.97"W	Joenck, C. M e Repenning, M.

No. Camp o	Método	Espécie	Guildd	Ambiente	Data	Localidade	Município/ Estado	Coordenadas (DATUM WGS 84)	Coletor
#050	Captura	<i>Tolmomyias flaviventer</i>	Insetívoro	Estuário	28/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'6.76"S, 39°49'26.97"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#051	Captura	<i>Tolmomyias flaviventer</i>	Insetívoro	Estuário	28/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'6.76"S, 39°49'26.97"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#052	Coleta	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Onívoro	Estuário	28/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'7.46"S, 39°49'26.13"W	Joenck, C. M.
#053	Captura	<i>Myrmoterula axilaris</i>	Insetívoro	Estuário	28/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'7.46"S, 39°49'26.13"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#054	Captura	<i>Myiarchus ferox</i>	Onívoro	Estuário	28/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'7.46"S, 39°49'26.13"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#055	Captura	<i>Stelgidopterix ruficollis</i>	Insetívoro	Estuário	28/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'3.57"S, 39°49'26.67"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#056	Captura	<i>Glaucis hirsutus</i>	Nectarívoro e insetívoro	Estuário	28/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'3.57"S, 39°49'26.67"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#057	Captura	<i>Egretta thula</i>	Piscívoro e inv. aquático	Estuário	28/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'3.57"S, 39°49'26.67"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#058	/	/	/	/	/	/	/	/	/
#059	Coleta	<i>Amazonetta brasiliensis</i>	Filtradores	Estuário	30/09/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°36'59.95"S, 39°48'53.79"W	Repenning, M.
#060	Captura	<i>Stelgidopterix ruficollis</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	01/10/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'1.81"S, 39°49'26.56"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#061	Captura	<i>Tolmomyias flaviventer</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	01/10/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'1.81"S, 39°49'26.56"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#062	Captura	<i>Stelgidopterix ruficollis</i>	Insetívoro	Estuário	01/10/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'3.57"S, 39°49'26.67"W	Joenck, C. M e Repenning, M.

No. Camp o	Método	Espécie	Guildd	Ambiente	Data	Localidade	Município/ Estado	Coordenadas (DATUM WGS 84)	Coletor
#063	Captura	<i>Stelgidopterix ruficollis</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	01/10/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'1.81"S, 39°49'26.56"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#064	Captura	<i>Stelgidopterix ruficollis</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	01/10/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'1.81"S, 39°49'26.56"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#065	Coleta	<i>Megaceryle torquata</i>	Piscívoro	Estuário	01/10/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'5.56"S, 39°49'26.72"W	Joenck, C. M.
#066	Captura	<i>Chloroceryle americana</i>	Piscívoro	Estuário, ilha	01/10/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'1.81"S, 39°49'26.56"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#067	Captura	<i>Celeus flavescens</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	01/10/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'1.81"S, 39°49'26.56"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#068	Captura	<i>Eupetონema macroura</i>	Nectarívoro e insetívoro	Estuário	02/10/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'1.81"S, 39°49'26.56"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#069	Captura	<i>Chloroceryle americana</i>	Piscívoro	Estuário	02/10/2018	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'1.81"S, 39°49'26.56"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#070	Coleta	<i>Mimus gilvus</i>	Onívoro	Costeiro	03/10/2018	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°37'57.10"S, 39°44'12.45"O	Joenck, C. M.
#071	Coleta	<i>Arenaria interpres</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	04/10/2018	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'23.8"S, 39°43'50.4"O	Joenck, C. M.
#072	Coleta	<i>Thalasseus maximus</i>	Piscívoro	Costeiro	04/10/2018	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'32.81"S, 39°43'39.92"O	Repenning, M.
#073	Coleta	<i>Thalasseus acutiflavus</i>	Piscívoro	Costeiro	05/10/2018	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'21.31"S, 39°43'39.01"O	Repenning, M.
#074	Coleta	<i>Progne tapera</i>	Insetívoro	Costeiro	05/10/2018	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°37'52.73"S, 39°44'10.31"O	Joenck, C. M.
#075	Coleta/atropelada	<i>Progne tapera</i>	Insetívoro	Costeiro	05/10/2018	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°38'49.53"S, 39°44'22.47"O	Repenning, M.

No. Camp o	Método	Espécie	Guildd	Ambiente	Data	Localidade	Município/ Estado	Coordenadas (DATUM WGS 84)	Coletor
#076	Captura	<i>Thalasseus acutiflavus</i>	Piscívoro	Costeiro	05/10/2018	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'30.31"S, 39°43'44.86"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#077	Coleta/ Recolhimento	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	06/10/2018	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°37'0.99"S, 39°43'50.06"O	Repenning, M.
#078	Captura	<i>Pluvialis squatarola</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	06/10/2018	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'55.81"S, 39°43'47.57"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#079	Captura	<i>Egretta thula</i>	Piscívoro e inv. aquático	Costeiro	06/10/2018	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'36.51"S, 39°43'40.83"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#080	Captura	<i>Chordeiles cf. pusilus</i>	Insetívoro	Costeiro	07/10/2018	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°37'2.00"S, 39°43'52.23"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#081	Captura	<i>Tringa semipalmata</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	07/10/2018	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'30.31"S, 39°43'44.86"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#082	Captura	<i>Egretta caerulea</i>	Piscívoro e inv. aquático	Costeiro	09/10/2018	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'42.13"S, 39°43'44.57"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#083	Coleta	CRUSTACEA		Costeiro	08/10/2018	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'31.23"S, 39°44'9.27"O	Joenck, C. M.
#084	Coleta	<i>Guira guira</i>	Onívoro	Costeiro	06/10/2018	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°40'56.73"S, 39°44'42.01"O	Joenck, C. M.
#085	Coleta	<i>Egretta caerulea</i>	Piscívoro e inv. aquático	Mangue	15/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'17.1"S, 40°10'18.5"O	Joenck, C. M.
#086	Coleta	<i>Nyctanassa violacea</i>	Piscívoro e inv. aquático	Mangue	15/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'17.1"S, 40°10'18.5"O	Repenning, M.
#087	Captura	<i>Fluvicola nengeta</i>	Insetívoro	Mangue	15/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'0.28"S, 40°9'23.98"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#088	Captura	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	15/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'1.24"S, 40°9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#089	Captura	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	15/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'1.24"S, 40°9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#090	Captura	<i>Actitis macularius</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	15/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'1.24"S, 40°9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.

No. Camp o	Método	Espécie	Guildd	Ambiente	Data	Localidade	Município/ Estado	Coordenadas (DATUM WGS 84)	Coletor
#091	Captura	<i>Actitis macularius</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	15/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'1.24"S, 40° 9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#092	Captura	<i>Actitis macularius</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	15/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'00.67"S; 40°9'25.03"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#093	Captura	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Onívoro	Mangue	15/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'0.85"S, 40° 9'24.15"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#094	Captura	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	15/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'1.24"S, 40° 9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#095	Captura	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	15/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'1.24"S, 40° 9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#096	Captura	<i>Dendroplex picus</i>	Insetívoro	Mangue	15/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°37'21.13"S, 39°48'58.63"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#097	Captura	<i>Sicalis flaveola</i>	Granívoro	Mangue	15/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'1.24"S, 40° 9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#098	Captura	<i>Actitis macularius</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	15/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'00.67"S; 40°9'25.03"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#099	Captura	<i>Chloroceryle americana</i>	Piscívoro	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'00.67"S; 40°9'25.03"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#100	Coleta	<i>Megaceryle torquata</i>	Piscívoro	Mangue	15/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°56'59,25"S; 40°09'26,22"W	Repenning, M.
#101	Captura	<i>Actitis macularius</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°37'21.13"S, 39°48'58.63"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#102	Captura	<i>Chloroceryle americana</i>	Piscívoro	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'0.85"S, 40° 9'24.15"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#103	Captura	<i>Dendroplex picus</i>	Insetívoro	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'1.24"S, 40° 9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#104	Captura	<i>Actitis macularius</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'1.24"S, 40° 9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#105	Captura	<i>Chloroceryle americana</i>	Piscívoro	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'1.24"S, 40° 9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#106	Captura	<i>Actitis macularius</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'1.24"S, 40° 9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#107	Captura	<i>Conirostrum bicolor</i>	Onívoro	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°37'21.13"S, 39°48'58.63"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#108	Captura	<i>Actitis macularius</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'00.67"S; 40°9'25.03"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#109	Captura	<i>Actitis macularius</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'1.24"S, 40° 9'19.87"O	Joenck, C. M e Repenning, M.

No. Camp o	Método	Espécie	Guildd	Ambiente	Data	Localidade	Município/ Estado	Coordenadas (DATUM WGS 84)	Coletor
#110	Coleta/ baixa em rede	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°37'21.13"S, 39°48'58.63"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#111	Captura	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Onívoro	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'0.85"S, 40° 9'24.15"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#112	Captura	<i>Nyctanassa violacea</i>	Piscívoro e inv. aquático	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'00.67"S; 40°9'25.03"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#113	Coleta/ baixa em rede	<i>Conirostrum bicolor</i>	Onívoro	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'00.67"S; 40°9'25.03"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#114	Captura	<i>Molothrus bonariensis</i>	Granívoro	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°57'0.85"S, 40° 9'24.15"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#115	Captura	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Onívoro	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°37'21.13"S, 39°48'58.63"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#116	Captura	<i>Amazilia versicolor</i>	Nectarívoro e insetívoro	Mangue	17/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°37'21.13"S, 39°48'58.63"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#117	Captura	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Onívoro	Mangue	17/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°37'21.13"S, 39°48'58.63"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#118	Captura	<i>Fluvicola nengeta</i>	Insetívoro	Mangue	17/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°37'21.13"S, 39°48'58.63"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#119	Captura	<i>Actitis macularius</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	17/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°37'21.13"S, 39°48'58.63"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#120	Captura	<i>Dendroplex picus</i>	Insetívoro	Mangue	17/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°37'21.13"S, 39°48'58.63"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#121	Captura	<i>Dendroplex picus</i>	Insetívoro	Mangue	17/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°37'21.13"S, 39°48'58.63"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#122	Coleta/ baixa em rede	<i>Actitis macularius</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Mangue	16/01/2019	Pontal Piraquê-açu	Aracruz, ES	19°37'21.13"S, 39°48'58.63"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#123	Captura	<i>Chloroceryle amazona</i>	Piscívoro	Estuário	20/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'59.62"S; 39°49'26.27"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#124	coleta	<i>Butorides striata</i>	Piscívoro e inv. aquático	Estuário	20/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'03.36"S, 39°49'26.54"W	Repenning, M.
#125	Captura	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Onívoro	Estuário	20/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'1.81"S, 39°49'26.56"W	Joenck, C. M e Repenning, M.

No. Camp o	Método	Espécie	Guildd	Ambiente	Data	Localidade	Município/ Estado	Coordenadas (DATUM WGS 84)	Coletor
#126	Coleta	<i>Crotophaga major</i>	Onívoro	Estuário	19/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'06.00"S; 39°49'26.0"W	Joenck, C. M.
#127	Captura	<i>Chloroceryle americana</i>	Piscívoro	Estuário	20/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'3.57"S, 39°49'26.67"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#128	Captura	<i>Chloroceryle americana</i>	Piscívoro	Estuário	20/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'3.57"S, 39°49'26.67"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#129	Captura	<i>Megaceryle torquata</i>	Piscívoro	Estuário	20/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'3.57"S, 39°49'26.67"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#130	Captura	<i>Chloroceryle amazona</i>	Piscívoro	Estuário	20/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'3.57"S, 39°49'26.67"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#131	Captura	<i>Caprimulgus parvula</i>	Insetívoro	Estuário	22/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°57'0.28"S, 40° 9'23.98"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#132	Captura	<i>Chloroceryle amazona</i>	Piscívoro	Estuário, ilha	22/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'1.81"S, 39°49'26.56"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#133	Captura	<i>Certhiaxis cinnamomea</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	22/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°36'55.70"S, 39°48'48.87"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#134	Captura	<i>Vanellus cayanus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Estuário, ilha	22/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°36'53.10"S, 39°48'48.26"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#135	Captura	<i>Anthus lutescens</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	22/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°36'53.10"S, 39°48'48.26"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#136	Captura	<i>Furnarius figulus</i>	Insetívoro	Estuário	22/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°36'55.70"S, 39°48'48.87"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#137	Captura	<i>Certhiaxis cinnamomea</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	22/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°36'55.70"S, 39°48'48.87"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#138	Captura	<i>Crotophaga ani</i>	Onívoro	Estuário, ilha	22/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°36'55.70"S, 39°48'48.87"W	Joenck, C. M e Repenning, M.

No. Camp o	Método	Espécie	Guildd	Ambiente	Data	Localidade	Município/ Estado	Coordenadas (DATUM WGS 84)	Coletor
#139	captura	<i>Crotophaga ani</i>	Onívoro	Estuário, ilha	22/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°36'53.10"S, 39°48'48.26"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#140	Captura	<i>Charadrius collaris</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Estuário, ilha	22/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'7.46"S, 39°49'26.13"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#141	Captura	<i>Certhiaxis cinnamomea</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	22/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°36'53.10"S, 39°48'48.26"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#142	Captura	<i>Certhiaxis cinnamomea</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	22/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°36'55.70"S, 39°48'48.87"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#143	Captura	<i>Certhiaxis cinnamomea</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	22/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°36'55.70"S, 39°48'48.87"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#144	Captura	<i>Certhiaxis cinnamomea</i>	Insetívoro	Estuário, ilha	22/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°36'55.70"S, 39°48'48.87"W	Joenck, C. M e Repenning, M.
#145	Coleta	<i>Furnarius figulus</i>	Insetívoro	Estuário	21/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'01.5"S; 39°48'48.3"W	Joenck, C. M.
#146	Coleta	<i>Fluvicola nengeta</i>	Insetívoro	Estuário	21/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°38'01.5"S; 39°48'48.3"W	Joenck, C. M.
#147	coleta	<i>Thalasseus acutiflavus</i>	Piscívoro	costeiro	21/01/2019	Praia Regência, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'24.6"S; 39°49'01.0"W	Joenck, C. M.
#148	coleta	<i>Sterna hirundinacea</i>	Piscívoro	Costeiro	21/01/2019	Praia Regência, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'24.6"S; 39°49'01.0"W	Joenck, C. M.
#149	Coleta	<i>Rynchops niger</i>	Piscívoro	Costeiro	21/01/2019	Praia Regência, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'24.6"S; 39°49'01.0"W	Joenck, C. M.
#150	coleta	<i>Vanellus cayanus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Estuário	21/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°36'52.9"S; 39°48'48.9"W	Joenck, C. M.
#151	/	/	/	/	/	/	/	/	/

No. Camp o	Método	Espécie	Guildd	Ambiente	Data	Localidade	Município/ Estado	Coordenadas (DATUM WGS 84)	Coletor
#152	Coleta	<i>Amazonetta brasiliensis</i>	Filtradores	Estuário	22/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°36'55.9"S; 39°48'49.0"W	Repenning, M.
#153	Coleta	<i>Ardea alba</i>	Piscívoro e inv. aquático	Estuário	23/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'59"S; 39°48'41"W	Joenck, C. M.
#154	Coleta	<i>Thalasseus acutiflavus</i>	Piscívoro	Costeiro	21/01/2019	Praia Regência, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'47"S; 39°49'04"W	Joenck, C. M.
#155	Coleta	<i>Thalasseus acutiflavus</i>	Piscívoro	Costeiro	21/01/2019	Praia Regência, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°37'24.6"S; 39°49'01.0"W	Joenck, C. M.
#156	coleta	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	25/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'18.41"S, 39°44'3.93"O	Joenck, C. M.
#157	Captura	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'22.33"S, 39°44'3.93"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#158	Captura	<i>Charadrius collaris</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'23.53"S, 39°44'2.75"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#159	Captura	<i>Charadrius collaris</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'22.33"S, 39°44'3.93"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#160	captura	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'15.36"S, 39°44'5.24"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#161	Captura	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'15.36"S, 39°44'5.24"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#162	Captura	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'15.36"S, 39°44'5.24"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#163	Captura	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'15.36"S, 39°44'5.24"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#164	Captura	<i>Sicalis flaveola</i>	Granívoro	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'15.36"S, 39°44'5.24"O	Joenck, C. M e Repenning, M.

No. Camp o	Método	Espécie	Guildd	Ambiente	Data	Localidade	Município/ Estado	Coordenadas (DATUM WGS 84)	Coletor
#165	Captura	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'15.36"S, 39°44'5.24"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#166	Captura	<i>Mimus gilvus</i>	Onívoro	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'21.33"S, 39°44'3.93"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#167	Captura	<i>Mimus saturninus</i>	Onívoro	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'21.33"S, 39°44'3.93"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#168	Captura	<i>Actitis macularius</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'15.36"S, 39°44'5.24"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#169	Captura	<i>Pluvialis squatarola</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'15.36"S, 39°44'5.24"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#170	captura	<i>Vanellus chilensis</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'21.33"S, 39°44'3.93"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#171	Captura	<i>Charadrius collaris</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	27/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'15.36"S, 39°44'5.24"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#172	Captura	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	27/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'15.36"S, 39°44'5.24"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#173	Captura	<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	Insetívoro	Costeiro	27/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'21.33"S, 39°44'3.93"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#174	Captura	<i>Columbina squamatta</i>	Granívoro	Costeiro	27/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'21.33"S, 39°44'3.93"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#175	coleta	<i>Chordeiles acutipennis</i>	Insetívoro	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'22.31"S, 39°44'0.32"O	Joenck, C. M.
#176	Coleta	<i>Numenius hudsonicus</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Costeiro	25/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'21.12"S, 39°44'6.56"O	Repenning, M.
#177	Coleta	<i>Anthus lutescens</i>	Insetívoro	Costeiro	28/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'25.55S, 39°44'3.12"O	Repenning, M.

No. Campo	Método	Espécie	Guildd	Ambiente	Data	Localidade	Município/Estado	Coordenadas (DATUM WGS 84)	Coletor
#178	Coleta/atropelada	<i>Mimus gilvus</i>	Onívoro	Costeiro	26/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'22.31"S, 39°44'40.58"O	Joenck, C. M.
#179	Coleta/atropelada	<i>Mimus gilvus</i>	Onívoro	Costeiro	25/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°43'22.0"S, 39°44'50.4"O	Joenck, C. M e Repenning, M.
#180	Coleta	<i>Icterus jamacaii</i>	Onívoro	Costeiro	27/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'21.50"S, 39°44'5.75"O	Joenck, C. M.
#181	Coleta/atropelada	<i>Aramides cajanea</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Restinga/rodovia	24/01/2019	Rodovia ES-010, Praia de Coqueiral	Aracruz, ES	19°56'41.2"S; 40°8'47"W	Joenck, C. M.
#182	coleta	<i>Charadrius collaris</i>	Inv. aquáticos, ovos e larvas anfíbio, peq. vert. e vegetal	Estuário	21/01/2019	Estuário da Foz Rio Doce, Distrito de Regência Augusta	Linhares, ES	19°36'52.9"S; 39°48'48.9"W	Joenck, C. M.
#183	Coleta	<i>Egretta thula</i>	Piscívoro e inv. aquático	Costeiro	27/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'26.27S, 39°43'55.02"O	Joenck, C. M.
#184	Coleta	<i>Egretta caerulea</i>	Piscívoro e inv. aquático	Costeiro	28/01/2019	APA Conceição da Barra, Praia de Guriri	São Mateus, ES	18°36'31.47"S, 39°44'9.17"O	Joenck, C. M.

A captura das aves foi realizada com o uso de redes com malha de 20 mm ou 35 mm, medindo 6, 9, 12 ou 18 m de comprimento por 3 m de altura. Estas redes foram instaladas nos diferentes ambientes das áreas pré-definidas, com auxílio de hastes de alumínio e cordas (Figura 516 à Figura 523). A quantidade de redes utilizadas variou conforme as condições ambientais dos locais de coleta, tendo sido utilizadas no máximo dez redes. O esforço de captura se deu pelo menos ao longo de dois dias/noites consecutivos ou alternados. As aves capturadas (Figura 524) foram acondicionadas em sacos de tecido específicos para contenção destes animais (Figura 525) e levadas até a base de apoio, localizada próxima das redes (Figura 526), onde manipulou-se e identificou-se das aves (Figura 527), bem como a coleta de dados e amostras (Figura 528 e Figura 529) e posterior liberação da ave.

Nas aves capturadas vivas, foram coletadas as seguintes amostras: sangue (máximo de 1% da massa corporal da ave; coleta em microtubo ou frasco de 1,5 ml, sem anticoagulante); penas de contorno e penas em crescimento (mínimo de 5 a 10 penas, para ambos os tipos de penas). A coleta de sangue das aves vivas foi realizada após a limpeza do local com álcool gel 70%, bem como a avaliação da condição física e do estado de estresse da ave. Visando reduzir o nível de estresse, optou-se pela colheita do sangue com agulha de insulina, através de punção da veia ulnar (Figura 530 à Figura 532) ou pelo corte de uma das unhas, no caso de espécimes de menor massa corporal (Figura 533). A quantidade de sangue coletado foi de no máximo 0,2 ml nas aves menores e de 2 ml nas aves com massa corporal superior a 500 g. Após a colheita de sangue, o frasco contendo a amostra foi mantido refrigerado, até ser congelado. A retirada das penas de crescimento e de contorno foi concretizada manualmente com o auxílio de uma pinça (Figura 534 e Figura 535). As amostras de penas foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas refrigeradas, até serem congeladas.

As coletas foram realizadas através do recolhimento de aves encontradas mortas nas áreas amostradas e com os usos de carabinas de ar comprimido (Gamo CFX 4,5; Gamo Black Maxxim 5,5; e pistola Beemam 4,5). Os esforços de coletas foram complementares e direcionados às espécies não capturadas nas redes de neblinas. Cada ave coletada individualmente e acondicionada em saco plástico e, tão logo possível, foi mantida refrigerada em caixa térmica com gelo ou congelada, até ser preparada em laboratório, onde efetivou-se a coleta das seguintes amostras (Figura 536 e Figura 537): sangue coagulado, tecidos do músculo peitoral, parte do fígado e um osso (fêmur). Após isso, identificou-se o sexo da ave, através da visualização das gônadas (Figura 538 e Figura 539), bem como a retirada do trato digestório para separação do conteúdo estomacal, completando assim a coleta das amostras das aves mortas (Figura 540 à Figura 542). Em seguida, efetivou-se a taxidermia dos espécimes (Figura 543). As aves taxidermizadas (Figura 544 e Figura 545) foram provisoriamente acondicionadas em sacos plásticos lacrados e, posteriormente, acondicionadas a seco em caixa de isopor, até o transporte para o Instituto de Ciências Biológicas da FURG, em Rio Grande/RS.

Para todas as aves amostradas foram feitas anotações de morfometria, muda das penas, idade, sexo, peso da ave e, quando presente, coletou-se ectoparasitas e endoparasitas. Para as aves coletadas, adicionalmente, anotou-se o peso total do conteúdo estomacal, coletada a carcaça da ave após a coleta das amostras e realizada a taxidermia da pele do indivíduo, visando o aproveitamento científico e tombamento na Coleção de Aves da FURG (CAFURG). As amostras, exceto as peles taxidermizadas,

foram mantidas congeladas (Figura 546). Após o encerramento da campanha, transportou-se as amostras e peles taxidermizadas, via terrestre até o Instituto de Ciências Biológicas da FURG, em Rio Grande, RS.

Figura 516: Rede para captura de aves instalada às margens do manguezal no Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 517: Rede para captura de aves instalada na foz do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).



Figura 518: Instalação de rede para captura de aves sobre canal na foz do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).



Figura 519: Rede para captura de aves instalada na foz do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).



Figura 520: Rede para captura de aves instalada na região costeira próxima à foz do Rio São Mateus em Conceição da Barra (São Mateus-ES).



Figura 521: Rede para captura de aves instalada no local de abrigo de aves costeiras e limnícolas na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 522: Rede para captura de aves instalada no local de abrigo de aves costeiras e limnícolas na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 523: Rede para captura de aves instalada na APA Conceição da Barra, no local de abrigo de aves costeiras e limnícolas, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 524: Ave capturada em rede instalada na campanha 1.



Figura 525: Aves contidas em sacos na base de apoio para triagem, manipulação das aves capturadas e coleta de amostras durante a campanha 2 no Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 526: Base de apoio para triagem, manipulação e coleta das amostras das aves capturadas na campanha 1.



Figura 527: Manipulação de ave capturada (*Nyctanassa violacea*) para coleta de dados e amostras durante a campanha 2 no Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 528: Coleta de dados de ave capturada (*Pluvialis squatarola*) na campanha 2 na praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 529: Coleta de dados e amostras de aves na campanha 2 na foz do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).



Figura 530: Coleta de amostra de sangue através da punção na veia ulnar de ave capturada na campanha 1.



Figura 531: Coleta de amostra de sangue através da punção na veia ulnar de ave capturada na campanha 2.



Figura 532: Amostra de sangue coletada através da punção na veia ulnar de ave capturada na campanha 2.



Figura 533: Coleta de amostra de sangue através do corte da unha de ave capturada na campanha 1.



Figura 534: Coleta de amostra de pena de ave capturada na campanha 1.



Figura 535: Coleta de amostra de pena de ave capturada na campanha 2.



Figura 536: Coleta laboratorial (Base Oceanográfica da UFES) de amostras das aves capturadas na campanha 1.



Figura 537: Coleta laboratorial (Base Oceanográfica da UFES) de amostras das aves capturadas na 2ª campanha.



Figura 538: Determinação laboratorial (Base Oceanográfica da UFES) do sexo de ave coletada na campanha 1, através da visualização da gônada (testículos).



Figura 539: Determinação laboratorial ( Base Oceanográfica da UFES) do sexo de ave coletada na campanha 2, através da visualização da gônada (ovário).



Figura 540: Exemplos de amostras obtidas em laboratório (Base Oceanográfica da UFES), durante a preparação das aves coletadas na campanha 1.



Figura 541: Exemplos de amostras obtidas de ave coletada na campanha 1 e prontas para serem congeladas.



Figura 542: Exemplos de amostras obtidas e pele taxidermizada de ave coletada na campanha 2.



Figura 543: Carcaça de ave resultante da taxidermia da pele para coleta laboratorial (Base Oceanográfica da UFES) de amostras na campanha 2.



Figura 544: Aves taxidermizadas e acondicionadas provisoriamente até serem transportadas para Rio Grande- RS, visando o aproveitamento científico e tombamento na Coleção de Aves da FURG.



Figura 545: Aves taxidermizadas e acondicionadas para transporte via terrestre até o Instituto de Ciências Biológicas da FURG (Rio Grande-RS).



Figura 546: Acondicionamento das amostras congeladas para serem transportadas até Rio Grande-RS, visando às análises das mesmas e tombamento das aves taxidermizadas na Coleção de Aves da FURG.



### 3.6.1 Campanha 1

#### 3.6.1.1 Área 1 - Aracruz/ES (manguezal)

As capturas e coletas de aves na área de manguezal foram realizadas na localidade de Pontal do Piraquê-açu, próximo à praia de Coqueiral. As redes de captura foram instaladas na borda do mangue (Figura 547), bem como no seu interior (Figura 548). Utilizou-se as redes em locais acessíveis e a instalação foi realizada durante quatro dias. Devido à variação diária da maré, que inundava todo estrato baixo do mangue, houve a necessidade de antecipação do fechamento das redes (Figura 549). Neste caso, o esforço amostral realizado foi de 28 h e 30 min (Tabela 200).

Através do método de captura, obteve-se amostras de 29 indivíduos referentes a 13 espécies de aves, que representaram oito guildas tróficas. Por sua vez, através de disparos com armas de ar comprimido, foram obtidas amostras de seis indivíduos referentes a seis espécies de aves, que representaram quatro guildas tróficas. Nesta primeira área de coleta, foram obtidas amostras de 35 indivíduos referentes a 16 espécies de aves: *Actitis macularis* (Figura 550), *Amazilia versicolor*, *Charadrius semipalmatus*, *Chloroceryle americana* (Figura 551), *Columbina talpacoti*, *Conirostrum bicolor* (Figura 552), *Crotophaga major*, *Dendroplex picus* (Figura 553), *Egretta caerulea* (Figura 554), *Euphonia violacea*, *Myiarchus tyrannulus*, *Myiozetes similis*, *Nyctanassa violacea* (Figura 555), *Paroaria dominicana* e *Pitangus sulphuratus*. Estas espécies representaram oito guildas tróficas: frugívoro (n=1), granívoro (n=2), insetívoro (invertebrados terrestres e aquáticos, n=6), invertebrados aquáticos (n=3), nectarívoro e insetívoro (n=2), onívoro (12), piscívoro (n=5), piscívoro e invertebrados aquáticos (n=3).

Tabela 200: Esforço realizado para obtenção das amostras de aves na campanha 1 em Aracruz-ES, através do método de captura com auxílio de redes.

Data	No. Redes	Horário de abertura	Horário de fechamento	Esforço diário	Esforço total
21/09/2018	6	7:00	14:00	7h	28h e 30 min
21/09/2018		16:00	18:30	4h e 30 min	
22/09/2018		5:00	14:00	9h	
24/09/2018		4:00	12:00	8h	

A variação da quantidade de redes utilizadas e tempo de utilização foi devido as condições ambientais no local.

Figura 547: Rede para captura de aves instalada no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 548: Manguezal sob a influência da maré alta no Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 549: Rede para captura de ave, fechada devido à maré alta, no Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 550: Indivíduo de *Actitis macularis* coletado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 551: Indivíduo de *Chloroceryle amazona* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 552: Indivíduo de *Conirostrum bicolor* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 553: Indivíduo de *Dendroplex picus* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 554: Indivíduo de *Egretta caerulea* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 555: Indivíduo de *Nyctanassa violacea* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



### 3.6.1.2 Área 2 - Regência/ES (estuário e praia)

Nesta área, realizou-se as capturas e coletas de aves na foz do Rio Doce, onde foram depreendidos esforços nas proximidades do porto da cidade de Regência, no braço/canal do rio e nas ilhas próximas da foz do rio. Para obter acesso aos locais das amostras, utilizou-se barco, caiaques e, em alguns pontos, caminhada pela praia. O acesso à margem do rio foi realizado com auxílio de veículo 4x2, tendo sido utilizadas as estradas existentes. Instalou-se as redes de captura numa das ilhas do rio (Figura 556 e Figura 557), nas margens do braço/canal do rio (Figura 558) e sobre o braço/canal do rio (Figura 557 e Figura 558). As redes para captura de aves foram utilizadas durante cinco dias, tendo sido realizado um esforço amostral de 46 h e 30 min (Tabela 201). Através do método de captura, obtiveram-se amostras de 24 indivíduos referentes a 15 espécies de aves, que representaram sete guildas tróficas. Por sua vez, através de disparos com armas de ar comprimido, foram obtidas amostras de nove indivíduos referentes a nove espécies de aves, que representaram seis guildas tróficas. Portanto, na segunda área, foram coletadas amostras de 33 indivíduos referentes a 21 espécies: *Amazonetta brasiliensis*, *Anthus lustescens* (Figura 560), *Celeus flavescens*, *Certhiaxis cinnamomea* (Figura 561), *Chloroceryle americana*, *Crotophaga major* (Figura 562), *Egretta thula*, *Eupetionema macroura* (Figura 559), *Glaucis hirsutus*, *Megaceryle torquata* (Figura 563), *Myiarchus ferox*, *Myrmoterula axilaris* (Figura 564), *Phaetusa simplex*, *Pitangus sulphuratus*, *Porzana albicollis*, *Pseudocolopteryx sclateri*, *Rallus longirostris* (Figura 565), *Sporophila collaris* (Figura 566), *Stelgidopteryx ruficollis* (Figura 567), *Tolmomyias flaviventer* e *Vanellus chilensis* (Figura 568). Estas espécies representaram oito guildas tróficas: filtradores (n=1), granívoro (n=2), insetívoro (terrestres e aquáticos, n=15), invertebrados aquáticos (adultos, ovos e larvas, n=3), nectarívoro e insetívoro (n=2), onívoro (n=4), piscívoro (n=4), piscívoro e invertebrados aquáticos (n=2).

