

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

**RELATÓRIO SEMESTRAL – SEÇÃO 3:**

**Anexo 3 – Marinho Hidrogeoquímica**

**RT-07B RRDM/JUN19**

**Coordenação Geral**

Adalto Bianchini

Alex Cardoso Bastos

Edmilson Costa Teixeira

Eustáquio Vinícius de Castro

Jorge Abdala Dergam dos Santos

Vitória,

Junho de 2019

## COORDENAÇÕES

### COORDENAÇÕES POR ANEXO

#### **Anexo 3**

Fabian Sá (UFES)

#### **Subprojeto Hidrogeoquímica**

Renato Rodrigues Neto (UFES)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>SUBPROJETO: HIDROGEOQUÍMICA MARINHA.....</b>	<b>12</b>
1.1	OBJETIVO .....	12
1.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	13
1.2.1	<b>Nutrientes .....</b>	<b>13</b>
1.2.2	<b>Metais.....</b>	<b>27</b>
1.2.3	<b>Compostos orgânicos .....</b>	<b>95</b>
1.3	CONCLUSÃO .....	115
1.3.1	<b>Nutrientes .....</b>	<b>115</b>
1.3.2	<b>Metais.....</b>	<b>115</b>
1.3.3	<b>Compostos Orgânicos .....</b>	<b>116</b>
1.4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
1.5	APÊNDICE I – FIGURAS E GRÁFICOS.....	123
1.5.1	<b>Nutrientes .....</b>	<b>123</b>
1.5.2	<b>Compostos orgânicos .....</b>	<b>123</b>
1.6	APÊNDICE II - QUADROS E TABELAS.....	129
1.6.1	<b>Nutrientes .....</b>	<b>129</b>
1.6.2	<b>Metais.....</b>	<b>133</b>
1.6.3	<b>Compostos orgânicos .....</b>	<b>148</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (pontilhado) e mediana (linha) das concentrações de nutrientes dissolvidos nas campanhas de amostragem do monitoramento emergencial na foz do rio Doce e plataforma adjacente.....	15
Figura 2: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (quadrado) e mediana (linha) das concentrações de silício em água de superfície (S) e fundo (F) dos setores nas campanhas de amostragem Campanha 1, Campanha 2 e Campanha 3. ....	16
Figura 3: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (quadrado) e mediana (linha) das concentrações de ortofosfato em água de superfície (S) e fundo (F) dos setores nas campanhas de amostragem Campanha 1, Campanha 2 e Campanha 3. ....	18
Figura 4: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (quadrado) e mediana (linha) das concentrações de Nitrogênio Amoniacal (íons amônio $[NH_4^+]$ + amônia $[NH_3]$ ) em água de superfície (S) e fundo (F) dos setores nas campanhas de amostragem Campanha 1, Campanha 2 e Campanha 3.....	19
Figura 5: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (quadrado) e mediana (linha) das concentrações de nitrito e nitrato em água de superfície (S) e fundo (F) dos setores nas campanhas de amostragem Campanha 1, Campanha 2 e Campanha 3. ....	20
Figura 6: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (quadrado) e mediana (linha) das concentrações do fósforo total em água de superfície (S) e fundo (F) dos setores nas campanhas de amostragem Campanha 1, Campanha 2 e Campanha 3. ....	22
Figura 7: Razões entre nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) fósforo dissolvido (PID) nas regiões Sul (Guarapari e Vitória), Costa das Algas, Norte (Degredo, Barra Nova e Itaúnas) e Abrolhos. O tracejado representa a razão de Redfield (16N:1P). ....	23
Figura 8: Razões entre nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) fósforo dissolvido (PID) na foz do Rio Doce nas três campanhas amostrais. Foz sul (vermelho), Central (preto) e Foz norte (azul). O tracejado representa a razão de Redfield (16N:1P). ....	24
Figura 9: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) para as frações dissolvida e total de Alumínio (Al) e Ferro (Fe) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce. ....	31
Figura 10: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) para as frações dissolvida e total de Manganês (Mn) e Bário (Ba) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce. ....	32
Figura 11: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) para as frações dissolvida e total de Cobre (Cu) e Níquel (Ni) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce. ....	33

Figura 12: Concentração (mg / kg) para as frações dissolvida e total de Zinco (Zn), Arsênio (As), Chumbo (Pb), Cromo (Cr) e Vanádio (V) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce.....	34
Figura 13: Concentração (mg / kg) para as frações dissolvida e total de Chumbo (Pb) e Cromo (Cr) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce.....	35
Figura 14: Concentração (mg / kg) para as frações dissolvida e total de Zinco (Zn), Arsênio (As), Chumbo (Pb), Cromo (Cr) e Vanádio (V) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce.....	36
Figura 15: Concentração de sedimento superficial (mg/kg) de Alumínio (Al), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Bário (Ba) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce.....	37
Figura 16: Concentração de sedimento superficial (mg/kg) de Cobre (Cu), Níquel (Ni), Zinco (Zn) e Arsênio (As) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce. ....	38
Figura 17: Concentração em sedimento superficial (mg/kg) de Chumbo (Pb) Cromo(Cr), Cádmiu (Cd) e Vanádio (V) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce.....	39
Figura 18: Concentração (µg/L) nas frações dissolvida e total de Alumínio (Al) e Ferro (Fe) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce. ....	41
Figura 19: Concentração (µg/L) nas frações dissolvida e total de Manganês (Mn) e Bário (Ba) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce .....	42
Figura 20: Concentração (µg/L) nas frações dissolvida e total de Cobre (Cu) e Níquel (Ni) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce. ....	43
Figura 21: Concentração (µg/L) nas frações dissolvida e total de Zinco (Zn) e Arsênio (As) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce. ....	44
Figura 22: Concentração (µg/L) nas frações dissolvida e total de Chumbo (Pb) e Cromo (Cr) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce. ....	45
Figura 23: Concentração (µg/L) nas frações dissolvida e total de Cádmiu (Cd) e Vanádio (V) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce. ....	46
Figura 24: Concentração (µg/L) nas frações dissolvida e total de Prata (Ag) e Cobalto (Co) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce .....	47
Figura 25: Concentração (mg/kg) de Alumínio (Al), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Bário (Ba) em sedimentos superficiais na região costeira adjacente da foz do Rio Doce.....	49
Figura 26: Concentração (mg/kg) de Cobre (Cu), Níquel (Ni), Zinco (Zn) e Arsênio (As) em sedimentos superficiais na região costeira adjacente da foz do Rio Doce .....	50

Figura 27: Concentração (mg/kg) de Cádmio (Cd), Vanádio (V), Cobalto (Co) e Prata (Ag) em sedimentos superficiais na região costeira adjacente da foz do Rio Doce.....	51
Figura 28: Concentração (mg/kg) em sedimentos superficiais de Alumínio (Al), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Bário (Ba) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce para os setores Central, Norte e Sul. ....	53
Figura 29: : Concentração (mg/kg) em sedimentos superficiais de Cobre (Cu), Níquel (Ni), Zinco (Zn) e Arsênio (As) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce para os setores Central, Norte e Sul. .	54
Figura 30: Concentração (mg/kg) em sedimentos superficiais de Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Cádmio (Cd) e Vanádio (V) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce para os setores Central, Norte e Sul. ....	55
Figura 31: Concentração (mg/kg) em sedimentos superficiais de Prata (Ag) e Cobalto (Co) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce para os setores Central, Norte e Sul.....	56
Figura 32: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de Ferro dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	57
Figura 33: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de alumínio dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.....	57
Figura 34: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de manganês dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.....	58
Figura 35: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de prata dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	59
Figura 36: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de bário dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	59
Figura 37: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cádmio dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	60
Figura 38: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cobalto dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	60
Figura 39: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cromo dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	61
Figura 40: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cobre dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3 .....	62
Figura 41: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de níquel dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	62

Figura 42: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de chumbo dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	63
Figura 43: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de vanádio dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	63
Figura 44: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de vanádio dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	64
Figura 45: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de Ferro total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	65
Figura 46: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de Alumínio total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	65
Figura 47: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de Manganês total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	66
Figura 48: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de prata total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	67
Figura 49: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de arsênio total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	67
Figura 50: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de bário total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	68
Figura 51: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cádmio total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	68
Figura 52: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cobalto total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	69
Figura 53: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cromo total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	69
Figura 54: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cobre total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	70
Figura 55: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de níquel total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	70
Figura 56: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de chumbo total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	71
Figura 57: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de vanádio total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	71

Figura 58: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de zinco total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3. ....	72
Figura 59: Distribuição das concentrações ( $\text{mg/kg}$ ) de ferro, alumínio, manganês e prata nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante a campanha 1 .....	73
Figura 60: Distribuição das concentrações ( $\text{mg/kg}$ ) de arsênio, cobalto, cádmio e cobalto nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante a campanha 1. ....	74
Figura 61: Distribuição das concentrações ( $\text{mg/kg}$ ) de cromo, cobre, níquel e chumbo nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante a campanha 1.....	75
Figura 62: Distribuição das concentrações ( $\text{mg/kg}$ ) de vanádio e zinco nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante a campanha 1 .....	75
Figura 63: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (quadrado) e mediana (linha) das concentrações Hidrocarbonetos Alifáticos Totais (HAt) para as amostras de água superficiais (S) e fundo (F) dos setores nas campanhas de amostragem Semestral 1, Mensal 1 e Mensal 2.....	97
Figura 64: Distribuição da concentração de Hidrocarbonetos Totais ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em amostras de água superficiais coletadas em ponto próximos a desembocadura do Rio Doce (SD 01) e na Região Norte (BN 01). ....	98
Figura 65: Comparativo da distribuição da concentração de Hidrocarbonetos Totais ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em amostras de água superficiais coletadas em pontos próximos a desembocadura do Rio Doce durante os períodos de maior e menor pluviosidade. ....	100
Figura 66: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (quadrado) e mediana (linha) das concentrações Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos Totais (HPA totais) para as amostras de água superficiais (S) e fundo (F) dos setores nas campanhas de amostragem 1, 2 e 3.....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Concentrações dos nutrientes dissolvidos (mínima, máxima, média, mediana e desvio padrão) na água do mar antes e depois do rompimento da barragem de Fundão. ....	26
Tabela 2: Concentrações mínimas, máximas e médias (em ng g <sup>-1</sup> ) de POPs detectados em amostras de sedimentos superficiais e limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/14. N = número de amostras em que o composto foi detectado; Soma HCHs = a-HCH + b-HCH; Soma Drins = Aldrin + Isodrin + Dieldrin; Soma DDTs = DDE + DDD + DDT; Soma Endossulfan = Endossulfan I + Endossulfan II, 7 PCBs = PCB28 + 52 + 101 + 118 + 138 + 153 + 180.....	114

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Limites de quantificação (LQ) e detecção (LD) em $\mu\text{mol/L}$ para análises de nutrientes dissolvidos em um AutoAnalyzer (AA3 – Seal Analytical). .....	13
Quadro 2: Matrix de correlação de Spearman entre os nutrientes dissolvidos em todas as campanhas. O tracejado significa que não há correlação. Significância $p < 0,05$ . .....	21
Quadro 3: Agrupamento dos pontos amostrais de cada campanha em compartimentos Norte, Central e Sul .....	27
Quadro 4: Concentração média ( $\mu\text{g/L}$ ) e valores orientadores ( $\mu\text{g/L}$ ) para a fração dissolvida de Alumínio (Al), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Vanádio (V), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Bário (Ba), Selênio (Se), Prata (Ag) e Chumbo (Pb) na região estuarina do Rio Doce. Valores em vermelho superiores a algum dos valores orientadores. ....	29
Quadro 5: Concentração média ( $\mu\text{g/L}$ ) e valores orientadores ( $\mu\text{g/L}$ ) para a fração total de Alumínio (Al), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Vanádio (V), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Bário (Ba), Selênio (Se), Prata (Ag) e Chumbo (Pb) na região estuarina do Rio Doce. Valores em vermelho superiores a algum dos valores orientadores. ....	30
Quadro 6 : Concentração mínimas, máximas, médias, medianas e desvio padrão de Ferro(Fe), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Arsênio (As), Prata (Ag), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Vanádio (V) e Zinco (Zn) dissolvidos da região costeira adjacente da foz do Rio Doce e demais regiões. Valores das concentrações expressos em $\mu\text{g/L}$ .....	77
Quadro 7: Concentração mínimas, máximas, médias, medianas e desvio padrão de Ferro(Fe), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Arsênio (As), Prata (Ag), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Vanádio (V) e Zinco (Zn) totais da região costeira adjacente da foz do Rio Doce e demais regiões. Valores das concentrações expressos em $\mu\text{g/L}$ . ....	83
Quadro 8: Concentração mínimas, máximas, médias, medianas e desvio padrão de Ferro(Fe), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Arsênio (As), Prata (Ag), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Vanádio (V) e Zinco (Zn) parciais em sedimento da região costeira adjacente da foz do Rio Doce e demais regiões. Valores das concentrações expressos em $\text{mg/kg}$ . ....	90
Quadro 9: Limites de quantificação e detecção obtidos segundo as metodologias descritas para Hidrocarbonetos Alifáticos e HPA. ....	96
Quadro 10: Valores reguladores para HPA em água (Tabela V classe 1 - Águas Salinas - PADRÕES para CORPOS DE ÁGUA ONDE HAJA pesca ou cultivo de organismos para fins de consumo intensivo). ....	104
Quadro 11: Valores dos limites de detecção e quantificação. ....	105

Quadro 12: Valores das concentrações ( $\mu\text{g/l}$ ) dos contaminantes emergentes determinados nas amostras da Campanha Amostral 1 coletadas na superfície (s) e no fundo (f).....	107
Quadro 13: Valores das concentrações ( $\mu\text{g/l}$ ) dos contaminantes emergentes determinados nas amostras da 1ª campanha semestral coletadas na superfície (s) e no fundo (f).....	108
Quadro 14: Valores das concentrações ( $\mu\text{g/l}$ ) dos contaminantes emergentes determinados nas amostras da 1ª campanha semestral coletadas na superfície (s) e no fundo (f).....	109
Quadro 15: Valores das concentrações ( $\mu\text{g/l}$ ) dos contaminantes emergentes determinados nas amostras mensais coletadas na superfície (s) e no fundo (f) .....	110
Quadro 16: Valores das concentrações ( $\mu\text{g/l}$ ) dos contaminantes emergentes determinados nas amostras da 2ª campanha mensal coletadas na superfície (s) e no fundo (f).....	111

## 1 SUBPROJETO: HIDROGEOQUÍMICA MARINHA

### 1.1 OBJETIVO

No presente relatório são apresentadas as atividades desenvolvidas no Laboratório de Geoquímica Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo (LabGAm/UFES), Laboratório de Análises Ambientais da UFPR (LAA –UFPR) e no Laboratório de Geoquímica Orgânica e Poluição Marinha (CEM-UFPR). Serão descritas às análises de nutrientes, metais e compostos orgânicos durante o monitoramento marinho que vem sendo realizado na Plataforma Continental Centro-Norte do Espírito Santo e de Abrolhos. As campanhas visaram monitorar a qualidade da água e dos sedimentos da foz do Rio Doce em função do rompimento da barragem de rejeito de mineração de Fundão, no município de Mariana, estado de Minas Gerais.

O presente relatório descreve os resultados referentes as campanhas de coleta: Campanha 1 (iniciada em outubro de 2018), Campanha 2 (Novembro de 2018) e Campanha 3 (Dezembro de 2018).

Com o intuito de avaliar o impacto do rejeito de minério em relação aos compostos químicos encontrados na região costeira adjacente, esta seção objetiva, primeiramente, analisar os nutrientes dissolvidos como o ortofosfato ( $\text{HPO}_4^{3-}$ ), fósforo total, nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ; n-amoniacal) e Silício reativo dissolvido (DSi) em amostras de água coletadas em sub-superfície e fundo, que serão apresentados no primeiro item.

No segundo item são avaliadas as concentrações de metais e ametais em suas frações dissolvidas e totais em amostras de água, bem como elementos na fração parcial em sedimentos superficiais. Esses resultados serão comparados com os dados pretéritos de campanhas realizadas entre dezembro de 2015 e dezembro de 2016, bem como a comparação com dados antes do desastre. O objetivo deste item foi também realizar a determinação da concentração lábil de espécies metálicas em águas marinhas costeiras empregando a técnica de difusão em filmes finos por gradiente de concentração (DGT) e quantificação por espectrometria de emissão ótica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

No terceiro item serão apresentados os resultados referentes a determinação de hidrocarbonetos alifáticos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), pesticidas, PCBs e contaminantes emergentes com o objetivo de avaliar os possíveis impactos do despejo dos rejeitos de minério de ferro no que diz respeito ao nível de contaminantes orgânicos na água e no sedimento da Plataforma Continental Estudada.

## 1.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1.2.1 Nutrientes

Os resultados de nutrientes a seguir consideram as Campanhas 1, Campanha 2 e Campanha 3, realizadas na plataforma continental adjacente ao Rio Doce em outubro, novembro e dezembro de 2018, respectivamente. As análises foram feitas por espectrofotometria em um *AutoAnalyzer* (AA3 – *Seal Analytical*), onde os limites de detecção e quantificação de cada nutriente são demonstrados a na Quadro 1.

Ressalta-se que não foram realizadas as análises de nutrientes nas amostras extras de água da interface da pluma de sedimento (SDP) e da espuma sobrenadante (SDE). Essas amostras passaram a ser coletadas a partir da campanha 4 que ainda está em processo de análise.

Quadro 1: Limites de quantificação (LQ) e detecção (LD) em  $\mu\text{mol/L}$  para análises de nutrientes dissolvidos em um *AutoAnalyzer* (AA3 – *Seal Analytical*).

	<b>Ortofosfato</b>	<b>Nitrito</b>	<b>Nitrato</b>	<b>Nitrogênio amoniacal</b>	<b>Silício reativo dissolvido</b>
LQ	0,0015	0,0012	0,006	0,005	0,008
LD	0,0005	0,0004	0,002	0,0016	0,0026

Fonte: Autoria própria.

As concentrações de nutrientes foram determinadas de acordo com a Lei de Lambert – Beer, a qual estabelece que a absorvância é diretamente proporcional a concentração da solução de amostra. Com isso, para cada nutriente foi construída uma curva padrão a partir do uso de soluções padrão certificadas (*Quemis high purity*). Em todas as curvas, é exigido um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) maior que 0,99 para continuidade do cálculo das concentrações amostrais pelo uso da equação de 1º grau da curva padrão. Ainda para avaliar a eficiência do método e evitar a ocorrência de erros analíticos que proporcionariam resultados muito distantes do real (“*outliers*”), todas as análises foram realizadas em triplicatas. No caso das análises de nitrato, a redução pela coluna de cádmio foi realizada com rendimento superior a 95%.

#### 1.2.1.1 Processamento, estatística e análise de dados

Os dados obtidos foram testados para normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, sendo padronizados pelo método de score Z, quando necessário. Para avaliar a distribuição dos nutrientes nos pontos amostrais das campanhas e entre elas, bem como a correlação desses parâmetros, foram utilizados testes estatísticos de Kruskal-Wallis, Steel-Dwass e correlação de Spearman. Para o agrupamento e associação das regiões de Guarapari, Vitória, Abrolhos, Itaúnas, Barra Nova e Degredo, foi utilizada a análise de agrupamento (cluster) pelo método “Ward” e distância euclidiana. Os testes estatísticos e matemáticos foram realizados nos softwares PAST 3 e OriginPro 9.3 (OriginLab Corporation).

#### 1.2.1.2 Nutrientes Dissolvidos

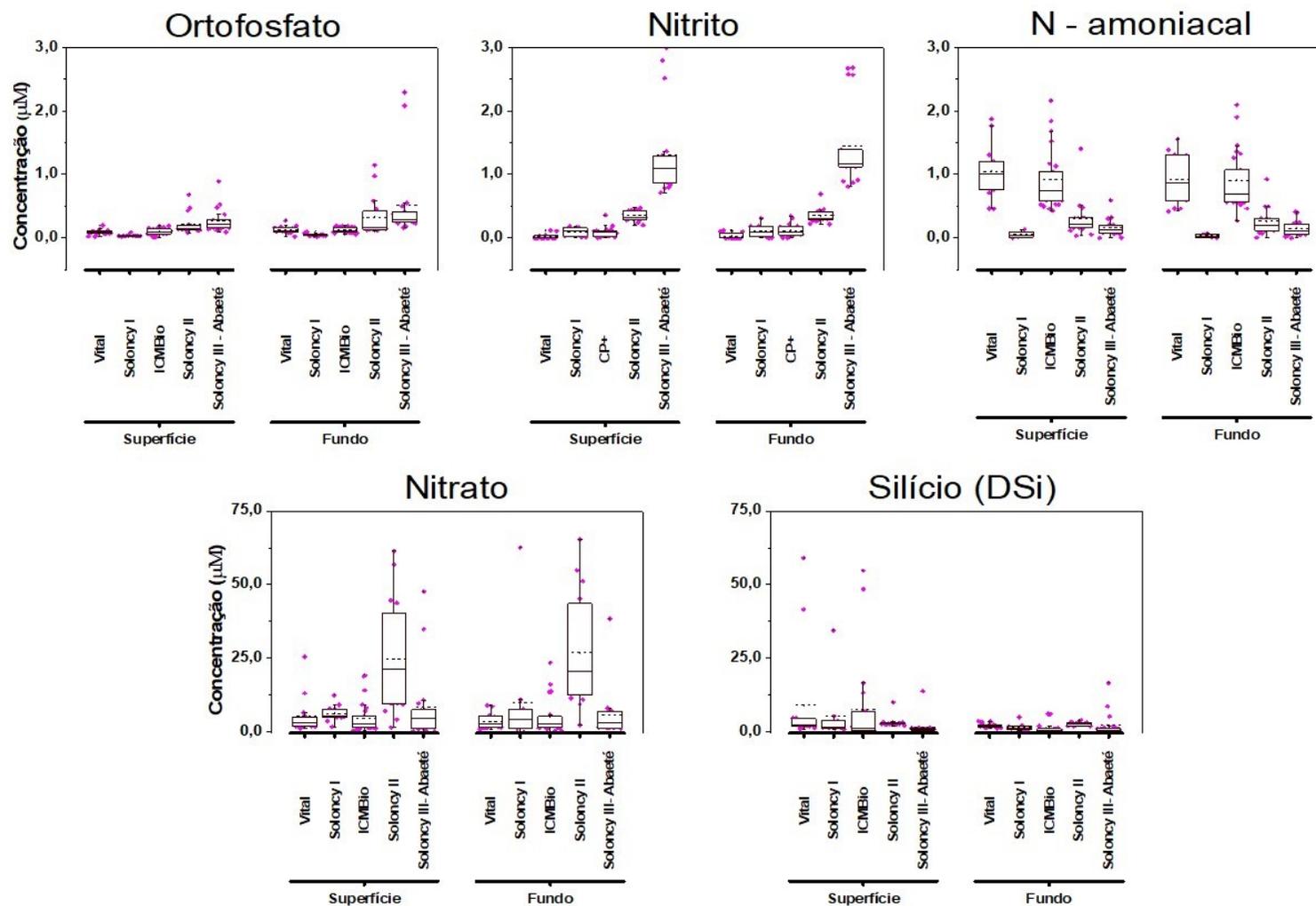
Sabendo que os nutrientes são essenciais para o equilíbrio da cadeia trófica e que sua escassez ou excesso podem causar impacto na biodiversidade marinha, foram realizadas análises do ortofosfato ( $\text{HPO}_4^{3-}$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ; n-amoniacal) dissolvidos na água do mar.

#### **Dados Pretéritos**

A título de comparação do que será apresentado no presente relatório, a Figura 1 traz os dados de nutrientes compilados do monitoramento emergencial realizado durante o ano seguinte após o rompimento da barragem de rejeitos de minério de Fundão.

Os gráficos (Figura 1) mostram que houve uma tendência no aumento dos níveis dos nutrientes ortofosfato e nitrito nas duas últimas campanhas amostrais do monitoramento emergencial. As concentrações destes dois nutrientes chegam a estar acima de  $2 \mu\text{mol/L}$ . O nitrato também aumentou na penúltima campanha (Soloncy III), com concentrações que chegaram a  $70 \mu\text{mol/L}$ . O n-amoniacal foi maior com a chegada do rejeito e na 3ª campanha subsequente, com concentrações de ultrapassam  $2 \mu\text{mol/L}$  ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4$ ). O silício dissolvido apresentou as maiores concentrações no momento da chegada do rejeito de minério, no final do ano de 2015 e começo de 2016

Figura 1: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (pontilhado) e mediana (linha) das concentrações de nutrientes dissolvidos nas campanhas de amostragem do monitoramento emergencial na foz do rio Doce e plataforma adjacente.



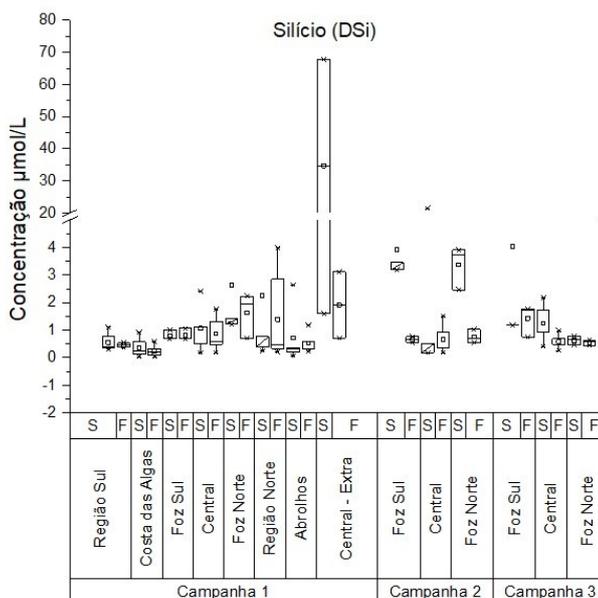
Fonte: Relatório Emergencial

### Dados atuais

Analisando os resultados obtidos para a sílica dissolvida (Figura 2) nas três primeiras campanhas do atual monitoramento (Campanha 1, Campanha 2 e Campanha 3), observa-se as concentrações mais altas deste nutriente na foz do Rio Doce (regiões sul, central e norte), bem como em Degredo, Barra Nova e Itaúnas (Região Norte). Em relação as profundidades de coleta, a água superficial nos pontos da foz do Rio Doce e na Região Norte apresentam valores médios maiores do que a água de fundo, indicando a possível dispersão superficial da pluma de sedimento. A sílica é um indicador do input de sedimento fluvial no oceano por ser um dos principais constituintes das rochas continentais (TRÉGUER et al., 1995). Em geral, os níveis de DSi na Região Sul, na Costa das Algas e em Abrolhos são baixos e não indicam a presença significativa de material continental na coluna d'água. As concentrações de DSi mais altas (2,64  $\mu\text{mol/L}$ ) encontrados na plataforma de Abrolhos são no ponto ABR01, que está mais próximo à costa e sob influência dos rios Mucuri e Caravelas.

A análise temporal das três campanhas quanto aos níveis de silício dissolvido no meio marinho mostra que para os setores da foz do Rio Doce não existem diferenças significativas nas concentrações entre as campanhas (Kruskal-Wallis;  $p > 0,05$ ), exceto para a Foz Norte da Campanha 3 (dezembro 2018), que apresenta diminuição nas concentrações de DSi (Teste de Steel-Dwass;  $p < 0,05$ ). As concentrações de DSi nos pontos da Foz Norte (SDN) seguem a ordem de grandeza Campanha 2 > Campanha 1 > Campanha 3. Esta diferença poderia ser explicada pela variação da dispersão da pluma por ventos vindos de sul, que ocorreram apenas antes das campanhas 1 e 2. A campanha 2 apresentou ainda maior vazão durante a coleta dos pontos SDN.

Figura 2: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (quadrado) e mediana (linha) das concentrações de silício em água de superfície (S) e fundo (F) dos setores nas campanhas de amostragem Campanha 1, Campanha 2 e Campanha 3.



Fonte: Autoria própria.

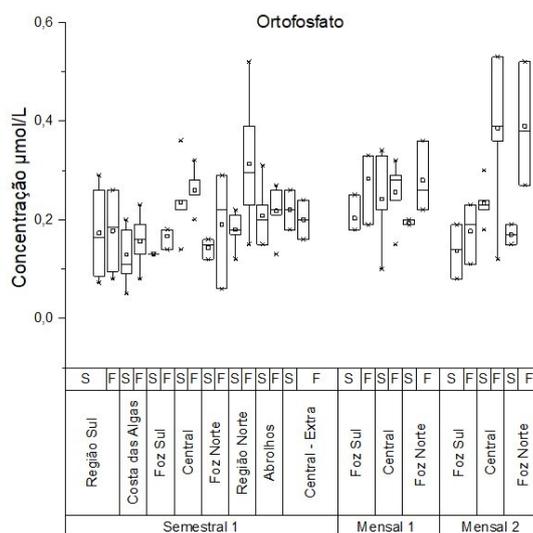
Durante a campanha amostral 1 foram realizadas coletas extras nos pontos SD01 e SD02 devido ao aumento da pluviosidade na bacia do Rio Doce. As maiores concentrações de silício dissolvido obtidas até o momento ocorreram neste ponto extra próximo a foz (SD01-2), com valores superficiais que chegaram a 67,5  $\mu\text{mol/L}$ . Este pico foi observado durante o máximo da maré cheia (dados físicos), quando a pluma mais concentrada em MPS estava retida da desembocadura e próximo a linha costa. Foi possível notar neste ponto o início da maré vazante durante a coleta, quando um material particulado mais fino vindo do rio aparentemente dispersa com mais rapidez superficialmente, visto que não foi observado valor igualmente alto na água de fundo no ponto SD01-2, apesar de ainda estar acima da média (3,18  $\mu\text{mol/L}$ ). Já o SD02-2 apresentou concentrações de DSi mais baixas (Superficial = 1,59  $\mu\text{mol/L}$ ; Fundo = 0,71  $\mu\text{mol/L}$ ) possivelmente por que no momento da coleta o sedimento aportado pelo rio e trazido pela maré vazante ainda não havia chegado ao ponto.

Ainda utilizando o ponto SD1 como referência, vemos que nas quatro diferentes coletas realizadas ao longo das três campanhas amostrais aqui descritas, tem-se duas diferentes condições que causam variações significativas nos níveis do SDi. De uma forma geral, as quatro amostras foram coletadas no ápice da preamar, quando a pluma densa de sedimento está concentrada neste ponto próximo a desembocadura. Porém, nas duas amostragens nas quais os valores de DSi foram mais altos na água superficial (SD01-2 = 67,5  $\mu\text{mol/L}$ ; SD01, Campanha 2 = 21,45  $\mu\text{mol/L}$ ) a vazão do rio estava em torno de 1500  $\text{m}^3/\text{s}$ , já na primeira coleta do SD01 na Campanha 1 e no SD01 da Campanha 3 a vazão estava próxima a 1000  $\text{m}^3/\text{s}$ , o que levou a concentrações médias de cerca de 2  $\mu\text{mol/L}$  de DSi na superfície e 1  $\mu\text{mol/L}$  no fundo. Sendo assim, o volume de material aportado pelo rio determina os níveis de silício dissolvido e a maré e o vento parecem reger o alcance deste sedimento ao longo da plataforma continental monitorada.

Uma abordagem importante ainda acerca do DSi envolve a comunidade fitoplanctônica, uma vez que as diatomáceas utilizam o silício para construção de suas frústulas, fazendo parte do ciclo biogeoquímico deste elemento (BASTOS e BRAGA, 2018). Apesar de não ser o único fator determinante, a maior densidade de diatomáceas na coluna d'água pode reduzir a concentração de sílica dissolvida. Dessa forma, a maior disponibilidade de DSi pode estar associada ao decréscimo na comunidade de diatomáceas, e este padrão é relativamente acompanhado pela densidade fitoplânctônica encontrada neste estudo.

Em relação as análises de fósforo dissolvido, ou ortofosfato, na água (Figura 3) são observadas concentrações médias relativamente constantes e próximas das encontradas para a plataforma leste brasileira ( $\approx 0,19 \mu\text{mol/L}$ ) (Emergencial; OVALLE et al., 1999; EÇA et al., 2014). Avaliando a foz do Rio Doce, são observadas diferenças significativas nas concentrações de ortofosfato entre as campanhas apenas na região Foz Sul, que são maiores na Campanha 2 do que na Campanha 1 e 3 (Teste de Kruskal-Wallis;  $p < 0,05$ , post hoc de Steel-Dwass;  $p < 0,05$ ).

Figura 3: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (quadrado) e mediana (linha) das concentrações de ortofosfato em água de superfície (S) e fundo (F) dos setores nas campanhas de amostragem Campanha 1, Campanha 2 e Campanha 3.



Fonte: Autoria própria.

Em termos quantitativos, as maiores concentrações de ortofosfato são observadas nas amostras de água de fundo. Este resultado pode estar associado a remobilização do sedimento ou a dispersão do MPS aportado pelo rio junto ao fundo, como confirmado pelos dados de sedimentologia e turbidez para um significativo número de amostras. A diferença significativa por região observada nas concentrações de ortofosfato da Foz Sul na Campanha 3 está provavelmente associada a chegada de uma frente fria durante a coleta destes pontos, como reportado pelos dados físicos, o que origina ondas de sul e sudeste responsáveis pela remobilização e transporte do sedimento de fundo na foz do Rio Doce, como sugere Oliveira e Quaresma (2017). A ocorrência das maiores concentrações de ortofosfato na Região Norte e Foz Norte está também possivelmente associada a entrada do vento sul no dia anterior as coletas, que pode ter dispersado o sedimento remobilizado e a pluma para norte. O fósforo inorgânico apresenta-se muitas vezes adsorvido ao sedimento e sua ressuspensão ou a dispersão do MPS pode facilitar sua dessorção de óxidos de ferro e alumínio (WANG e LI, 2010) elevando sua concentração na coluna d'água.

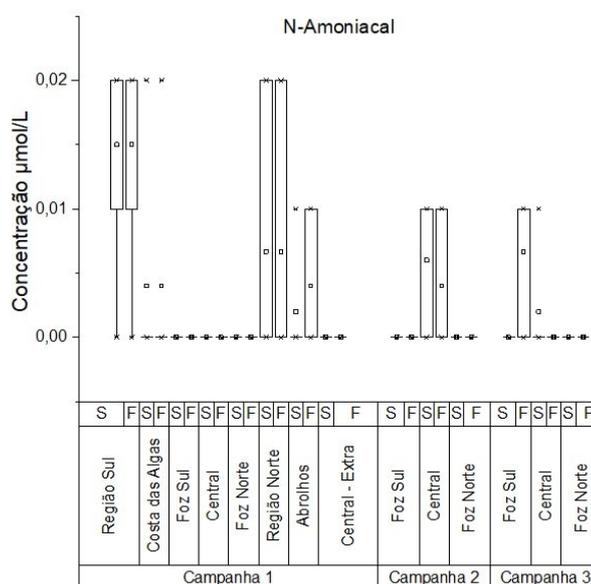
Em relação a comunidade fitoplanctônica, a ciclagem do fósforo na coluna d'água pode estar associada com a morte e senescência destes e o material orgânico originado é constituído por frações de fósforo que é rapidamente remineralizado a nutrientes dissolvidos e usados como produção regenerada (KREUS et al., 2015). No caso do ortofosfato, este nutriente está associado com a matéria orgânica dissolvida em diversas regiões marinhas, sendo preferencialmente remineralizado em comparação com outros compostos essenciais (CLARCK et al., 1998).

Os resultados obtidos para o nitrogênio amoniacal (Figura 4) mostram a predominância de valores menores que o limite de quantificação para a maior parte das amostras, sendo que em alguns pontos foram observados 0,01 µmol/L e máximas de 0,02 µmol/L. A amônia ocorre naturalmente em concentrações baixas na água do mar e compreende os íons amônio [NH<sub>4</sub><sup>+</sup>] e amônia [NH<sub>3</sub>] dissolvidos,

sendo a segunda forma volátil mais facilmente formada em  $\text{pH} > 8$ , o que pode dificultar sua quantificação (KORMANIK e CAMERON, 1981).

Foram observadas importantes densidades numéricas de cianobactérias responsáveis pela fixação do gás nitrogênio em íons amônio, porém não foi observado o aumento proporcional do n-amoniaco nas amostras de água. Duas hipóteses podem explicar essa observação e uma delas seria que a abundância de cianofíceas retém o nitrogênio principalmente na sua forma particulada como constituinte dos organismos vivos. A segunda alternativa considera que houve a oxidação dos íons pelo processo de nitrificação gerando espécies mais oxigenadas ( $\text{NO}_3^-$ ).

Figura 4: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (quadrado) e mediana (linha) das concentrações de Nitrogênio Amoniacal (íons amônio  $[\text{NH}_4^+]$  + amônia  $[\text{NH}_3]$ ) em água de superfície (S) e fundo (F) dos setores nas campanhas de amostragem Campanha 1, Campanha 2 e Campanha 3.



Fonte: Autoria própria.

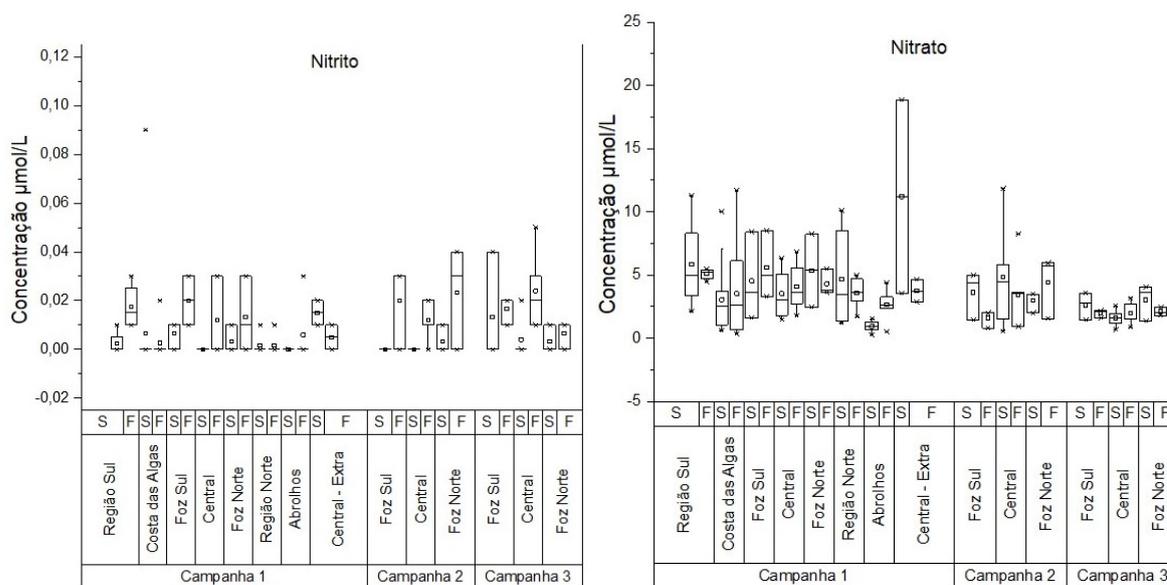
Os nutrientes nitrogenados de maior estado oxidativo (nitrito e nitrato) são apresentados na Figura 5. Nota-se que as concentrações do nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) dissolvido ficaram principalmente entre o limite de quantificação e  $0,04 \mu\text{mol/L}$ , que são valores muito abaixo dos comumente encontrados em água do mar (CARLUCCI et al., 1970). Já o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) apresenta níveis mais altos, com valores que chegam a  $18,84 \mu\text{mol/L}$  no período pós-chuva (SD01-2). As concentrações médias de nitrato são menores na Campanha 3, apesar de não existir diferença significativa entre as regiões nas três campanhas (Teste de Kruskal-Wallis;  $p > 0,05$ ).

A ciclagem biogeoquímica do nitrogênio envolve diversos processos e uma explicação para as concentrações mais baixas de  $\text{NO}_2^-$  na água do mar é devido a sua maior instabilidade, pois este sofre nitrificação e é convertido em nitrato em águas oxigenadas. O nitrito poderia também ser convertido em amônia, porém como as concentrações de nitrogênio amoniaco estão próximas a zero e o nitrato encontra-se em níveis mais altos é provável que tenha predominado o processo de nitrificação como é comum em águas oxigenadas, no caso da região estudada (CARLUCCI et al., 1970). De todo modo,

esses níveis indicam um desequilíbrio, visto que os valores de nitrito estão muito inferiores do que naturalmente se encontra nesses ecossistemas.

As concentrações mais altas de nitrato ocorreram nas águas superficiais na Região Sul, Região Norte, no ponto SD01-2 e na região central da foz da Campanha 2. Porém, em alguns momentos são observadas concentrações elevadas também nas águas de fundo, o que faz com que não exista um padrão de distribuição de  $\text{NO}_3^-$  durante as três campanhas de monitoramento. É possível indicar, mesmo que de forma discreta, que esteja havendo uma ciclagem dos nutrientes em toda coluna d'água, pois o nitrito apresentou médias mais altas na água de fundo, o que coincide com a maior densidade de fitoplâncton também nesse extrato. De acordo com BASTOS et al. (2016), os processos de oxidação e remineralização da matéria orgânica autóctone associado a entrada de nutrientes e ferro na região costeira, carregados pelos rejeitos de minério, pode levar a em uma elevada produtividade primária que leva a maior reciclagem dos nutrientes.

Figura 5: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (quadrado) e mediana (linha) das concentrações de nitrito e nitrato em água de superfície (S) e fundo (F) dos setores nas campanhas de amostragem Campanha 1, Campanha 2 e Campanha 3.



Fonte: Autoria própria.

É importante ressaltar que existem diversas atividades antrópicas ao longo da bacia do Rio Doce e os nutrientes nitrogenados que chegam até a costa podem estar relacionados ao material aportado por fontes antrópicas difusas, como agricultura, esgoto doméstico e industrial. Porém, uma vez que a densidade do sedimento carregado é maior, a lixiviação e erosão das regiões previamente impactadas também é maior, aumentando a quantidade de material nitrogenado carregado pelo rio.

A análise de correlação entre os nutrientes dissolvidos em cada campanha mostra que, de uma forma geral, a relação mais significativa ocorreu entre silício e nitrato nas Campanhas Amostrais 1 e 2, e também entre nitrito e ortofosfato na Campanha 2 (Quadro 2). Levando em consideração que no monitoramento ocorrido quando o rejeito atingiu a costa a correlação mais forte observada também foi

entre DSi e  $\text{NO}_3^-$  (Emergencial:  $r=0,87$ ;  $p<0,05$ ), esse fator pode indicar que o padrão observado naquele período continua ocorrendo e que esses compostos possuem a mesma fonte, ou seja, o Rio Doce, uma vez que o silício é um traçador de aporte terrígeno (SILVA et al., 2015).

Quadro 2: Matrix de correlação de Spearman entre os nutrientes dissolvidos em todas as campanhas. O tracejado significa que não há correlação. Significância  $p<0,05$ .

Campanha Amostral 1					
	Ortofosfato	Nitrito	Nitrato	N-amoniacal	Silício (DSi)
Ortofosfato	1,00				
Nitrito	-	1,00			
Nitrato	-	-	1,00		
N-amoniacal	-	-	-	1,00	
Silício (DSi)	-	-	0,45	-	1,00
Campanha Amostral 2					
Ortofosfato	1,00				
Nitrito	0,66	1,00			
Nitrato	-	-	1,00		
N-amoniacal	-	-	-	1,00	
Silício (DSi)	-	-	0,71	-	1,00
Campanha Amostral 3					
Ortofosfato	1,00				
Nitrito	-	1,00			
Nitrato	-	-	1,00		
N-amoniacal	-	-	-	1,00	
Silício (DSi)	-	-	-	-	1,00

Fonte: Autoria própria.

A associação do nitrito com o ortofosfato na Campanha 2, (Correlação de Spearman  $r = 0,66$ ;  $p<0,05$ ) podem indicar o processo de regeneração de nutrientes com a remineralização da matéria orgânica autóctone. Essa associação também foi observada no monitoramento no ano após o rompimento da barragem de Fundão. Não houve correlação entre os nutrientes na Campanha 3.

A partir da análise de agrupamento de cluster não foi possível observar grandes diferenças entre as amostras da Região Sul, Costa das Algas, Região Norte e Abrolhos. Este comparativo é dificultado devido ao fato de se ter um baixo n amostral (apenas uma amostra para cada ponto -Campanha 1), impossibilitando fazer uma relação entre as regiões. Esta análise será possível com a incorporação no relatório final das outras campanhas que abrangem toda a área amostral.

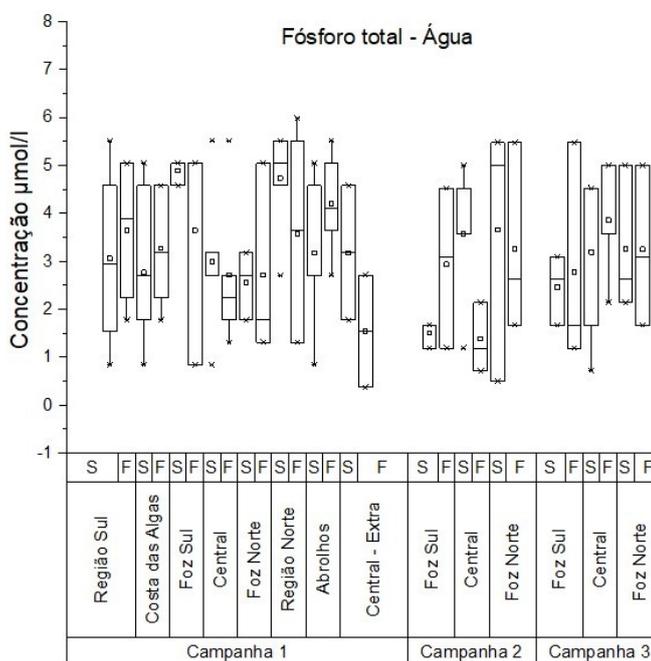
### 1.2.1.3 Fósforo Total

A disponibilidade do fósforo está relacionada ao material particulado presente na coluna d'água, e sua forma total orgânica e inorgânica inclui frações não biodisponíveis. Mais do que a diferença no potencial redox, o fósforo é indiretamente influenciado por sua associação com elementos como Fe e Al e sua

adsorção ao MPS, que o torna não biodisponível, ao passo que também promove sua fixação e ciclagem no sedimento. Assim, o fósforo orgânico solúvel é convertido em fosfato e assimilado pelos organismos. Sendo assim, tanto a descarga sedimentar continental, quanto a biomassa fitoplanctônica determinam a disponibilidade do fósforo total (PT) na coluna d'água (LIBES, 1992).

De acordo com a Figura 6, os valores médios de PT estão em torno de 3  $\mu\text{mol/L}$ , que representam concentrações próximas aos níveis máximos encontrados em estudos prévios conduzido entre 2013 e 2014 na plataforma (FIGUEIREDO et al., 2016). Ou seja, as médias aqui descritas são superiores as encontradas antes do rompimento da barragem de Fundão em 2015. Contudo, não é possível estabelecer um padrão de comportamento ao longo das três campanhas, onde os valores médios são relativamente constantes. Porém, algumas observações podem ser feitas em relação a foz do Rio Doce, onde em alguns momentos as concentrações de PT estão abaixo das demais, assim como no ponto coletado após as chuvas (SD01-2). É possível que o PT encontrado nas águas da plataforma continental estudadas esteja mais relacionado a composição fitoplanctônica, visto que os dados mostram densidades de fitoplâncton consideráveis nos pontos amostrados, que originam concentrações igualmente altas de fósforo orgânico particulado.

Figura 6: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (quadrado) e mediana (linha) das concentrações do fósforo total em água de superfície (S) e fundo (F) dos setores nas campanhas de amostragem Campanha 1, Campanha 2 e Campanha 3.



Fonte: Autoria própria.

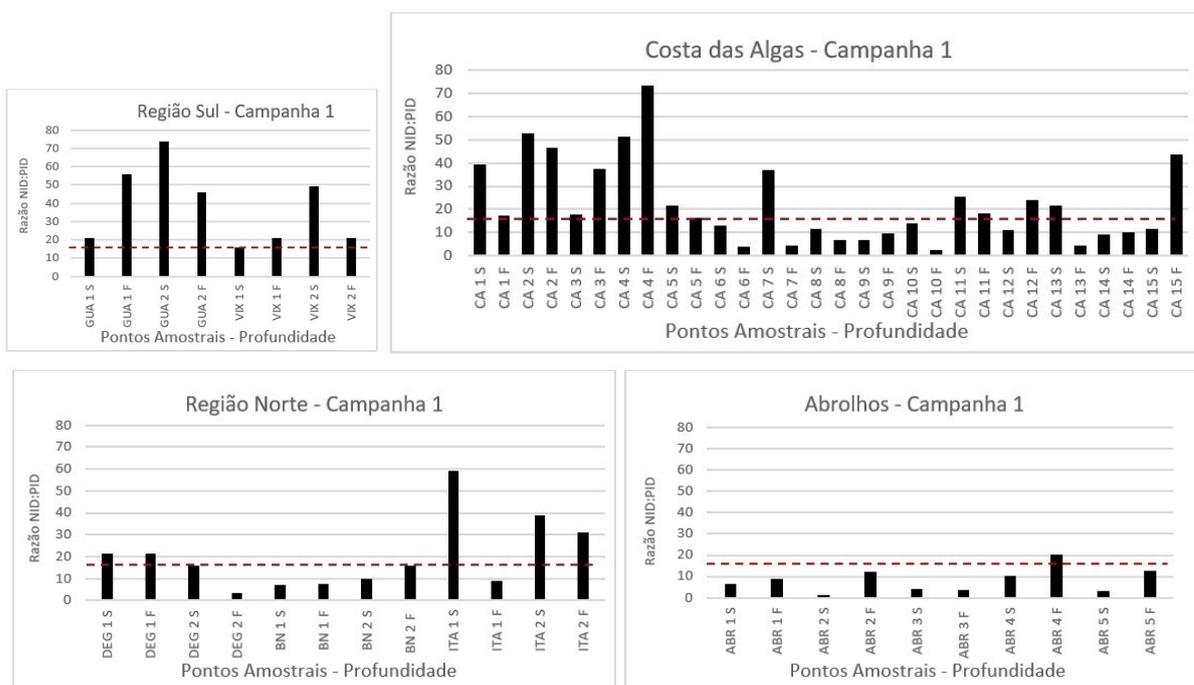
#### 1.2.1.4 Razão N:P

O nitrogênio e o fósforo são os principais nutrientes limitantes no desenvolvimento do plâncton. Geralmente o nitrogênio é mais solúvel e, portanto, menos limitante que o fósforo. Porém, o mais comum é que o nitrogênio limite a produção primária em águas oceânicas (Paerl, 2009). A razão de N e P constituinte dos fitoplânctons é conhecida como razão de Redfield, que ocorre na proporção

estequiométrica de 16N:1P. Essa razão reflete o balanço geral no oceano entre a produtividade primária, a denitrificação e a fixação de N<sub>2</sub> (LIBES, 1992).

Na Figura 7 podemos observar que as maiores razões nas regiões Sul, Costa das Algas, Norte e Abrolhos ocorrem nos pontos GUA 02 S e CA04 F, onde o NID:PID encontra-se próximo a 70, indicando uma limitação de Fósforo. Um fator importante a ser considerado para as concentrações de nutrientes é a presença de águas frias mais ricas, como a ACAS (Água Central do Atlântico Sul) (GAETA e BRANDINI, 2006). Especificamente no ponto CA04 F é possível que tenha ocorrido a influência da ACAS rica em nutrientes, elevando essa razão neste ponto. Entretanto, fatores ambientais como descarga fluvial podem alterar essa relação.

Figura 7: Razões entre nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) fósforo dissolvido (PID) nas regiões Sul (Guarapari e Vitória), Costa das Algas, Norte (Degredo, Barra Nova e Itaúnas) e Abrolhos. O tracejado representa a razão de Redfield (16N:1P).



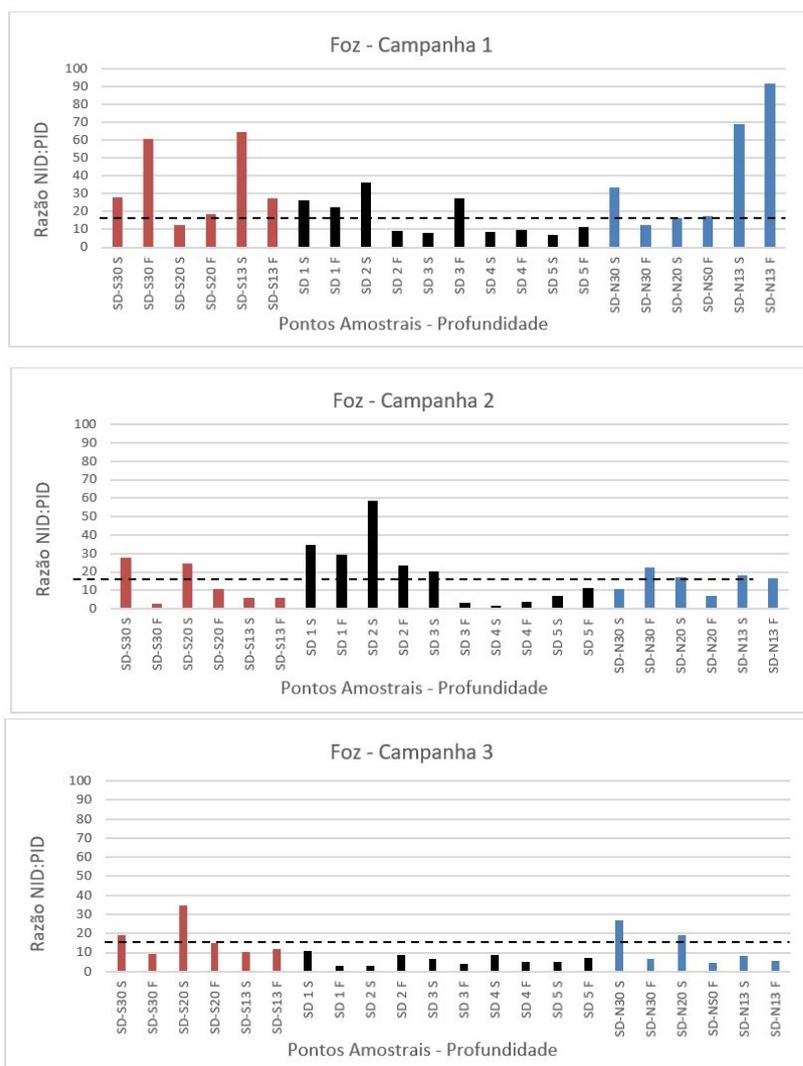
Fonte: Autoria própria.

Vários pontos das regiões além da foz do Rio Doce apresentam valores próximos da razão de Redfield e há uma certa proporção no número de estações com limitação de NID e PID. Por exemplo, a Região sul apresenta limitação de nutrientes em metade dos pontos, com média da razão de 37,9, já a Costa das Algas está enriquecida em N especialmente no transecto anteriormente monitorado após a chegada do rejeito (CA01, CA02, CA03 e CA04), quando já havia indicação de maior suprimento de N naquela época. A região Norte tem razões próximas a 16:1 e limitação de NID em Barra Nova e de PID mais ao norte. Abrolhos apresenta limitação em NID em quase todas as estações.

Analisando as razões NID:PID na foz do Rio Doce nas três campanhas também é possível observar variação na proporção destes nutrientes em cada período e região (Figura 8). Esta sazonalidade já foi verificada anteriormente por FIGUEIREDO et al. (2016). A Campanha 1 apresenta maior limitação de PID em relação ao NID. É nesta campanha em que se observa a maior razão NID:PID, de cerca de 90

no ponto SDN-13. Já a Campanha 3 apresenta as menores razões de NID:PID, tendo no geral o nitrogênio como limitante, devido as menores concentrações de nitrato encontradas nessa campanha. Os pontos SD04 e SD05 são mais offshore e o ambiente é mais oligotrófico, por isso as razões são também mais baixas.

Figura 8: Razões entre nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) fósforo dissolvido (PID) na foz do Rio Doce nas três campanhas amostrais. Foz sul (vermelho), Central (preto) e Foz norte (azul). O tracejado representa a razão de Redfield (16N:1P).



Fonte: Autoria própria.

O aumento ou diminuição da biomassa fitoplanctônica e da produtividade primária devido as elevadas concentrações ou limitação de nutrientes propicia o crescimento seletivo de algas alterando o ecossistema da região (ANDERSON et al., 2008). Os dados da densidade numérica de fitoplâncton deste estudo mostram predominância de apenas dois grupos (cianofíceas e algas verdes) em quase todas as estações. Isso pode estar associado ao desequilíbrio nas concentrações de nutrientes, onde apenas um grupo se adapta aos fatores limitantes determinados. O favorecimento do crescimento de algas não silicosas e potencialmente perigosas, como cianobactérias, que são capazes de sintetizar toxinas, pode desencadear um desequilíbrio de toda a cadeia trófica (ANDERSON et al., 2008).

#### 1.2.1.5 Comparativo com os dados pretéritos

Comparando os valores de nutrientes dissolvidos encontrados neste monitoramento em relação aos monitoramentos anteriores (dados pretéritos publicados e do emergencial durante o ano seguinte ao rompimento da barragem, Tabela 1), foram encontrados para o SD01-2 concentrações de silício mais altas do que as obtidas assim que o rejeito de minério atingiu o oceano após o rompimento da barragem (Campanha Vital de Oliveira 65,58  $\mu\text{mol/L}$ ), entre novembro e dezembro de 2015. Porém, avaliando as médias e medianas de todas as campanhas de um monitoramento ocorrido entre 2013 e 2014 em pontos próximos a foz do Rio Doce e do monitoramento emergencial o DSi encontra-se em concentrações mais baixas no monitoramento atual.

O ortofosfato, por sua vez, apresentou concentrações intermediárias entre o monitoramento antes do rompimento da barragem e o realizado logo após a chegada dos rejeitos, sendo que este último apresentou as maiores concentrações deste nutriente. Porém, desta vez a mediana de ortofosfato encontrada no atual monitoramento é maior do que os demais, o que indica um suprimento um pouco maior e constante deste nutriente na plataforma atualmente.

Tanto o nitrogênio amoniacal quanto o nitrito apresentaram concentrações bem mais baixas das obtidas nos estudos anteriores. Isso pode indicar que está havendo um desequilíbrio entre a disponibilidade e a ciclagem de nutrientes nesse ambiente. Já para o nitrato nota-se concentrações bem próximas as encontradas por FIGUEIREDO et al. (2016) antes do rompimento da barragem de Fundão, em pontos entre a Foz Sul e a Costa das Algas. No monitoramento emergencial os valores de nitrato são mais altos do que os observados atualmente na região monitorada

Tabela 1: Concentrações dos nutrientes dissolvidos (mínima, máxima, média, mediana e desvio padrão) na água do mar antes e depois do rompimento da barragem de Fundão.