Tabela 201: Esforço realizado para obtenção das amostras de aves na campanha 1 em Regência-ES, com o auxílio de redes de captura.

Data	No. Redes	Horário de abertura	Horário de fechamento	Esforço diário	Esforço total
26/09/2018	5	14:00	18:00	4h	46h e 30 min
27/09/2018		6:00	20:30	14h e 30 min	
28/09/2018		10:00	19:00	9h	
01/10/2018	7	6:00	20:00	14h	
02/10/2018		6:00	11:00	5h	

A variação da quantidade de redes utilizadas e tempo de utilização foi devido as condições ambientais no local.

Figura 556: Rede para captura de aves instalada em ilha inundável, próxima à foz do Rio Doce (Regência-ES).



Figura 557: Rede para captura de aves instalada em ilha próxima à foz do Rio Doce (Regência-ES).

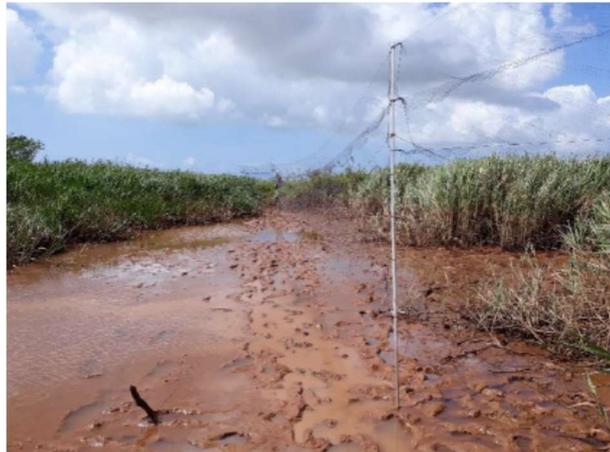


Figura 558: Rede para captura de aves instalada na margem de canal do rio, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).



Figura 559: Indivíduo de *Eupetomena macroura* capturado em rede instalada no canal do rio, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).



Figura 560: Indivíduo de *Anthus lustescens* capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).



Figura 561: Indivíduo de *Certhiaxis cinnamomea* capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).



Figura 562: Indivíduo de *Crotophaga major* capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).



Figura 563: Indivíduo de *Megaceryle torquata* capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).



Figura 564: Indivíduo de *Myrmotherula axilaris* capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).



Figura 565: Indivíduo de *Rallus longirostris* coletado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).



Figura 566: Indivíduo de *Sporophila collaris* capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).



Figura 567: Indivíduo de *Stelgitopterix ruficollis* capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).



Figura 568: Indivíduo de *Vanellus chilensis* capturado no estuário, próximo à foz do Rio Doce (Regência-ES).



### 3.6.1.3 Área 3 - São Mateus/ES (estuário, manguezal e praia)

Na terceira área, as capturas e coletas de aves foram realizadas preferencialmente na porção costeira, tendo os esforços sido realizados na praia de Guriri (São Mateus/ES). Para acessar os locais de amostragem, foi utilizado um veículo 4x2, tendo sido realizado percursos a pé, ao longo da praia. As redes de capturas, instaladas na costa da praia de Guriri (Figura 569 e Figura 570), entre o rio São Mateus e a APA Conceição da Barra. Tais redes foram utilizadas durante cinco dias, sendo depreendido um esforço de 33 h (Tabela 202). Através do método de captura, amostrou-se seis indivíduos referentes a seis espécies de aves, que representaram quatro guildas tróficas. Por sua vez, a coleta realizada através de disparos com armas de ar comprimido forneceram amostras de seis indivíduos, referentes a seis espécies de aves, que representaram quatro guildas tróficas. Adicionalmente, encontrou-se duas aves mortas, sendo uma na praia (*Charadrius semipalmatus*) e a outra atropelada na estrada (*Progne tapera*). Também foi encontrado um item alimentar (Crustacea), predado por uma ave (*Arenaria interpres*). Nesta terceira área, foram coletadas amostras de 15 indivíduos referentes a 13 espécies: *Arenaria interpres* (Figura 571), *Charadrius semipalmatus*, *Chordeiles pusilus*, *Egretta caerulea*, *Egretta thula*, *Guira guira*, *Mimus gilvus*, *Pluvialis squatarola*, *Progne tapera*, *Thalasseus acuflavidus* (Figura 572), *Thalasseus maximus* e *Tringa semipalmata*. Estas espécies representaram cinco guildas tróficas: insetívoro (n=3); invertebrados aquáticos, ovos e larvas, anfíbios, pequenos vertebrados e vegetais (n=4); onívoro (n=2); piscívoro (n=3); piscívoro e invertebrados aquáticos (n=2).

Tabela 202: Esforço realizado para a obtenção das amostras de aves na campanha 1 na praia de Guriri (São Mateus-ES), com auxílio de redes de captura.

Data	No. Redes	Horário de abertura	Horário de fechamento	Esforço diário	Esforço total
04/10/2018	8	17:00	24:00	7h	33h
05/10/2018		24:00	8:00	8h	
06/10/2018	7	15:30	22:30	7h	
07/10/2018		4:00	9:30	5h e 30 min	

Data	No. Redes	Horário de abertura	Horário de fechamento	Esforço diário	Esforço total
07/10/2018		16:00	21:30	5h e 30 min	

A variação da quantidade de redes utilizadas e tempo de utilização foi devido as condições ambientais no local.

Figura 569: Instalação das redes na praia de Guriri, próximo à foz do rio São Mateus e a APA Conceição da Barra (São Mateus-ES).



Figura 570: Instalação de redes para captura de aves na praia de Guriri, próximo à foz do rio São Mateus e a APA Conceição da Barra (São Mateus-ES).



Figura 571: Indivíduo de *Arenaria interpres* coletado na praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 572: Indivíduo de *Thalasseus acuflavidus* capturado na praia de Guriri (São Mateus-ES).



Em resumo, as capturas com redes forneceram 59 amostras de aves que representaram 31 espécies e 8 guildas tróficas. As coletas, pontualmente efetuadas para aquelas espécies de difícil captura e ou para aquelas espécies com amostras faltantes, mesmo após o esforço realizado com as redes de capturas. Através de coletas, foram obtidas 21 amostras de aves que representaram 20 espécies e 6 guildas tróficas. Além disso, encontramos 2 aves mortas, que incrementaram as amostras na 1ª campanha, bem como foi coletado um item alimentar, predado por uma ave. Em Regência-ES (ambiente de estuário), foi possível coletar apenas um indivíduo da guilda Filtradores. Isto se deve ao fato de que as espécies desta guilda trófica (pato e marrecas) se mostram arredias, como consequência da intensa pressão de caça nesta região. Este fato foi confirmado por moradores locais, bem como pelo comportamento registrado para estes animais silvestres durante a realização da campanha em campo, ou seja, a observação de um reduzido número de indivíduos. Era esperada a obtenção de 30 amostras de aves por campanha, sendo pelo menos 2 amostras de 5 guildas tróficas para cada ambiente em

estudo (estuário, manguezais e praias). Considerando-se que não foi possível coletar apenas uma amostra de uma das guildas tróficas previstas, pode-se concluir que a 1ª campanha em campo para monitoramento de aves dulcícolas e estuarinas atingiu 96,7% das amostras definidas no Plano de Trabalho.

### **3.6.2 Campanha 2**

#### **3.6.2.1 Área 01 - Aracruz/ES (manguezal)**

Nesta área, as capturas e coletas de aves foram realizadas no Pontal do Piraquê-Açú, região de Coqueiral (Aracruz-ES). As redes de captura foram instaladas na borda (Figura 573 e Figura 574) e no interior do manguezal (Figura 575), bem como sobre um pequeno canal (Figura 576) que adentra no manguezal (Figura 577). A quantidade de redes utilizadas foi limitada pela dificuldade de acesso aos locais de coleta, bem como à variação diária da maré, que inundava todo estrato baixo do manguezal. Com isso, o período de permanência das redes abertas variou diariamente. No entanto, este método foi aplicado até que a meta das capturas/amostras fosse atingida. O esforço amostral realizado para as capturas neste local totalizou 18h (Tabela 203).

Através do método de captura obtiveram-se amostras de 34 indivíduos referentes a 12 espécies de aves, que representaram 7 guildas tróficas. Dentre estas, houve 1 baixa e 2 coletas para atender as metas amostrais. Adicionalmente, 3 espécimes referentes a 3 espécies foram coletadas através de disparos com armas de ar comprimido. Estas amostras representaram 2 guildas tróficas. Além disso, um espécime foi encontrado atropelado, tendo sido coletado para o incremento do número amostral.

Figura 573: Rede para captura de aves instalada na campanha 2 no Pontal do Piraquê-Açú (Aracruz-ES).



Figura 574: Rede para captura de aves instalada na campanha 2 no Pontal do Piraquê-Açú (Aracruz-ES).



Figura 575: Rede para captura de aves instalada na campanha 2 no Pontal do Piraquê-Açú (Aracruz-ES).



Figura 576: Rede para captura de aves instalada na campanha 2 no Pontal do Piraquê-Açú (Aracruz-ES).



Figura 577: Rede para captura de aves instalada na campanha 2 no Pontal do Piraquê-Açú (Aracruz-ES).



Nos manguezais, obteve-se amostras de 38 indivíduos referentes a 13 espécies: *Actitis macularius* (Figura 578 e Figura 579), *Amazilia versicolor* (Figura 580), *Aramides cajanea* (encontrada atropelada e coletada), *Charadrius semipalmatus*, *Chloroceryle americana* (Figura 582 e Figura 583), *Conirostrum bicolor* (Figura 581), *Dendroplex picus* (Figura 584), *Egretta caerulea* (coletada), *Fluvicola nengeta* (Figura 585), *Megaceryle torquata* (coletada), *Molothrus bonariensis* (Figura 586), *Nyctanassa violacea* (Figura 587 e Figura 588), *Pitangus sulphuratus* (Figura 589) e *Sicalis flaveola*. Estas espécies representaram 7 guildas tróficas: granívoro (n=2), insetívoro (n=6), invertebrados aquáticos (n=17), nectarívoro e insetívoro (n=1), onívoro (6), piscívoro (n=4), piscívoro e invertebrados aquáticos (n=3).

Nas duas campanhas realizadas no ambiente de manguezal, foram obtidas 73 amostras de indivíduos referentes a 20 espécies de aves: *Actitis macularius* (n=13), *Amazilia versicolor* (n=3), *Aramides cajanea* (n=1), *Charadrius semipalmatus* (n=6), *Chloroceryle americana* (n=8), *Columbina talpacoti* (n=1), *Conirostrum bicolor* (n=4), *Crotophaga major* (n=1), *Dendroplex picus* (n=9), *Egretta caerulea* (n=3), *Euphonia violácea* (n=1), *Fluvicola nengeta* (n=3), *Megaceryle torquata* (n=1), *Molothrus bonariensis* (n=1), *Myiarchus tyrannulus* (n=1), *Myiozetetes similis* (n=3), *Nyctanassa violacea* (n=4), *Paroaria dominicana* (n=2), *Pitangus sulphuratus* (n=7) e *Sicalis flaveola* (n=1). Estas aves representaram 7 guildas tróficas: frugívoro (n=1), granívoro (n=4), insetívoro (n=13), invertebrados aquáticos (n=20), nectarívoro e insetívoro (n=3), onívoro (n=18), piscívoro (n=9) e piscívoro e invertebrados aquáticos (n=7).

Tabela 203: Esforço realizado para obtenção das amostras de aves na campanha 2 em Aracruz-ES, com auxílio de redes de captura.

Turno amostral	Local	Data	No. Redes	Horário de abertura	Horário de fechamento	Esforço diário (horas)	Esforço total
Tarde	Mangue Pontal Piraquê-açú	15/01/2019	8	17:30	20:00	2 horas e 30 min.	18 horas
Manhã	Mangue Pontal Piraquê-açú	16/01/2019	8	05:30	11:30	6 horas	
Tarde	Mangue Pontal Piraquê-açú	16/01/2019	8	16:00	20:00	4 horas	
Manhã	Mangue Pontal Piraquê-açú	17/01/2019	8	5:00	10:30	5 horas e 30 min.	

A variação da quantidade de redes utilizadas e tempo de utilização foi devido as condições ambientais no local.

Figura 578: Indivíduo de *Actitis macularius* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 579: Indivíduo de *Actitis macularius* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 580: Indivíduo de *Amazilia versicolor* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 581: Indivíduo de *Conirostrum bicolor* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 582: Macho de *Chloroceryle amazona* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 583: Fêmea de *Chloroceryle amazona* capturada no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 584: Indivíduo de *Dendroplex picus* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 585: Indivíduo de *Fluvicola nengeta* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 586: Indivíduo de *Molothrus bonariensis* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 587: Indivíduo de *Nyctanassa violacea* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 588: Indivíduo de *Nyctanassa violacea* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



Figura 589: Indivíduo de *Pitangus sulphuratus* capturado no manguezal do Pontal do Piraquê-Açu (Aracruz-ES).



### 3.6.2.2 Área 2 - Regência/ES (estuário e praia)

Nesta área, as capturas e coletas de aves foram realizadas na foz do Rio Doce, tendo sido realizado esforços nas proximidades do porto da cidade de Regência, no braço/canal do rio e nas ilhas próximas da foz do rio. Para obter acesso aos locais de amostragem, foram utilizados barcos e caiaques, bem como acessos de pedestres pela praia. As estradas existentes foram utilizadas para chegar à margem do rio. As redes de capturas foram instaladas em uma das ilhas formadas na foz do Rio Doce (Figura 590), nas margens do braço/canal do rio, bem como no braço/canal do rio (Figura 591).

Figura 590: Rede para captura de aves instalada em uma das ilhas da foz do rio Doce em Regência (Linhares-ES).



Figura 591: Rede para captura de aves instalada no canal da foz do rio Doce em Regência (Linhares-ES).



Através do método de captura foi realizado um esforço total de 24 h (Tabela 9). Com isso, foram obtidas amostras de 19 indivíduos referentes a 10 espécies de aves, que representaram quatro guildas tróficas. Através de disparos com armas de ar comprimido, obtiveram-se amostras de 13 indivíduos referentes a 10 espécies, que representaram sete guildas tróficas. Na segunda área, foram obtidas amostras de 31 indivíduos referentes a 18 espécies: *Amazonetta brasiliensis* (coletada, Figura 592), *Anthus lutescens*, *Ardea alba* (coletada, Figura 593), *Butorides striata* (Figura 594), *Caprimulgus parvula* (Figura 595), *Certhiaxis cinnamomea* (Figura 596), *Charadrius collaris*, *Chloroceryle amazona* (Figura 597), *Chloroceryle americana*, *Crotophaga ani* (Figura 598), *Crotophaga major* (coletada), *Fluvicola nengeta* (coletada), *Furnarius figulus* (Figura 599), *Megaceryle torquata*, *Pitangus sulphuratus*, *Rynchops niger* (coletada), *Sterna hirundinacea* (coletada), *Thalasseus acuflavidus* (coletada), e *Vanellus cayanus* (Figura 600 e Figura 601). Estas espécies representaram sete guildas tróficas:

filtradores (n=1), insetívoro (n=11), invertebrados aquáticos (n=4), onívoro (n=4), piscívoro (n=6), piscívoro e invertebrados aquáticos (n=2).

No ambiente de estuário, nas duas campanhas realizadas, foram coletadas 61 amostras de indivíduos referentes a 30 espécies de aves: *Amazonetta brasiliensis* (n=2), *Anthus lutescens* (n=3), *Ardea alba* (n=1), *Butorides striata* (n=1), *Caprimulgus parvula* (n=1), *Celeus flavescens* (n=1), *Certhiaxis cinnamomea* (n=8), *Charadrius collaris* (n=2), *Chloroceryle amazona* (n=3), *Chloroceryle americana* (n=4), *Crotophaga ani* (n=2), *Crotophaga major* (n=3), *Egretta thula* (n=2), *Eupetionema macroura* (n=1), *Fluvicola nengeta* (n=1), *Furnarius figulus* (n=2), *Glaucois hirsutus* (n=1), *Megaceryle torquata* (n=2), *Myiarchus ferox* (n=1), *Myrmoterula axilaris* (n=1), *Phaetusa simplex* (n=1), *Pitangus sulphuratus* (n=2), *Porzana albicollis* (n=1), *Pseudocolopteryx sclateri* (n=1), *Rallus longirostris* (n=1), *Rynchops niger* (n=1), *Sporophila collaris* (n=2), *Stelgidopteryx ruficollis* (n=5), *Sterna hirundinacea* (n=1), *Thalasseus acuflavidus* (n=3), *Tolmomyias flaviventer* (n=3), *Vanellus cayanus* (n=2) e *Vanellus chilensis* (n=1). Estas espécies representaram oito guildas tróficas: granívoro (n=2), insetívoro (n=26), invertebrados aquáticos (n=7), nectarívoro e insetívoro (n=2), onívoro (8), piscívoro (n=4) e piscívoro e invertebrados aquáticos (n=10).

Tabela 204: Esforço realizado para obtenção das amostras de aves na campanha 2 em Regência (Linhares-ES), com auxílio de redes de captura.

Turno amostral	Local	Data	No. Redes	Horário de abertura	Horário de fechamento	Esforço diário (horas)	Esforço total
Manhã/tarde	Estuário Rio Doce, Ilhas, Regência	20/01/2019	11	5:30	17:30	12 horas	24 horas
Tarde/noite	Estuário Rio Doce, Ilhas, Regência	21/01/2019	11	17:30	20:30	3 horas	
Manhã	Estuário Rio Doce, Canal, Regência	22/01/2019	11	4:30	11:30	6 horas	
Noite	Estuário Rio Doce, Canal, Regência	22/01/2019	11	19:00	22:00	3 horas	

A variação da quantidade de redes utilizadas e tempo de utilização foi devido as condições ambientais no local.

Figura 592: Fêmea de *Amazonetta brasiliensis* coletada no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).



Figura 593: Indivíduo de *Ardea alba*, coletada no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).



Figura 594: Indivíduo de *Butorides striata* capturado no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).



Figura 595: Indivíduo de *Caprimulgus parvula* capturado no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).



Figura 596: Indivíduo de *Certhiaxis cinnamomea* capturado no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).



Figura 597: Fêmea de *Chloroceryle amazona* capturada no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).



Figura 598: Indivíduo de *Crotophaga ani* capturado no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).



Figura 599: Indivíduo de *Furnarius figulus* capturado no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).



Figura 600: Indivíduo de *Vanellus cayanu* capturado no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).



Figura 601: Indivíduo de *Vanellus cayanu* capturado no estuário do Rio Doce em Regência (Linhares-ES).



### 3.6.2.3 Área 3 - São Mateus/ES (estuário, manguezal e praia)

Na terceira área, as capturas e coletas de aves foram realizadas preferencialmente na porção costeira, onde foram realizados esforços na praia de Guriri (São Mateus/ES). Para obter acesso aos locais de amostragem utilizamos um veículo 4x2 e alguns percursos a pé pela praia. Instalou-se as redes de capturas ao norte da praia de Guriri, na área da APA da Conceição da Barra, região litorânea, onde foi constatada a existência de um local de abrigo de aves costeiras e límnicas, próximo à foz do Rio São Mateus (Figura 602 à Figura 604).

Para a utilização das redes de capturas foi realizado um esforço amostral de 24 h (Tabela 205). Através do método de captura (Figura 605), adquirimos amostras de 18 indivíduos referentes a dez espécies de aves, que representaram quatro guildas tróficas. As coletas através de disparos com armas de ar comprimido permitiram a obtenção de amostras de seis indivíduos referentes a seis espécies, que representaram quatro guildas tróficas). Adicionalmente, foram encontrados dois indivíduos de *Mimus gilvus* atropelados na estrada de acesso à APA Conceição da Barra, as quais foram coletadas para aproveitamento científico e incremento do número amostral. Ao total, foram coletadas amostras de 27 indivíduos, referentes a 16 espécies: *Actitis macularius* (Figura 606), *Anthus lutescens*, *Charadrius collaris* (Figura 607), *Charadrius semipalmatus* (Figura 608), *Chordeiles acutipennis* (Figura 609), *Columbina squamata*, *Egretta caerulea*, *Egretta thula*, *Icterus jamacaii*, *Mimus gilvus* (Figura 611), *Mimus saturninus* (Figura 612), *Numenius hudsonicus*, *Pluvialis squatarola* (Figura 610), *Sicalis flaveola*, *Stelgidopteryx ruficollis* e *Vanellus chilensis* (Figura 613). Estas espécies representaram cinco guildas tróficas: granívoro (n=2), insetívoro (n=3); invertebrados aquáticos (n=15); onívoro (n=5) e piscívoro e invertebrados aquáticos (n=2).

Com os resultados das duas campanhas realizadas nesta área, foram obtidas 46 amostras de indivíduos referentes a 25 espécies de aves: *Actitis macularius* (n=1), *Anthus lutescens* (n=1), *Arenaria interpres* (n=1), *Charadrius collaris* (n=3), *Charadrius semipalmatus* (n=9), *Chordeiles acutipennis* (n=1), *Chordeiles pusilus* (n=1), *Columbina squamata* (n=1), *Egretta caerulea* (n=2), *Egretta thula* (n=2),

*Guira guira*(n=1), *Icterus jamacaii* (n=1), *Mimus gilvus* (n=4), *Mimus saturninus* (n=1), *Numenius hudsonicus* (n=1), *Pluvialis squatarola* (n=2), *Progne tapera* (n=2), *Rynchops niger* (n=1), *Sicalis flaveola* (n=1), *Stelgidopteryx ruficollis* (n=1), *Sterna hirundinacea* (n=1), *Thalasseus acuflavidus* (n=5), *Thalasseus maximus* (n=1), *Tringa semipalmata* (n=1) e *Vanellus chilensis* (n=1). Estas aves representaram 6 guildas tróficas: granívoro (n=2), insetívoro (n=6), invertebrados aquáticos (n=19), onívoro (n=7), piscívoro (n=8) e piscívoro e invertebrados aquáticos (n=4).

Dentre as amostras obtidas, destaca-se a ocorrência de *Mimus gilvus*. Na campanha 2, as amostras desta espécie foram obtidas através de uma captura e pelo aproveitamento de indivíduos encontrados atropelados (n=2; Figura 614 e Figura 615). Vale lembrar que na campanha 1, a amostra desta espécie foi coletada através do aproveitamento de um indivíduo encontrado atropelado (n=1). Na estrada (~10 km) que corta a primeira linha de dunas costeiras (restinga) ao norte do balneário de Guriri, foi constatada uma alta densidade de indivíduos desta espécie, sendo que o trânsito de veículos nesta área é acentuado e em alta velocidade. Estas amostras são relevantes, devido esta espécie ser considerada ameaçada de extinção no estado de Espírito Santo, na categoria Em Perigo (IEMA, 2005). Esta classificação se dá devido a um declínio populacional contínuo e devido à população desta espécie estar estruturada em uma subpopulação no território capixaba (Simon et al., 2007), apesar de possuir uma grande distribuição no litoral brasileiro, a partir da porção sudeste até o nordeste, onde é restrito ao ambiente arenoso e salino (Sick, 1996; Sigrist, 2006).

Tabela 205: Esforço realizado para obtenção das amostras de aves na campanha 2 na praia de Guriri (São Mateus-ES), através do método de captura com auxílio de redes.

Turno amostral	Local	Data	No. Redes	Horário de abertura	Horário de fechamento	Esforço diário (horas)	Esforço total
Tarde/Noite	Costeiro, Praia ao Norte de Guriri	25/01/2019	11	17:30	19:30	2 horas	24 horas
Manhã	Costeiro, Praia ao Norte de Guriri	26/01/2019	11	4:30	11:00	6 horas e 30 min.	
Tarde/noite	Costeiro, Praia ao Norte de Guriri	26/01/2019	11	20:00	23:59	4 horas	
Noite/manhã	Costeiro, Praia ao Norte de Guriri	27/01/2019	11	24:00	11:30	11 horas e 30 min	

A variação da quantidade de redes utilizadas e tempo de utilização foi devido as condições ambientais no local.

Figura 602: Rede de captura instalada na campanha 2 no local de abrigo de aves costeiras e limnícolas na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 603: Rede de captura instalada campanha 2 no local de abrigo de aves costeiras e limnícolas na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 604: Rede de captura instalada na campanha 2 no local de abrigo de aves costeiras e limnícolas na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 605: Indivíduo de *Charadrius semipalmatus* capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 606: Indivíduo de *Actitis macularius* capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 607: Indivíduo de *Charadrius collaris* capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 608: Indivíduo de *Charadrius semipalmatus* capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 609: Indivíduo de *Chordeiles acutipennis* capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 610: Indivíduo de *Pluvialis squatarola* capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri, (São Mateus-ES).



Figura 611: Indivíduo de *Mimus gilvus* capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 612: Indivíduo de *Mimus saturninus* capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 613: Indivíduo de *Vanellus chilensis* capturado na APA Conceição da Barra, próximo à praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 614: Indivíduo de *Mimus gilvus*, espécie ameaçada de extinção no Espírito Santo. Exemplar encontrado atropelado na ES-010, na restinga da praia de Guriri (São Mateus-ES).



Figura 615: Indivíduo de *Mimus gilvus*, espécie ameaçada de extinção no Espírito Santo. Exemplar encontrado atropelado na ES-010 na restinga da praia de Guriri (São Mateus-ES).



Na campanha 2, utilizando-se redes de captura, foram obtidas 98 amostras de aves, representando 39 espécies e 9 guildas tróficas. Este resultado, somado às amostras obtidas na campanha 1 (83 amostras, representando 31 espécies e 8 guildas tróficas), totaliza 182 amostras, representando 61 espécies e 9 guildas tróficas associadas ao ambiente aquático. Com relação às guildas, originalmente foram previstas apenas 5 guildas (Invertebrados aquáticos; Filtradores; Piscívoros e invertebrados; Piscívoros; e Malacófagos). Porém, não foi possível obter nenhum indivíduo Malacófago, em todos os ambientes amostrados. Entretanto, as guildas ausentes foram substituídas por outras 5 guildas: Nectarívoros e insetívoros; Onívoros; Granívoros; Insetívoros; e Frugívoros.

As coletas foram efetuadas pontualmente para aquelas espécies de difícil captura e/ou para aquelas espécies faltantes de amostras. Na campanha 2, foram coletadas/abatidas 24 aves (n=20 espécies), 2 aves devido baixa em rede (n=2 espécies), bem como 3 aves encontradas atropeladas (n=2 espécies). As amostras obtidas na campanha 2, somadas àquelas obtidas na campanha 1 (21 aves coletadas/abatidas e 2 encontradas mortas, representando 20 espécies), totalizaram 52 aves coletadas/mortas de 32 espécies, representando 6 guildas tróficas.

Apesar dos esforços realizados na área amostral de Regência (Linhares-ES), que representa o ambiente de estuário, faltou a coleta de 1 amostra de 1 guilda trófica (Filtradores), em ambas as campanhas realizadas. A justificativa para tal, está baseada no fato da não ocorrência marginal de aves filtradoras e a baixa densidade de indivíduos de anatídeos (e.g. *Cairina moscata*) nesta área. Cabe ressaltar também o fato de que patos e marrecas mostram-se bastante arredios, uma consequência da intensa pressão de caça nesta região. Este fato foi confirmado por moradores locais, bem como pelo comportamento observado destes animais silvestres. Estava prevista a obtenção de pelo menos 2 amostras de 5 guildas tróficas para cada ambiente em estudo (estuário, manguezais e praias), totalizando assim pelo menos 30 amostras de aves por campanha. Considerando-se que faltou a coleta de apenas 2 amostras (uma em cada campanha) de 1 guilda trófica, conclui-se que os resultados atingidos atenderam em 96,7% das amostras definidas no Plano de Trabalho.

### **3.6.3 Concentração de metais e contaminantes orgânicos em sangue e penas de aves**

No que se refere às concentrações de metais no sangue e penas de aves marinhas e costeiras, ressalta-se que existe uma variabilidade entre os valores médios reportados na literatura (e.g., Hargreaves et al., 2011; Carvalho et al., 2013; Burger et al., 2017). Essa variabilidade parece ser dependente da espécie, ano de coleta e metal analisado. Além disso, de ser considerado o panorama da localidade em que as aves foram coletadas, considerando especialmente a ocorrência de algum evento importante pré-coleta dos animais, bem como a distribuição geográfica das mesmas, especialmente os deslocamentos para fins de alimentação e reprodução. Portanto, os dados obtidos no Ano 1 do PMBA/RRDM não foram comparados com dados reportados na literatura. Devido à ausência de dados para as mesmas espécies dos mesmos locais de estudo coletadas antes da chegada dos resíduos oriundos do rompimento da barragem de Fundão, os dados obtidos no presente estudo foram analisadas quanto às variações espacial (locais de coleta) e temporal (campanha) das concentrações dos elementos.

Visando identificar uma possível influência do local de coleta nas concentrações dos metais nos tecidos das aves e, portanto, detectar possíveis áreas de maior nível de contaminação por estes elementos nas áreas monitoradas, os dados de concentração dos metais no sangue (Tabela 206) e nas penas (Tabela 207) foram agrupados conforme os locais de captura das aves (mangue, estuário e praia), para cada tecido. Cabe lembrar que os níveis sanguíneos de metais refletem geralmente uma contaminação recente por metais, enquanto as concentrações nas penas das aves indicam uma contaminação de longo prazo (crônica) por metais (Hargreaves et al., 2011; Carvalho et al., 2013). Adicionalmente, visando avaliar uma possível influência dos hábitos alimentares das aves no nível de contaminação do sangue (Tabela 208) e das penas (Tabela 209) por metais, os dados foram agrupados para cada tecido, considerando-se as guildas tróficas das aves.