Monitoramento		Silício	Ortofosfato	N-Amoniacal	Nitrito	Nitrato	Período de coleta
		Concentrações em $\mu\text{mol/L}$					
FIGUEIREDO et al., 2016	Min-Máx	0,04-4,96	<LQ-0,09	0,08-3,42	<LQ-0,6	<LQ-13,67	Jul.13 Abr.14
	Média	2,23	0,16	0,47	0,18	3,86	
	Mediana	1,69	0,08	0,26	0,14	2,99	
	DP	1,45	0,21	0,54	0,14	3,19	
EMERGENCIAL	Min-Máx	0,04-65,58	0,01-2,3	<LQ-2,32	<LQ-2,9	<LQ-65,43	Nov.15 Nov.16
	Média	3,64	0,19	0,98	0,4	10,35	
	Mediana	1,58	0,13	0,43	0,34	6,85	
	DP	6,9	0,16	0,26	0,2	10,63	
ATUAL	Min-Máx	0,03-67,5	0,06-0,53	<LQ-0,02	<LQ-0,09	0,36-18,84	Nov.18 Dez.18
	Média	1,77	0,21	0,00	0,01	3,56	
	Mediana	0,58	0,19	0,00	0,00	2,92	
	DP	6,26	0,09	0,01	0,01	2,85	

Fonte: Autoria própria.

## 1.2.2 Metais

No intuito de avaliar o impacto dos rejeitos na região costeira do estado do Espírito Santo, os seguintes metais foram analisados: Fe, Al, Mn, As, Ag, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn. A técnica utilizada para as análises foi por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) e por espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES).

### 1.2.2.1 Dados Pretéritos

Os dados aqui apresentados têm como objetivo o comparativo de resultados pretéritos ao desastre de Mariana-MG, bem como os gerados após o desastre. Para fins comparativos e melhor apresentação, os dados foram agregados em setores/compartimentos conforme descrito na Quadro 3 abaixo.

Quadro 3: Agrupamento dos pontos amostrais de cada campanha em compartimentos Norte, Central e Sul

Campanhas	Compartimentos		
	Norte	Central	Sul
NOV/15	RDN 4, RDN 5, RDN 6, RDN 7, RDN 10, RDN 20, RD 18	RDN 1, RDN 2, RDN 3, RDN 8, RDN 9, RDN 12, RDN 13	RDN 11, RDN 14, RDN15, RDN 16, RD 11, RD 12, RD13
DEZ/15	DOCE 08, DOCE 09, DOCE 17, DOCE 19.	DOCE 01, DOCE 02, DOCE 03, DOCE 04, DOCE 05, DOCE 06.	DOCE 13, DOCE 16, DOCE 18, DOCE 21.
JAN/16	SDN 13, SDN 20, SDN 30.	SD 01, SD 02, SD 03, SD 04.	SDN 20, SDN 30, SDS 13, SDS 20, SDS 30, CA 01, CA 02, CA 03, CA 04.
FEV/16 a	R2-15, R2-20, R2-30, R2-40, RPN1-13,5, RPN2- 13,5, RPN2-21, RPN2-30, RPN3-13,5, RPN3-21.	RF, R1-15, R1-20, R1- 30, R1-40.	R3-15, R3-20, R3-30, R3-40, RPS1- 13,5, RPS1-30, RPS2-13,5, RPS2- 21, RPS3-13,5, RPS3-21.
FEV/16 b	ANTDN 13, ANTDN 20, ANTDN 30	ANTDN 02, ANTDN 03, ANTDN 04	ANTDN 05, ANTDN 13, ANTDN 20, ANTDN 30, ANTCA01, ANTCA 02, ANTCA 03, ANTCA 04
ABR/16	DEG 01, DEG 02, SDN 13, SDN 20, SDN 30.	SD 01, SD 02, SD 03, SD 04.	SDS 13, SDS 20, SDS 30, CA 01, CA 02, CA 03, CA 04.
NOV/16	DEG 01, DEG 02, SDN 13, RPN1 13,5, SDN 20, SDN 30, R2 15.	SD 01, SD 02, SD 03, SD 04.	SDS 13, RPS1 13,5, SDS 20, SDS 30, R3 15, CA 01, CA 02.

Fonte: Autoria própria.

Somente foi considerado para a compartimentação os pontos mais próximos à foz do rio Doce, os quais possuem maior probabilidade de refletir uma grande influência dos rejeitos de minério. Os demais locais de coleta de amostras como os pontos dentro do rio, Abrolhos, Itaúnas, Barra Nova, Vitória e Guarapari foram avaliados separadamente por se tratarem de regiões mais distantes e, conseqüente, menor probabilidade de impacto.

#### 1.2.2.2 Setor fluvio-estuarino

##### **Chegada dos rejeitos à região costeira**

Neste tópico são apresentados resultados comparativos obtidos através de análises realizadas em amostras coletadas na região estuarina do Rio Doce 12 dias antes da chegada da “lama” de rejeitos (21/11/2015) até 1 ano após sua passagem.

As amostras da região estuarina do rio Doce possuem importante papel na caracterização da variação da concentração de metais na água, devido ao fato de terem sido coletadas com dias de antecedência a chegada dos rejeitos, apresentando uma condição pretérita ao desastre. Alguns dos elementos estudados apresentam nítida variação na concentração conforme a proximidade e chegada dos rejeitos da mineração, como é o caso dos elementos Ferro, Alumínio, Manganês, Cromo, Zinco e Chumbo. Por outro lado, outros elementos não apresentam variação na concentração com uma possível relação direta a lama de rejeitos, como caso do Níquel e do Arsênio (Figura 9, Figura 10, Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 14).

Com exceção do Fe dissolvido, todos os metais apresentaram concentrações mais elevadas 1 dia após a chegada do material de rejeitos na foz do rio Doce (Quadro 4, Quadro 5, Figura 9, Figura 10, Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 14). O aumento da concentração de Fe dissolvido no dia de chegada do rejeito está associado ao fato do material dissolvido atingir primeiro a região estuarina em relação ao material particulado, sendo constituído por uma elevada presença de Fe. Os demais elementos apresentaram maiores concentrações na fração particulado durante o segundo dia de presença do material de rejeitos na região estuarina.

Quadro 4: Concentração média ( $\mu\text{g/L}$ ) e valores orientadores ( $\mu\text{g/L}$ ) para a fração dissolvida de Alumínio (Al), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Vanádio (V), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Bário (Ba), Selênio (Se), Prata (Ag) e Chumbo (Pb) na região estuarina do Rio Doce. Valores em vermelho superiores a algum dos valores orientadores.

Região	Período	Al	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Cd	Ba	Pb	
Estuário	Antes	12 Dias	56,67	14,75	15,67	28,67	8,33	5,33	15,33	57,67	8,33	59,00	5,33	8,33	54,00	25,67
		10 Dias	54,00	15,92	14,00	11,33	6,33	6,33	15,67	52,00	9,33	63,67	1,00	4,00	50,00	21,33
		3 Dias	34,50	15,00	15,25	26,00	7,75	3,50	17,50	53,50	14,50	60,00	1,00	7,50	64,00	29,25
		1 Dia	35,50	15,19	15,00	4,00	11,75	2,50	17,25	53,75	17,00	60,75	1,25	7,00	60,00	27,75
	Dia	21/11/2015	1031,00	29,00	16,50	1,00	904,00	7,00	18,00	56,00	18,00	58,00	1,00	5,50	69,00	28,00
	Após	1 Dia	2312,00	74,50	23,50	56,00	211,00	40,50	57,00	115,00	12,00	74,00	<LD	15,00	395,00	37,50
		Fev/2016	67,20	0,10	<LD	0,46	11,29	14,62	10,52	35,69	<LD	<LD	<LD	<LD	42,31	<LD
		1 Ano	86,15	<LD	<LD	<LD	36,92	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
CONAMA 357/05	Classe 1	1500,00				300,00		5,00								
	Classe 2															

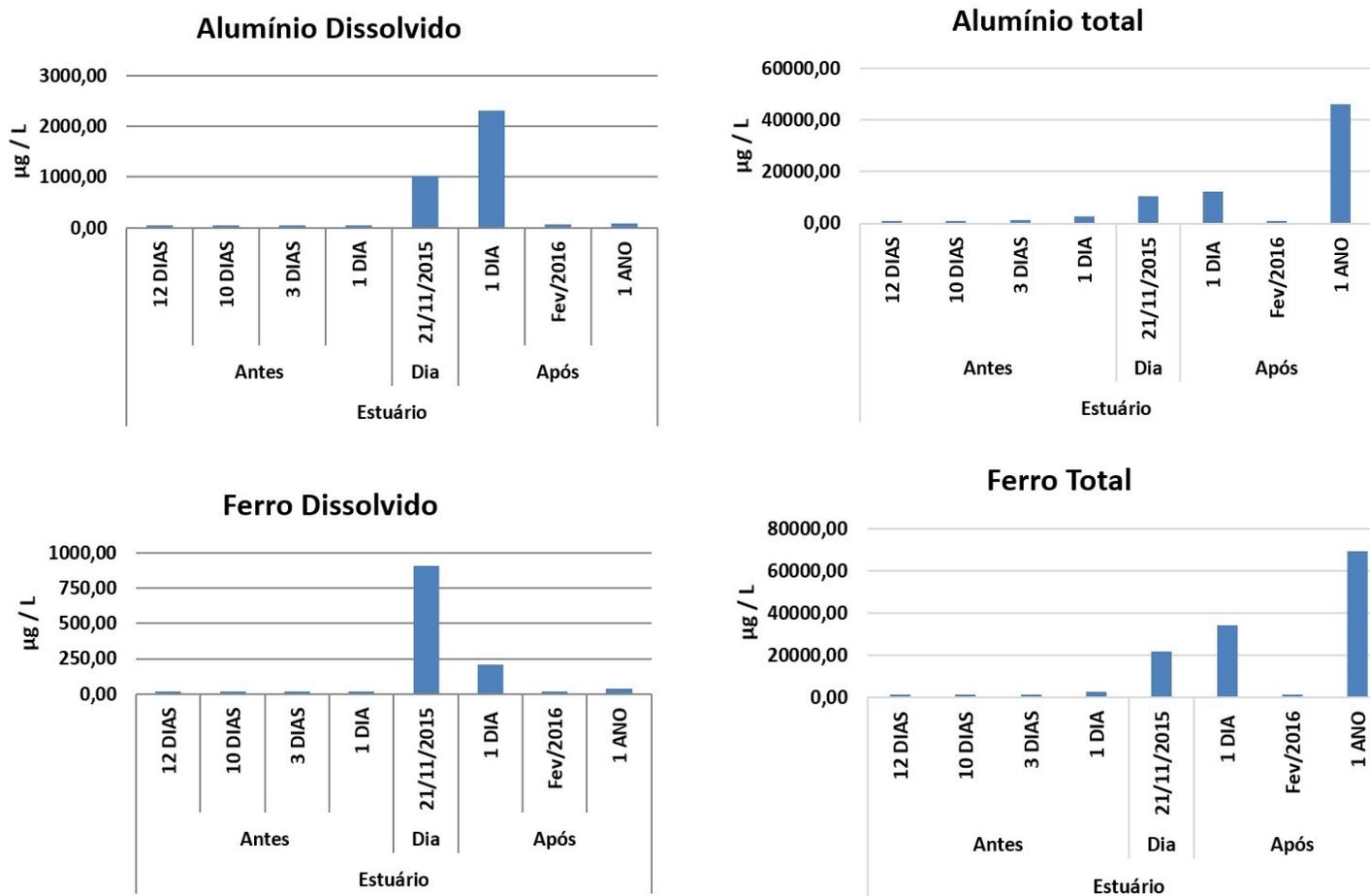
Fonte: Autoria própria.

Quadro 5: Concentração média ( $\mu\text{g/L}$ ) e valores orientadores ( $\mu\text{g/L}$ ) para a fração total de Alumínio (Al), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Vanádio (V), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Bário (Ba), Selênio (Se), Prata (Ag) e Chumbo (Pb) na região estuarina do Rio Doce. Valores em vermelho superiores a algum dos valores orientadores.

Região	Período	Al	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Cd	Ba	Pb	
Estuário	Antes	12 Dias	592,81	18,31	123,93	77,34	161,60	5,21	21,43	23,99	14,76	56,27	<LQ	<LQ	60,94	0,10
		10 Dias	768,70	26,24	189,75	177,41	424,15	10,41	56,31	19,70	30,48	157,23	<LQ	<LQ	65,81	0,10
		3 Dias	1441,33	21,77	197,97	202,53	378,22	2,95	19,42	31,89	15,55	22,68	<LQ	<LQ	64,00	1,63
		1 Dia	2560,42	20,71	739,93	983,00	2596,97	2,91	<LQ	26,55	10,41	10,55	<LQ	<LQ	60,00	3,55
	Dia	21/11/2015	10496,14	41,58	4821,76	5075,99	21747,42	7,68	25,19	32,32	9,04	32,97	<LQ	<LQ	69,00	4,34
	Após	1 Dia	12198,04	110,26	58,43	255,70	34137,02	9,45	43,54	134,05	16,61	73,90	<LQ	<LQ	415,06	54,13
		Fev/2016	241,14	2,61	7,13	23,54	1130,43	3,66	32,40	40,07	0,47	0,41	1,21	0,23	44,46	1,16
1 Ano		46197,01	29,07	27,48	503,48	69127,36	24,59	21,43	103,57	10,45	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	29,00	
CONAMA 357/05	Classe 1			50,00	100,00		25,00		90,00	10,00	10,00		5,00	1000,00	10,00	
	Classe 2			1100,00			74,00		120,00	69,00		40,00				

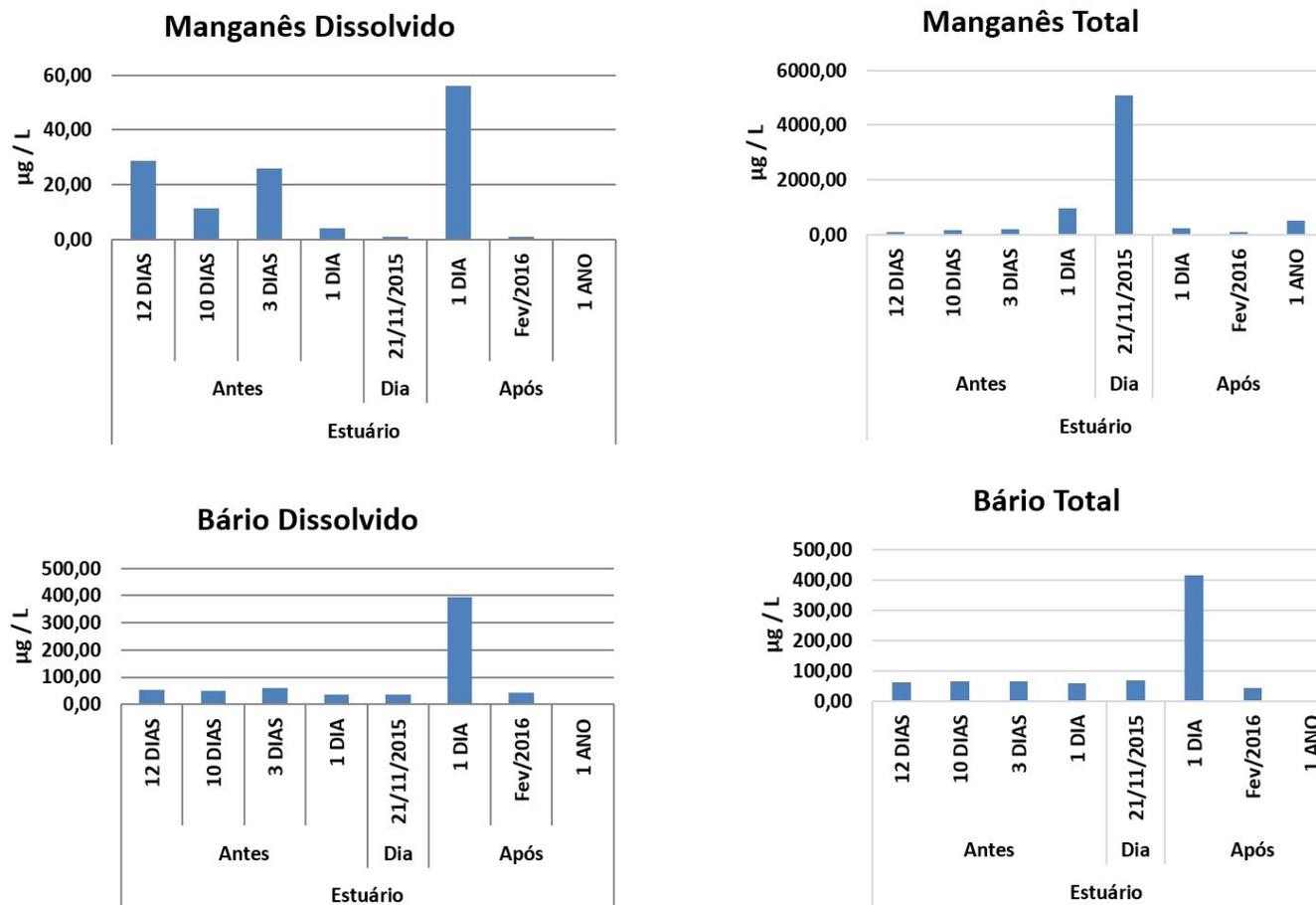
Fonte: Autoria própria.

Figura 9: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) para as frações dissolvida e total de Alumínio (Al) e Ferro (Fe) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce.



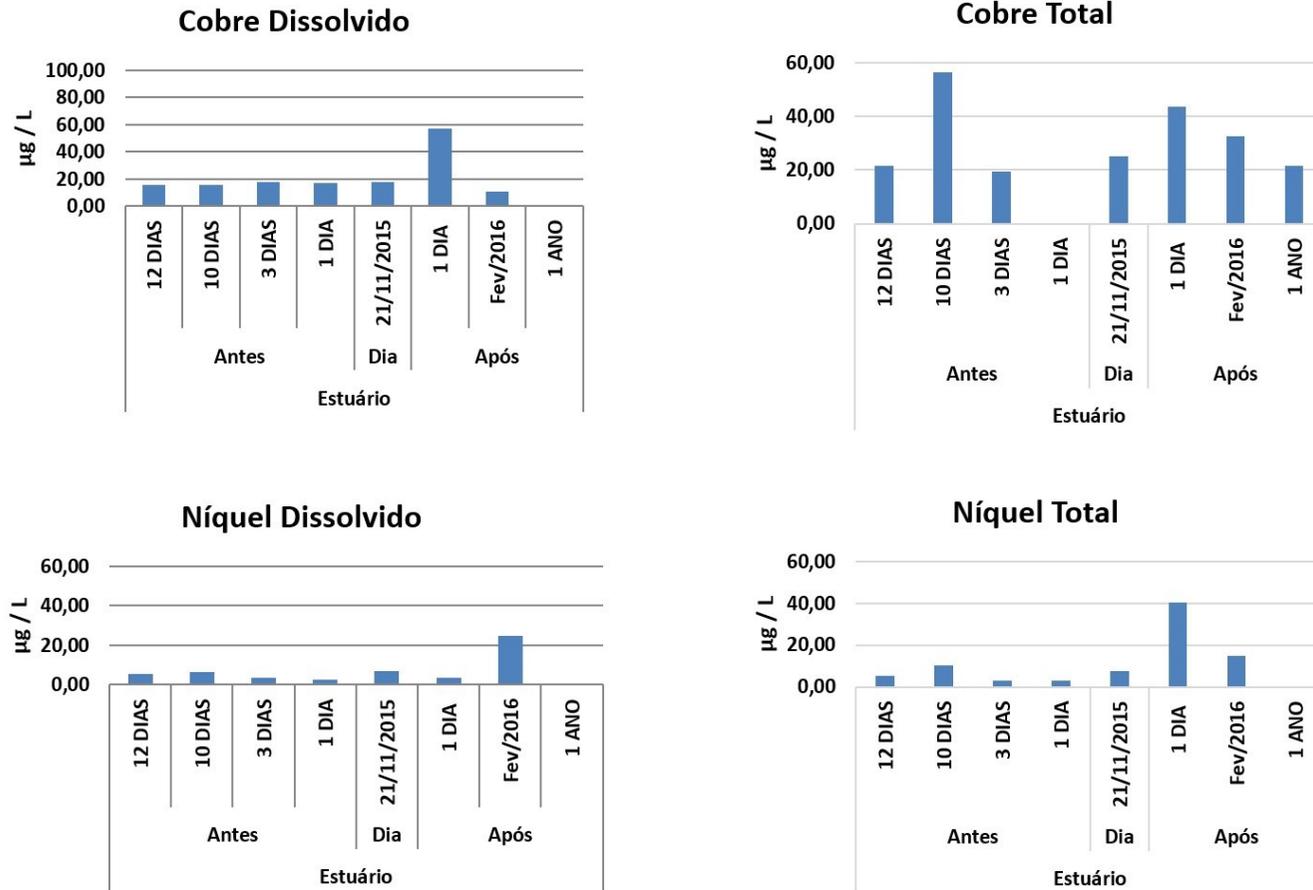
Fonte: Autoria própria.

Figura 10: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) para as frações dissolvida e total de Manganês (Mn) e Bário (Ba) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce.



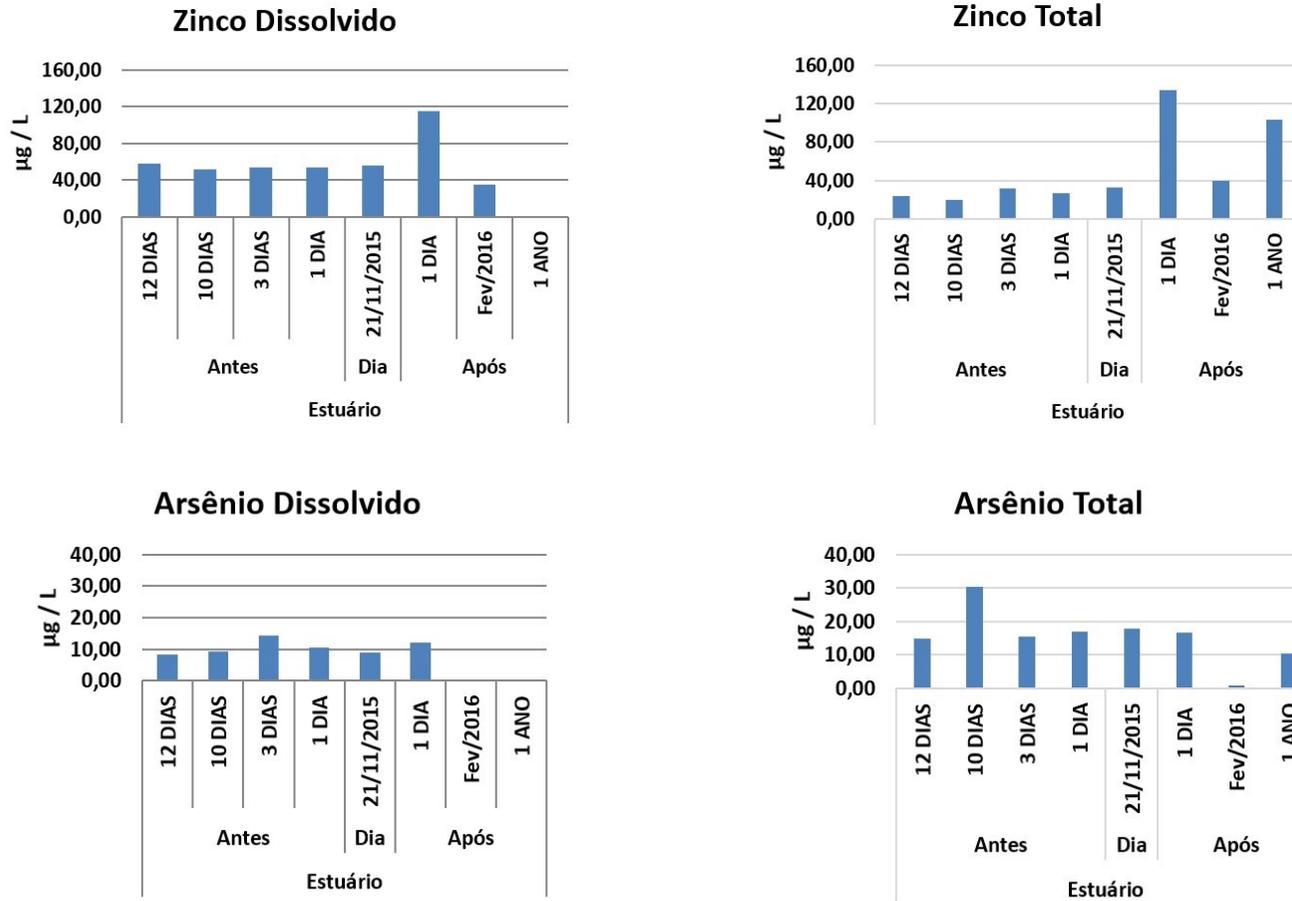
Fonte: Autoria própria.

Figura 11: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) para as frações dissolvida e total de Cobre (Cu) e Níquel (Ni) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce.



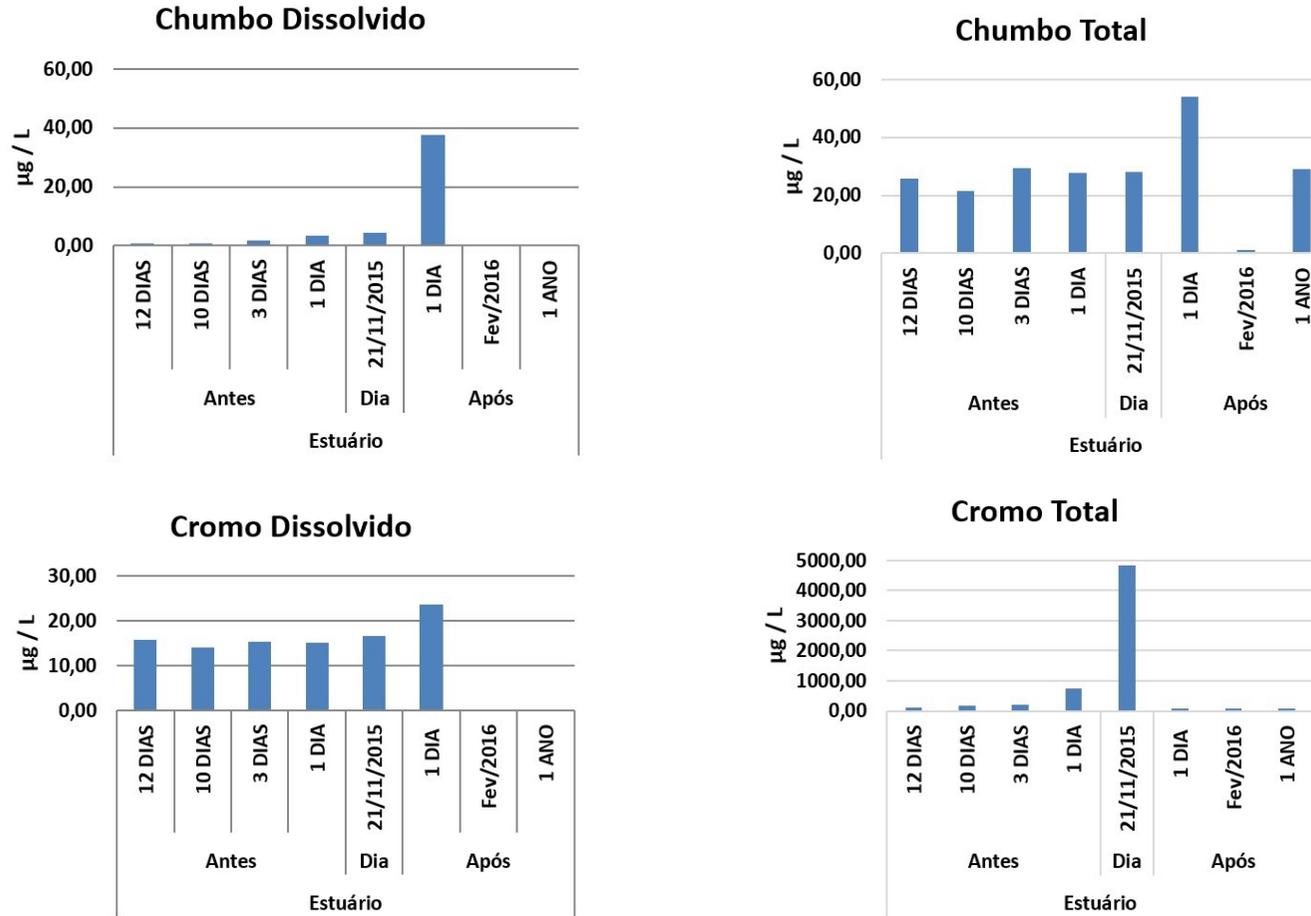
Fonte: Autoria própria.

Figura 12: Concentração (mg / kg) para as frações dissolvida e total de Zinco (Zn), Arsênio (As), Chumbo (Pb), Cromo (Cr) e Vanádio (V) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce.



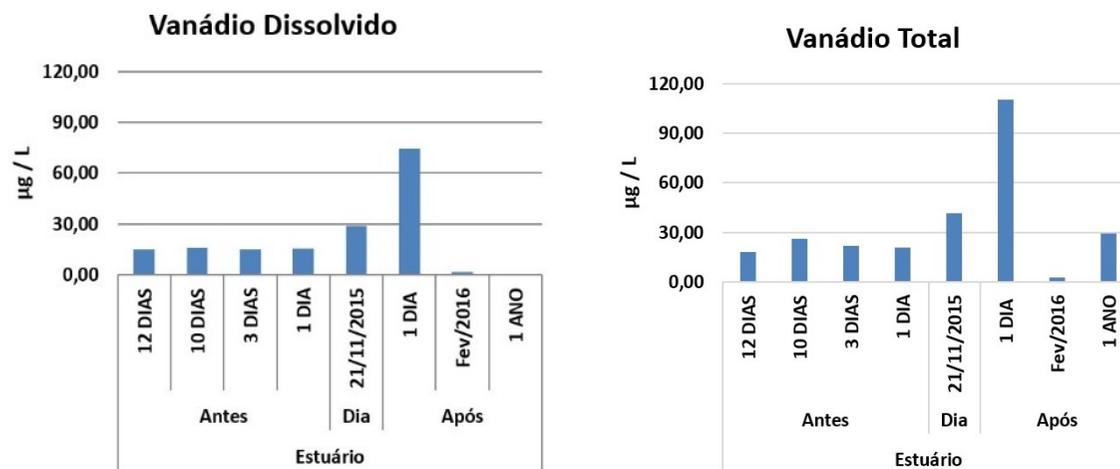
Fonte: Autoria própria.

Figura 13: Concentração (mg / kg) para as frações dissolvida e total de Chumbo (Pb) e Cromo (Cr) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce.



Fonte: Autoria própria.

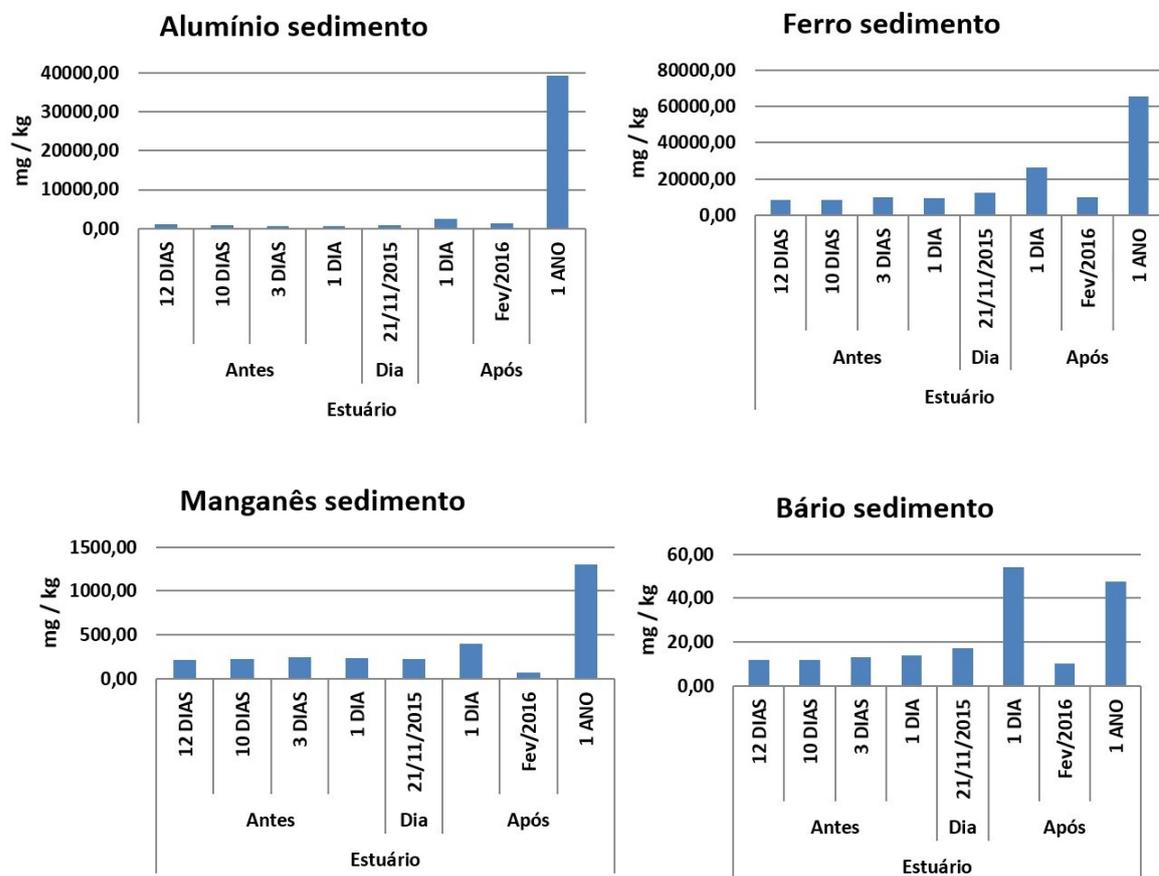
Figura 14: Concentração (mg / kg) para as frações dissolvida e total de Zinco (Zn), Arsênio (As), Chumbo (Pb), Cromo (Cr) e Vanádio (V) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce.



Fonte: Autoria própria.

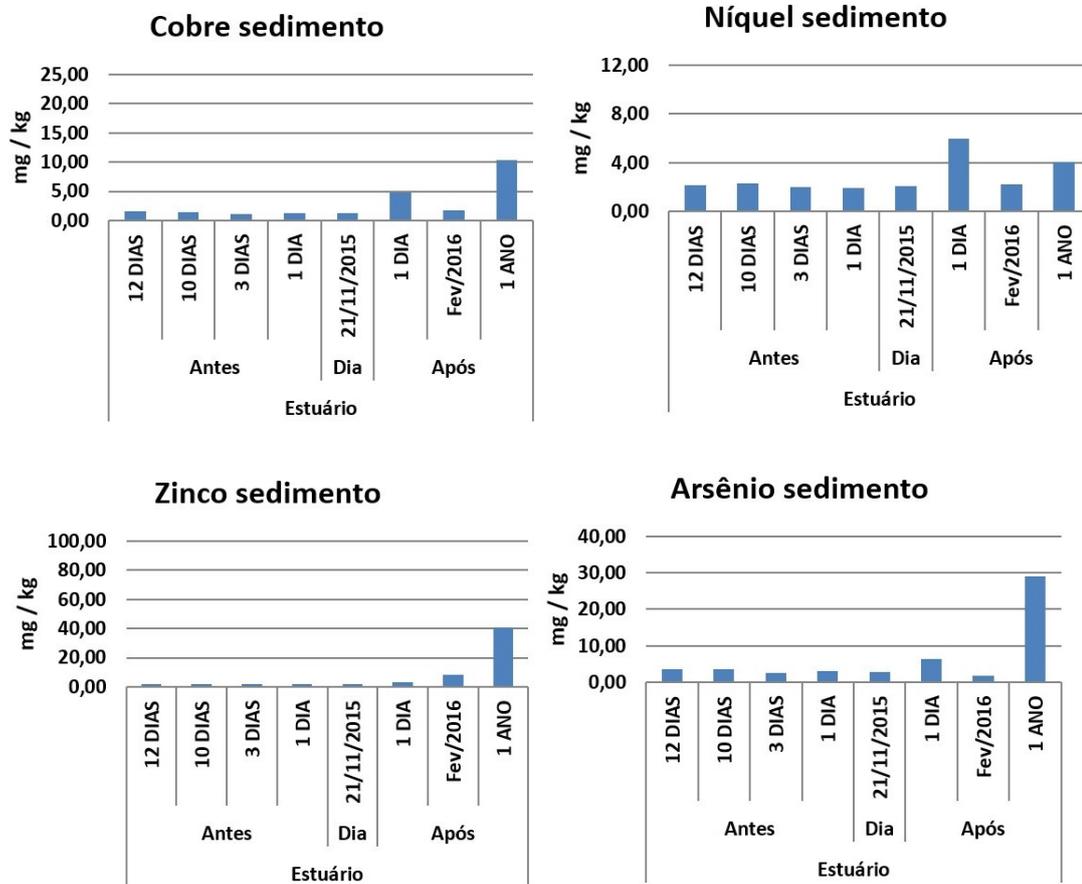
Com a chegada da lama à foz do rio Doce, elevadas concentrações de metais e As também podem ser observadas nos sedimentos superficiais da região estuarina da foz do rio Doce (Figura 15, Figura 16, Figura 17). Com exceção do Pb e U, que apresentaram concentrações iguais ou inferiores aos valores anteriores a chegada da lama, os demais elementos apresentaram incremento nos valores 1 dia após a essa chegada. Entretanto, os valores observados 1 ano após são ainda mais elevados, exceto para Ni, Ba e U. A presença de óxidos de ferro em quantidades maiores no interior do rio Doce e, conseqüentemente seu aporte contínuo na região estuarina, favorece o incremento de metais e metalóide nos sedimentos superficiais, pois quanto maior a quantidade de óxidos de ferro maior será a afinidade de metais neste compartimento ambiental (BASÍLIO et al, 2005).

Figura 15: Concentração de sedimento superficial (mg/kg) de Alumínio (Al), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Bário (Ba) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce.



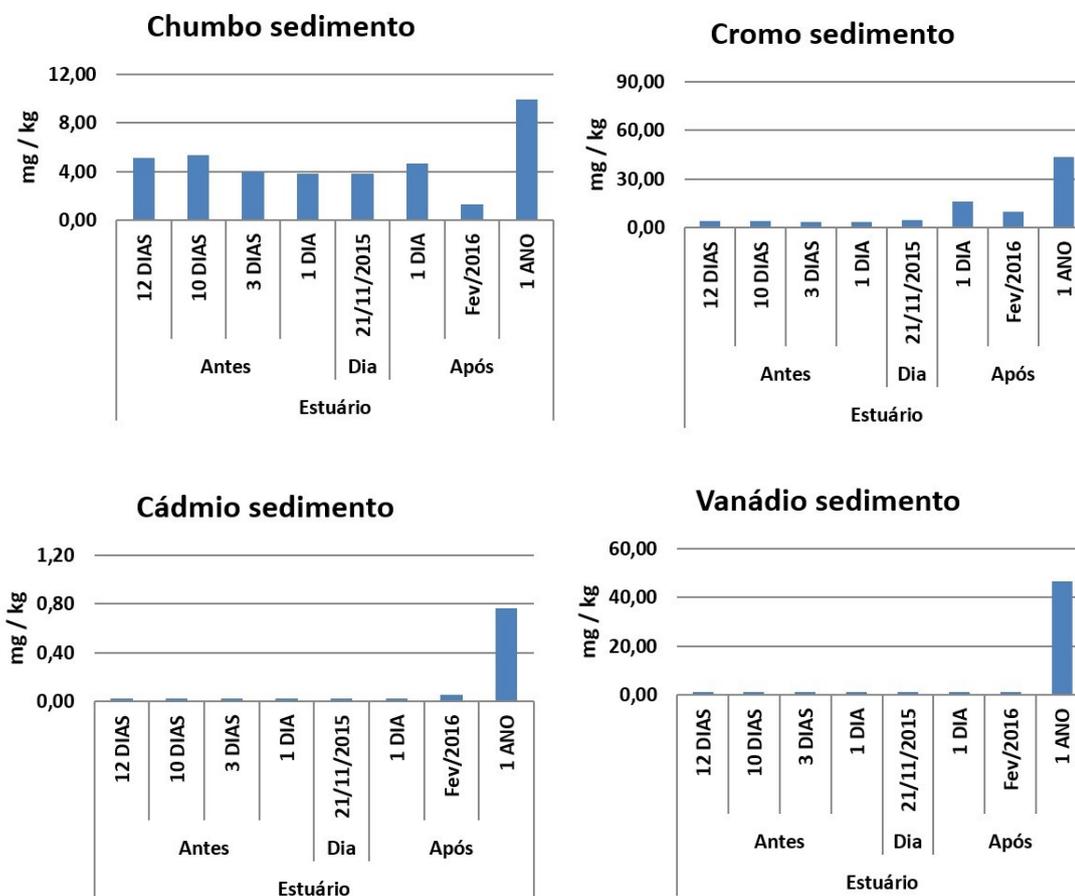
Fonte: Autoria própria.

Figura 16: Concentração de sedimento superficial (mg/kg) de Cobre (Cu), Níquel (Ni), Zinco (Zn) e Arsênio (As) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce.



Fonte: Autoria própria.

Figura 17: Concentração em sedimento superficial (mg/kg) de Chumbo (Pb) Cromo(Cr), Cádmiu (Cd) e Vanádio (V) durante a chegada da lama de rejeitos na região estuarina do Rio Doce.



Fonte: Autoria própria

### 1.2.2.3 Setor Marinho

Na região costeira adjacente a foz do Rio Doce a maioria dos elementos analisados apresentaram valores de concentração mais elevados nas campanhas realizadas entre novembro de 2015 e janeiro de 2016, coincidindo com o maior aporte do material proveniente do rejeito da mineração (Quadro 4, Quadro 5, Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23, Figura 24). Durante o aporte inicial da lama de rejeitos na região costeira adjacente (novembro de 2015) as maiores concentrações observadas para Al, Fe, Mn, Ba, V, Be e Co ocorreram na fração total. Na campanha de dezembro de 2015, o aumento das concentrações na fração total ocorreu para Cu, Ni, Zn, Cr, Pb e Se.

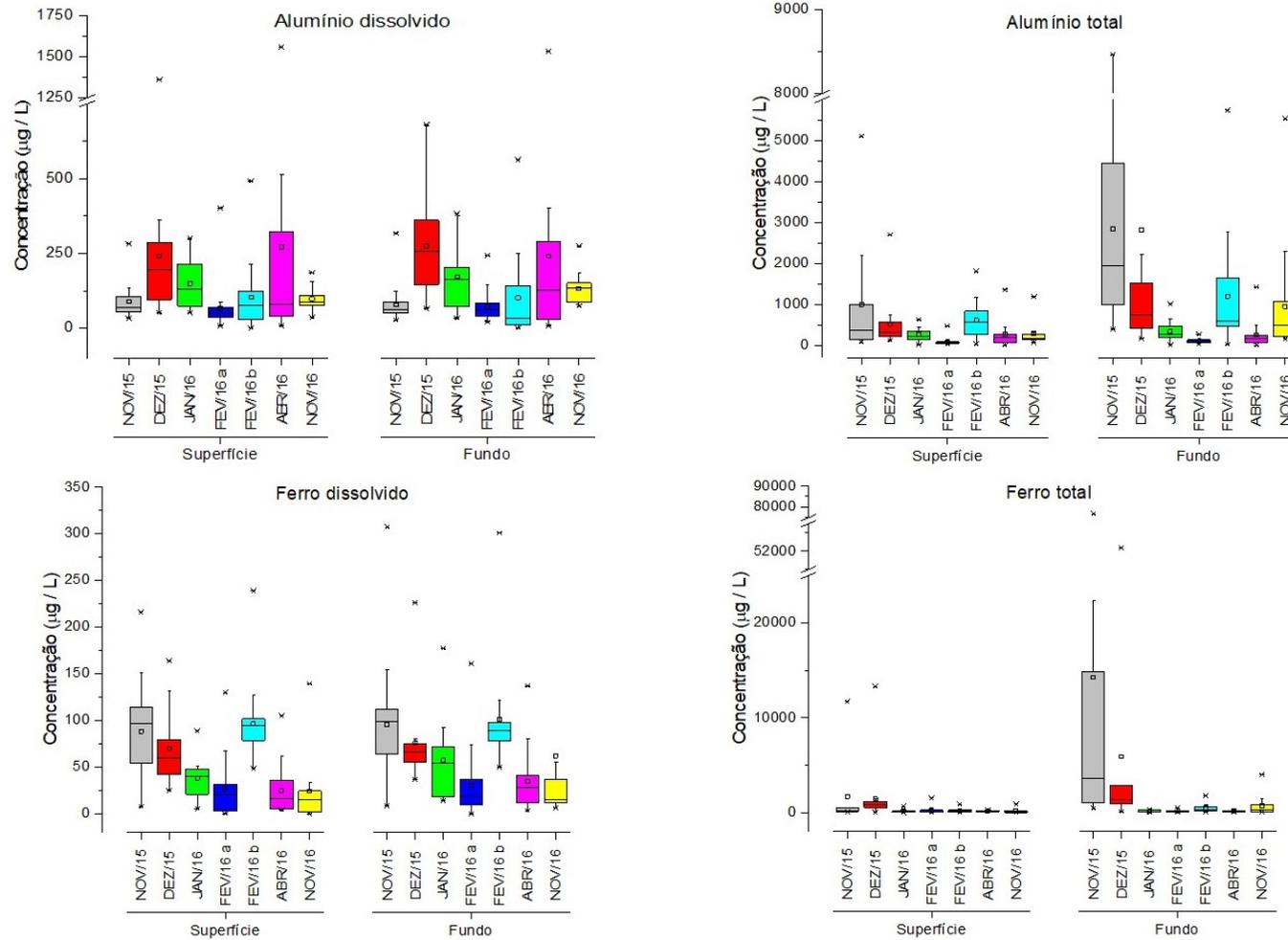
Na fração dissolvida, o aumento das concentrações dos metais analisados, em sua maioria, também ocorre nas campanhas realizadas em dezembro de 2015 e janeiro de 2016, provavelmente relacionado aos processos de dessorção entre a fração particulada e dissolvida, além do contínuo aporte dos rejeitos provindos da bacia hidrográfica. Vale ressaltar que, além do aporte proveniente do rompimento da barragem, composto por elevados teores de óxidos de ferro (hematita e goetita, ver capítulo referente a mineralogia), outros materiais terrígenos oriundos da erosão de solos e da abertura de comportas de hidrelétricas atingiram a região da foz do rio Doce. Entretanto, o volume de rejeitos é

consideravelmente maior e tais processos e atividades não teriam ocorrido separadamente a passagem dos rejeitos.

Nota-se a rápida remoção de Fe dissolvido neste primeiro instante do aporte da lama de rejeitos, isto ocorre devido à baixa solubilidade do Fe em águas estuarinas e costeiras (ABUALHAIJA e van den BERG, 2014), tornando-o um elemento importante para a produção primária. Por outro lado, a complexação de ferro com compostos orgânicos aumenta sua solubilidade (MILLERO, 1998). Esta remoção na fração dissolvida também pode ser observada para os elementos Al e Mn, sugerindo que os demais elementos que diminuem suas concentrações, após o aporte inicial, estão co-precipitando com óxidos e hidróxidos de Fe, Mn e Al. Óxidos de Fe e Al foram identificados na composição mineralógica do material particulado em suspensão, indicando aumento na presença de hematita, goetita e gibbsita.

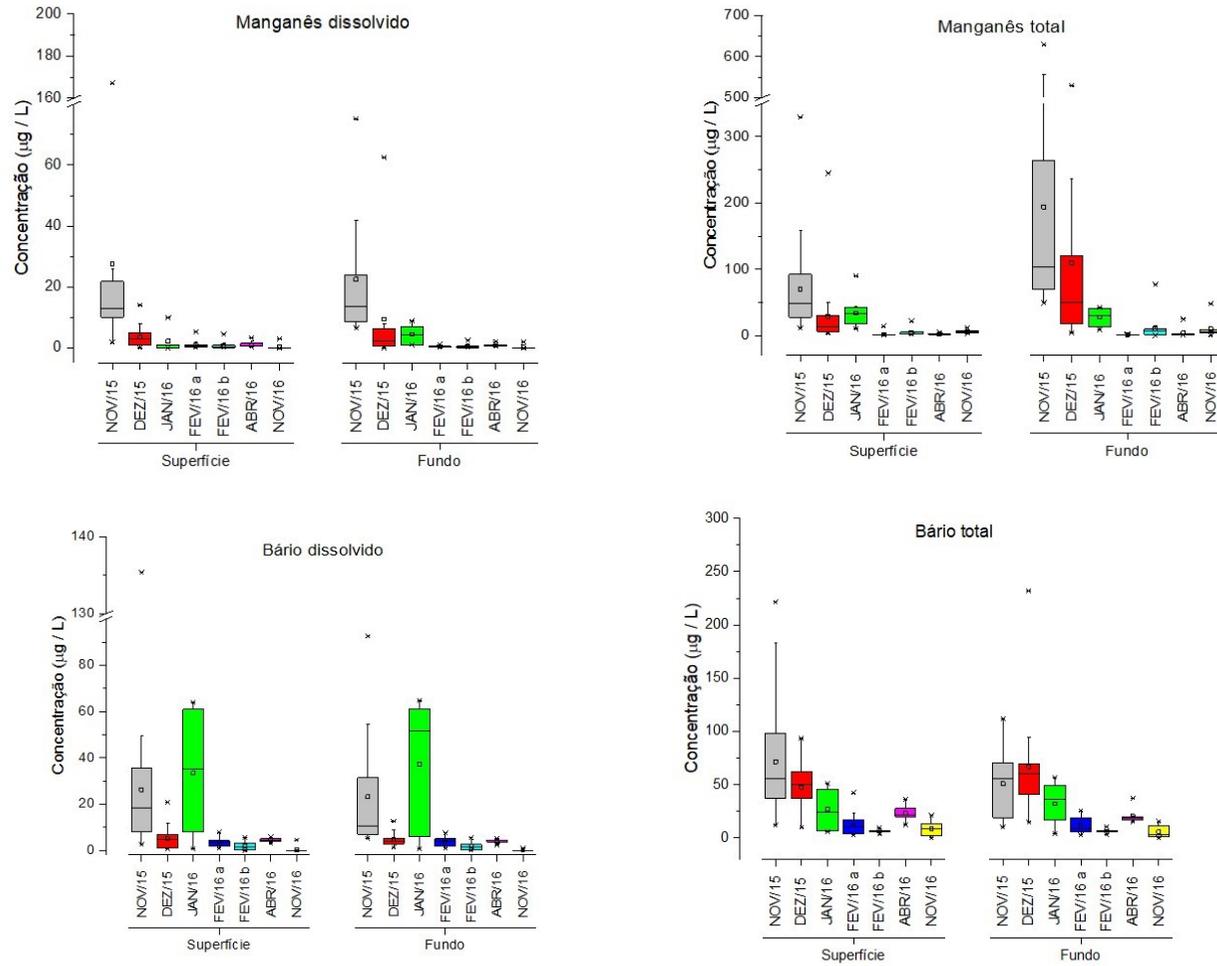
Contrariamente, a concentração de As dissolvido aumenta com o tempo ao longo das campanhas amostrais, podendo estar relacionado a presença de espécies orgânicas de As. O arseniato ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ), forma predominante de As na água do mar, é absorvido por produtores primários da cadeia alimentar devido sua similaridade com o fosfato, que é essencial para estes organismos. Por outro lado, os organismos de mais baixo estágio de evolução trófica desintoxicam arseniato pelo processo de biometilação, desenvolvendo, por exemplo, substâncias metiladas, como os ácidos monometilarsônico e dimetilarsônico (MMAA e DMAA), os quais possuem menor toxicidade (BARRA et al., 2000). A presença de espécies orgânicas de As desfavorecem a adsorção deste metalóide em óxidos e hidróxidos de Fe, uma vez que este processo resulta da combinação de efeitos eletrostáticos e possível formação de complexos tipo superfície-metal-arsenato (BASÍLIO et al., 2005).

Figura 18: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) nas frações dissolvida e total de Alumínio (Al) e Ferro (Fe) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce.



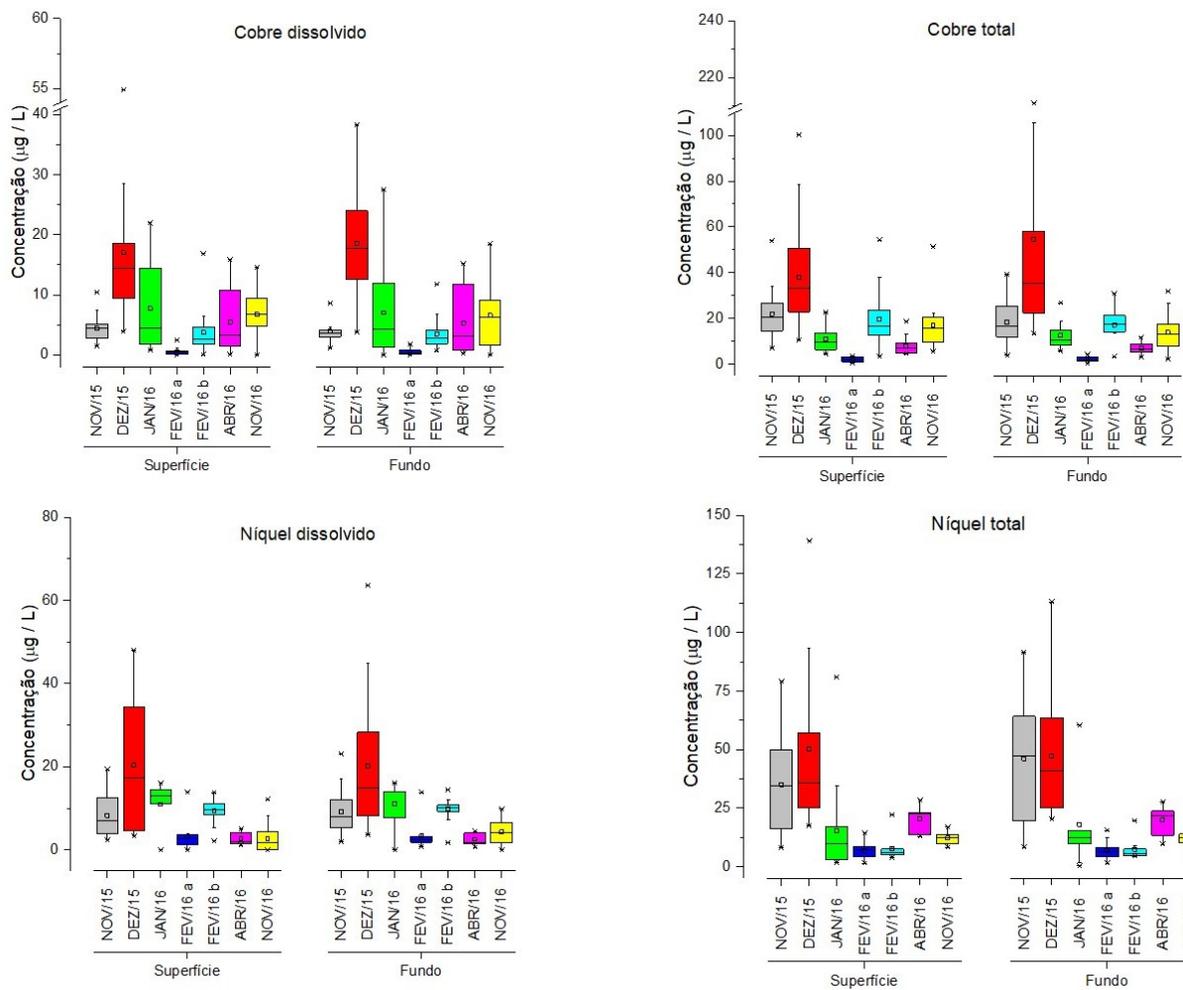
Fonte Autoria própria.

Figura 19: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) nas frações dissolvida e total de Manganês (Mn) e Bário (Ba) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce



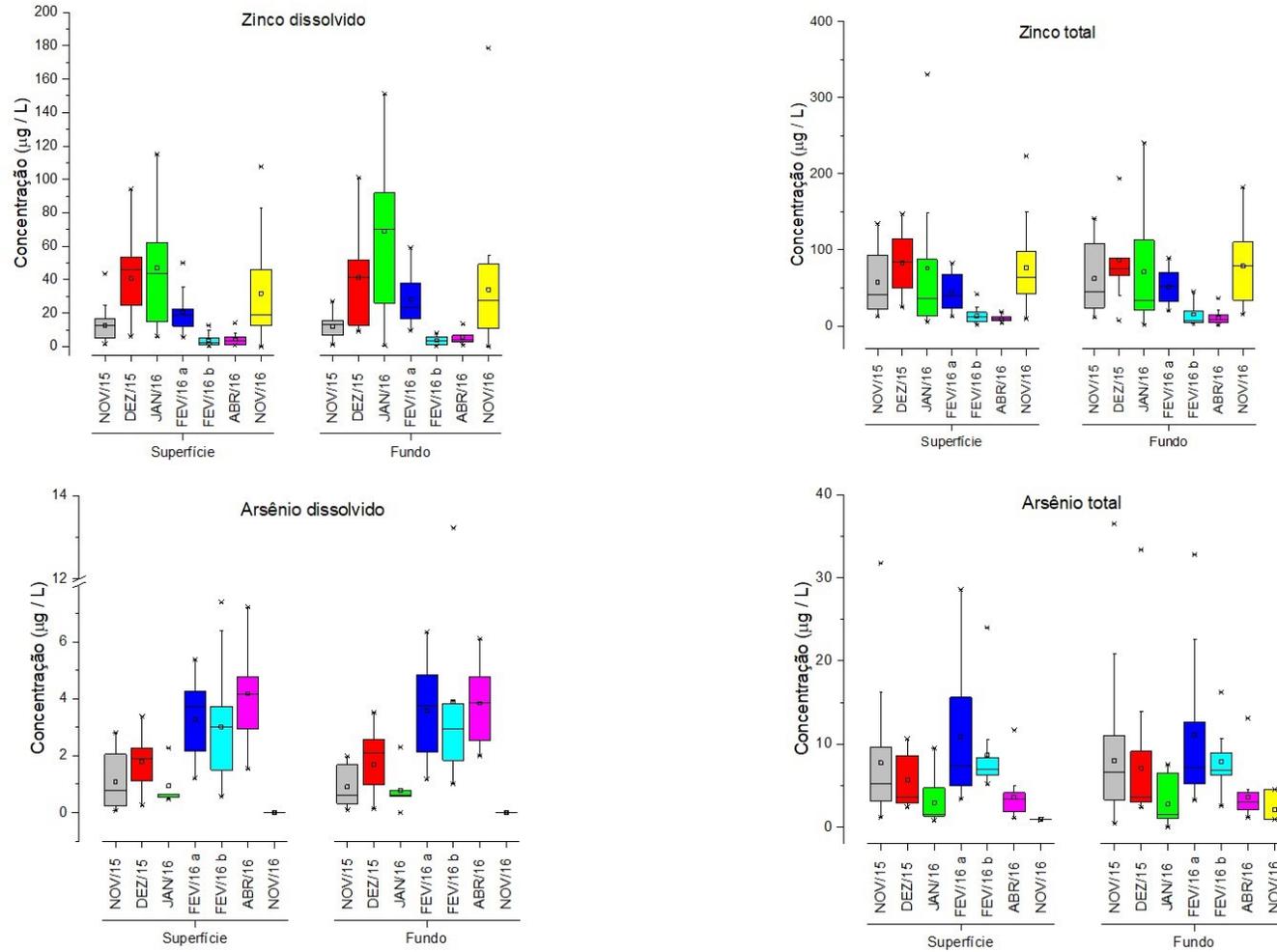
Fonte: Autoria própria.

Figura 20: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) nas frações dissolvida e total de Cobre (Cu) e Níquel (Ni) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce.



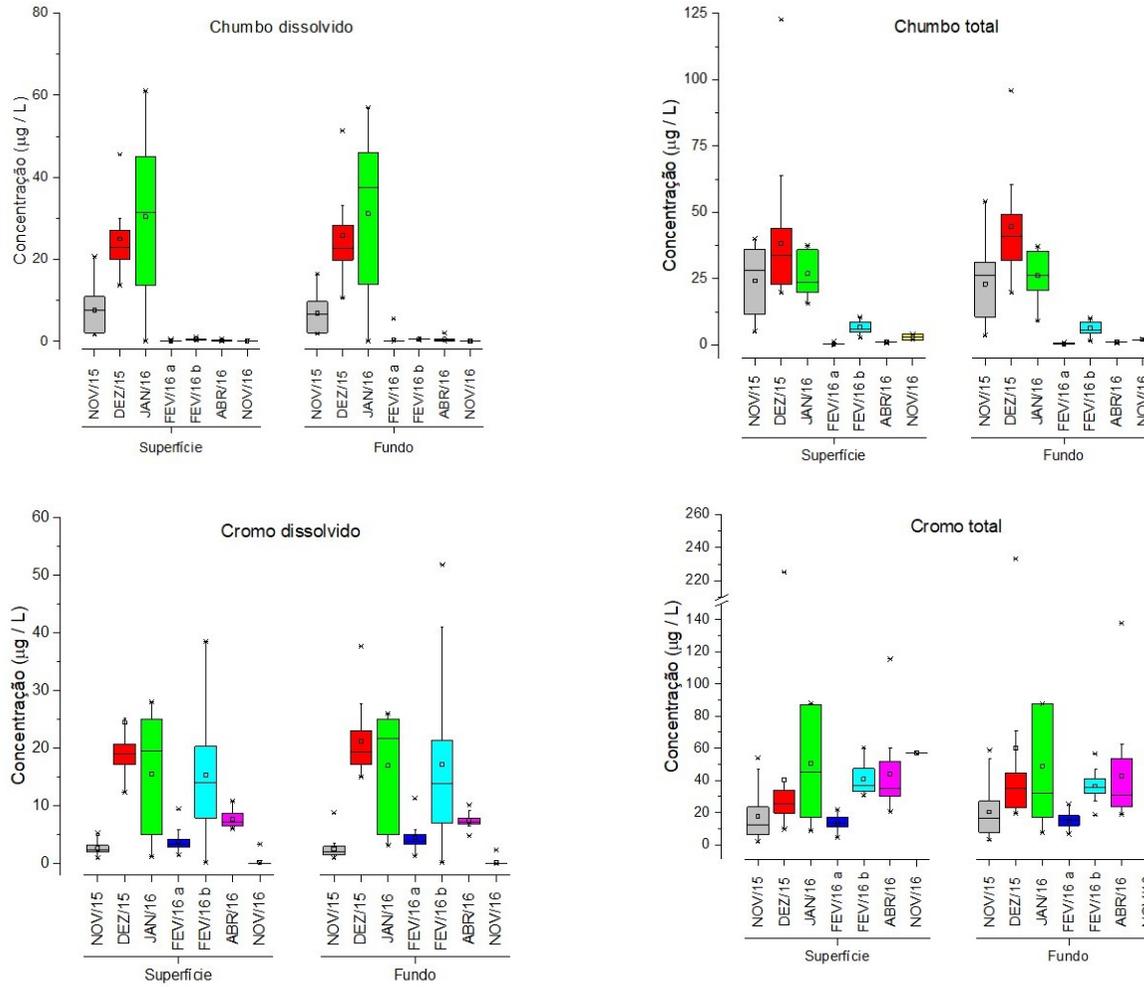
Fonte: Autoria própria.

Figura 21: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) nas frações dissolvida e total de Zinco (Zn) e Arsênio (As) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce.



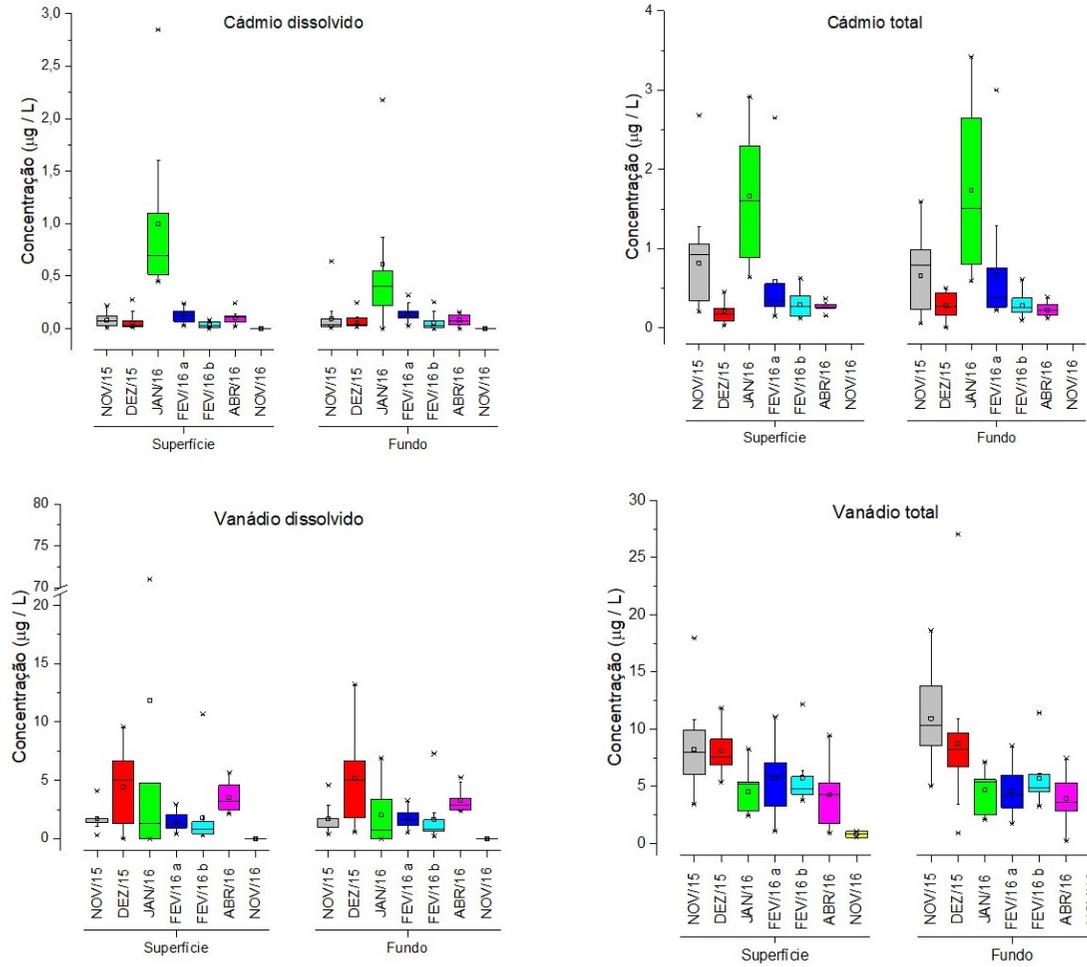
Fonte: Autoria própria.

Figura 22: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) nas frações dissolvida e total de Chumbo (Pb) e Cromo (Cr) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce.



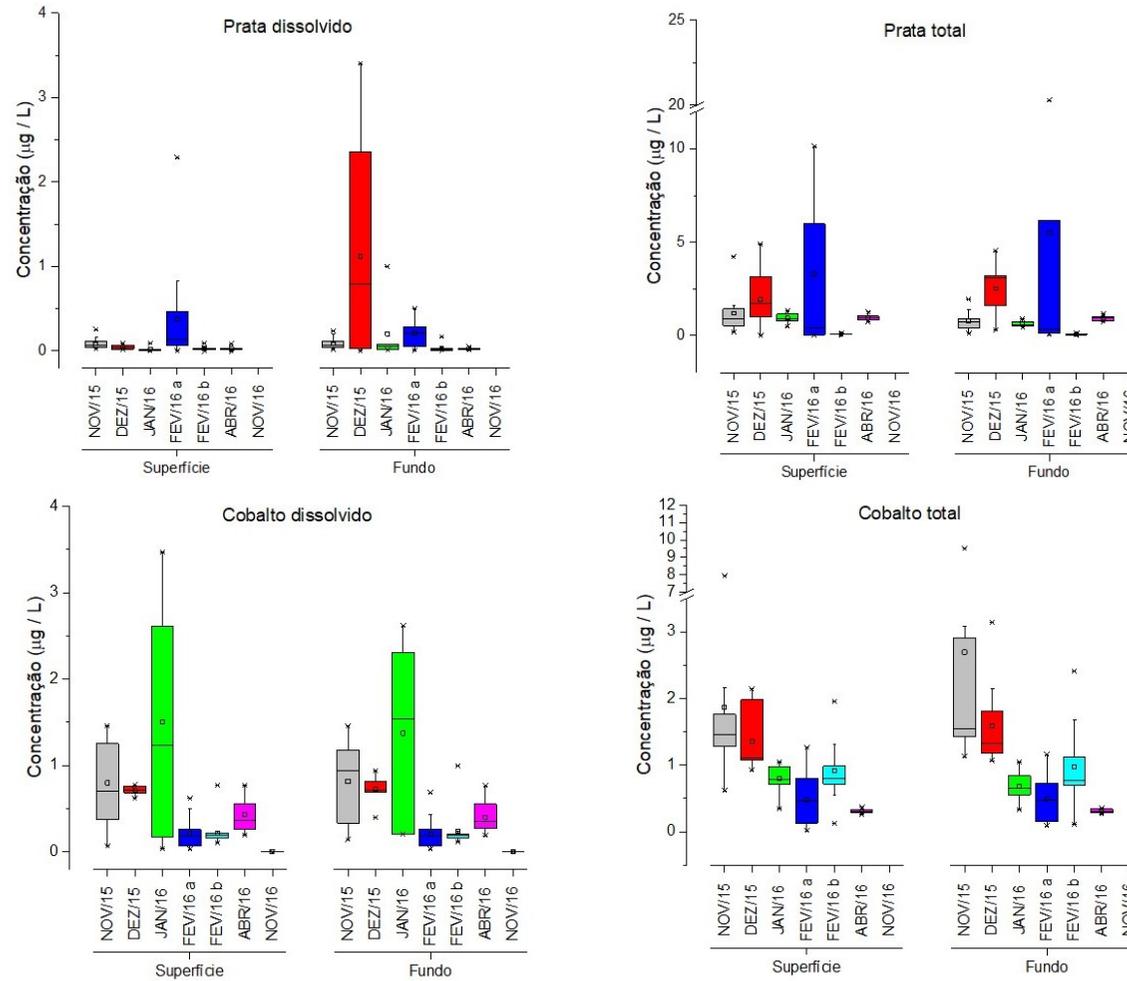
Fonte: Autoria própria.

Figura 23: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) nas frações dissolvida e total de Cádmio (Cd) e Vanádio (V) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce.



Fonte: Autoria própria.

Figura 24: Concentração ( $\mu\text{g/L}$ ) nas frações dissolvida e total de Prata (Ag) e Cobalto (Co) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce

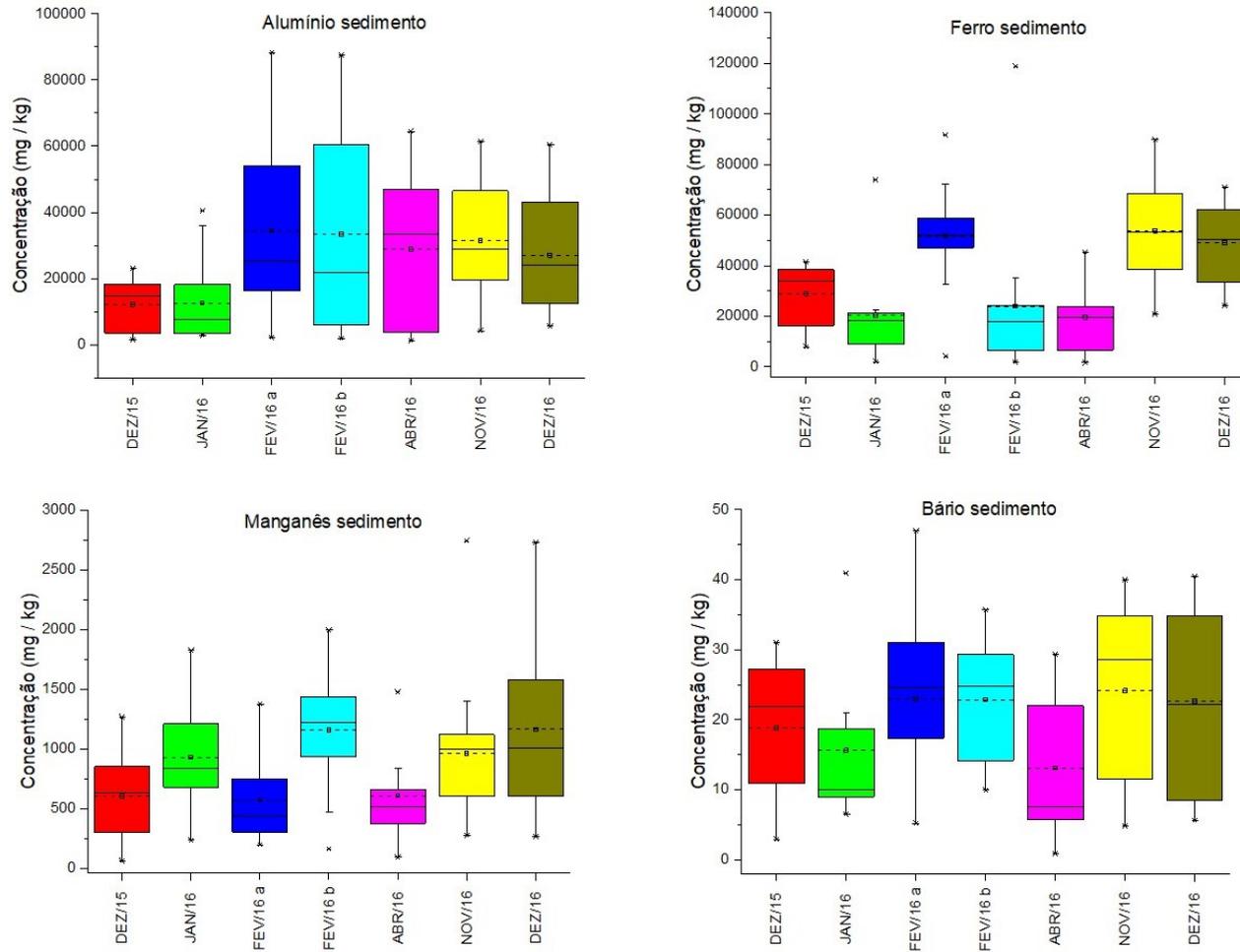


Fonte: Autoria própria.

#### 1.2.2.4 Sedimentos

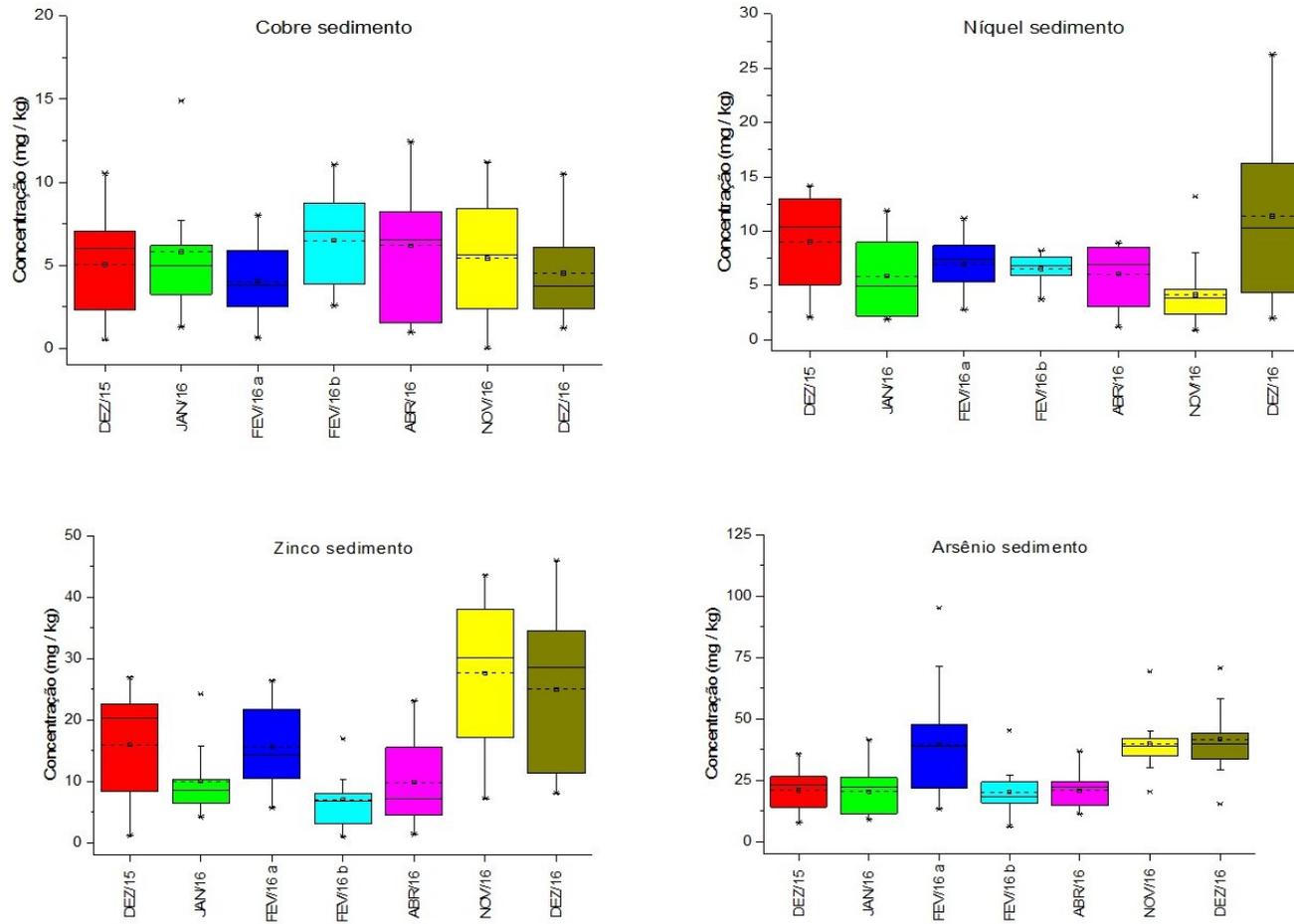
Nos sedimentos superficiais observa-se uma tendência de acréscimo ao longo do monitoramento (Figura 25, Figura 26 e Figura 27), com valores mais elevados na campanha amostral realizada 1 ano após o aporte do material proveniente da barragem de rejeitos. A ordem de magnitude das concentrações encontrada para os metais e metalóide nos sedimentos superficiais foram equivalentes nos diferentes períodos estudados, sendo no período anterior ao rejeito de mineração:  $Fe > Al > Mg > Sr > Mn > V > B > As > Cr > Zn > Ba > Ni > Pb > Cu > Cd$  (PETROBRAS, 2015), na campanha de dezembro de 2016:  $Fe > Al > Mn > Cr > As > Ba > V > Zn > Ni > Pb > Cu > Se > Cd$ , enquanto em novembro de 2016 foi:  $Fe > Al > Mn > As > V > Cr > Zn > Ba > Ni > Pb > Cu > Cd > Se$ . Em dezembro de 2015, ou seja, durante o aporte da lama de rejeitos podemos notar o incremento das concentrações de Cr, As e Ba nos sedimentos superficiais, enquanto que em dezembro de 2016, 1 ano após, há uma tendência em reestabelecimento do equilíbrio nas concentrações dos elementos analisados, porém com aumento nos valores de As e Cd

Figura 25: Concentração (mg/kg) de Alumínio (Al), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Bário (Ba) em sedimentos superficiais na região costeira adjacente da foz do Rio Doce.



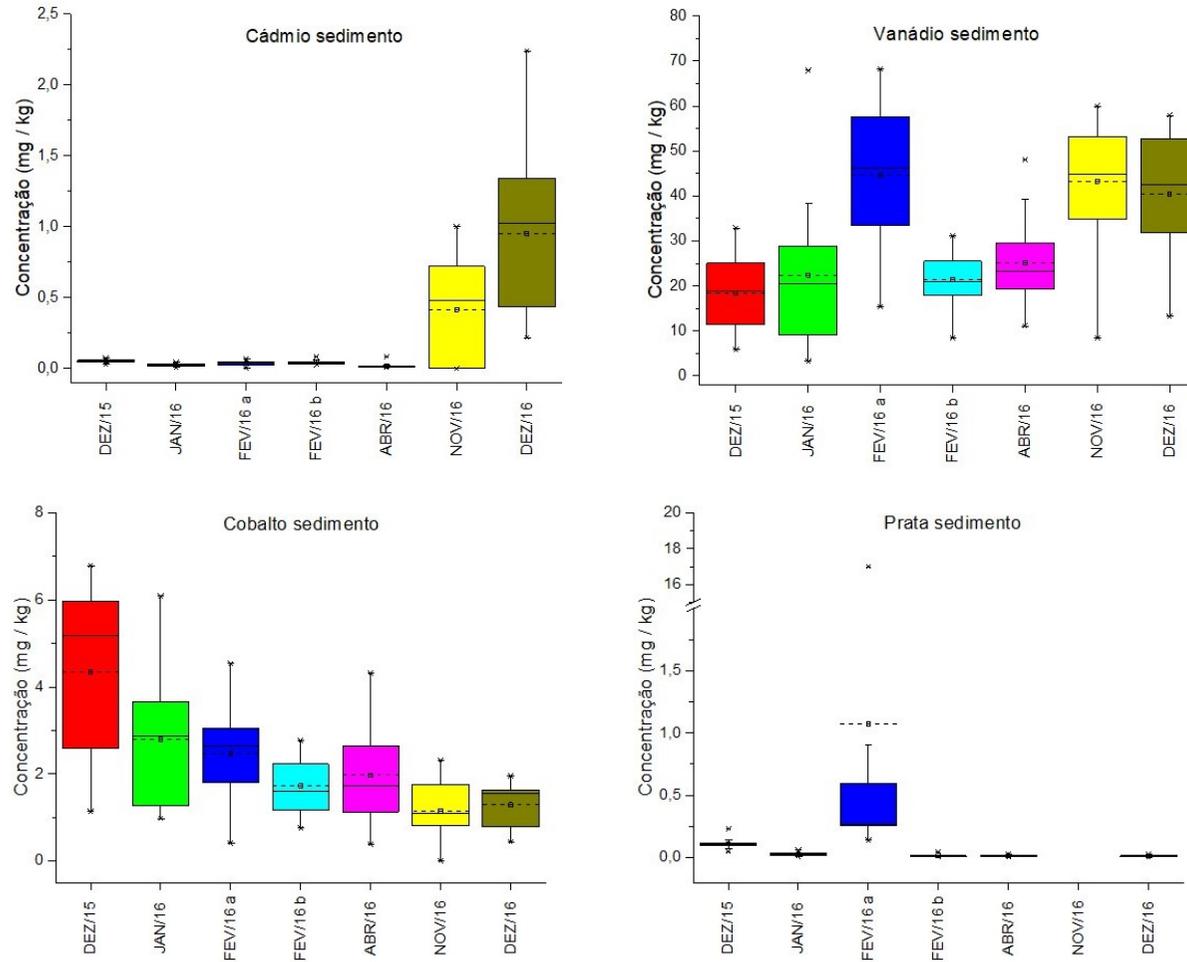
Fonte: Autoria própria.

Figura 26: Concentração (mg/kg) de Cobre (Cu), Níquel (Ni), Zinco (Zn) e Arsênio (As) em sedimentos superficiais na região costeira adjacente da foz do Rio Doce



Fonte: Autoria própria.

Figura 27: Concentração (mg/kg) de Cádmiu (Cd), Vanádio (V), Cobalto (Co) e Prata (Ag) em sedimentos superficiais na região costeira adjacente da foz do Rio Doce



Fonte: Autoria própria.

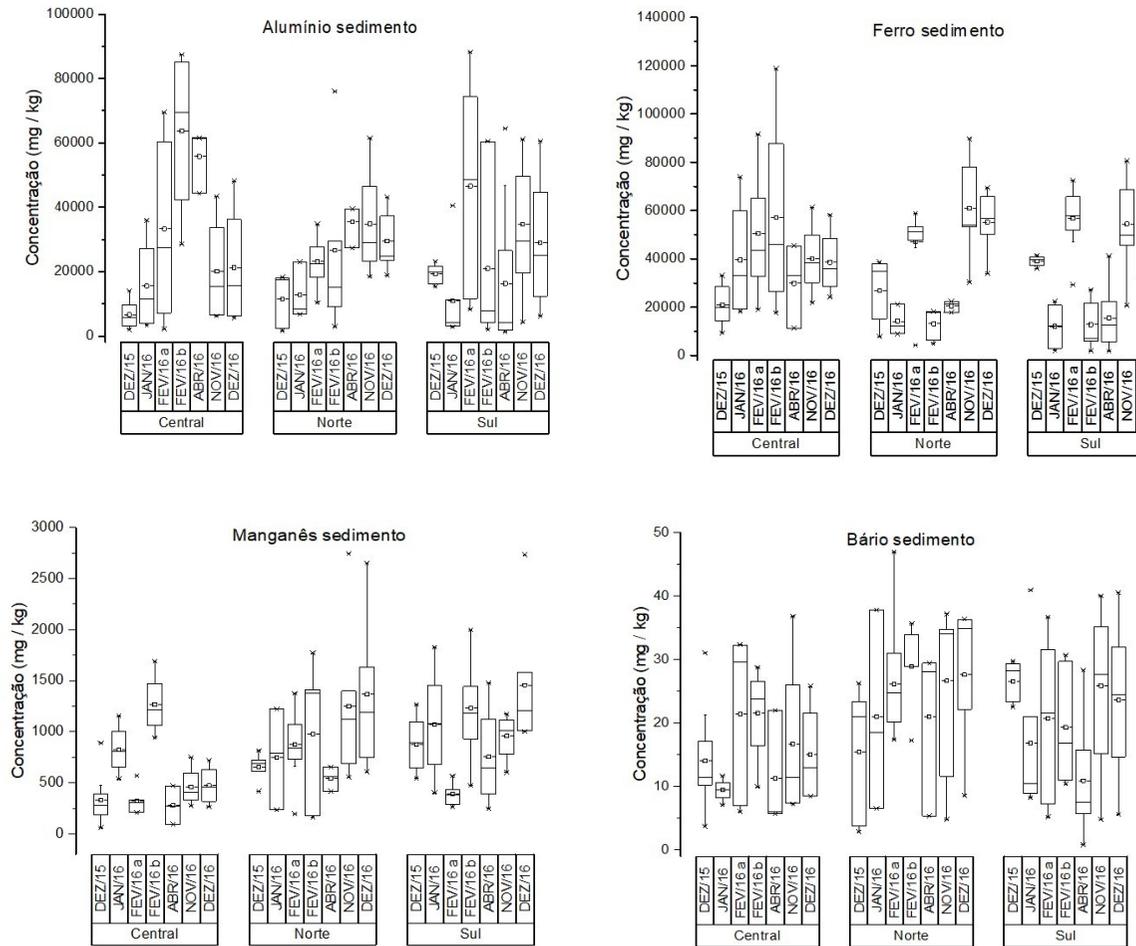
#### 1.2.2.5 Comparativo entre os compartimentos central, norte e sul (Setor marinho)

Para compreender melhor a dinâmica de metais e metalóide presentes no ambiente costeiro da foz do rio Doce, foram compartimentados pontos amostrais das diversas campanhas de dezembro de 2015 a dezembro de 2016 e setorizados em compartimentos (Central, Norte e Sul), conforme já descrito no Quadro 3 deste capítulo. Foram considerados os sedimentos superficiais para essa avaliação por serem bons indicadores de qualidade ambiental, bem como estarem menos suscetíveis as forças físicas e reações químicas comparado a fração aquosa.

De acordo com a Figura 28 elementos Fe, Al e Mn demonstram bem este exemplo, onde inicialmente apresentaram concentrações mais elevadas no setor Central, principalmente pelas estações amostrais próximas a desembocadura do Rio Doce. Aumento das concentrações no setor Sul, indicando a influência da dinâmica costeira na dispersão da pluma de turbidez gerada pelo aporte da lama de rejeitos. Mas ao longo do monitoramento nota-se uma diminuição das concentrações nos sedimentos superficiais no setor Central, uma manutenção dos valores no setor Sul e um aumento das concentrações no setor Norte, indicando transporte posterior deste material nesta direção. No setor Norte, as atuais concentrações demonstram valores médios semelhantes aos registrados no setor Sul, ou ainda valores máximos superiores aos verificados neste setor, o que indica uma tendência de homogeneização das concentrações na área investigada como um todo, através do transporte, principalmente de fundo, ressuspensões de sedimentos e novos aportes do material de rejeitos da mineração provenientes da bacia hidrográfica.

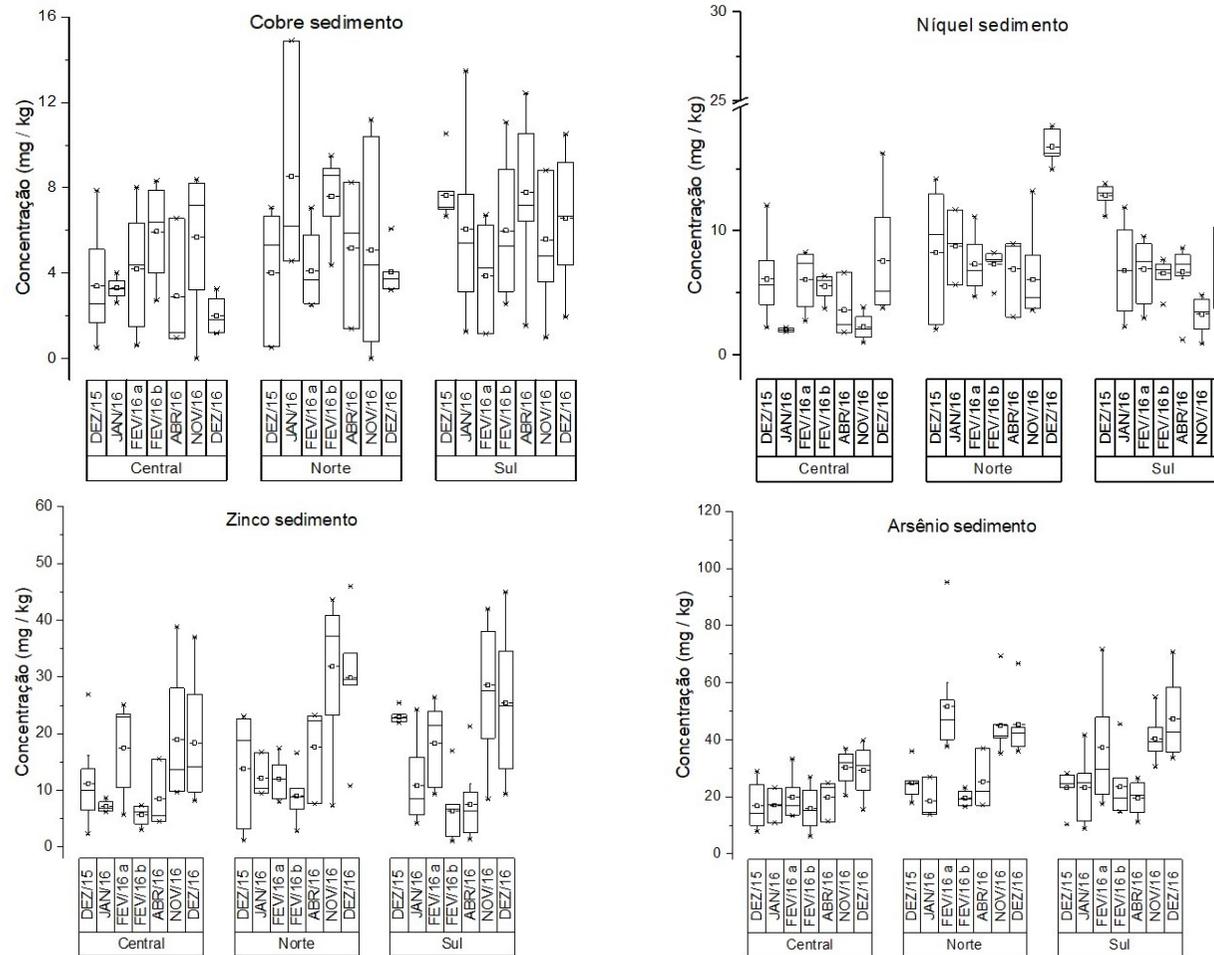
Fe, Al e Mn possuem importante papel na mobilidade geoquímica de metais e metalóide, influenciando na distribuição e sedimentação dos demais elementos analisados. Co e Se foram os únicos elementos analisados que apresentaram diminuição nas suas concentrações nos sedimentos superficiais.

Figura 28: Concentração (mg/kg) em sedimentos superficiais de Alumínio (Al), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Bário (Ba) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce para os setores Central, Norte e Sul.



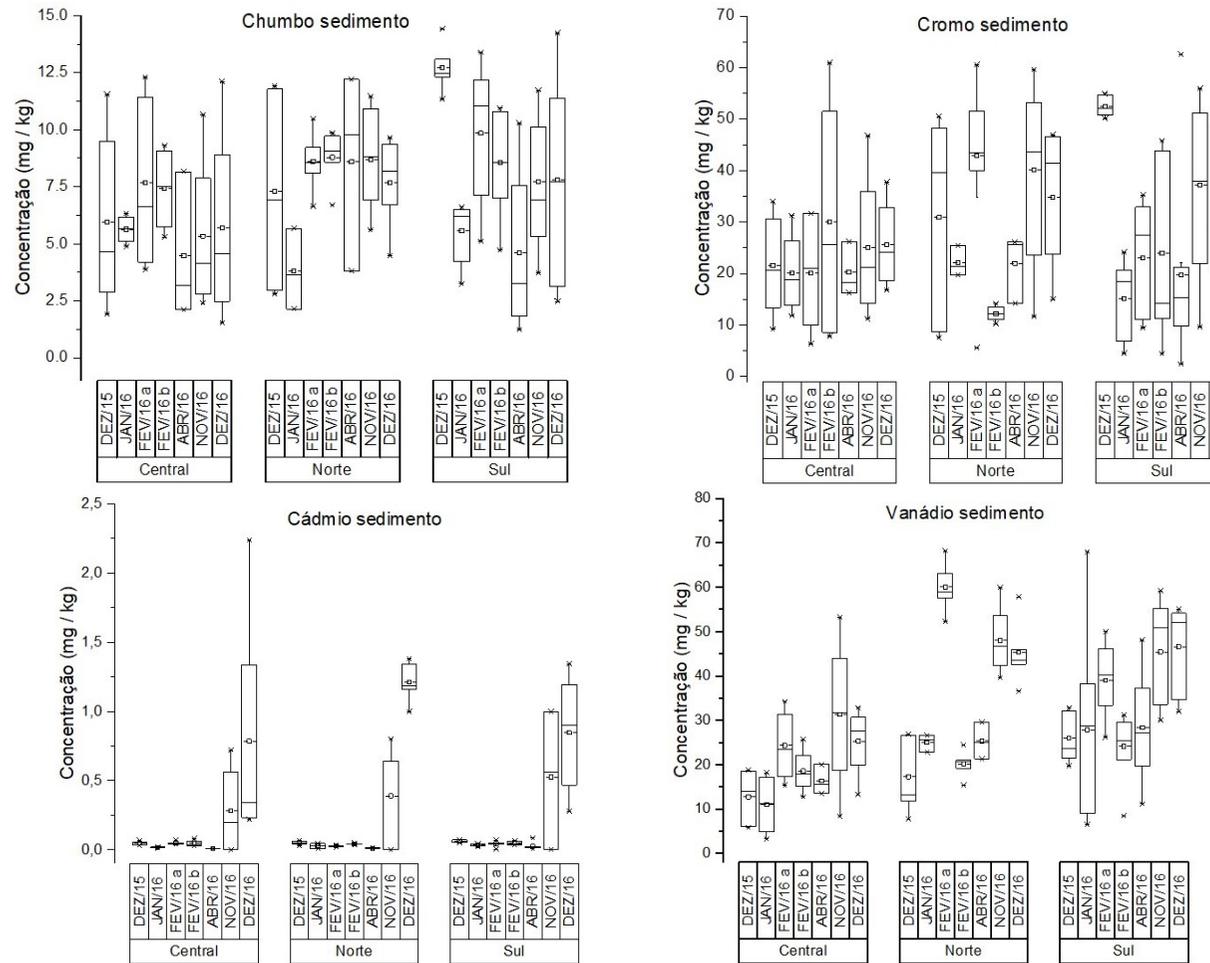
Fonte: Autoria própria.

Figura 29: : Concentração (mg/kg) em sedimentos superficiais de Cobre (Cu), Níquel (Ni), Zinco (Zn) e Arsênio (As) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce para os setores Central, Norte e Sul.



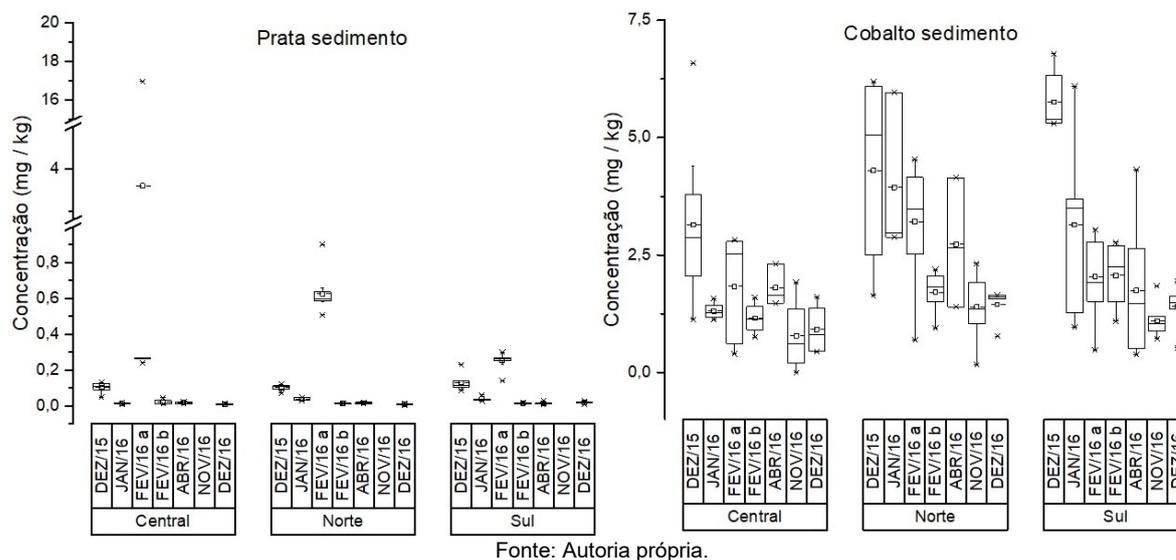
Fonte: Autoria própria.

Figura 30: Concentração (mg/kg) em sedimentos superficiais de Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Cádmio (Cd) e Vanádio (V) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce para os setores Central, Norte e Sul.



Fonte: Autoria própria.

Figura 31: Concentração (mg/kg) em sedimentos superficiais de Prata (Ag) e Cobalto (Co) na região costeira adjacente da foz do Rio Doce para os setores Central, Norte e Sul



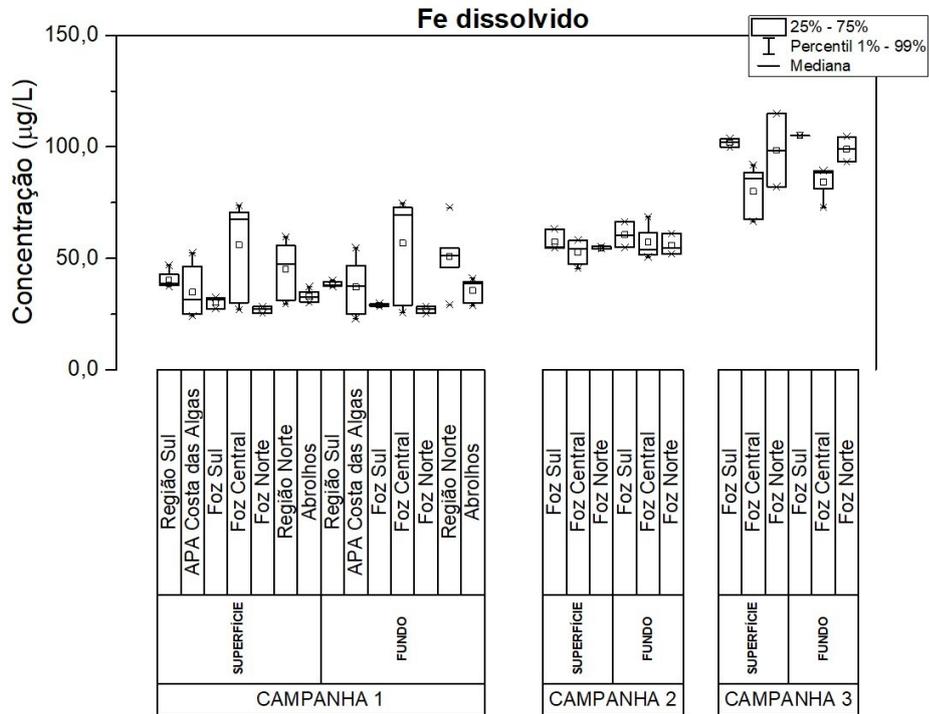
Nos próximos tópicos serão abordados os resultados referentes aos metais e metalóide analisados nas campanhas 1, 2 e 3. Dentre estas campanhas, pontos amostrais foram agrupados em regiões para melhor apresentação dos dados e entendimento do comportamento desses elementos.

#### 1.2.2.6 Metais dissolvidos

##### Campanha 1

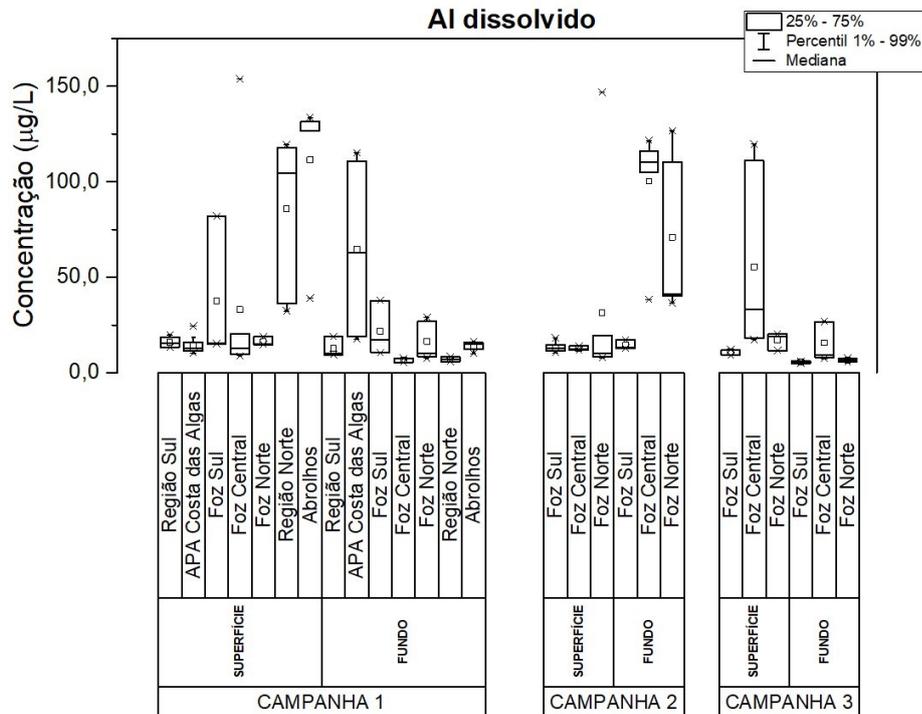
As concentrações de metais dissolvidos em água apresentam grande variabilidade em termos de concentrações quando comparadas as diferentes regiões abordadas nesse trabalho. Esse comportamento é esperado, uma vez que esses elementos estão sujeitos não somente às diversas reações químicas (precipitação, solubilização, adsorção, etc.), mas também estão suscetíveis às diversas forçantes físicas marinhas, como correntes, marés, ou mesmo assimilação biológica em alguns casos. Para esta campanha, os elementos Fe, Co, Cu, Ni e Zn apresentaram concentrações médias mais elevadas na região FOZ (Figuras 10, 17, 19, 20 e 23, respectivamente), sendo o Cu na porção FOZ SUL ( $0,933 \pm 1,138 \mu\text{g/L}$ ) e o Zn na FOZ NORTE ( $4,729 \pm 2,923 \mu\text{g/L}$ ), enquanto que Fe, Co e Ni apresentaram essas concentrações na FOZ CENTRAL ( $56,434 \pm 21,257 \mu\text{g/L}$ ,  $0,193 \pm 0,108 \mu\text{g/L}$  e  $0,782 \pm 0,114 \mu\text{g/L}$ , respectivamente). Em relação ao Al, Mn, Ba, Cr e Pb apresentaram suas maiores concentrações médias na região NORTE ( $93,040 \pm 35,382 \mu\text{g/L}$ ,  $0,487 \pm 0,080 \mu\text{g/L}$ ,  $1,489 \pm 0,515 \mu\text{g/L}$ ,  $0,589 \pm 0,181 \mu\text{g/L}$  e  $0,137 \pm 0,068 \mu\text{g/L}$ , respectivamente). Enquanto que para os elementos As, Cd e V, suas maiores concentrações médias ocorreram na região da APA COSTA DAS ALGAS ( $0,573 \pm 0,805 \mu\text{g/L}$ ,  $0,083 \pm 0,047 \mu\text{g/L}$  e  $0,311 \pm 0,238 \mu\text{g/L}$ , respectivamente). Somente a Ag apresentou as maiores concentrações médias na região de ABROLHOS, com concentrações de  $0,067 \pm 0,018 \mu\text{g/L}$ .

Figura 32: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de Ferro dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



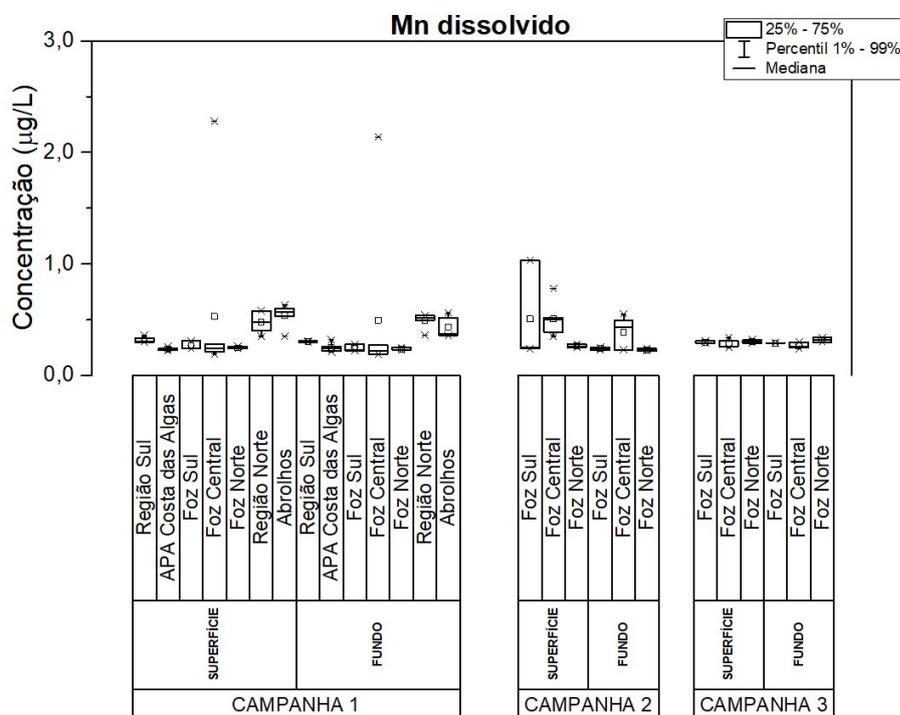
Fonte: Autoria própria.

Figura 33: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de alumínio dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3



Fonte: Autoria própria.

Figura 34: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de manganês dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3

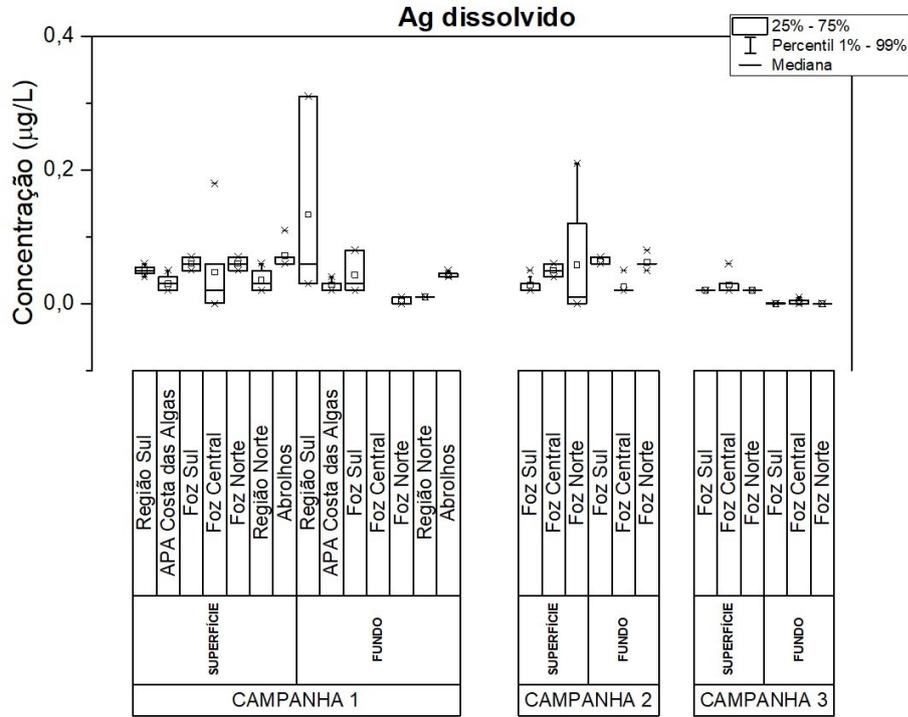


Fonte: Autoria própria.

### Campanha 2

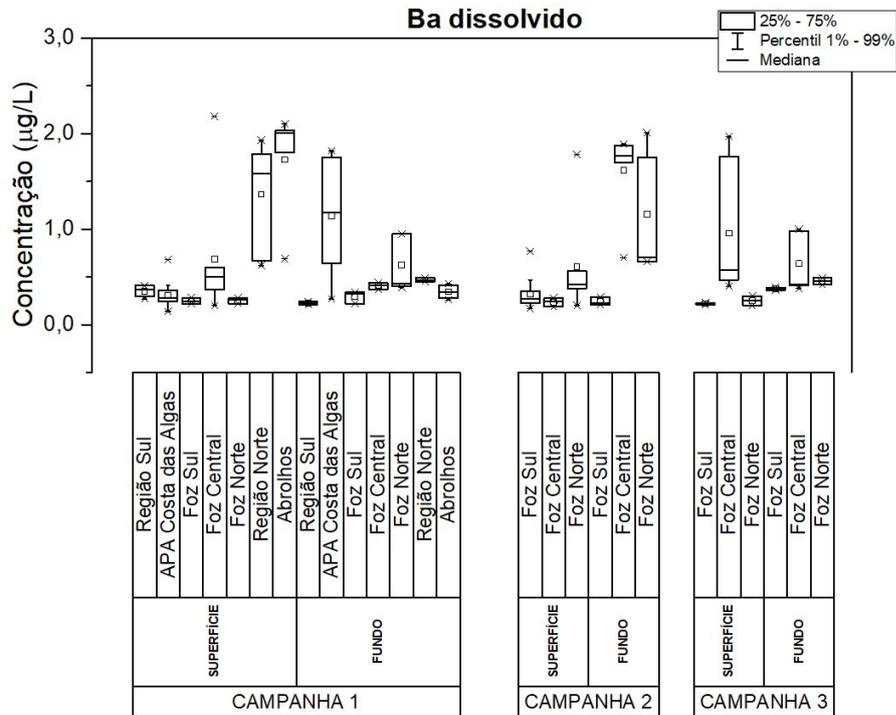
Na campanha realizada em novembro de 2018, as concentrações médias de Fe ( $56,153 \pm 5,672 \mu\text{g/L}$ ), Al ( $39,391 \pm 40,868 \mu\text{g/L}$ ) e Ba ( $0,676 \pm 0,639 \mu\text{g/L}$ ) na região da Foz tiveram elevação em seus valores quando comparadas com as da campanha anterior (Campanha 1; Figura 32, Figura 33, Figura 36, respectivamente). Ao setorizar a região da Foz em Norte, Central e Sul, o elemento Fe apenas mostra elevação em suas concentrações médias nas porções Norte e Sul da Foz, sendo que na região Central, a concentração manteve-se equivalente aos encontrados na campanha Campanha 1. Concentrações de alumínio foram as que apresentaram maior elevação nas regiões da Foz Central ao fundo e Foz Norte em ambas as profundidades, sendo que na Foz Sul, as concentrações mantiveram-se equivalentes a campanha Campanha 1 (Figura 32). Já o aumento das concentrações de Ba, restringiu-se a Foz Central ao fundo (Figura 36). Esse concomitante aumento dos níveis de Fe e Al juntamente com Ba, especialmente na Foz Central, pode indicar um aumento da descarga fluvial nesse período, sendo o Ba um traçador de águas continentais (Plewa et al., 2006). Os demais elementos, não apresentaram alterações significativas em suas concentrações médias ao longo da Foz, contudo, alterações pontuais podem ser observadas.

Figura 35: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de prata dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



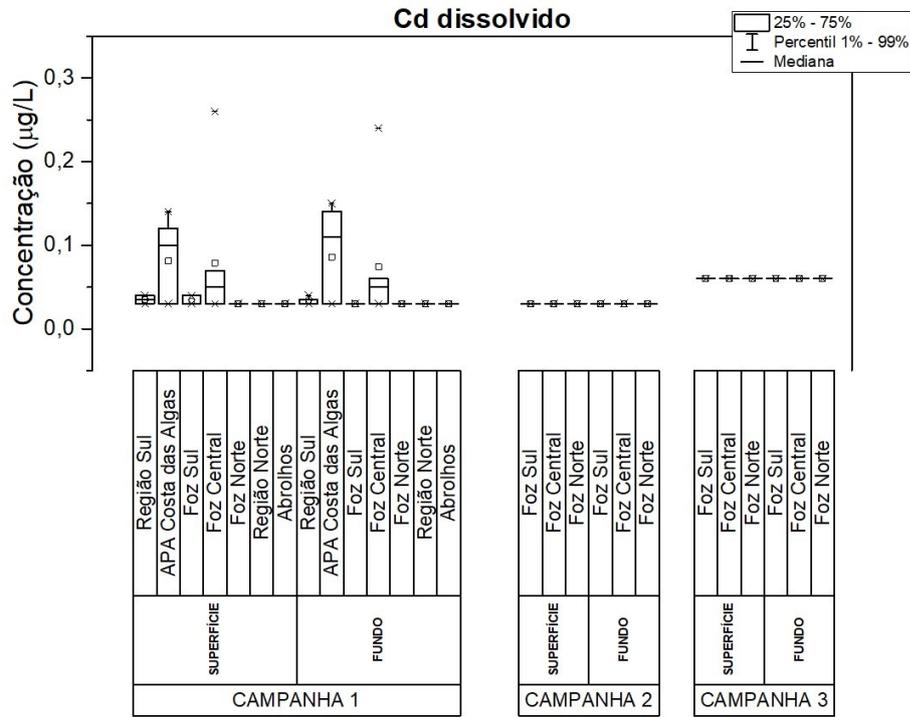
Fonte: Autoria própria.

Figura 36: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de bário dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



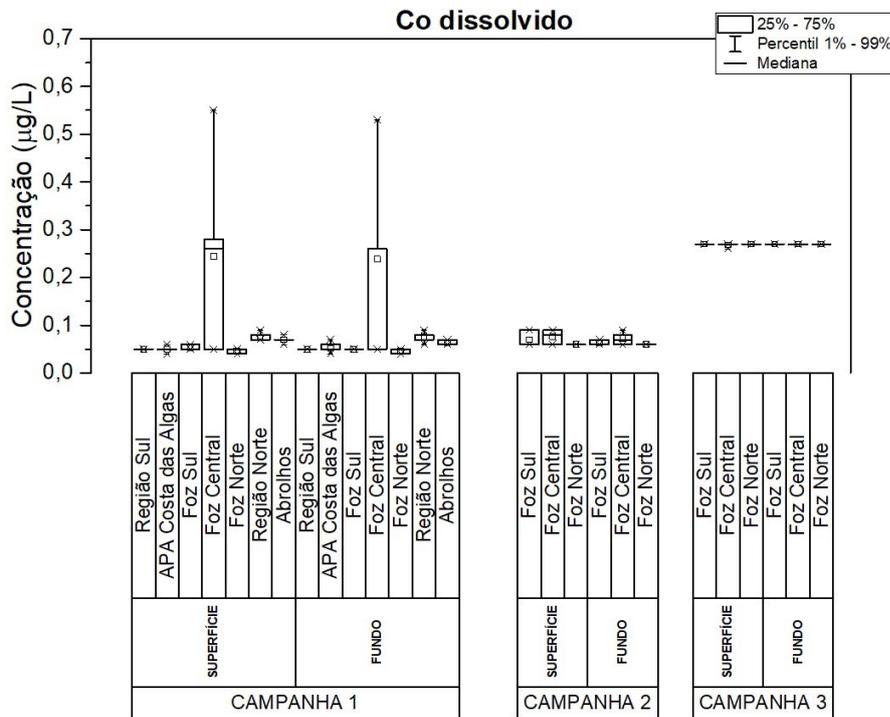
Fonte: Autoria própria.