No que se refere a uma possível influência da área de coleta no nível de contaminação das aves, foi observado que depende do tecido analisado (sangue ou penas). Com base nos dados obtidos para as amostras de sangue (Tabela 206), foram observados maiores níveis de Cr, Cd, As, Mn, Hg e Zn nas aves coletadas na campanha 1. Por outro lado, maiores níveis de Pb e Cu foram observados nas aves coletadas na campanha 2. Na campanha 1, as aves estuarinas apresentaram maiores níveis de Cr e

Cd do que aquelas coletadas nos manguezais e na praia. Estas aves apresentaram também maior nível de Cu do que aquelas coletadas na praia. As aves estuarinas e de manguezais apresentaram maior nível de Mn do que aquelas de praia. As aves de manguezais apresentaram maiores níveis de Hg e Zn do que as aves estuarinas. Na campanha 2, os maiores níveis de Fe foram observados nas aves estuarinas. As aves coletadas nos manguezais apresentaram os maiores níveis de Cd e Cu, enquanto que as aves coletadas na praia apresentaram os maiores níveis de As, Cr, Hg, Pb e Zn.

Com base nos dados obtidos para as amostras de penas (Tabela 207), foi observado que os maiores níveis de Pb, Cr, Cd, As, Mn e Zn foram encontrados nas aves coletadas na campanha 1. Por outro lado, uma maior concentração média de Fe foi observada nas aves coletadas na campanha 2. Na campanha 1, as aves coletadas nos manguezais apresentaram maiores níveis de As, Fe e Mn do que aquelas coletadas na praia. Estas aves apresentaram também maiores níveis de Mn, Hg e Zn do que aquelas coletadas no estuário. Na campanha 2, as aves estuarinas exibiram os maiores níveis de Fe e Mn, enquanto as aves coletadas nos manguezais tiveram maiores concentrações médias de As, Cd e Cu. Por sua vez, as aves coletadas na praia apresentaram os maiores níveis de Cr, Hg, Pb e Zn.

No que se refere o nível de contaminação por Fe e Mn, principais metais associados ao rejeito oriundo do rompimento da barragem de Fundão, foi observado que, de um modo geral, as aves insetívoras, piscívoras e omnívoras apresentaram níveis mais elevados destes metais do que as aves representantes das demais guildas tróficas. Essa tendência foi observada tanto para as amostras de sangue (contaminação recente; Tabela 208) quanto de penas (contaminação pretérita).

Tabela 206: Concentrações de metais (mg/L) no sangue das aves amostradas nos diferentes ambientes (mangue, estuário e praia) no período seco (Campanha 1 - setembro/outubro 2018) e no período chuvoso (Campanha 2 - janeiro/fevereiro 2019). Os dados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão. Letras diferentes indicam médias significativamente diferentes entre os ambientes de amostragem das aves, para a mesma campanha e metal analisado (ANOVA, seguida do teste de Tukey;  $p < 0,05$ ). \*Indica médias significativamente diferentes entre as campanhas, para cada local de amostragem e metal analisado (teste t de Student;  $p < 0,05$ ).

Metal	Campanha	Área		
		Manguezal	Estuário	Praia
As	1	3,82 $\pm$ 2,10 <sup>A*</sup>	2,36 $\pm$ 0,66 <sup>A*</sup>	1,55 $\pm$ 1,09 <sup>A</sup>
	2	0,26 $\pm$ 0,05 <sup>A</sup>	0,30 $\pm$ 0,07 <sup>A</sup>	0,48 $\pm$ 0,98 <sup>A</sup>
Cd	1	0,025 $\pm$ 0,006 <sup>A</sup>	0,194 $\pm$ 0,040 <sup>B*</sup>	0,012 $\pm$ 0,005 <sup>A</sup>
	2	0,046 $\pm$ 0,013 <sup>A</sup>	0,023 $\pm$ 0,005 <sup>A</sup>	0,034 $\pm$ 0,010 <sup>A</sup>
Cr	1	0,133 $\pm$ 0,039 <sup>A*</sup>	0,791 $\pm$ 0,323 <sup>B*</sup>	0,039 $\pm$ 0,011 <sup>A*</sup>
	2	0,048 $\pm$ 0,035 <sup>A</sup>	0,054 $\pm$ 0,015 <sup>A</sup>	0,182 $\pm$ 0,065 <sup>B</sup>
Cu	1	2,12 $\pm$ 0,59 <sup>AB*</sup>	4,62 $\pm$ 2,71 <sup>A*</sup>	0,35 $\pm$ 0,09 <sup>B*</sup>
	2	8,15 $\pm$ 3,27 <sup>A</sup>	0,31 $\pm$ 0,10 <sup>B</sup>	4,90 $\pm$ 2,62 <sup>A</sup>
Fe	1	283,0 $\pm$ 39,5 <sup>A*</sup>	249,7 $\pm$ 56,6 <sup>A*</sup>	171,1 $\pm$ 24,5 <sup>A*</sup>
	2	154,1 $\pm$ 31,9 <sup>A</sup>	471,1 $\pm$ 167,7 <sup>B</sup>	252,7 $\pm$ 51,0 <sup>AB</sup>
Hg	1	0,148 $\pm$ 0,032 <sup>A*</sup>	0,072 $\pm$ 0,015 <sup>B*</sup>	0,093 $\pm$ 0,029 <sup>AB*</sup>
	2	0,007 $\pm$ 0,002 <sup>A</sup>	0,011 $\pm$ 0,003 <sup>A</sup>	0,019 $\pm$ 0,008 <sup>A</sup>

Metal	Campanha	Área		
		Manguezal	Estuário	Praia
Mn	1	22,69 ± 5,54 <sup>A*</sup>	21,89 ± 6,60 <sup>A*</sup>	8,25 ± 5,14 <sup>B</sup>
	2	9,19 ± 2,71 <sup>A</sup>	7,35 ± 1,69 <sup>A</sup>	8,49 ± 2,84 <sup>A</sup>
Pb	1	0,078 ± 0,014 <sup>A*</sup>	0,109 ± 0,047 <sup>A*</sup>	0,209 ± 0,099 <sup>A*</sup>
	2	0,042 ± 0,021 <sup>A</sup>	0,027 ± 0,08 <sup>A</sup>	0,537 ± 0,325 <sup>B</sup>
Zn	1	47,48 ± 9,33 <sup>A*</sup>	26,53 ± 8,49 <sup>B*</sup>	20,69 ± 7,76 <sup>AB</sup>
	2	8,72 ± 2,07 <sup>A</sup>	10,02 ± 2,50 <sup>A</sup>	14,33 ± 4,58 <sup>A</sup>

Tabela 207: Concentrações de metais ( $\mu\text{g/g}$  peso úmido) nas penas das aves amostradas nos diferentes ambientes (manguezal, estuário e praia) no período seco (Campanha 1 - setembro/outubro 2018) e no período chuvoso (Campanha 2 - janeiro/fevereiro 2019). Os dados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão. Letras diferentes indicam médias significativamente diferentes entre os ambientes de amostragem das aves, para a mesma campanha e metal analisado (ANOVA, seguida do teste de Tukey;  $p < 0,05$ ). \*Indica médias significativamente diferentes entre as campanhas, para cada local de amostragem e metal analisado (teste t de Student;  $p < 0,05$ ).

Metal	Campanha	Área		
		Manguezal	Estuário	Praia
As	1	13,45 ± 2,88 <sup>A*</sup>	10,51 ± 3,95 <sup>AB*</sup>	1,65 ± 0,40 <sup>B*</sup>
	2	0,210 ± 0,031 <sup>A</sup>	0,110 ± 0,016 <sup>AB</sup>	0,087 ± 0,020 <sup>B</sup>
Cd	1	0,098 ± 0,012 <sup>A*</sup>	0,089 ± 0,017 <sup>A*</sup>	0,024 ± 0,011 <sup>A</sup>
	2	0,036 ± 0,005 <sup>A</sup>	0,033 ± 0,004 <sup>A</sup>	0,042 ± 0,003 <sup>A</sup>
Cr	1	0,533 ± 0,068 <sup>A*</sup>	0,540 ± 0,112 <sup>A*</sup>	0,337 ± 0,111 <sup>A</sup>
	2	0,101 ± 0,019 <sup>A</sup>	0,167 ± 0,053 <sup>A</sup>	0,342 ± 0,074 <sup>B</sup>
Cu	1	12,14 ± 1,75 <sup>A</sup>	9,76 ± 1,86 <sup>A*</sup>	10,75 ± 4,65 <sup>A</sup>
	2	21,74 ± 5,54 <sup>A</sup>	0,62 ± 0,11 <sup>C</sup>	6,60 ± 1,49 <sup>B</sup>
Fe	1	226,0 ± 28,5 <sup>A*</sup>	186,0 ± 39,5 <sup>AB*</sup>	126,9 ± 21,1 <sup>B</sup>
	2	108,2 ± 21,3 <sup>A</sup>	661,3 ± 173,2 <sup>B</sup>	207,8 ± 63,9 <sup>A</sup>
Hg	1	0,116 ± 0,019 <sup>A*</sup>	0,029 ± 0,005 <sup>B</sup>	0,090 ± 0,024 <sup>A</sup>
	2	0,018 ± 0,005 <sup>A</sup>	0,034 ± 0,013 <sup>AB</sup>	0,088 ± 0,024 <sup>B</sup>
Mn	1	96,03 ± 12,35 <sup>A*</sup>	66,36 ± 11,71 <sup>B*</sup>	36,71 ± 7,47 <sup>B*</sup>
	2	12,20 ± 1,30 <sup>A</sup>	32,59 ± 7,99 <sup>B</sup>	10,73 ± 1,32 <sup>A</sup>
Pb	1	0,414 ± 0,081 <sup>A*</sup>	0,565 ± 0,157 <sup>A*</sup>	0,416 ± 0,123 <sup>A</sup>
	2	0,028 ± 0,005 <sup>A</sup>	0,071 ± 0,026 <sup>A</sup>	0,397 ± 0,104 <sup>B</sup>
Zn	1	255,0 ± 26,3 <sup>A*</sup>	120,8 ± 22,0 <sup>B*</sup>	220,5 ± 30,0 <sup>A*</sup>
	2	85,46 ± 7,12 <sup>A</sup>	77,43 ± 8,78 <sup>A</sup>	100,2 ± 8,83 <sup>A</sup>

Tabela 208: Concentrações dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (mg/L) no sangue de aves de diferentes guildas tróficas amostradas nos ambientes de estudo (mangue, estuário e praia) no período seco (Campanha 1 - setembro/outubro 2018) e no período chuvoso (Campanha 2 - janeiro/fevereiro 2019). Os dados estão expressos como média e erro padrão (EP). Médias em branco representam ausência de coleta de ave representante da guilda trófica. EP em branco indica que somente um indivíduo da respectiva guilda trófica foi coletado.

Guilda	Campanha	As		Cd		Cr		Cu		Fe		Hg		Mn		Pb		Zn	
		Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP
PIA	1	0,37	0,23	0,014	0,011	0,026	0,016	0,27	0,05	122,0	20,9	0,051	0,015	1,37	0,28	0,008	0,004	5,69	1,28
	2	0,51	0,06	0,003	0,001	0,013	0,003	0,10	0,05	172,7	59,2	0,025	0,009	1,13	0,17	0,116	0,100	8,44	3,14
IAO	1	9,29	6,98	0,022	0,008	0,099	0,064	1,11	0,62	188,5	50,2	0,148	0,070	17,59	8,17	0,206	0,113	33,66	13,58
	2	0,35	0,08	0,030	0,009	0,141	0,060	4,56	2,32	190,5	42,1	0,014	0,007	6,62	1,94	0,194	0,091	12,41	4,23
ONI	1	1,39	0,71	0,046	0,014	0,181	0,063	2,49	1,03	321,3	67,9	0,149	0,050	27,52	9,73	0,180	0,076	58,21	15,56
	2	0,37	0,16	0,032	0,007	0,064	0,028	7,51	2,98	196,6	65,6	0,004	0,001	7,05	1,59	0,061	0,029	7,38	1,42
INS	1	2,02	0,54	0,200	0,055	0,579	0,182	5,80	3,72	280,1	74,8	0,102	0,024	19,24	4,75	0,059	0,016	32,94	11,84
	2	0,31	0,09	0,056	0,015	0,085	0,030	8,03	6,15	517,3	245,6	0,012	0,004	13,27	2,88	0,672	0,633	14,60	4,53
PIS	1	0,71	0,21	0,051	0,023	0,096	0,028	1,18	0,28	219,7	27,8	0,095	0,028	8,26	2,19	0,091	0,067	23,12	4,95
	2	0,34	0,09	0,049	0,026	0,096	0,078	2,22	1,85	268,9	54,6	0,014	0,005	13,26	6,91	0,018	0,007	7,52	1,66
GRA	1	6,76	4,24	0,075	0,053	0,169	0,079	0,96	0,36	186,4	67,7	0,045	0,014	17,31	3,37	0,084	0,018	21,75	7,07
	2	0,06		0,004		0,041		0,03				0,001		1,70		0,019		6,76	
NEI	1	6,48	0,43	0,157	0,107	4,754	4,553	6,88	1,57	408,0	44,0	0,140		113,65	68,44	0,196	0,101	63,63	17,82
	2																		
FIL	1	0,16		0,001		0,086		0,24		187,8				0,90		0,064		7,01	
	2	0,39		0,009		0,019		0,32		625,3		0,003		2,07		0,015		32,54	

Guildd	Campanha	As		Cd		Cr		Cu		Fe		Hg		Mn		Pb		Zn	
		Média	EP																
FRU	1	10,30		0,044		0,215		3,08		315,9				41,59		0,115		46,52	
	2																		

Tabela 209: Concentrações dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e Zn (mg/L) nas penas de aves de diferentes guildas tróficas amostradas nos ambientes de estudo (mangue, estuário e praia) no período seco (Campanha 1 - setembro/outubro 2018) e no período chuvoso (Campanha 2 - janeiro/fevereiro 2019). Os dados estão expressos como média e erro padrão (EP). Médias em branco representam ausência de coleta de ave representante da guilda trófica. EP em branco indica que somente um indivíduo da respectiva guilda trófica foi coletado.

Guildd	Campanha	As		Cd		Cr		Cu		Fe		Hg		Mn		Pb		Zn	
		Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP
PIA	1	0,55	0,24	0,217	0,183	0,262	0,138	7,31	1,68	67,5	10,9	0,037	0,010	22,63	8,15	0,247	0,144	148,6	38,3
	2	0,06	0,01	0,018	0,005	0,059	0,013	2,02	0,97	344,7	262,9	0,095	0,052	10,43	5,54	0,033	0,011	98,7	17,1
IAO	1	1,64	0,49	0,132	0,069	0,435	0,087	8,65	2,74	158,6	41,2	0,096	0,027	38,44	9,36	0,321	0,134	143,7	37,0
	2	0,14	0,02	0,043	0,004	0,196	0,041	15,86	5,20	248,0	102,7	0,052	0,009	10,73	1,33	0,224	0,086	102,9	8,9
ONI	1	11,23	5,31	0,087	0,017	0,388	0,097	13,32	4,36	202,7	41,6	0,089	0,032	78,64	17,40	0,366	0,137	204,0	39,8
	2	0,18	0,04	0,045	0,007	0,196	0,043	10,84	3,37	170,9	48,5	0,025	0,008	26,33	12,35	0,230	0,123	69,8	9,7
INS	1	14,44	5,12	0,115	0,019	0,701	0,141	12,16	2,22	178,9	28,9	0,081	0,018	88,95	13,27	0,717	0,199	204,6	33,1
	2	0,15	0,03	0,044	0,003	0,338	0,116	7,49	3,21	482,5	178,8	0,009	0,002	29,17	5,81	0,115	0,049	90,8	9,7

Guildd	Campanha	As		Cd		Cr		Cu		Fe		Hg		Mn		Pb		Zn	
		Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP
PIS	1	4,74	1,91	0,086	0,027	0,423	0,116	6,60	2,15	326,8	97,1	0,070	0,018	80,92	25,25	0,296	0,094	231,7	43,1
	2	0,10	0,04	0,034	0,006	0,061	0,008	2,40	0,92	207,7	65,2	0,095	0,048	10,29	1,43	0,056	0,021	77,9	10,4
GRA	1	7,07	5,11	0,059	0,017	0,318	0,207	10,10	6,34	144,6	26,0	0,037	0,020	52,15	11,64	0,313	0,077	150,8	81,1
	2	0,14	0,07	0,055	0,024	0,477	0,346	4,91	4,11	201,2	80,3	0,006	0,001	18,11	5,36	0,317	0,269	66,3	13,7
NEI	1	21,08	9,34	0,181	0,037	0,873	0,172	22,49	2,20	249,5	58,4	0,020	0,010	160,80	34,17	1,055	0,237	296,8	84,7
	2	0,71		0,173		0,098		108,72		322,0		0,004		32,76		0,081		12,5	
FIL	1			0,027		0,092		3,29		77,3		0,012		17,76		0,072		83,9	
	2	0,01		0,021121		0,005		0,41		1327,4		0,010		13,17		0,034		37,3	
FRU	1	23,64		0,15		0,824		14,31		257,1				150,19		0,518		371,1	
	2																		

Além da análise da contaminação por metais, foram também determinadas as concentrações de diferentes grupos de contaminantes orgânicos [bifenilias policloradas (PCBs), pesticidas organoclorados (OPs), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs) e éteres de difenila polibromados (PBDEs)] no plasma obtido, a partir do sangue das aves amostradas no presente monitoramento.

No que se refere aos PCBs, analisamos as concentrações plasmáticas do PCB-28 (Limite de detecção do método - LOD: 0,002 ng/ml), PCB-52 (LOD: 0,003 ng/ml), PCB-101 (LOD: 0,003 ng/ml), PCB-138 (LOD: 0,003 ng/ml), PCB-153 (LOD: 0,002 ng/ml) e PCB-180 (LOD: 0,003 ng/ml). Na 1ª campanha foram detectados o PCB-28 (<0,003-0,813 ng/ml), PCB-52 (0,138-0,368 ng/ml) e o PCB-153 (0,148-7,572 ng/ml). O  $\Sigma$ PCBs atingiu um valor máximo de 7,572 ng/ml. Na 2ª campanha foram detectados o PCB-28 (0,012-10,331 ng/ml), PCB-52 (0,011-6,293 ng/ml), PCB-101 (<0,003-28,772 ng/ml) e o PCB-153 (0,090-3,610 ng/ml). O  $\Sigma$  PCBs atingiu um valor máximo de 31,242 ng/ml, sendo, portanto, maior nas aves coletadas na campanha 2 (período chuvoso), do que naquelas coletadas na campanha 1 (período seco).

Além dos PCBs, analisamos, também, as concentrações plasmáticas dos seguintes pesticidas organoclorados: trifluralina (LOD: 0,08 ng/ml), a-HCH (LOD: 0,08 ng/ml), g-HCH (LOD: 0,08 ng/ml), b-HCH (LOD: 0,07 ng/ml), heptacloro (LOD: 0,08 ng/ml), clorotalonil (LOD: 0,07 ng/ml), d-HCH (LOD: 0,08 ng/ml), diclofluanida (LOD: 0,08 ng/ml), aldrim (LOD: 0,08 ng/ml), b-heptacloro epóxido (LOD: 0,08 ng/ml), a-endossulfam (LOD: 0,08 ng/ml), o,p-DDE (LOD: 0,07 ng/ml), dieldrin (LOD: 0,08 ng/ml), p,p-DDE/o,p-DDD (LOD: 0,08 ng/ml), o,p-DDD (LOD: 0,07 ng/ml), endrim (LOD: 0,08 ng/ml), p,p-DDD (LOD: 0,07 ng/ml), b-endossulfam (LOD: 0,08 ng/ml), p,p-DDT (LOD: 0,07 ng/ml), o,p-DDT (LOD: 0,07 ng/ml), endrim aldeído (LOD: 0,07 ng/ml), endossulfam sulfato (LOD: 0,08 ng/ml), metoxicloro (LOD: 0,08 ng/ml) e endrim cetona (LOD: 0,08 ng/ml). Na 1ª campanha, detectou-se os pesticidas clorados a-HCH (<0,08-0,37 ng/ml), clorotalonil (<0,07-2,74 ng/ml), diclofluanida (8,20-10,94 ng/ml), b-heptacloro epóxido (2,43-15,21 ng/ml), o,p-DDE (3,08-5,24 ng/ml), dieldrin (2,33-7,13 ng/ml), p,p-DDD (6,59-9,70 ng/ml), b-endossulfam (<0,08-3,68 ng/ml), p,p-DDT (4,54-5,75 ng/ml), o,p-DDT (3,81-4,64 ng/ml), endrim aldeído (1,24-4,66 ng/ml), endossulfam sulfato (2,60-8,22 ng/ml) e metoxicloro (1,26-6,94 ng/ml). Os  $\Sigma$ HCHs,  $\Sigma$ DDTs,  $\Sigma$ Endossulfans,  $\Sigma$ Drins e  $\Sigma$ OCPs atingiram valores máximos de 0,37 ng/ml; 17,79 ng/ml; 8,22 ng/ml; 7,13 ng/ml e 42,69 ng/ml, respectivamente. Na 2ª campanha, foram detectados os seguintes pesticidas organoclorados: a-HCH (<0,08-0,16 ng/ml), clorotalonil (<0,07-0,66 ng/ml), diclofluanida (<0,08-10,94 ng/ml), b-heptacloro epóxido (<0,08-8,00 ng/ml), o,p-DDE (<0,07-3,88 ng/ml), dieldrin (<0,08-3,10 ng/ml), p,p-DDD (<0,07-4,22 ng/ml), b-endossulfam (<0,08-1,60 ng/ml), p,p-DDT (<0,07-2,50 ng/ml), o,p-DDT (<0,07-2,02 ng/ml), endrim aldeído (0,07-4,66 ng/ml), endossulfam sulfato (<0,08-3,57 ng/ml) e metoxicloro (<0,08-3,57 ng/ml). Os  $\Sigma$ HCHs,  $\Sigma$ DDTs,  $\Sigma$ Endossulfans,  $\Sigma$ Drins e  $\Sigma$ OCPs atingiram valores máximos de 0,16 ng/ml; 7,74 ng/ml; 3,57 ng/ml; 4,66 ng/ml e 18,56 ng/ml, respectivamente. Portanto, os maiores níveis máximos dos somatórios dos pesticidas organoclorados foram observados nas aves coletadas na campanha 1 (período seco) do que naquelas coletadas na campanha 2 (período chuvoso).

No que se refere aos HPAs, foram analisadas as concentrações do naftaleno (LOD: 0,20 ng/ml), acenaftleno (LOD: 0,11 ng/ml), acenafteno (LOD: 0,09 ng/ml), fluoreno (LOD: 0,16 ng/ml), fenantreno (LOD: 0,15 ng/ml), antraceno (LOD: 0,17 ng/ml), fluoranteno (LOD: 0,04 ng/ml), pireno (LOD: 0,06 ng/ml), benzo(a)antraceno (LOD: 0,19 ng/ml), criseno (LOD: 0,15 ng/ml), benzo[b]fluoranteno (LOD: 0,07 ng/ml), benzo[k]fluoranteno (LOD: 0,07 ng/ml), benzo[a]pireno (LOD: 0,07 ng/ml), ieno[1,2,3-cd]pireno (LOD: 0,19 ng/ml), dibenz[a,h]antraceno (LOD: 0,18 ng/ml) e benzo(ghi)perileno (LOD: 0,12 ng/ml). Na 1ª campanha foram detectados os seguintes HPAs: naftaleno (4,74-409,73 ng/ml), acenaftleno (3,06-51,98 ng/ml), acenafteno (0,36-46,27 ng/ml), fluoreno (2,94-45,18 ng/ml), fenantreno (3,10-47,27 ng/ml), antraceno (0,33-48,11 ng/ml), fluoranteno (0,30-46,63 ng/ml), pireno (1,87-42,14 ng/ml), benzo(a)antraceno (1,75-43,33 ng/ml) e o criseno (3,61-41,71 ng/ml). Os  $\Sigma$ HPAs de 2-3 anéis,  $\Sigma$ HPAs de 4-6 anéis e  $\Sigma$ HPAs dos 16 HPAs prioritários, segundo a Environmental Protection Agency - EPA, atingiram valores máximos de 485,9 ng/ml, 80,5 ng/ml e 485,9 ng/ml, respectivamente. Na 2ª campanha, foram detectados os seguintes HPAs: naftaleno (<0,20-72,29 ng/ml), acenaftleno (0,11-49,38 ng/ml), acenafteno (0,09-40,26 ng/ml), fluoreno (0,16-43,82 ng/ml), fenantreno (0,15-17,19 ng/ml), antraceno (0,17-49,22 ng/ml), fluoranteno (0,04-45,42 ng/ml), pireno (0,06-56,05 ng/ml), benzo(a)antraceno (0,19-37,01 ng/ml) e o criseno (0,15-19,70 ng/ml). Os  $\Sigma$ HPAs de 2-3 anéis,  $\Sigma$ HPAs de 4-6 anéis e  $\Sigma$ HPAs dos 16 HPAs prioritários, segundo a Environmental Protection Agency - EPA, atingiram valores máximos de 147,6 ng/ml, 79,6 ng/ml e 212,6 ng/ml, respectivamente. Portanto, assim como para os PCBs, os níveis máximos do  $\Sigma$ HPAs foram maiores nas aves capturadas na campanha 1 (período seco) do que naquelas capturadas na campanha 2 (período chuvoso).

Quanto aos PBDEs, foram analisadas as concentrações plasmáticas do PBDE-28, PBDE-47, PBDE-66, PBDE-85, PBDE-99, PBDE-100, PBDE-138, PBDE-153 e PBDE-154. Nenhum destes PBDEs foi detectado nas amostras de plasma das aves coletadas em ambas as campanhas, sendo que o LOD para estes analitos foi de 0,23 ng/ml.

#### Principais conclusões:

Considerando-se os resultados obtidos, a partir das análises realizadas nas amostras coletadas ao longo do Ano 1 do PMBA/RRDM, pode-se concluir que as aves avaliadas no presente estudo apresentam níveis de contaminação de metais nos tecidos que refletem uma exposição contínua (níveis sanguíneos) e de longo prazo (níveis nas penas) a uma mistura de metais no ambiente. Cabe destacar que, para a maioria dos metais analisados, as concentrações teciduais (sangue e penas) destes contaminantes variaram espacialmente (estuário, manguezal e praia), bem como temporalmente (período seco e chuvoso). Os dados das concentrações sanguíneas de metais, especialmente no período seco, sugerem que as aves coletadas na área estuarina estariam sendo expostas mais recentemente ao Cr, Cu e Mn. Por sua vez, os dados obtidos a partir das amostras de penas sugerem que as aves coletadas nos manguezais e no estuário do Rio Doce estariam sendo mais expostas cronicamente ao As e Fe do que aquelas coletadas no ambiente praial. Além disso, estes dados sugerem que as aves coletadas nos manguezais podem estar sendo mais expostas, em longo prazo, ao Mn, Hg e Zn. Quanto ao Fe e Mn, principais metais associados ao rejeito oriundo do rompimento da barragem de Fundão, os níveis teciduais (sangue e penas) destes metais foram, de um modo geral,

maiores nas aves insetívoras, piscívoras e omnívoras do que nas aves representantes das demais guildas tróficas. No que se refere os microcontaminantes orgânicos, os resultados obtidos no presente estudo indicam que, devido ao seu potencial toxicológico, alta frequência de amostras contaminadas e concentração plasmática, diversos compostos organoclorados (PCB-153, diclofluanida, b-heptacloro epóxido, o,p-DDE, dieldrim, p,p-DDD, p,p-DDT e metoxicloro) e HPAs (naftaleno, acenafteno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno e criseno) merecem atenção e devem ser futuramente avaliados quanto aos seus possíveis impactos negativos nas aves, especialmente no período seco.

#### 4 DISCUSSÃO INTEGRADA

A discussão integrada dos principais resultados alcançados pelo Anexo 1 durante o primeiro ano de monitoramento ecotoxicológico da porção capixaba do Rio Doce e região costeira adjacente engloba as diferentes matrizes e parâmetros ambientais monitorados. Neste sentido, a presente discussão inclui os dados de contaminação por metais na água, sedimento e biota, bem como os possíveis efeitos biológicos decorrentes desta exposição, desde o nível molecular até o nível de comunidade, nos vários níveis tróficos investigados. Para uma melhor organização e interpretação dos resultados, a discussão foi separada entre os ambientes investigados (dulcícola, marinho e costeiro) e alguns resultados foram discutidos considerando o agrupamento de pontos amostrais em setores, conforme apresentado no Quadro 22.

Quadro 22: Identificação dos setores utilizados para a análise integrada dos dados ecotoxicológicos.

<b>Ambiente</b>	<b>Setor</b>	<b>Pontos amostrais</b>
Dulcícola	Afluente	Rio Guandu (BRG)
	Rio (calha principal)	Rio Doce Linhares (RDL) Rio Doce Regência (RDR) Foz do Rio Doce (RDF)
	Lagos	Lagoa do Limão (LLI) Lagoa Nova (LNO) Lagoa Juparanã (LJA)
	Lagoas	Lagoa do Areão (LAO) Lagoa do Areal (LAL) Lagoa Monsarás (LMO)
Marinho	Sul	Guarapari 1 (GUA1) Guarapari 2 (GUA2) Vitória 1 (VIX1) Vitória 2 (VIX2)
	APA (APA Costa das Algas e REVIS Santa Cruz)	Costa das Algas 1 (CA1) Costa das Algas 2 (CA2)

<b>Ambiente</b>	<b>Setor</b>	<b>Pontos amostrais</b>
		Costa das Algas 3 (CA3) Costa das Algas 4 (CA4) Costa das Algas 5 (CA5)
	Foz (Foz do Rio Doce)	Foz do Rio Doce 1 (FRD1) Foz do Rio Doce 3 (FRD3) Foz do Rio Doce 6 (FRD6) Foz do Rio Doce 8 (FRD8) Foz do Rio Doce 9 (FRD9) Foz do Rio Doce 10 (FRD10)
	Norte	Barra Nova 1 (BN1) Barra Nova 2 (BN2) Degredo 1 (DEG1) Degredo 2 (DEG2) Itaúnas 1 (ITA1) Itaúnas 2 (ITA2)
	Abrolhos	Abrolhos 1 (ABR01) Abrolhos 2 (ABR02) Abrolhos 4 (ABR04) Abrolhos Controle (ABRC1)
Costeiro (Praias e Manguezais)	Setor A – Praia	Aracruz 1 – Refúgio (ARR) Aracruz 2 – Putiri (ARP)
	Setor A – Mangue	Rio Piraque-Açu (PAM) RVS Santa Cruz 1 (RSC1) RVS Santa Cruz 2 (RSC2)
	Setor B – Praia	Doce Sul 1 - Barra do Riacho (DSB) Doce Sul 2 – Comboios (DSC) Doce Sul 3 – Regência (DSR)
	Setor B – Mangue	Foz de Regência (FRG)
	Setor C – Praia	Doce Norte 1 – Povoação (DNP) Doce Norte 2 – Vila de Cacimbas (DNC) Doce Norte 3 - Pontal do Ipiranga (DNPI) Doce Norte 4 – Urussuquara (DNU) Doce Norte 5 – Guriri (DNG)
	Setor C – Mangue	Rio Urussuquara (RUR) Rio Mariricu (RMA) Rio São Mateus (RSM) Rio Caravelas (RCA)

#### 4.1 AMBIENTE DULCÍCOLA

Com relação ao monitoramento do ambiente dulcícola, de maneira geral, foi observada uma diminuição temporal da concentração de metais nas amostras de água do Rio Doce e lagoas adjacentes em

comparação aos dados pretéritos à chegada da pluma de rejeitos, dados estes obtidos entre 2015 e 2016 pelo Instituto do Meio Ambiente do Espírito Santo (IEMA). Além disto, as concentrações de metais na água, em sua maioria, estiveram em conformidade com os padrões de qualidade da água estabelecidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA. Apenas algumas amostras de água coletadas na Lagoa do Areão (LAO) e Lagoa Monsarás (LMO) apresentaram concentrações de Mn ou Cd acima do limite preconizado pela legislação supracitada. Diferenças nas concentrações de metais entre a campanha 1 (set/out 2018) e a campanha 2 (jan/fev 2019) do Anexo 1 do PMBA foram observadas para alguns casos e podem estar relacionadas com variações sazonais. De maneira geral, as concentrações de Cu, Fe, Hg e Zn foram menores na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) em comparação à campanha 1 (set/out 2018 - estação seca). Por outro lado, um aumento na concentração de Cd e Cr foi evidenciado na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) em relação à campanha 1 (set/out 2018 - estação seca). Entre os fatores que podem estar relacionados com estes resultados, podemos indicar a influência da pluviosidade. O aumento da pluviosidade pode aumentar a disponibilidade de contaminantes no ambiente aquático, tanto pela lixiviação dos solos contaminados no entorno do Rio Doce, quanto pela ressuspensão do sedimento por perturbações decorrentes da precipitação.