Figura 37: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cádmio dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



Fonte: Autoria própria.

Figura 38: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cobalto dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



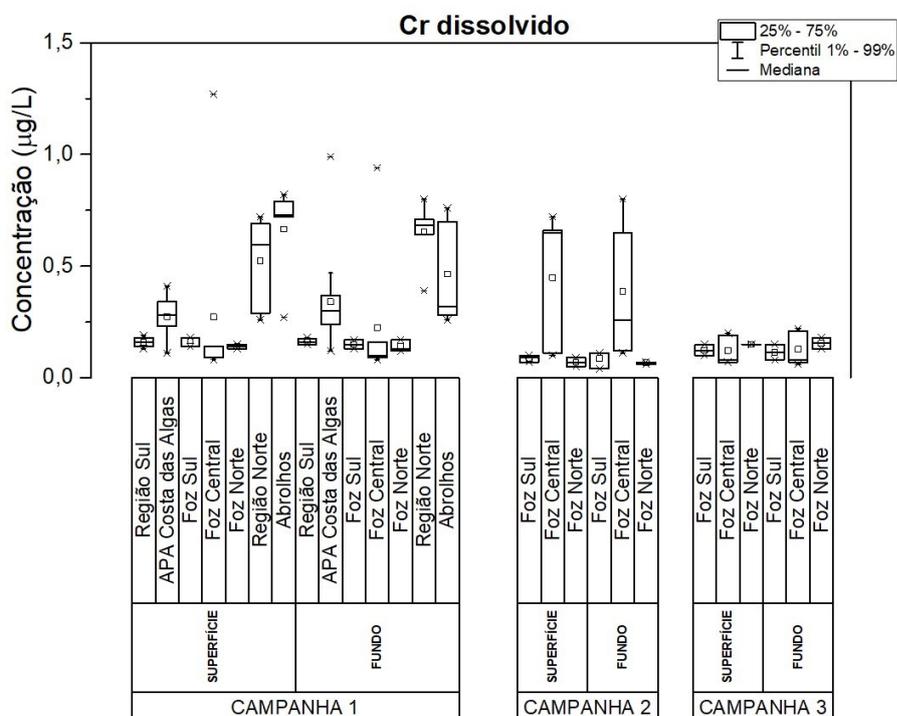
Fonte: Autoria própria.

### Campanha 3

De forma similar a Campanha 2, as concentrações médias de Fe dissolvido na região da Foz apresentaram um aumento significativo se comparado as campanhas anteriores apresentadas neste trabalho ( $91,160 \pm 13,358 \mu\text{g/L}$ ; Figura 32). Outros elementos em que se pode observar esse mesmo padrão são Cd ( $0,062 \pm 0,002 \mu\text{g/L}$ ), Co ( $0,226 \pm 0,001 \mu\text{g/L}$ ) e, de forma menos significativa, o Ni ( $0,821 \pm 0,117 \mu\text{g/L}$ ; Figuras 30, 31 e 34, respectivamente). Al e Ba apresentaram o mesmo comportamento, mantendo as concentrações médias em níveis similares aos da Campanha 2. Contudo, é possível observar uma mudança das concentrações mais elevadas nas profundidades entre as Campanhas 2 e 3, com maiores valores ao fundo na Campanha 2 e em superfície na Campanha 3 (Figura 33, Figura 34, Figura 35, Figura 36, respectivamente). Esse tipo de comportamento pode estar relacionado a diferenças na entrada de água continental no ambiente marinho e sua dispersão sobre a região estudada.

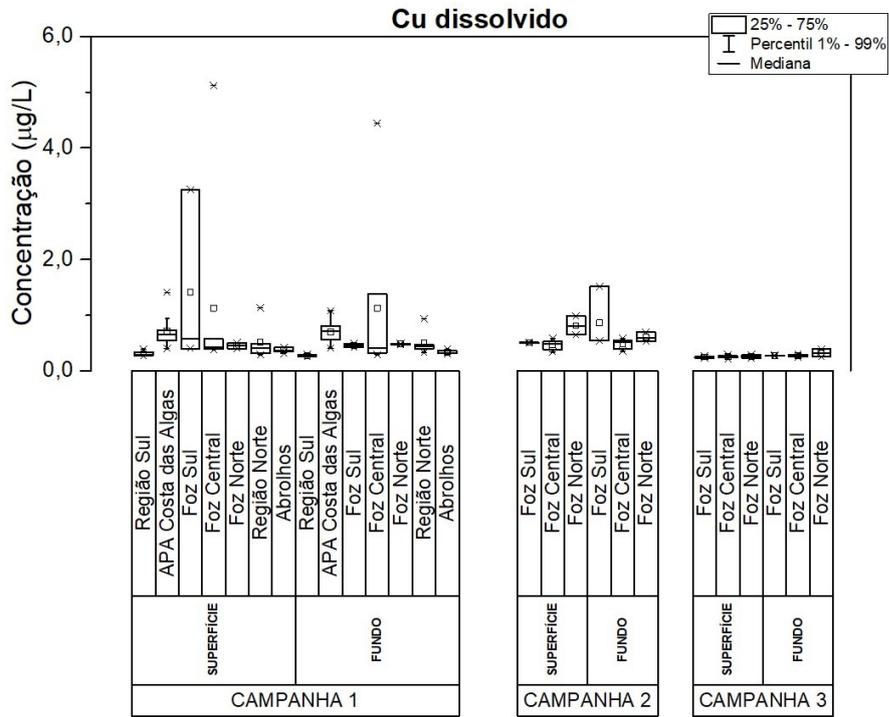
Os elementos As, Cr, Cu, Mn e Pb não mostraram variações significativas entre as campanhas deste estudo na região da Foz. Já para os elementos Ag e V, houve um decréscimo de suas concentrações na Campanha 3 em relação as Campanhas 1 e 2, podendo esses elementos estarem sofrendo processos físicos e químicos como precipitação e particionamento, alterando seu estado de forma no ambiente (Turner, 1996).

Figura 39: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cromo dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



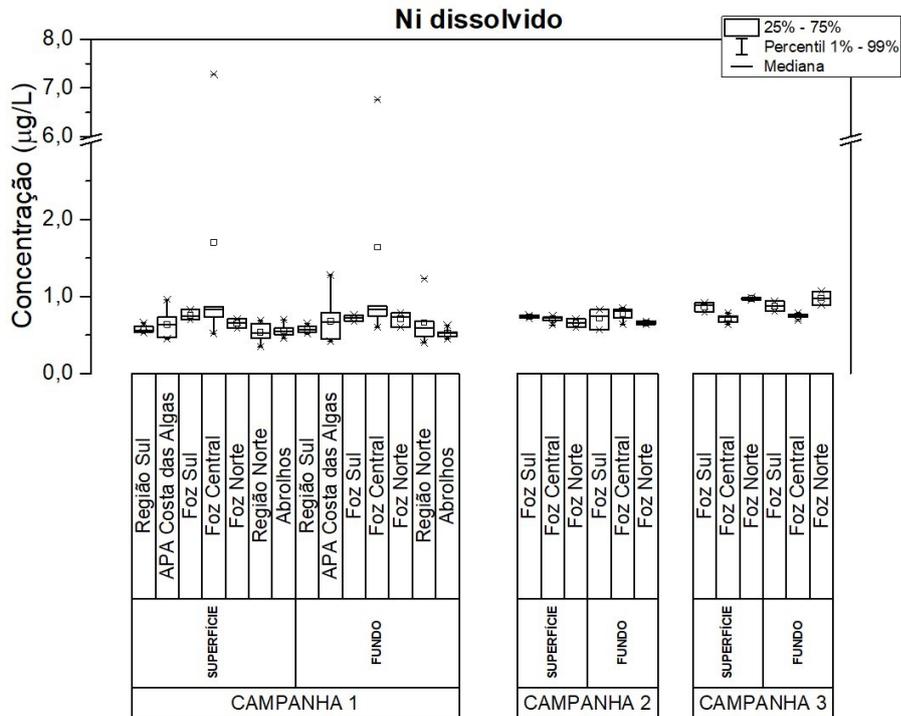
Fonte: Autoria própria.

Figura 40: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cobre dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3



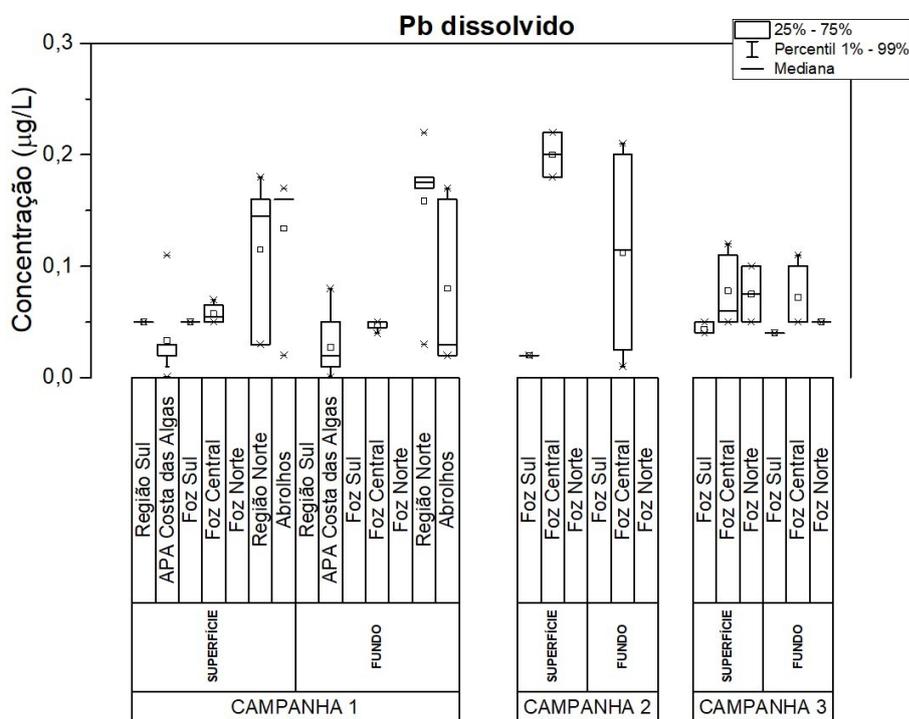
Fonte: Autoria própria.

Figura 41: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de níquel dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



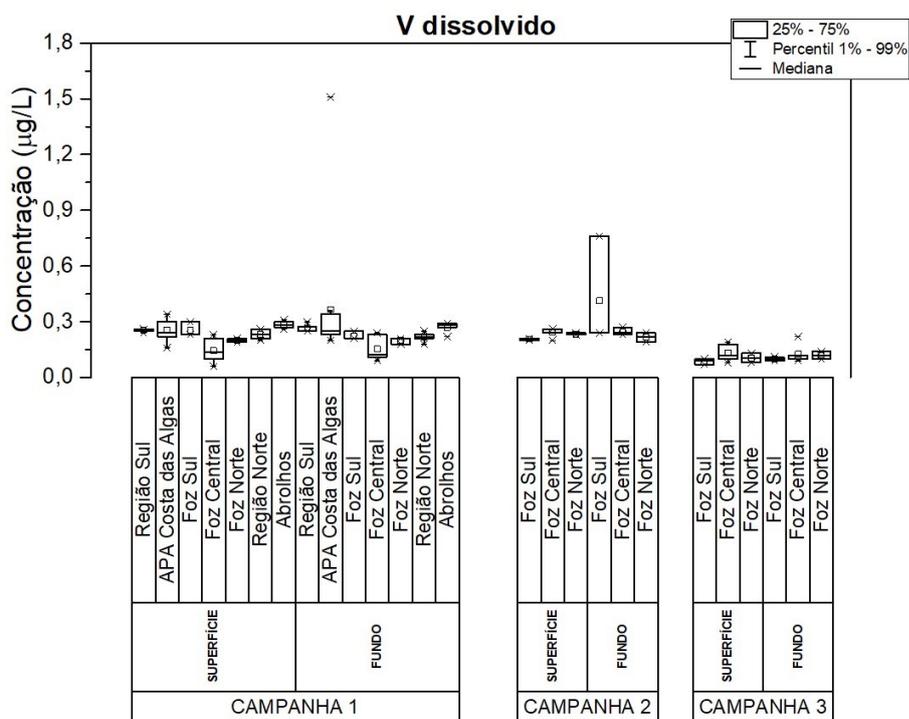
Fonte: Autoria própria.

Figura 42: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de chumbo dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



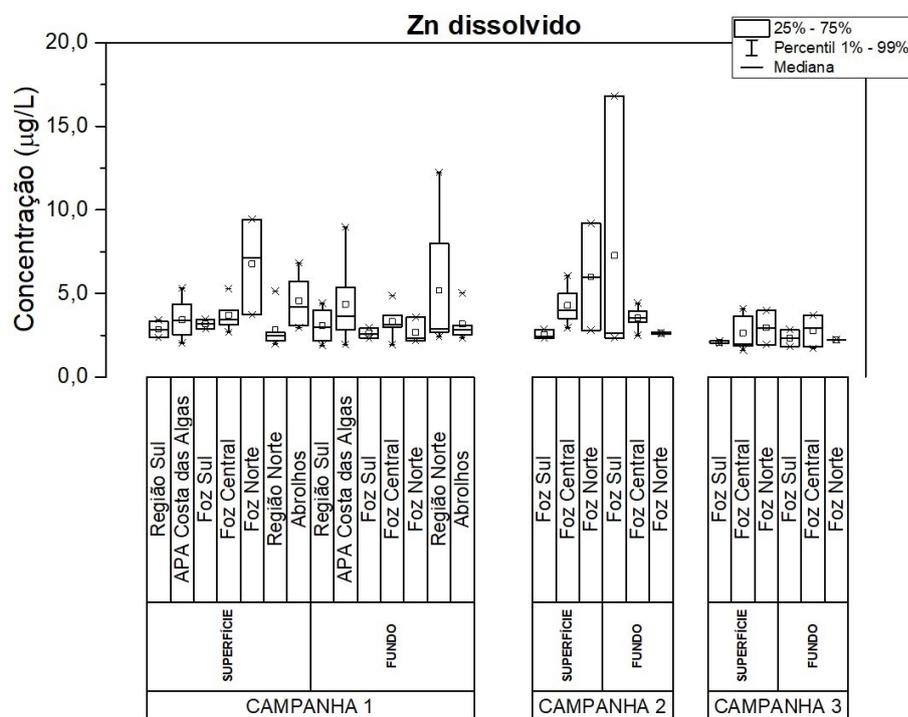
Fonte: Autoria própria.

Figura 43: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de vanádio dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



Fonte: Autoria própria.

Figura 44: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de vanádio dissolvido nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



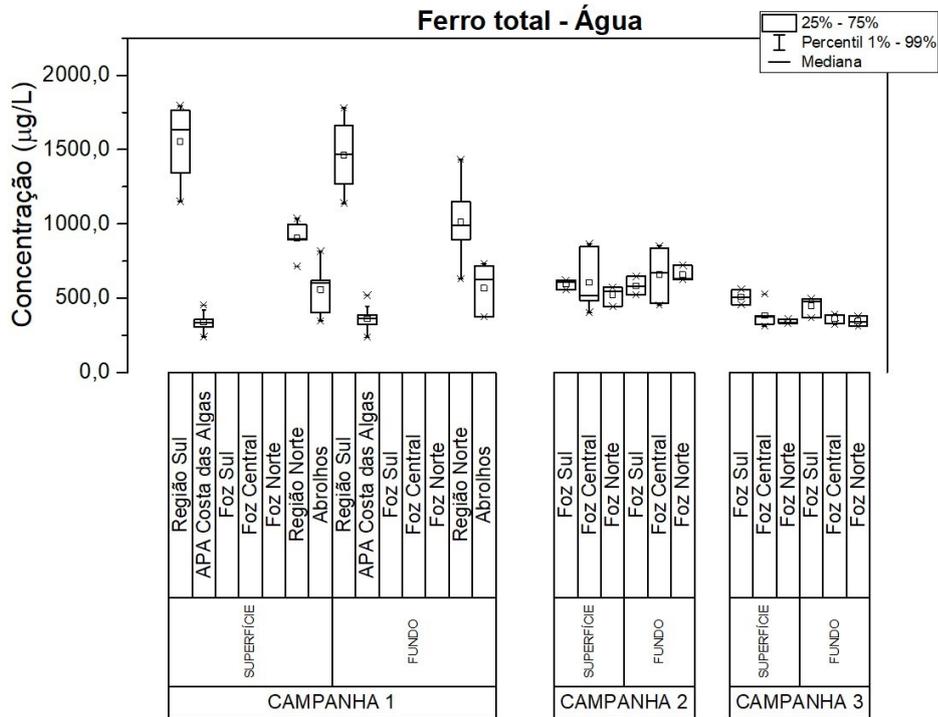
Fonte: Autoria própria.

### 1.2.2.7 Metais totais – água

#### Campanha 1

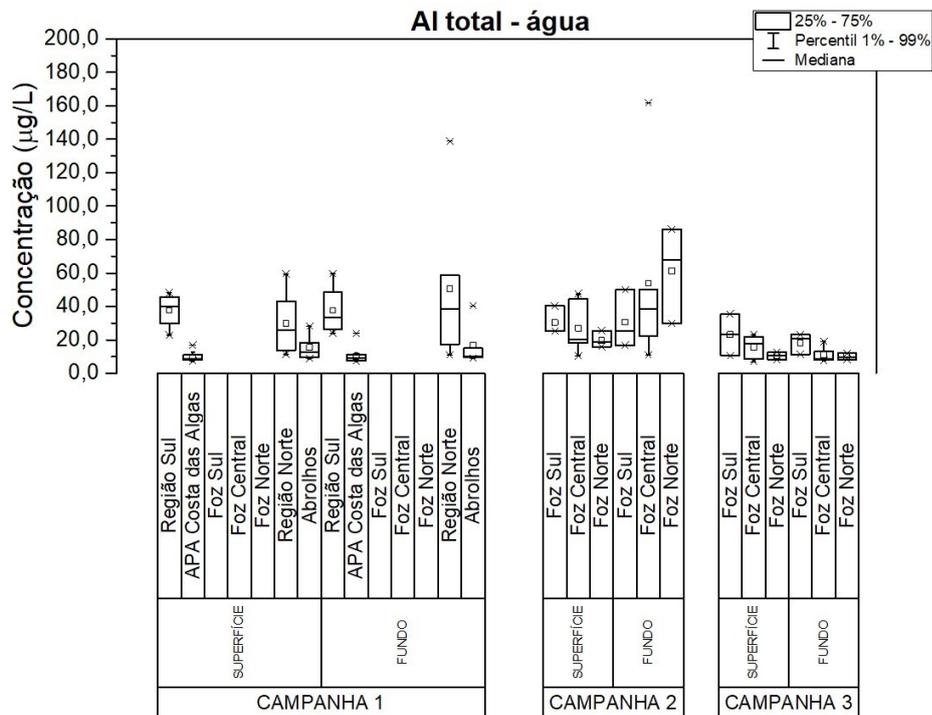
No que tange os elementos presentes na fração total da água na campanha Campanha 1, todos os elementos, com exceção do Al, apresentaram concentrações médias mais elevadas na região sul (Vitória e Guarapari). Em termos de nível de concentração médias, em ordem decrescente, os elementos se dispuseram da seguinte forma: Fe, Al, Zn, As, V, Cu, Ba, Mn, Ni, Cr, Co, Pb, Ag e Cd. Ferro apresentou concentrações médias mais elevadas na Região Sul ( $1508,873 \pm 263,357 \mu\text{g/L}$ ; Figura 45), seguido pela Região Norte ( $959,918 \pm 206,955 \mu\text{g/L}$ ) e Abrolhos ( $562,136 \pm 172,529 \mu\text{g/L}$ ). Outros elementos, como Al, Mn, Ag, Ba, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn também apresentaram esse mesmo comportamento (Figura 39, Figura 40, Figura 41, Figura 43, Figura 46, Figura 47, Figura 48, Figura 49, Figura 50 e Figura 51). Entretanto, As, Cd e Co, apesar de apresentarem maiores concentrações médias na região Sul como os elementos citados anteriormente, a região da APA Costa das Algas apresenta as subseqüentes concentrações mais elevadas (Figura 42, Figura 44 e Figura 45).

Figura 45: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de Ferro total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



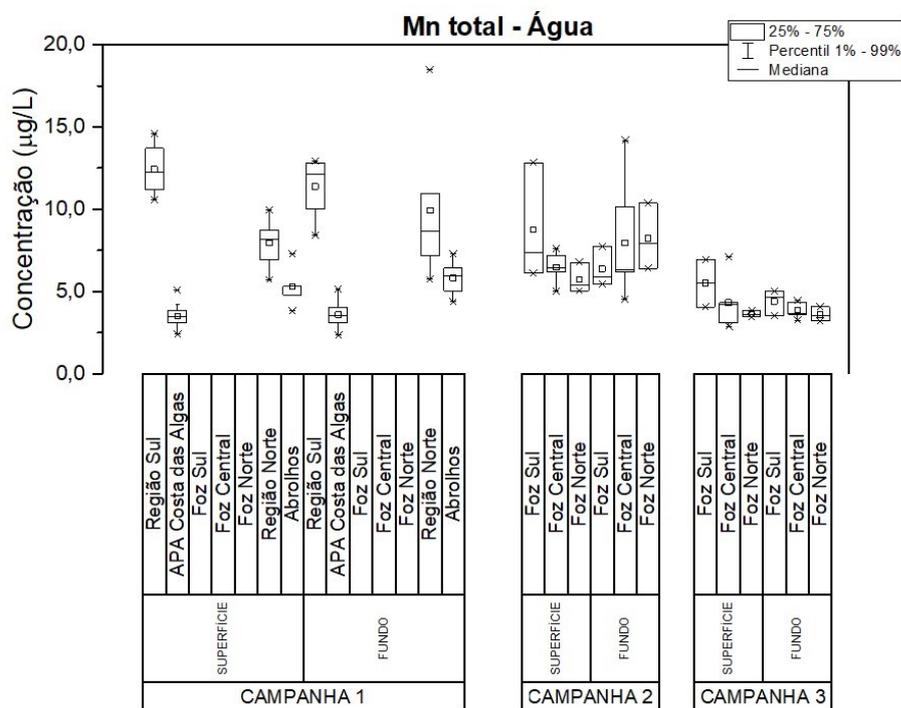
Fonte: Autoria própria.

Figura 46: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de Alumínio total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



Fonte: Autoria própria.

Figura 47: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de Manganês total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.

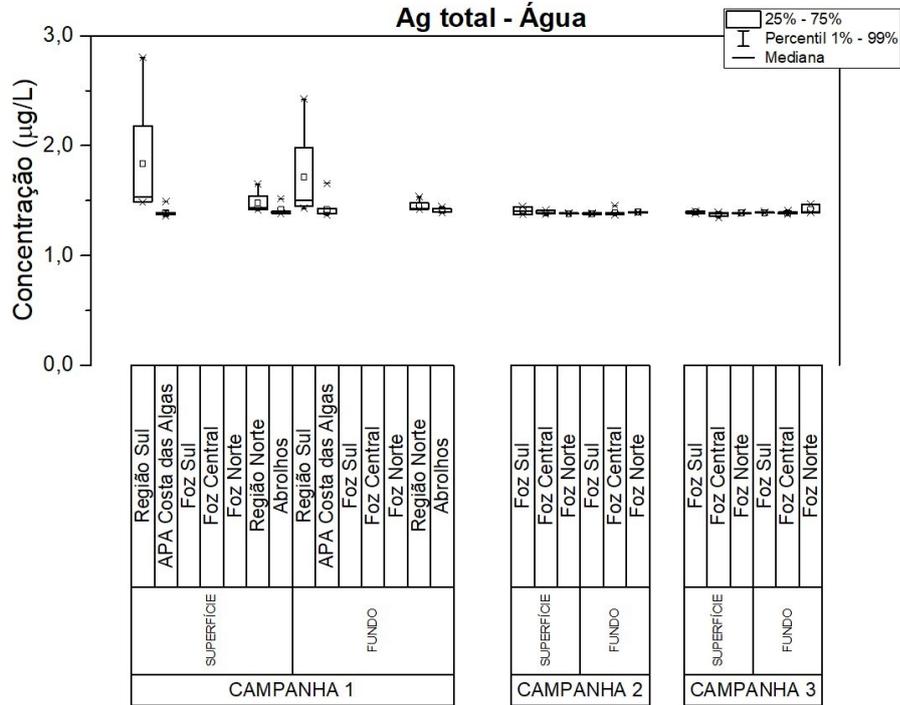


Fonte: Autoria própria.

## Campanha 2

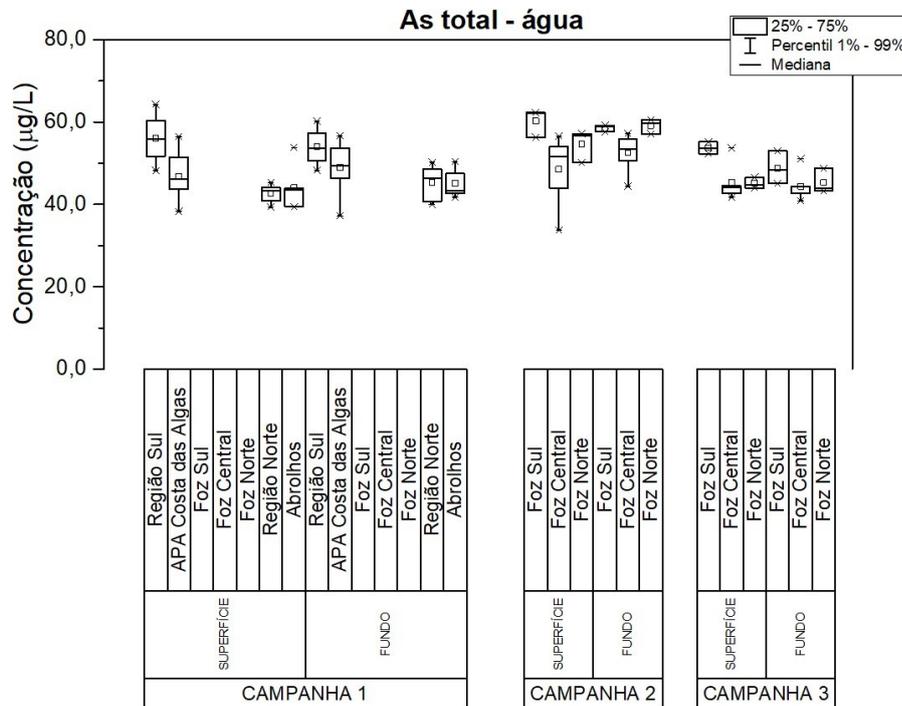
Em termos de comparação com a Campanha 1, as concentrações médias dos elementos analisados na Campanha 2 estão em níveis bem próximos aos encontrados em Abrolhos. Al e Mn tendem a apresentar maiores concentrações no fundo e em direção a Foz Norte (Figura 46 e Figura 47, respectivamente). Já o Ba possui uma tendência contrária a estes, sendo as concentrações desse elemento maiores na superfície em direção a Foz Sul (Figura 50). Os demais elementos não apresentaram um comportamento com variações entre profundidades, contudo é possível observar tendências das concentrações médias do As, Cu, Ni e Zn totais em direção a Região Sul em ambas profundidades (Figura 49, Figura 54, Figura 55 e Figura 58, respectivamente).

Figura 48: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de prata total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



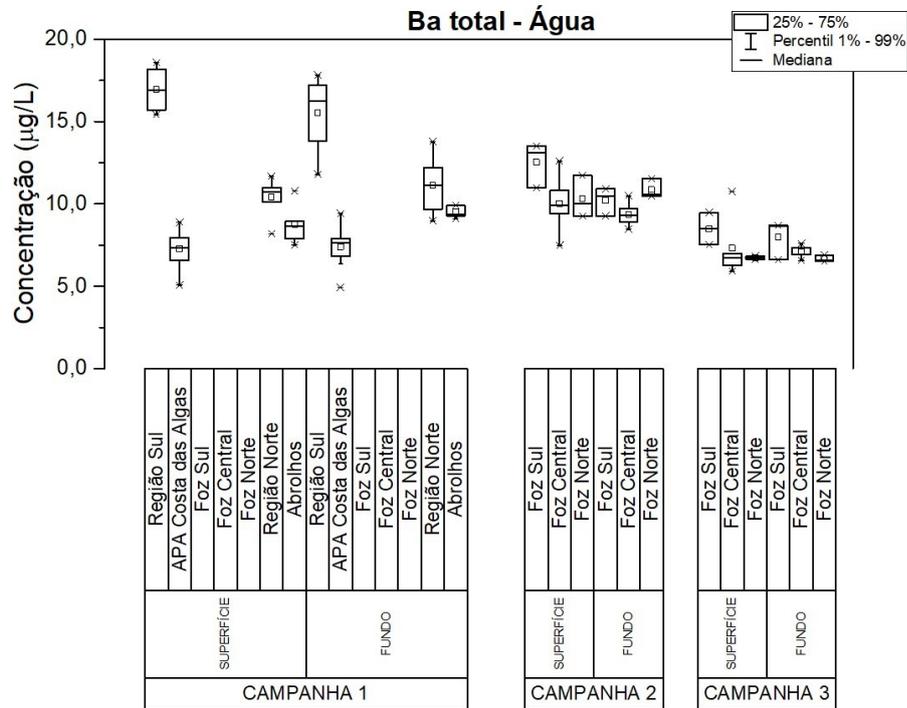
Fonte: Autoria própria.

Figura 49: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de arsênio total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



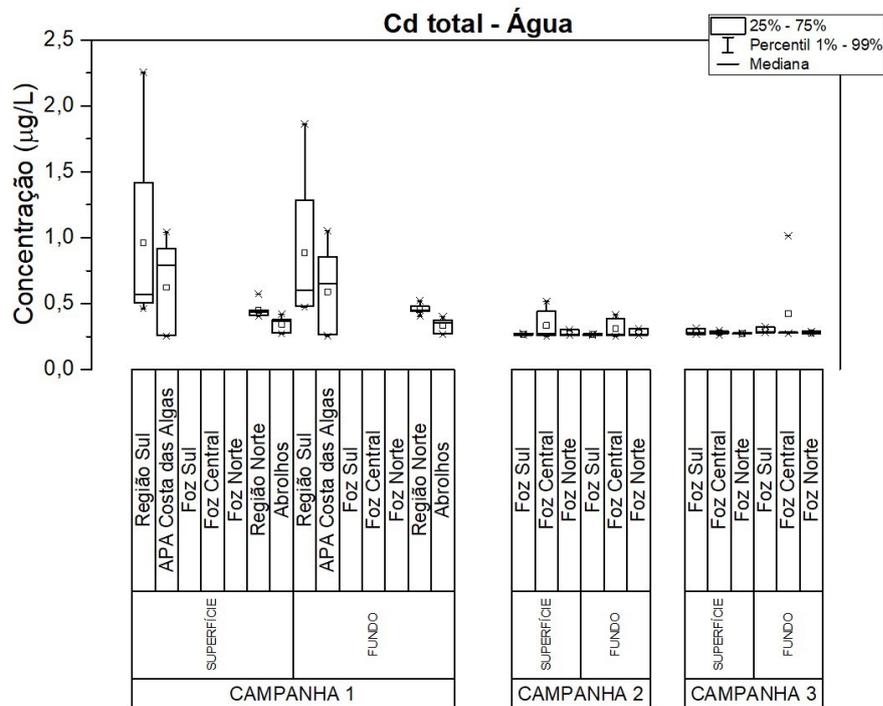
Fonte: Autoria própria.

Figura 50: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de bário total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



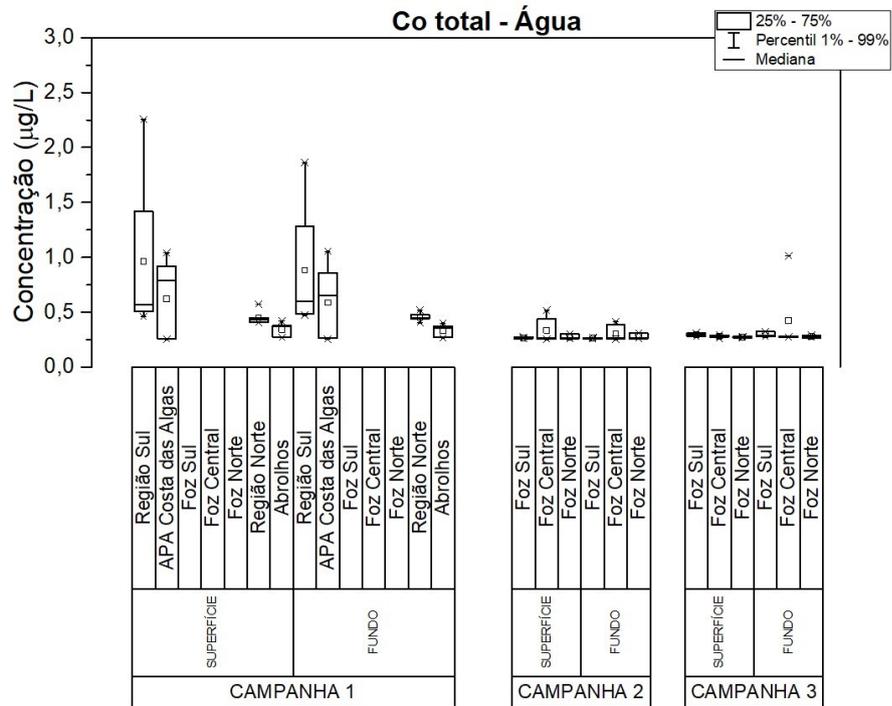
Fonte: Autoria própria.

Figura 51: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cádmio total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



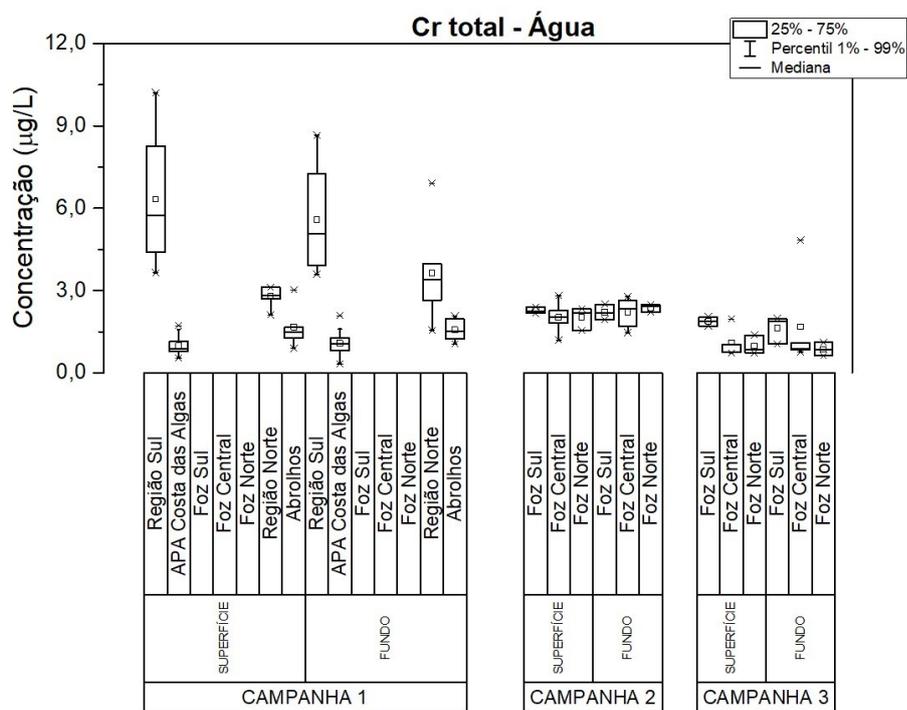
Fonte: Autoria própria.

Figura 52: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cobalto total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



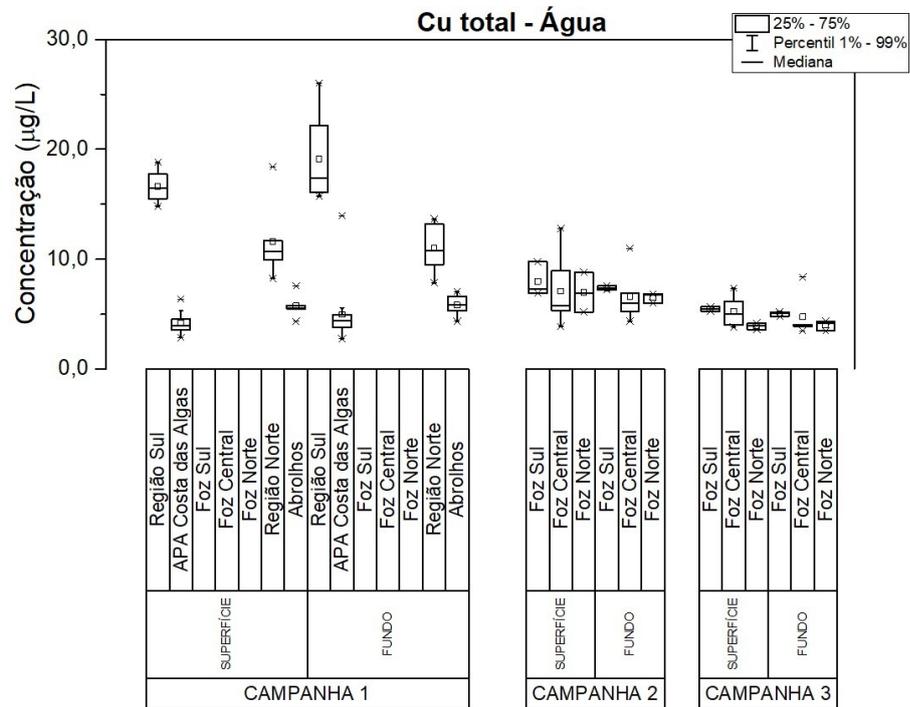
Fonte: Autoria própria.

Figura 53: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cromo total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



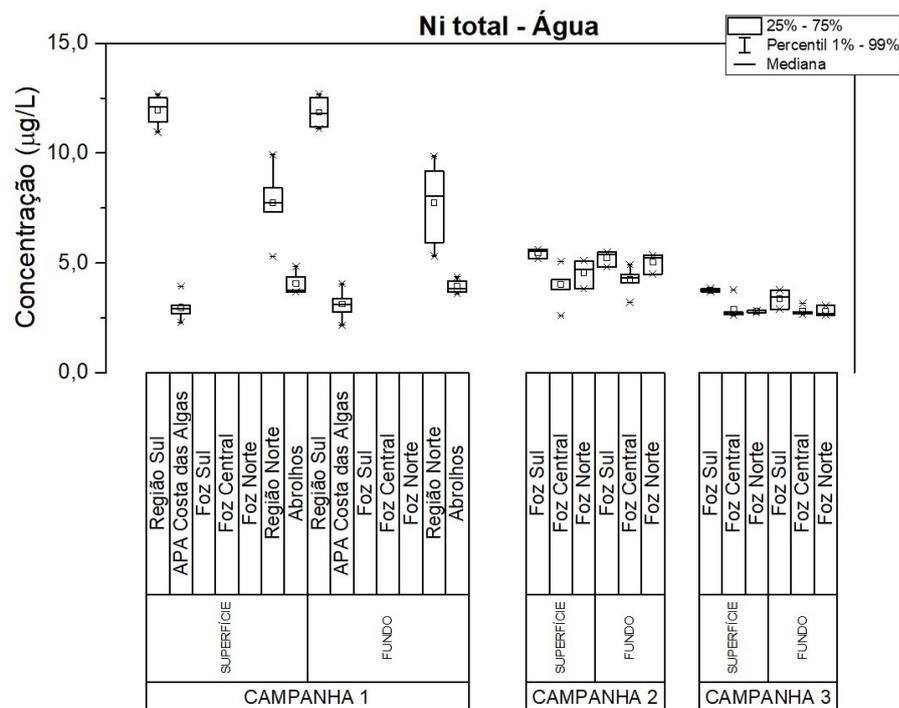
Fonte: Autoria própria.

Figura 54: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de cobre total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



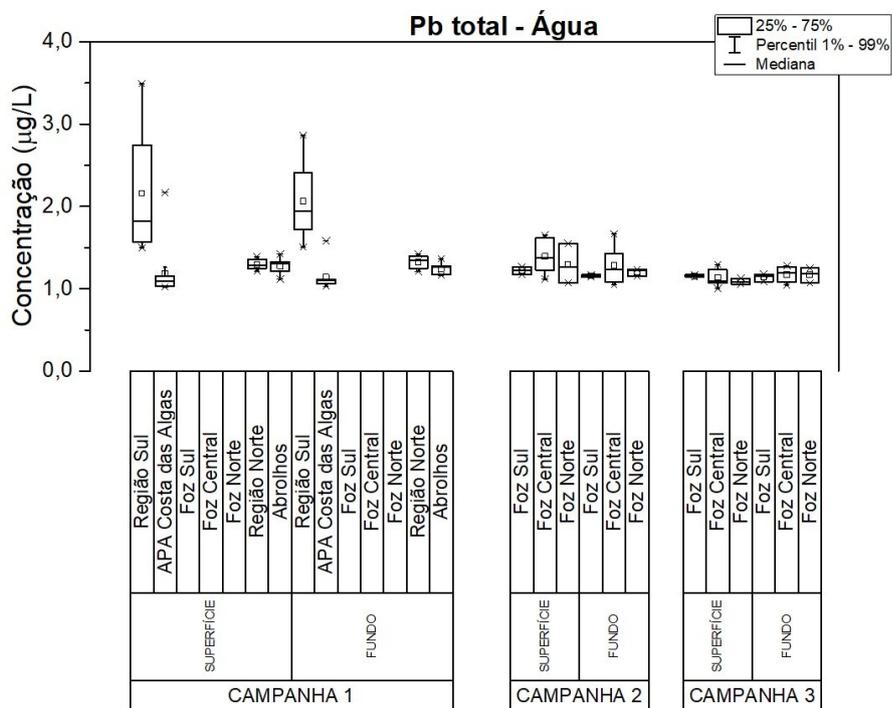
Fonte: Autoria própria.

Figura 55: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de níquel total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



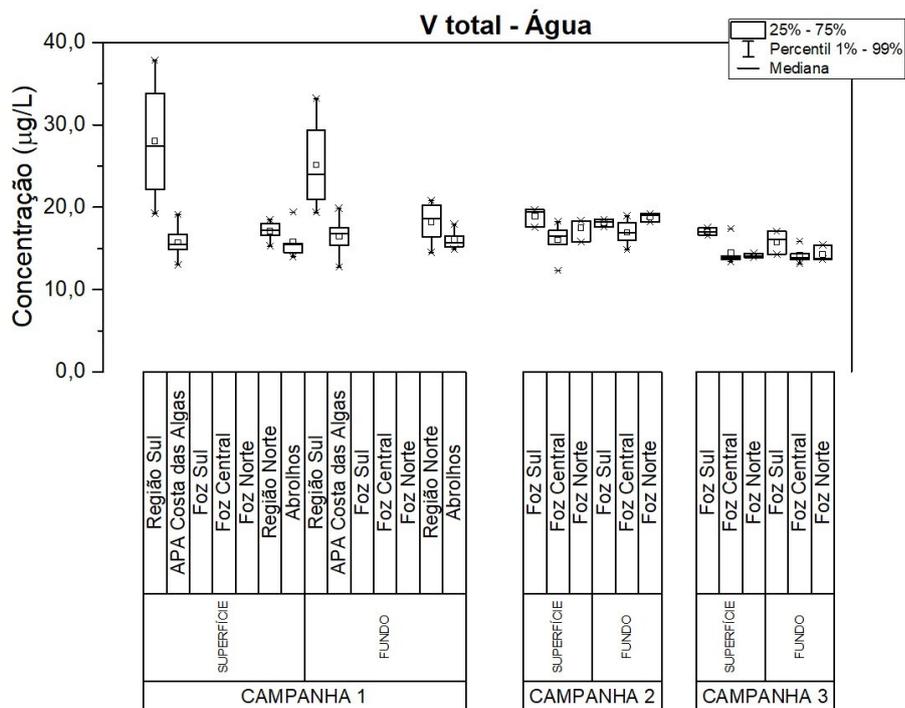
Fonte: Autoria própria.

Figura 56: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de chumbo total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



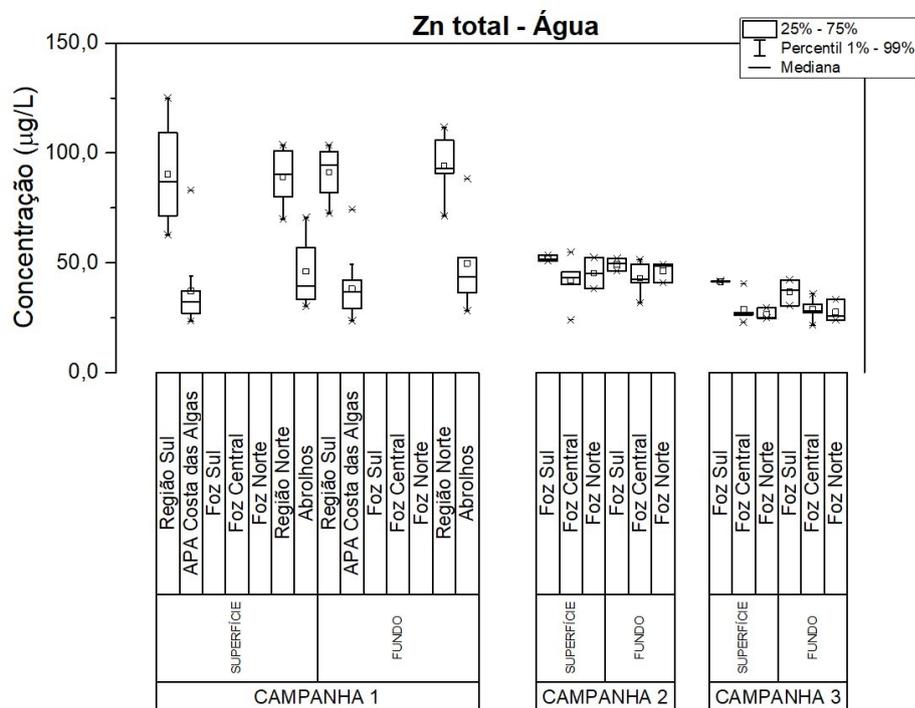
Fonte: Autoria própria.

Figura 57: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de vanádio total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



Fonte: Autoria própria.

Figura 58: Distribuição das concentrações ( $\mu\text{g/L}$ ) de zinco total nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante as campanhas 1, 2 e 3.



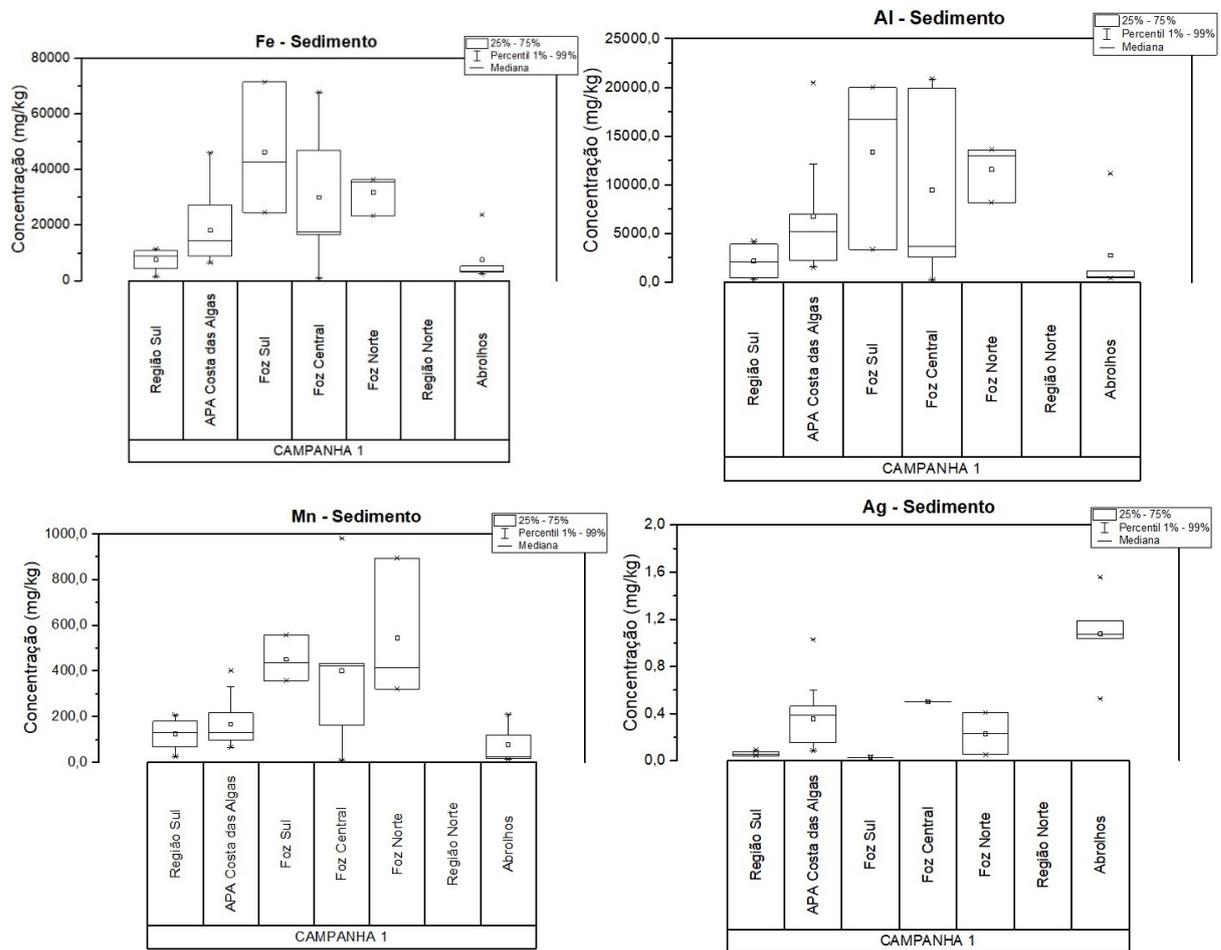
Fonte: Autoria própria.

### 1.2.2.8 Sedimento

#### Campanha 1

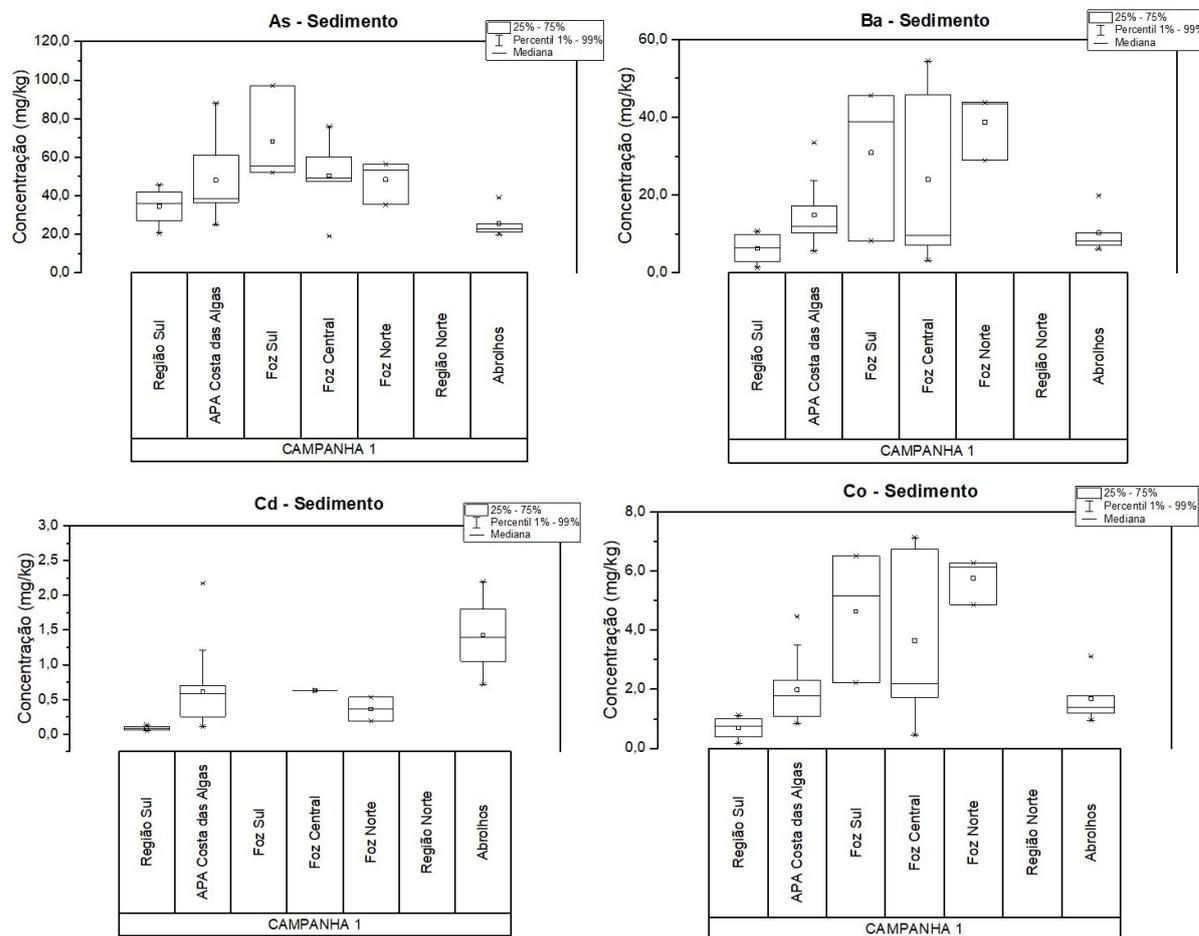
A variabilidade espacial da concentração médias dos metais e As observada nas frações dissolvidas e totais da malha amostras da campanha Campanha 1, também pode ser observada para os sedimentos, contudo, com menor intensidade para alguns metais, como o V, Ni, Cu e Ag. Os elementos Fe, Al, Mn, V e Zn apresentaram, em ordem decrescente, as maiores concentrações médias para as regiões quase todas as regiões (Sul, APA Costa das Algas, Foz Sul, Foz Central e Foz Norte; Figura 59 e Figura 62), sendo Zn maior que V em Abrolhos. Já os demais elementos, como As, Cu, Ba, Cr, Pb, Ni, Co, Cd e Ag, tem suas ordens com concentrações médias mais elevadas diferenciando com a mudança das regiões (Figura 59, Figura 60, Figura 61, Figura 62, Figuras 52, 53, 54 e 55). Os elementos Fe, Al, As, Pb e V apresentaram as maiores concentrações médias observadas na região da Foz Sul. Já os elementos Co, Cu, Ba, Cr e Mn tiveram maiores concentrações médias na região da Foz Norte. Enquanto que Ni, Ag, Cd e Zn apresentaram médias maiores em Abrolhos. Excepcionalmente, baixos valores de todos os elementos no ponto SD01 são reflexo da elevada granulometria do sedimento coletado, sendo o mesmo muito arenoso, o que pode causar uma menor retenção desses elementos

Figura 59: Distribuição das concentrações (mg/kg) de ferro, alumínio, manganês e prata nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante a campanha 1



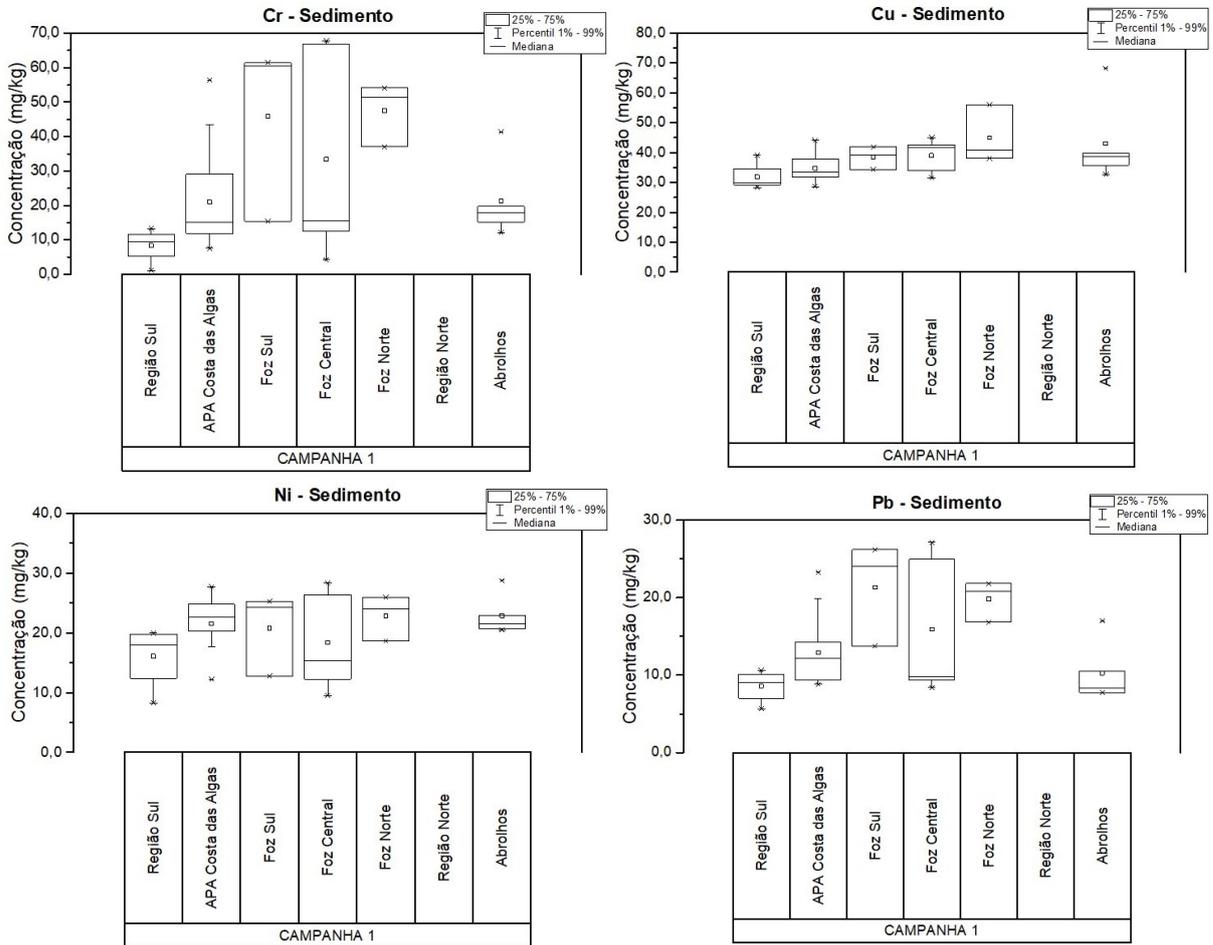
Fonte: Autoria própria.

Figura 60: Distribuição das concentrações (mg/kg) de arsênio, cobalto, cádmio e cobalto nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante a campanha 1.