Com relação à contaminação do sedimento, não foram observadas variações nas concentrações de metais entre as campanhas de monitoramento realizadas, com exceção para o Hg que apresentou menores concentrações em todas as estações amostrais monitoradas durante a campanha 2 (jan/fev 2019 - período chuvoso) em relação à campanha 1 (set/out 2018 - período seco). Estes resultados indicam que, de maneira geral, não houve um efeito da sazonalidade na concentração de metais no sedimento, ao contrário do que foi observado para a concentração de metais na água. Estas diferenças podem estar relacionadas com a dinâmica característica de cada matriz (água e sedimento).

A análise temporal da concentração de contaminantes no sedimento foi realizada através da comparação dos dados obtidos pelo PMBA com os dados de monitoramentos pretéritos ao rompimento da barragem de Fundão ou à chegada da pluma de rejeitos na região. Neste sentido, os resultados indicam que na calha principal do rio Doce, especialmente no trecho próximo à área urbana de Linhares (RDL), as concentrações de Cr e Mn no sedimento permanecem mais elevadas do que as concentrações encontradas na região anteriormente à chegada da pluma de rejeitos. Os dados pretéritos utilizados para esta comparação foram obtidos pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente do Espírito Santo (IEMA) e pelo Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático de Água e Sedimento (PMQQS). Em uma perspectiva espacial, os maiores valores de concentração para a maioria dos metais investigados no sedimento foram encontrados nos pontos Rio Doce – Linhares (RDL) e Lagoa do Areão (LAO), com destaque também para o ponto da Lagoa do Areal (LAL). Estes resultados foram observados em ambas as campanhas de monitoramento, demonstrando que estes ambientes podem ser considerados como regiões críticas (“*hotspots*”) de acumulação de metais no sedimento.

De maneira geral, os resultados obtidos indicam que a maior problemática da contaminação por metais está associada ao sedimento. Neste sentido, este compartimento pode funcionar com um reservatório

ou sumidouro de metais e, mesmo após quatro anos da chegada da pluma de rejeitos, concentrações elevadas de metais associados a esta matriz permanecem no ambiente. Estudos de monitoramento que priorizam as investigações sobre metais presentes em sedimento consideram este um compartimento aquático ativo e determinante na redistribuição destes elementos no meio (Cotta et al., 2006). Por não possuírem um caráter de biodegradação, os metais permanecem em ciclos biogeoquímicos globais, sendo a água seu principal carreador. Como se apresentam de diversas formas nos sistemas aquáticos (solúveis, complexados à matéria orgânica, associados a particulados em suspensão ou precipitados), os metais podem migrar de um compartimento a outro através de processos de adsorção, complexação, precipitação e ainda assimilação biológica. A adsorção é geralmente o processo predominante, resultando na acumulação de metais nos sedimentos de fundo (Lima, 2008). No entanto, a capacidade do sedimento para adsorver e reter contaminantes depende de sua composição. Para metais, a capacidade de adsorção está intimamente ligada à área superficial e propriedades das partículas presentes nesta matriz (Filgueiras et al., 2004). Considerando estes e outros pontos importantes com relação ao comportamento de metais no ambiente, aspectos hidrodinâmicos e geoquímicos monitorados no âmbito do PMBA por outros anexos podem ajudar a entender os resultados obtidos para a contaminação da água e do sedimento do Rio Doce e lagoas adjacentes por metais

A análise de metais e suas formas químicas no sedimento é de suma importância por três motivos básicos. Em primeiro lugar, partículas finas e matéria orgânica são os acumuladores naturais de elementos traço e suas formas orgânicas em sistemas hídricos. Uma grande fração da massa total destes elementos está associada ao sedimento, principalmente nas frações granulométricas mais finas. Conseqüentemente, mesmo que a água contenha apenas pequenas quantidades destes elementos, materiais em suspensão e sedimento podem conter concentrações altas dos mesmos (Filgueiras et al., 2004). Em segundo lugar, a contribuição de fontes não pontuais, relacionadas a eventos intermitentes, podem ajudar na acumulação destes elementos no sedimento. Como resultado, os contaminantes podem não ser detectados em amostragens simples ou até mesmo periódicas de águas superficiais. Sedimentos em ambientes deposicionais podem fornecer uma visão ampla do deslocamento da matéria particulada transportada pela corrente hídrica. Finalmente, quando combinada com análises de tecidos biológicos, a concentração de elementos traço em sedimento fornece uma medida poderosa do potencial de bioacumulação em uma região específica. Nossos resultados indicam uma maior abundância de metais no sedimento do Rio Doce e nas lagoas mais próximas à região da foz, que se destacam por serem ambientes com menor profundidade e menor volume de água. Levando em consideração que estas lagoas estão conectadas à calha do Rio Doce, e que nos picos de vazão do rio nos períodos chuvosos ocorre um aporte de água e sedimento em suspensão para dentro destes ambientes, somado ao baixo dinamismo destas lagoas o que favorece a deposição de material particulado mais fino, é possível categorizar estes ambientes como locais críticos à contaminação ambiental e conseqüente bioacumulação na biota aquática.

Os resultados de concentração de metais nos organismos dulcícolas de diferentes níveis tróficos indicam um aumento temporal na bioacumulação destes elementos quando comparado a dados

pretéritos pré-rompimento, resultados estes já apresentados nas seções anteriores do relatório. Para o plâncton, destacamos o aumento de As durante a campanha 2 (jan/fev 2019 - estação chuvosa), com destaque para as estações amostrais Lagoa do Areão (LAO), Lagoa Monsarás (LMO), Rio Doce – Regência (RDR), e Rio Doce – Foz (RDF), ou seja, os pontos mais próximos à foz do Rio Doce. Estas concentrações de As no plâncton estão cerca de 5 a 10 x mais elevadas do que as concentrações detectadas anteriormente à chegada do rejeito. De maneira geral, os pontos Lagoa do Areão (LAO), Lagoa Monsarás (LMO), Rio Doce – Linhares (RDL), Rio Doce – Regência (RDR), e Rio Doce – Foz (RDF) também de destacam por apresentarem os maiores níveis de contaminação da comunidade planctônica por Cd, Cu, Fe e Mn, também com concentrações superiores a concentrações pretéritas à chegada do rejeito.

A comunidade bentônica dulcícola foi representada pelas larvas de quironomídeos, coletadas apenas durante a campanha 2 (jan/fev 2019 - estação chuvosa). De maneira geral, as maiores concentrações de metais bioacumulados nestes organismos foram encontradas nos pontos Lagoa do Areão (LAO), Lagoa Monsarás (LMO) e Rio Doce – Regência (RDR), com destaque para os elementos Fe, As, Cd, Cu e Mn. Além disto, os níveis de Fe nas larvas de quironomídeos do ponto Rio Doce – Regência (RDR) estão maiores do que aqueles descritos na literatura para organismos deste mesmo grupo coletados em outros ambientes impactados por metais. Considerando que estes organismos são de hábito bentônico, ou seja, se encontram em contato direto com o sedimento, os resultados de bioacumulação de metais estão de acordo com os resultados de contaminação do sedimento, o que sugere a contribuição da contaminação do sedimento na contaminação a biota.

Para os camarões, os resultados de bioacumulação indicam maiores valores de As, Cd, Cr e Fe nos pontos mais próximos à foz, com destaque para os pontos Lagoa do Areão (LAO), Rio Doce – Regência (RDR) e Rio Doce – Foz (RDF). Além disto, foi observado um padrão temporal para As, Fe, Mn e Zn, com maiores níveis de acumulação de As, Fe e Mn na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) e maiores níveis de Zn na campanha 1 (set/out 2019 – estação seca). Pode-se destacar ainda que os níveis de Fe nos camarões coletados no ponto Rio Doce - Foz (RDF) estão superiores aos valores máximos de Fe encontrados em camarões da mesma família coletados em outros estudos desenvolvidos em ambientes impactados. Semelhante ao observado para camarões, a comunidade de peixes também mostrou uma variação temporal nos níveis teciduais de metais. Com relação aos elementos As, Fe e Mn, os maiores níveis de acumulação em peixes foram observados na campanha 2 (jan/fev 2019 - estação chuvosa), com destaque para os organismos coletados na Lagoa do Areão (LAO), Lagoa Monsarás (LMO) e Rio Doce – Regência (RDR). Os resultados foram semelhantes entre os peixes do grupo I (maior tendência à onivoria/herbivoria) e do grupo II (maior tendência à carnivoria).

De maneira geral, os principais efeitos observados na biota aquática da porção capixaba da bacia do Rio Doce foram evidenciados pelo aumento nos níveis de danos em macromoléculas, especialmente a lipoperoxidação (LPO) e danos em DNA, e pelo aumento no conteúdo de metalotioneínas (MT). Além disto, pode-se destacar também a grande incidência de alterações morfológicas observadas no tecido branquial e hepático dos peixes coletados em todas as estações amostrais investigadas.

Um aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (ERO) acima dos níveis basais, ultrapassando a capacidade antioxidante dos tecidos e gerando danos em macromoléculas (lipoperoxidação, oxidação de proteínas e dano de DNA), caracteriza a situação conhecida como “estresse oxidativo” (Halliwell & Gutteridge, 1999). Neste contexto, cabe ressaltar que muitos poluentes, incluindo os metais, são capazes de aumentar a geração de ERO através de mecanismos diversos, tais como a reação de Fenton na presença de alguns metais de transição (como Cu e Fe), a interferência com a cadeia transportadora de elétrons, entre outros (Livingstone, 2001), sendo capazes de induzir a situação de estresse oxidativo em animais aquáticos (Monserrat et al., 2007). Por isto, a medida dos níveis de danos oxidativos às macromoléculas, incluindo a lipoperoxidação, tem sido amplamente utilizada como biomarcador de estresse induzido por contaminantes no meio aquático, especialmente por metais (Monserrat et al., 2007; Machado et al., 2013). Portanto, a exposição de organismos aquáticos a metais pode induzir a geração de ERO, provocando danos oxidativos importantes às biomoléculas, tais como lipídios, proteínas e DNA. A lipoperoxidação pode ser definida como uma cascata de eventos bioquímicos resultantes da ação de radicais livres sobre os lipídeos insaturados das membranas celulares, gerando principalmente hidroperóxidos lipídicos. Este processo leva à destruição da estrutura dos lipídeos de membrana, resultando em interferência da função das membranas que, numa condição extrema, pode levar à morte celular (Benzie, 1996). Entre os produtos finais formados durante o processo de lipoperoxidação destacam-se alguns aldeídos, como o malondialdeído (MDA) e o 4-hidroxinonal (4-HNE) (Halliwell & Gutteridge, 2007). O 4-HNE em níveis elevados (acima de 1  $\mu\text{M}$ ) pode atuar em processos citotóxicos e genotóxicos, provocando danos mitocondriais e inibindo a ação de chaperonas e a síntese de DNA e de proteínas. Já o MDA pode atacar proteínas quando presente em ambientes de baixo pH, resultando em modificações de inúmeros resíduos de aminoácidos (especialmente lisina), também podendo reagir com bases de DNA (especialmente guanina) gerando lesões mutagênicas (Halliwell & Gutteridge, 2007). A LPO talvez se constitua no evento citotóxico primário que desencadeia uma sequência de lesões aos constituintes celulares.

Outro biomarcador bastante responsivo no presente estudo foi a metalotioneína (MT), que apresentou uma resposta característica frente à exposição e aumento de determinados metais nos diferentes níveis tróficos investigados, incluindo o plâncton, quironomídeos, camarões e peixes, sempre associados a locais com maiores níveis de contaminação por estes elementos. As metalotioneínas são proteínas com diferentes funções no metabolismo de metais. Entre estas funções pode-se destacar: ação como metalochaperonas que atuam no transporte de íons metálicos para outras proteínas; controle da concentração de elementos traço livres como o zinco (Zn) e cobre (Cu); ação como agente de detoxificação para metais como cádmio (Cd) e mercúrio (Hg); sequestro de metais; e proteção contra condições de estresse. Por isto, a MT é uma importante proteína no metabolismo intracelular de Cu e Zn e na proteção contra danos oxidativos resultantes da exposição excessiva a metais (Muto et al., 1999). A gama de metais capazes de se ligarem à MT é ampla (Stillman, 1995). A maior parte dos íons metálicos das famílias I-B e II-B da tabela periódica são conhecidos por se ligarem aos diversos grupos sulfidríla (-SH) presentes na molécula de MT. A afinidade dos íons metálicos pelos sítios de ligação na

proteína MT segue a ordem encontrada para tiolatos inorgânicos, isto é, Hg (II), Ag (I), Cu (I), Cd (II) e Zn (II) (Noel-Lambot et al., 1978; Kägi e Schäffer, 1988; Roméo et al., 1997; Linde et al., 2001).

Um dos mecanismos-chave da toxicidade de metais tem sido associado ao comprometimento osmorregulatório em função da inibição de ATPases nos tecidos osmorregulatórios de organismos aquáticos (McGeer & Wood, 1998). Estes elementos podem alterar a atividade destas enzimas tanto pela ligação a seus grupos funcionais ou pelo deslocamento do metal associado à enzima (Viarengo, 1989). As ATPases desempenham um papel fundamental no transporte de íons através da célula, mantendo assim o equilíbrio osmótico no animal (Atli & Canli, 2013). Desta forma, as ATPases, em conjunto com os parâmetros iônicos têm sido considerados como biomarcadores sensíveis utilizados para avaliação dos efeitos de metais sobre espécies aquáticas dulcícolas. Nos camarões coletados em Rio Doce – Foz (RDF) e Lagoa do Areão (LAO), os menores valores de atividade da enzima Na/K ATPase (NKA) encontrados podem indicar um efeito direto dos metais associados a estes ambientes, podendo comprometer a reprodução e colonização, por exemplo, de espécies diádromas. Nas larvas de quironomídeos, menores atividades enzimáticas também foram observadas em locais com maiores níveis de contaminação de metais, especialmente nos pontos da Lagoa Nova (LNO), Lagoa Juparanã (LJA), Rio Doce - Linhares (RDL) e Rio Doce – Regência (RDR), os quais apresentaram elevadas concentrações de metais no sedimento.

Outro efeito biológico observado com bastante frequência em camarões e peixes da porção capixaba da bacia do Rio Doce refere-se a danos na molécula de DNA. A maior frequência de danos de DNA (sítios AP) em ambos os organismos foi evidenciada durante a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), com destaque para os pontos Rio Doce – Linhares (RDL), Lagoa do Limão (LLI) e Lagoa Monsarás (LMO). Os sítios AP, biomarcador de dano oxidativo em DNA utilizado neste monitoramento, podem bloquear a replicação e a transcrição do DNA (Boiteux e Guillet, 2004). Com isso, podem causar mutações, estando relacionados ao câncer e várias doenças (Evdokimov et al. 2014; Slupphaug et al. 2003).

Modificações morfológicas em diferentes órgãos de peixes também são frequentemente associadas à exposição a contaminantes ambientais. A histologia representa um instrumento útil para a avaliação do grau de contaminação aquática, como um indicador de exposição a contaminantes (Cengiz, 2006). A análise histológica é um método rápido e eficiente para se determinar os efeitos dos agentes químicos em tecidos e órgãos, pois ocorrem alterações na morfologia em resposta ao estresse sub-letal ou crônico (Johnson, 1993). Há um grande número de estudos de avaliação de risco ambiental que utilizam os biomarcadores histopatológicos, todavia, a ausência de dados numéricos dificulta o estabelecimento de relações de causa e efeito entre o contaminante e a patologia observada. Desta forma, tais estudos têm focado em índices histopatológicos que forneçam dados numéricos baseados em abordagens semi-quantitativas (Costa et al., 2009). Nossos resultados demonstraram que tanto os peixes carnívoros quanto os peixes herbívoros apresentaram maiores índices de danos histológico nos pontos Lagoa Monsarás (LMO), Rio Doce – Linhares (RDL), Rio Doce – Regência (RDR) e Rio Doce – Foz (RDF) em relação às demais estações amostrais monitoradas. Além disto, pode-se destacar também

a maior incidência de alterações histológicas nas brânquias dos peixes coletados na campanha 2 (jan/fev 2019 - estação chuvosa).

Em termos gerais, os resultados obtidos na avaliação de níveis inferiores de organização biológica, como as respostas bioquímicas e moleculares, são mais específicos, sensíveis e apresentam alta reprodutibilidade. No entanto, estes são mais difíceis de serem correlacionados a efeitos ecológicos. Por outro lado, as respostas obtidas em níveis mais altos de organização biológica, como, por exemplo, em nível de população e comunidade, indicam diretamente o *status* do ecossistema, sendo relevantes em avaliações ambientais. Entretanto, estas respostas são de difícil acesso, principalmente considerando-se as avaliações *in loco*. Dessa forma, as avaliações histopatológicas, as quais são relativamente fáceis de serem determinadas, atuam como um vínculo entre o *fitness* individual e os efeitos ecológicos, permitindo a extrapolação das respostas individuais a populações (Au, 2004; Schlenk et al., 2008). A alta incidência de alterações morfológicas encontradas no fígado e nas brânquias de peixes, com destaque para as alterações irreversíveis, como a necrose tecidual, podem indicar um efeito crônico e relacionado à exposição a altas concentrações de metais no ambiente tanto em momentos pretéritos a este monitoramento como também no atual cenário de exposição.

Os metais também podem afetar parâmetros em nível de indivíduo, como o crescimento, a reprodução e a sobrevivência dos organismos. Para tanto, a toxicidade de amostras de água e sedimento foram testados para verificar estes efeitos individuais em organismos de diferentes níveis tróficos. Os ensaios ecotoxicológicos do Anexo 1 do PMBA foram realizados com amostras de água e sedimento coletadas no afluente do Rio Doce em Rio Guandú (BRG) e Rio Doce - Foz (RDF), além de pontos na região costeira adjacente (FRD1, FRD6, CA1, CA2). Foram utilizados organismos de diferentes níveis tróficos como bioindicadores de toxicidade para determinar os efeitos da passagem da pluma de rejeitos oriunda da ruptura da barragem do Fundão na cidade de Mariana (MG).

Para a porção dulcícola (ponto BRG) e estuarina (ponto RDF), o ensaio mais sensível foi o ensaio crônico com o cladóceros *D. magna*, usada como organismo-teste para avaliar a qualidade da água e elutriado do sedimento. Na mesma linha, o organismo que apresentou maior responsividade (sensibilidade) aos ensaios com amostras coletadas nos pontos BRG e RDF, mas no âmbito do PMQQS (período de coleta entre 2017 e 2018) foi o também cladóceros *C. dubia*. Adicionalmente, o relatório técnico da Aplysia Soluções Ambientais de 2017 (Furley et al., 2017) mostrou que amostras coletadas na porção capixaba do Rio Doce entre novembro de 2015 e dezembro de 2016 em pontos equivalente aos pontos BRG e RDF, apresentaram toxicidade crônica para *C. dubia*. Dados apresentados pela Golder Associates (2016) e validados pela RRDM (Relatório Técnico - Avaliação e consolidação de dados pretéritos, 2018) também revelaram que amostras do Rio Doce coletadas após o rompimento da barragem (2015 a 2017), foram tóxicas para *C. dubia*; enquanto que Barbosa et al. (2015) observaram efeito crônico em *Ceriodaphnia silvestrii* expostas à água e sedimento de amostras coletas na bacia do Rio Doce em 2015 (Barra Longa e Rio Casca). Os ensaios crônicos com *D. magna* e os ensaios crônicos com *C. dubia* ou *C. silvestrii* podem ser considerados como equivalentes do ponto de vista ecotoxicológico, uma vez que ambos expressam efeitos crônicos na reprodução (e/ou mortalidade) de cladóceros representativos do zooplâncton. Apesar disto, o relatório da Aplysia

concluiu que a toxicidade da água para *C. dubia* estaria relacionada à presença de partículas em suspensão oriundas da lama de rejeito, que estariam entupindo as estruturas alimentares destes organismos e, conseqüentemente, provocando estresse no crescimento e reprodução, podendo até causar mortalidade. Os ensaios do PMQQS com *C. dubia*, por sua vez, indicaram a água como sendo mais tóxica do que o elutriato do sedimento, tanto para o ponto no Rio Guandu (BRG) quanto para o ponto em Rio Doce - Foz (RDF). No entanto, com as informações disponíveis pelo PMQQS não foi possível inferir se esta toxicidade estaria associada a partículas em suspensão, pois não detivemos de informações como turbidez e outros parâmetros físico químicos das amostras. Ademais, também não sabemos se o elutriato foi filtrado antes dos ensaios realizados pelo PMQQS. No caso dos ensaios crônicos realizados com *D. magna* pelo PMBA, acreditamos que o efeito tóxico não esteja relacionado apenas à presença de partículas em suspensão, pois na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) o elutriato do sedimento do ponto no Rio Guandu (BRG) não foi tóxico, mas a água sim, sendo que no elutriato havia nitidamente mais partículas em suspensão do que na água. Porém, vale lembrar que *D. magna* é um organismo maior que a *C. dubia*, e, portanto, a tolerância pode ser diferente com relação à presença e tamanho de partículas suspensas na amostra-teste.

Com relação aos ensaios agudos com *D. magna*, observamos queda na sobrevivência quando expostas a amostras de elutriato do sedimento coletados no ponto Rio Doce – Foz (RDF), tanto na campanha 1 (set/out 2019 – estação seca) quanto na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa). O relatório da Aplysia (Furley et al., 2017) mostrou mortalidade de *Daphnia similis* em poucos ensaios, mais precisamente em 1,76% dos quase 800 ensaios que foram realizados com esta espécie e com amostras de água coletadas ao longo do Rio Doce (porção mineira e capixaba). Barbosa et al. (2015), Abessa et al. (2016) e Rietzler et al. (2016), bem como o monitoramento realizado pelo PMQQS não observaram letalidade para *D. similis* quando expostas à água coletada no Rio Doce após o rompimento da barragem. Adicionalmente, Barbosa et al. (2015) não observou efeito agudo da água coletada na bacia do Rio Doce em novembro de 2015 para *Daphnia ambigua*. Dessa forma, fica evidente que ensaios agudos com espécies de daphnídeos não são tão sensíveis como os crônicos (*Daphnia sp* ou *Ceriodaphnia sp*), mas quando respondem podem indicar elevada toxicidade da amostra.

Outros organismos que se apresentaram sensíveis às amostras coletadas e testadas pelo Anexo 1 foram as larvas do peixe *D. rerio* para amostras de elutriato do sedimento, e o anfípoda *Hyalella spp* para amostras de sedimento bruto. Em ambos os ensaios foi observada redução na sobrevivência dos organismos. Por outro lado, os adultos de *D. rerio* mostraram-se mais tolerantes que suas larvas, mas ainda assim foram sensíveis ao elutriato do sedimento do ponto Rio Doce – Foz (RDF). Em contrapartida, os ensaios do PMQQS realizados com adultos de *D. rerio* expostos a amostras coletadas no Rio Guandu (BRG) e em Rio Doce – Foz (RDF) entre 2017 e 2018, não indicaram toxicidade e, portanto, não foram computados na análise ecotoxicológica apresentada neste relatório. Cabe ressaltar que o PMQQS só testou *D. rerio* adulto em amostras que apresentaram toxicidade para *C. dubia*. Os resultados da Aplysia Soluções Ambientais também indicaram baixa responsividade de *D. rerio* adulto às amostras coletadas no Rio Doce entre 2015 e 2016 e, da mesma forma, os autores desconsideraram estes ensaios para classificação ecotoxicológica da sua malha amostral (Furley et al., 2017). Ainda

tratando de *D. rerio*, o Anexo 1 do PMBA também realizou ensaios de toxicidade com embriões desta espécie (OECD 236), e dentre as possíveis variáveis que podem ser observadas como indicativas de toxicidade, consideramos apenas a coagulação nos embriões como medida de letalidade. Porém, os resultados destas análises foram inconclusivos, de modo que observamos poucos efeitos, mas sem uma relação dose-resposta clara. Assim, optamos por desconsiderar os ensaios com embriões para classificação das amostras quanto a sua toxicidade. Salientamos que estes ensaios com embriões são pouco utilizados para análises ecotoxicológicas com amostras ambientais, no entanto, realizamos o mesmo, pois foi indicado no TR4 a necessidade de se analisar a qualidade das amostras de água e sedimento usando o desenvolvimento embrionário de *D. rerio* como indicativo de toxicidade.

Com relação aos ensaios com microalgas, nossos resultados também ficaram inconsistentes, pois houve maior crescimento da cultura algal nos grupos experimentais com maior concentração de amostra ambiental, indicando que a amostra estimulou o crescimento dos organismos. Isto pode ter ocorrido pelo aporte de nutrientes, incluindo metais, em concentrações que estimularam a síntese de biomassa algal. Por este motivo, as análises com microalga foram desconsideradas. No entanto, o PMQQS indicou toxicidade leve das amostras de água coletadas no ponto Rio Doce – Foz (RDF) entre 2017 e 2018 para a mesma microalga que testamos (*R. Subcapitata*), principalmente para amostras coletadas em períodos chuvosos (novembro/2017 e fevereiro/2018). Já ensaios com microalgas da espécie *Chlorella vulgaris* com amostras de água coletadas em 2015 em dois pontos da bacia do Rio Doce (Córrego Água Fria – referência; e Barra Longa - Rio do Carmo) também não mostraram inibição de crescimento das algas (Barbosa et al., 2015). Em contrapartida, o referido artigo mostrou inibição no crescimento das cianobactérias da espécie *Microcystis novacekii* expostas às mesma amostras que *C. vulgaris*. Seguindo estes resultados, os autores sugeriram o uso das cianobactérias para indicar a condição tóxica da bacia do Rio Doce (Barbosa et al., 2015).

Para *Hyalella* spp, os ensaios com sedimento bruto do ponto no Rio Guandu (BRG) não apresentaram toxicidade considerando-se as duas campanhas. Por outro lado, os ensaios realizados com amostras de sedimento do ponto Rio Doce – Foz (RDF) apresentaram toxicidade para o anfípoda em ambas as campanhas, sendo que na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) a toxicidade foi mais acentuada do que na campanha 1 (set/out 2018 – estação seca). Nesta mesma linha, dados do relatório da Aplysia Soluções Ambientais mostraram que 30,26% dos 651 ensaios realizados com *Hyalella azteca* e amostras de sedimento coletadas no Rio Doce, porção mineira e capixaba, nos anos de 2015 e 2016, foram classificados como tóxicos. O relatório também relaciona a maior toxicidade do sedimento para *H. azteca* com períodos de alta pluviosidade (Furley et al., 2017).

A toxicidade verificada nos pontos amostrais Rio Guandu (BRG) e Rio Doce – Foz (RDF), tanto pelo PMQQS quanto pelo PMBA, não apresentou padrão claro de diferença sazonal. No entanto, o relatório da Aplysia divulgado em 2017 (Furley et al. 2017) indica que o aumento de pluviosidade está associado à maior toxicidade de amostras coletadas em Barra Longa no Rio Doce em janeiro de 2016. Conforme mencionado anteriormente, o aumento da pluviosidade pode aumentar a disponibilidade de contaminantes no ambiente aquático.

A integração dos resultados de toxicidade das amostras de água dos pontos Rio Guandu (BRG) e Rio Doce – Foz (RDF) e respectivas concentrações de metais (total e dissolvido) separa os pontos amostrais em quadrantes distintos, inclusive com relação às diferentes campanhas. Nesta análise, a variável “Toxicidade da Água” ficou associada ao ponto Rio Doce – Foz (RDF) para a campanha 1 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), juntamente com os elementos Cu, Zn, Pb e Cr dissolvidos e As total. Por outro lado, a análise integrada para os resultados de toxicidade e concentrações de metais no sedimento, mostrou a variável “Toxicidade do Sedimento” e os elementos As, Cr e Mn correlacionados ao ponto Rio Doce – Foz (RDF) nas duas campanhas.

Em resumo, os valores de toxicidade apresentados para amostras coletadas no Rio Doce indicam claramente que a região estuarina (ponto Rio Doce – Foz), está mais impactada do ponto de vista de ensaios de toxicidade do que seu afluente no Rio Guandú (ponto BRG). Esta conclusão tem como base tanto os resultados dos ensaios do Anexo 1 do PMBA quanto do PMQQS em monitoramento realizado no período entre 2017 a 2019, considerando-se os dois programas. Adicionalmente, os resultados do Anexo 1 indicam que a maior toxicidade do ponto Rio Doce - Foz (RDF) está associada ao seu sedimento, o que, possivelmente, está relacionado ao maior teor de matéria orgânica neste compartimento e, portanto, maior concentração de metais. É sabido que os metais possuem alta afinidade pelo carbono orgânico dissolvido e particulado, associando-se, portanto, aos compartimentos com maior concentração de matéria orgânica (Paquin et al., 2000).