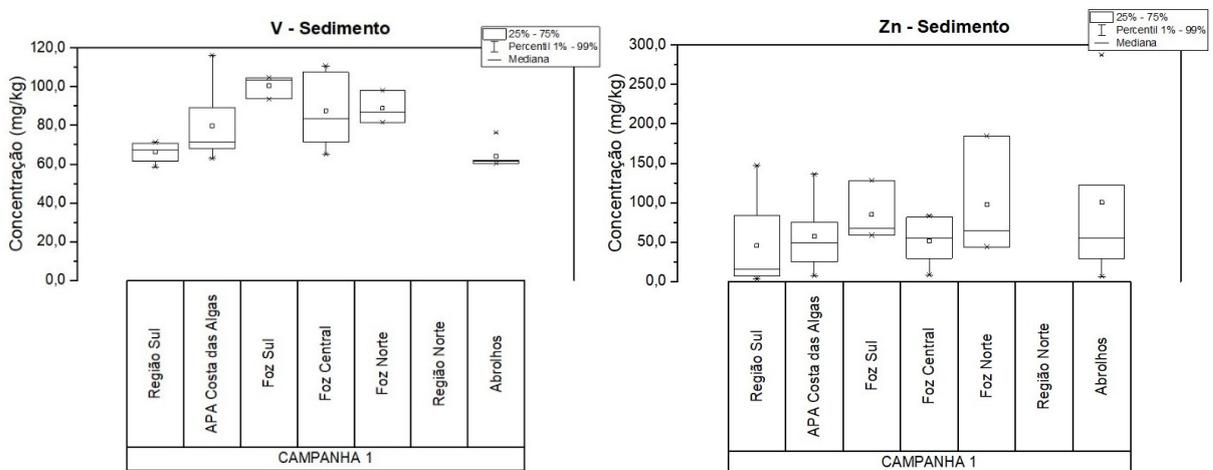
Fonte: Autoria própria.

Figura 61: Distribuição das concentrações (mg/kg) de cromo, cobre, níquel e chumbo nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante a campanha 1.



Fonte: Autoria própria.

Figura 62: Distribuição das concentrações (mg/kg) de vanádio e zinco nas regiões Sul, APA Costa das Algas, Foz, Norte e Abrolhos durante a campanha 1



Fonte: Autoria própria.

#### 1.2.2.9 Metais x valores referência (legislação brasileira e referência internacional)

Os resultados aqui apresentados e valores referência, seja indicado pela legislação brasileira ou por organizações ambientais internacionais, podem ser encontrados no Quadro 6 (metais dissolvidos), Quadro 7 (metais totais em água) e Quadro 8 (metais em sedimentos).

Avaliando os resultados das campanhas 1, 2 e 3 para os metais e arsênio dissolvidos, todos os elementos estudados estão abaixo da legislação brasileira estabelecida pela norma CONAMA 357 de 2015, ou mesmo valores estabelecidos pela Agência Norte-americana de proteção Ambiental (Environmental Protection Agency – EPA) por critérios nacionais de qualidade de água (NRWQC, 2004). Nos estudos realizados em 2015 e 2016, pode observar valores acima dessas normas supracitadas, como Al, Fe e Cu para a CONAMA 357/2005 e para Cr, Cu, Ni, Pb e Zn para a EPA-NRWQC/2004.

Já considerando os metais totais em água, foi observado concentrações de As, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn acima dos valores referenciados pela CONAMA 357/2005 e EPA – NRWQC/2004 para as campanhas realizadas após o desastre. No que se refere ao presente estudo, apenas foi observado concentrações de As, Cu e Zn acima das estabelecidas pelas normas supracitadas. Concentrações essas encontradas principalmente nas regiões Norte e Sul da campanha 1

Quadro 6 : Concentração mínimas, máximas, médias, medianas e desvio padrão de Ferro(Fe), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Arsênio (As), Prata (Ag), Bário (Ba), Cádmi (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Vanádio (V) e Zinco (Zn) dissolvidos da região costeira adjacente da foz do Rio Doce e demais regiões. Valores das concentrações expressos em µg/L

Campanha	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
<b>Campanhas pós-desastre</b>															
NOV/15	Mín.	7,87	26,87	1,74	0,07	0,01	2,55	<LQ	0,06	0,85	1,18	1,99	1,58	0,28	1,09
	Máx.	307,18	316,92	167,04	2,81	0,25	135,37	0,64	1,46	8,71	10,37	23,13	20,61	4,58	43,45
	Méd.	91,96	83,55	25,00	1,00	0,08	24,75	0,09	0,81	2,52	4,18	8,72	7,23	1,69	12,37
	Med.	97,49	65,74	13,58	0,60	0,07	12,84	0,07	0,90	2,18	3,90	7,89	6,92	1,72	12,89
	DP	55,39	58,05	31,44	0,81	0,06	24,98	0,11	0,47	1,46	2,15	5,23	5,15	0,88	7,81
DEZ/15	Mín.	25,00	51,80	0,00	0,13	0,00	0,53	0,01	0,40	12,32	3,81	3,35	10,57	0,00	6,10
	Máx.	226,00	1360,92	62,58	3,51	3,40	20,82	0,28	0,94	102,60	54,92	63,54	51,30	13,20	101,00
	Méd.	72,94	258,04	6,38	1,75	0,83	5,00	0,06	0,72	22,77	17,81	20,31	25,36	4,80	40,97
	Med.	65,45	240,43	2,40	2,06	0,07	4,13	0,03	0,71	19,00	15,75	15,05	22,78	5,00	43,24
	DP	42,65	221,01	12,81	0,96	1,16	3,83	0,06	0,12	14,53	11,75	15,02	9,02	3,25	27,21
JAN/16	Mín.	5,49	32,83	0,00	0,00	0,00	0,57	0,00	0,04	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59
	Máx.	177,54	382,00	9,80	2,30	1,00	65,00	2,85	3,47	28,00	27,50	16,15	61,00	71,00	151,00
	Méd.	47,68	160,49	2,82	0,85	0,08	35,37	0,80	1,44	16,21	7,37	11,06	30,78	6,74	57,93
	Med.	44,00	151,08	0,87	0,60	0,02	51,50	0,55	1,38	20,00	4,50	13,04	33,00	1,27	56,25
	DP	34,72	95,49	3,67	0,70	0,23	26,58	0,69	1,26	10,06	7,60	5,07	18,73	18,23	43,00
FEV/16 a	Mín.	0,04	7,69	0,07	1,16	<LQ	0,88	0,03	0,03	1,25	0,02	<LQ4	0,03	0,41	5,50
	Máx.	161,05	401,33	5,22	6,33	2,29	7,81	0,32	0,68	11,21	2,47	13,90	5,44	3,24	59,08
	Méd.	28,73	69,39	0,64	3,42	0,29	3,59	0,13	0,21	4,10	0,49	3,30	0,27	1,57	24,42
	Med.	19,63	53,62	0,37	3,74	0,18	3,68	0,13	0,18	3,51	0,34	2,60	0,12	1,48	20,91
	DP	32,98	63,79	0,80	1,40	0,41	1,91	0,06	0,17	2,35	0,51	3,09	0,80	0,77	13,28

Campanha	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
<b>Campanhas pós-desastre</b>															
FEV/16 b	Mín.	48,80	0,03	<LQ	0,92	<LQ	<LQ	<LQ	0,10	0,13	0,04	5,24	0,23	0,19	0,30
	Máx.	122,29	248,52	1,62	9,54	0,17	5,52	0,25	0,24	51,75	6,71	14,42	1,02	2,18	12,62
	Méd.	83,84	77,25	0,31	2,98	0,02	1,54	0,04	0,19	16,91	2,68	10,04	0,49	0,84	3,95
	Med.	87,66	61,08	0,18	2,82	0,02	1,37	0,02	0,20	15,55	2,53	<LQ	0,50	0,70	3,32
	DP	19,85	72,34	0,35	1,85	0,03	1,46	0,06	0,03	13,75	1,61	1,87	0,13	0,55	3,08
ABR/16	Mín.	3,63	6,84	0,29	0,56	<LQ	2,23	<LQ	0,11	4,77	0,10	0,65	0,05	2,14	0,19
	Máx.	300,74	1557,26	4,53	13,22	0,09	5,79	0,24	1,00	13,26	16,86	13,54	2,01	10,64	13,96
	Méd.	51,31	259,00	1,14	4,35	0,03	4,22	0,09	0,43	7,98	6,01	3,18	0,34	3,94	4,59
	Med.	21,14	81,65	0,68	4,28	0,02	4,27	0,08	0,36	7,23	3,40	1,92	0,27	3,24	3,35
	DP	70,39	389,98	1,01	2,34	0,02	0,88	0,05	0,22	2,03	5,42	2,63	0,40	1,91	3,95
NOV/16	Mín.	<LQ	35,82	<LQ	<LQ	<LQ	0,00	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
	Máx.	403,08	274,63	3,08	<LQ	<LQ	4,55	<LQ	<LQ	3,31	18,46	12,14	<LQ	<LQ	178,46
	Méd.	43,33	114,82	0,14	<LQ	<LQ	0,15	<LQ	<LQ	0,16	6,66	3,52	<LQ	<LQ	32,96
	Med.	15,38	95,45	<LQ	<LQ	<LQ	0,00	<LQ	<LQ	<LQ	6,35	3,28	<LQ	<LQ	23,23
	DP	82,83	49,33	0,60	0,00	0,00	0,77	0,00	<LQ	0,66	4,58	3,33	0,00	0,00	35,00

<b>Presente estudo</b>															
Regiões	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
	<b>CAMPANHA 1</b>														
Região Sul	min.	37,309	10,105	0,302	0,338	0,035	0,257	0,032	0,050	0,135	0,252	0,521	0,000	0,236	1,894
	máx.	46,908	19,865	0,355	0,489	0,055	0,435	0,038	0,054	0,188	0,388	0,659	0,052	0,300	4,417
	méd.	39,404	15,025	0,311	0,412	0,045	0,349	0,035	0,052	0,163	0,293	0,577	0,007	0,260	2,967
	med.	38,542	14,873	0,305	0,408	0,045	0,360	0,034	0,053	0,161	0,286	0,562	0,000	0,255	2,872

Presente estudo															
Regiões	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
	<b>CAMPANHA 1</b>														
	DP	3,179	2,995	0,018	0,044	0,006	0,071	0,003	0,001	0,019	0,041	0,053	0,018	0,018	0,832
APA Costa das Algas	min.	22,960	10,311	0,213	0,250	0,020	0,135	0,027	0,041	0,110	0,397	0,420	0,000	0,162	1,936
	máx.	54,702	24,451	0,318	4,802	0,049	0,769	0,154	0,065	0,988	1,414	1,281	0,105	1,514	8,968
	méd.	35,964	13,700	0,242	0,573	0,030	0,314	0,083	0,052	0,307	0,704	0,661	0,017	0,311	3,890
	med.	32,814	12,722	0,237	0,435	0,029	0,274	0,103	0,052	0,289	0,686	0,671	0,002	0,249	3,574
	DP	11,138	3,149	0,024	0,805	0,008	0,137	0,047	0,005	0,155	0,239	0,196	0,027	0,238	1,776
Foz Sul	min.	27,346	11,851	0,224	0,347	0,038	0,186	0,027	0,049	0,135	0,403	0,680	0,000	0,210	2,323
	máx.	32,348	81,951	0,311	0,526	0,072	0,280	0,043	0,056	0,183	3,252	0,827	0,047	0,297	3,451
	méd.	29,699	25,106	0,253	0,397	0,054	0,240	0,032	0,051	0,159	0,933	0,739	0,008	0,239	2,830
	med.	29,355	14,578	0,238	0,374	0,053	0,239	0,030	0,050	0,161	0,472	0,732	0,000	0,232	2,877
	DP	1,875	27,883	0,034	0,069	0,012	0,035	0,006	0,003	0,022	1,138	0,053	0,019	0,032	0,428
Foz Central	min.	25,636	7,919	0,192	0,295	0,000	0,200	0,027	0,046	0,075	0,295	0,522	0,000	0,059	1,938
	máx.	74,620	20,460	0,285	0,375	0,121	0,601	0,070	0,280	0,163	1,382	0,884	0,069	0,241	5,294
	méd.	56,434	12,504	0,230	0,345	0,030	0,425	0,047	0,193	0,105	0,513	0,782	0,034	0,150	3,518
	med.	68,110	10,606	0,228	0,354	0,008	0,408	0,055	0,263	0,093	0,409	0,831	0,045	0,124	3,291
	DP	21,257	4,646	0,035	0,029	0,039	0,133	0,015	0,108	0,029	0,293	0,114	0,026	0,064	0,998
Foz Norte	min.	25,274	12,820	0,228	0,262	0,048	0,209	0,027	0,045	0,120	0,400	0,595	0,000	0,181	2,161
	máx.	28,319	18,961	0,257	0,315	0,068	0,293	0,028	0,047	0,165	0,504	0,788	0,000	0,212	9,429
	méd.	26,998	15,337	0,242	0,294	0,061	0,248	0,027	0,046	0,139	0,468	0,681	0,000	0,201	4,729
	med.	27,363	14,895	0,244	0,304	0,063	0,243	0,027	0,047	0,136	0,480	0,681	0,000	0,206	3,655
	DP	1,352	2,351	0,011	0,025	0,007	0,035	0,000	0,001	0,017	0,038	0,077	0,000	0,013	2,923
Região Norte	min.	29,241	32,290	0,354	0,323	0,018	0,621	0,026	0,061	0,260	0,288	0,349	0,026	0,176	1,995

Presente estudo															
Regiões	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
	<b>CAMPANHA 1</b>														
	máx.	72,849	121,524	0,581	0,591	0,060	1,928	0,031	0,089	0,800	1,129	1,234	0,222	0,261	12,237
	méd.	48,028	93,040	0,487	0,393	0,032	1,489	0,027	0,075	0,589	0,506	0,597	0,137	0,225	3,996
	med.	51,338	110,340	0,515	0,371	0,024	1,762	0,026	0,074	0,680	0,435	0,563	0,164	0,222	2,679
	DP	13,525	35,382	0,080	0,075	0,014	0,515	0,002	0,009	0,181	0,257	0,229	0,068	0,025	3,099
Abrolhos	min.	28,715	36,561	0,353	0,348	0,048	0,660	0,026	0,056	0,263	0,297	0,454	0,024	0,216	2,340
	máx.	41,077	133,677	0,633	0,494	0,111	2,103	0,031	0,080	0,816	0,417	0,702	0,167	0,314	6,808
	méd.	34,328	91,207	0,487	0,421	0,067	1,441	0,029	0,067	0,566	0,354	0,546	0,108	0,277	3,861
	med.	33,825	118,365	0,523	0,427	0,058	1,772	0,029	0,070	0,712	0,355	0,536	0,160	0,280	3,085
	DP	4,529	45,193	0,111	0,047	0,018	0,665	0,002	0,008	0,245	0,044	0,078	0,072	0,027	1,520

Presente estudo															
Regiões	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
	<b>CAMPANHA 2</b>														
Foz Sul	min.	54,497	9,201	0,228	0,345	0,019	0,209	0,027	0,056	0,041	0,499	0,567	0,000	0,204	2,329
	máx.	66,425	18,864	1,026	1,461	0,307	0,241	0,028	0,094	0,109	1,506	0,830	0,020	0,764	16,807
	méd.	59,060	11,993	0,372	0,556	0,076	0,224	0,027	0,067	0,084	0,684	0,727	0,003	0,311	4,902
	med.	57,702	11,189	0,245	0,387	0,025	0,225	0,027	0,060	0,091	0,527	0,744	0,000	0,225	2,533
	DP	5,082	3,574	0,320	0,444	0,114	0,011	0,001	0,015	0,026	0,403	0,087	0,008	0,223	5,836
Foz Central	min.	45,412	17,368	0,232	0,308	0,019	0,467	0,026	0,057	0,105	0,339	0,626	0,000	0,196	2,490
	máx.	68,633	119,669	0,783	0,428	0,036	1,972	0,033	0,094	0,800	0,579	0,847	0,216	0,269	6,050
	méd.	54,947	67,795	0,448	0,393	0,025	1,190	0,028	0,074	0,419	0,471	0,737	0,104	0,245	3,915
	med.	54,138	67,374	0,462	0,398	0,023	1,179	0,027	0,074	0,454	0,506	0,728	0,107	0,249	3,752

Presente estudo															
Regiões	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
	CAMPANHA 2														
	DP	6,911	46,632	0,163	0,037	0,007	0,643	0,002	0,014	0,300	0,095	0,076	0,101	0,023	1,040
Foz Norte	min.	52,006	10,543	0,219	0,353	0,017	0,203	0,026	0,057	0,049	0,532	0,603	0,000	0,192	2,577
	máx.	61,055	37,812	0,278	0,428	0,082	0,336	0,029	0,063	0,093	0,981	0,708	0,000	0,241	9,189
	méd.	55,257	19,448	0,245	0,391	0,030	0,272	0,027	0,060	0,068	0,708	0,658	0,000	0,224	3,966
	med.	54,466	18,149	0,242	0,392	0,020	0,276	0,027	0,060	0,068	0,673	0,659	0,000	0,228	2,679
	DP	3,051	9,824	0,022	0,031	0,000	0,055	0,001	0,002	0,015	0,161	0,035	0,000	0,017	2,921

Presente estudo															
Regiões	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
	CAMPANHA 3														
Foz Sul	min.	99,676	4,941	0,288	0,351	0,001	0,359	0,064	0,266	0,084	0,226	0,803	0,041	0,074	1,816
	máx.	105,033	7,594	0,314	0,396	0,003	0,436	0,065	0,267	0,148	0,280	0,936	0,045	0,107	2,829
	méd.	103,130	6,291	0,296	0,370	0,002	0,394	0,064	0,266	0,120	0,256	0,873	0,044	0,093	2,162
	med.	103,806	6,086	0,293	0,357	0,002	0,390	0,064	0,266	0,124	0,255	0,887	0,044	0,092	2,011
	DP	2,251	1,169	0,010	0,021	0,000	0,031	0,000	0,000	0,029	0,020	0,061	0,001	0,013	0,391
Foz Central	min.	66,624	7,450	0,240	0,295	0,000	0,384	0,058	0,265	0,060	0,209	0,635	0,046	0,083	1,603
	máx.	91,916	28,978	0,341	0,381	0,011	0,998	0,065	0,269	0,221	0,303	0,788	0,116	0,217	4,076
	méd.	82,151	16,078	0,276	0,344	0,004	0,632	0,060	0,266	0,125	0,265	0,732	0,074	0,128	2,703
	med.	87,139	9,734	0,257	0,352	0,004	0,422	0,059	0,266	0,081	0,265	0,748	0,057	0,109	2,458
	DP	9,625	9,763	0,034	0,026	0,004	0,294	0,002	0,001	0,070	0,028	0,052	0,031	0,048	1,001
Foz Norte	min.	82,045	5,687	0,287	0,305	0,004	0,417	0,061	0,265	0,133	0,225	0,885	0,046	0,078	1,927
	máx.	114,851	8,500	0,340	0,422	0,007	0,492	0,065	0,269	0,183	0,391	1,072	0,103	0,142	3,970

Presente estudo															
Regiões	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
	<b>CAMPANHA 3</b>														
	méd.	98,718	6,895	0,313	0,378	0,006	0,463	0,063	0,267	0,155	0,290	0,976	0,062	0,114	2,709
	med.	98,988	6,697	0,312	0,392	0,006	0,472	0,063	0,267	0,152	0,271	0,974	0,049	0,117	2,229
	DP	14,159	1,345	0,023	0,054	0,002	0,035	0,002	0,002	0,021	0,073	0,078	0,028	0,030	1,103
CONAMA 357/05	Classe 1	300,00	1500,00	-	-	-	-	-	-	-	5,00	-	-	-	-
	Classe 2			-	-	-	-	-	-	-		-			
EPA (NRWQC, 2004)	CMC (agudo)	-	-	-	69	-	-	40	-	1100	4,8	74	210	-	90
	CCC (Crônico)	-	-	-	36	-	-	8,8	-	50	3,1	8,2	8,1	-	81

Fonte: Autoria própria.

Quadro 7: Concentração mínimas, máximas, médias, medianas e desvio padrão de Ferro(Fe), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Arsênio (As), Prata (Ag), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Vanádio (V) e Zinco (Zn) totais da região costeira adjacente da foz do Rio Doce e demais regiões. Valores das concentrações expressos em µg/L.

Campanha	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
<b>Campanhas pós-desastre</b>															
NOV/15	Mín.	65,62	76,88	11,15	0,42	0,11	10,23	0,06	0,62	1,80	3,84	7,97	3,54	3,43	11,25
	Máx.	76771,93	8469,27	629,33	36,49	4,22	221,48	2,68	9,50	58,60	53,92	91,57	54,09	18,61	141,27
	Méd.	7986,47	1921,56	131,81	7,84	0,98	61,20	0,74	2,28	18,97	20,23	40,59	23,64	9,59	60,08
	Med.	865,85	1003,99	82,41	5,48	0,78	55,35	0,88	1,46	14,63	18,69	38,44	28,04	9,03	45,33
	DP	16671,16	2278,80	145,01	7,38	0,84	43,62	0,49	1,96	15,47	10,17	23,46	12,99	3,53	42,96
DEZ/15	Mín.	31,78	121,80	2,88	2,36	0,00	9,76	0,01	0,92	9,72	10,69	17,47	19,69	0,96	7,43
	Máx.	52360,20	32159,40	530,10	33,40	4,90	231,84	0,51	3,14	233,21	211,05	139,08	122,64	27,03	193,80
	Méd.	3612,54	1638,00	70,28	6,38	2,22	56,97	0,25	1,47	50,02	46,16	48,62	41,35	8,44	84,79
	Med.	1020,32	432,04	30,20	3,55	2,17	57,00	0,23	1,27	29,97	33,63	40,33	39,90	7,99	76,48
	DP	9074,39	4931,44	114,88	5,37	1,22	38,85	0,15	0,51	58,14	38,40	29,56	22,40	3,65	45,37
JAN/16	Mín.	37,66	6,04	8,90	0,00	0,43	4,11	0,59	0,33	7,61	4,58	0,41	9,12	2,10	1,56
	Máx.	648,66	1006,62	90,00	9,50	1,34	57,00	3,42	1,05	87,78	26,68	80,94	37,62	8,27	330,60
	Méd.	156,49	301,80	30,57	2,82	0,77	29,69	1,70	0,74	49,80	11,85	16,62	26,56	4,58	73,67
	Med.	97,49	244,53	30,82	1,48	0,75	25,37	1,61	0,76	33,50	10,00	11,40	23,73	5,30	33,46
	DP	138,19	228,96	17,36	2,65	0,25	18,69	0,93	0,20	34,17	5,44	18,75	8,53	1,71	83,81
FEV/16 a	Mín.	35,84	27,37	0,33	3,23	0,01	2,64	0,15	0,01	4,38	0,32	1,41	0,04	1,09	12,50
	Máx.	1536,44	470,00	13,89	32,75	20,28	42,10	3,00	1,26	25,05	4,28	15,36	1,27	11,08	88,80
	Méd.	178,78	92,38	1,33	11,01	4,40	12,11	0,63	0,49	14,21	1,98	6,81	0,36	5,12	47,76
	Med.	78,77	75,91	1,10	7,27	0,40	10,25	0,35	0,48	14,27	1,96	6,60	0,28	4,62	47,28
	DP	235,28	70,68	1,90	8,17	6,22	8,30	0,62	0,37	4,53	1,07	3,51	0,26	2,47	21,74

Campanha	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
<b>Campanhas pós-desastre</b>															
FEV/16 b	Mín.	75,09	1,54	0,95	1,05	0,72	11,98	0,12	0,26	18,94	3,17	9,49	0,66	0,22	1,42
	Máx.	269,63	1425,35	24,72	13,11	1,25	37,52	0,39	0,37	137,71	18,73	28,41	1,10	9,44	36,58
	Méd.	161,39	258,52	2,65	3,61	0,95	21,78	0,25	0,31	43,29	7,44	20,13	1,02	4,10	10,22
	Med.	151,05	198,40	1,78	3,20	0,94	20,06	0,25	0,30	34,28	6,41	22,25	1,08	3,75	8,98
	DP	67,51	344,51	4,38	2,74	0,14	6,45	0,07	0,03	26,91	3,28	5,21	0,13	2,34	7,10
ABR/16	Mín.	24,57	24,44	0,54	2,57	0,02	3,19	0,10	0,11	18,40	3,23	3,88	1,52	3,29	1,53
	Máx.	1781,51	5739,14	76,77	23,99	0,13	10,48	0,63	2,41	60,15	54,28	22,09	10,55	12,16	45,63
	Méd.	337,32	907,44	7,29	8,28	0,07	6,30	0,29	0,95	38,60	18,37	7,45	6,58	5,73	14,22
	Med.	206,93	580,15	3,82	6,82	0,08	6,03	0,26	0,79	35,46	17,13	5,83	5,95	4,90	8,81
	DP	440,69	1110,72	13,49	4,25	0,03	1,48	0,16	0,51	9,39	10,15	4,70	2,37	2,36	12,57
NOV/16	Mín.	3,08	67,69	<LQ	0,91	<LQ	0,00	<LQ	<LQ	56,76	2,05	1,54	2,00	0,53	9,23
	Máx.	3996,02	5536,32	47,76	4,55	<LQ	21,54	<LQ	<LQ	56,76	51,28	16,92	4,00	1,07	223,21
	Méd.	461,23	616,57	8,04	1,64	<LQ	7,03	<LQ	<LQ	56,76	15,49	11,97	2,67	0,80	77,65
	Med.	140,30	241,54	5,97	0,91	<LQ	5,64	<LQ	<LQ	56,76	14,83	12,23	2,00	0,80	74,75
	DP	777,22	980,43	10,16	1,63	<LQ	6,23	<LQ	<LQ	<LQ	9,88	3,30	1,15	0,38	47,57

<b>Presente estudo</b>															
Regiões	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
<b>CAMPANHA 1</b>															
Região Sul	min.	1138,61	22,85	8,42	48,23	1,43	11,79	0,46	3,31	3,59	14,80	10,95	1,50	19,24	62,65
	máx.	1795,89	59,50	14,61	64,25	2,80	18,58	2,25	4,97	10,21	26,03	12,69	3,49	37,82	125,03
	méd.	1508,87	37,62	11,92	55,00	1,78	16,24	0,92	3,76	5,96	17,88	11,91	2,11	26,57	90,80
	med.	1537,36	37,17	12,22	54,81	1,52	16,32	0,57	3,48	5,50	16,59	12,12	1,95	25,31	92,45

Presente estudo															
Regiões	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
<b>CAMPANHA 1</b>															
	DP	263,36	12,54	1,84	5,48	0,53	2,11	0,71	0,63	2,39	3,54	0,72	0,71	6,62	19,36
APA Costa das Algas	min.	237,38	7,30	2,33	37,23	1,36	4,93	0,25	3,02	0,33	2,76	2,16	1,02	12,72	23,47
	máx.	520,67	23,79	5,13	56,65	1,66	9,43	1,05	3,66	2,09	13,95	4,05	2,17	19,89	83,07
	méd.	350,72	10,00	3,54	47,84	1,40	7,33	0,61	3,13	1,04	4,56	3,04	1,16	16,07	37,59
	med.	347,96	8,75	3,50	47,70	1,38	7,53	0,71	3,08	1,03	4,23	2,98	1,10	15,96	34,85
	DP	60,30	3,40	0,66	5,35	0,06	1,02	0,31	0,13	0,37	1,96	0,47	0,23	1,69	14,40
Foz Sul	min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	méd.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	med.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Foz Central	min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	méd.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	med.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Foz Norte	min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	méd.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	med.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Região Norte	min.	630,45	10,98	5,72	39,37	1,42	8,20	0,40	3,19	1,55	7,84	5,29	1,21	14,50	69,90

Presente estudo															
Regiões	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
<b>CAMPANHA 1</b>															
	máx.	1433,45	138,74	18,47	50,20	1,65	13,78	0,57	3,47	6,92	18,41	9,93	1,42	20,81	111,66
	méd.	959,92	40,14	8,95	44,04	1,47	10,78	0,45	3,28	3,21	11,29	7,74	1,31	17,67	91,76
	med.	900,20	33,21	8,46	44,04	1,43	10,74	0,44	3,25	2,89	10,70	7,76	1,31	17,52	93,03
	DP	206,96	35,91	3,37	3,57	0,07	1,49	0,05	0,08	1,34	2,85	1,62	0,08	1,91	13,81
Abrolhos	min.	346,77	8,75	3,81	39,43	1,38	7,51	0,27	3,05	0,90	4,33	3,60	1,12	13,98	28,19
	máx.	816,46	40,32	7,30	53,85	1,52	10,79	0,42	3,22	3,03	7,58	4,84	1,42	19,39	88,27
	méd.	562,14	16,11	5,56	44,59	1,41	9,13	0,34	3,13	1,62	5,79	4,00	1,26	15,92	47,95
	med.	611,02	11,39	5,31	43,49	1,40	9,19	0,36	3,11	1,50	5,67	3,78	1,27	15,52	41,64
	DP	172,53	10,43	1,17	4,65	0,04	0,97	0,06	0,05	0,62	1,05	0,42	0,10	1,64	19,39

Presente estudo															
Regiões	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
<b>CAMPANHA 2</b>															
Foz Sul	min.	523,38	16,77	5,46	56,34	1,38	9,27	0,26	3,16	1,95	6,91	4,82	1,15	17,56	46,26
	máx.	647,30	49,90	12,83	62,27	1,45	13,51	0,27	3,44	2,50	9,75	5,61	1,27	19,69	53,43
	méd.	589,22	30,45	7,57	59,39	1,39	11,37	0,26	3,23	2,24	7,68	5,34	1,19	18,50	50,65
	med.	592,82	25,32	6,73	59,06	1,38	10,94	0,26	3,19	2,21	7,31	5,44	1,17	18,37	51,29
	DP	45,27	12,18	2,72	2,37	0,03	1,62	0,01	0,10	0,19	1,04	0,29	0,05	0,90	2,50
Foz Central	min.	403,25	10,37	4,52	33,76	1,37	7,48	0,25	3,09	1,19	3,88	2,61	1,05	12,31	23,96
	máx.	865,11	50,24	10,15	57,22	1,45	10,81	0,52	3,33	2,81	12,79	5,06	1,67	18,95	54,87
	méd.	619,39	27,77	6,46	50,65	1,40	9,32	0,33	3,18	2,04	7,05	4,04	1,35	16,44	41,47
	med.	563,97	21,46	6,28	52,74	1,39	9,47	0,27	3,16	2,07	5,88	4,23	1,35	16,54	42,28

	DP	183,19	14,85	1,50	6,94	0,02	0,92	0,10	0,07	0,52	2,93	0,70	0,25	1,85	8,63
Foz Norte	min.	443,91	15,82	5,03	50,14	1,38	9,26	0,26	3,12	1,55	5,18	3,83	1,07	15,78	38,24
	máx.	720,53	86,20	10,37	60,50	1,40	11,73	0,31	3,23	2,48	8,81	5,36	1,55	19,22	52,45
	méd.	590,29	40,55	6,98	56,88	1,39	10,60	0,28	3,19	2,19	6,75	4,79	1,25	18,17	45,78
	med.	598,40	27,58	6,59	57,14	1,39	10,53	0,27	3,20	2,27	6,82	4,91	1,23	18,33	46,81
	DP	93,01	29,19	1,95	3,64	0,00	0,93	0,02	0,04	0,34	1,21	0,57	0,16	1,24	5,40

Presente estudo															
Regiões	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
	CAMPANHA 3														
Foz Sul	min.	367,72	10,59	3,51	45,06	1,38	6,61	0,28	3,10	1,06	4,78	2,89	1,09	14,28	30,52
	máx.	559,37	35,46	7,10	55,18	1,40	10,75	0,32	3,16	2,05	6,16	3,84	1,23	17,51	42,20
	méd.	480,82	20,68	5,21	51,27	1,39	8,62	0,29	3,14	1,77	5,36	3,57	1,16	16,48	38,93
	med.	486,80	21,80	4,84	52,63	1,39	8,68	0,29	3,14	1,92	5,22	3,73	1,16	16,81	40,87
	DP	66,18	9,16	1,49	3,79	0,00	1,45	0,02	0,02	0,37	0,49	0,36	0,05	1,20	4,46
Foz Central	min.	312,25	6,91	2,87	40,85	1,35	5,91	0,26	3,00	0,73	3,47	2,61	1,01	13,13	21,54
	máx.	392,87	21,83	4,45	51,06	1,41	7,60	1,01	3,13	4,84	8,37	3,16	1,29	15,86	35,89
	méd.	355,27	11,94	3,73	43,97	1,38	6,79	0,35	3,07	1,34	4,81	2,75	1,14	13,99	27,70
	med.	354,68	8,53	3,63	43,46	1,38	6,82	0,28	3,08	0,96	4,03	2,72	1,09	13,88	27,29
	DP	31,49	5,56	0,57	2,80	0,02	0,49	0,23	0,04	1,25	1,67	0,16	0,11	0,74	4,04
Foz Norte	min.	310,92	8,14	3,20	41,27	1,38	6,51	0,27	3,07	0,63	3,46	2,63	1,07	13,15	23,99
	máx.	381,25	12,58	4,06	48,74	1,47	6,90	0,29	3,26	1,18	4,34	3,07	1,25	15,42	33,28
	méd.	341,37	10,25	3,63	44,63	1,40	6,71	0,28	3,11	0,89	3,95	2,77	1,14	14,05	26,46
	med.	336,62	10,20	3,58	43,99	1,39	6,70	0,27	3,08	0,85	4,05	2,72	1,12	13,83	25,39
	DP	26,16	1,79	0,29	2,63	0,03	0,15	0,01	0,08	0,21	0,36	0,16	0,07	0,79	3,41

Presente estudo															
Regiões	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
	CAMPANHA 3														
CONAMA 357/05	Classe 1	-	-	100,00	10,00	-	-	5,00	-	50,00	-	25,00	10,00	-	90,00
	Classe 2				69,00	-	-	40,00	-	1100,00		74,00			-
EPA (NRWQC, 2004)	CMC (agudo)	-	-	-	69	-	-	40	-	1100	4,8	74	210	-	90
	CCC (Crônico)	-	-	-	36	-	-	8,8	-	50	3,1	8,2	8,1	-	81

Fonte: Autoria própria.

No caso dos sedimentos, concentrações encontradas nas campanhas realizadas entre 2015 e 2016 pouco apresentaram valores acima dos apresentados pela resolução CONAMA 454 de 2012, a qual estabelece diretrizes para material passível de dragagem. Não são estipulados níveis para Fe, Al, Mn, V, entre outros, dentre os quais apresentaram incrementos muito significativos com a chegada dos rejeitos, que foi apresentado no início desse capítulo. Mesmo assim, é possível observar nesses resultados de 2015/2016 que As, Cd, Cr e Ni apresentaram valores acima da resolução CONAMA 454/2012 e comparados a outros níveis de controle apresentados por instituições internacionais, como a NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*; Estados Unidos).

Considerando o presente estudo, especificamente a Campanha 1 realizada em 2018, é possível observar níveis de Mn, As, Cd, Cr, Cu, Ni e Zn acima dos estipulados ou pela CONAMA 454/12 ou pela NOAA, com concentrações desses elementos chegando a 979,47 mg/kg (Mn), 97,02 mg/kg (As), 2,20 mg/kg (Cd), 67,80 mg/kg (Cr), 68,19 mg/kg (Cu), 28,75 mg/kg (Ni) e 287,33 mg/kg (Zn). Sendo que dentre estes elementos, Mn, As e Cr apresentaram essas concentrações na região da Foz. Já os elementos Cd, Cu, Ni e Zn apresentaram essas concentrações na região de Abrolhos. Mesmo estando em menores concentrações na região da Foz, Cu, Ni e Zn também apresentaram concentrações acima dos níveis de controle (CONAMA 454/12 e NOAA) na região da Foz, enquanto que Cd, apresentou-se acima desses níveis na região da APA Costa das Algas. Essas concentrações indicam uma preocupante realidade desses sedimentos quanto aos níveis desses de elementos, podendo estes ser remobilizados para a coluna d'água ou mesmo alterar comunidade bentônicas dessas regiões.

Quadro 8: Concentração mínimas, máximas, médias, medianas e desvio padrão de Ferro(Fe), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Arsênio (As), Prata (Ag), Bário (Ba), Cádmi (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Vanádio (V) e Zinco (Zn) parciais em sedimento da região costeira adjacente da foz do Rio Doce e demais regiões. Valores das concentrações expressos em mg/kg.

Campanha	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
<b>Campanhas pós-desastre</b>															
NOV/15	Mín.	7879,37	1504,00	62,49	7,75	0,05	2,89	0,03	1,13	7,56	0,50	2,04	1,93	5,86	1,16
	Máx.	41442,38	23155,41	1268,92	35,79	0,23	31,03	0,07	6,79	54,94	10,54	14,18	14,41	32,82	26,92
	Méd.	28796,62	12269,98	601,63	21,02	0,11	18,77	0,05	4,35	34,71	5,04	9,01	8,65	18,49	15,97
	Med.	33996,09	14682,60	628,17	23,39	0,11	21,92	0,06	5,18	36,81	6,02	10,42	11,25	18,76	20,37
	DP	11756,80	7538,52	330,40	7,82	0,04	9,51	0,01	1,86	17,97	2,98	4,48	4,43	8,68	8,64
DEZ/15	Mín.	2013,59	2854,36	234,96	8,97	0,01	6,52	0,01	0,97	4,54	1,26	1,85	2,15	3,26	4,21
	Máx.	73873,50	40500,35	1827,15	41,59	0,06	40,91	0,05	6,09	31,22	14,89	11,90	6,61	67,94	24,25
	Méd.	20343,84	12612,76	931,39	20,47	0,03	15,59	0,03	2,79	18,05	5,80	5,84	5,22	22,42	10,06
	Med.	18281,04	7552,87	839,12	22,31	0,03	10,08	0,03	2,87	19,99	4,99	4,91	5,74	20,50	8,57
	DP	18926,32	12442,30	425,55	9,13	0,01	11,06	0,01	1,70	7,38	3,93	3,80	1,39	16,65	5,41
JAN/16	Mín.	4176,91	2179,41	198,17	13,36	0,14	5,22	0,00	0,40	5,63	0,62	2,74	3,88	15,34	5,73
	Máx.	91670,64	88227,59	1374,22	95,20	16,98	46,95	0,07	4,53	60,55	8,02	11,14	13,39	68,20	26,42
	Méd.	51655,48	34536,11	572,72	39,59	1,07	22,99	0,04	2,47	30,36	4,02	6,91	8,92	44,49	15,62
	Med.	52013,99	25298,13	432,26	39,19	0,27	24,56	0,04	2,64	31,75	3,79	7,37	8,71	46,15	14,43
	DP	17567,66	26175,47	341,43	20,52	3,32	11,19	0,02	1,18	16,39	2,14	2,24	2,70	15,47	6,67
FEV/16 a	Mín.	1690,03	1280,29	93,91	11,27	0,01	0,88	0,01	0,38	2,39	0,96	1,21	1,23	11,11	1,40
	Máx.	45409,01	64467,98	1477,61	36,95	0,03	29,39	0,09	4,31	62,60	12,42	8,94	12,20	48,09	23,13
	Méd.	19650,66	28860,92	608,53	20,90	0,01	13,13	0,02	1,97	20,33	6,18	6,07	5,44	25,16	9,88
	Med.	19652,07	33366,97	515,19	22,57	0,01	7,57	0,01	1,72	18,39	6,56	6,87	3,79	23,20	7,25
	DP	13297,95	25038,10	403,99	7,03	0,01	10,14	0,02	1,24	14,04	3,74	2,75	3,69	10,32	7,60

Campanha	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
<b>Campanhas pós-desastre</b>															
FEV/16 b	Mín.	1868,15	1989,09	160,89	6,28	0,01	9,96	0,03	0,75	4,44	2,55	3,71	4,72	8,46	1,01
	Máx.	118799,95	87490,69	1998,17	45,42	0,05	35,66	0,08	2,77	60,91	11,06	8,21	10,94	31,18	16,97
	Méd.	23952,27	33411,08	1161,27	20,36	0,01	22,87	0,05	1,72	21,80	6,48	6,53	8,35	21,51	7,03
	Med.	18093,86	21867,80	1218,35	18,36	0,01	24,80	0,04	1,61	13,36	7,06	6,81	8,71	21,07	6,93
	DP	28805,14	31647,81	527,35	8,60	0,01	8,83	0,01	0,64	17,38	2,71	1,36	1,93	6,22	4,59
ABR/16	Mín.	20772,80	4285,60	275,20	20,40	NA	4,80	<LQ	<LQ	9,60	<LQ	0,88	2,40	8,40	7,20
	Máx.	89748,80	61486,40	2744,00	69,20	NA	40,00	1,00	2,32	59,60	11,20	13,20	11,73	60,00	43,60
	Méd.	53791,47	31482,31	961,64	39,91	NA	24,13	0,42	1,14	35,67	5,41	4,13	7,57	43,29	27,67
	Med.	53424,80	28826,40	998,00	39,20	NA	28,60	0,48	1,08	38,40	5,60	3,80	7,07	44,80	30,20
	DP	19589,42	17706,74	546,19	10,24	NA	12,84	0,38	0,63	16,85	3,60	2,82	2,95	13,04	12,83
NOV/16	Mín.	24213,47	5639,14	264,09	15,38	<LQ	5,64	0,22	0,44	8,51	1,19	1,95	1,53	13,23	8,13
	Máx.	71087,44	60484,85	2733,75	70,73	0,03	40,50	2,24	1,94	51,64	10,51	26,27	14,25	57,84	45,95
	Méd.	49002,67	27079,00	1164,87	41,84	0,01	22,67	0,95	1,29	31,03	4,52	11,36	7,19	40,48	25,01
	Med.	50208,72	24234,70	1011,87	39,74	0,01	22,16	1,02	1,56	27,75	3,74	10,31	6,73	42,61	28,61
	DP	15300,96	16609,92	739,05	14,24	0,01	12,01	0,56	0,49	13,99	2,84	7,20	3,80	12,74	13,13
DEZ/16	Mín.	24213,47	5639,14	264,09	15,38	<LQ	5,64	0,22	0,44	8,51	1,19	1,95	1,53	13,23	8,13
	Máx.	71087,44	60484,85	2733,75	70,73	0,03	40,50	2,24	1,94	51,64	10,51	26,27	14,25	57,84	45,95
	Méd.	49002,67	27079,00	1164,87	41,84	0,01	22,67	0,95	1,29	31,03	4,52	11,36	7,19	40,48	25,01
	Med.	50208,72	24234,70	1011,87	39,74	0,01	22,16	1,02	1,56	27,75	3,74	10,31	6,73	42,61	28,61
	DP	15300,96	16609,92	739,05	14,24	0,01	12,01	0,56	0,49	13,99	2,84	7,20	3,80	12,74	13,13

Presente estudo															
Regiões	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
		CAMPANHA 1													
Região Sul	min.	1353,41	259,29	25,06	20,56	0,04	1,31	0,05	0,17	1,14	28,33	8,26	5,64	58,57	3,52
	máx.	11380,52	4227,77	206,51	45,68	0,09	10,71	0,13	1,11	13,31	39,13	19,98	10,64	71,43	147,07
	méd.	7560,50	2161,25	123,59	34,48	0,06	6,24	0,09	0,70	8,35	31,88	16,07	8,58	66,16	45,59
	med.	8754,04	2078,97	131,39	35,85	0,05	6,47	0,08	0,75	9,48	30,03	18,03	9,03	67,31	15,87
	DP	4466,40	2024,72	76,90	10,58	0,02	4,26	0,04	0,40	5,14	4,90	5,44	2,16	5,87	68,06
APA Costa das Algas	min.	6455,35	1552,64	65,60	24,88	0,08	5,52	0,11	0,83	7,54	28,65	12,23	8,83	63,02	7,27
	máx.	46008,23	20489,86	401,13	87,97	1,03	33,46	2,17	4,46	56,38	44,06	27,68	23,26	116,23	136,27
	méd.	18144,45	6772,56	165,67	48,09	0,36	14,88	0,62	1,99	21,01	34,75	21,52	12,90	79,85	57,06
	med.	14465,88	5189,41	131,04	38,57	0,39	11,90	0,59	1,78	15,00	33,50	22,65	12,21	71,70	48,90
	DP	11525,29	5900,20	100,86	20,22	0,26	7,99	0,56	1,08	14,57	4,51	4,53	4,27	16,14	41,13
Foz Sul	min.	24498,88	3357,68	357,87	51,98	0,03	8,14		2,23	15,41	34,29	12,74	13,73	93,67	58,50
	máx.	71566,20	19982,81	556,86	97,02	0,03	45,57		6,51	61,40	41,89	25,21	26,20	104,73	128,39
	méd.	46240,02	13361,89	449,85	68,11	0,03	30,86		4,63	45,80	38,50	20,76	21,33	100,58	84,89
	med.	42654,97	16745,19	434,82	55,32	0,03	38,89		5,16	60,60	39,31	24,32	24,06	103,33	67,79
	DP	23737,58	8813,84	100,34	25,09		19,96		2,19	26,32	3,87	6,96	6,67	6,02	37,95
Foz Central	min.	789,10	229,75	8,30	18,92	0,50	3,13		0,45	4,26	31,56	9,50	8,40	65,12	8,49
	máx.	67742,05	20891,08	979,47	75,94	0,50	54,42	0,63	7,15	67,80	45,03	28,35	27,14	110,72	83,49
	méd.	29946,83	9465,02	400,59	50,34	0,50	23,96	0,31	3,65	33,41	38,99	18,36	15,92	87,61	51,70
	med.	17572,44	3686,43	420,94	49,30	0,50	9,50	0,31	2,18	15,55	41,81	15,32	9,79	83,33	55,17
	DP	26934,44	10067,86	369,76	20,91	-	24,16	0,45	3,08	31,22	5,86	8,50	9,29	20,73	32,73
Foz Norte	min.	23339,05	8176,75	321,04	35,38	0,05	28,92	0,19	4,87	37,02	38,01	18,61	16,85	81,65	43,96

Presente estudo															
Regiões	Valores	Fe	Al	Mn	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
		CAMPANHA 1													
	máx.	36365,37	13616,33	893,66	56,31	0,41	43,80	0,53	6,28	54,16	55,96	25,92	21,83	98,13	184,34
	méd.	31780,82	11583,19	543,01	48,39	0,23	38,70	0,36	5,76	47,56	44,96	22,85	19,83	88,86	97,70
	med.	35638,04	12956,49	414,33	53,49	0,23	43,37	0,36	6,14	51,50	40,90	24,03	20,81	86,80	64,80
	DP	7319,83	2968,45	307,23	11,36	0,18	8,47	0,24	0,78	9,22	9,64	3,79	2,63	8,43	75,75
	min.														
Região Norte	máx.														
	méd.														
	med.														
	DP														
	min.														
Abrolhos	máx.	2491,65	423,37	13,32	20,03	0,53	6,09	0,72	0,94	12,04	32,71	20,49	7,73	60,42	6,55
	méd.	23607,37	11147,17	208,75	39,08	1,56	19,82	2,20	3,11	41,37	68,19	28,75	17,02	76,28	287,33
	med.	7548,02	2744,08	76,59	25,65	1,08	10,27	1,43	1,68	21,23	43,05	22,87	10,27	64,13	100,17
	med.	3285,03	521,53	25,05	22,67	1,07	8,19	1,39	1,39	17,82	38,80	21,50	8,36	61,40	54,74
	DP	9034,36	4706,34	86,09	7,78	0,37	5,54	0,59	0,85	11,62	14,32	3,42	3,94	6,83	113,31
CONAMA 454/12	Nível 1	-	-	100,00	19,00	-	-	1,20	-	81,00	34,00	20,90	46,70	-	150,00
	Nível 2				70,00	-	-	7,20	-	370,00	270,00	51,60	218,00	-	410,00
NOAA MARINE SEDIMENT	TEL				7,24	730	130,1	0,7		52,3	18,7	15,9	30,24		124
	PEL				41,6	1770	-	4,21		160,00	108	42,0	112		271
AMBES/11/12	média	28558,36	6631,36	441,97	26,87	-	11,59	0,06	-	23,72	4,46	7,88	7,73	48,45	12,45
	mediana	22973,09	5408,60	384,33	24,54	-	9,84	0,02	-	18,73	2,59	7,43	6,09	41,88	9,58

Fonte: Autoria própria.

#### 1.2.2.10 Comparativo antes-desastre, pós-desastre e presente.

Os dados apresentados no início desse capítulo com resultados de metais dissolvidos, totais e em sedimentos 10 dias antes da chegada dos rejeitos a região estuarina/costeira, mostra o impacto em relação aos metais e As provindos desse desastre. Na região estuarina, a concentração de alumínio total aumentou de 593 para 12.198  $\mu\text{g/L}$ , de ferro total alteraram de 161  $\mu\text{g/L}$  a 34.137 $\mu\text{g/L}$ , de manganês total ocorreu entre 77 e 5.076  $\mu\text{g/L}$ , enquanto vanádio total variou de 18,3 a 110,2 $\mu\text{g/L}$ . Outro elemento que apresentou aumento gradual com a proximidade de chegada dos rejeitos de mineração foi o chumbo, variando de 23 a 54,1  $\mu\text{g/L}$  na região estuarina. Comparando estes valores observados com os valores máximos permitidos pela CONAMA 357/05 notamos que as maiores concentrações de manganês foram 500 vezes superiores e de chumbo, por exemplo, 5 vezes superiores. Cromo apresentou um pico de concentração quase 100 vezes superior (4.821  $\mu\text{g/L}$ ) ao valor máximo (50  $\mu\text{g/L}$ ).

Para ferro, alumínio e cobre, a legislação brasileira dispõe de valores orientadores para a fração dissolvida. Alumínio dissolvido na região estuarina apresentou aumento nos valores de concentração atingindo seu máximo 1 dia após a chegada da lama de rejeitos de mineração (2.312  $\mu\text{g/L}$ ) superando o valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (1.500  $\mu\text{g/L}$ ). Apesar de ferro total ter apresentado concentrações bastante elevadas, sua fração dissolvida também foi superior aos valores da legislação em 3 vezes, com máximo de 904  $\mu\text{g/L}$ , 1 dia após a chegada dos rejeitos ao estuário da foz do rio Doce. Neste mesmo dia, houve um aumento na concentração de cobre dissolvido (57  $\mu\text{g/L}$ ) superando em 11 vezes o valor estabelecido na legislação brasileira (5  $\mu\text{g/L}$ ), entretanto este aumento foi observado apenas neste dia.

Outros elementos, como níquel e zinco dissolvidos também apresentaram aumento em suas concentrações apenas 1 dia após a chegada da lama de rejeitos ao estuário da foz do rio Doce, superando os valores orientadores da CONAMA 357/05, mas sem um aumento gradativo de suas concentrações.

Alguns elementos como Al, Fe, Ni, Zn e Pb apresentaram concentrações na região estuarina similares ou até superiores nas amostras coletadas 1 ano após (novembro/2016) a chegada dos rejeitos na fração total. Para Al esta concentração foi 67,86 vezes superior ao observado anteriormente a presença do rejeito, com valor igual a 46.197  $\mu\text{g/L}$ . Fe apresentou uma concentração igual a 69.127  $\mu\text{g/L}$ , sendo 236,03 vezes superior à concentração antes registrada, enquanto Ni foi 3,15 vezes superior, com concentração igual a 24,59  $\mu\text{g/L}$ . Zn e Pb apresentaram concentrações inferiores ao observado durante a chegada dos rejeitos da mineração mas com incremento significativo, 4,74 e 290,00 vezes acima do valor assumido com valor de referência (12 e 10 dias antes da chegada do rejeito). Com a sedimentação desses elementos, os sedimentos superficiais estuarinos também apresentaram esse comportamento nas concentrações desses, ultrapassando os valores orientadores de qualidade estabelecidos pela CONAMA 454/12 e pela NOAA, conforme apresentado no início do capítulo.

Nos sedimentos superficiais da região costeira, observa-se uma tendência de acréscimo ao longo do monitoramento com valores mais elevados na campanha amostral realizada 1 ano após o aporte do

material proveniente da barragem de rejeitos. Nos anos de 2011 e 2012, foram realizadas coletas de sedimentos superficiais próximos a foz do rio Doce como parte de um estudo de caracterização da Bacia Sedimentar Norte do Espírito Santo, realizado pela PETROBRAS© (Projeto AMBES), Nesse estudo, diversos metais foram avaliados quanto suas concentrações nesses sedimentos e podem ser utilizados como fonte de comparação para os níveis encontrados nos estudos de 2015/2016 e no presente trabalho.

Nos sedimentos superficiais observa-se uma tendência de acréscimo ao longo do monitoramento com valores mais elevados na campanha amostral realizada 1 ano após o aporte do material proveniente da barragem de rejeitos. As concentrações determinadas foram comparadas com resultados anteriores a chegada da lama na região costeira adjacente (PETROBRAS, 2015), bem como aos valores orientadores da CONAMA 454/12 e tabela de referência da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) (Quadro 8).

As concentrações médias dos elementos V, Cu e Pb permaneceram praticamente iguais entre os valores obtidos antes de 2015 (PETROBRAS, 2015) e após a chegada dos rejeitos de mineração. Ressalta-se que só foram comparados os valores médios, mas que pontualmente podem ocorrer variações significativas. Entretanto, os demais elementos analisados em ambas as investigações na foz do Rio Doce nos sedimentos superficiais aumentaram, em ordem decrescente, da seguinte forma: Cd (15,83 vezes), Zn (5,60 vezes), Al (4,08 vezes), Mn (2,63 vezes), Ba (1,96 vezes), Fe (1,72 vezes), As (1,57 vezes), Ni (1,44 vezes) e Cr (1,30 vezes). Porém, vale ressaltar que os valores máximos foram mais elevados após a presença do rejeito de mineração na região costeira adjacente, portanto localmente variações significativas podem ser observadas.

Em comparação do presente estudo com os resultados referentes ao projeto AMBES, é possível observar que os valores de todos os elementos na região da Foz, com exceção do Mn, encontram-se acima dos dados antes do desastre. Sendo um forte indício de que, mesmo quase 4 anos após o desastre, esses elementos ainda se encontram nos sedimentos e passíveis de efeitos deletérios à biota ou de remobilização e, sucessível biodisponibilização na coluna d'água.

### 1.2.3 Compostos orgânicos

Os dados apresentados neste item terão uma discussão comparativa apenas em função de dados da literatura, visto que não há dados referentes a esses parâmetros a época do rompimento da barragem.

#### 1.2.3.1 Hidrocarbonetos

As análises foram realizadas no cromatógrafo gasoso modelo 7890 Agilent acoplado ao Espectrômetro de Massas modelo 5975c. Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) foram calculados com base nos parâmetros da curva analítica. O limite de detecção (LD) é expresso como:

$$LD = 3,3 \times \frac{S}{S}$$

onde  $s$  é a estimativa do desvio padrão da resposta, neste caso foi baseado no coeficiente linear da equação e  $S$  é a inclinação ("slope") ou coeficiente angular da curva analítica. Os limites de quantificação foram calculados como sendo 3x o LD. Os limites de quantificação determinados para as quantificações de hidrocarbonetos alifáticos e HPA se encontram no Quadro 9.

Quadro 9: Limites de quantificação e detecção obtidos segundo as metodologias descritas para Hidrocarbonetos Alifáticos e HPA.

	<b>Hidrocarbonetos Alifáticos (<math>\mu\text{g L}^{-1}</math>)</b>	<b>HPA (<math>\text{ng L}^{-1}</math>)</b>
LQ	0,005	0,625
LD	0,016	0,210

Fonte: Autoria própria.

LQ: Limite de Quantificação e LD: Limite de Detecção

Verificações periódicas referentes a resposta analítica do sistema cromatográfico foram feitas com injeções dos padrões durante as análises das amostras de sedimento. Nestes ensaios foi utilizado como critério de aceitação para controle de qualidade uma variação máxima de 10 % no sinal cromatográfico dos padrões injetados dentro da curva analítica previamente construída. Como parâmetro de aceitação da curva analítica, só foram aceitas curvas com coeficientes de regressão maiores que 0,99. Controles de branco de extração, vidraria, ensaios de fortificação e recuperação também foram realizados como controle de garantia das análises.

Valores de recuperação obtidos na faixa entre 70 e 120 % foram considerados aceitos como índices de bom desempenho analítico para o método. Cada batelada de extração continha uma prova em branco para avaliação da confiabilidade analítica, representando testes de controle e garantia de qualidade (QA/QC). A prova em branco continha apenas sulfato de sódio e os padrões de acompanhamento citados.

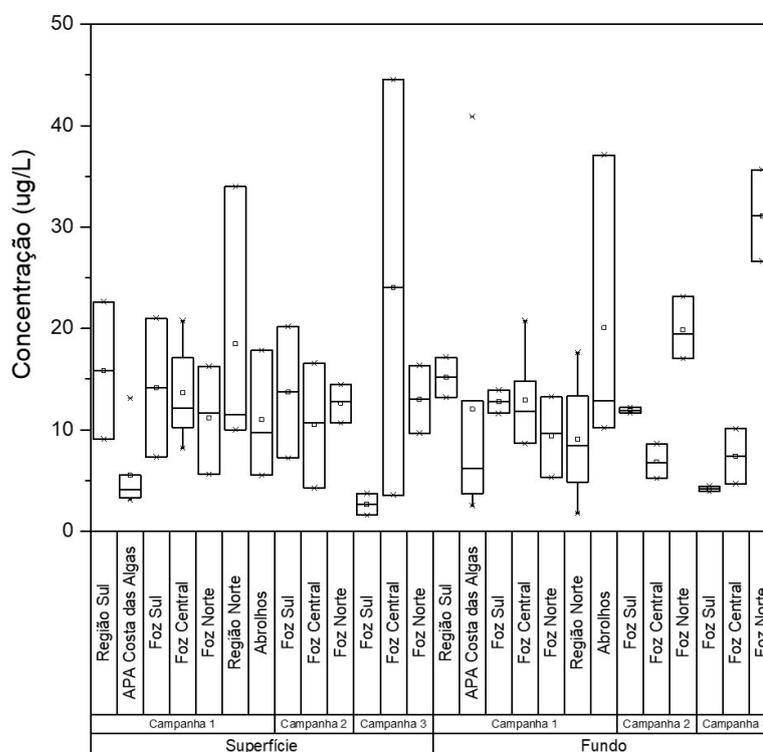
### 1.2.3.2 Hidrocarbonetos Alifáticos

#### **Campanha Semestral I**

As concentrações de hidrocarbonetos alifáticos apresentaram grandes variações em termos de concentração quando comparadas dentro dos setores de coleta descritos neste trabalho. Tal distribuição se deve às diversas forçantes físicas, tais como correntes, marés, bem como do conteúdo e qualidade da matéria orgânica presente no material particulado que advém de transporte terrestre continental. Durante a campanha Semestral I foram observadas concentrações de hidrocarbonetos alifáticos totais (HAt) variando de 1,78  $\mu\text{g L}^{-1}$  registrado na Região Norte (referente ao ponto amostral BN 02 fundo) a 40,90  $\mu\text{g L}^{-1}$  (CA 01, fundo). Devemos também salientar que durante esta campanha, as maiores concentrações de HAt foram registradas para as amostras de fundo. Tal evento pode ser inferido a entrada de material particulado mais denso vindo da descarga do Rio Doce e que este por sua vez deve ser mais rico em matéria orgânica e conseqüentemente capaz de maior adsorção destes contaminantes orgânicos. Tal inferência será melhor investigada a partir da integração dos dados de

granulometria e matéria orgânica coletados pelo grupo de Geologia responsável por estas análises. Avaliando setorialmente, incluindo juntos os dados das amostras de água superficial e de fundo, não se observam tanta heterogeneidade na distribuição das concentrações de HAt. Conforme ilustrado na Figura 63, temos as seguintes distribuições das concentrações de HAt: Região Sul com concentração média de  $15,52 \pm 5,78 \text{ ug L}^{-1}$ ; APA Costa das Algas ( $8,80 \pm 10,72 \text{ ug L}^{-1}$ ); Foz Sul ( $13,48 \pm 4,58 \text{ ug L}^{-1}$ ); Foz Central ( $12,61 \pm 4,08 \text{ ug L}^{-1}$ ); Foz Norte ( $10,30 \pm 4,32 \text{ ug L}^{-1}$ ), Região Norte ( $13,14 \pm 10,33 \text{ ug L}^{-1}$ ) e Abrolhos ( $15,54 \pm 11,32 \text{ ug L}^{-1}$ ).