## 4.2 AMBIENTE MARINHO

A pluma de rejeitos decorrente do rompimento da barragem de Fundão atingiu o oceano Atlântico no dia 22 de novembro de 2015. Sobrevôos e imagens de satélite registraram a dispersão da pluma e o alcance para áreas relativamente distantes da foz do rio Doce (Nota Técnica nº 23/2017/TAMAR-Vitoria- ES/DIBIO/ICMBio; Bianchini et al., 2016; Marta-Almeida et al., 2016). Diversos estudos (Nota Técnica nº 3/2017/ Vitoria- ES/TAMAR/DIBIO/ICMBio, entre outras notas e relatórios disponibilizados por CTBio/DIBIO/ICMBio) relataram a influência de sedimento e metais provenientes da pluma em Unidades de Conservação localizadas ao longo da costa do Espírito Santo. Ainda, é interessante relatar que existem indícios de que o banco de Abrolhos (BA), o maior complexo recifal do Atlântico Sul, também sofreu impactos decorrentes deste evento (Francini-Filho et al., 2019; Evangelista, 2017).

Ao atingir o ambiente marinho, a pluma de rejeitos desencadeou um quadro de contaminação ambiental. Queiroz e colaboradores (2018) evidenciaram um aumento significativo dos metais no sedimento, que também foi indicado por relatórios técnicos produzidos pela UFES (Bastos et al., 2017). Dentre os metais fortemente associados ao rejeito monitorado, o Fe se destaca (Queiroz et al., 2018). Considerando os dados apresentados neste relatório e processados no âmbito do Anexo 1 do PMBA, os níveis de Fe na água coletada na área próxima à foz do Rio Doce estão significativamente maiores que os níveis encontrados antes da chegada da pluma de rejeitos no ambiente marinho.

As concentrações atuais de metais no sedimento coletado ao longo das 25 estações marinhas monitoradas pelo Anexo 1 do PMBA estão dentro do critério de qualidade ambiental preconizado pelo CONAMA 454/2012. Por outro lado, com relação aos critérios propostos pelo CONAMA 357/2005 para qualidade da água, diversas estações apresentaram Fe, Mn e Hg em desconformidade com a resolução vigente. Nesse contexto, é importante ressaltar que os limites de metais estabelecidos pela legislação brasileira não levam em conta o efeito combinado de uma mistura de metais, o que significa que mesmo os pontos amostrais que não apresentaram concentrações acima dos limites podem apresentar risco de toxicidade para a biota aquática.

Considerando que o Rio Doce foi o ponto de entrada dos rejeitos do rompimento no ambiente marinho, além de ser fonte de aporte crônico de material continental, espera-se que as estações mais próximas à foz apresentem maior concentração de metais associados à mineração. De fato, as maiores concentrações de Fe, Cr e Mn na água ocorrem em pontos de coleta localizados no setor Foz. Com relação ao padrão espacial de contaminação do sedimento, as maiores concentrações de Fe foram observadas no setor Foz e APA (região de Costa das Algas, ao sul da foz), enquanto os maiores níveis de Cr ocorrem no setor Foz e Norte.

Resultados do monitoramento realizado entre janeiro de 2016 e março de 2018, por parceria entre o ICMBio e as universidades UFES, FURG e UERJ, sugerem uma variação sazonal no perfil de contaminação na região (disponíveis em CTBio/DIBIO/ICMBio). O presente relatório também detectou um efeito da sazonalidade na variação espacial de metais em diferentes compartimentos do ambiente marinho. Com relação à acumulação de metais na biota, os níveis de Fe no zooplâncton coletado no setor Foz durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) estavam quase 3x maiores que o mensurado em amostras coletadas antes da chegada da lama. Por outro lado, os níveis de Fe detectados no zooplâncton amostrados na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) estavam 14x maiores que os valores pretéritos ao rompimento da barragem. A concentração de Cr no zooplâncton do setor Foz estava 4x e 2x maior que os valores encontrados antes do rompimento para as campanhas 1 (set/out 2018 – estação seca) e 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), respectivamente.

Os resultados obtidos evidenciam que a contaminação detectada em matrizes abióticas (água e sedimento) foi incorporada na teia trófica. As comunidades planctônicas são parte da base da cadeia trófica marinha, constituindo alimento para diversos tipos de larvas, invertebrados e peixes. A bioacumulação de metais em comunidades planctônicas representa um risco de desequilíbrio no ambiente marinho não apenas pelo potencial de afetar relações alimentares (ao diminuir populações que fazem parte da base da teia trófica), mas também pela transferência trófica de metais e pela probabilidade de ocorrência de biomagnificação (Chouvelon et al., 2019).

Organismos planctônicos acumulam metais por difusão através da água e/ou pelo alimento, ou mesmo pela ligação/aderência de partículas com metais nas paredes das células/superfície externa (Kehrig et al., 2009, Ng et al., 2005, Fisher et al., 2000). Considerando isto e, ainda, o relativo curto ciclo de vida destes organismos, os altos níveis de metais acumulados no zooplâncton quatro anos após o rompimento da barragem de Fundão (em comparação com valores pretéritos ao rompimento), sugerem biodisponibilização constante de Fe e Cr na região marinha. Como os níveis de Fe no zooplâncton

aumentaram ainda mais na campanha 2, é possível que seu maior aporte esteja relacionado ao período chuvoso. O aumento na pluviosidade pode levar à remobilização de material sedimentado nas margens do Rio Doce e maior transporte fluvial de material continental, incluindo contaminantes (Fabricius 2005). Além disso, Queiroz e colaboradores (2018) sugerem que os óxidos de Fe, que contribuem por até 90% dos resíduos da barragem e possuem baixa solubilidade, podem se tornar mais biodisponíveis dependendo das condições geoquímicas.

Organismos planctônicos servem de alimento para larvas e juvenis de crustáceos e peixes, representando um elo entre a contaminação da água e a contaminação em níveis tróficos superiores. Camarões peneídeos, como o camarão sete barbas e o camarão rosa, se alimentam de detritos que contêm excretas e carcaças provenientes do plâncton, além de pequenos animais bentônicos que podem ser constituintes do zooplâncton durante sua fase larval (Branco e Moritz-Hr, 2001). Além disso, são espécies que estão expostas constantemente à contaminação via sedimento por serem bentônicas e por se alimentarem de detritos (Rinderhagen et al., 1999). O padrão espacial de acumulação de metais em camarões marinhos coletados ao longo do primeiro ano do PMBA é influenciado pela sazonalidade. Esse comportamento fica evidente ao se avaliar o padrão espaço-temporal de elementos que tem seu valor limite legislado pela Resolução - RDC Nº 42 da agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA 42/2013), sendo esses o As, Cd, Hg e Pb. Durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca), 7,5% dos camarões coletados apresentaram nível de As acima do permitido pela portaria ANVISA 42/2013, sendo que a maioria desses organismos foi coletada nos setores Foz e APA. Na campanha 2 (jan/fev 2019 - estação chuvosa), essa proporção cai para 2,2%, com ocorrência de indivíduos contaminados se concentrando em único ponto no setor Foz. Com relação aos níveis de Cd, 12,9% e 36,7% dos camarões amostrados na campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) e na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), respectivamente, se apresentaram em desconformidade com a legislação vigente para músculo de pescado. Para o Cd, os maiores níveis de acumulação em camarões foram encontrados no setor Foz e Norte durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca), e no setor Foz e Sul durante a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa). As principais espécies de macrocrustáceos coletadas ao longo do ano 1 do PMBA foram o camarão sete barbas e o camarão rosa. Essas espécies são de extrema importância para a pesca artesanal no estado do Espírito Santo (Pinheiro e Martins, 2009), de forma que o nível de contaminação reportado no presente relatório indica uma ameaça severa para a saúde da população e para a economia local. O consumo humano prolongado de quantidades traço de metais provoca distúrbios em vários processos fisiológicos, podendo levar a ocorrência de anemia, distúrbios renais e câncer (Kim et al., 2015, Amirah et al., 2013). O Fe, metal que se destaca no quadro de contaminação associado ao rompimento da barragem, apresentou seus maiores níveis em camarões coletados na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), com distribuição espacial fortemente associada à foz do Rio Doce. Este resultado está de acordo com o observado para água, sedimento e zooplâncton.

Os peixes coletados ao longo do primeiro ano do PMBA também apresentaram níveis de Fe maiores na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), com forte associação com o setor Foz. Alguns pontos amostrais chegam a apresentar peixes com concentração de Fe duas vezes maior que o nível reportado

para antes do rompimento. O padrão espaço-temporal de contaminação de peixes foi semelhante ao observado em camarões. Durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca), 16,4% dos peixes coletados apresentaram nível de As acima do permitido, sendo que todos foram coletados nos setores Foz e APA. Na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), a contaminação por As cai expressivamente. Com relação aos níveis de Cd, mais de 60% dos peixes amostrados pelo Anexo 1 estavam em desconformidade com a portaria ANVISA 42/2013. Assim como o observado em camarões de interesse comercial, os maiores níveis de Cd foram encontrados no setor Foz e Norte durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) e no setor Foz e Sul durante a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa). Estes padrões reforçam a ideia de que existe uma interação entre a estação do ano/sazonalidade e os pontos amostrais, de forma que diferentes estações levam a diferentes padrões espaciais de contaminação.

A contaminação em matrizes abióticas não é 100% congruente com a contaminação na biota, como já observado em outros trabalhos (Calbet et al., 2016). Esta diferenciação pode ser esperada em ambientes complexos como a zona estuarina e marinha, uma vez que os metais encontrados nestes ambientes nem sempre estão biodisponíveis. É importante destacar que a biodisponibilidade de metais varia em função de diversos fatores abióticos, como temperatura, pH e salinidade (Barletta et al., 2019). O padrão de acumulação de metais nos organismos pode ser influenciado, ainda, por fatores bióticos. Neste sentido, o padrão de bioacumulação varia consideravelmente entre espécies (Rainbow, 2002) devido a diferentes taxas de assimilação, taxas e tipo de metabolismo, composição corporal, sistemas de detoxificação e mesmo devido a diferentes fontes alimentares ou complexidade da teia trófica (Calbet et al., 2016; Rainbow, 2002), que por sua vez também variam espacial e temporalmente (Chouvelon et al., 2019; Ng et al., 2005). Ambientes marinhos são sistemas de alta variabilidade espaço-temporal com relação a fatores físico-químicos, hidrodinâmica, e, principalmente, com relação à complexidade de teias tróficas e relações intra e interespecies. Sendo assim, raramente se observa relações lineares e facilmente previsíveis entre aporte e biodisponibilidade de contaminantes, assimilação pela biota, transferência entre espécies e reciclagem dentro do ciclo biogeoquímico.

Mesmo considerando a alta complexidade do sistema estudado e a variabilidade de resultados, é possível detectar padrões bem claros de maior entrada de metais no ambiente após o rompimento da barragem de Fundão, e de incorporação de metais pela biota em todos os níveis tróficos estudados. O Fe foi o metal que apresentou o padrão mais consistente, com bioacumulação observada em todos os níveis tróficos estudados ocorrendo em associação com a foz do Rio Doce durante a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa). Isso sugere que o aporte (ou biodisponibilização) de Fe no ambiente marinho ocorra de forma mais consistente ou frequente em comparação com os demais metais.

Os efeitos biológicos mais severos, dano de DNA em crustáceos e peixes, foram observados em pontos do setor Foz durante campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), de forma congruente com o maior nível ambiental e biológico de Fe. Conforme comentado anteriormente, os sítios AP (dano oxidativo no DNA) estão relacionados com mutações e indução de tumores. Esse tipo de efeito biológico tem forte potencial para afetar níveis mais altos e ecologicamente relevantes de organização biológica, como comunidades e populações, o que levaria a alterações não apenas na teia trófica local como na

economia, que é fortemente relacionada à pesca de camarões e peixes no estado do Espírito Santo (Martins et al., 2009).

Apesar do plâncton acumular mais Fe no setor Foz durante a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), de forma similar aos camarões e peixes, o efeito biológico analisado em organismos planctônicos não se mostrou tão associado a este metal. Este resultado pode estar relacionado a vários fatores, dentre eles a possibilidade de o Fe – que atua como um “fertilizante” para o fitoplâncton – não ser tão tóxico para espécies presentes em comunidades planctônicas, e, ainda, diferenças na composição de espécies. Uma vez que as análises de metais e biomarcadores em amostras de plâncton são realizadas na população, é possível que a aparente “resiliência” do plâncton coletado no setor Foz seja reflexo de uma comunidade dominada por espécies resistentes a metais ou mesmo de uma provável adaptação das populações locais a um aporte constante de Fe. De acordo com Bastos et al. (2017), as comunidades planctônicas mostraram sinais de recuperação e/ou adaptação posteriormente a um pico de alta abundância e baixa riqueza observado logo após a chegada da lama no ambiente marinho.

O setor APA, com pontos localizados na REVIS Santa Cruz e na APA Costa das Algas, localizado ao sul e relativamente próximo da foz do Rio Doce (~45 Km), apresenta níveis consideráveis de contaminação por As e Cd. O plâncton coletado nesse setor apresentou níveis mais altos de dano oxidativo (mensurado por produtos de dano oxidativo em lipídios - LPO), em comparação com os demais setores. O setor APA apresenta níveis relativamente altos de Fe e Cd no plâncton, o que levou a um estresse fisiológico geral nestes organismos (mensurado pelos diferentes biomarcadores). O plâncton parece evidenciar mais os efeitos da combinação de vários metais, enquanto os efeitos biológicos em peixes e crustáceos foram mais severos em locais onde a contaminação por Fe é mais pronunciada.

Os setores Foz e APA se destacaram como regiões críticas (“hotspots”) de risco ambiental neste monitoramento por apresentarem níveis consideráveis de contaminação em mais de um nível trófico e, também, por apresentarem efeitos biológicos associados à exposição a metais. De forma geral, a integração dos dados de bioacumulação e de biomarcadores indicou maiores índices de estresse na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) para o setor APA, sendo que esses efeitos ocorreram em mais de um nível trófico. No setor Foz, em resumo, os maiores efeitos integrados de bioacumulação e estresse fisiológico foram observados em camarões.

Testes de toxicidade aplicados à água e sedimento coletados nestes setores também indicaram poluição/estresse ambiental. Amostras coletadas no setor Foz (pontos FRD1 e FRD6) e no setor APA (pontos CA1 e CA2) foram submetidas a ensaios de toxicidade com a microalga *T. pseudonana*, ouriço-do-mar *E. Lucunter* (fertilização e desenvolvimento embrio-larval), o copépode *Nitokra sp* e peixes *P. vivipara*. Os ensaios de percentual de desenvolvimento embrio-larval do ouriço e de reprodução de *Nitokra sp*, ambos crônicos, foram os mais sensíveis e responderam a quase todas as amostras de água e sedimento testadas. Corroborando com nossos resultados, o relatório técnico da Aplysia (Furley et al. 2017), também mostrou que a água superficial coletada em pontos da foz do Rio Doce no período entre 2015 e 2016 reduziu o percentual do desenvolvimento embrio-larval de *E. lucunter* (efeito negativo

em 9,26% das amostras). Este relatório também mostrou que amostras de sedimento coletadas entre 2015 e 2016 na foz do Rio Doce apresentaram efeitos agudos para o anfípoda bentônico *Grandidierella bonnieroides*. O sedimento pode agir como um depósito de contaminantes pelo elevado teor de matéria orgânica, o que retrata seu maior potencial tóxico em comparação com a água. Considerando que o estresse mais severo dentro do setor Foz ocorreu em camarões, reforça-se a ideia de que o sedimento é a fonte de estresse mais relevante nesta área.

Os ensaios com o peixe *P. vivipara* no estágio juvenil não foram tão sensíveis quanto os ensaios com *E. lucunter* e *Nitokra* sp., mas ainda assim responderam (mortalidade) às amostras de água e elutriado de sedimento coletadas no setor APA. Por outro lado, os ensaios com as microalgas *T. pseudonana* não apresentaram resposta válida para serem considerados na nossa análise. Este fato é justificado pelo fato de as algas terem crescido com o aumento de amostra na solução-teste. Resultados semelhantes foram encontrados para os testes de toxicidade com amostras do ambiente dulcícola, já comentado anteriormente.

De maneira geral, os ensaios com amostras coletadas nos setores Foz e APA indicaram o sedimento como mais tóxico que a água. Como mencionado, por ser, geralmente, rico em matéria orgânica, o sedimento acaba concentrando mais metal do que a água, o que pode aumentar seu potencial tóxico. Deve ser considerado que o elutriado do sedimento apresenta mais partículas em suspensão do que a água. Estas partículas podem influenciar na toxicidade, uma vez que podem se adsorver às estruturas dos animais, como brânquias ou outras superfícies de troca, impedindo que eles realizem funções vitais como respiração e regulação iônica e osmótica.

Os pontos FRD1 (setor Foz), CA1 (setor APA) e CA2 (setor APA) foram classificados como moderadamente tóxicos, considerando as campanhas 1 (set/out 2018 – estação seca) e 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), enquanto o ponto FRD6 (setor Foz) foi classificado como tóxico para a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) e levemente tóxico para a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa). Quando separamos os efeitos entre as diferentes matrizes (água e sedimento), podemos observar que a maior contribuição é dada pelo sedimento. No caso do setor APA, é importante considerar a presença de atividades sabidamente poluidoras no entorno dele, como a presença do estaleiro Jurong, do Portocel e da fábrica de celulose Suzano AS. Assim, não há como afirmar se o impacto neste setor vem do rompimento da barragem do Fundão ou de outras fontes.

Os resultados obtidos com as análises da comunidade microbiana no ambiente marinho indicam pouca alteração neste parâmetro entre as duas campanhas analisadas. De maneira geral, as amostras de água apresentaram maior homogeneidade e pouca dominância de grupos microbianos específicos que pudessem servir como parâmetro na avaliação de possíveis indicadores microbianos. Por outro lado, as amostras de sedimento e coral possibilitaram um melhor monitoramento geográfico e temporal de alterações ambientais. Neste sentido, alguns grupos bacterianos identificados chamaram atenção devido a sua presença e abundância nas amostras de sedimento do Rio Doce, Foz do Rio Doce e região costeira adjacente, bem como sua presença em amostras de coral das duas espécies contempladas nesta análise (*Millepora alcicornis* e *Mussismilia harttii*). Desta forma, bactérias pertencentes à família Pirellulaceae, que além de sua frequência ao longo do monitoramento, possui

muitos genes de resistência a metais, estão sendo propostas no presente trabalho como bioindicadores da presença de metais no sedimento do Rio Doce. A família *Pirellulaceae* foi encontrada no sedimento da Foz do Rio Doce e Região costeira adjacente até a região de Abrolhos. Percebe-se também um aumento de sua abundância relativa da primeira (set/out 2018 – estação seca) para a segunda campanha (jan/fev 2019 – estação chuvosa), coincidindo com a maior ocorrência de danos oxidativos na biota e maior nível de alguns metais, como o Fe. A família *Anaerolineacea* também é aqui citada como potencial bioindicadora da presença de metais, uma vez que já é bem conhecida na literatura pelo potencial ANNAMOX e se apresenta em elevada abundância nas amostras de sedimento do Rio Doce, sendo gradualmente reduzida nos pontos mais afastados da foz.

Apesar da considerável distância entre a foz do Rio Doce e o setor Abrolhos, diversos autores sugerem a influência do rompimento da barragem de Fundão nos recifes do Parque Nacional Marinho de Abrolhos (Francini-Filho et al., 2019; Evangelista, 2017). Neste setor foi encontrado níveis de Fe acima do permitido para água marinha (CONAMA 357/2005) nas duas campanhas realizadas no âmbito do PMBA. Além disto, a comparação com recifes controle ao norte da Bahia (analisados antes do rompimento da barragem) indica que os níveis de Cd e Cr em corais aumentou significativamente nos pontos do setor Abrolhos, sugerindo que a área está sob estresse por exposição a metais.

Apenas considerando o setor Abrolhos, a variação temporal foi mais forte do que a variação espacial entre pontos. A temperatura média foi 1,6°C mais alta e a condutividade média foi 2,05 vezes maior na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) quando comparados à campanha 1 (set/out 2018 – estação seca), como esperado para o verão. O aquecimento pode levar a um aumento no metabolismo e conseqüentemente a uma maior absorção de metais a partir do ambiente (Sokolova e Lannig, 2008). Em geral, a maioria dos metais mensurados em corais e hidrocorais aumentou na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa). Durante a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) do PMBA, os níveis de Cd e Cr em *M. harttii* foram significativamente maiores do que os encontrados em *M. hispida* coletada nos recifes referência, antes do rompimento da barragem (Taylor, 2017). O padrão de maior aporte de metais na estação mais chuvosa (jan/fev 2019) é comum em recifes sob influência da desembocadura de rios (Fabricius et al., 2005; Marques et al., 2019), uma vez que a pluviosidade ao longo da bacia de drenagem acarreta na remobilização de rejeitos potencialmente contaminados sedimentados na calha dos rios, aumento na drenagem continental e conseqüente maior aporte de material contaminado na região costeira (Queiroz et al., 2018).

Em resumo, os setores Foz e APA apresentam maior nível de estresse ambiental, com maior ocorrência de amostras em desconformidade com a legislação brasileira (CONAMA 357/2005 para água, e ANVISA 42/2013 para músculo de pescado), acumulação de metais (principalmente Fe) ao longo de todos níveis da teia trófica, e maior estresse fisiológico, mensurado por biomarcadores avaliados também em vários níveis tróficos. Ainda, o sedimento desses setores apresentou considerável frequência de bactérias indicadoras de estresse por metais, e considerável toxicidade, quantificada pelos testes de toxicidade.

#### 4.3 AMBIENTE COSTEIRO

O ambiente costeiro é composto por ecossistemas de transição entre o continente e o oceano, estando exposto a estressores provenientes dos dois ambientes. Notas técnicas publicadas pelo ICMBio (DIBIO, 2019) indicam que praias e manguezais do Espírito Santo foram afetados pela pluma resultante do rompimento da barragem, em Mariana (MG). A contaminação da água das praias monitoradas pelo Anexo 1 do PMBA variou mais entre as campanhas do que espacialmente, com níveis maiores de metais (principalmente Fe e Mn) sendo encontrados, em geral, na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa). A contaminação por metais observada no sedimento, por sua vez, seguiu um padrão espacial com maior acúmulo nos pontos próximos à região da APA Costa das Algas e Revis Santa Cruz (pontos ARR e ARP - setor A), localizado ao sul da foz do Rio Doce.

Para o monitoramento de praias, o setor A (pontos ARR e ARP) é o que apresenta maior risco ambiental, sendo considerado uma região crítica (“hotspot”) no ecossistema costeiro. Os organismos coletados nas praias do setor A apresentam maior estresse fisiológico, mensurado por danos em lipídios, proteínas e DNA, além da maior contaminação observada no sedimento e na biota deste setor. Danos oxidativos em macromoléculas, comumente resultantes da exposição a condições estressantes e classicamente associadas a metais, já discutidos anteriormente, são biomarcadores de aviso prévio de degradação ambiental. O estresse oxidativo está intimamente ligado a prejuízos no metabolismo dos organismos, incluindo danos na reprodução, crescimento e mesmo alterações no nível de populações e comunidades (Seabra Pereira et al., 2014; Prazeres et al., 2012; Baird et al., 2007).

Os manguezais analisados apresentaram variação temporal na bioacumulação de metais seguindo padrões similares aos ambientes marinho e praial. De forma geral, os caranguejos amostrados apresentaram maiores níveis de Cr e Mn na campanha 1 (set/out 2018 – estação seca), e maior nível de Fe na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa).

Enquanto nos outros ambientes os crustáceos apresentaram danos em DNA associados à contaminação por Fe, principalmente durante campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), os macrocrustáceos de manguezais apresentaram danos em DNA aumentados na campanha 1 (set/out 2018 – estação seca), quando os níveis de Cr e Mn foram mais elevados nestes organismos. Os danos em lipídios e proteínas, por sua vez, responderam à contaminação por Fe, que foi o metal de efeito mais marcante em manguezais durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca). Apesar do Fe ser importante em diversos processos fisiológicos, altos níveis deste metal nos organismos podem conduzir a diversos efeitos deletérios. O aumento deste metal nos sistemas biológicos conduz ao aumento de ERO, as quais podem promover a geração de danos oxidativos, principalmente peroxidação lipídica (LPO), através da reação de Fenton (Sies, 2000; Halliwell e Guteridge, 2007; Boveris et al., 2012). Portanto, é provável, que os danos oxidativos observados nos caranguejos ocorreram em função da bioacumulação de Fe.

De forma geral, os manguezais localizados no setor B apresentaram caranguejos com maior contaminação por metais na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa). O nível geral de estresse fisiológico, por sua vez, foi destacado no setor Foz em ambas as campanhas marinhas (equivalente ao

setor B para manguezais), indicando que diferentes metais podem estar desencadeando dano oxidativo nas espécies. Os caranguejos *Ucides cordatus* e *Cardisoma guanhumi* são macrocrustáceos de interesse comercial no Espírito Santo e Bahia, principalmente entre pequenas comunidades pesqueiras (Martins et al, 2009). Dos exemplares amostrados durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca), 24,4% apresentavam nível de Pb acima do recomendado para consumo humano pela legislação ANVISA 42/2013. De forma geral, a maioria desses organismos foi coletada no setor B (ponto FRG) e C (ponto RUR).

Durante a campanha 2 (jan/fev 2019 - estação chuvosa), o nível de Pb no músculo dessas espécies caiu para níveis abaixo do permitido pela legislação, porém os níveis de As subiram. Cerca de 7% dos indivíduos amostrados apresentaram concentração de As acima do recomendado para consumo humano, sendo que quase todos foram coletados em manguezais do setor B (ponto FRG). Estes resultados sugerem que manguezais no entorno da foz do Rio Doce estão sob pressão de contaminação por metais, com conseqüente risco para a economia local e saúde humana, uma vez que espécies que são consideradas recursos para pequenas comunidades apresentam níveis de metais que tornam os recursos desse setor inapropriados para consumo humano.

#### 4.4 INTEGRAÇÃO DOS AMBIENTES

Para analisar o conjunto dos resultados ecotoxicológicos obtidos, bem como subsidiar a discussão integrada dos resultados gerados pelos demais anexos do PMBA, foram selecionados alguns indicadores ecotoxicológicos, a saber: bioacumulação de metais, respostas de biomarcadores e testes de toxicidade. Os dados de bioacumulação dos metais analisados foram utilizados para o cálculo de um índice da contaminação da biota. Por sua vez, os dados dos biomarcadores analisados foram utilizados para o cálculo de um índice da resposta biológica a essa contaminação. Em ambos os casos, foi utilizado o índice de Respostas Integradas de Biomarcadores (IBR), que sintetiza as respostas dos parâmetros biológicos e demais variáveis analisadas, em uma única e simples medida.

Abordagens ecotoxicológicas integradas têm sido propostas como ferramentas úteis na avaliação do impacto de contaminantes ambientais na saúde dos organismos (Potet et al., 2016). O IBR, proposto por Beliaeff e Burgeot (2002) e revisado e modificado por Devin et al. (2014), fornece uma síntese gráfica das respostas dos parâmetros e variáveis analisadas, bem como um valor numérico que integra simultaneamente todas essas respostas, facilitando assim a visualização e interpretação das alterações observadas. Portanto, o IBR pode oferecer uma interpretação mais holística das respostas biológicas de organismos expostos a uma complexa mistura de poluentes com diferentes concentrações de exposição nos ecossistemas aquáticos (Devin et al., 2014). Portanto, os dados de bioacumulação de metais e dos biomarcadores analisados nos organismos coletados nos ambientes dulcícola, costeiro e marinho, durante a campanha 1 (set/out 2018) e a campanha 2 (jan/fev 2019) foram integrados utilizando-se o IBR.

O IBR foi calculado com dados de bioacumulação de metais (IBR bioacumulação) e da resposta de biomarcadores (IBR biomarcador) para os organismos representativos dos diferentes ambientes. Para os ambientes dulcícola e marinho, os grupos de organismos considerados foram os seguintes: plâncton (fitoplâncton e zooplâncton), de forma a refletir a qualidade da água; camarões, de forma a refletir a qualidade do sedimento; e peixes, de forma a subsidiar a transferência trófica e os impactos dos metais nos níveis biológicos superiores (vertebrados). Para o setor Abrolhos, os valores de IBR foram calculados para o grupo corais (incluindo corais e hidrocorais). Para o ambiente costeiro, os caranguejos de manguezais ou de praias constituíram o grupo caranguejos. Por sua vez, os demais invertebrados coletados nas praias (anfipodas, isopodas e poliquetas) foram incluídos no grupo outros invertebrados. Por fim, as aves coletadas no ambiente costeiro (manguezais, estuário e praias) foram incluídas no grupo aves.

Para a avaliação temporal dos níveis de contaminação da biota por metais após as campanhas 1 (set/out 2018 – estação seca) e 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), em particular para os ambientes dulcícola e marinho, os valores de IBR bioacumulação calculados para os diferentes grupos de organismos analisados (plâncton, camarões, peixes e corais) foram comparados com os valores de IBR calculados a partir de dados de bioacumulação de metais obtidos anteriormente ao rompimento da barragem de Fundão (IBR bioacumulação pretérita). Os dados pretéritos utilizados para o cálculo do IBR bioacumulação pretérita estão apresentados e discutidos no Relatório Anual do Anexo 1. Visando uma análise exploratória integrando os dados de bioacumulação de metais e da resposta biológica (IBR biomarcador), foi aplicada uma Análise de Componentes Principais (PCA) para cada grupo de organismos avaliados em cada ambiente amostrado.

Além da abordagem utilizando o IBR, os resultados de ensaios de toxicidade com amostras de água e sedimento dos pontos do monitoramento dulcícola e marinho foram apresentados utilizando-se um Índice de Toxicidade. Este índice é uma medida que integra todos os resultados dos ensaios de toxicidade obtidos para água e sedimento de um mesmo ponto amostral, considerando a severidade do efeito observado na sobrevivência, desenvolvimento, crescimento, fecundação e reprodução, bem como a sensibilidade do organismo-teste utilizado.

Os valores de IBR bioacumulação e IBR biomarcador calculados para os diferentes setores dos ambientes dulcícola e marinho estão apresentados nas Tabela 210 e Tabela 211, respectivamente. Por sua vez, os dados de IBR bioacumulação pretérita estão descritos na Tabela 212.

Tabela 210: Valores de IBR de bioacumulação de metais e de IBR de respostas de biomarcadores para os organismos coletados no monitoramento dulcícola.

	Setor	Campanha	IBR bioacumulação	IBR biomarcador
<b>Ambiente Dulcícola</b>	<b>Plâncton</b>			
	Afluente	1	6,80	1,96
		2	0,30	0,08
	Rio	1	2,58	13,92
		2	3,08	0,93
	Lagos	1	0,81	2,39
		2	0,02	0,14
	Lagoas	1	0,66	0,71
		2	4,37	0,12
	<b>Camarões</b>			
	Afluente	1	0,82	0,80
		2	1,38	5,64
	Rio	1	5,54	3,07
		2	2,12	2,96
	Lagos	1	0,51	1,83
		2	0,70	12,68
	Lagoas	1	1,08	3,37
		2	0,70	12,68
	<b>Peixes</b>			
	Afluente	1	1,02	5,26
		2	1,99	4,59
	Rio	1	4,10	16,08
		2	1,90	12,39
	Lagos	1	1,33	6,88
2		0,61	5,34	
Lagoas	1	1,79	14,22	
	2	5,00	3,22	

Tabela 211: Valores de IBR de bioacumulação de metais e de IBR de respostas de biomarcadores para os organismos coletados no monitoramento marinho.

	Setor	Campanha	IBR (bioacumulação)	IBR (biomarcador)
<b>Ambiente Marinho</b>	<b>Plâncton</b>			
	Abrolhos	1	0,03	2,79
		2	0,07	8,03
	APA	1	6,87	0,27
		2	8,08	13,81
	Foz	1	0,45	0,23
		2	2,54	2,71
	Norte	1	4,58	3,08
		2	2,07	1,16
	Sul	1	0,94	0,00
		2	0,91	0,04
	<b>Camarões</b>			
	APA	1	3,23	3,17
		2	0,44	5,71
	Foz	1	4,97	4,38
		2	0,44	2,35
	Norte	1	4,32	1,91
		2	0,08	0,91
	Sul	1	1,36	7,18
		2	0,48	4,01
	<b>Peixes</b>			
	APA	1	1,99	13,13
		2	0,35	1,68
	Foz	1	2,07	10,16
		2	0,19	3,21
	Norte	1	16,11	9,93
		2	0,01	6,14
	Sul	1	0,48	12,20
		2	0,31	3,41
	<b>Corais</b>			
Abrolhos	1	0,2	0,6	
	2	3,03	2,02	

Tabela 212: Valores de IBR bioacumulação calculados a partir dos dados de metais determinados no plâncton, camarões e peixes coletados nos monitoramentos dulcícola e marinho, bem como nos corais (corais e hidrocorais) coletados no monitoramento marinho, durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca), a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) e no período pré-rompimento da barragem de Fundão (IBR bioacumulação pretérita). Os valores em vermelho indicam aumento no valor do IBR bioacumulação, em relação ao respectivo valor do IBR bioacumulação pretérita. \* Não se aplica.

Ambiente	Campanha	Setor	Plâncton	Camarões	Peixes	Corais	
Dulcícola	1	Afluente	6,80	0,82	1,03	*	
		Rio	2,58	5,54	4,10	*	
		Lagos	0,81	0,51	1,79	*	
		Lagoas	0,66	1,08	1,33	*	
	2	Afluente	0,30	1,38	1,99	*	
		Rio	3,08	2,12	1,90	*	
		Lagos	0,01	0,70	0,61	*	
		Lagoas	4,37	1,44	5,00	*	
			IBR pretérito	0,01	0,39	3,22	*
	Marinho	1	Abrolhos	0,03	*	*	0,02
APA			6,87	3,23	1,99	*	
FOZ			0,45	4,97	2,07	*	
Norte			4,58	4,32	16,11	*	
Sul			0,94	1,36	0,48	*	
2		Abrolhos	0,07	*	*	1,94	
		APA	8,08	0,44	0,35	*	
		FOZ	2,54	0,44	0,19	*	
		Norte	2,07	0,08	0,01	*	
		Sul	0,91	0,48	0,31	*	
			IBR pretérito	0,32	0,14	0,28	0,15

De maneira geral, os valores de IBR bioacumulação para o plâncton e camarões dos ambientes dulcícola e marinho indicaram um aumento nos níveis de acumulação de metais nestes organismos nas campanhas 1 (set/out 2018 – estação seca) e 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), em relação aos valores de IBR bioacumulação pretérita. Para a comunidade de peixes dulcícolas, apenas os setores Rio (campanha 1) e Lagoas (campanha 2) apresentaram valores de IBR bioacumulação superiores ao valor de IBR bioacumulação pretérita. Por sua vez, a comunidade de peixes marinhos apresentou valores de IBR bioacumulação acima dos respectivos valores de IBR bioacumulação pretérita, em todos os setores monitorados na campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) e apenas nos setores APA e Sul durante a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa). Estes dados integrados da concentração de metais na biota coletada nas campanhas 1 e 2 (IBR bioacumulação) evidenciam claramente um padrão temporal de bioacumulação destes elementos quando comparados com os dados integrados da concentração de metais na biota coletada no período pré-rompimento da barragem de Fundão (IBR bioacumulação pretérita).

Os resultados das PCAs geradas para os organismos do ambiente dulcícola estão representados na Figura 616. Para o plâncton, maiores valores do índice de estresse (IBR biomarcador) estão associados com os metais Mn, Cr e Cd, especialmente na campanha 1 (set/out 2018 – estação seca). Para os camarões, maiores níveis de estresse estão associados aos elementos Mn e As, com os maiores valores de IBR biomarcador sendo observados na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa). Para a comunidade de peixes, foi observada uma reduzida associação entre o índice de estresse (IBR biomarcador) e os níveis de metais acumulados nestes organismos, não sendo verificado, portanto, um padrão espaço-temporal evidente.

Os resultados das PCAs para o ambiente marinho estão apresentados na Figura 617. O índice de estresse (IBR biomarcador) do plâncton está associado aos níveis de Fe, Cd e Cu, com os maiores valores de IBR biomarcador sendo observados na campanha 2 (jan/fev 2018 – estação chuvosa), especialmente nos setores APA e Foz. O índice de estresse nos camarões está associado aos níveis teciduais de Mn, com destaque para os resultados obtidos na campanha 1 (set/out 2018 – estação seca). Para a comunidade de peixes, o índice de estresse (IBR biomarcador) está mais associado aos níveis de As, com maiores níveis de estresse sendo observados na campanha 1 (set/out 2018 – estação seca), com destaque para os setores Foz, APA e Sul.

Ainda para os ambientes dulcícola e marinho, os dados ecotoxicológicos indicam toxicidade da água e do sedimento em alguns pontos amostrais. O mapa com os Índices de Toxicidade gerados a partir dos resultados obtidos nos diferentes testes de toxicidade com água e sedimento está representado na Figura 618. As amostras coletadas no ponto do Rio Guandu (BRG) são as que apresentaram menor toxicidade, tanto para a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) quanto para a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa). As amostras coletadas nos pontos RDF (estuário) e FRD1 (foz do Rio Doce) foram consideradas moderadamente tóxicas. Por sua vez, as amostras coletadas na FRD6 (foz do Rio Doce) foram consideradas tóxicas. As amostras coletadas no ponto FRD1 apresentaram maiores valores de toxicidade na campanha 1 (set/out 2018 – estação seca), enquanto as amostras coletadas no ponto FRD6 apresentaram-se também tóxicas na campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) e moderadamente tóxicas na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa). As amostras coletadas nos pontos CA1 e CA2 também se mostraram bastante impactadas. De maneira geral, para todos os pontos analisados a maior toxicidade estava associada às amostras de sedimento.

Figura 616: Análise de Componentes Principais (PCA) considerando-se os dados de bioacumulação de metais e o índice de estresse (IBR biomarcador) nos organismos dulcícolas (Plâncton, camarões e peixes) coletados durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2).

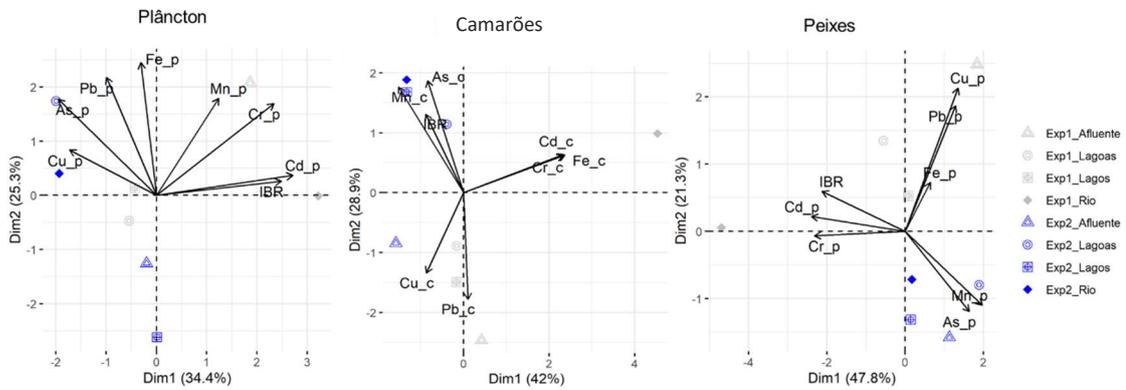


Figura 617: Análise de Componentes Principais (PCA) considerando-se os dados de bioacumulação de metais e o índice de estresse (IBR biomarcador) nos organismos marinhos (Plâncton, camarões e peixes) coletados durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2).

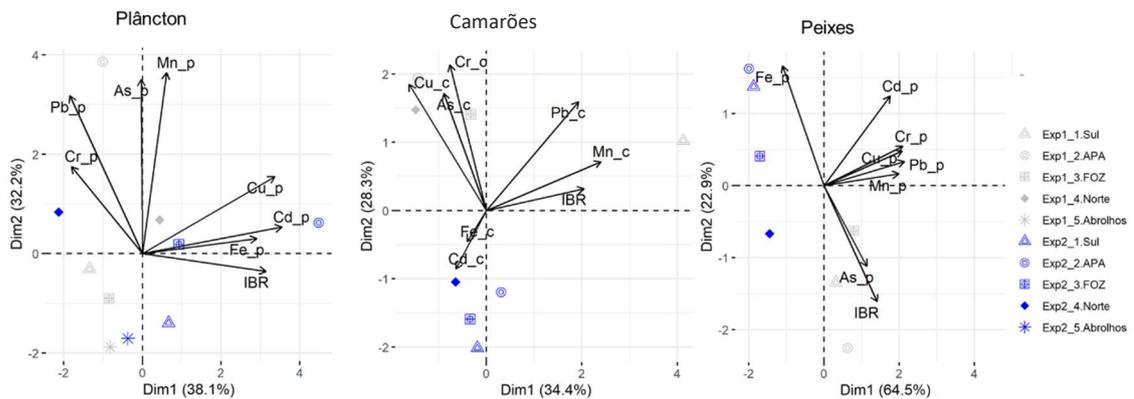
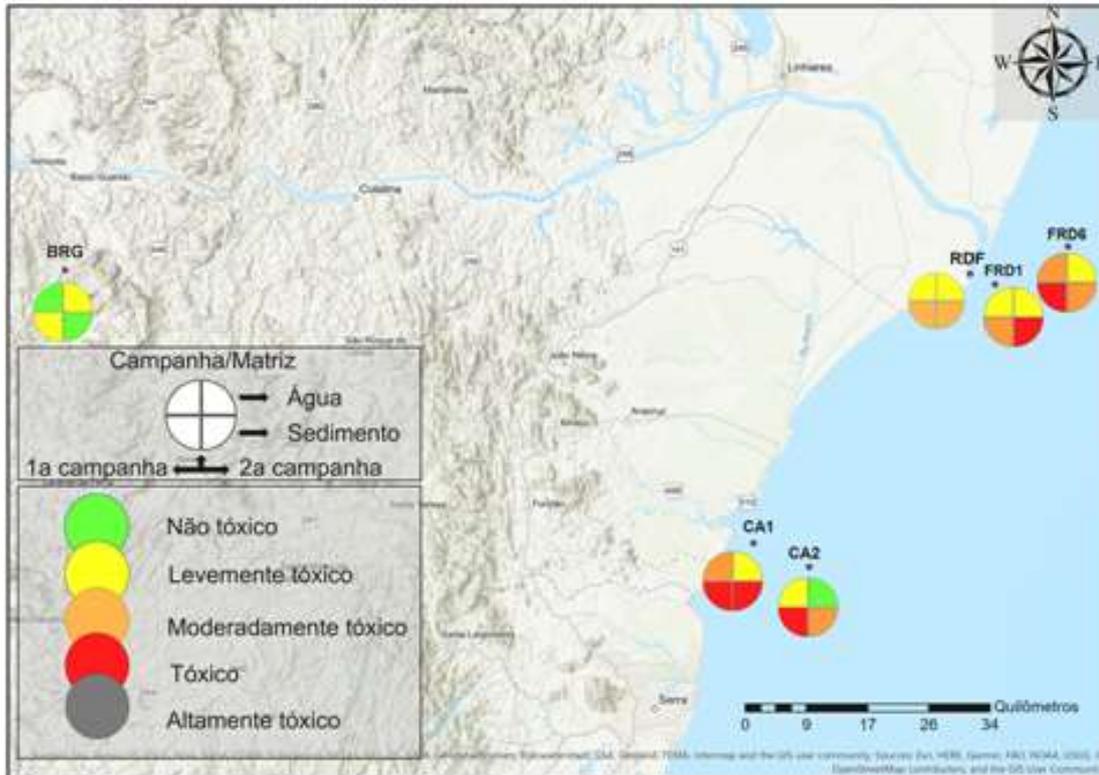


Figura 618: Classificação ecotoxicológica das amostras de água e sedimento coletadas nos pontos dulcícolas (BRG e RDF) e marinhos (FRD1, FRD6, CA1 E CA2) durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) e a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa).



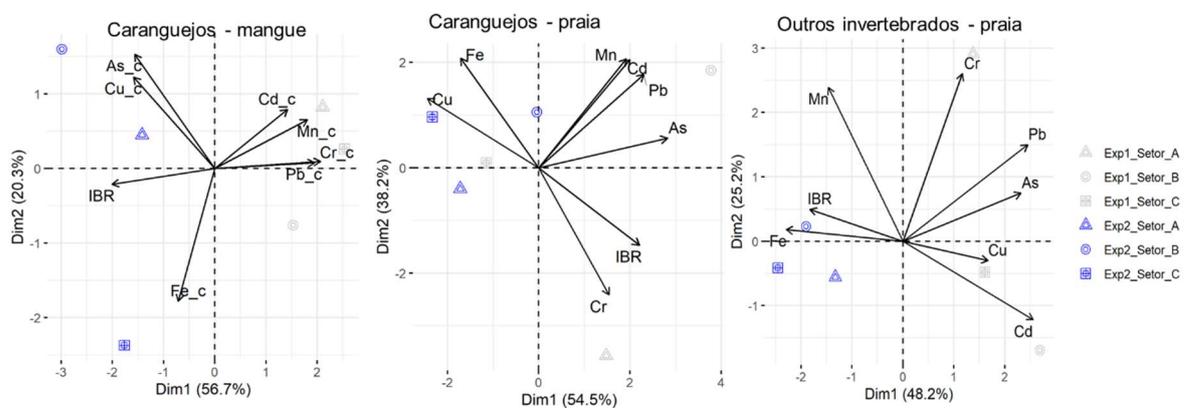
Os valores de IBR bioacumulação e IBR biomarcador nos diferentes setores amostrados para o ambiente costeiro estão apresentados na Tabela 213. Para o ambiente costeiro não foi possível calcular o IBR bioacumulação pretérita, devido à ausência de dados pretéritos nos bancos de dados disponíveis.

Visando evidenciar as relações existentes entre os dados de bioacumulação de metais e o nível de estresse nos organismos (IBR biomarcador), foram realizadas análises de PCA também para os dados obtidos no monitoramento costeiro (Figura 619). Para os caranguejos de manguezais observa-se que, apesar de não existir uma forte correlação entre os valores de bioacumulação de Fe e do IBR biomarcador, estes parâmetros se agrupam no mesmo quadrante. De maneira geral, os níveis mais elevados de bioacumulação de metais e os maiores índices de estresse (IBR biomarcador) nos caranguejos mostraram-se mais associados à campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa). Para os caranguejos de praia, foi evidenciada uma associação entre os níveis teciduais de Cr e o índice de estresse (IBR biomarcador), especialmente na campanha 1 (set/out 2018 – estação seca). Por fim, os resultados da PCA considerando-se os dados obtidos para os outros invertebrados (poliquetas, anfipodas e isopodas) mostraram uma forte associação entre os níveis de bioacumulação de Fe e o índice de estresse (IBR biomarcador), com maiores valores sendo observados na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa).

Tabela 213: Valores de IBR bioacumulação e de IBR biomarcador para os organismos coletados e analisados no âmbito do monitoramento costeiro.

	Setor	Campanha	IBR bioacumulação	IBR biomarcador	
	<b>Caranguejos - manguezais</b>				
<b>Ambiente Costeiro</b>	A	1	2,82	0,77	
		2	1,03	2,26	
	B	1	0,91	2,28	
		2	2,45	7,63	
	C	1	1,15	0,17	
		2	0,58	5,94	
	<b>Caranguejos - praia</b>				
	A	1	0,44	4,31	
		2	0,78	2,09	
	B	1	4,82	3,19	
		2	3,33	3,14	
	C	1	0,69	1,58	
2		2,07	0,98		
<b>Outros invertebrados - praia</b>					
A	1	6,83	1,86		
	2	0,36	1,71		
B	1	2,20	0,87		
	2	3,43	6,96		
C	1	1,15	0,17		
	2	0,58	5,94		

Figura 619: Análise de Componentes Principais (PCA) considerando-se os dados de bioacumulação de metais e o índice de estresse (IBR biomarcador) nos organismos (caranguejos e outros invertebrados) do ambiente costeiro (Setor A, B e C) coletados durante as campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2).



O monitoramento ecotoxicológico de aves foi realizado em três regiões no ambiente costeiro, contemplando ecossistemas distintos: manguezais, ao sul da Foz do Rio Doce (Setor A); estuário do

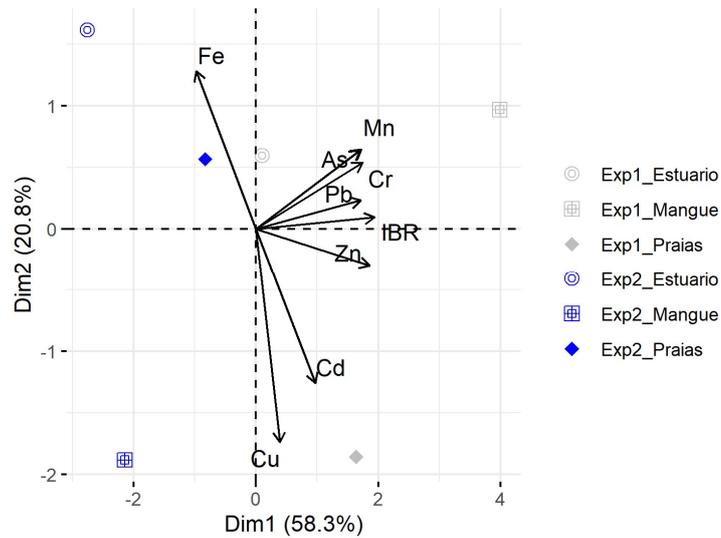
Rio Doce (Setor B) e praias, ao norte da Foz do Rio Doce (Setor C). A amostragem de aves costeiras contemplou diferentes guildas tróficas, incluindo espécies onívoras, piscívoras, filtradoras, granívoras, frugívoras, insetívoras, nectarívoras/insetívoras, piscívoras/consumidoras de invertebrados aquáticos, e consumidoras de invertebrados aquáticos e pequenos vertebrados. A partir dos dados de bioacumulação de metais nas penas das aves coletadas durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) e a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), foram calculados os valores de IBR bioacumulação. Os resultados de IBR para bioacumulação de metais nas aves estão apresentados na Figura 620. De maneira geral, as aves coletadas durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) apresentaram maiores níveis de contaminação por metais nas penas em comparação àquelas coletadas durante a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa).

Figura 620: Valores de IBR bioacumulação para as aves aquáticas coletadas e analisadas no âmbito do monitoramento costeiro.

	Setor	Campanha	IBR (bioacumulação)
<b>Ambiente Costeiro</b>	A	1	9,08
		2	0,10
	B	1	1,79
		2	0,21
	C	1	4,97
		2	0,80

Além do IBR, os resultados individuais dos metais analisados nas penas das aves coletadas em cada campanha amostral também foram integrados por meio de uma PCA. Os resultados desta análise estão apresentados na Figura 621, onde pode ser observado que os níveis da maioria dos metais analisados foram maiores nas penas das aves coletadas durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca), com destaque para os manguezais, o que refletiu nos maiores valores de IBR obtidos para esta campanha e para ambiente. Em contrapartida, maiores níveis de Fe nas penas das aves coletadas nos três setores foram observados durante a campanha 2 (jan/fev 2019 - estação chuvosa), com destaque para o estuário e praia. Estes resultados corroboram os maiores níveis de Fe também observados para outros organismos coletados durante a mesma campanha, incluindo plâncton, camarões e peixes no ambiente marinho, bem como caranguejos e outros invertebrados coletados no ambiente costeiro. Em conjunto, estes resultados evidenciam o efeito da sazonalidade sobre os níveis de Fe durante a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), sugerindo a contaminação da biota e a transferência trófica deste metal, desde os produtores primários até o nível de consumidores, incluindo os peixes e aves aquáticas que forrageiam nestas áreas.

Figura 621: Análise de Componentes Principais (PCA) considerando-se os dados de bioacumulação de metais nas aves coletadas no ambiente costeiro (Estuarino, mangue e praias) durante a campanha 1 (Exp1) e campanha 2 (Exp2).



As análises de microbiologia foram realizadas levando em consideração a existência de três ambientes distintos entre si devido a características geográficas, físico-químicas e também bióticas. Tais ambientes considerados foram: i) porção capixaba do Rio Doce, incluindo lagos e estuário (amostras de água e sedimento); ii) foz do Rio Doce e região costeira adjacente (amostras de água e sedimento), e iii) região de Abrolhos (amostras de água, sedimento e coral). Esta análise visou inicialmente a descrição das comunidades microbianas nos referidos ambientes, seguido pela análise de possíveis perturbações em tais comunidades e sua relação com a presença de metais e características físico-químicas.

Os resultados obtidos com as análises da comunidade microbiana nos ambientes dulcícola e marinho indicam pequenas alterações na comunidade bacteriana entre as duas campanhas analisadas (campanha 1 – set/out 2018; campanha 2 – jan/fev 2019). Devido ao fato de se tratarem de ambientes e matrizes distintas (sedimento, água e coral), observou-se comunidades bacterianas formadas por organismos específicos que apresentaram dominância característica para cada um dos ambientes/matrizes citados.

De maneira geral, as amostras de água apresentaram maior homogeneidade e pouca dominância de grupos microbianos específicos que pudessem servir como parâmetro na avaliação de possíveis indicadores microbianos. Por outro lado, as amostras de sedimento e coral possibilitaram um melhor monitoramento geográfico e temporal de alterações ambientais. Neste sentido, alguns grupos bacterianos identificados chamaram atenção devido a sua presença e abundância nas amostras de sedimento do Rio Doce, Foz do Rio Doce e região costeira adjacente, bem como sua presença em amostras de coral das duas espécies contempladas nesta análise (*Millepora alcicornis* e *Mussismilia harttii*). Desta forma, bactérias pertencentes à família Pirellulaceae estão sendo propostas no presente trabalho como bioindicadores da presença do sedimento do Rio Doce e de metais pesados em corais

de Abrolhos. Este grupo bacteriano foi o mais abundante no sedimento da região do Rio Doce com maior concentração de metais (Rio Doce - Linhares) e, ainda, já foi previamente relatado como o mais abundante em sedimentos de outros rios contaminados com metais pesados. Além disto, este grupo possui muitos genes de resistência a metais pesados. A família Pirellulaceae foi encontrada também em sedimentos da Foz do Rio Doce e Região costeira adjacente até a região de Abrolhos. Percebe-se também um aumento de sua abundância relativa da campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) para a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) (Tabela 214). Este grupo foi também identificado em amostras de tecido de corais. Deste modo, utilizamos a família Pirellulaceae como potencial indicadora dos efeitos provocados pelo sedimento do Rio Doce nos corais de Abrolhos.

A família Anaerolineacea também é aqui citada como potencial bioindicadora da presença de metais pesados, uma vez que já é bem conhecida na literatura pelo potencial ANNAMOX e se apresenta em elevada abundância nas amostras de sedimento do Rio Doce, sendo gradualmente reduzida nos pontos mais afastados da Foz do Rio Doce (Tabela 214). Com base nas informações detalhadas presentes no Relatório Anual do Anexo 1, as famílias bacterianas Anaerolineacea e Pirellulaceae são aqui monitoradas como possíveis indicadoras dos efeitos do sedimento do Rio Doce na região marinha, bem como do efeito deste sedimento nos corais da região de Abrolhos.

Considerando estes indicadores, é possível observar a presença destes táxons ao longo da região dulcícola, com maior concentração nos lagos e lagoas. Este resultado pode ser explicado pela diferença na dinâmica do ambiente, uma vez que o menor movimento da água facilita a acumulação no sedimento. Além disto, observa-se também considerável presença destes organismos na região marinha, principalmente nas amostras obtidas na segunda campanha (jan/fev 2019 – estação chuvosa). Este fato pode estar relacionado à sazonalidade que poderá ser melhor avaliada a partir da campanha 3.

Avaliando a presença destes grupos microbianos nos corais de Abrolhos, observa-se uma redução na abundância destes grupos da campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) para a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa). Comparando as duas espécies de coral analisadas, o coral da espécie *Mussismilia harttii* apresenta maior abundância relativa dos referidos grupos nas duas campanhas. Isto pode ser explicado devido a diferenças na estrutura do coral, uma vez que o mesmo possui maior teor de muco, o que facilita a aderência e colonização de organismos exógenos.

Tabela 214: Valores de abundância relativa das famílias bacterianas Anaerolineaceae e Pirellulaceae nas amostras de sedimento dulcícola e marinho e em tecidos de coral. Os valores em vermelho indicam valores superiores aos da campanha anterior.

Ambiente / Corais	Campanha	Setor / organismo	Anaerolineaceae (%)	Pirellulaceae (%)
Dulcícola	1	Afluente	4,77	2,88
		Rio	2,25	5,26
		Lagos	5,58	1,28
		Lagoas	5,73	1,28
	2	Afluente	4,00	3,95
		Rio	3,08	2,20
		Lagos	4,49	1,62
		Lagoas	5,81	1,75
Marinho	1	Abrolhos	0,01	1,24
		APA	0,06	1,72
		Foz	0,15	1,83
		Norte	0,42	2,65
		Sul	0,56	3,27
	2	Abrolhos	2,89	7,72
		APA	1,91	7,37
		Foz	5,18	4,51
		Norte	4,25	6,37
		Sul	4,35	4,11
Corais (Abrolhos)	1	<i>Millepora alcicornis</i>	0,05	4,69
		<i>Mussismilia harttii</i>	0,05	12,25
	2	<i>Millepora alcicornis</i>	0,01	0,38
		<i>Mussismilia harttii</i>	0,03	8,75

## 5 RESUMO DO ANEXO

Com base nas evidências apresentadas acima, pode-se afirmar que a análise integrada dos dados ecotoxicológicos evidenciou um aumento no índice de acumulação de metais na biota (IBR bioacumulação) para os ambientes dulcícola e marinho, em relação aos dados observados no período pré-rompimento da barragem de Fundão (IBR bioacumulação pretérita). Além disto, é importante ressaltar também a relação observada entre o índice de estresse (IBR biomarcador) calculado para os organismos coletados nas duas campanhas realizadas e os níveis de metais característicos do rejeito (Fe, Mn Cr e Cd).

O Quadro 23 apresenta uma síntese dos resultados de acumulação de metais (IBR bioacumulação) e de estresse (IBR biomarcador) na biota, para todos os setores monitorados durante as campanhas 1 (set/out 2018 – estação seca) e 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa). Além disto, a síntese dos resultados

obtidos a partir dos testes de toxicidade realizados com amostras de água e sedimento de alguns setores dos ambientes dulcícola e marinho também está apresentada neste quadro.

Para o ambiente dulcícola, o setor Rio (calha principal do Rio Doce) representa uma região crítica (“hotspot”) de contaminação da biota por metais nas duas campanhas realizadas, considerando-se os diferentes grupos de organismos avaliados. Este setor se destaca também em termos de efeitos biológicos, tanto no que se refere à resposta de biomarcadores quanto à toxicidade das amostras ambientais para os organismos-teste. No setor Lagoas também pode-se destacar a presença de efeitos biológicos (estresse) em níveis tróficos mais elevados, bem como um padrão temporal de resposta, a qual foi mais evidente na campanha 1 (set/out 2018 – estação seca). Considerando a biota marinha, os setores APA e Foz apresentaram maiores níveis de bioacumulação de metais, efeitos biológicos (resposta de biomarcadores) e toxicidade das amostras ambientais do que os demais setores. Por sua vez, o setor Foz (setor B) do ambiente costeiro apresentou os maiores níveis de bioacumulação de metais e de efeitos biológicos (resposta de biomarcadores), os quais foram mais evidentes na campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa).

Particularmente em relação ao Fe, o principal metal associado aos rejeitos provenientes da barragem de Fundão, maiores níveis deste metal foram encontrados nos diferentes níveis tróficos avaliados, com um evidente aumento durante a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), incluindo desde o plâncton, camarões e peixes no ambiente marinho, caranguejos e outros invertebrados coletados no ambiente costeiro, bem como nas penas de aves costeiras. Em conjunto, estes resultados evidenciam o efeito da sazonalidade sobre os níveis de Fe durante a campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa), sugerindo a contaminação da biota e a transferência trófica deste metal, desde os produtores primários até o nível de consumidores, incluindo os peixes e aves aquáticas que forrageiam nestas áreas.

Para finalizar, os principais resultados obtidos pelo Anexo 1 durante o primeiro ano de monitoramento foram sumarizados em formato de mapa. Neste sentido, as regiões críticas (“hotspots”) para cada grupo de análises realizadas pelo projeto foram identificadas no mapa e podem ser observadas através das Figura 622 e Figura 623.

Quadro 23: Síntese dos resultados integrados de bioacumulação (IBR bioacumulação), efeitos biológicos (IBR biomarcador) e toxicidade das amostras ambientais (Índice de Toxicidade) nos diferentes grupos de organismos dos ambientes dulcícola, marinho e costeiro. Os organismos coloridos em laranja ou azul representam os maiores valores de IBR ou de toxicidade para a campanha 1 (set/out 2018) e campanha 2 (jan/fev 2019), respectivamente, para cada ambiente monitorado.