Figura 63: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (quadrado) e mediana (linha) das concentrações Hidrocarbonetos Alifáticos Totais (HAt) para as amostras de água superficiais (S) e fundo (F) dos setores nas campanhas de amostragem Semestral 1, Mensal 1 e Mensal 2.



Fonte: Autoria própria.

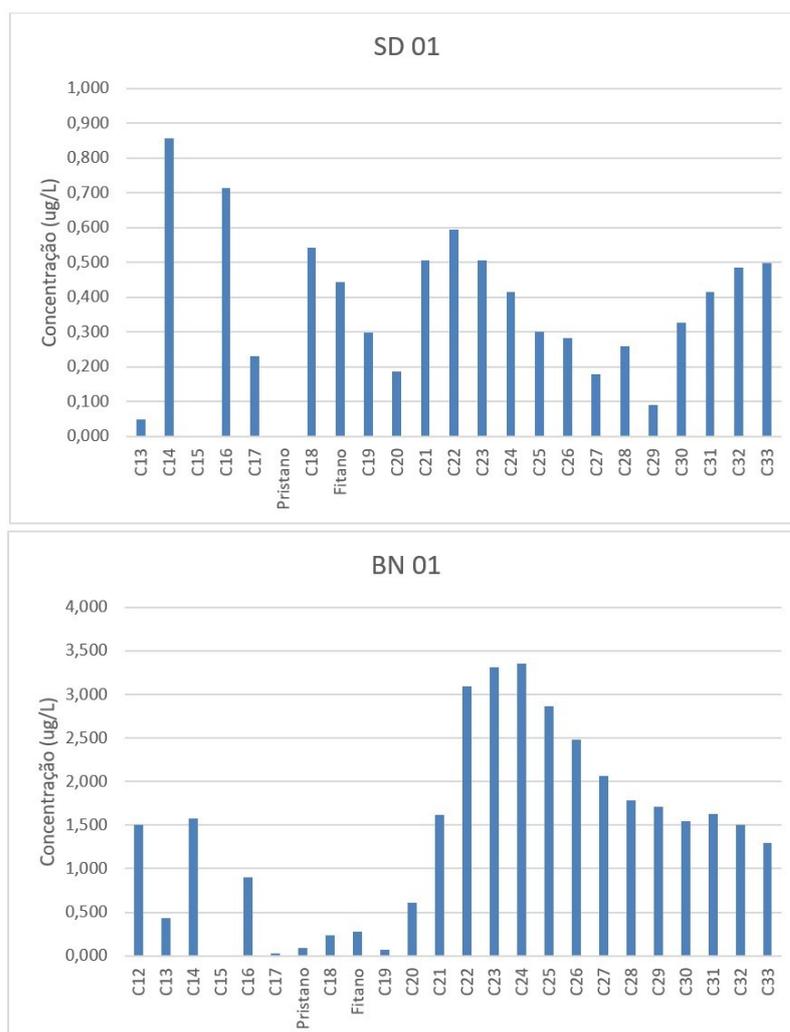
Segundo a Figura 63, podemos verificar que durante a campanha 1 as concentrações de HAt para as amostras superficiais foram dispersas da região de desembocadura do Rio Doce em direção aos pontos mais distantes da Região Norte, alcançando a concentração máxima de  $33,90 \text{ ug L}^{-1}$  em BN 01. Tal evento em que se observa esta maior dispersão em direção norte e concentrações inferiores nas regiões mais próximas ao Rio Doce se deve a um possível efeito das forçantes de maré que podem rapidamente terem diluído o material aportado pelo rio nestas regiões mais próximas e levado por ação do vento para regiões mais distais.

Durante a campanha amostral Semestral 1 foram realizadas coletas extras nos pontos SD 01 e SD 02 devido ao aumento da pluviosidade na bacia do Rio Doce. As maiores concentrações de hidrocarbonetos alifáticos totais para estes pontos extras foram de  $10,23$  e  $14,83 \text{ ug L}^{-1}$  SD 01 para

superfície e fundo, respectivamente. Para o ponto SD 02, os valores referentes a amostragem extra foram de 17,11 e 20,77  $\mu\text{g L}^{-1}$  para superfície e fundo, respectivamente. Assim houveram aumentos de cerca de 25% nas concentrações da amostra superficial SD 01 tanto para fundo quanto para superfície. Ainda podemos verificar uma influência no aumento de descarga do rio devido a pluviosidade no ponto extra SD 02. Também ocorreram aumentos nas concentrações de HAt quando comparados ao período de menor pluviosidade. Foram determinados acréscimos referentes a 40% na superfície e de cerca de 139% para o mesmo ponto, porém no fundo. Este evento de maior pluviosidade corrobora com a hipótese da imersão de material particulado mais denso para regiões mais profundas e que neste se encontram adsorvidos maior quantidade de matéria orgânica e consequente maior concentração de hidrocarbonetos alifáticos.

Quanto ao perfil da composição dos hidrocarbonetos alifáticos individuais (Figura 64), podemos observar, utilizando para isto como exemplo os pontos amostrais mais representativos a estas influências citadas acima.

Figura 64: Distribuição da concentração de Hidrocarbonetos Totais ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em amostras de água superficiais coletadas em ponto próximos a desembocadura do Rio Doce (SD 01) e na Região Norte (BN 01).



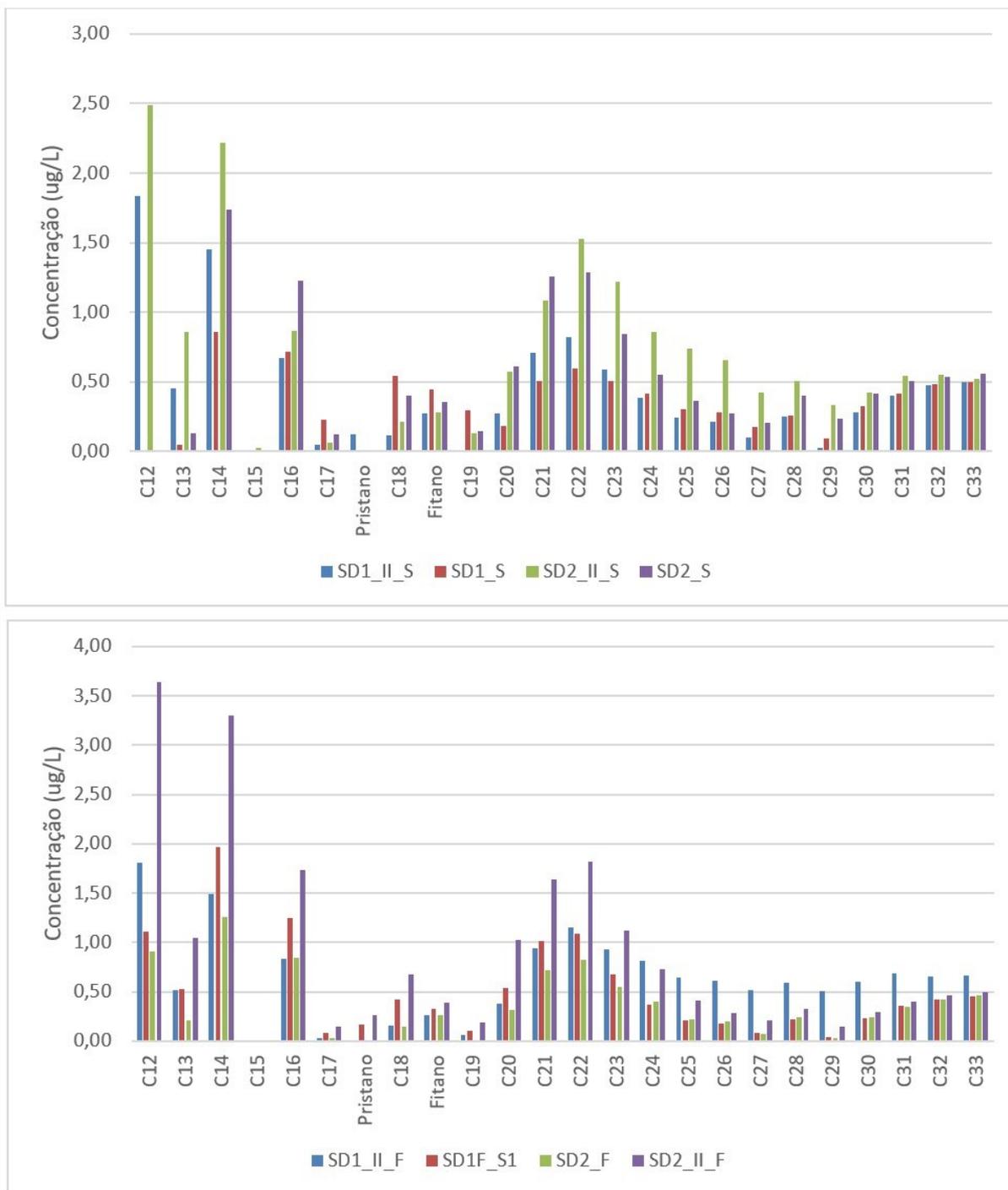
Fonte: Autoria própria.

Como pode se verificar, a distribuição de hidrocarbonetos individuais para estas amostras difere muito em seu perfil, não havendo uma visível predominância nem material biogênico autigênico (HC de menor massa) quanto a presença de material biogênico terrestre (representado pela predominância de hidrocarbonetos de maior massa ímpares sobre pares). Assim, uma avaliação mais concisa dos perfis de distribuição de hidrocarbonetos sugere um aporte misto de hidrocarbonetos. O perfil de hidrocarbonetos individuais de n-C12 a n-C33 e isoprenóides (Figura 65), com máximos em n-C22, evidencia a mistura de material e infere o aporte de material terrígeno e marinho, tal como algas e plantas aquáticas. Em geral, n-alcenos de cadeias curtas, especificamente entre 15 e 17 átomos de carbono, são associados com o fito e zooplâncton marinho e algas bentônicas (Volkman et al., 1992). Nestas amostras ocorre uma abundante presença de n-alcenos de cadeia menor que n-C22, o que é sugestivo de fontes autóctones, possivelmente do aporte de detritos de algas e/ou ainda de biodegradação bacteriana (Albaiges et al., 1984). A mistura de aporte também é clara pela apresentação de uma faixa modal de n-C18 a n-C26, com máximo em n-C22, caracterizando assim uma maior influência de material marinho em relação ao material terrígeno. O aporte terrígeno pode ser verificado também, porém em menor concentração, pela predominância de hidrocarbonetos ímpares sobre pares na faixa de n-C29 a n-C33, que consiste principalmente de cêras epicuticulares de plantas superiores, sendo este caracterizado por hidrocarbonetos de cadeia longa com predominância de cadeias carbônicas ímpares, principalmente n-C27, n-C29 e n-C31 (Eglinton e Hamilton, 1967; Eglinton et al., 1962; Volkman et al., 1992).

O aporte destes compostos ainda pode ser relacionado com fontes antrópicas em função de atividades desenvolvidas no entorno da Baía do Rio Doce. Assim são consideradas fontes destes compostos: efluentes domésticos, industriais, derivados de petróleo, entre outros, que poder ter sido transportados pela descarga do rio em direção ao oceano, principalmente em direção norte, cuja dispersão deste material também é influenciada por forçantes físico químicas previamente aqui já descritas.

Da mesma forma, na Figura 65, são apresentados os perfis de concentração de hidrocarbonetos alifáticos individuais como comparativo entre o período de menor e maior pluviosidade em pontos das regiões centrais e Norte, tanto para água superficial quanto para fundo.

Figura 65: Comparativo da distribuição da concentração de Hidrocarbonetos Totais ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em amostras de água superficiais coletadas em pontos próximos a desembocadura do Rio Doce durante os períodos de maior e menor pluviosidade.



Fonte: Autoria própria.

O aumento das concentrações individuais de HA em função do aumento da descarga do rio devido ao aumento de pluviosidade é nítido conforme ilustrado na Figura 65. Tais variações são observadas tanto para as amostras superficiais, quanto nas de fundo.

## Campanha II

Durante esta campanha as concentrações de HAt variaram de 4,28 a 23,13 ug L<sup>-1</sup> (SD 03\_S e SDN 20\_F, respectivamente). As concentrações médias foram de 12,83 ± 5,40 ug L<sup>-1</sup> (Foz Sul); 8,69 ± 4,50 ug L<sup>-1</sup> (Foz Central) e de 16,25 ± 4,57 ug L<sup>-1</sup> (Foz Norte). Estes resultados mostram uma ligeira diminuição com relação a campanha amostral anterior, com exceção na Região Norte. O mesmo comportamento de dispersão observado na campanha Semestral I, se manteve durante esta campanha, evidenciando ainda um transporte de material em direção norte, porém também um aumento significativo na porção sul, principalmente na isóбата de 20 (SDS 20). Neste ponto as concentrações foram de 20,21 e 12,21 ug L<sup>-1</sup> em superfície e fundo, enquanto que na campanha anterior os valores observados foram de 7,35 e 11,63 ug L<sup>-1</sup> em superfície e fundo, respectivamente.

## Campanha III

Durante esta campanha, os níveis de concentração foram bem distintos, apresentando ora diminuição em relação as campanhas anteriores, ora aumento. As concentrações de HAt variaram de 1,58 a 44,53 ug L<sup>-1</sup> (SDS 20 e SD 03\_S, respectivamente). As concentrações médias observadas dentro dos setores foram de 3,42 ± 1,27 ug L<sup>-1</sup> (Foz Sul), 15,73 ± 19,41 ug L<sup>-1</sup> (Foz Central) e de 22,07 ± 11,42 ug L<sup>-1</sup> (Foz Norte).

Nesta campanha fica mais nítido o gradiente de concentração rumando de sul para norte. As concentrações máximas observadas a sul são cerca de 5 vezes menores do que a média em porção central e cerca de 10 vezes menores do que a máxima concentração registrada neste setor (44,53 ug L<sup>-1</sup>, SD 03\_S). As mesmas proporções também são observadas a norte, cujo nível máximo de concentração foi de 35,64 ug L<sup>-1</sup>, SDN 13\_F.

Com relação a diferença de concentração entre as águas superficiais e de fundo, nesta campanha também se repetiu o comportamento de maiores concentrações para as amostras de maior profundidade.

### 1.2.3.3 Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA)

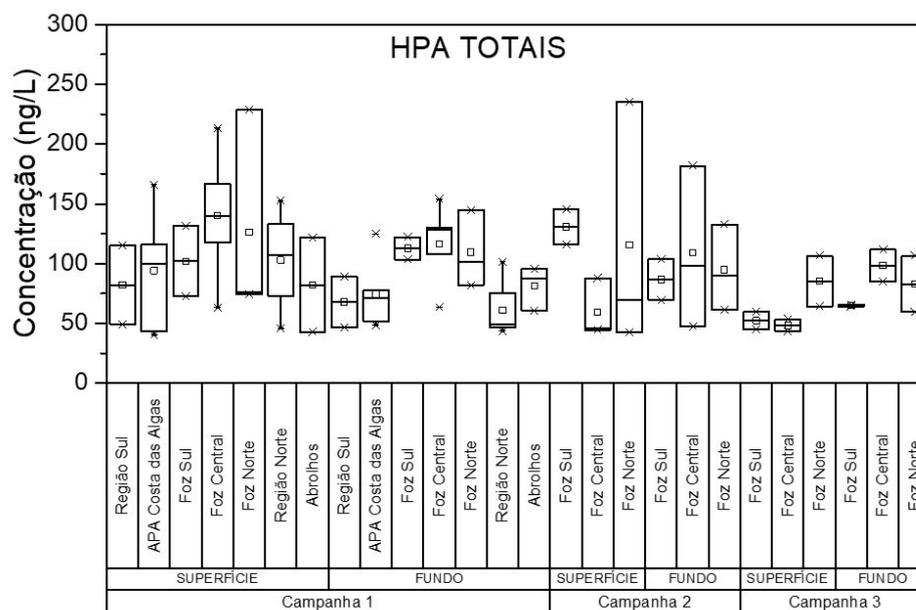
## Campanha I

As concentrações de HPA totais variaram de 40,31 ng L<sup>-1</sup> a 228,53 ng L<sup>-1</sup> (CA 01\_S e SDN 20\_S, respectivamente). Dentro dos setores as concentrações médias variaram de 74,97 ± 32,93 ng L<sup>-1</sup> na Região Sul; 84,14 ± 38,52 ng L<sup>-1</sup> na APA Costa das Algas; 107,30 ± 25,93 ng L<sup>-1</sup> na Foz Sul; 125,15 ± 44,31 ng L<sup>-1</sup> na Foz Central, 117,95 ± 60,22 ng L<sup>-1</sup> na Foz Norte; 81,90 ± 40,75 ng L<sup>-1</sup> na Região Norte e 81,57 ± 27,46 ng L<sup>-1</sup> na Região de Abrolhos.

Diferente do que foi observado para os HAt, a diferença de concentração de HPA totais (16 prioritários) entre as amostras de superfície e fundo não obedecem a um padrão. Na Região Sul as concentrações de fundo são maiores, já na APA e demais setores esta tendência não é tão nítida, havendo máximos ora nas amostras superficiais, ora em maiores profundidades.

A Figura 04 ilustra as concentrações médias, medianas, máximo e mínimo de concentrações de HPA totais nas amostras de água superficiais e de fundo para cada setor e em cada campanha de amostragem.

Figura 66: Distribuição dos valores de mínima, máxima, média (quadrado) e mediana (linha) das concentrações Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos Totais (HPA totais) para as amostras de água superficiais (S) e fundo (F) dos setores nas campanhas de amostragem 1, 2 e 3.



Fonte: Autoria própria.

Como pode ser observado, os máximos de concentração estão nos pontos referentes a desembocadura do Rio Doce, bem como nas porções adjacentes sul e norte, evidenciando assim uma forte influência na descarga do Rio na dispersão de HPA, assim como também foi verificado para os HAt.

Esta afirmação é melhor evidenciada ao se confrontar os resultados referentes a campanha extra onde houve um evento com aumento de pluviosidade. As amostras referentes as estas campanhas apresentaram valores superiores. Houve um incremento na concentração da amostra superficial SD 01 de 166,79 para 213,33 ng L<sup>-1</sup>, enquanto que na amostra de fundo o incremento foi ainda maior, variando de 63,20 para 154,01 ng L<sup>-1</sup>. Para a amostra SD 02 superficial a variação foi de 63,16 para 117,45 ng L<sup>-1</sup> e para as de maior profundidade a variação foi de 107,68 para 128,07 ng L<sup>-1</sup>. O período de intensas chuvas que aumentaram a vazão do Rio Doce consequentemente ocasionou a ressuspensão de material ainda depositado na calha do rio. Este comportamento de aumento expressivo junto ao regime de chuvas traz à tona a preocupação referente ao grande estoque de material oriundo da lama de rejeitos ainda presente na calha do Rio Doce e que deve ainda por um longo prazo ainda, ser uma fonte crônica de contaminantes para esta Bacia Hidrográfica bem como o transporte destes em direção ao oceano.

Também deve-se ressaltar que além do estoque de material ainda existente na calha do Rio Doce, oriundo da lama de rejeitos, existem diversas atividades antrópicas ao longo da bacia do Rio Doce que possam contribuir para os níveis de concentração dos contaminantes orgânicos aqui estudados. Os HPA que chegam até a costa podem estar relacionados ao material aportado por fontes antrópicas difusas, tais como esgoto doméstico, industrial, derramamento e/ou queima de combustíveis de petróleo e derivados, além do aporte atmosférico que também deve ser considerado.

### **Campanhas II e III**

Ao analisarmos apenas as concentrações totais médias, que foram de  $108,67 \pm 31,48 \text{ ng L}^{-1}$  na Foz Sul,  $84,23 \pm 53,13 \text{ ng L}^{-1}$  na Foz Central e de  $105,24 \pm 70,87 \text{ ng L}^{-1}$  na Foz Norte, pouca ou nenhuma alteração seria verificada. Entretanto ao observamos pontos específicos dentro de cada setorização pode-se observar um aumento, principalmente, nas concentrações dos pontos mais próximos da desembocadura da Foz do Rio Doce, bem como em pontos mais distais a sul e a norte. Para alguns pontos da região central, são observados incrementos de quase duas vezes na concentração referente ao período anterior. Estas altas concentrações observadas tanto a norte quanto a sul da Região Central da Foz, evidencia que a dispersão da pluma é principalmente regida pelo regime de ventos que vindos do sul elevaram os níveis de concentração em pontos mais ao norte. A dispersão do material proveniente da descarga do Rio Doce também é evidenciada ao sul, onde o máximo de concentração identificado foi para a amostra superficial da isóbata de 30m ( $145,51 \text{ ng L}^{-1}$ ). Quanto ao norte, máximo de HPA totais foi de  $235,51 \text{ ng L}^{-1}$  para a amostra de água superficial coletada na isóbata de 20.

As amostras coletadas na Campanha III, apresentaram o mesmo comportamento verificado quanto a dispersão de HAt. Houve uma diminuição significativa dos níveis de concentração região Sul da Foz, onde a concentração máxima caiu praticamente pela metade ( $65,55 \text{ ng L}^{-1}$ ) quando comparada ao período anterior. Já na região Central os níveis de concentração em geral diminuíram, com exceção da amostra de água de fundo em SD 01 (que aumentou de  $47,56 \text{ ng L}^{-1}$  para  $111,59 \text{ ng L}^{-1}$  para amostra de fundo). Já ao norte o aumento de concentração ocorreu na isóbata de 13 m com concentrações de  $106,45$  e  $106,47 \text{ ng L}^{-1}$  para fundo e superfície.

### **Estudo Comparativo: valores referência (Legislação Brasileira)**

Os níveis de concentração de hidrocarbonetos são relacionados ao aporte destes no meio ambiente, que podem estar intrinsecamente correlacionados a atividade antrópica em seu entorno e dessa forma apresentarem algum efeito tóxico aos organismos no ambiente. Os HPAs de baixo peso molecular (2-3 anéis) têm intenso efeito tóxico agudo e menor potencial carcinogênico quando comparados aos compostos de alto peso molecular (4-7 anéis) (Neff, 2002; Baird e Cann, 2012; Abrajano Jr et al., 2014). Entretanto, esta toxicidade para HPA mais leves, é tão elevada que concentrações letais (LC50) tão baixas quanto  $10 \text{ ng L}^{-1}$  têm sido relatadas para determinados organismos (Zhou et al., 2000; Zhou & Maskaoui, 2003).

No Quadro 10 estão listados os valores regulados pela resolução CONAMA 357/2005 para Águas Salinas Classe I.

Quadro 10: Valores reguladores para HPA em água (Tabela V classe 1 - Águas Salinas - PADRÕES para CORPOS DE ÁGUA ONDE HAJA pesca ou cultivo de organismos para fins de consumo intensivo).

PARÂMETROS ORGÂNICOS	Valor máximo (ng/L)
Benzo[a]antraceno	18
Benzo[a]pireno	18
Benzo[b]fluoranteno	18
Benzo[k]fluoranteno	18
Criseno	18
Dibenzo[ah]antraceno	18
Indeno[1,2,3-cd]pirene	18

Fonte: Autoria própria.

De acordo com os valores regulamentados pela classificação apenas duas amostras referentes a campanha I se enquadram fora dos níveis permitidos para benzo(a)pireno (24,19 ng/L para BN 01\_S e 24,14 ng/L para ITA 01\_S).

Ainda fazendo uma avaliação dos níveis de concentração de HPA aqui determinados com trabalhos da literatura, alguns níveis de concentração se encontram dentro de faixas de concentração em áreas de alta atividade antrópica tais como na Baía de Guanabara (79-1592 ng/L; 40-11560 ng/L) (Silva et al., 2007 e Meniconi et al., 2002); e em regiões de intensa atividade portuária tal como a Bacia de Paranaguá (51,20 – 162,37 ng g<sup>-1</sup> (Froehner et al., 2018).

#### 1.2.3.4 Contaminantes Emergentes

A extração da fase sólida (SPE, do inglês *solid phase extraction*) se deu por meio de da utilização de cartuchos Oasis HLB (*Hydrophilic/Lipophilic-Balance*) da empresa Waters contendo 500 mg de fase sorvente e 6 mL de capacidade. Esse tipo de cartucho possui como fase sólida um sorvente misto, contendo um polímero lipofílico (divinilbenzeno) combinado com um polímero hidrofílico (n-vinilpirrolidina). Os cartuchos são conectados a um sistema de processamento manifold denominado Vacuelut que consiste em uma câmara de vidro resistente ao vácuo e um conjunto de peças e conexões em teflon (PTFE), que por sua vez foram conectados aos frascos com as amostras e aos cartuchos de SPE (vide ÂPÊNDICE I).

Quadro 11: Valores dos limites de detecção e quantificação.

	Faixa Linear (µg/L)	LOD (µg/L)	LOQ (µg/L)	R2
IBU	5 – 160	2,40	7,27	0,99986
DIC	5 – 160	2,74	8,32	0,99478
OCT	5 – 160	1,50	4,56	0,99584
BPA	5 – 160	2,46	7,46	0,99486
ETG	5 – 160	1,55	4,71	0,99935
NON	5 - 160	2,36	7,15	0,99884
E1	5 – 160	1,75	5,30	0,99811
TLC	5 – 160	2,52	7,65	0,99441
E2	5 – 160	1,57	4,74	0,99835
E3	5 – 160	3,19	9,68	0,99794
COP	5 – 160	2,69	8,16	0,99905

Fonte: Autoria própria.

### Determinação das espécies de interesse

Após as etapas de extração e eluição dos compostos contidos nos cartuchos de SPE, foi adicionado o padrão interno bisfenol A deuterado e todo o volume do eluato foi evaporado no concentrador rotativo a vácuo. Em seguida, procedeu-se com a reação de derivatização, a suspensão em hexano e a injeção no GC-MS. Os resultados obtidos a partir da análise das amostras das campanhas mensais, da primeira campanha semestral, da 2ª campanha mensal são apresentados nos Quadro 12, Quadro 13, Quadro 14, Quadro 15 e Quadro 16.

Os resultados das amostras referentes a 1ª campanha semestral. Nela é possível verificar que os níveis da maioria dos compostos analisados não foram detectados, com exceção do estriol e do coprostanol, cujas concentrações máximas foram 42,58 µg/L e 57,95 µg/L, respectivamente.

Nos resultados referentes ao conjunto de amostras da primeira campanha mensal, é possível perceber que não foi detectada a presença da maioria dos compostos investigados. No entanto, o composto estriol foi detectado em níveis de concentração inferiores aos limites de quantificação (9,68 µg/L) até o valor máximo de 29,91 µg/L. Por sua vez o composto coprostanol também foi determinado em concentrações inferiores ao limite de quantificação (8,16 µg/L) até a concentração máxima de 69,15 µg/L.

Nas amostras da 2ª campanha mensal (Quadro 16) não foi detectado nenhum dos compostos avaliados.

De uma forma geral, a presença do coprostanol em corpos aquáticos pode indicar a contaminação por meio de lançamento de esgoto não tratado. Esse composto é formado a partir da biohidrogenação do colesterol no intestino da maioria dos animais, inclusive de seres humanos, e também é responsável pelo odor característico das fezes. Por essa razão, tanto em locais que apresentem ou não um sistema de coleta e tratamento de esgoto, o coprostanol tem sido frequentemente usado como um indicador da

presença de fezes humanas nos ambientes aquáticos (JEANNEAU; FAURE; MONTARGES-PELLETIER, 2008).

Da mesma forma, a fonte principal de estrogênios no ambiente, dentre eles o estriol, está relacionada ao lançamento de esgoto doméstico não tratado em corpos hídricos. Segundo a literatura, estima-se que uma mulher excrete diariamente de 10 a 100  $\mu\text{g}$  de estrona, estradiol, estriol e etinilestradiol durante o ciclo menstrual (RICHARDSON; TERNES, 2011; NOGUERA-OVIEDO; AGA, 2016).

Considerando tais fatos, é possível inferir que a presença tanto de coprostanol quanto do estriol nas amostras investigadas esteja relacionada a deficiência dos serviços de saneamento básico da região. No entanto, mesmo que houvesse um serviço de saneamento que atendesse minimamente as regiões afetadas pelo desastre de Mariana, as tecnologias disponíveis atualmente para tratar os contaminantes emergentes ainda são muito incipientes e de elevado custo.

Além disso, tal deficiência pode ter sido agravada pela devastação dos serviços de saneamento das cidades ao longo do rio Doce após o rompimento da barragem de Mariana.

Quadro 12: Valores das concentrações ( $\mu\text{g/l}$ ) dos contaminantes emergentes determinados nas amostras da Campanha Amostral 1 coletadas na superfície (s) e no fundo (f)

	<b>ABR1-S</b>	<b>ABR1-F</b>	<b>ABR2-S</b>	<b>ABR2-F</b>	<b>ABR4-S</b>	<b>ABR4-F</b>	<b>BN1-S</b>	<b>BN1-F</b>	<b>BN2-S</b>	<b>BN2-F</b>	<b>DEG1-S</b>	<b>DEG1-F</b>
IBU	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
OCT	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
NON	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TCL	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
DIC	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
BPA	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E3	37.84	11.63	10.62	31.08	<LOQ	42.30	11.46	<LOQ	<LOQ	18.26	10.44	24.10
COP	<LOQ	11.66	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	21.53	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	12.33
ETG	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	<b>CA1-S</b>	<b>CA1-F</b>	<b>CA2-S</b>	<b>CA2-F</b>	<b>CA3-S</b>	<b>CA3-F</b>	<b>CA4-S</b>	<b>CA4-F</b>	<b>CA5-S</b>	<b>CA5-F</b>	<b>CA6-S</b>	<b>CA6-F</b>
IBU	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
OCT	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
NON	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TCL	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
DIC	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
BPA	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E3	<LOD	<LOQ	16.01	36.98	10.20	13.58	12.42	19.23	10.42	<LOQ	<LOD	<LOQ
COP	<LOQ	66.84	ND	18.15	ND	ND	ND	53.23	24.67	25.99	ND	19.10
ETG	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

Fonte: Autoria própria.

Quadro 13: Valores das concentrações ( $\mu\text{g/l}$ ) dos contaminantes emergentes determinados nas amostras da 1ª campanha semestral coletadas na superfície (s) e no fundo (f)

	<b>SD01-S</b>	<b>SD01-F</b>	<b>SD02-S</b>	<b>SD02-F</b>	<b>SD03-S</b>	<b>SD03-F</b>	<b>SDN30-S</b>	<b>SDN30-F</b>
IBU	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
OCT	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
NON	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TCL	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
DIC	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
BPA	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E3	<LOD	<LOD	<LOD	9.77	<LOD	<LOD	<LOQ	18.44
COP	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	57.95	45.08
ETG	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	<b>SDS20-F</b>	<b>SDS30-F</b>	<b>SDN13-S</b>	<b>SDN20-S</b>	<b>SDN20</b>	<b>GUA1 F</b>	<b>VIX1 S</b>	<b>VIX1 F</b>
IBU	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
OCT	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
NON	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TCL	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
DIC	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
BPA	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E3	10.32	<LOQ	24.81	<LOD	22.17	<LOD	<LOD	<LOD
COP	<LOD	<LOD	43.92	<LOD	30.13	<LOD	<LOD	<LOD
ETG	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

Fonte: Autoria própria.

Quadro 14: Valores das concentrações ( $\mu\text{g/l}$ ) dos contaminantes emergentes determinados nas amostras da 1ª campanha semestral coletadas na superfície (s) e no fundo (f)

	<b>ITA1-S</b>	<b>ITA1-F</b>	<b>SD01- 2 –S</b>	<b>SD01-2-F</b>	<b>SD02-2-S</b>	<b>SD02-2-F</b>
IBU	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
OCT	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
NON	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TCL	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
DIC	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
BPA	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E3	22.63	42.58	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
COP	17.20	<LOQ	<LOQ	32.59	<LOQ	<LOQ
ETG	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

Fonte: Autoria própria.

Legenda: <LOD: concentração inferior ao limite de detecção, <LOQ: concentração inferior ao limite de quantificação

Quadro 15: Valores das concentrações (µg/l) dos contaminantes emergentes determinados nas amostras mensais coletadas na superfície (s) e no fundo (f)

	<b>SD1-S</b>	<b>SD1-F</b>	<b>SD2-S</b>	<b>SD2 -F</b>	<b>SD3-S</b>	<b>SD3-F</b>	<b>SDN13-S</b>	<b>SDN13-F</b>			
IBU	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD			
OCT	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD			
NON	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD			
TCL	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD			
DIC	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD			
BPA	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD			
E1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD			
E2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD			
E3	<LOQ	<LOQ	29.91	12.50	<LOQ	21.40	<LOQ	<LOQ			
COP	<LOQ	25.01	<LOQ	<LOD	5.46	<LOQ	<LOQ	<LOQ			
ETG	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD			
	<b>SDN13-F</b>	<b>SDN20-S</b>	<b>SDN20-F</b>	<b>SDN30-S</b>	<b>SDN30 -F</b>	<b>SDS20-S</b>	<b>SDS20-F</b>	<b>SDS20-S</b>	<b>SDS30-S</b>	<b>SDS30-F</b>	<b>SDS30--S</b>
IBU	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
OCT	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
NON	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TCL	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
DIC	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
BPA	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E3	13.15	11.40	27.85	16.99	<LOQ	17.79	20.91	13.68	<LOQ	21.85	<LOQ
COP	36.18	<LOQ	<LOQ	<LOQ	66.84	69.15	12.93	5.66	<LOD	<LOQ	22.02
ETG	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

Fonte: Autoria própria.

Quadro 16: Valores das concentrações ( $\mu\text{g/l}$ ) dos contaminantes emergentes determinados nas amostras da 2ª campanha mensal coletadas na superfície (s) e no fundo (f)

	SDN20 F	SDN20 S	SD3 S	SD3 F	SDN13 S	SDN13 F	SDS30 S	SDS30 F	SD1 S	SD1 F	SDS20 F	SDS20 S
IBU	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
OCT	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
NON	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TCL	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
BPA	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
DIC	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
E3	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
COP	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
COL	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
ETG	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

Fonte: Autoria própria.

Legenda: <LOD: concentração inferior ao limite de detecção, <LOQ: concentração inferior ao limite de quantificação

#### 1.2.3.5 Pesticidas e PCBs

Neste item são descritas as análises quantitativas de poluentes orgânicos persistentes (POPs), em particular, pesticidas organoclorados (POCs), bifenilas policloradas (PCBs) e éteres de difenila polibromados (PBDEs).

As amostras de sedimentos, água superficial e água de fundo foram analisadas quanto a presença de compostos organoclorados (pesticidas clorados – POCs e bifenilas policloradas - PCBs) e organobromados (éteres de difenila polibromados – PBDEs).

Os sedimentos foram processados conforme método analítico descrito em UNEP (1992) e Bicego et al. (2006). Aproximadamente 50g de sedimento foram secos em um liofilizador, desagregados utilizando almofariz e pistilo de porcelana, homogeneizados e armazenados em frascos de vidro. Durante as análises, aproximadamente 10 g de sedimento seco recebeu uma mistura de padrões subrogados para a determinação de compostos organoclorados e organobromados (PCB 103 (C-103N) e PCB 198 (C-198N), AccuStandard, USA). Posteriormente, foi extraído em aparato Soxhlet durante 8 h com 80 mL de n-hexano e diclorometano (1:1) (J. Baker, México). Os extratos foram concentrados a 2 mL em evaporador rotatório, e submetida à purificação por cromatografia de adsorção em coluna de alumina, com eluição de 15 mL de uma mistura 30% diclorometano em n-hexano para a obtenção da fração contendo os compostos organoclorados e organobromados. Os extratos resultantes foram concentrados a 250 mL.

A extração dos compostos orgânicos em amostras de água foi baseada no protocolo EPA 3510C - Separatory Funnel Liquid-Liquid Extraction. Amostras de água (4 L) foram extraídas em funil de separação com n-hexano (50 mL x 3). Previamente a extração, cada amostra recebeu uma mistura de padrões subrogados para a determinação de compostos organoclorados e organobromados (PCB 103 (C-103N) e PCB 198 (C-198N), AccuStandard, USA). Os extratos brutos foram submetidos a fracionamento em coluna cromatográfica por adsorção em alumina conforme descrito anteriormente para as amostras de sedimento. Os extratos resultantes foram concentrados a 250 mL.

O método instrumental de determinação dos POCs e PCBs está descrito em Souza et al. (2018). Foram injetados 3 µL de cada amostra em um cromatógrafo a gás (Agilent GC 7890) acoplado a um espectrômetro de massa (GC-MS) (Agilent 5975C inert MSD with Triple-Axis Detector), no modo SIM (System Ion Monitoring), equipado com coluna capilar Agilent 19091J-433, com 30 m de comprimento, 0,25 µm de espessura do filme, 250 µm de diâmetro interno e fase estacionária de 5% fenil-metil-siloxana. A rampa de aquecimento iniciou em 75 °C, permanecendo por 3 min; aquecimento a uma taxa de 15 °C min<sup>-1</sup> até 150 °C; aquecimento até 260 °C a uma taxa de 2 °C min<sup>-1</sup>; aquecimento até 300 °C a uma taxa de 20 °C min<sup>-1</sup>, permanecendo nesta temperatura por 10 min; totalizando 75 min.

As amostras de sedimento superficial, água superficial e de fundo foram analisadas para os seguintes contaminantes orgânicos: (a) pesticidas organoclorados: HCB, a-HCH, b-HCH, g-HCH (lindano), d-HCH, Heptacloro, Heptacloro Epóxido A, Heptacloro Epóxido B, Aldrin, Isodrin, Dieldrin, Endrin, Oxiclordana, g-clordana, a-clordana, DDE (somatório dos isômeros p,p'- e o,p-), DDD (somatório dos

isômeros p,p'- e o,p-), DDT (somatório dos isômeros p,p'- e o,p-), Endossulfan I, Endossulfan II, Metoxicloro e Mirex; (b) bifenilas policloradas: PCB 8, 18, 28, 31, 33, 44, 49, 52, 56/60, 66, 70, 74, 87, 95, 97, 99, 101, 105, 110, 114, 118, 123, 128, 132, 138, 141, 149, 151, 153, 156, 157, 158, 167, 170, 174, 177, 180, 183, 187, 189, 194, 195, 201, 203, 206 e 209; (c) éteres de difenila polibromados: BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 e 183. A identificação dos POCs, PCBs e PBDEs foi baseada nos tempos de retenção de padrões autênticos. A determinação dos sedimentos levou em conta a fração total, conforme Anexo da Resolução Conama 454/12.

A quantificação foi realizada contra padrões externos através das curvas analíticas de cada analito e os padrões subrogados PCB103 e PCB198. A recuperação da metodologia foi avaliada utilizando 2,4,5,6-tetracloro-m-xileno (TCMX, M-8082-SS-10X, AccuStandard, USA) como padrão interno. Os limites de detecção para amostras de sedimento e água foram  $0.025 \text{ ng g}^{-1}$  e  $0.0625 \text{ ng L}^{-1}$ , determinado a partir da menor concentração sensível no GC-MS ( $0.001 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ ), multiplicado pelo volume final do extrato ( $250 \mu\text{L}$ ) e dividido pela massa de sedimento (10g) e volume de água (4L) extraídos, respectivamente.

Até momento, foram analisadas 38 amostras de sedimento superficial, obtidas em quatro campanhas: Semestral 1 (N = 33), Emergencial (N = 2), Mensal 1 (N = 2) e Mensal 2 (N = 1).

Níveis detectáveis para Soma dos 7 PCBs estabelecidos pela Resolução Conama 454/14 foram obtidos em 10 amostras (26 %) enquanto que para a Soma dos 47 PCBs analisados, os níveis detectáveis foram obtidos em 16 amostras (42%). PBDEs e os seguintes POCs: g-HCH (lindano), d-HCH, Heptacloro, Heptacloro Epóxido A, Heptacloro Epóxido B, Endrin, g-clordano, a-clordana, Mirex, não foram detectados em nenhuma das amostras analisadas.

Os demais POCs (HCB, a-HCH, b-HCH, Aldrin, Isodrin, Dieldrin, Oxiclordana, DDE, DDD, DDT, Endossulfan I, Endossulfan II e Mirex) foram detectados nas amostras de sedimento, sendo que apenas HCB, Oxiclordana, DDE e DDT ocorreram em mais de 50% das amostras analisadas.

A Tabela 2 mostra os valores mínimos, máximos e médios para os compostos detectados nas amostras de sedimento nos diferentes períodos de amostragem até o momento para um total de 38 amostras, bem como os níveis máximos tolerados em sedimentos superficiais, preconizados na CONAMA 454/14.

No geral, todos valores médios detectados estiveram abaixo do Nível 1 estabelecido pela Resolução CONAMA 454/14. Valores superiores aos limites ocorreram pontualmente para os pesticidas DDT (amostras SD2 e SD1-II,  $1,69$  e  $1,47 \text{ ng g}^{-1}$  respectivamente) e b-HCH (SD2,  $0,35 \text{ ng g}^{-1}$ ).

Em relação as amostras de água, foram analisadas 94 amostras, relacionadas a 47 estações de coleta e 2 profundidades (superficial e fundo) obtidas em quatro campanhas: Semestral 1 (N = 23), Emergencial (N = 2), Mensal 1 (N = 8), Mensal 2 (N = 6) e Trimestral 1 (N = 8).

Níveis detectáveis para Soma dos 7 PCBs estabelecidos pela Resolução Conama 454/14 foram obtidos em 16 amostras (7 – superfície e 9 – fundo; 17 % do total), enquanto que para a Soma dos 47 PCBs analisados, os níveis detectáveis foram obtidos em 42 amostras (22 – superfície e 22 – fundo; 46 % do

total). Os PBDEs foram detectados em apenas 2 amostras (CA6\_Sup. e SD3\_Fund.) e os seguintes POCs: HCB, b-HCH, g-HCH (lindano), d-HCH, Heptacloro, Heptacloro Epóxido A, Heptacloro Epóxido B, Aldrin, Isodrin, Dieldrin, Endrin, Oxiclordana, g-clordano, a-clordana, DDD, Metoxicloro e Mirex não foram detectados em nenhuma das amostras analisadas.

Os demais POCs (a-HCH, DDE, DDT, Endossulfan I e Endossulfan II) foram detectados nas amostras de água, sendo que apenas a-HCH, DDE e Endossulfan II ocorreram em mais de 50% das amostras analisadas.

A Tabela 2 mostra os valores mínimos, máximos e médios para os compostos detectados nas amostras de água nos diferentes períodos de amostragem até o momento para um total de 94 amostras, bem como os níveis máximos tolerados em sedimentos superficiais, preconizados na CONAMA 357/05.

Os valores médios detectados na água estiveram acima dos níveis estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, apenas para os DDTs (Classe Ia) e 7PCBs (Classe Ib). Valores superiores aos limites ocorreram pontualmente para 15 % das amostras em relação aos 7PCBs e 23 % para o pesticida DDT (DDT + DDD + DDE). Entretanto, estes valores serão novamente checados tendo em vista que a matriz água possui uma série de interferentes e que a matriz prioritária para análise deste contaminantes é o sedimento de fundo, devido ao caráter hidrofóbico apresentado por estes compostos.

Tabela 2: Concentrações mínimas, máximas e médias (em ng g<sup>-1</sup>) de POPs detectados em amostras de sedimentos superficiais e limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/14. N = número de amostras em que o composto foi detectado; Soma HCHs = a-HCH + b-HCH; Soma Drins = Aldrin + Isodrin + Dieldrin; Soma DDTs = DDE + DDD + DDT; Soma Endossulfan = Endossulfan I + Endossulfan II, 7 PCBs = PCB28 + 52 + 101 + 118 + 138 + 153 + 180.

	N	Concentrações (ng/g)			CONAMA 454/14 – Sedimentos (ng/)			
		Menor	Maior	Média	Água Doce		Água Salina	
					Nível 1	Nível 2	Nível 1	Nível 2
HCB	26	0,03	0,12	0,10				
a-HCH	11	0,03	0,16	0,14			0,32	0,99
b-HCH	7	0,05	<u>0,35</u>	0,26			0,32	0,99
Aldrin	2	0,03	0,10	0,29				
Isodrin	2	0,05	0,11	0,39				
Dieldrin	9	0,03	0,17	0,15	2,85	6,67	0,71	4,3
Oxiclordana	28	0,04	10,5	1,73				
DDE	35	0,03	0,73	0,21	1,42	6,75	2,07	374
DDD	8	0,03	0,15	0,17	3,54	8,51	1,22	7,81
DDT	28	0,03	<u>1,69</u>	0,42	1,19	4,77	1,19	4,77
Endossulfan I	2	0,03	0,16	0,40				
Endossulfan II	5	1,20	5,35	2,33				
Metoxicloro	3	0,04	0,34	0,36				
<b>Soma HCHs</b>		0,03	0,35	0,16				
<b>Soma Drins</b>		0,03	0,21	0,16				
<b>Soma DDTs</b>		0,05	2,42	0,54				
<b>Soma Endossulfan</b>		0,03	5,51	2,02				
<b>7PCBs</b>	10	0,03	0,70	0,24	34,1	277,0	22,7	180,0
<b>PCHs Totais</b>	16	0,03	2,02	0,43				

Fonte: Autoria própria.

## 1.3 CONCLUSÃO

### 1.3.1 Nutrientes

Os principais dados obtidos até o presente momento para os nutrientes são referentes aos valores de  $DSi$  e  $NO_3^-$ , que além de apresentarem concentrações significativamente altas em alguns momentos, possuem correlação entre si, assim como ocorreu com a chegada do rejeito a costa em 2015. Isso indica que pode estar havendo continuidade do impacto anteriormente observado tanto pelo aporte do sedimento lamoso rico em rejeito de minério, como também pelo aumento do potencial de carreamento, erosão e lixiviação de diversos compostos encontrados ao longo da bacia hidrográfica por esta água mais densa do rio. Além disso, o fósforo apresentou concentrações médias mais altas que as previamente registradas na região, porém sem um padrão de distribuição definido entre os setores estudados. Tanto o nitrogênio amoniacal, quanto o nitrito estão em concentrações muito abaixo das descritas pelos monitoramentos pretéritos da região e pela literatura geral. O excesso ou escassez de nutrientes pode desencadear um desequilíbrio na população dos produtores primários e, conseqüentemente, em toda a cadeia alimentar. Os níveis de nutrientes na coluna d'água podem ajudar a entender o comportamento da pluma de sedimento trazida pelo Rio Doce.

### 1.3.2 Metais

Considerando as campanhas realizadas de dezembro de 2015 a dezembro de 2016, dados do presente estudo, bem como os dados pretéritos ao desastre, mostrou que, o aporte do material de rejeito para as regiões estuarina e costeira adjacente a foz do rio Doce gerou impactos em relação ao aumento da concentração de metais e metaloide, primeiramente na coluna d'água e, posteriormente nos sedimentos superficiais. Sendo ainda presentes no sedimento marinho.

Com a chegada da lama de rejeitos na foz do Rio Doce, é notório o aumento das concentrações dos elementos Al, Fe, Mn, Ba, Cu, Ni, Zn, Pb, Cr e V, seja diretamente relacionado com a barragem de rejeitos da mineração de ferro, ou por processos secundários erosivos dos solos ou abertura de comportas das hidrelétricas ao longo do percurso percorrido.

A mobilidade geoquímica dos elementos analisados apresenta influência direta da composição mineralógica do rejeito de mineração presente na coluna d'água, favorecendo tanto a retirada de metais e metaloide quanto a sua permanência na fase dissolvida.

Novos aportes de material do rejeito de mineração presentes ao longo da bacia hidrográfica do Rio Doce, que podem ser ocasionados pelo aumento da vazão em períodos chuvosos, refletem no aumento das concentrações de metais e metaloide nas regiões estuarina e costeira adjacente, desencadeando novos processos de adsorção/dessorção.

Mesmo após 3 anos a chegada dos rejeitos a região costeira, elevadas concentrações de elementos como Fe, Al, As, Cr, Cu, Ni e Zn, cujos níveis superam os estabelecidos pela legislação brasileira e internacional para qualidade de sedimentos marinhos. Podendo estes estarem afetando a biota, seja

bentônica, ou mesmo aquática em caso de remobilização destes para a coluna d'água por eventos físico-químicos como alteração de pH e potencial redox nos sedimentos, mudança no padrão correntes, entrada de frentes frias e ondas.

### **1.3.3 Compostos Orgânicos**

As concentrações de hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos em algumas amostras, principalmente frente a foz do Rio Doce apresentam concentrações elevadas, porém quando comparadas a regiões de intensa atividade antrópica. Os níveis de concentração de HPA determinados na região são merecedores de atenção dos órgãos ambientais, uma vez que se sabe do grande potencial carcinogênico e mutagênico destas substâncias, tanto para o ser humano quanto para as espécies presentes neste habitat. Até o presente momento não foi possível uma inferência direta ou uma ligação intrínseca da presença destes contaminantes orgânicos ao material de rejeito, mas estes resultados indicam que a movimentação da massa de lama trouxe agregado ao rejeito diversos outros materiais que podem ter contribuído para o aporte destes contaminantes no ambiente e que o material ainda presente na calha do rio pode ainda ser ressuspenso e liberado para o oceano.

Os resultados preliminares mostram que os níveis de POPs detectados na grande maioria das amostras analisadas se encontram abaixo dos limites estabelecidos nas Resoluções CONAMA para a presença de contaminantes orgânicos em amostras de água e sedimentos. Um número restrito de amostras e de contaminantes apresentaram níveis que merecem atenção nas próximas etapas do monitoramento. Os POPs não têm relação direta com os rejeitos liberados pelo rompimento da barragem. No entanto, por serem hidrofóbicos e possuírem alta taxa de persistência no ambiente, esses compostos permanecem armazenados nos sedimentos e podem ser ressuspendidos na coluna d'água devido ao revolvimento de sedimentos e erosão das margens do Rio Doce, bem como pela lavagem de áreas agrícolas, em decorrência do grande volume de rejeitos que percorreu toda a extensão da bacia até atingir o ambiente marinho. Avaliando as concentrações encontradas nas amostras de água e sedimentos, a princípio não houve alterações significativas e, portanto, não há evidências de um impacto relacionado ao rompimento da barragem nesses dois compartimentos ambientais. A maioria dos pontos analisados até o presente momento não tiveram níveis de contaminação acima do permitido na legislação brasileira, então também não foram observados impactos nas áreas de conservação/preservação ambiental. Ainda restam um total de 127 amostras a serem analisadas, e questões (especialmente as de escala temporal) só poderão ser respondidas ao término das campanhas amostras e análises. Porém, considerando a elevada resistência dos POPs à degradação fótica, biológica e química, o que permite sua persistência no ambiente por longos períodos (anos a décadas), a característica hidrofóbica que favorece a bioacumulação em tecido adiposo dos seres vivos, com capacidade de biomagnificar, atingindo os mais elevados níveis da cadeia alimentar e a sua alta toxicidade, seria indicado realizar um monitoramento contínuo desses compostos, principalmente nos sedimentos. Sugere-se ainda a análise do material particulado em suspensão (MPS) pelo fato de pesquisas recentes apontarem maiores concentrações de compostos hidrofóbicos no MPS que nos sedimentos, onde avalia-se o estado atual do ambiente e o que ainda está biodisponível para os organismos marinhos.

A pluviosidade e as forçantes marítimas governam todo o processo de dispersão destes contaminantes do Rio Doce para o Oceano. Tal processo leva a uma tomada de medidas mitigadoras a fim de tentar controlar esta pontual e ao mesmo tempo difusa crônica contaminação. Ainda serão descritos a posteriori, resultados referentes a outros parâmetros orgânicos a fim de identificar uma melhor correlação com o rejeito, bem como assegurar a qualidade da água e sedimento neste ambiente pós acidente.

#### 1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, D. M.; BURKHOLDER, J. M.; COCHLAN, W. P.; GLIBERT, P. M.; GOBLER, C. J.; HEIL, C. A.; KUDELA, R.; PARSONS, M. L.; RENSEL, J. E. J.; TOWNSEND, D. W.; TRAINER, V. L.; VARGO, G. A. Harmful algal blooms and eutrophication: examining linkages from selected coastal regions of the United States. *Harmful Algae*, vol. 8, pág. 39-53, 2008.

BASTOS, A. T. C. C.; BRAGA, E. S. Different silicon forms sinalize an input of urbanized river and indicate the presence of phytoplankton with silicon structures in the tropical coastal area of Recife (PE-Brazil). *Brazilian Journal Of Oceanography*, vol. 66 (1), pag. 104-114, 2018.

BASTOS, A. C.; DIAS Jr., C.; LOUREIRO, L. F. F.; GHISOLFI, R. D.; NETO, R. R.; QUARESMA, V. S.; GRILO, C. F.; RODRIGUES, D.; COSTA, E. S.; SÁ, F.; PERASSOLI, F.; BONI, G. C.; LÁZARO, G.; LEMOS, K.; LEITE, M. D.; BANDEIRA, M.; CAGNIN, R. C.; BISI Jr., R.; SERVINO, R.; ROSSI, R.; MARTINS, T. Resultados Parciais das Análises Realizadas em Amostras Coletadas na Plataforma Adjacente a Foz do Rio Doce: Embarque NOc. Vital de Oliveira. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), 2016. CARLUCCI, A. F.; HATWIG E. O.; BOWES, P. M. Biological production of nitrite in seawater. *Marine Biology* vol.7, pag.161---166, 1970.

EYRE, B.; TWIGG, C. Nutrient Behaviour During Post-flood Recovery of the Richmond River Estuary, Northern NSW, Australia. *Estuarine. Coastal and Shelf Science*, vol. 44, pag. 311-326, 1997.

EÇA, G. F.; LOPES, J. B. B. S.; SOUZA, M. F. L.; BELÉM, A. L. Dissolved inorganic nutrients and chlorophyll on the narrow continental shelf of eastern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, vol. 62 (1), pág. 11-21, 2014.

FIGUEIREDO, J. A.; COSTA, E. S.; MILÁN, E.; BARROSO, G. F.; NETO, R. R. Nutrientes Limitantes e as Relações Orgânicas e Inorgânicas Entre o Fósforo, Nitrogênio e Silício no Sistema Pelágico da Baía do Espírito Santo e Porção Norte da Baía de Campos – ES, Brasil. *Geochimica Brasiliensis*, vol. 30 (2), pag. 95 -111, 2016. GAETA, S.A.; BRANDINI, F. P. 2006. Produção primária do fitoplâncton na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chui (RS). In: RossiWongtschowski CLDB and Madureira LS (Eds), O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil, São Paulo, SP, Brasil, EDUSP, p.219264

KORMANIK G.; CAMERON, J. Ammonia excretion in animals that breathe water: a review. *Marine Biology Letters*. vol. 2, pag.11-23, 1981.

KREUS, M.; SCHARTAU, M.; ENGEL, A.; NAUSCH, M.; VOSS, M. Variations in the elemental ratio of organic matter in the central Baltic Sea: Part I—Linking primary production to remineralization. *Continental Shelf Research*, vol. 100, pág. 25-45, 2015.

LIBES, S.M. 1992. An introduction to marine biogeochemistry. Wiley and Sons. 734pp

- OLIVEIRA, K. S. S., QUARESMA, V. S. Temporal variability in the suspended sediment load and streamflow of the Doce River. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 78, pag. 101-115, 2017.
- OVALLE, A. R. C.; REZENDE, C. E.; CARVALHO, C. E. V.; JENNERJAHN, T. C.; ITTEKKOT, V. Biogeochemical characteristics of coastal waters adjacent to small river-mangrove system, East Brazil. *Geo-Marine Letters*. vol.19, pág. 179-185, 1999.
- PAERL, H. W. 2009. Controlling Eutrophication along the Freshwater–Marine Continuum: Dual Nutrient (N and P) Reductions are Essential. *Estuaries and Coasts*, 32:593–601.
- RAGUENEAU, O.; SAVOYE, N.; AMO, Y. D.; COTTON, J.; TARDIVEAU, B.; LEYNAERT, A. A new method for the measurement of biogenic silica in suspended matter of coastal waters: using Si:Al ratios to correct for the mineral interference. *Continental Shelf Research*, vol. 25, pág. 697-710., 2005.
- SILVA, M. A. M.; SOUZA, M. F. L.; ABREU, P. C. Spatial and temporal variation of dissolved inorganic nutrients, and chlorophyll-a in a tropical estuary in northeastern Brazil: Dynamics of nutrients removal. *Brazilian Journal of Oceanography*, vol. 63, n. 1, pág. 1-15, 2014.
- TRÉGUER, P.; NELSON, D. N.; VAN BENNEKOM, A. J.; DEMASTER, D. J.; LEYNAERT, A.; B. QUÉGUINER. The Silica Balance in the World Ocean: A Reestimate. *Science*. vol. 268, pag. 375-379.
- WANG, Q.; LI, Y. Phosphorus adsorption and desorption behavior on sediments of different origins. *J Soils Sediments* vol.10, pag.1159–1173, 2010.
- ABRAJANO JR., T. A.; YAN, B.; O'MALLEY, V. High molecular weight petrogenic and pyrogenic hydrocarbons in aquatic environments. in: HOLLAND, H.; TUREKIAN, K. (eds) *Treatise on Geochemistry*. 2a. ed. v.11. Oxford: Elsevier Science Ltda, 2014, p. 481-509.
- ALBAIGES, J., GRIMALT, J., BAYONA, J., RISEBROUGH, R., DE LAPPE, B., WALKER, W. Dissolved, particulate and sedimentary hydrocarbons in a deltaic environment. *Organic Geochemistry* vol. 6, pag. 237-248, 1984
- BAIRD, C.; CANN, M. Other toxic organic compounds of environmental concern. in: Baird, C.; Cann, M. (orgs) *Environmental Chemistry*. 5a. ed., New York: W.H. Freeman and Company, pag. 663-694, 2012,
- BAUMARD, P., BUDZINSKI, H., GARRIGUES, P., Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and mussels of the western Mediterranean Sea. *Environmental Toxicology and Chemistry* vol.17, pag. 765-776, 1998.
- BOULOUBASSI, I., SALIOT, A. Investigation of Anthropogenic and Natural Organic Inputs in Estuarine Sediments Using Hydrocarbon Markers (Nah, Lab, Pah). *Oceanologica Acta*. vol. 16 (2), 145-161, 1993.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment)., 2008. Canadian Soil Quality Guidelines for Carcinogenic and Other Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Environmental and Human Health Effects), in: *Scientific Supporting Document* (Ed.), p. 218.