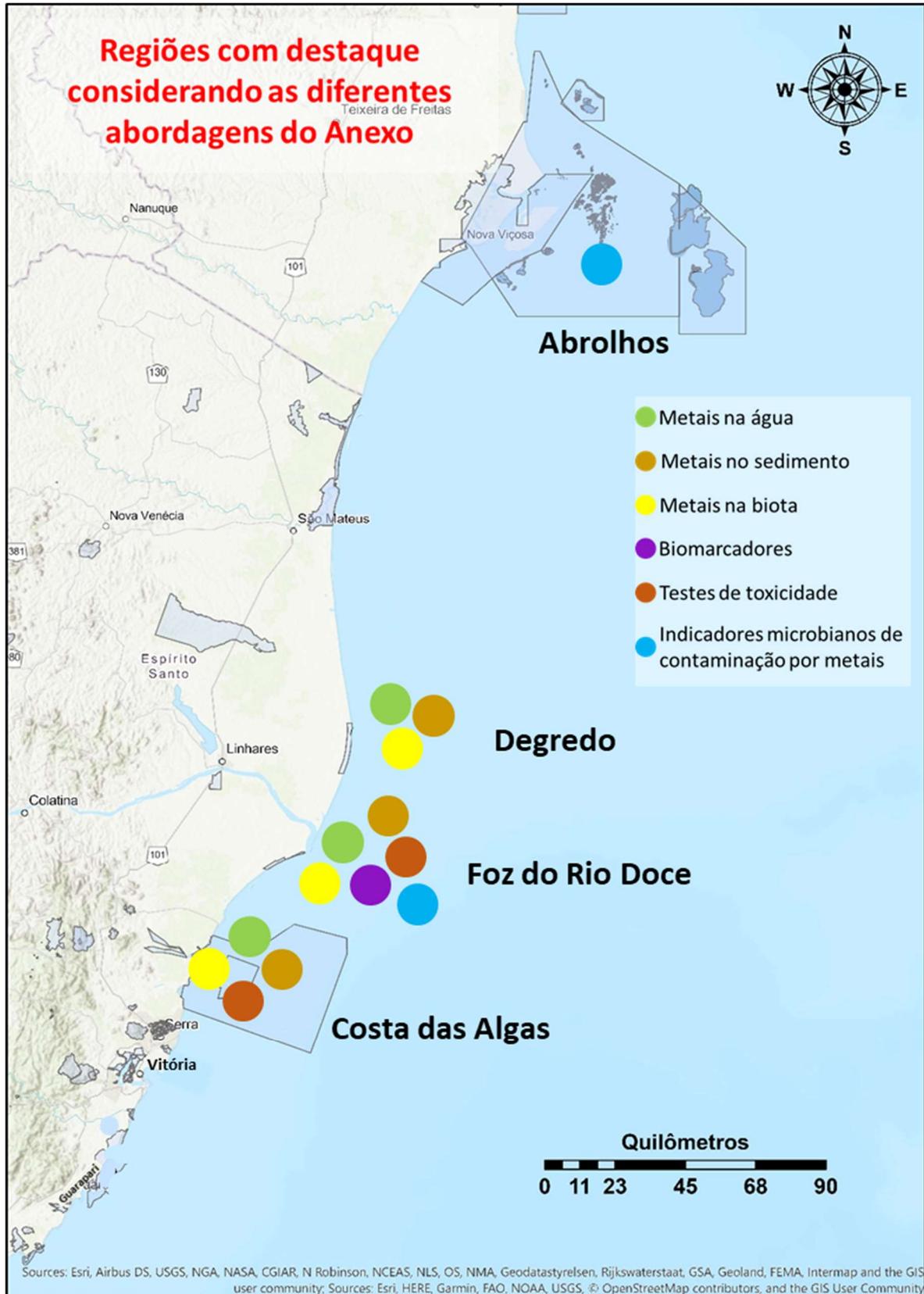
Ambiente	Setor	IBR bioacumulação	IBR biomarcador	Índice de toxicidade
Dulcícola	Afluente			
	Rio			
	Lagos			
	Lagoas			
Marinho	Abrolhos			
	APA (Costa das Algas)			
	Foz			
	Norte			
	Sul			
Costeiro	Setor A (Sul)			
	Setor B (Foz)			
	Setor C (Norte)			



Figura 622: Regiões críticas (“hotspots”) de contaminação ambiental, bioacumulação e efeitos biológicos dentro da malha amostral do ambiente dulcícola, monitorado durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) e campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) no âmbito do PMBA.



Figura 623: Regiões críticas (“hotspots”) de contaminação ambiental, bioacumulação e efeitos biológicos dentro da malha amostral do ambiente costeiro e marinho, monitorados durante a campanha 1 (set/out 2018 – estação seca) e campanha 2 (jan/fev 2019 – estação chuvosa) no âmbito do PMBA.



## 6 REFERÊNCIAS

- AARAB N., CHAMPEAU O., MORA P., DAUBEZE M., GARRIGUES P., NARBONNE J.F. (2004). Scoring approach based on fish biomarkers applied to French river monitoring. *Biomarkers* 9: 258-270, 2004.
- ABDEL-MONEIM, Ashraf M.; AL-KAHTANI, Mohamed A.; ELMENSHAWY, Omar M. Histopathological biomarkers in gills and liver of *Oreochromis niloticus* from polluted wetland environments, Saudi Arabia. *Chemosphere*, v. 88, n. 8, p. 1028-1035, 2012.
- ABESSA, D. M. S. *et al.* Toxicidade aguda de águas da bacia do rio Doce após o rompimento das barragens de Fundão e Germano em Mariana (MG). In: **XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA**, Curitiba, PR. 2016.
- ABESSA, D.M.S.; ALBUQUERQUE, H.C.; MORAIS, L.G.; MOREIRA, L.B.; CAMARGO, J.B.D.A.; BRASIL, O.P. Toxicidade aguda de águas da bacia do rio Doce após o rompimento das barragens de Fundão e Germano em Mariana (MG). In: **XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA**. Curitiba – PR. 2016.
- AEBI, Hugo. Catalase *in vitro*. In: **Methods in enzymology**. Academic Press, p. 121-126, 1984.
- ALMEIDA, Carlos Eduardo B. Avaliação da genotoxicidade induzida pelo Peróxido de Hidrogênio na presença dos quelantes de íons Fe<sup>2+</sup> (2,2'-dipiridil) e de íons Cu<sup>2+</sup> (neocupróina), em *Escherichia coli*: envolvimento de mecanismos de reparo de DNA na sobrevivência bacteriana. 108f. **Tese (Doutorado em Ciências)** – Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.
- ALMEIDA, Jeane A. *et al.* Environmental cadmium exposure and metabolic responses of the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Environmental Pollution*, v. 114, n. 2, p. 169-175, 2001.
- AMEUR, Walid Ben *et al.* Oxidative stress, genotoxicity and histopathology biomarker responses in mullet (*Mugil cephalus*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) liver from Bizerte Lagoon (Tunisia). *Marine pollution bulletin*, v. 64, n. 2, p. 241-251, 2012.
- AMIARD-TRIQUET, Claude; AMIARD, Jean-Claude; RAINBOW, Philip S. (Ed.). Ecological biomarkers: indicators of ecotoxicological effects. **CRC Press**, 2012.
- AMIRAH, M. N.; AFIZA, A. S.; FAIZAL, W. I. W.; NURLIYANA, M. H.; LAILI, S. Human Health Risk Assessment of Metal Contamination through Consumption of Fish. *Journal of Environment Pollution and Human Health* 1, v. 1, p.1-5. 2013.
- ANDERSON, D.P.; ZEEMAN, M.G. Immunotoxicology in Fish. In: Rand, G. M. **Fundamentals of Aquatic Toxicology Effects: environmental fate and risk assessment**. 2. ed. Taylor & Francis, p. 345-369, 1995.

ANTOGNELLI, Cinzia *et al.* Different activity of glyoxalase system enzymes in specimens of *Sparus auratus* exposed to sublethal copper concentrations. **Chemico-biological interactions**, v. 142, n. 3, p. 297-305, 2003.

ARELLANO, Juana M.; STORCH, V.; SARASQUETE, Carmen. Histological changes and copper accumulation in liver and gills of the *Senegales sole*, *Solea senegalensis*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 44, n. 1, p. 62-72, 1999.

ARSLAN, Naime; KOÇ, Burcu; ÇIÇEK, Arzu. Metal contents in water, sediment, and *Oligochaeta-Chironomidae* of Lake Uluabat, a Ramsar site of Turkey. **The Scientific World Journal**, v. 10, p. 1269-1281, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12648**: Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica - método de ensaio com algas (*Chlorophyceae*). Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12713**: Ecotoxicologia aquática — Toxicidade aguda — método de ensaio com *Daphnia spp.* (Crustacea, Cladocera). Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15088**: Ecotoxicologia aquática — Toxicidade aguda - método de ensaio com peixes (Cyprinidae). Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15350**: Ecotoxicologia aquática — Toxicidade crônica de curta duração — método de ensaio com ouriço-do-mar (*Echinodermata: Echinoidea*). Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15469**: Ecotoxicologia aquática – preservação e preparo de amostras. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15470**: Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda e crônica - método de ensaio com *Hyalella spp* (Amphipoda) em sedimentos. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15499**: Ecotoxicologia aquática — Toxicidade crônica de curta duração — método de ensaio com peixes. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16181**: Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica - microalgas marinhas. Rio de Janeiro, 2013.

ATLI, G., & CANLI, M. Metals ( $Ag^+$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ ) affect ATPase activity in the gill, kidney, and muscle of freshwater fish *Oreochromis niloticus* following acute and chronic exposures. **Environmental Toxicology**, 28 (12), 707-717, 2013.

AU, D.W.T. The application of histo-cytopathological biomarkers in marine pollution monitoring: a review. **Marine Pollution Bulletin**, 48 (9-10), 817-834, 2004.

AUST, Ann E.; EVELEIGH, Jamie F. Mechanisms of DNA oxidation. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, v. 222, n. 3, p. 246-252, 1999.

AZEVEDO, Juliana S. *et al.* Biochemical changes in the liver and gill of *Cathorops spixii* collected seasonally in two Brazilian estuaries under varying influences of anthropogenic activities. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 96, p. 220-230, 2013.

BAGNYUKOVA, Tetyana V.; CHAHRAK, Oxana I.; LUSHCHAK, Volodymyr I. Coordinated response of goldfish antioxidant defenses to environmental stress. **Aquatic toxicology**, v. 78, n. 4, p. 325-331, 2006.

BAIRD, Donald J. *et al.* *In situ*-based effects measures: Determining the ecological relevance of measured responses. **Integrated Environmental Assessment and Management: An International Journal**, v. 3, n. 2, p. 259-267, 2007.

BALAVENKATASUBBAIAH, M. *et al.* Effect of cupric chloride on oxidative metabolism in the freshwater teleost, *Tilapia mossambica*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 8, n. 3, p. 289-293, 1984.

BARBOSA, F.; MAIA-BARBOSA, P.; NASCIMENTO A. O desastre de Mariana e suas consequências sociais, econômicas, políticas e ambientais: porque evoluir da abordagem de Gestão dos recursos naturais para Governança dos recursos naturais? **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico, Belo Horizonte**, v. 24, n.1/2, p. 159-182, 2015.

BARBOSA, Francisco A.R. *et al.* O desastre de Mariana e suas consequências sociais, econômicas, políticas e ambientais: porque evoluir da abordagem de Gestão dos recursos naturais para Governança dos recursos naturais. UFMG. **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico**. Belo Horizonte, v. 24, n. 1, 2015.

BARLETTA, M.; LIMA, A. R. A.; COSTA, M. F. Distribution, sources and consequences of nutrients, persistent organic pollutants, metals and microplastics in South American estuaries, **Science of The Total Environment**, v. 651, p. 1199-1218. 2019.

BARRANGER, Audrey *et al.* Study of genetic damage in the Japanese oyster induced by an environmentally-relevant exposure to diuron: evidence of vertical transmission of DNA damage. **Aquatic toxicology**, v. 146, p. 93-104, 2014.

BARREIROS, A.L.B.S.; DAVID, Jorge M.; DAVID, Juceni P. Estresse oxidativo: relação entre geração de espécies reativas e defesa do organismo. **Química nova**, v. 29, n. 1, p. 113, 2006.

BASÍLIO, Márcio Silva *et al.* Adsorção de As, Cu, Pb e Cr na avaliação da capacidade de fixação de metais por resíduo de mineradoras de ferro. **Química Nova**, v. 28, n. 5, p. 822, 2005.

BASTOS, A., TEIXEIRA, E., CASTRO, E. Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática na Área Ambiental I. **Avaliação e Consolidação de dados pretéritos. Sistemas Pelágico, Sedimentos, Comunidade Biótica e Ecotoxicologia**. RT-01 RRDM/OUT18. Vitória, ES.

BASTOS, Alex *et al.* Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática na Área Ambiental I. Avaliação e Consolidação de dados pretéritos. Sistemas Pelágico, Sedimentos, **Comunidade Biótica e Ecotoxicologia**. RT-01 RRDM, Vitória, ES, Outubro, 2018.

BELIAEFF B., BURGEOT T. Integrated biomarker response: a useful tool for ecological risk assessment. *Environmental Toxicology Chemistry*, 21: 1316, 2002.

BENZIE, I.F.F. Lipid peroxidation: a review of causes, consequences, measurement and dietary influences. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 47 (3), 233-261, 1996.

BERNET, D. *et al.* Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. *Journal of fish diseases*, v. 22, n. 1, p. 25-34, 1999.

BERTRAND, Lidwina *et al.* Native crustacean species as a bioindicator of freshwater ecosystem pollution: A multivariate and integrative study of multi-biomarker response in active river monitoring. *Chemosphere*, v. 206, p. 265-277, 2018.

BERVOETS, Lieven *et al.* Trace metal levels in chironomid larvae and sediments from a Bolivian river: Impact of mining activities. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 41, n. 3, p. 275-283, 1998.

BIANCHINI, A. Monitoramento dos efeitos ecotoxicológicos da pluma de sedimentos oriunda da foz do Rio Doce sobre o ambiente marinho. Relatório Técnico-Científico - FURG/ICMBio, Rio Grande, RS, 2019.

BIANCHINI, Adalto *et al.* Monitoramento dos efeitos ecotoxicológicos da pluma de sedimentos oriunda da foz do Rio Doce sobre o ambiente marinho. Relatório Técnico-Científico - FURG/ICMBio, Rio Grande, RS, 2019.

BOELSTERLI, U. A. Mechanistic Toxicology. **Taylor & Francis**, p. 1-339, 2007.

BOITEUX, Serge; GUILLET, Marie. Abasic sites in DNA: repair and biological consequences in *Saccharomyces cerevisiae*. *DNA repair*, v. 3, n. 1, p. 1-12, 2004.

BRADFORD, Marion M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

BRANCO, J. O.; MORITZ-JUNIOR, H. C. Alimentação natural do camarão sete-barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*), na Armação do Itapocoroy, Penha, SC. *Revista Brasileira de Zoologia*, v.18, p. 53-61. 2001.

BRESGEN, Nikolaus; ECKL, Peter M. Oxidative stress and the homeodynamics of iron metabolism. *Biomolecules*, v. 5, n. 2, p. 808-847, 2015.

BULICH, Anthony A. A practical and reliable method for monitoring the toxicity of aquatic samples. *Process biochemistry*, v. 17, n. 2, p. 45-47, 1982.

BURGER, Joanna; TSIPOURA, Nellie; GOCHFELD, Michael. Metal levels in blood of three species of shorebirds during stopover on Delaware Bay reflect levels in their food, Horseshoe Crab eggs. **Toxics**, v. 5, n. 3, p. 20, 2017.

CALBET, A.; SCHMOKER, C.; RUSSO, F.; TROTET, A.; MAHJOUB, M-S.; LARSEN, O.; TONG, H. Y.; DRILLET, G. Non-proportional bioaccumulation of trace metals and metalloids in the planktonic food web of two Singapore coastal marine inlets with contrasting water residence times. **Science of The Total Environment**, v. 560-561, p. 284–294. 2016.

CALBREATH, Donald F.; CIULLA, Anna P. **Clinical chemistry: a fundamental textbook**. WB Saunders Company, 1992.

CAMARGO, Marina MP; MARTINEZ, Cláudia BR. Histopathology of gills, kidney and liver of a Neotropical fish caged in an urban stream. **Neotropical Ichthyology**, v. 5, n. 3, p. 327-336, 2007.

CAMPOS, D. Y. F. Análises das respostas citogenéticas e histopatológicas de peixe *Trematomus newnesi* exposto à água do mar diante da Estação Antártica Brasileira “Comandante Ferraz”, Ilha Rei George, Antártica. 112f. **Dissertação (Mestre em Ciências)**. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CAO, Liang *et al.* Tissue-specific accumulation of cadmium and its effects on antioxidative responses in Japanese flounder juveniles. **Environmental toxicology and pharmacology**, v. 33, n. 1, p. 16-25, 2012.

CARNEIRO, Luanna M. *et al.* Distribution of trace elements in tissues of *Goniopsis cruentata* (LATREILLE, 1803) caught from south of Bahia/Brazil mangroves and potential of risk assessment in consumption. **Química Nova**, v. 41, n. 9, p. 959-968, 2018.

CARVALHO, Adriana R.; SCHLITTLER, Flávio H.M.; TORNISIELO, V.L.. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, p. 618-622, 2000.

CARVALHO, Paloma Calábria *et al.* Metal and selenium concentrations in blood and feathers of petrels of the genus *Procellaria*. **Environmental toxicology and chemistry**, v. 32, n. 7, p. 1641-1648, 2013.

CENGIZ, E.I. Gill and kidney histopathology in the freshwater fish *Cyprinus carpio* after acute exposure to deltamethrin. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, 22 (2), 200-204, 2006.

CHEN, Q. L *et al.* Life-time exposure to waterborne copper III: Effects on the energy metabolism of the killifish *Poecilia vivipara*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.76, p.126 - 134, 2012.

CHEN, Yong *et al.* Long-term and high-concentration heavy-metal contamination strongly influences the microbiome and functional genes in Yellow River sediments. **Science of the Total Environment**, v. 637, p. 1400-1412, 2018.

CHENEY, Marcos A.; CRIDDLE, Richard S. Heavy metal effects on the metabolic activity of *Elliptio complanata*: a calorimetric method. **Journal of environmental quality**, v. 25, n. 2, p. 235-240, 1996.

CHIBA, W. A. C.; PASSERINI, M. D.; TUNDISI, J. G. Metal contamination in benthic macroinvertebrates in a sub-basin in the southeast of Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 2, p. 391-399, 2011.

CHILDRESS, J. J.; SOMERO, George N. Depth-related enzymic activities in muscle, brain and heart of deep-living pelagic marine teleosts. **Marine Biology**, v. 52, n. 3, p. 273-283, 1979.

CHOUVELON, T.; STRADY, E.; HARMELIN-VIVIEN, M.; RADA KOVITCH, O.; BRACH-PAPA, C.; CROCHET, S.; KNOERY, J.; ROZUEL, E.; THOMAS, B.; TRONCZYNSKI, J.; CHIFFOLEAU, J-F. Patterns of trace metal bioaccumulation and trophic transfer in a phytoplankton-zooplankton-small pelagic fish marine food web. **Marine Pollution Bulletin**, v. 146, p. 1013–1030. 2019.

CONAMA. 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução No. 357**, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União de 18/03/05.

CONAMA. 2012. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução No. 454**, de 1 de novembro 2012. Diário Oficial da União de 08/11/12.

COSTA, P.M., DINIZ, M.S., CAEIRO, S., LOBO, J., MARTINS, M., FERREIRA, A. M., & COSTA, M. H. Histological biomarkers in liver and gills of juvenile *Solea senegalensis* exposed to contaminated estuarine sediments: a weighted indices approach. **Aquatic Toxicology**, 92 (3), 202-212, 2009.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira -Petar, São Paulo, Brasil. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 40-45, 2006.

COUTURE, Patrice; KUMAR, Puja Rajender. Impairment of metabolic capacities in copper and cadmium contaminated wild yellow perch (*Perca flavescens*). **Aquatic Toxicology**, v. 64, n. 1, p. 107-120, 2003.

COUTURE, Patrice; KUMAR, Puja Rajender. Impairment of metabolic capacities in copper and cadmium contaminated wild yellow perch (*Perca flavescens*). **Aquatic Toxicology**, v. 64, n. 1, p. 107-120, 2003.

CRAIG, Paul M.; WOOD, Chris M.; MCCLELLAND, Grant B. Oxidative stress response and gene expression with acute copper exposure in zebrafish (*Danio rerio*). **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 293, n. 5, p. R1882-R1892, 2007.

DALZOCHIO, Thaís *et al.* Water quality parameters, biomarkers and metal bioaccumulation in native fish captured in the Ilha River, southern Brazil. **Chemosphere**, v. 189, p. 609-618, 2017.

DAVISON, William. Iron and manganese in lakes. **Earth-Science Reviews**, v. 34, n. 2, p. 119-163, 1993.

DE ANDRADE BRITO, Izabella *et al.* Monitoring water quality in reservoirs for human supply through multi-biomarker evaluation in tropical fish. **Journal of environmental monitoring**, v. 14, n. 2, p. 615-625, 2012.

DE CARVALHO, Marllon Santos *et al.* Concentração de metais no rio Doce em Mariana, Minas Gerais, Brasil. **Acta Brasiliensis**, v. 1, n. 3, p. 37-41, 2017.

DEBNATH, Mitra *et al.* Effects of water borne iron on spawn of Indian major carps (*Catla catla* (Ham.), *Labeo rohita* (Ham.) and *Cirrhinus mrigala* (Ham.)). **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 89, n. 6, p. 1170-1174, 2012.

DEPLEDGE, M. H. Disruption of circulatory and respiratory activity in shore crabs (*Carcinus maenas* (L)) exposed to heavy metal pollution. **Comparative biochemistry and physiology. C, Comparative pharmacology and toxicology**, v. 78, n. 2, p. 445-459, 1984.

DEVIN S., BURGEOT T., GIAMBÉRINI L., MINGUEZ L., PAIN-DEVIN S. The integrated biomarker response revisited: optimization to avoid misuse. *Environmental Science and Pollution Research*, 21: 2448-2454, 2014.

DEVIN, S., COSSU-LEGUILLE, C., GEFFARD, A., GIAMBÉRINI, L., JOUENNE, T., MINGUEZ, L., NAUDIN, B., PARANT, M., RODIUS, F., ROUSSELLE, P., TARNOWSKA, K., DAGUIN-THIÉBAUT, C., VIARD, F., DEVIN, S. Towards a better understanding of biomarker response in field survey: A case study in eight populations of zebra mussels. *Aquatic Toxicology*. 155: 52-61, 2014.

DIBIO, 2019. Documentos Rio Doce – Espírito Santo. Disponível em <http://www.icmbio.gov.br/portal/publicacoes?id=7862:documentos-rio-doce>. Acesso: novembro, 2019.

DOWNS, C. A. *et al.* Oxidative stress and seasonal coral bleaching. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 33, n. 4, p. 533-543, 2002.

DROGE, Wulf. Free radicals in the physiological control of cell function. **Physiological reviews**, v. 82, n. 1, p. 47-95, 2002.

ELARABANY, Naglaa; BAHNASAWY, Mohammed. Comparative and Interactive Biochemical Effects of Sub-Lethal Concentrations of Cadmium and Lead on Some Tissues of the African Catfish (*Clarias gariepinus*). **Toxicological research**, v. 35, n. 3, p. 249, 2019.

EVANGELISTA, H. Sumário das análises de isótopos radiogênicos de Sr e Nd em sedimentos da Foz do Rio Doce-ES e do Parque Nacional dos Abrolhos-BA (antes e depois do rompimento da barragem de rejeitos da Samarco em Mariana-MG). Versão 2.0. Laramg/Lagir-UERJ. Nº SEI: (1893974). 2017. Disponível em: [http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/Rio\\_Doce/nota\\_tecnica\\_23\\_2017\\_Tamar\\_ICMBio\\_monitoramento\\_pluma.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/Rio_Doce/nota_tecnica_23_2017_Tamar_ICMBio_monitoramento_pluma.pdf)

EVANS, Mark D.; DIZDAROGLU, Miral; COOKE, Marcus S. Oxidative DNA damage and disease: induction, repair and significance. **Mutation Research/Reviews in Mutation Research**, v. 567, n. 1, p. 1-61, 2004.

EZEMONYE, Lawrence I. *et al.* Potential health risk consequences of heavy metal concentrations in surface water, shrimp (*Macrobrachium macrobrachion*) and fish (*Brycinus longipinnis*) from Benin River, Nigeria. **Toxicology reports**, v. 6, p. 1-9, 2019.

FABRICIUS, Katharina E. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. **Marine pollution bulletin**, v. 50, n. 2, p. 125-146, 2005.

FENTON, H. J. H. LXXIII.—Oxidation of tartaric acid in presence of iron. **Journal of the Chemical Society, Transactions**, v. 65, p. 899-910, 1894.

FERNANDES, Geraldo W. *et al.* Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 14, n. 2, p. 35-45, 2016.

FERREIRA, A. L. A.; MATSUBARA, L. S. Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. **Revista da associação médica brasileira**, v. 43, n. 1, p. 61-68, 1997.

FIGUEIREDO-FERNANDES, António *et al.* Histopathological changes in liver and gill epithelium of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, exposed to waterborne copper. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 27, n. 3, p. 103-109, 2007.

FILGUEIRAS, A. V.; LAVILLA, I.; BENDICHO, C. Evaluation of distribution, mobility and binding behavior of heavy metals in surficial sediment of Louro River (Galicia, Spain) using chemometric analysis: a case study. **Science of the Total Environment**, v. 330, p. 115-129, 2004.

FISHER, N. S.; STUPAKOFF, I.; SANUDO-WILHELMY, S.; WANG, W.-X.; TEYSSIE, J.-L.; FOWLER, S. W.; CRUSIUS, J. Trace metals in marine copepods: a field test of a bioaccumulation model coupled to laboratory uptake kinetics data. **Marine Ecology Progress Series**, v. 194, p. 211–218. 2000.

FLORES-LOPES, Fábio; COGNATO, D. de P.; MALABARBA, Luiz R. Alterações Histopatológicas observadas nas brânquias do Lambari *Astyanax jacuhiensis* (LINNAEUS, 1758)(TELEOSTEI: CHARACIDAE) sob influência de efluentes Petroquímicos. **Revista Brasileira de Toxicologia**, v. 18, n. 2, p. 99-104, 2005.

FLORES-LOPES, Fábio; MALABARBA, Luiz R. Alterações histopatológicas observadas no fígado do lambarí *Astyanax jacuhiensis* (cope, 1894)(Teleostei, Characidae) sob influência de efluentes petroquímicos. **Biociências**, v. 15, n. 2, p. 166-172, 2007.

FONSECA, Juliana *et al.* Effects of increasing temperature alone and combined with copper exposure on biochemical and physiological parameters in the *zooxanthellate scleractinian* coral *Mussismilia harttii*. **Aquatic toxicology**, v. 190, p. 121-132, 2017.

FONTAÍNHAS-FERNANDES, António *et al.* Gill histopathological alterations in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* exposed to treated sewage water. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 5, p. 1057-1063, 2008.

FRANCINI-FILHO, R.; CORDEIRO, M. C.; OMACHI, C. Y.; ROCHA, A. M.; GARCIA, L. B.; TSCHOEKE, D.; ALMEIDA, M. G.; RANGEL, T. P.; OLIVEIRA, B. C. V.; ALMEIDA, D. Q. R.; MENEZES, R.; MAZZEI,

E. F.; JOYEUX, J.; REZENDE, C. E.; THOMPSON, C. C.; THOMPSON, F. L. Remote sensing, isotopic composition and metagenomics analyses revealed Doce River ore plume reached the southern Abrolhos Bank Reefs. **Science of The Total Environment**, v. 697. 2019.

FREDRIKSEN, Lene. Effects of environmental contaminants on Atlantic cod (*Gadus morhua*) from the inner Oslofjord. **Dissertação de Mestrado**, 2013.

FREIRE, Carolina A. *et al.* A multibiomarker evaluation of urban, industrial, and agricultural exposure of small characins in a large freshwater basin in southern Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 17, p. 13263-13277, 2015.

FROESE, Rainer, PAULY, D 2017. **FishBase**. Available at <http://www.fishbase.org> (accessed on 02 February 2017).

FURLEY, T.; TOVAR, T.; MENDES, L. Avaliação ecotoxicológica da água e sedimento do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão. **Relatório Técnico da Aplysia Soluções Ambientais, n° 897, 2ª revisão**. 50 p. Vitória, ES. 2017.

FURLEY, T.; TOVAR, T.; MENDES, L. Avaliação ecotoxicológica da água e sedimento do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão. **Relatório Técnico da Aplysia Soluções Ambientais, n° 897, 2ª revisão**. 50 p. Vitória, ES. 2017.

FURLEY, T.; TOVAR, T.; MENDES, L. Avaliação ecotoxicológica da água e sedimento do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão. **Relatório Técnico da Aplysia Soluções Ambientais, n° 897, 2ª revisão**. 50 p. Vitória, ES, 2017.

GALVÃO, R. C. F. *et al.* Freshwater shrimps (*Macrobrachium depressimanum* and *Macrobrachium jelskii*) as biomonitors of Hg availability in the Madeira River Basin, Western Amazon. **Environmental monitoring and assessment**, v. 190, n. 2, p. 77, 2018.

GARCEAU, Nicolas; PICHAUD, Nicolas; COUTURE, Patrice. Inhibition of goldfish mitochondrial metabolism by in vitro exposure to Cd, Cu and Ni. **Aquatic toxicology**, v. 98, n. 2, p. 107-112, 2010.

GARCIA-SANTOS, S. *et al.* Alterações histológicas em brânquias de tilápia nilótica *Oreochromis niloticus* causadas pelo cádmio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 2, p. 376-381, 2007.

GLASL, Bettina; WEBSTER, Nicole S.; BOURNE, David G. Microbial indicators as a diagnostic tool for assessing water quality and climate stress in coral reef ecosystems. **Marine biology**, v. 164, n. 4, p. 91, 2017.

GLIPPA, Olivier *et al.* Oxidative stress and antioxidant defense responses in *Acartia* copepods in relation to environmental factors. **PLoS one**, v. 13, n. 4, p. e0195981, 2018.

GOLDER ASSOCIATES. Memorando técnico. **Qualidade da Água, Qualidade do Sedimento e resultados dos Testes de Ecotoxicologia no Rio Doce**. Belo Horizonte, MG. 2016.

GOLDER ASSOCIATES. Qualidade da Água, Qualidade do Sedimento e resultados dos Testes de Ecotoxicologia no Rio Doce. **Memorando técnico**. Belo Horizonte, MG. 2016.

GOŁĘBIEWSKI, Marcin *et al.* 16S rDNA pyrosequencing analysis of bacterial community in heavy metals polluted soils. **Microbial ecology**, v. 67, n. 3, p. 635-647, 2014.

GOWARD, Christopher R.; NICHOLLS, David J. Malate dehydrogenase: a model for structure, evolution, and catalysis. **Protein Science**, v. 3, n. 10, p. 1883-1888, 1994.

GUNDERSEN, Deke T. *et al.* Biomarker response and health of polychlorinated biphenyl-and chlordane-contaminated paddlefish from the Ohio River Basin, USA. **Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal**, v. 19, n. 9, p. 2275-2285, 2000.

HALLIWELL, B., & GUTTERIDGE, J.M.C. **Free Radicals in Biology and Medicine**. First Edition. University Press, Oxford, USA, 1999.

HALLIWELL, Barry. The wanderings of a free radical. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 46, n. 5, p. 531-542, 2009.

HANSEN, Jan Ivan; MUSTAFA, Tariq; DEPLEDGE, Michael. Mechanisms of copper toxicity in the shore crab, *Carcinus maenas*. **Marine Biology**, v. 114, n. 2, p. 259-264, 1992.

HARGREAVES, Anna L.; WHITESIDE, Douglas P.; GILCHRIST, Grant. Concentrations of 17 elements, including mercury, in the tissues, food and abiotic environment of Arctic shorebirds. **Science of the Total Environment**, v. 409, n. 19, p. 3757-3770, 2011.

HE, Qiang; YAO, Kai. Microbial reduction of selenium oxyanions by *Anaeromyxobacter dehalogenans*. **Bioresource technology**, v. 101, n. 10, p. 3760-3764, 2010.

HEATH, Alan G. Environmental hypoxia. *In*: Water pollution and fish physiology. **CRC Press**, p. 29-60, 1995.

HUAIDONG, H. E. *et al.* Illumina-based analysis of bulk and rhizosphere soil bacterial communities in paddy fields under mixed heavy metal contamination. **Pedosphere**, v. 27, n. 3, p. 569-578, 2017.

IGNEA, Codruța *et al.* Modulation of the antioxidant/pro-oxidant balance, cytotoxicity and antiviral actions of grape seed extracts. **Food chemistry**, v. 141, n. 4, p. 3967-3976, 2013.

INNOCENTINI, Valdir; ARANTES, F. O.; PRADO, Simone C.C. Modelo de ondas aplicado ao caso 5-8 de maio de 2001. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 18, n. 01, p. 97-104, 2003.

JAVED, Mehjbeen *et al.* Studies on biomarkers of oxidative stress and associated genotoxicity and histopathology in *Channa punctatus* from heavy metal polluted canal. **Chemosphere**, v. 151, p. 210-219, 2016.

JEONG, Chang-Bum *et al.* Adverse effects of microplastics and oxidative stress-induced MAPK/Nrf2 pathway-mediated defense mechanisms in the marine copepod *Paracyclopsina nana*. **Scientific reports**, v. 7, p. 41323, 2017.

JOHNSON, L.L., STEHR, C.M., OLSON, O.P., MYERS, M.S., PIERCE, S.M., WIGREN, C.A., & VARANASI, U. Chemical contaminants and hepatic lesions in winter flounder (*Pleuronectes americanus*) from the Northeast Coast of the United States. **Environmental Science & Technology**, 27 (13), 2759-2771, 1993.

JORGENSEN, S. W. A derivative of encyclopedia of ecology. **Ecotoxicology**. Academic Press, London, p. 390, 2010.

KÄGI, J.H.R., & SCHÄFFER, A. Biochemistry of metallothionein. **Biochemistry**, 27, 8509– 8515, 1988.

KATSUMITI, A. *et al.* An assessment of acute biomarker responses in the demersal catfish *Cathorops spixii* after the Vicuña Oil Spill in a harbour estuarine area in Southern Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 152, n. 1-4, p. 209, 2009.

KEHRIG, H. A.; PALERMO, E. F. A.; SEIXAS, T. G.; BRANCO, C. W. C.; MOREIRA, I.; MALM, O. Trophic transfer of methylmercury and trace elements by tropical estuarine seston and plankton. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 85, p. 36–44. 2009.

KIM, H. S.; KIM, Y. J.; SEO, Y. R. An Overview of Carcinogenic Heavy Metal: Molecular Toxicity Mechanism and Prevention. **Journal of Cancer Prevention**, v. 20(4), p. 232–240. 2015.

KIM, Su Jin *et al.* Genome sequence of a novel member of the genus *Psychrobacter* isolated from Antarctic soil. **Journal of Bacteriology**, v. 194, n. 9, p. 2403, 2012.

KUNIYOSHI, L. S.; BRAGA, E. S.; FAVARO, D. I. T. Uso do arsênio na avaliação da qualidade do pescado: Necessidade de adequação da legislação ambiental. **V Simpósio Brasileiro de Oceanografia, Santos, SP, Brasil. Resumo expandido. Sociedade Brasileira de Oceanografia**, p. 1-5, 2011.

LAUER, Mariana M. *et al.* Copper effects on key metabolic enzymes and mitochondrial membrane potential in gills of the estuarine crab *Neohelice granulata* at different salinities. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 156, n. 3-4, p. 140-147, 2012.

LEE, Hyo Jin; KIM, Gi Beum; LEE, Richard F. Genotoxicity and development effects of brominated flame retardant PBDEs and UV-exposed PBDEs on grass shrimp (*Palaemonetes pugio*) embryo. **Marine pollution bulletin**, v. 64, n. 12, p. 2892-2895, 2012.

LEHNINGER, Aalbert L.; COX, Michael M.; NELSON, David L. **Princípios de Bioquímica de LEHNINGER**. 5. ed. Artmed: Porto Alegre, RS. 2011.

LESSER, Michael P. Oxidative stress in marine environments: biochemistry and physiological ecology. **Annual Review of Physiology**, v. 68, p. 253-278, 2006.

LI, Hongcheng *et al.* Effects of waterborne nano-iron on medaka (*Oryzias latipes*): antioxidant enzymatic activity, lipid peroxidation and histopathology. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 72, n. 3, p. 684-692, 2009.

- LI, Xiaoqi *et al.* Response of soil microbial communities and microbial interactions to long-term heavy metal contamination. **Environmental pollution**, v. 231, p. 908-917, 2017.
- LIANG, Bo *et al.* *Anaerolineaceae* and *Methanosaeta* turned to be the dominant microorganisms in alkanes-dependent methanogenic culture after long-term of incubation. **AMB Express**, v. 5, n. 1, p. 37, 2015.
- LIEBEL, Samuel; TOMOTAKE, Maria E.M.; RIBEIRO, Ciro A.O. Fish histopathology as biomarker to evaluate water quality. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 8, n. 2, p. 09-15, 2013.
- LIMA, Daniel P. *et al.* Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. **Acta Amazonica**, p. 405-414, 2015.
- LIMA, E. D. A. M. Avaliação da Qualidade dos Sedimentos e Prognóstico Geoquímico Ambiental da Zona Estuarina do Rio Botafogo, Pernambuco: **Tese de Doutorado -Universidade Federal de Pernambuco - Departamento de Geologia**, 2008.
- LINDE, A.R., SÁNCHEZ-GALÁN, S., VALLÉS-MOTA, P., & GARCIA-VÁZQUEZ, E. Metallothionein as bioindicator of freshwater metal pollution: European eel and brown trout. **Ecotoxicology Environmental Safety**, 49, 60–63, 2001.
- LIU, Zhanfei; LIU, Jiqing. Evaluating bacterial community structures in oil collected from the sea surface and sediment in the northern Gulf of Mexico after the Deepwater Horizon oil spill. **MicrobiologyOpen**, v. 2, n. 3, p. 492-504, 2013.
- LIVINGSTONE, D.R. Contaminant-stimulates reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms. **Marine Pollution Bulletin**, 42, 656-666, 2001.
- LIVINGSTONE, David R. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms. **Marine pollution bulletin**, v. 42, n. 8, p. 656-666, 2001.
- LOTUFO, Guilherme R.; ABESSA, D. M. S. Testes de toxicidade com sedimento total e água intersticial estuarinos utilizando copépodos bentônicos. **Nascimento IA, Sousa ECPM, Nipper MG. Métodos em ecotoxicologia marinha: aplicações no Brasil**. São Paulo: Artes Gráficas, p. 151-162, 2002.
- LUSHCHAK, Volodymyr I. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. **Aquatic toxicology**, v. 101, n. 1, p. 13-30, 2011.
- MACEDA-VEIGA, Alberto *et al.* Metal concentrations and pathological responses of wild native fish exposed to sewage discharge in a Mediterranean river. **Science of the Total Environment**, v. 449, p. 9-19, 2013.
- MADUENHO, Lindalva P.; MARTINEZ, Claudia B.R. Acute effects of diflubenzuron on the freshwater fish *Prochilodus lineatus*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 148, n. 3, p. 265-272, 2008.

- MAHARAJAN, A. *et al.* Histopathology biomarker responses in Asian sea bass, *Lates calcarifer* (Bloch) exposed to copper. **The Journal of Basic & Applied Zoology**, v. 77, p. 21-30, 2016.
- MALTBY, Lorraine *et al.* Evaluation of the *Gammarus pulex* in situ feeding assay as a biomonitor of water quality: Robustness, responsiveness, and relevance. **Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal**, v. 21, n. 2, p. 361-368, 2002.
- MARANGONI, Laura F.B. *et al.* Oxidative stress biomarkers as potential tools in reef degradation monitoring: A study case in a South Atlantic reef under influence of the 2015–2016 El Niño/Southern Oscillation (ENSO). **Ecological Indicators**, v. 106, p. 105533, 2019.
- MARCOGLIESE, David J. *et al.* Joint effects of parasitism and pollution on oxidative stress biomarkers in yellow perch *Perca flavescens*. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 63, n. 1, p. 77-84, 2005.
- MARKLUND, Stefan; MARKLUND, Gudrun. Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. **European journal of biochemistry**, v. 47, n. 3, p. 469-474, 1974.
- MARQUES, Joseane A. *et al.* Environmental health in southwestern Atlantic coral reefs: Geochemical, water quality and ecological indicators. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 261-270, 2019.
- MARTIN, James L.; MCCUTCHEON, Steven C. Hydrodynamics and transport for water quality modeling. **CRC press**, 2018.
- MARTINS, A. S.; SANTOS, L. B.; PIZETTA, G.T.; MONJARDIM, C.; DOXSEY, J.R. Interdisciplinary assessment of the status quo of the marine fishery systems in the state of Espírito Santo, Brazil, using Rapfish. **Journal of Applied Ichthyology**, v.25, p. 269-276. 2009.
- MASTROTI, R. R. Teste de toxicidade com gametas de ouriço-do-mar (Fertilização). **Métodos em Ecotoxicologia Marinha. Aplicações no Brasil. Ed. Artes Gráficas e Indústria Ltda, São Paulo**, p. 91-97, 2002.
- MATIĆ, Dragana *et al.* Genotoxic effects of cadmium and influence on fitness components of *Lymantria dispar caterpillars*. **Environmental pollution**, v. 218, p. 1270-1277, 2016.
- MCDEVITT-IRWIN, Jamie M. *et al.* Responses of coral-associated bacterial communities to local and global stressors. **Frontiers in Marine Science**, v. 4, p. 262, 2017.
- MCGEER, J.C., SZEBEDINSZKY, C., MCDONALD, D.G., & WOOD, C.M. (2000). Effects of chronic sublethal exposure to waterborne Cu, Cd or Zn in rainbow trout. 1: Iono- regulatory disturbance and metabolic costs. **Aquatic Toxicology**, 50 (3), 231-243, 2000.
- MERFA, Thaysa C. Determinação de metais pesados no caranguejo comestível *Ucides cordatus* (Crustacea: Decapoda). **Monografia (Graduação em Ecologia) – Instituto de Biociências de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, São Paulo**, 2010.

MIRANDA, Anna L. *et al.* Bioaccumulation of chlorinated pesticides and PCBs in the tropical freshwater fish *Hoplias malabaricus*: histopathological, physiological, and immunological findings. **Environment International**, v. 34, n. 7, p. 939-949, 2008.

MOHAMED, Fatma A.S. Bioaccumulation of selected metals and histopathological alterations in tissues of *Oreochromis niloticus* and *Lates niloticus* from Lake Nasser, Egypt. **Global Veterinaria**, v. 2, n. 4, p. 205-218, 2008.

MOHANTY, Deepali; SAMANTA, Luna. Dietary supplementation of *Spirulina ameliorates* iron-induced oxidative stress in Indian knife fish *Notopterus Notopterus*. **Environmental toxicology and pharmacology**, v. 61, p. 71-78, 2018.

MONAGHAN, Pat; METCALFE, Neil B.; TORRES, Roxana. Oxidative stress as a mediator of life history trade-offs: mechanisms, measurements and interpretation. **Ecology letters**, v. 12, n. 1, p. 75-92, 2009.

MONSERRAT, J.M., MARTINEZ, P.E., GERACITANO, L.A., AMADO, L.L., MARTINS, C.M.G., PINHO, G.L.L., CHAVES, I.S., FERREIRA-CRAVO, M., VENTURA-LIMA, J., & BIANCHINI, A. Pollution biomarkers in estuarine animals: Critical review and new perspectives. **Comparative Biochemistry and Physiology C**, 146, 221-234, 2007.

MONSERRAT, José M. *et al.* Pollution biomarkers in estuarine animals: critical review and new perspectives. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 146, n. 1-2, p. 221-234, 2007.

MOUCHKA, Morgan E.; HEWSON, Ian; HARVELL, C. Drew. Coral-associated bacterial assemblages: current knowledge and the potential for climate-driven impacts. **Integrative and comparative biology**, v. 50, n. 4, p. 662-674, 2010.

MUSRATI, R. A. *et al.* Malate dehydrogenase: distribution, function and properties. **General physiology and biophysics**, v. 17, p. 193-210, 1998.

MUTO, N., REN, H.W., HWANG, G.S., TOMINAGA, S., ITOH, N., & TANAKA, K. Induction of two major isoforms of metallothionein in crucian carp (*Carassius cuvieri*) by airpumping stress, dexamethasone, and metals. **Comparative Biochemistry and Physiology**, 122, 75–82, 1999.

NG TYT, A. C.; RAINBOW, P.S.; AMIARD, J.C.; WANG, W.X. Physico-chemical form of trace metals accumulated by phytoplankton and their assimilation by filter-feeding invertebrates. **Marine Ecology Progress Series**, v. 299, p. 179–191. 2005.

NICOLODI, João Luiz; TOLDO JUNIOR, Elirio Ernestino; FARINA, Leandro. Dinâmica e ressuspensão por ondas no Lago Guaíba (RS, Brasil) e implicações nos locais de captação de água para abastecimento humano. **Pesquisas em Geociências**, v.37, n.1, p.25-39, 2010.

NOEL-LAMBOT, F., GERDAY, C., & DISTECHE, A. Distribution of Cd, Zn and Cu in liver and gills of the eel *Anguilla anguilla* with special reference to metallothioneins. **Comparative Biochemistry and Physiology**, 61, 177–187, 1978.

OLAKOLU, F. C.; HASSAN, A. A.; KO, Renner. Lipid peroxidation and antioxidant biomarker activities as indicator of pollution in Blue Crab *Callinectes amnicola* from Lagos lagoon. **Biomarkers**, v. 5, n. 2, 2012.

OLIVEIRA-RIBEIRO, C.A. *et al.* Bioaccumulation and the effects of organochlorine pesticides, PAH and heavy metals in the Eel (*Anguilla anguilla*) at the Camargue Nature Reserve, France. **Aquatic Toxicology**, v.74, p. 53-69, 2005.

OLOJO, E. A. A. *et al.* Histopathology of the gill and liver tissues of the African catfish *Clarias gariepinus* exposed to lead. **African Journal of Biotechnology**, v. 4, n. 1, p. 117-122, 2005.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD 203**: Fish Acute Toxicity Test. Paris, 1992.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD 211**: *Daphnia magna* Reproduction Test. Paris, 2012.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD 236**: Fish Embryo Acute Toxicity (FET) Test. Paris, 2013.

OSMAN, Alaa GM *et al.* Effects of lead nitrate on the activity of metabolic enzymes during early developmental stages of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 33, n. 1, p. 1-13, 2007.

PACHECO, Mario; SANTOS, Maria Ana. Biotransformation, genotoxic, and histopathological effects of environmental contaminants in European eel (*Anguilla anguilla* L.). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 53, n. 3, p. 331-347, 2002.

PAPANIKOLAOU, George; PANTOPOULOS, Kostas. Iron metabolism and toxicity. **Toxicology and applied pharmacology**, v. 202, n. 2, p. 199-211, 2005.

PAQUIN, P.R.; SANTORE, R.C.; WU, K.B.; KAVVADAS, C.V.; DI TORO, D.M. The biotic ligand model: a model of the acute toxicity of metals to aquatic life. **Environmental Science & Policy**, v. 3, p. S175-S182, 2000.

PAQUIN, Paul R. *et al.* The biotic ligand model: a model of the acute toxicity of metals to aquatic life. **Environmental Science & Policy**, v. 3, p. 175-182, 2000.

PARIS, Palacios S.; BIAGIANTI, Risbourg S.; VERNET, G. Biochemical and (ultra)structural hepatic perturbation of *Brachydanio rerio* (Teleostei, Cyprinidae) exposed to two sublethal concentrations of copper sulphate. **Aquatic Toxicology**, v. 55, p. 109-124, 2000.

PASSOW, Ho A.; ROTHSTEIN, A.; CLARKSON, T. W. The general pharmacology of heavy metals. **Pharmacological Reviews**, v. 13, p. 185-224 1961.

PAULINO, Marcelo G. *et al.* The impact of organochlorines and metals on wild fish living in a tropical hydroelectric reservoir: bioaccumulation and histopathological biomarkers. **Science of the Total Environment**, v. 497, p. 293-306, 2014.

PEREIRA, Bruno F. Análise dos efeitos da exposição a ambientes poluídos na morfologia e no envelhecimento precoce, de brânquias e fígado em peixes. **Dissertação (Doutorado em Biologia Celular e Molecular) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”**, Rio Claro. 117f. 2014.

PINHEIRO, H. T.; MARTINS, A. S. Estudo comparativo da captura artesanal do camarão sete-barbas e sua fauna acompanhante em duas áreas de pesca do litoral do estado do Espírito Santo, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 35, p. 215-225. 2009.

POTET, M., DEVIN, S., PAIN-DEVIN, S., ROUSSELLE, P., GIAMBÉRINI, L. Integrated multi-biomarker responses in two dreissenid species following metal and thermal cross stress. *Environmental Pollution*, 218: 39-49, 2016.

PRAZERES, Martina F.; MARTINS, Samantha E.; BIANCHINI, Adalto. Assessment of water quality in coastal waters of Fernando de Noronha, Brazil: biomarker analyses in *Amphistegina lessonii*. **The Journal of Foraminiferal Research**, v. 42, n. 1, p. 56-65, 2012.

QUEIROZ, H. M.; NÓBREGA, G. N.; FERREIRA, T. O.; ALMEIDA, L. S.; ROMERO, R. B.; SANTAELLA, S. T.; BERNARDINO, A. F.; OTERO, X. L. The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination? **Science of The Total Environment**, v. 37–638, p. 498-506. 2018.

QUIG, David. Cysteine metabolism and metal toxicity. **Alternative Medicine Review**, v. 3, p. 262-270, 1998.

RABITTO, Inês S. *et al.* Effects of dietary Pb (II) and tributyltin on neotropical fish, *Hoplias malabaricus*: histopathological and biochemical findings. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 60, n. 2, p. 147-156, 2005.

RABITTO, Inês S. *et al.* Mercury and DDT exposure risk to fish-eating human populations in Amazon. **Environmental International**, v.37, p.56–65, 2011.

RAINBOW, P. S. Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: why and so what? **Environmental Pollution**, v. 120, p. 497–507. 2002.

RAJANNA, B. *et al.* Effects of lead on K<sup>(+)</sup> para nitrophenyl phosphatase activity and protection by thiol reagents. **Biochemistry International**, v. 20, p.1011-1018, 1990.

RAND, Gary M. (Ed.). Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate and risk assessment. **CRC press**, 1995.

REZAEI, Masoud; KAMALI, Ali; SHAPOORI, M. Investigation of heavy metals (Cadmium, Lead) in *Chironomidae* and *Gammarus pulex* Namrood River – Tehran Province. **Journal of Chemical Health Risks**, v. 2, p. 39-44, 2011.

RIBEIRO, Anne C. *et al.* Atividades de lactato desidrogenase e malato desidrogenase de *Astyanax bimaculatus* (lambari) da bacia hidrográfica do rio Una como biomarcadoras de impacto ambiental. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 4, p. 793-803, 2015.

RIETZLER, A.C. *et al.* Rompimento da barragem de rejeitos de Fundão em Mariana – MG, seus efeitos de toxicidade e outros impactos na bacia do rio Doce. In: **XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA**. Curitiba, PR. 2016.

RIETZLER, A.C.; BARBOSA, F.A.R.; RIBEIRO, M.M.; MATOS, M.F. Rompimento da barragem de rejeitos de Fundão em Mariana – MG, seus efeitos de toxicidade e outros impactos na bacia do rio Doce. In: **XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA**. Curitiba – PR. 2016.

RINDERHAGEN, M; RITTERHOFF, J.; ZAUKE, G-P. Crustaceans as Bioindicators. **Environmental Research**, v. 16. 2000.

ROJIK, I.; NEMCSÓK, J.; BOROSS, L. Morphological and biochemical studies on liver, kidney and gill of fishes affected by pesticides. **Acta Biologica Hungarica**, v. 34, p. 81 - 92, 1993.

ROMÉO M., COSSON, R.P., GNASSIA-BARELLI, M., RISSO, C., STIEN, X., & LAFAURIE, M. Metallothionein determination in the liver of the sea bass *Dicentrarchus labrax* treated with copper and B(a)P. **Marine Environmental Research**, 44, 275–284, 1997.

ROSSI, Stefani. Uso de biomarcadores para a detecção de efeitos subletais dos pesticidas Roundup e Hexaton em *Astyanax* sp (Pices, Teleostei). **Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba**. 64f . 2008.

RYBAKOVAS, Aleksandras; BARŠIENĖ, Janina; LANG, Thomas. Environmental genotoxicity and cytotoxicity in the offshore zones of the Baltic and the North Seas. **Marine Environmental Research**, v. 68, n. 5, p. 246-256, 2009.

SAEBELFELD, Manja *et al.* Humic dissolved organic carbon drives oxidative stress and severe fitness impairments in *Daphnia*. **Aquatic Toxicology**, v. 182, p. 31-38, 2017.

SANTANA, Manuela S. *et al.* Diffuse sources of contamination in freshwater fish: detecting effects through active biomonitoring and multi-biomarker approaches. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 149, p. 173-181, 2018.

SANTOS, Debora R. *et al.* The applied indicators of water quality may underestimate the risk of chemical exposure to human population in reservoirs utilized for human supply—Southern Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 10, p. 9625-9639, 2016.

SCHLENK, D., HANDY, R., STEINERT, S., DEPLEDGE, M. H., & BENSON, W. Biomarkers. **The Toxicology of Fishes**, 1, 683-732, 2008.

SCHWAIGER, Julia *et al.* The use of histopathological indicators to evaluate contaminant-related stress in fish. **Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery**, v. 6, n. 1, p. 75-86, 1997.

- SCHWAIGER, Julia. Histopathological alterations and parasite infection in fish: indicators of multiple stress factors. **Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery**, v. 8, n. 3-4, p. 231-240, 2001.
- SEABRA PEREIRA, C.D.; ABESSA, D.M.S.; CHOUERI, R. B.; ALMAGRO-PASTOR, V.; CESAR, A.; MARANHO, L. A.; MARTÍN-DÍAZ, M. L.; TORRES, R. J.; GUSSO-CHOUERI, P. K.; ALMEIDA, J. E.; CORTEZ, F. S.; MOZETO, A. A.; SILBINGER, H. L. N.; SOUSA, E. C. P. M.; DEL VALLS, T. A.; BAINY, A. C. D. Ecological relevance of Sentinels' biomarker responses: A multi-level approach. *Marine Environmental Research*, v. 96, p. 118–126. 2014.
- SEVCIKOVA, M. *et al.* Metals as a cause of oxidative stress in fish: a review. **Veterinary Medicine**, v. 56, n. 11, p. 537-546, 2011.
- SHOBHA-RANI, A. *et al.* Alternations in the levels of dehydrogenases in a freshwater fish, *Tilapia mossambica* (Peters) exposed to arsenic toxicity. **Indian Journal of Environmental Health**, v. 42, p. 130 - 133, 2000.
- SHUHAIMI-OTHTMAN, M. *et al.* Reduced metals concentrations of water, sediment and *Hyalella azteca* from lakes in the vicinity of the Sudbury metal smelters, Ontario, Canada. **Environmental monitoring and assessment**, v. 117, n. 1-3, p. 27-44, 2006.
- SICK, H. Ornitologia Brasileira. **Nova Fronteira Editora**. Rio de Janeiro, RJ. 912 p, 1997.
- SIES, H. Oxidative Stress: Introduction. Oxidative Stress: Oxidant and Antioxidants. **Academic Press**. San Diego, CA. p.15-22, 1991.
- SIGRIST, Tomas. Aves do Brasil: uma visão artística. **Indexa Editora**, 2006.
- SILVA, Ana E.P. *et al.* Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta amazônica**, v. 38, n. 4, p. 733-742, 2008.
- SINGH, Mamta *et al.* Iron mediated hematological, oxidative and histological alterations in freshwater fish *Labeo rohita*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 170, p. 87-97, 2019.
- SINGH, Rajendra K.; SHARMA, Bechan. Carbofuran-induced biochemical changes in *Clarias batrachus*. **Pesticide science**, v. 53, n. 4, p. 285-290, 1998.
- SLANINOVA, A.; MACHOVA, J.; SVOBODOVA, Z. Fish kill caused by aluminium and iron contamination in a natural pond used for fish rearing: a case report. **Veterinary Medicine**, v. 59, n. 11, 2014.
- SLUPPHAUG, Geir; KAVLI, Bodil; KROKAN, Hans E. The interacting pathways for prevention and repair of oxidative DNA damage. **Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 531, n. 1-2, p. 231-251, 2003.
- STENTIFORD, G. D. *et al.* Histopathological biomarkers in estuarine fish species for the assessment of biological effects of contaminants. **Marine Environmental Research**, v. 55, n. 2, p. 137-159, 2003.
- STILLMAN M.J. Metallothioneins. **Coordination Chemistry Reviews**, 14, 461–511, 1995.

SUNAGAWA, Shinichi *et al.* Structure and function of the global ocean microbiome. **Science**, v. 348, n. 6237, p. 1261359, 2015.

TARIFEÑO-SALDIVIA, Estefanía *et al.* Iron overload is associated with oxidative stress and nutritional immunity during viral infection in fish. **Frontiers in Immunology**, v. 9, p. 1296, 2018.

TAYLOR, A.J. Acumulação de metais e atividade enzimática no coral endêmico brasileiro *Mussismilia hispida* sob influência do rio Buranhem, Bahia. **Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica. Universidade Federal do Rio Grande**. 2017.

TEIEN, Hans-Christian *et al.* Transformation of iron species in mixing zones and accumulation on fish gills. **Environmental science & technology**, v. 42, n. 5, p. 1780-1786, 2008.

THOMSON, R. G. General veterinary pathology. **Philadelphia: Saunders**, p.444, 1978.

THOPHON, S. *et al.* Histopathological alterations of white seabass, *Lates calcarifer*, in acute and subchronic cadmium exposure. **Environmental Pollution**, v. 121, n. 3, p. 307-320, 2003.

TKATCHEVA, Victoria *et al.* Toxic effects of mining effluents on fish gills in a subarctic lake system in NW Russia. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 57, n. 3, p. 278-289, 2004.

TORRES, Michelle C. *et al.* The lack of information hides the impact of human activities in estuarine fish from Southern of Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2016.

TÓTH, L. *et al.* Some effect of CuSO<sub>4</sub> on carp. **Journal of Environmental Science and Health, Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 31, p. 627 - 635, 1996.

TRABER, Maret G. Relationship of vitamin E metabolism and oxidation in exercising human subjects. **British Journal of Nutrition**, v. 96, n. S1, p. S34-S37, 2006.

URSO, Maria L.; CLARKSON, Priscilla M. Oxidative stress, exercise, and antioxidant supplementation. **Toxicology**, v. 189, n. 1-2, p. 41-54, 2003.

VALAVANIDIS, Athanasios *et al.* Molecular biomarkers of oxidative stress in aquatic organisms in relation to toxic environmental pollutants. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 64, n. 2, p. 178-189, 2006.

VALDEZ DOMINGOS, Fabíola X. *et al.* Anthropic impact evaluation of two Brazilian estuaries through biomarkers in fish. **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, v.4, p.21-30, 2009.

VIARENGO, A. Heavy metals in marine invertebrates: mechanisms of regulation and toxicity at the cellular level. **Reviews in Aquatic Science**, 1 (2), 295-317, 1989.

VIARENGO, Aldo G. *et al.* Heavy metal effects on lipid peroxidation in the tissues of *Mytilus galloprovincialis* Lam. **Comparative Biochemistry and Physiology C**, v. 97, p. 37-42, 1990.

VOET, D.; VOET, J. **Bioquímica**. 3ªEd. Porto Alegre: Artmed. p.1616, 2006.

- WANG, Zhiwei *et al.* Long-term operation of an MBR in the presence of zinc oxide nanoparticles reveals no significant adverse effects on its performance. **Journal of membrane science**, v. 471, p. 258-264, 2014.
- WINKALER, E. U. *et al.* Histological and physiological biomarkers to monitor the health of streams of fish Londrina, Paraná State. **Acta Scientiarum**, v. 3, n. 2, p. 507-514, 2001.
- WONG, Chris KC; WONG, Ming Hung. Morphological and biochemical changes in the gills of tilapia (*Oreochromis mossambicus*) to ambient cadmium exposure. **Aquatic Toxicology**, v. 48, n. 4, p. 517-527, 2000.
- XIE, Lin *et al.* Mitochondrial DNA oxidative damage triggering mitochondrial dysfunction and apoptosis in high glucose-induced HRECs. **Investigative ophthalmology & visual science**, v. 49, n. 9, p. 4203-4209, 2008.
- YAMAMOTO, F. Y. *et al.* Bioavailability of pollutants sets risk of exposure to biota and human population in reservoirs from Iguaçú River (Southern Brazil). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 18, p. 18111-18128, 2016.
- YANG, Jian *et al.* Actinobacterial diversity in the sediments of five cold springs on the *qinghai-tibet plateau*. **Frontiers in microbiology**, v. 6, p. 1345, 2015.
- YOUNG, Ian; WOODSIDE, J. V. Antioxidants in health and disease. **Journal of clinical pathology**, v. 54, n. 3, p. 176-186, 2001.
- ZAKHARTSEV, Maxim *et al.* Effects of temperature acclimation on lactate dehydrogenase of cod (*Gadus morhua*): genetic, kinetic and thermodynamic aspects. **Journal of experimental Biology**, v. 207, n. 1, p. 95-112, 2004.
- ZANOLO, Rodrigo; YAMAMURA, Milton Hissashi. Parasitas em tilápias-do-nilo criadas em sistema de tanques-rede. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 2, p. 281-288, 2006.
- ZENI, Thayzi O. *et al.* Effects of iodized salt on the histopathology of the gills and liver in *Rhamdia quelen* and *Metynnis maculatus*. **Aquaculture research**, v. 48, n. 5, p. 2198-2208, 2017.
- ZHANG, Quan *et al.* Water managements limit heavy metal accumulation in rice: Dual effects of iron-plaque formation and microbial communities. **Science of the total environment**, v. 687, p. 790-799, 2019.