- EGLINTON, G., HAMILTON, R.J. Leaf Epicuticular Waxes. *Science* 156 (3780), 1322-1335, 1967.
- EGLINTON, G., RAPHAEL, R.A., GONZALEZ, A.G., HAMILTON, R.J., Hydrocarbon Constituents of Wax Coatings of Plant Leaves - a Taxonomic Survey. *Nature* 193 (4817), 739-742, 1962.
- FROEHNER, SANDRO & RIZZI, JULIANE & VIEIRA, LUCIANE & SÁNEZ, JUAN. (PAHs in Water, Sediment and Biota in an Area with Port Activities. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 75. 10.1007/s00244-018-0538-6, 2018
- FROEHNER, S., MACENO, M., DA LUZ, E., SOUZA, D., MACHADO, K. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in marine sediments and their potential toxic effects. *Environmental Monitoring and Assessment* 168, 205-213, 2010.
- NEFF, J.M. Bioaccumulation in marine organisms – Effect of contaminants from oil well produced water. Oxford: Elsevier Science Ltda, 2002.
- PETROBRAS, 2015: Relatório Final do Projeto de Caracterização Ambiental Regional da Bacia do Espírito Santo e Parte Norte da Bacia de Campos (PCR-ES/AMBES
- READMAN, J.W., BARTOCCI, J., TOLOSA, I., FOWLER, S.W., OREGIONI, B., ABDULRAHEEM, M.Y., Recovery of the coastal marine environment in the Gulf following the 1991 war-related oil spills. *Mar. Pollut. Bull.* 32, 493–49, 1996.
- READMAN, J.W., FILLMANN, G., TOLOSA, I., BARTOCCI, J., VILLENEUVE, J.P., CATINNI, C., MEE, L.D., Petroleum and PAH contamination of the Black Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 44, 48–62, 2002.
- SILVA, TAÍS FREITAS DA; AZEVEDO, DÉBORA DE ALMEIDA; AQUINO NETO, FRANCISCO RADLER DE. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments and waters from Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *J. Braz. Chem. Soc.*, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 628-637, 2007.
- VOLKMAN, J.K., HOLDSWORTH, D.G., NEILL, G.P., BAVOR, H.J. Identification of Natural, Anthropogenic and Petroleum-Hydrocarbons in Aquatic Sediments. *Science of the Total Environment* 112 (2-3), 203-219, 1992
- ZHOU, J.L., HONG, H., ZHANG, Z., MASKAOUI, K., CHEN, W. Multi-phase distribution of organic micropollutants in Xiamen Harbour, China, *Water Research*, Vol. 34, Issue 7, 2000, 2132-2150.
- ZHOU, J.L., MASKAOUI, K. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in water and surface sediments from Daya Bay, China, *Environmental Pollution*, Vol.121, Issue 2, 2003, 269-281.
- BAIKA, L. M.; DOS SANTOS, E. J.; HERRMANN, A. B. E GRASSI, M. T. Simultaneous determination of As, Hg, Sb, and Se in mineral fertilizers using ultrasonic extraction and CVG-ICP OES. *Analytical Methods*, 8, p. 8362-8367, 2016.

CAMPOS, M. L. A. M.; BENDO, A.; VIEL, F. C. Métodos de baixo custo para purificação de reagentes e controle da contaminação para a determinação de metais traço em águas naturais. *Química Nova*, 25, p. 808-813, 2002.

CHOSTAK, C. L.; DE CAMPOS, M. S.; DA SILVA, S. B.; ABATE, G. Dispositivos DGT modificados com materiais alternativos para uso na especiação de elementos traço. *Química Nova*, 38, p. 808-813, 2015.

DGT Research (2019): Diffusion Coefficients. Disponível em <https://www.dgtresearch.com/diffusion-coefficients/> acesso em março de 2019.

DOS ANJOS, VANESSA E.; ROHWEDDER, JARBAS R.; CADORE, SOLANGE ; ABATE, GILBERTO ; GRASSI, MARCO T. Montmorillonite and vermiculite as solid phases for the preconcentration of trace elements in natural waters: Adsorption and desorption studies of As, Ba, Cu, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Sr, V, and Zn. *Applied Clay Science (Print)*, v. 99, p. 289-296, 2014.

DOS SANTOS, M. P. Análise de especiação de telúrio em águas naturais por Difusão em Filmes Finos por Gradiente de Concentração, Geração Química de Vapor e Espectrometria de Emissão Óptica em Plasma Acoplado Indutivamente, DGT-CVG-ICP OES. Universidade Federal do Paraná - Dissertação de Mestrado, Curitiba, 2019.

INMETRO (2016): Coordenação Geral de Acreditação ORIENTAÇÃO SOBRE VALIDAÇÃO DE MÉTODOS ANALÍTICOS. DOQ-CGCRE-008 Revisão 05 – Agosto 2016. Disponível em [http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/Arquivos/CGCRE/DOQ/DOQ-CGCRE-8\\_05.pdf](http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/Arquivos/CGCRE/DOQ/DOQ-CGCRE-8_05.pdf) acesso em março de 2019.

ZHANG, H.; DAVISON, W.; Performance characteristics of diffusion gradients in thin films for the in situ measurement of trace metals in aqueous solution. *Analytical Chemistry*, 67, p. 3391-3400, 1995.

ZHANG, H.; DAVISON, W. In situ speciation measurements of trace components in natural waters using thin-film gels. *Nature*, 367, p. 546-548, 1994.

JEANNEAU, L.; FAURE, P.; MONTARGES-PELLETIER, E. Quantitative multimolecular marker approach to investigate the spatial variability of the transfer of pollution from the Fensch River to the Moselle River (France). *Science of the Total Environment*, v. 389, n. 2–3, p. 503–513, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com.ez22.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0048969707010066>. Acesso em: 4 maio. 2017.

MACHADO, K. C. et al. A preliminary nationwide survey of the presence of emerging contaminants in drinking and source waters in Brazil. *Science of The Total Environment*, v. 572, p. 138–146, 2016.

NOGUERA-OVIEDO, K.; AGA, D. S. Lessons learned from more than two decades of research on emerging contaminants in the environment. *Journal of Hazardous Materials*, 2016. .

RICHARDSON, S. D.; TERNES, T. A. Water Analysis: Emerging Contaminants and Current Issues. *Anal. Chem.*, v. 83, n. 12, p. 4614–4648, 2011.

SODRÉ, F. F.; LOCATELLI, M. A. F.; JARDIM, W. F. Occurrence of emerging contaminants in Brazilian drinking waters: A sewage-to-tap issue. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 206, n. 1–4, p. 57–67, 2010.

ABUALHAIJA, M.M.; van den BERG, C.M.G. Chemical speciation of iron in seawater using catalytic cathodic stripping voltammetry with ligand competition against salicylaldehyde. *Marine Chemistry* 164 (2014) 60–74

BARRA, C.M.; SANTELLI, R.E.; ABRÃO, J.J.; GUARDIA, M. 2000. Especificação de arsênio – uma revisão. *Química Nova* 23(1).

BASÍLIO, M.S.; FRIESE, K.; LENA, J.C.; NALINI Jr., H.A.; ROESER, H.M.P. 2005. Adsorção DE As, Cu, Pb E Cr na avaliação da capacidade de fixação de metais por resíduo de mineradoras de ferro. *Química Nova*, Vol. 28, No. 5, 822-828.

JONAS, P.J.C., MILLWARD, G.E., 2010. Metals and nutrients in the Severn Estuary and Bristol Channel: contemporary inputs and distributions. *Marine Pollution Bulletin* 61, 52-67.

MILLERO FJ. 1998. Solubility of Fe (III) in seawater. *Earth Planet Sci Lett* 154: 323–329.

PETROBRAS, 2015: Relatório Final do Projeto de Caracterização Ambiental Regional da Bacia do Espírito Santo e Parte Norte da Bacia de Campos (PCR-ES/AMBES). Anexo II.2.3-1 – Metais biodisponíveis e totais na área de influência da Foz do Rio Doce.

PLEWA, K., MEGGERS, H., KASTEN, S., 2006. Barium in sediments off northwest Africa: A tracer for paleoproductivity or meltwater events? *Paleoceanography*, 21: 1-15.

SILVA, G.P.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M.; BARROS, N.F. 2006. Caracterização química, física e mineralógica de estereis e rejeito da mineração de ferro da mina de Alegria, Mariana-MG. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 36 (1): 45-52

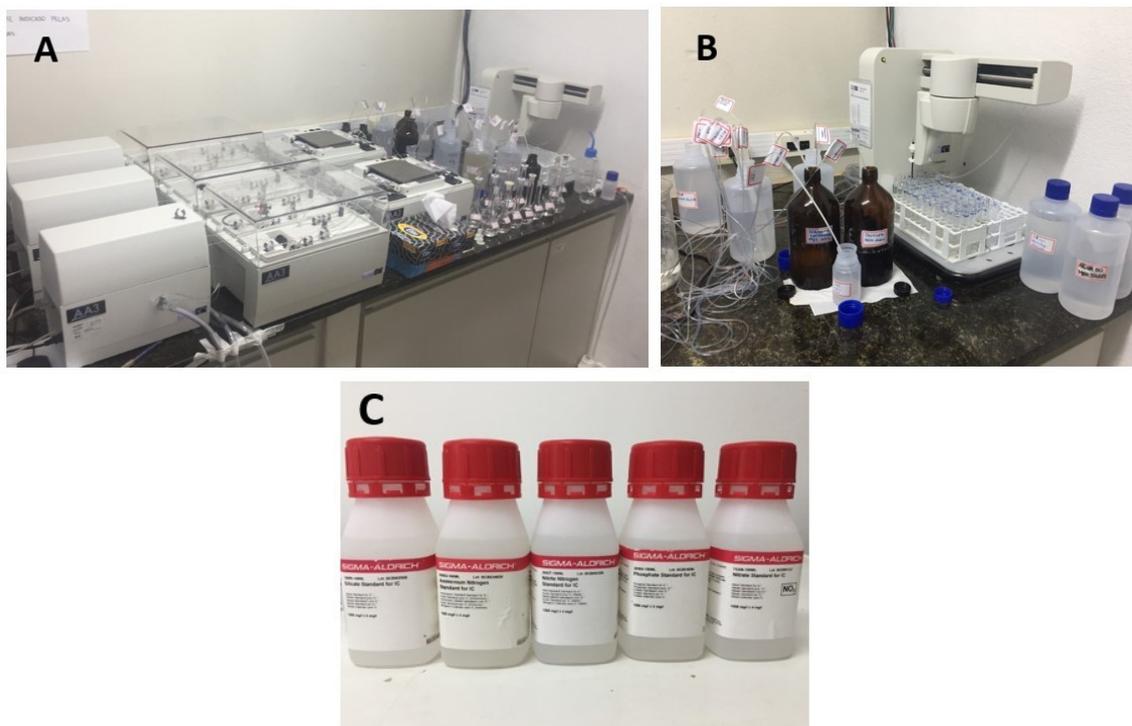
SOUSA, K. Estudo dos fluxos fluviais de isótopos naturais de rádio e bário dissolvido para as enseadas de Ubatuba, litoral norte do estado de São Paulo. 171 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

TURNER, A. Trace-metal partitioning in estuaries: importance of salinity and particle concentration, 1996). *Marine Chemistry* 54 (1-2): 27-39.

## 1.5 APÊNDICE I – FIGURAS E GRÁFICOS

### 1.5.1 Nutrientes

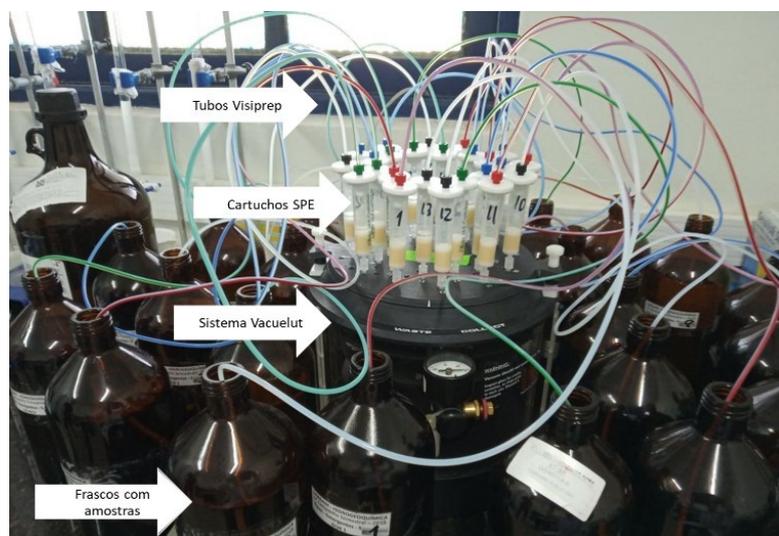
Figura A 1: A) Equipamento Seal AutoAnalyzer (AA3); B) AutoSampler e Reagentes de Análise; e C) Soluções Padrões para análises de nutrientes.



Fonte: Autoria própria.

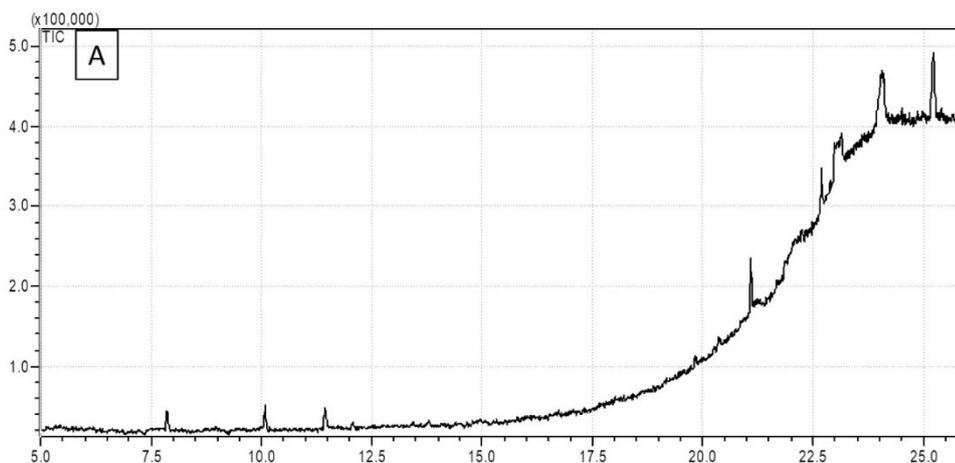
### 1.5.2 Compostos orgânicos

Figura A 2: extração dos analitos por meio de cartuchos de SPE conectados ao sistema vacuelut.



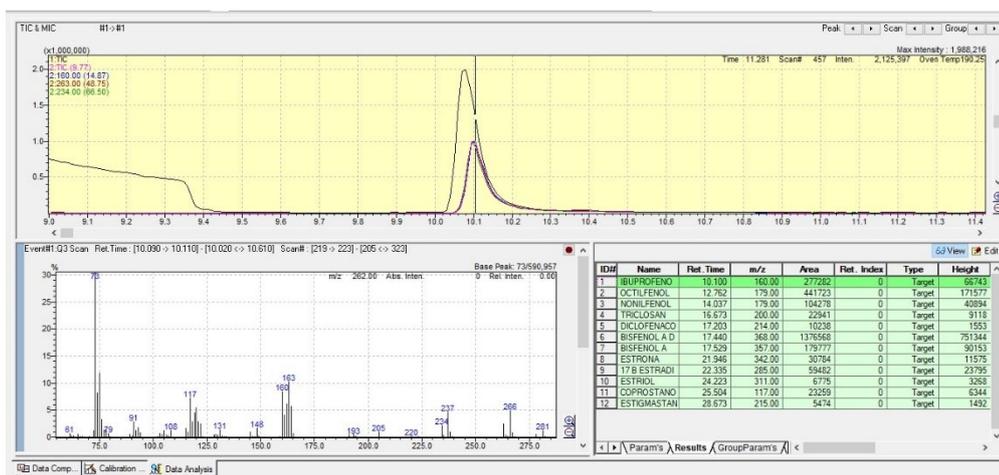
Fonte: Autoria própria.

Figura A 3: Cromatograma de uma solução contendo os analitos que não foi submetida à reação de derivatização



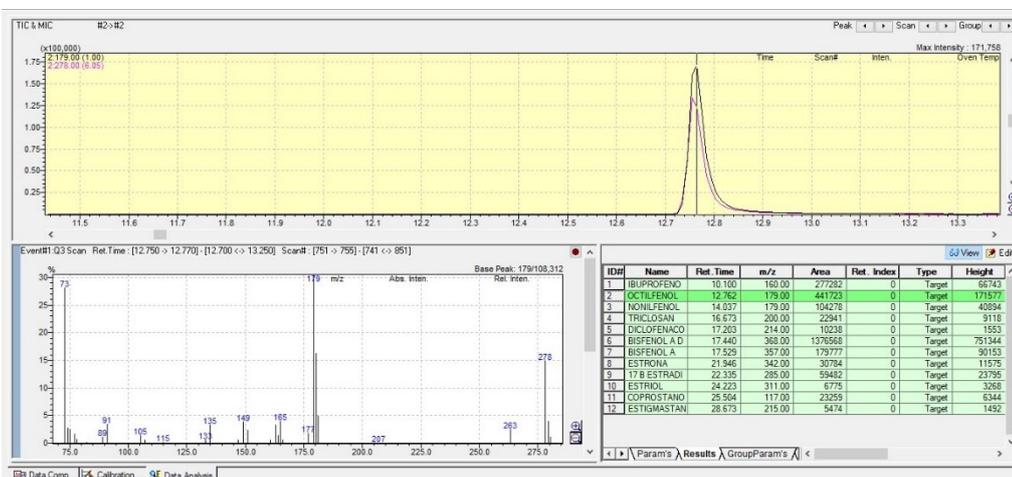
Fonte: Autoria própria.

Figura A 4: Cromatograma e espectro de massas referentes ao ibuprofeno



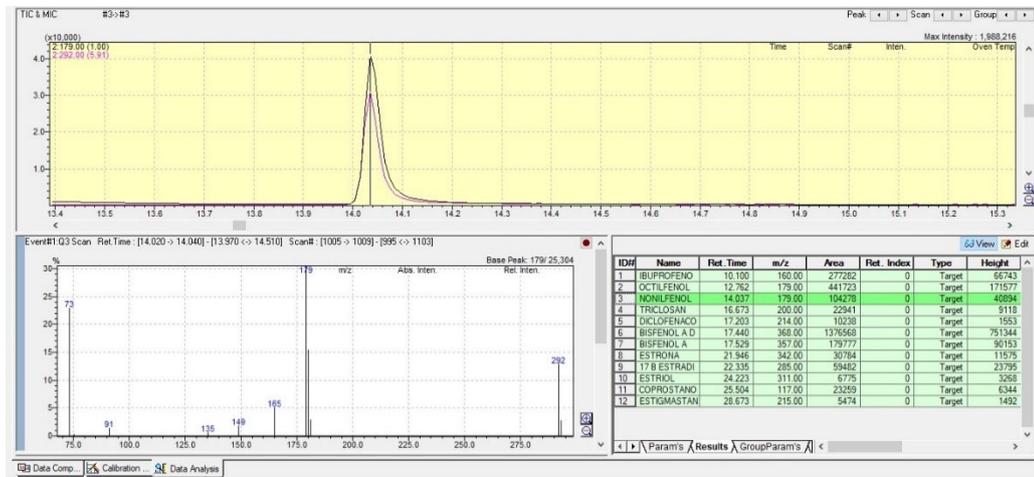
Fonte: Autoria própria.

Figura A 5: Cromatograma e espectro de massas referentes ao octilfenol



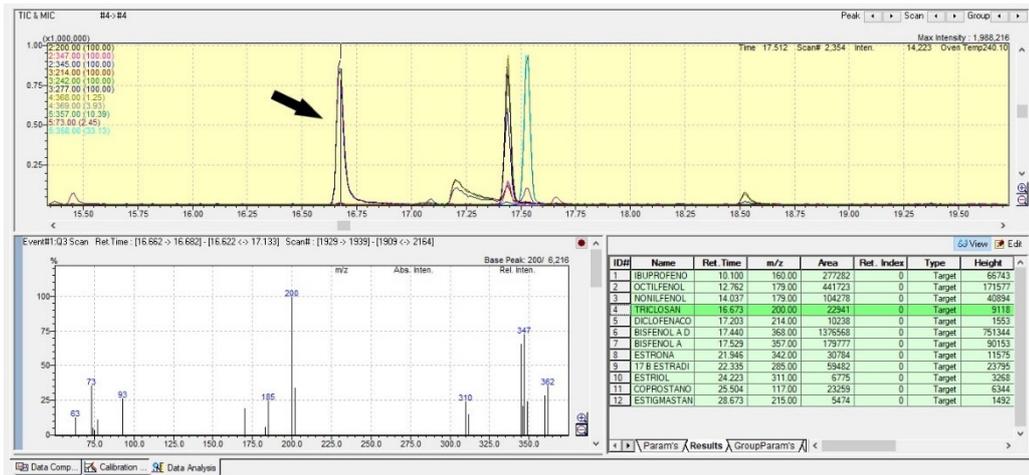
Fonte: Autoria própria.

Figura A 6: Cromatograma e espectro de massas referentes ao nonilfenol



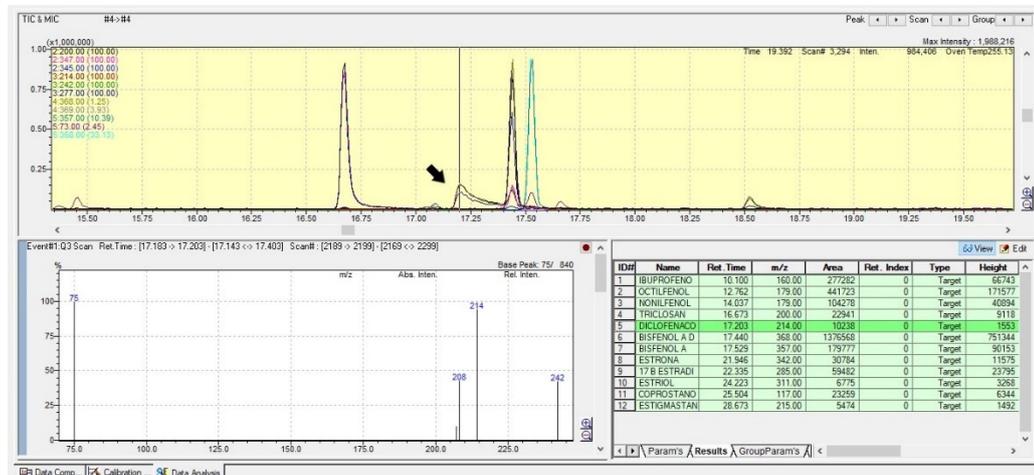
Fonte: Autoria própria.

Figura A 7: Cromatograma e espectro de massas referentes ao triclosan



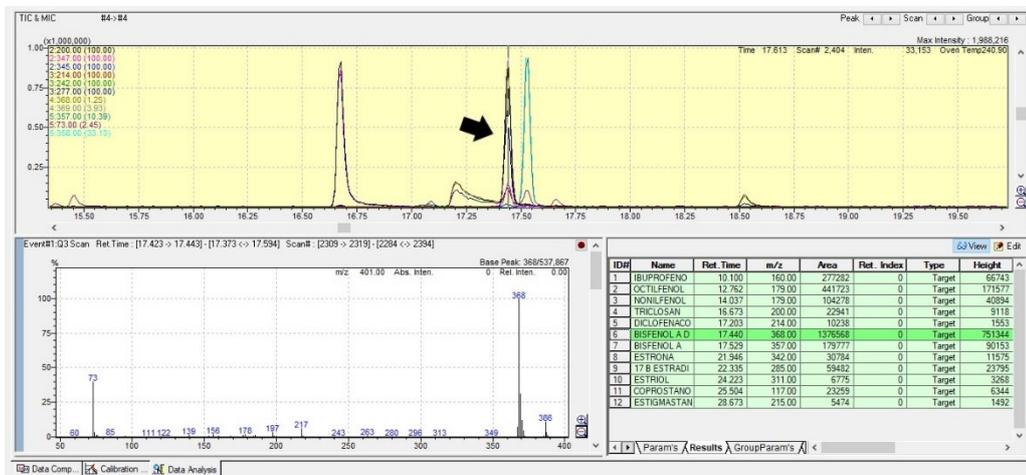
Fonte: Autoria própria.

Figura A 8: Cromatograma e espectro de massas referentes ao diclofenaco



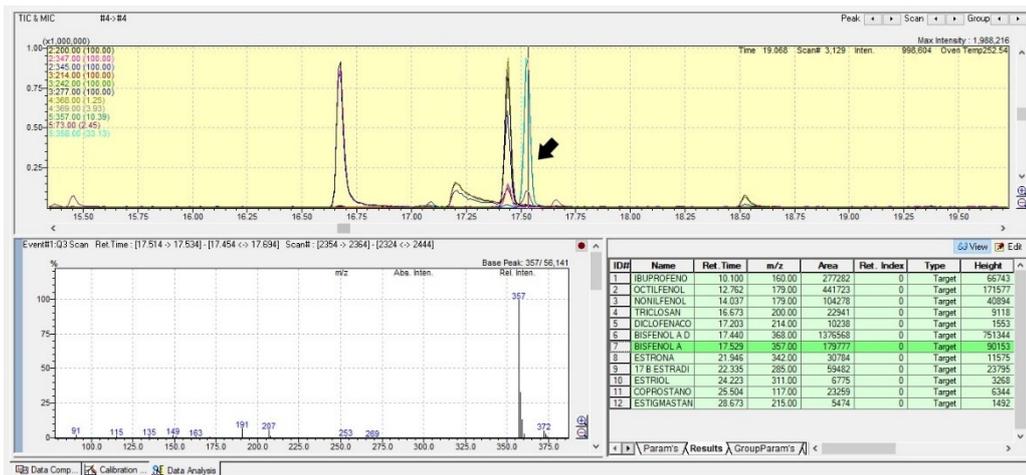
Fonte: Autoria própria.

Figura A 9: Cromatograma e espectro de massas referentes ao bisfenol a deuterado



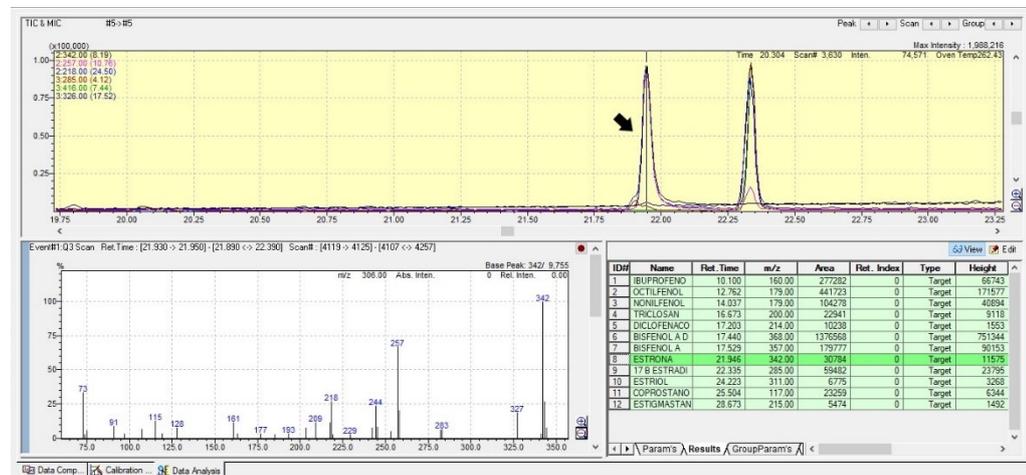
Fonte: Autoria própria.

Figura A 10: Cromatograma e espectro de massas referentes ao bisfenol a



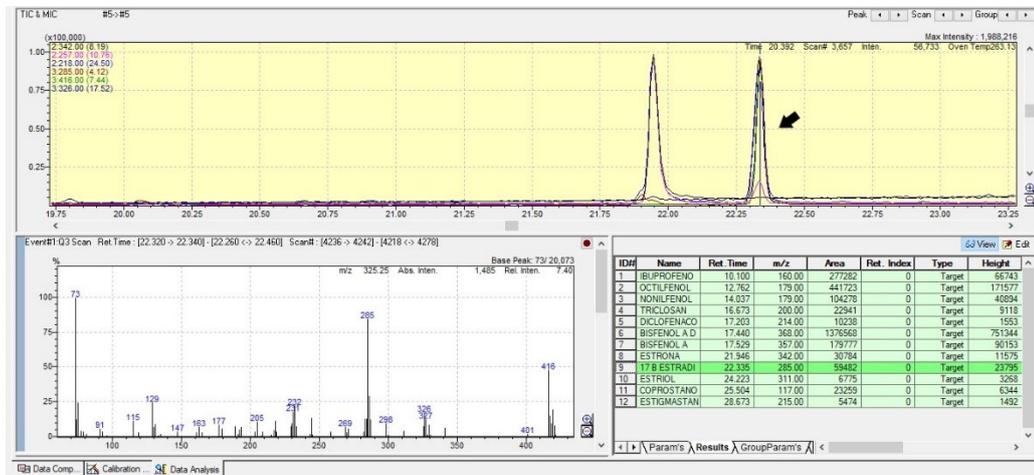
Fonte: Autoria própria.

Figura A 11: Cromatograma e espectro de massas referentes a estrona



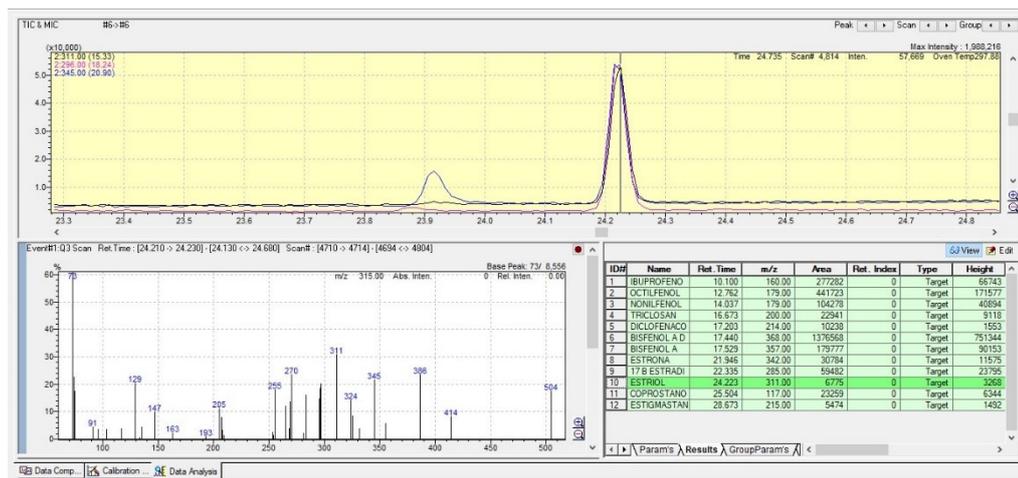
Fonte: Autoria própria.

Figura A 12: Cromatograma e espectro de massas referentes ao 17- $\beta$ -estradiol



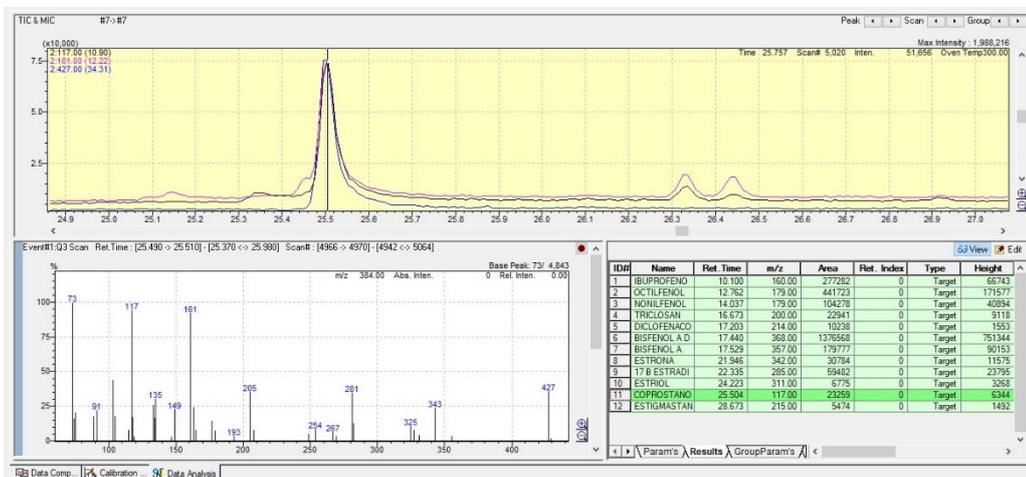
Fonte: Autoria própria.

Figura A 13: Cromatograma e espectro de massas referentes ao estriol



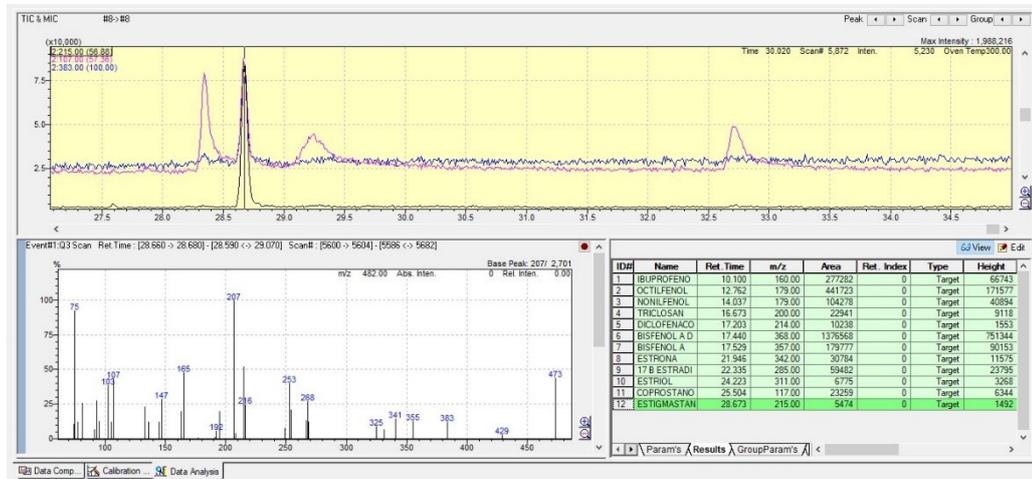
Fonte: Autoria própria.

Figura A 14: Cromatograma e espectro de massas referentes ao coprostanol



Fonte: Autoria própria.

Figura A 15: Cromatograma e espectro de massas referentes ao estigmastanol



Fonte: Autoria própria.

## 1.6 APÊNDICE II - QUADROS E TABELAS

### 1.6.1 Nutrientes

Quadro A 1: Dados brutos de nutrientes dissolvidos na água nas campanhas 1, 2 e 3.

NUTRIENTES DISSOLVIDOS							
PONTOS	CAMPANHA	N-Amoniaca µmol/l	Silício (Dsi) µmol/l	Ortofosfato µmol/l	Nitrito µmol/l	Nitrato µmol/l	N:P
GUA 1 S	Semestral 1	0	0,3	0,1	0	2,12	21,2
GUA 1 F	Semestral 1	0	0,4	0,08	0,03	4,44	55,875
GUA 2 S	Semestral 1	0,02	0,42	0,072	0	5,32	73,88889
GUA 2 F	Semestral 1	0,02	0,36	0,11	0,01	5,04	45,90909
VIX 1 S	Semestral 1	0,02	1,1	0,29	0,01	4,6	15,89655
VIX 1 F	Semestral 1	0,02	0,53	0,26	0,01	5,4	20,80769
VIX 2 S	Semestral 1	0,02	0,4	0,23	0	11,28	49,04348
VIX 2 F	Semestral 1	0,02	0,54	0,26	0,02	5,44	21
CA 1 S	Semestral 1	0,02	0,24	0,18	0	7,08	39,33333
CA 1 F	Semestral 1	0,02	0,12	0,23	0	3,96	17,21739
CA 2 S	Semestral 1	0,02	0,25	0,19	0	10	52,63158
CA 2 F	Semestral 1	0,02	0,45	0,17	0	7,88	46,35294
CA 3 S	Semestral 1	0,02	0,59	0,2	0	3,6	18
CA 3 F	Semestral 1	0,02	0,27	0,21	0,01	7,88	37,57143
CA 4 S	Semestral 1	0	0,21	0,05	0	2,56	51,2
CA 4 F	Semestral 1	0	0,32	0,16	0	11,72	73,25
CA 5 S	Semestral 1	0	0,92	0,16	0	3,44	21,5
CA 5 F	Semestral 1	0	0,58	0,18	0	2,96	16,44444
CA 6 S	Semestral 1	0	0,14	0,17	0	2,24	13,17647
CA 6 F	Semestral 1	0	0,03	0,17	0,02	0,64	3,882353
CA 7 S	Semestral 1	0	0,07	0,1	0	3,72	37,2
CA 7 F	Semestral 1	0	0,24	0,08	0	0,36	4,5
CA 8 S	Semestral 1	0	0,48	0,09	0	1,04	11,55556
CA 8 F	Semestral 1	0	0,29	0,13	0	0,88	6,769231
CA 9 S	Semestral 1	0	0,37	0,09	0	0,6	6,666667
CA 9 F	Semestral 1	0	0,2	0,21	0	2,04	9,714286
CA 10 S	Semestral 1	0	0,67	0,08	0	1,12	14
CA 10 F	Semestral 1	0	0,34	0,13	0	0,32	2,461538
CA 11 S	Semestral 1	0	0,07	0,11	0	2,8	25,45455
CA 11 F	Semestral 1	0	0,22	0,19	0,01	3,44	18,15789
CA 12 S	Semestral 1	0	0,13	0,1	0,09	1	10,9
CA 12 F	Semestral 1	0	0,06	0,11	0	2,64	24
CA 13 S	Semestral 1	0	0,03	0,18	0	3,92	21,77778
CA 13 F	Semestral 1	0	0,09	0,08	0	0,36	4,5

NUTRIENTES DISSOLVIDOS							
		N-Amoniacal	Silício (Dsi)	Ortofosfato	Nitrito	Nitrato	N:P
PONTOS	CAMPANHA	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	
CA 14 S	Semestral 1	0	0,57	0,1	0	0,92	9,2
CA 14 F	Semestral 1	0	0,09	0,16	0	1,64	10,25
CA 15 S	Semestral 1	0	0,45	0,14	0,01	1,6	11,5
CA 15 F	Semestral 1	0	0,14	0,14	0	6,12	43,71429
SD-S30 S	Semestral 1	0	0,68	0,13	0	3,6	27,69231
SD-S30 F	Semestral 1	0	0,68	0,14	0,03	8,48	60,78571
SD-S20 S	Semestral 1	0	0,69	0,13	0,01	1,6	12,38462
SD-S20 F	Semestral 1	0	0,68	0,18	0,01	3,28	18,27778
SD-S13 S	Semestral 1	0	1	0,13	0,01	8,4	64,69231
SD-S13 F	Semestral 1	0	1,06	0,18	0,02	4,96	27,66667
SD 1 S	Semestral 1	0	2,4	0,24	0	6,32	26,33333
SD 1 F	Semestral 1	0	1,76	0,25	0,03	5,56	22,36
SD 2 S	Semestral 1	0	1,1	0,14	0	5,04	36
SD 2 F	Semestral 1	0	1,31	0,2	0	1,8	9
SD 3 S	Semestral 1	0	1,13	0,22	0	1,8	8,181818
SD 3 F	Semestral 1	0	0,58	0,25	0	6,84	27,36
SD 4 S	Semestral 1	0	0,51	0,36	0	3,04	8,444444
SD 4 F	Semestral 1	0	0,48	0,28	0	2,72	9,714286
SD 5 S	Semestral 1	0	0,18	0,22	0	1,48	6,727273
SD 5 F	Semestral 1	0	0,18	0,32	0,03	3,6	11,34375
SD-N30 S	Semestral 1	0	1,41	0,16	0	5,4	33,75
SD-N30 F	Semestral 1	0	2,23	0,29	0,01	3,6	12,44828
SD-N20 S	Semestral 1	0	1,21	0,15	0	2,44	16,26667
SD-NS0 F	Semestral 1	0	0,7	0,22	0,03	3,8	17,40909
SD-N13 S	Semestral 1	0	5,3	0,12	0,01	8,24	68,75
SD-N13 F	Semestral 1	0	1,96	0,06	0	5,48	91,33333
DEG 1 S	Semestral 1	0,02	0,68	0,17	0	3,6	21,17647
DEG 1 F	Semestral 1	0,02	0,2	0,23	0	4,96	21,56522
DEG 2 S	Semestral 1	0,02	0,84	0,21	0	3,36	16
DEG 2 F	Semestral 1	0,02	0,36	0,52	0	1,72	3,307692
BN 1 S	Semestral 1	0	0,38	0,19	0	1,32	6,947368
BN 1 F	Semestral 1	0	0,61	0,39	0	2,92	7,487179
BN 2 S	Semestral 1	0	5,73	0,12	0	1,2	10
BN 2 F	Semestral 1	0	2,84	0,27	0,01	4,32	16,03704
ITA 1 S	Semestral 1	0	5,62	0,17	0,01	10,08	59,35294
ITA 1 F	Semestral 1	0	3,98	0,32	0	2,92	9,125
ITA 2 S	Semestral 1	0	0,24	0,22	0	8,52	38,72727
ITA 2 F	Semestral 1	0	0,33	0,15	0	4,68	31,2
ABR 1 S	Semestral 1	0	2,64	0,2	0	1,28	6,4
ABR 1 F	Semestral 1	0	1,18	0,26	0	2,36	9,076923

NUTRIENTES DISSOLVIDOS							
		N-Amoniacal	Silício (Dsi)	Ortofosfato	Nitrito	Nitrato	N:P
PONTOS	CAMPANHA	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	
ABR 2 S	Semestral 1	0	0,31	0,23	0	0,24	1,043478
ABR 2 F	Semestral 1	0,01	0,32	0,27	0	3,24	12
ABR 3 S	Semestral 1	0,01	0,21	0,15	0	0,64	4,266667
ABR 3 F	Semestral 1	0,01	0,32	0,13	0	0,48	3,692308
ABR 4 S	Semestral 1	0	0,06	0,15	0	1,56	10,4
ABR 4 F	Semestral 1	0	0,23	0,22	0,03	4,4	20,13636
ABR 5 S	Semestral 1	0	0,36	0,31	0	0,96	3,096774
ABR 5 F	Semestral 1	0	0,6	0,21	0	2,64	12,57143
SD 1 S II	Semestral 1	0	67,8	0,26	0,02	18,84	72,53846
SD 1 F II	Semestral 1	0	3,11	0,24	0	4,64	19,33333
SD 2 S II	Semestral 1	0	1,59	0,18	0,01	3,56	19,83333
SD 2 F II	Semestral 1	0	0,71	0,16	0,01	2,84	17,8125
SD-S30 S	Mensal 1	0	3,18	0,18	0	4,96	27,55556
SD-S30 F	Mensal 1	0	0,67	0,33	0,03	0,8	2,515152
SD-S20 S	Mensal 1	0	5,15	0,18	0	4,4	24,44444
SD-S20 F	Mensal 1	0	0,55	0,19	0,01	2	10,57895
SD-S13 S	Mensal 1	0,01	3,45	0,25	0	1,44	5,76
SD-S13 F	Mensal 1	0	0,76	0,33	0,02	2	6,121212
SD 1 S	Mensal 1	0,01	21,45	0,34	0	11,84	34,82353
SD 1 F	Mensal 1	0	1,51	0,28	0,01	8,24	29,46429
SD 2 S	Mensal 1	0	7,81	0,1	0	5,84	58,4
SD 2 F	Mensal 1	0,01	0,94	0,15	0	3,52	23,46667
SD 3 S	Mensal 1	0,01	0,51	0,22	0	4,44	20,18182
SD 3 F	Mensal 1	0,01	0,34	0,29	0,02	0,92	3,241379
SD 4 S	Mensal 1	0	0,17	0,33	0	0,56	1,69697
SD 4 F	Mensal 1	0	0,35	0,24	0	0,96	4
SD 5 S	Semestral 1	0	0,18	0,22	0	1,48	6,727273
SD 5 F	Semestral 1	0	0,18	0,32	0,03	3,6	11,34375
SD-N30 S	Mensal 1	0	3,75	0,19	0,01	2	10,57895
SD-N30 F	Mensal 1	0	0,55	0,26	0,04	5,72	22,15385
SD-N20 S	Mensal 1	0	3,91	0,2	0	3,44	17,2
SD-N20 F	Mensal 1	0	1,02	0,22	0,02	1,56	7,181818
SD-N13 S	Mensal 1	0	2,46	0,19	0	3,48	18,31579
SD-N13 F	Mensal 1	0,01	0,69	0,36	0,02	5,96	16,61111
SD-S30 S	Mensal 2	0	5,08	0,19	0,04	3,56	18,94737
SD-S30 F	Mensal 2	0,01	1,77	0,23	0,01	2,12	9,26087
SD-S20 S	Mensal 2	0,01	5,82	0,08	0,02	2,76	34,75
SD-S20 F	Mensal 2	0	0,75	0,11	0,02	1,6	14,72727
SD-S13 S	Mensal 2	0	1,18	0,14	0	1,44	10,28571
SD-S13 F	Mensal 2	0	1,74	0,19	0,05	2,16	11,63158

NUTRIENTES DISSOLVIDOS							
		N-Amoniacal	Silício (Dsi)	Ortofosfato	Nitrito	Nitrato	N:P
PONTOS	CAMPANHA	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	
SD 1 S	Mensal 2	0	1,74	0,18	0	1,92	10,66667
SD 1 F	Mensal 2	0	0,98	0,53	0,01	1,56	2,962264
SD 2 S	Mensal 2	0	2,18	0,23	0	0,68	2,956522
SD 2 F	Mensal 2	0	0,48	0,36	0,03	3,16	8,861111
SD 3 S	Mensal 2	0	0,93	0,24	0	1,6	6,666667
SD 3 F	Mensal 2	0	0,69	0,39	0,01	1,52	3,923077
SD 4 S	Mensal 2	0	0,41	0,3	0,01	2,56	8,566667
SD 4 F	Mensal 2	0	0,48	0,53	0,01	2,68	5,075472
SD 5 S	Mensal 2	0	0,92	0,22	0	1,16	5,272727
SD 5 F	Mensal 2	0	0,25	0,12	0	0,88	7,333333
SD-N30 S	Mensal 2	0	0,65	0,15	0	4,04	26,93333
SD-N30 F	Mensal 2	0	0,63	0,27	0,01	1,8	6,703704
SD-N20 S	Mensal 2	0	0,78	0,19	0	3,64	19,15789
SD-NS0 F	Mensal 2	0	0,57	0,52	0,01	2,44	4,711538
SD-N13 S	Mensal 2	0	0,46	0,17	0,01	1,36	8,058824
SD-N13 F	Mensal 2	0	0,44	0,38	0,01	2,04	5,394737

Fonte: Autoria própria.

## 1.6.2 Metais

Quadro A 2: Concentração de Ferro(Fe), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Arsênio (As), Prata (Ag), Bário (Ba), Cádmiu (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Vanádio (V) e Zinco (Zn) dissolvidos da região costeira adjacente da foz do Rio Doce e demais regiões. Valores das concentrações expressos em µg/L.

METAIS DISSOLVIDOS (µg/L)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>CAMPANHA 1</b>															
GUA1 S	Região Sul	0,236	0,050	0,528	0,292	0,338	0,048	0,034	0,409	<LQ	0,152	37,407	13,201	0,302	3,409
GUA1 F	Região Sul	0,253	0,053	0,581	0,299	0,417	0,049	0,033	0,435	<LQ	0,151	40,184	14,370	0,311	3,545
GUA2 S	Região Sul	0,257	0,052	0,659	0,280	0,396	0,035	0,038	0,271	<LQ	0,188	46,908	13,374	0,355	2,369
GUA2 F	Região Sul	0,253	0,050	0,654	0,269	0,390	0,041	0,034	0,257	<LQ	0,183	37,309	10,105	0,303	2,471
VIX1 S	Região Sul	0,263	0,054	0,564	0,388	0,439	0,048	0,032	0,322	<LQ	0,172	38,443	19,865	0,306	2,360
VIX1 F	Região Sul	0,253	0,053	0,559	0,252	0,399	0,040	0,032	0,292	<LQ	0,171	37,504	16,221	0,302	1,894
VIX2 S	Região Sul	0,263	0,053	0,554	0,270	0,430	0,055	0,038	0,405	0,052	0,135	38,837	17,692	0,305	3,273
VIX2 F	Região Sul	0,300	0,053	0,521	0,294	0,489	0,042	0,038	0,398	<LQ	0,149	38,642	15,375	0,306	4,417
CA01 S	APA Costa das Algas	0,345	0,052	0,956	0,732	0,473	0,046	0,137	0,407	0,018	0,415	24,538	18,603	0,243	5,330
CA01 F	APA Costa das Algas	0,317	0,050	0,452	0,683	0,442	0,034	0,136	0,439	0,002	0,288	23,605	16,417	0,249	5,128
CA02 S	APA Costa das Algas	0,317	0,050	0,542	1,414	0,431	0,031	0,123	0,411	0,007	0,290	24,100	15,942	0,265	4,138
CA02 F	APA Costa das Algas	0,343	0,052	0,990	0,836	0,488	0,034	0,114	0,472	0,001	0,465	32,339	18,226	0,318	5,363
CA03 S	APA Costa das Algas	0,296	0,051	0,684	0,556	0,507	0,044	0,030	0,363	0,024	0,320	27,031	14,781	0,229	3,721
CA03 F	APA Costa das Algas	0,304	0,050	0,569	0,626	0,493	0,043	0,029	0,353	0,011	0,275	26,555	14,683	0,224	3,453
CA04 S	APA Costa das Algas	0,295	0,049	0,465	0,485	0,471	0,028	0,029	0,683	<LQ	0,234	25,085	18,025	0,238	4,779
CA04 F	APA Costa das Algas	0,358	0,048	0,420	0,559	0,474	0,029	0,029	0,769	<LQ	0,224	24,871	16,313	0,217	5,541
CA05 S	APA Costa das Algas	0,335	0,048	0,474	0,936	0,486	0,040	0,130	0,297	0,070	0,337	24,382	12,497	0,240	3,095
CA05 F	APA Costa das Algas	0,518	0,045	0,427	0,847	0,791	0,034	0,137	0,335	0,084	0,422	22,960	11,556	0,261	4,742
CA06 S	APA Costa das Algas	0,272	0,047	0,471	0,713	0,376	0,027	0,124	0,267	0,105	0,295	25,825	12,778	0,236	4,347
CA06 F	APA Costa das Algas	0,317	0,048	0,453	0,788	0,454	0,030	0,154	0,278	0,047	0,297	26,449	12,425	0,237	3,894
CA07 S	APA Costa das Algas	0,302	0,046	0,550	0,551	0,429	0,031	0,030	0,309	0,016	0,274	28,030	13,279	0,220	2,069
CA07 F	APA Costa das Algas	0,236	0,041	0,496	0,446	0,306	0,025	0,028	0,270	<LQ	0,241	23,365	10,532	0,213	2,093
CA08 S	APA Costa das Algas	0,192	0,053	0,636	0,689	0,288	0,036	0,124	0,282	0,033	0,383	33,288	12,191	0,245	2,026
CA08 F	APA Costa das Algas	0,198	0,051	0,667	0,801	0,354	0,030	0,144	0,231	0,021	0,375	37,377	11,665	0,255	3,219

METAIS DISSOLVIDOS (µg/L)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>CAMPANHA 1</b>															
CA09 S	APA Costa das Algas	0,177	0,050	0,850	0,716	0,289	0,027	0,118	0,242	0,018	0,398	35,982	10,702	0,239	2,083
CA09 F	APA Costa das Algas	0,197	0,054	0,779	0,707	0,345	0,028	0,100	0,220	0,006	0,328	43,393	11,317	0,237	2,228
CA10 S	APA Costa das Algas	0,243	0,054	0,716	0,541	0,392	0,025	0,029	0,292	<LQ	0,254	46,199	14,355	0,232	2,625
CA10 F	APA Costa das Algas	0,243	0,054	0,675	0,515	0,400	0,024	0,028	0,260	<LQ	0,219	46,775	14,243	0,220	1,936
CA11 S	APA Costa das Algas	0,229	0,053	0,636	0,397	0,383	0,034	0,027	0,265	0,001	0,110	46,368	10,311	0,218	2,553
CA11 F	APA Costa das Algas	1,514	0,065	1,281	1,082	4,802	0,049	0,033	0,237	0,015	0,988	46,585	10,671	0,309	8,968
CA12 S	APA Costa das Algas	0,239	0,054	0,728	0,601	0,401	0,024	0,106	0,217	<LQ	0,232	49,056	11,756	0,237	3,696
CA12 F	APA Costa das Algas	0,216	0,052	0,846	0,584	0,355	0,024	0,111	0,226	<LQ	0,305	45,499	12,667	0,228	2,830
CA13 S	APA Costa das Algas	0,162	0,044	0,448	1,293	0,250	0,020	0,080	0,135	<LQ	0,166	31,416	24,451	0,233	<LQ
CA13 F	APA Costa das Algas	0,228	0,056	0,693	0,771	0,438	0,021	0,109	0,174	<LQ	0,247	51,012	11,377	0,261	8,546
CA14 S	APA Costa das Algas	0,219	0,054	0,689	0,410	0,420	0,023	0,029	0,256	<LQ	0,126	47,908	11,491	0,228	2,955
CA14 F	APA Costa das Algas	0,251	0,056	0,699	0,414	0,473	0,023	0,028	0,303	<LQ	0,123	51,762	14,319	0,220	3,132
CA15 S	APA Costa das Algas	0,229	0,057	0,744	0,651	0,480	0,022	0,101	0,193	<LQ	0,276	52,471	10,514	0,247	4,422
CA15 F	APA Costa das Algas	0,247	0,058	0,791	0,780	0,510	0,022	0,106	0,219	<LQ	0,308	54,702	12,921	0,257	<LQ
SDS30 S	Foz Sul	0,297	0,056	0,827	3,252	0,526	0,057	0,043	0,219	0,047	0,180	32,348	81,951	0,311	<LQ
SDS30 F	Foz Sul	0,210	0,049	0,717	0,486	0,347	0,048	0,027	0,186	<LQ	0,149	29,037	11,851	0,279	2,556
SDS20 S	Foz Sul	0,230	0,049	0,697	0,403	0,350	0,049	0,031	0,243	<LQ	0,136	27,346	15,146	0,236	3,451
SDS20 F	Foz Sul	0,249	0,050	0,680	0,425	0,398	0,059	0,029	0,236	<LQ	0,135	28,391	12,402	0,224	2,944
SDS13 S	Foz Sul	0,234	0,052	0,747	0,573	0,411	0,072	0,031	0,280	<LQ	0,183	31,397	15,278	0,240	2,877
SDS13 F	Foz Sul	0,213	0,050	0,764	0,459	0,349	0,038	0,028	0,276	<LQ	0,172	29,673	14,011	0,231	2,323
SD01 S	Foz Central	0,163	0,280	0,867	0,417	0,375	0,025	0,070	0,566	0,069	0,144	73,619	10,788	0,237	3,420
SD01 F	Foz Central	0,114	0,265	0,843	0,637	0,352	0,003	0,056	0,560	0,045	0,111	74,620	10,425	0,192	2,989
SD01III s	Foz Central	0,059	0,263	0,838	0,572	0,295	0,008	0,056	0,601	0,058	0,088	65,628	12,828	0,285	<LQ
SD01III F	Foz Central	0,091	0,264	0,846	0,318	0,334	0,005	0,054	0,378	0,044	0,085	66,836	8,262	0,195	1,938
SD02 S	Foz Central	0,106	0,263	0,824	0,384	0,362	0,001	0,055	0,500	0,048	0,094	69,384	8,812	0,194	2,686
SD02 F	Foz Central	0,117	0,264	0,811	0,411	0,374	0,002	0,055	0,534	0,051	0,092	71,920	8,347	0,193	3,713
SD02II S	Foz Central	0,104	0,264	0,867	0,408	0,349	0,000	0,055	0,381	0,052	0,085	70,656	9,543	0,207	3,131
SD02II F	Foz Central	0,131	0,264	0,884	0,295	0,374	0,008	0,055	0,391	0,045	0,075	72,956	7,919	0,218	3,162
SD03 S	Foz Central	0,235	0,049	0,728	0,573	0,362	0,063	0,030	0,200	<LQ	0,143	30,144	14,899	0,275	5,294

METAIS DISSOLVIDOS (µg/L)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>CAMPANHA 1</b>															
SD03 F	Foz Central	0,241	0,048	0,751	1,382	0,356	0,072	0,029	0,202	<LQ	0,163	28,788	19,555	0,272	<LQ
SD04 S	Foz Central	0,212	0,047	0,522	0,387	0,309	0,058	0,027	0,368	<LQ	0,076	27,021	20,460	0,237	3,990
SD04 F	Foz Central	0,232	0,046	0,601	0,375	0,300	0,121	0,028	0,425	<LQ	0,104	25,636	18,213	0,250	4,857
SD05 S	Foz Central	NA	NA	NA	NA										
SD05 F	Foz Central	NA	NA	NA	NA										
SDN13 S	Foz Norte	0,204	0,047	0,706	0,504	0,298	0,068	0,027	0,280	<LQ	0,148	27,297	14,752	0,257	7,156
SDN13 F	Foz Norte	0,208	0,047	0,738	0,492	0,311	0,068	0,027	0,293	<LQ	0,165	28,319	17,189	0,250	3,569
SDN20 S	Foz Norte	0,212	0,047	0,655	0,452	0,315	0,048	0,027	0,259	<LQ	0,143	28,264	18,961	0,244	9,429
SDN20 F	Foz Norte	0,181	0,045	0,788	0,475	0,262	0,061	0,027	0,209	<LQ	0,129	25,274	12,820	0,232	2,161
SDN30 S	Foz Norte	0,188	0,045	0,595	0,400	0,265	0,059	0,028	0,219	<LQ	0,127	25,405	15,039	0,244	3,741
SDN30 F	Foz Norte	0,211	0,047	0,604	0,485	0,315	0,065	0,027	0,228	<LQ	0,120	27,429	13,261	0,228	2,316
DEG1 S	Região Norte	0,203	0,068	0,349	0,311	0,342	0,020	0,027	1,406	0,135	0,513	39,209	94,809	0,450	2,657
DEG1 F	Região Norte	0,251	0,087	0,550	0,474	0,430	0,024	0,026	1,866	0,183	0,700	54,730	121,524	0,519	2,947
DEG2 S	Região Norte	0,261	0,089	0,576	0,494	0,433	0,035	0,027	1,928	0,182	0,693	55,509	117,880	0,581	5,133
DEG2 F	Região Norte	0,220	0,078	0,484	0,474	0,334	0,023	0,026	1,762	0,179	0,637	45,990	105,102	0,541	2,783
BN1 S	Região Norte	0,240	0,066	0,687	0,462	0,432	0,033	0,030	0,621	0,028	0,291	59,688	36,329	0,354	2,425
BN1 F	Região Norte	0,224	0,061	0,626	0,408	0,385	0,024	0,031	0,704	0,032	0,386	54,303	38,311	0,358	2,701
BN2 S	Região Norte	0,213	0,065	0,649	0,375	0,351	0,023	0,030	0,668	0,026	0,260	55,719	32,290	0,399	1,995
BN2 F	Região Norte	0,209	0,080	1,234	0,395	0,323	0,024	0,026	1,697	0,173	0,800	48,374	106,773	0,495	2,410
ITA1 S	Região Norte	0,217	0,072	0,475	0,288	0,332	0,060	0,026	1,793	0,162	0,718	29,489	113,906	0,580	2,498
ITA1 F	Região Norte	0,176	0,084	0,681	0,930	0,591	0,018	0,026	1,894	0,222	0,675	72,849	114,178	0,540	7,984
ITA2 S	Região Norte	0,256	0,076	0,456	1,129	0,400	0,054	0,026	1,762	0,153	0,685	31,234	119,381	0,511	2,182
ITA2 F	Região Norte	0,232	0,070	0,401	0,328	0,357	0,046	0,026	1,768	0,166	0,710	29,241	115,999	0,521	12,237
ABR1 S	Abrolhos	0,279	0,074	0,702	0,416	0,427	0,111	0,027	2,103	0,165	0,816	32,704	131,390	0,574	5,726
ABR1 F	Abrolhos	0,280	0,059	0,545	0,357	0,446	0,084	0,031	0,660	0,025	0,321	41,077	40,247	0,372	3,082
ABR2 S	Abrolhos	0,297	0,080	0,508	0,417	0,494	0,070	0,027	1,795	0,160	0,792	34,945	126,590	0,599	3,089
ABR2 F	Abrolhos	0,292	0,071	0,630	0,388	0,368	0,057	0,027	2,008	0,166	0,762	28,715	126,679	0,561	5,019
ABR3 S	Abrolhos	0,314	0,070	0,553	0,373	0,385	0,064	0,031	2,013	0,160	0,725	30,502	126,780	0,633	6,808
ABR3 F	Abrolhos	0,267	0,058	0,528	0,317	0,426	0,057	0,030	0,696	0,024	0,279	39,435	41,020	0,364	2,511

METAIS DISSOLVIDOS (µg/L)																
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn	
<b>CAMPANHA 1</b>																
ABR4 S	Abrolhos	0,265	0,072	0,595	0,354	0,396	0,057	0,027	2,028	0,167	0,731	30,152	133,677	0,530	4,224	
ABR4 F	Abrolhos	0,292	0,059	0,484	0,297	0,477	0,059	0,030	0,662	0,027	0,263	38,610	36,561	0,364	2,863	
ABR5 S	Abrolhos	0,264	0,056	0,461	0,312	0,440	0,058	0,030	0,694	0,024	0,274	37,236	38,987	0,353	2,950	
ABR5 F	Abrolhos	0,216	0,071	0,454	0,311	0,348	0,048	0,026	1,748	0,164	0,699	29,904	110,140	0,516	2,340	
INTERFACE Extra S	Foz Central	2,16	0,55	7,28	5,12	3,71	0,18	0,26	2,18	<LQ	1,27	449,31	153,80	2,28	100,61	
INTERFACE Extra F	Foz Central	2,09	0,53	6,76	4,44	3,76	0,21	0,24	1,78	<LQ	0,94	448,01	146,77	2,14	122,41	

METAIS DISSOLVIDOS (µg/L)																
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn	
<b>CAMPANHA 2</b>																
SDS30 S	Foz Sul	0,211	0,061	0,756	0,505	0,369	0,061	0,027	0,209	<LQ	0,067	63,168	10,373	0,250	2,863	
SDS30 F	Foz Sul	0,764	0,073	0,567	1,506	1,461	0,022	0,028	0,230	<LQ	0,041	66,425	12,019	0,251	16,807	
SDS20 S	Foz Sul	0,204	0,056	0,720	0,499	0,345	0,027	0,027	0,227	<LQ	0,085	54,866	9,496	0,239	2,329	
SDS20 F	Foz Sul	0,239	0,059	0,830	0,540	0,405	0,019	0,027	0,223	<LQ	0,109	60,524	12,005	0,240	2,649	
SDS13 S	Foz Sul	0,206	0,094	0,739	0,515	0,345	0,307	0,027	0,241	0,020	0,097	54,497	18,864	1,026	2,418	
SDS13 F	Foz Sul	0,240	0,056	0,750	0,540	0,410	0,020	0,028	0,214	<LQ	0,106	54,880	9,201	0,228	2,345	
SD01 S	Foz Central	0,196	0,061	0,731	0,377	0,308	0,019	0,028	0,693	<LQ	0,105	47,300	17,535	0,390	5,009	
SD01 F	Foz Central	0,231	0,059	0,814	0,351	0,390	0,024	0,027	0,508	0,010	0,112	51,700	32,804	0,232	4,424	
SD02 S	Foz Central	0,262	0,057	0,715	0,339	0,362	0,032	0,033	0,640	<LQ	0,110	45,412	19,009	0,349	6,050	
SD02 F	Foz Central	0,269	0,059	0,836	0,398	0,428	0,019	0,028	0,467	<LQ	0,119	53,951	17,368	0,235	3,945	
SD03 S	Foz Central	0,258	0,081	0,690	0,530	0,421	0,022	0,027	1,664	0,179	0,664	54,325	100,983	0,503	3,979	
SD03 F	Foz Central	0,230	0,077	0,640	0,519	0,396	0,020	0,026	1,765	0,186	0,651	50,564	111,063	0,495	3,559	
SD04 S	Foz Central	0,262	0,086	0,745	0,579	0,428	0,036	0,027	1,815	0,202	0,717	57,879	110,632	0,521	3,487	
SD04 F	Foz Central	0,265	0,094	0,847	0,575	0,415	0,019	0,027	1,972	0,214	0,800	61,489	119,669	0,545	3,271	

METAIS DISSOLVIDOS (µg/L)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>CAMPANHA 2</b>															
SD05 S	Foz Central	0,241	0,089	0,626	0,492	0,383	0,034	0,027	1,746	0,216	0,655	58,212	115,122	0,783	2,935
SD05 F	Foz Central	0,238	0,071	0,725	0,546	0,400	0,026	0,030	0,630	0,035	0,258	68,633	33,764	0,430	2,490
SDN13 S	Foz Norte	0,236	0,062	0,603	0,797	0,428	0,020	0,028	0,224	<LQ	0,049	55,325	10,543	0,250	9,189
SDN13 F	Foz Norte	0,241	0,063	0,676	0,692	0,420	0,019	0,026	0,203	<LQ	0,060	61,055	11,727	0,219	2,577
SDN20 S	Foz Norte	0,229	0,061	0,656	0,655	0,384	0,025	0,027	0,336	<LQ	0,070	54,317	17,069	0,260	2,799
SDN20 F	Foz Norte	0,220	0,059	0,663	0,590	0,360	0,017	0,027	0,247	<LQ	0,065	54,614	20,306	0,229	2,584
SDN30 S	Foz Norte	0,227	0,060	0,708	0,981	0,401	0,082	0,029	0,319	<LQ	0,093	54,228	37,812	0,278	<LQ
SDN30 F	Foz Norte	0,192	0,057	0,645	0,532	0,353	0,018	0,027	0,305	<LQ	0,073	52,006	19,229	0,235	2,679
INTERFACE Extra S	Foz Central	0,230	0,058	0,807	0,531	0,396	0,028	0,029	0,274	0,046	0,114	47,936	24,345	0,246	8,042
INTERFACE Extra F	Foz Central	0,190	0,064	0,807	0,424	0,338	0,061	0,030	0,402	0,032	0,104	50,391	18,110	0,430	4,866

METAIS DISSOLVIDOS (µg/L)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>CAMPANHA 3</b>															
SDS30 S	Foz Sul	0,092	0,266	0,924	0,254	0,355	<LQ	0,065	0,412	0,045	0,148	102,178	7,385	0,293	2,007
SDS30 F	Foz Sul	0,107	0,267	0,936	0,280	0,396	0,003	0,064	0,390	0,044	0,147	104,959	6,086	0,290	2,829
SDS20 S	Foz Sul	0,074	0,266	0,887	0,255	0,351	<LQ	0,065	0,436	0,043	0,124	103,806	7,594	0,314	2,148
SDS20 F	Foz Sul	NA	NA	NA	NA										
SDS13 S	Foz Sul	0,103	0,266	0,803	0,226	0,357	<LQ	0,064	0,372	0,045	0,098	99,676	5,449	0,288	2,011
SDS13 F	Foz Sul	0,090	0,266	0,815	0,267	0,389	0,001	0,064	0,359	0,041	0,084	105,033	4,941	0,293	1,816
SD01 S	Foz Central	0,187	0,265	0,635	0,209	0,310	0,005	0,065	0,952	0,116	0,189	67,501	26,849	0,341	4,076
SD01 F	Foz Central	0,217	0,266	0,686	0,245	0,325	0,004	0,059	0,984	0,107	0,221	72,832	26,851	0,301	3,684

METAIS DISSOLVIDOS (µg/L)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>CAMPANHA 3</b>															
SD02 S	Foz Central	0,180	0,265	0,667	0,241	0,295	0,003	0,059	0,954	0,113	0,198	66,624	28,978	0,306	3,666
SD02 F	Foz Central	0,120	0,269	0,771	0,294	0,359	0,006	0,058	0,998	0,101	0,212	81,275	26,767	0,301	3,696
SD03 S	Foz Central	0,083	0,266	0,754	0,288	0,345	0,004	0,060	0,393	0,046	0,070	85,877	7,674	0,257	1,603
SD03 F	Foz Central	0,096	0,266	0,788	0,303	0,352	<LQ	0,060	0,408	0,047	0,084	88,546	8,167	0,257	1,799
SD04 S	Foz Central	0,116	0,267	0,786	0,273	0,381	<LQ	0,061	0,429	0,050	0,078	91,916	10,289	0,257	1,871
SD04 F	Foz Central	0,086	0,266	0,742	0,263	0,358	<LQ	0,059	0,384	0,047	0,060	89,346	7,450	0,240	1,724
SD05 S	Foz Central	0,102	0,266	0,745	0,263	0,351	0,011	0,059	0,399	0,064	0,065	88,401	8,577	0,250	1,981
SD05 F	Foz Central	0,096	0,266	0,751	0,267	0,365	0,001	0,059	0,416	0,049	0,071	89,192	9,178	0,246	2,934
SDN13 S	Foz Norte	0,078	0,265	0,955	0,225	0,305	<LQ	0,061	0,455	0,046	0,153	82,045	5,887	0,287	1,927
SDN13 F	Foz Norte	0,142	0,268	1,072	0,391	0,415	0,004	0,061	0,492	0,049	0,183	93,374	7,506	0,340	<LQ
SDN20 S	Foz Norte	0,134	0,269	0,993	0,292	0,422	0,007	0,065	0,489	0,103	0,152	114,851	8,500	0,320	3,970
SDN20 F	Foz Norte	0,101	0,266	0,885	0,250	0,369	<LQ	0,064	0,417	0,049	0,133	104,602	5,687	0,304	2,229
SDN30 S	Foz Norte	NA	NA	NA	NA										
SDN30 F	Foz Norte	NA	NA	NA	NA										

Fonte: Autoria própria.

Quadro A 3: Concentração de Ferro(Fe), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Arsênio (As), Prata (Ag), Bário (Ba), Cádmiu (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Vanádio (V) e Zinco (Zn) totais da região costeira adjacente da foz do Rio Doce e demais regiões. Valores das concentrações expressos em µg/L.

METAIS TOTAIS (µg/L)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>CAMPANHA 1</b>															
GUA1 S	Região Sul	25,079	3,478	12,689	18,816	55,139	1,560	0,550	15,998	1,498	5,137	1535,480	36,408	11,778	93,506
GUA1 F	Região Sul	22,473	3,436	12,691	18,298	52,957	1,539	0,494	17,817	1,507	4,274	1398,474	29,264	12,660	97,608
GUA2 S	Região Sul	19,244	3,341	11,884	16,697	48,225	1,485	0,460	15,423	1,638	3,645	1150,490	22,847	10,566	125,031
GUA2 F	Região Sul	19,382	3,313	11,100	15,723	48,262	1,431	0,472	11,786	1,951	3,585	1138,608	23,791	8,423	103,429
VIX1 S	Região Sul	37,815	4,972	12,354	14,803	64,247	2,802	2,255	18,581	3,488	10,205	1795,888	48,208	14,614	62,652
VIX1 F	Região Sul	33,200	4,547	12,356	16,485	60,196	2,425	1,862	16,637	2,861	8,655	1781,156	59,502	12,943	72,541
VIX2 S	Região Sul	29,861	3,539	10,953	16,201	56,500	1,499	0,584	17,790	2,009	6,337	1731,651	43,039	12,789	80,222
VIX2 F	Região Sul	25,532	3,474	11,272	26,029	54,487	1,474	0,708	15,852	1,941	5,856	1539,238	37,936	11,563	91,401
CA01 S	APA Costa das Algas	17,770	3,129	3,939	6,357	51,733	1,405	1,041	8,633	1,261	1,593	421,962	12,498	4,206	83,072
CA01 F	APA Costa das Algas	18,422	3,166	4,046	13,954	53,733	1,412	1,052	8,231	1,212	1,602	445,557	11,533	4,061	74,368
CA02 S	APA Costa das Algas	15,469	3,082	2,939	3,999	43,896	1,384	0,920	7,937	2,168	1,084	356,953	10,425	3,853	32,138
CA02 F	APA Costa das Algas	16,995	3,662	3,259	4,391	46,655	1,655	0,964	7,703	1,284	1,049	391,832	11,916	3,778	31,330
CA03 S	APA Costa das Algas	15,957	3,317	3,091	3,961	45,230	1,493	0,280	8,313	1,335	0,979	373,155	16,825	4,060	27,339
CA03 F	APA Costa das Algas	14,206	3,169	2,734	3,792	40,743	1,431	0,262	6,454	1,059	0,844	322,530	9,898	2,927	24,540
CA04 S	APA Costa das Algas	14,840	3,078	2,921	3,544	43,708	1,386	0,261	6,569	1,140	0,841	335,068	12,381	3,080	27,067
CA04 F	APA Costa das Algas	16,294	3,361	3,200	4,930	47,704	1,514	0,289	7,898	1,583	1,047	371,126	9,558	4,032	35,665
CA05 S	APA Costa das Algas	15,123	3,096	2,863	3,969	44,824	1,393	0,872	7,915	1,076	0,867	331,329	10,344	3,729	34,855
CA05 F	APA Costa das Algas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CA06 S	APA Costa das Algas	14,322	3,070	2,680	3,366	42,576	1,390	0,803	6,085	1,029	0,682	298,626	7,307	2,625	24,696
CA06 F	APA Costa das Algas	15,365	3,065	2,754	3,929	46,410	1,381	0,854	7,667	1,047	0,807	319,920	7,786	3,503	27,667

METAIS TOTAIS (µg/L)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>CAMPANHA 1</b>															
CA07 S	APA Costa das Algas	15,438	3,056	2,798	3,941	47,184	1,376	0,262	7,019	1,152	0,786	323,207	7,724	3,207	30,004
CA07 F	APA Costa das Algas	15,839	3,070	2,868	3,754	48,107	1,379	0,263	6,868	1,061	0,835	331,562	7,434	2,996	31,957
CA08 S	APA Costa das Algas	15,266	3,050	2,667	4,520	46,068	1,374	0,794	6,960	1,097	0,739	306,546	7,945	3,191	32,167
CA08 F	APA Costa das Algas	14,398	3,051	2,522	3,606	43,584	1,380	0,705	6,365	1,105	0,614	282,026	11,375	3,115	29,170
CA09 S	APA Costa das Algas	13,019	3,048	2,296	2,854	38,308	1,385	0,644	5,074	1,021	0,540	239,600	8,155	2,416	23,466
CA09 F	APA Costa das Algas	12,722	3,015	2,161	2,755	37,230	1,370	0,599	4,929	1,030	0,330	237,379	7,300	2,333	23,670
CA10 S	APA Costa das Algas	14,099	3,050	2,597	3,380	40,361	1,370	0,254	6,439	1,029	0,784	302,431	8,379	3,064	25,445
CA10 F	APA Costa das Algas	19,891	3,162	4,011	5,567	56,647	1,396	0,262	9,428	1,089	2,091	520,666	23,795	5,128	49,286
CA11 S	APA Costa das Algas	19,118	3,141	3,769	5,328	56,445	1,385	0,253	8,884	1,121	1,726	453,924	9,294	5,079	62,206
CA11 F	APA Costa das Algas	17,226	3,072	3,460	5,102	51,840	1,372	0,255	8,336	1,105	1,322	390,020	8,661	4,308	47,522
CA12 S	APA Costa das Algas	16,371	3,149	3,042	4,754	49,342	1,409	0,957	7,544	1,146	1,169	356,324	8,553	3,522	44,033
CA12 F	APA Costa das Algas	16,997	3,061	3,005	4,451	51,796	1,371	0,793	7,527	1,047	1,160	354,019	7,481	3,437	42,088
CA13 S	APA Costa das Algas	15,522	3,020	2,815	3,978	47,868	1,357	0,791	7,148	1,093	0,886	311,840	7,694	3,359	37,112
CA13 F	APA Costa das Algas	16,552	3,161	3,012	4,320	50,840	1,424	0,818	6,837	1,104	1,033	331,161	8,747	3,267	39,016
CA14 S	APA Costa das Algas	16,692	3,073	2,982	4,226	51,397	1,380	0,254	7,316	1,034	1,078	347,956	10,877	3,466	35,090
CA14 F	APA Costa das Algas	17,682	3,098	3,388	4,468	54,908	1,383	0,254	7,578	1,102	1,289	385,232	9,641	3,601	38,040
CA15 S	APA Costa das Algas	16,812	3,061	3,128	4,436	52,753	1,379	0,956	7,334	1,094	1,138	356,821	8,210	3,560	36,657
CA15 F	APA Costa das Algas	17,481	3,091	3,337	4,548	55,444	1,386	0,867	7,723	1,115	1,196	372,043	8,145	3,727	40,477
SDS30 S	Foz Sul	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SDS30 F	Foz Sul	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SDS20 S	Foz Sul	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SDS20 F	Foz Sul	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

METAIS TOTAIS (µg/L)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>CAMPANHA 1</b>															
SDS13 S	Foz Sul	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SDS13 F	Foz Sul	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD01 S	Foz Central	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD01 F	Foz Central	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD01II s	Foz Central	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD01II F	Foz Central	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD02 S	Foz Central	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD02 F	Foz Central	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD02II S	Foz Central	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD02II F	Foz Central	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD03 S	Foz Central	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD03 F	Foz Central	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD04 S	Foz Central	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD04 F	Foz Central	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD05 S	Foz Central	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD05 F	Foz Central	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SDN13 S	Foz Norte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SDN13 F	Foz Norte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SDN20 S	Foz Norte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SDN20 F	Foz Norte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SDN30 S	Foz Norte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SDN30 F	Foz Norte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

METAIS TOTAIS (µg/L)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>CAMPANHA 1</b>															
DEG1 S	Região Norte	18,062	3,258	7,950	10,378	44,012	1,545	0,408	10,701	1,247	3,118	1037,500	59,459	9,975	79,988
DEG1 F	Região Norte	20,809	3,365	8,836	11,580	50,199	1,483	0,478	12,217	1,422	3,978	1433,451	138,739	18,470	111,663
DEG2 S	Região Norte	17,316	3,253	7,573	9,936	44,069	1,650	0,429	10,099	1,388	2,689	897,306	13,675	6,955	101,101
DEG2 F	Região Norte	17,721	3,252	7,244	9,520	44,860	1,534	0,446	9,650	1,209	2,635	897,444	17,257	7,160	94,912
BN1 S	Região Norte	18,495	3,467	9,932	18,414	45,327	1,427	0,572	11,674	1,303	3,112	995,413	14,692	8,352	100,937
BN1 F	Região Norte	19,561	3,292	9,857	13,667	48,653	1,422	0,454	11,738	1,311	6,915	1080,258	29,259	8,564	91,150
BN2 S	Região Norte	16,590	3,257	8,415	11,661	40,874	1,436	0,439	10,991	1,263	2,939	892,145	37,168	8,703	103,651
BN2 F	Região Norte	20,294	3,318	9,196	13,235	48,020	1,424	0,520	13,780	1,386	3,931	1147,517	47,422	10,961	106,049
ITA1 S	Região Norte	17,050	3,229	7,322	11,026	42,508	1,418	0,449	10,770	1,356	2,737	902,954	43,011	8,012	79,892
ITA1 F	Região Norte	16,390	3,245	5,923	9,963	40,604	1,419	0,439	10,537	1,396	2,850	891,849	58,768	8,741	71,360
ITA2 S	Região Norte	15,276	3,189	5,286	8,244	39,366	1,415	0,406	8,197	1,214	2,110	712,729	11,232	5,724	69,896
ITA2 F	Região Norte	14,505	3,198	5,311	7,841	39,974	1,430	0,405	8,971	1,246	1,552	630,446	10,984	5,732	90,575
ABR1 S	Abrolhos	14,507	3,114	4,364	5,776	39,548	1,403	0,369	7,509	1,212	1,658	618,302	28,126	5,307	39,469
ABR1 F	Abrolhos	15,707	3,113	4,368	5,866	42,681	1,392	0,401	9,283	1,277	1,960	718,676	40,321	7,290	36,353
ABR2 S	Abrolhos	13,983	3,055	3,686	4,335	39,428	1,383	0,276	7,907	1,116	0,896	346,774	9,390	3,813	33,307
ABR2 F	Abrolhos	14,915	3,102	3,686	4,353	41,690	1,394	0,267	9,380	1,161	1,054	376,316	8,955	4,373	28,190
ABR3 S	Abrolhos	15,583	3,082	3,737	5,565	43,867	1,383	0,271	8,946	1,329	1,279	404,840	8,749	4,800	30,182
ABR3 F	Abrolhos	15,208	3,101	3,597	5,320	43,380	1,398	0,272	9,900	1,261	1,249	375,291	9,487	5,034	43,801
ABR4 S	Abrolhos	15,454	3,119	3,685	5,502	43,595	1,396	0,377	8,633	1,420	1,494	603,730	12,675	5,312	57,006
ABR4 F	Abrolhos	17,946	3,210	4,185	7,024	50,357	1,426	0,373	9,909	1,365	2,073	731,722	14,942	6,430	52,325
ABR5 S	Abrolhos	19,393	3,216	4,840	7,575	53,853	1,518	0,419	10,786	1,307	3,029	816,458	18,386	7,295	70,631
ABR5 F	Abrolhos	16,549	3,143	3,817	6,603	47,470	1,443	0,357	9,091	1,173	1,512	629,247	10,103	5,926	88,266

METAIS TOTAIS (µg/L)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>CAMPANHA 2</b>															
SDS30 S	Foz Sul	17,560	3,162	5,200	9,754	56,342	1,375	0,263	10,978	1,266	2,171	557,241	25,139	6,114	53,432
SDS30 F	Foz Sul	18,211	3,181	5,490	7,572	59,183	1,377	0,260	10,499	1,171	2,191	578,153	16,769	5,911	49,603
SDS20 S	Foz Sul	19,686	3,242	5,543	6,910	62,271	1,405	0,262	13,507	1,174	2,394	621,747	25,492	7,338	51,696
SDS20 F	Foz Sul	18,520	3,192	5,387	7,366	58,927	1,381	0,269	10,910	1,146	2,501	647,302	49,896	7,754	52,044
SDS13 S	Foz Sul	19,409	3,436	5,611	7,260	62,052	1,445	0,274	13,088	1,227	2,236	607,484	40,248	12,830	50,885
SDS13 F	Foz Sul	17,591	3,170	4,823	7,220	57,585	1,386	0,260	9,267	1,161	1,949	523,379	25,146	5,461	46,257
SD01 S	Foz Central	12,307	3,090	2,609	3,879	33,760	1,382	0,256	10,177	1,116	1,191	403,252	47,538	6,578	23,955
SD01 F	Foz Central	14,842	3,108	3,192	4,346	44,368	1,374	0,251	9,063	1,094	1,466	453,469	34,293	6,182	31,749
SD02 S	Foz Central	16,593	3,154	3,786	5,656	50,586	1,387	0,278	10,814	1,277	1,816	483,385	20,219	6,163	40,088
SD02 F	Foz Central	18,948	3,193	4,495	5,899	57,215	1,386	0,266	9,539	1,084	2,375	638,883	50,242	6,296	43,328
SD03 S	Foz Central	18,252	3,228	5,061	12,793	56,553	1,411	0,516	9,642	1,616	2,809	865,111	20,493	7,181	54,867
SD03 F	Foz Central	17,395	3,327	4,435	10,965	53,915	1,454	0,417	9,735	1,429	2,647	839,409	42,971	10,150	49,369
SD04 S	Foz Central	17,159	3,153	4,230	5,852	53,981	1,384	0,261	9,403	1,651	1,869	489,049	10,368	5,014	45,865
SD04 F	Foz Central	16,495	3,154	4,231	5,217	52,926	1,387	0,265	8,906	1,051	1,697	465,759	11,007	4,516	41,528
SD05 S	Foz Central	16,418	3,205	4,244	8,958	52,548	1,409	0,441	7,481	1,474	2,280	846,128	18,134	6,264	43,028
SD05 F	Foz Central	15,974	3,160	4,106	6,909	50,609	1,387	0,384	8,469	1,669	2,277	709,498	22,433	6,289	40,885
SDN13 S	Foz Norte	15,783	3,122	3,825	5,177	50,143	1,379	0,263	9,258	1,263	1,549	443,907	18,506	5,032	38,236
SDN13 F	Foz Norte	18,258	3,214	4,496	6,007	57,141	1,396	0,261	10,480	1,150	2,213	631,312	67,640	7,919	40,928
SDN20 S	Foz Norte	18,364	3,180	4,711	6,876	56,685	1,382	0,259	10,014	1,071	2,173	549,184	15,817	5,400	45,141
SDN20 F	Foz Norte	19,084	3,234	5,235	6,837	59,667	1,398	0,267	10,583	1,237	2,416	624,527	29,777	6,401	49,416
SDN30 S	Foz Norte	18,301	3,189	5,101	8,814	57,131	1,387	0,301	11,729	1,550	2,333	572,283	25,381	6,775	52,446

METAIS TOTAIS (µg/L)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>CAMPANHA 2</b>															
SDN30 F	Foz Norte	19,220	3,215	5,360	6,794	60,498	1,388	0,308	11,522	1,220	2,478	720,528	86,196	10,373	48,488
INTERFACE Extra S	Foz Central	15,473	3,152	4,249	5,327	43,992	1,374	0,252	12,599	1,229	2,216	544,254	44,523	7,616	43,497
INTERFACE Extra F	Foz Central	18,094	3,189	4,923	6,090	55,913	1,367	0,262	10,495	1,375	2,780	852,330	161,709	14,196	51,402
EXT_ESP_SDS30_M1		26,642	3,464	5,621	7,348	60,525	1,384	0,267	15,499	3,767	7,656	4643,384	1896,081	55,266	52,696

METAIS TOTAIS (µg/L)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>CAMPANHA 3</b>															
SDS30 S	Foz Sul	17,064	3,156	3,768	5,196	52,959	1,396	0,284	8,692	1,087	1,883	496,569	20,532	4,994	42,201
SDS30 F	Foz Sul	16,555	3,157	3,685	5,253	52,294	1,404	0,311	7,516	1,141	1,703	457,336	10,588	4,043	41,253
SDS20 S	Foz Sul	16,103	3,131	3,448	5,104	48,415	1,387	0,279	8,666	1,153	1,977	477,025	23,069	4,678	37,377
SDS20 F	Foz Sul	17,509	3,145	3,841	5,682	55,179	1,384	0,280	9,473	1,171	2,048	559,368	35,457	6,946	41,740
SDS13 S	Foz Sul	14,277	3,095	2,886	4,783	45,065	1,386	0,323	6,614	1,178	1,056	367,722	11,336	3,513	30,519
SDS13 F	Foz Sul	17,380	3,129	3,777	6,161	53,737	1,383	0,286	10,749	1,231	1,967	526,922	23,102	7,096	40,491
SD01 S	Foz Central	14,334	3,102	2,738	3,473	42,799	1,393	0,282	7,603	1,084	0,853	385,835	18,992	4,361	21,538
SD01 F	Foz Central	13,665	3,096	2,612	4,979	41,711	1,393	0,296	6,720	1,094	1,041	373,513	21,829	4,309	22,953
SD02 S	Foz Central	13,131	3,110	2,758	8,366	40,848	1,376	1,014	6,957	1,263	4,837	392,870	12,914	4,452	35,892
SD02 F	Foz Central	14,063	2,996	2,758	7,353	44,444	1,345	0,290	6,989	1,069	1,046	381,490	17,796	4,194	26,247
SD03 S	Foz Central	13,631	3,056	2,684	4,026	42,796	1,377	0,276	6,925	1,046	0,872	331,426	8,498	3,648	28,104
SD03 F	Foz Central	13,909	3,003	2,693	3,807	44,125	1,356	0,262	6,278	1,006	0,756	326,738	8,564	3,101	27,376
SD04 S	Foz Central	13,849	3,057	2,655	3,903	44,350	1,378	0,274	6,572	1,279	0,761	325,207	7,670	3,250	27,195
SD04 F	Foz Central	13,390	3,077	2,644	3,998	42,710	1,393	0,274	5,914	1,292	0,726	312,246	6,908	2,871	26,920

METAIS TOTAIS (µg/L)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>CAMPANHA 3</b>															
SD05 S	Foz Central	15,862	3,135	3,159	4,043	51,056	1,408	0,275	7,341	1,192	1,098	387,510	8,184	3,618	31,224
SD05 F	Foz Central	14,046	3,082	2,830	4,181	44,851	1,390	0,277	6,625	1,056	1,377	335,848	8,072	3,461	29,558
SDN13 S	Foz Norte	13,664	3,097	2,633	4,338	43,249	1,397	0,277	6,588	1,068	0,852	342,114	9,861	3,532	23,986
SDN13 F	Foz Norte	14,411	3,081	2,827	3,970	46,548	1,385	0,269	6,754	1,128	0,853	361,376	12,579	3,838	24,786
SDN20 S	Foz Norte	15,422	3,262	3,068	4,212	48,740	1,467	0,289	6,899	1,250	1,117	381,251	11,921	4,059	33,279
SDN20 F	Foz Norte	13,906	3,071	2,728	3,584	44,012	1,384	0,273	6,832	1,084	0,726	331,126	10,531	3,595	25,154
SDN30 S	Foz Norte	13,755	3,077	2,712	3,459	43,977	1,390	0,269	6,510	1,188	0,632	310,921	8,143	3,202	25,625
SDN30 F	Foz Norte	13,148	3,067	2,629	4,140	41,274	1,386	0,280	6,656	1,119	1,176	321,439	8,490	3,569	25,951

Fonte: Autoria própria.

<LQ – Menor que limite de quantificação.

NA – Não Analisado.

Quadro A 4: Concentração de Ferro(Fe), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Arsênio (As), Prata (Ag), Bário (Ba), Cádmiu (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Vanádio (V) e Zinco (Zn) parciais em sedimento da região costeira adjacente da foz do Rio Doce e demais regiões. Valores das concentrações expressos em µg/L.

METAIS PARCIAIS (µg/g)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>SEMESTRAL 1</b>															
GUA1	Região Sul	71,43	0,87	16,50	30,02	38,40	0,04	0,05	8,71	9,65	13,31	11380,52	4227,77	154,13	21,35
GUA2	Região Sul	58,57	0,17	8,26	30,03	20,56	0,06	0,07	1,31	5,64	1,14	1353,41	259,29	25,06	3,52
VIX1	Região Sul	70,07	0,64	19,57	39,13	45,68	0,09	0,13	4,22	10,64	9,15	7361,82	596,24	206,51	147,07
VIX2	Região Sul	64,54	1,11	19,98	28,33	33,30	0,04	0,09	10,71	8,40	9,81	10146,25	3561,71	108,64	10,40
CA01	APA Costa das Algas	116,23	4,46	24,80	44,06	70,49	<LQ	<LQ	33,46	23,26	56,38	46008,23	20489,86	401,13	102,64
CA02	APA Costa das Algas	89,29	2,00	17,65	37,85	85,27	1,03	1,21	5,52	12,68	14,77	19431,68	2152,04	328,85	69,22
CA03	APA Costa das Algas	87,65	3,30	23,40	37,88	60,92	0,60	0,77	13,26	15,06	29,07	27271,38	6980,40	169,03	136,27
CA04	APA Costa das Algas	73,81	1,94	24,76	32,32	38,41	0,41	0,63	17,18	12,43	20,43	14482,59	6978,48	135,76	26,75
CA05	APA Costa das Algas	69,33	1,05	12,58	35,62	40,57	0,47	0,59	10,21	8,83	7,54	6455,35	1552,64	121,40	64,10
CA06	APA Costa das Algas	67,99	1,37	21,65	31,91	36,54	0,48	0,70	9,46	9,23	8,19	8933,45	2261,08	76,31	17,61
CA07	APA Costa das Algas	66,40	1,28	22,79	31,05	24,88	0,41	0,59	13,79	9,38	15,22	8778,44	5090,59	69,32	20,71
CA08	APA Costa das Algas	105,28	3,49	20,26	43,02	51,01	0,39	2,17	27,75	19,91	43,45	30677,75	17501,59	256,33	75,28
CA09	APA Costa das Algas	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CA10	APA Costa das Algas	92,37	2,32	22,52	31,26	87,97	0,19	0,25	11,01	13,45	19,57	30131,04	5349,66	216,70	7,27
CA11	APA Costa das Algas	63,02	1,04	22,29	28,65	30,99	0,15	0,26	11,91	8,87	11,96	9643,11	3767,86	65,60	25,55
CA12	APA Costa das Algas	79,57	2,06	25,38	33,13	32,64	0,14	0,24	23,61	14,24	33,16	18914,17	12104,49	133,14	33,70
CA13	APA Costa das Algas	69,58	0,83	12,23	31,80	38,74	0,12	0,11	7,69	9,36	8,37	8108,65	1718,60	120,01	72,00
CA14	APA Costa das Algas	67,81	1,62	23,31	34,14	38,25	0,08	0,18	11,88	11,99	14,10	14449,18	5288,24	128,94	26,34
CA15	APA Costa das Algas	69,57	1,08	27,68	33,88	36,63	0,15	0,29	11,58	11,85	11,90	10737,35	3580,28	96,94	121,32
SDS30	Foz Sul	93,67	2,23	12,74	34,29	97,02	<LQ	<LQ	8,14	13,73	15,41	24498,88	3357,68	357,87	58,50
SDS20	Foz Sul	104,73	6,51	25,21	41,89	55,32	<LQ	<LQ	45,57	24,06	61,40	42654,97	16745,19	556,86	67,79
SDS13	Foz Sul	103,33	5,16	24,32	39,31	51,98	0,03	<LQ	38,89	26,20	60,60	71566,20	19982,81	434,82	128,39
SD01	Foz Central	65,12	0,45	9,50	42,55	18,92	0,50	0,63	3,13	8,40	4,26	789,10	229,75	8,30	8,49
SD01 II	Foz Central	107,51	6,75	28,35	41,81	60,18	<LQ	<LQ	45,77	24,96	67,80	47031,99	19912,66	979,47	83,49
SD02	Foz Central	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

METAIS PARCIAIS (µg/g)															
Pontos	Região	V	Co	Ni	Cu	As	Ag	Cd	Ba	Pb	Cr	Fe	Al	Mn	Zn
<b>SEMESTRAL 1</b>															
SD02 II	Foz Central	110,72	7,15	26,37	45,03	47,37	<LQ	<LQ	54,42	27,14	66,80	67742,05	20891,08	431,43	81,78
SD03	Foz Central	83,33	2,18	12,26	33,99	75,94	<LQ	<LQ	6,98	9,79	12,63	17572,44	2605,19	420,94	29,56
SD04	Foz Central	71,35	1,72	15,32	31,56	49,30	<LQ	0,00	9,50	9,32	15,55	16598,55	3686,43	162,83	55,17
SD05	Foz Central	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SDN13	Foz Norte	86,80	6,28	25,92	55,96	53,49	0,41	0,53	43,80	20,81	54,16	35638,04	12956,49	893,66	184,34
SDN20	Foz Norte	81,65	4,87	18,61	38,01	35,38	0,23	0,19	28,92	16,85	37,02	23339,05	8176,75	321,04	43,96
SDN30	Foz Norte	98,13	6,14	24,03	40,90	56,31	0,05	<LQ	43,37	21,83	51,50	36365,37	13616,33	414,33	64,80
DEG1	Região Norte	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
DEG2	Região Norte	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BN1	Região Norte	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BN2	Região Norte	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
ITA1	Região Norte	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
ITA2	Região Norte	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
ABR1	Abrolhos	76,28	3,11	20,49	38,80	39,08	1,07	1,05	19,82	17,02	41,37	23607,37	11147,17	208,75	54,74
ABR2	Abrolhos	60,43	1,77	22,94	35,78	20,03	1,56	2,20	8,19	8,36	17,82	2491,65	488,53	13,32	6,55
ABR3	Abrolhos	60,42	1,19	20,68	32,71	20,99	1,04	1,39	6,09	7,75	12,04	3147,90	423,37	16,10	29,53
ABR4	Abrolhos	61,40	1,39	28,75	68,19	22,67	1,19	1,80	10,12	10,52	19,72	3285,03	521,53	119,71	287,33
ABR5	Abrolhos	62,09	0,94	21,50	39,76	25,47	0,53	0,72	7,13	7,73	15,21	5208,15	1139,80	25,05	122,71

Fonte: Autoria própria.

<LQ – Menor que limite de quantificação.

NA – Não Analisado.

### 1.6.3 Compostos orgânicos

Tabela A 1 Dados da Campanha 1 (Foz Sul e Central)

CAMPANHA 1	Foz Sul				Foz Central											
	Concentração (ng/L)	SDS20 F	SDS20 S	SDS30 F	SDS30 S	SD01S_II	SD01IIF	SD01IIS	SD01F	SD01S	SD02F	SD02IIF	SD02IIS	SD02S	SD03F	SD03S
naftaleno	10,16	9,30	9,76	10,55	26,81	11,62	2,08	1,93	23,62	22,13	22,94	12,80	2,00	30,72	27,66	
acenaftileno	3,31	3,26	3,36	5,07	3,60	3,49	3,53	3,26	3,42	3,59	3,42	3,27	3,34	3,78	3,70	
acenafteno	2,95	2,47	3,26	4,04	2,95	3,33	2,34	1,99	3,07	2,97	3,43	2,39	2,19	3,30	3,01	
fluoreno	8,04	6,15	8,23	10,06	8,87	10,37	6,12	5,62	9,24	8,06	9,95	7,68	6,06	9,42	10,40	
fenantreno	9,57	10,61	17,01	25,13	22,84	21,50	20,40	10,27	20,06	19,10	23,22	26,02	9,75	22,29	21,46	
antraceno	13,50	15,12	22,63	35,66	32,19	30,17	28,67	14,71	27,17	25,45	32,37	36,02	14,44	28,74	29,92	
fluoranteno	6,60	< LQ	< LQ	< LQ	15,62	2,58	< LQ	< LQ	9,51	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	1,83	
pireno	9,62	< LQ	12,24	1,84	62,92	30,79	2,75	< LQ	40,80	< LQ	7,67	4,38	< LQ	6,94	13,63	
benzo(a)antraceno	2,79	1,60	1,81	2,51	1,99	2,34	2,01	1,74	1,57	2,03	1,75	1,70	1,48	1,56	1,80	
criseno	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	
benzo(b)fluoranteno	5,04	4,55	4,59	7,04	4,88	4,72	4,88	4,61	4,69	4,74	4,51	4,51	4,62	4,52	4,86	
bz(k)fluoranteno	3,59	4,00	3,25	5,00	4,56	3,38	3,57	3,42	3,32	3,41	3,23	3,22	3,29	3,37	3,61	
benzo(a)pireno	6,68	3,17	3,53	5,01	5,61	4,96	3,53	3,22	4,10	3,36	3,27	3,19	3,22	3,16	3,64	
indeno(1,2,3-cd)pireno	8,59	3,79	3,93	5,92	5,23	6,21	4,16	3,85	4,33	3,94	3,78	3,78	3,87	3,74	4,18	
dibenzo(a,h)antraceno	4,88	4,72	4,72	7,37	5,12	4,81	5,16	4,74	4,72	4,91	4,77	4,74	5,01	4,72	5,35	
benzo(g,h,i)perileno	26,74	3,84	4,94	6,11	10,15	13,74	4,22	3,85	7,19	3,98	3,79	3,76	3,91	3,78	4,47	
<b>HPA TOTAIS (ng/L)</b>	<b>122,04</b>	<b>72,57</b>	<b>103,24</b>	<b>131,32</b>	<b>213,33</b>	<b>154,01</b>	<b>93,41</b>	<b>63,20</b>	<b>166,79</b>	<b>107,68</b>	<b>128,07</b>	<b>117,45</b>	<b>63,16</b>	<b>130,02</b>	<b>139,53</b>	
<b>média</b>	<b>107,30</b>				<b>125,15</b>											
<b>mediana</b>	<b>112,64</b>				<b>128,07</b>											
<b>mínimo</b>	<b>72,57</b>				<b>63,16</b>											
<b>máximo</b>	<b>131,32</b>				<b>213,33</b>											
<b>DP</b>	<b>25,93</b>				<b>44,31</b>											

Fonte: Autoria própria.

Tabela A 2: Dados da Campanha 1 (Foz Norte, Região Norte e Abrolhos)

CAMPANHA 1 Concentração (ng/L)	Foz Norte						Região Norte								Abrolhos					
	SDN1 3F	SDN1 3S	SDN2 0F	SDN2 0S	SDN3 0F	SDN3 0S	DEG0 1F	DEG0 1S	BN0 1S	BN0 2S	BN0 1F	BN0 2F	ITA0 1F	ITA0 1S	ABR0 1S	ABR0 1F	ABR0 2F	ABR0 2S	ABR0 4F	ABR0 4S
naftaleno	13,32	6,37	18,52	13,59	10,06	8,69	67,19	4,49	1,39	1,42	2,15	1,77	1,79	2,70	1,79	2,91	12,85	9,96	11,09	10,65
acenaftileno	3,33	3,52	3,40	3,48	3,34	3,33	< LQ	3,48	3,41	3,42	3,23	3,50	3,25	3,40	3,38	3,40	3,42	3,39	3,41	3,41
acenafteno	3,23	2,38	3,00	2,53	2,65	2,41	< LQ	2,12	1,81	1,64	1,63	1,89	1,62	1,71	1,86	1,73	3,43	2,64	3,36	2,81
fluoreno	7,49	6,31	7,14	8,38	6,57	5,83	< LQ	6,82	4,44	4,70	4,87	4,25	4,38	4,62	4,13	4,49	7,59	6,71	7,52	8,08
fenantreno	13,22	12,46	13,64	24,14	12,73	10,33	2,04	11,08	6,76	3,26	4,83	1,59	2,53	4,34	1,84	3,77	12,85	13,71	15,65	18,88
antraceno	18,95	18,23	18,13	32,09	17,81	14,91	4,16	16,25	0,70	5,08	7,40	3,56	4,31	< LQ	3,96	6,42	18,72	19,03	21,48	26,30
fluoranteno	8,80	< LQ	< LQ	24,21	< LQ	< LQ	< LQ	11,40	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,72	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	1,76
pireno	32,90	< LQ	11,71	88,57	1,90	3,59	< LQ	48,26	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	2,20	11,50	< LQ	3,03	3,20	1,21	6,12	17,07
benzo(a)antraceno	2,66	1,69	2,26	1,59	1,61	1,64	2,51	2,36	6,39	1,57	1,71	1,82	1,90	6,72	1,50	1,89	1,56	1,67	1,64	1,78
criseno	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
benzo(b)fluoranteno	5,31	4,92	4,59	4,85	4,67	4,66	5,17	5,62	10,39	4,78	4,55	4,99	4,66	10,18	4,74	5,01	4,70	4,60	4,68	4,83
bz(k)fluoranteno	3,49	3,53	3,21	3,33	4,53	3,30	3,56	4,62	< LQ	3,41	3,32	3,50	3,41	< LQ	3,38	3,37	3,32	3,25	3,33	3,45
benzo(a)pireno	5,24	3,43	3,35	4,56	3,26	3,23	3,48	7,29	24,19	3,33	3,14	3,45	3,60	24,14	3,29	4,36	3,27	3,16	3,25	4,66
indeno(1,2,3-cd)pireno	6,28	4,13	3,84	4,48	3,90	3,86	4,13	6,42	14,88	4,01	3,78	4,10	4,05	15,83	3,94	5,21	3,90	3,83	3,91	4,51
dibenzo(a,h)antraceno	4,86	5,17	4,72	4,74	5,07	4,86	5,03	5,06	11,09	5,00	4,77	5,14	4,74	11,32	4,97	5,03	5,05	4,81	5,94	4,97
benzo(g,h,i)perileno	15,74	4,13	4,01	8,00	3,92	3,90	4,13	17,33	14,14	4,10	3,83	4,15	5,99	17,37	3,94	9,84	3,91	3,82	3,92	8,25
<b>HPA TOTAIS (ng/L)</b>	<b>144,82</b>	<b>76,29</b>	<b>101,50</b>	<b>228,53</b>	<b>82,04</b>	<b>74,55</b>	<b>101,41</b>	<b>152,62</b>	<b>99,58</b>	<b>45,70</b>	<b>49,21</b>	<b>43,73</b>	<b>49,16</b>	<b>113,83</b>	<b>42,72</b>	<b>60,46</b>	<b>87,78</b>	<b>81,78</b>	<b>95,29</b>	<b>121,41</b>
<b>média</b>	117,95						81,90								81,57					
<b>mediana</b>	91,77						74,40								84,78					
<b>mínimo</b>	74,55						43,73								42,72					
<b>máximo</b>	228,53						152,62								121,41					
<b>DP</b>	60,22						40,75								27,46					

Fonte: Autoria própria.

Tabela A 3: Dados da Campanha 2 (Foz Sul, Foz Central e Foz Norte).

CAMPANHA 2 Concentração (ng/L)	Foz Sul				Foz Central						Foz Norte					
	SDS20 F	SDS20 S	SDS30 F	SDS30 S	SD01 F	SD01 S	SD02 F	SD02 S	SD03 F	SD03 S	SDN13 F	SDN13 S	SDN20 F	SDN20 S	SDN30 F	SDN30 S
naftaleno	2,28	18,94	8,41	101,77	2,42	1,21	130,02	2,18	48,15	2,42	15,80	6,26	< LQ	153,59	< LQ	< LQ
acenaftileno	6,54	3,38	3,39	3,66	3,49	3,44	5,25	3,35	3,70	3,42	3,84	3,49	3,23	4,04	3,45	3,35
acenafteno	3,42	3,89	1,94	1,83	1,83	1,75	2,98	1,86	2,13	1,92	4,01	2,35	1,56	2,15	1,62	1,57
fluoreno	8,44	11,36	5,92	4,99	4,84	5,74	5,88	4,34	5,73	4,30	10,02	6,15	5,43	9,32	4,75	4,04
fenantreno	4,85	22,77	9,05	2,36	2,91	17,51	4,36	2,98	4,24	1,85	29,52	8,92	22,02	18,98	8,57	2,46
antraceno	8,98	29,03	13,14	4,52	5,10	23,32	7,12	5,29	6,89	3,85	40,90	13,26	29,97	25,78	13,10	4,76
fluoranteno	3,61	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
pireno	7,97	1,84	1,94	< LQ	< LQ	7,29	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	1,59	1,79	2,89	1,71	2,37	< LQ
benzo(a)antraceno	4,68	1,61	1,81	1,57	2,02	1,87	1,54	1,63	1,60	1,61	1,84	1,66	1,69	1,57	1,81	1,58
criseno	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
benzo(b)fluoranteno	9,53	4,54	4,67	4,86	4,89	4,98	4,82	4,70	4,96	4,81	4,92	4,91	4,59	4,52	5,05	4,75
bz(k)fluoranteno	6,75	3,26	3,31	3,46	3,46	3,49	3,42	3,41	3,59	3,40	3,54	3,46	3,25	3,22	3,57	3,35
benzo(a)pireno	7,83	3,19	3,28	3,37	3,46	3,60	3,37	3,26	3,65	3,45	3,47	3,57	3,22	3,14	3,54	3,36
indeno(1,2,3-cd)pireno	8,16	3,75	3,86	4,04	4,03	4,09	3,97	3,89	4,12	4,02	4,06	4,04	3,78	3,75	4,20	3,97
dibenzo(a,h)antraceno	9,68	4,72	4,86	5,08	5,08	5,09	5,00	4,90	5,20	5,01	5,10	5,10	4,76	< LQ	5,15	5,08
benzo(g,h,i)perileno	11,03	3,74	3,87	4,01	4,04	4,38	3,94	3,88	4,27	4,43	4,06	4,41	3,80	3,73	4,17	4,08
<b>HPA TOTAIS (ng/L)</b>	<b>103,73</b>	<b>116,00</b>	<b>69,45</b>	<b>145,51</b>	<b>47,56</b>	<b>87,77</b>	<b>181,67</b>	<b>45,66</b>	<b>98,23</b>	<b>44,49</b>	<b>132,65</b>	<b>69,37</b>	<b>90,21</b>	<b>235,51</b>	<b>61,35</b>	<b>42,36</b>
<b>média</b>	<b>108,67</b>				<b>84,23</b>						<b>105,24</b>					
<b>mediana</b>	<b>109,86</b>				<b>67,66</b>						<b>79,79</b>					
<b>mínimo</b>	<b>69,45</b>				<b>44,49</b>						<b>42,36</b>					
<b>máximo</b>	<b>145,51</b>				<b>181,67</b>						<b>235,51</b>					
<b>DP</b>	<b>31,48</b>				<b>53,13</b>						<b>70,87</b>					

Fonte: Autoria própria.

Tabela A 4: Dados da Campanha 3 (Foz Sul, Foz Central e Foz Norte).

CAMPANHA 3 Concentração (ng/L)	Foz Sul				Foz Central				Foz Norte			
	SDS20F	SDS20S	SDS30F	SDS30S	SD01F	SD01S	SD03S	SD03F	SDN13F	SDN13S	SDN20F	SDN20S
naftaleno	3,94	3,48	5,99	2,75	59,98	3,38	2,65	11,45	16,33	11,97	4,25	6,81
acenaftileno	3,47	3,34	3,32	3,23	4,80	3,48	3,22	3,47	3,40	3,27	3,25	3,26
acenafteno	2,59	2,20	2,31	1,97	2,69	1,85	1,67	2,99	3,82	2,61	2,17	2,20
fluoreno	7,25	5,02	6,98	4,37	11,38	5,02	4,17	7,34	9,04	7,66	6,70	6,71
fenantreno	8,63	7,24	8,39	2,69	2,12	5,02	2,32	13,87	20,87	21,69	7,21	8,11
antraceno	12,86	10,77	12,41	4,95	4,18	8,22	4,38	19,70	27,67	29,79	10,90	12,16
fluranteno	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ				
pireno	< LQ	2,42	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	4,23	< LQ	< LQ
benzo(a)antraceno	2,04	1,77	1,62	1,62	1,63	1,60	1,70	1,81	1,65	1,62	1,55	1,49
criseno	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ				
benzo(b)fluoranteno	4,86	4,53	4,52	4,54	4,83	4,85	4,53	4,73	4,62	4,58	4,51	4,55
bz(k)fluoranteno	3,46	3,23	3,20	3,25	3,43	3,44	3,27	3,36	3,28	3,26	3,22	3,23
benzo(a)pireno	3,46	3,23	3,18	3,20	3,41	3,40	3,18	3,36	3,18	3,32	3,24	3,15
indeno(1,2,3-cd)pireno	4,02	3,77	3,74	3,77	4,04	4,02	3,74	3,92	3,88	3,77	3,75	3,78
dibenzo(a,h)antraceno	4,96	4,72	4,72	4,77	5,01	5,06	4,72	4,93	4,76	4,75	4,72	4,76
benzo(g,h,i)perileno	4,02	3,87	3,74	3,84	4,10	4,02	3,86	4,07	3,96	3,95	3,93	3,75
<b>HPA TOTAIS (ng/L)</b>	<b>65,55</b>	<b>59,56</b>	<b>64,10</b>	<b>44,94</b>	<b>111,59</b>	<b>53,36</b>	<b>43,38</b>	<b>85,00</b>	<b>106,45</b>	<b>106,47</b>	<b>59,39</b>	<b>63,95</b>
<b>média</b>	<b>58,54</b>				<b>73,33</b>				<b>84,06</b>			
<b>mediana</b>	<b>61,83</b>				<b>69,18</b>				<b>85,20</b>			
<b>mínimo</b>	<b>44,94</b>				<b>43,38</b>				<b>59,39</b>			
<b>máximo</b>	<b>65,55</b>				<b>111,59</b>				<b>106,47</b>			
<b>DP</b>	<b>9,42</b>				<b>31,07</b>				<b>25,93</b>			

Fonte: Autoria própria.

Tabela A 5: Dados da Campanha I

CAMPANHA I Concentração (ng/L)	Região Sul				Região APA Costa das Algas											
	GUA01 F	GUA01 S	VIX01 F	VIX01 S	CA01 F	CA01 S	CA02 F	CA02 S	CA03 F	CA03 S	CA04 F	CA04 S	CA05 F	CA05 S	CA06 F	CA06 S
C12	0,610	0,698	2,878	2,540	0,245	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,375	0,585	< LQ	< LQ	0,620	1,205	0,695
C13	0,123	0,060	0,827	0,748	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,058	0,025	< LQ	< LQ	0,080	0,553	0,165
C14	0,750	0,593	2,710	2,210	0,530	0,313	0,045	0,105	< LQ	0,430	0,640	0,065	0,305	0,480	1,898	0,750
C15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,400	< LQ	< LQ									
C16	0,340	0,293	1,577	1,248	4,013	0,283	0,040	0,213	0,134	0,218	0,460	0,213	0,328	0,230	1,270	0,495
C17	< LQ	< LQ	0,130	0,068	5,510	0,015	< LQ	0,075	< LQ	< LQ	< LQ	0,038	0,023	0,260	0,128	0,178
Pristano	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	8,250	< LQ	< LQ	0,138	< LQ	< LQ	< LQ	0,073	0,078	< LQ	< LQ	0,265
C18	< LQ	< LQ	0,500	0,350	7,015	0,070	< LQ	0,230	< LQ	< LQ	< LQ	0,163	0,030	0,575	0,498	0,033
Fitano	0,205	0,193	0,364	0,298	3,523	0,280	0,228	0,350	0,194	0,188	0,455	0,340	0,250	0,520	0,365	0,245
C19	< LQ	< LQ	0,207	0,123	4,773	< LQ	< LQ	0,118	< LQ	< LQ	< LQ	0,093	< LQ	0,425	0,143	< LQ
C20	0,128	< LQ	0,787	0,573	1,165	< LQ	0,040	< LQ	0,638	< LQ						
C21	0,580	0,388	1,407	1,263	0,348	0,220	0,008	0,170	0,111	< LQ	0,180	0,180	0,488	0,165	1,093	0,380
C22	1,035	0,648	1,543	1,710	0,283	0,225	0,070	0,213	0,108	< LQ	0,145	0,205	0,680	0,168	1,178	0,378
C23	1,223	0,778	0,864	1,665	0,300	0,183	0,248	0,278	0,136	0,098	0,125	0,240	0,660	0,168	0,513	0,598
C24	1,300	0,835	0,535	1,518	0,308	0,090	0,318	0,203	0,131	0,133	0,065	0,228	0,620	0,168	0,335	0,673
C25	1,110	0,695	0,346	1,273	0,210	0,030	0,263	0,200	0,076	0,083	< LQ	0,163	0,470	0,105	0,285	0,683
C26	0,988	0,635	0,303	1,123	0,353	0,055	0,275	0,193	0,111	0,118	0,025	0,185	0,403	0,130	0,280	0,795
C27	0,760	0,438	0,165	0,895	0,365	< LQ	0,168	0,078	0,020	0,038	< LQ	0,090	0,243	0,025	0,208	0,868
C28	0,733	0,495	0,306	0,900	0,530	0,148	0,318	0,233	0,189	0,208	0,275	0,238	0,383	0,180	0,348	1,008
C29	0,553	0,265	0,088	0,775	0,460	< LQ	0,120	0,010	< LQ	< LQ	< LQ	0,053	0,215	< LQ	0,203	1,068
C30	0,648	0,415	0,282	0,793	0,540	0,163	0,308	0,205	0,202	0,205	0,300	0,228	0,363	0,178	0,340	0,990
C31	0,693	0,525	0,402	0,878	0,605	0,268	0,393	0,313	0,302	0,323	0,525	0,340	0,453	0,285	0,420	1,075
C32	0,723	0,560	0,452	0,865	0,598	0,353	0,463	0,390	0,380	0,393	0,695	0,420	0,493	0,370	0,450	0,940
C33	0,705	0,570	0,492	0,823	0,578	0,415	0,480	0,440	0,438	0,438	0,830	0,450	0,493	0,425	0,493	0,840
<b>HC TOTAIS (ug/L)</b>	<b>13,203</b>	<b>9,080</b>	<b>17,165</b>	<b>22,633</b>	<b>40,898</b>	<b>3,108</b>	<b>3,740</b>	<b>4,150</b>	<b>2,531</b>	<b>3,300</b>	<b>5,330</b>	<b>4,000</b>	<b>7,013</b>	<b>5,555</b>	<b>12,838</b>	<b>13,118</b>
<b>média</b>	<b>15,520</b>				<b>8,80</b>											
<b>mediana</b>	<b>15,184</b>				<b>4,74</b>											
<b>mínimo</b>	<b>9,080</b>				<b>3,11</b>											
<b>máximo</b>	<b>22,633</b>				<b>40,90</b>											
<b>DP</b>	<b>5,777</b>				<b>10,72</b>											

Fonte: Autoria própria.

Tabela A 6: Dados Campanha 1 (Foz Sul e Foz Central).

CAMPANHA 1 Concentração (ug/L)	Foz Sul				Foz Central									
	SDS 20F	SDS 20S	SDS 30F	SDS 30S	SD01_II F	SD 01_IIS	SD 01F	SD 01S	SD 02F	SD 02_IIF	SD02_II S	SD02 S	SD 03F	SD03 S
C12	1,218	< LQ	2,363	3,563	1,803	1,835	1,110	< LQ	0,912	3,640	2,485	< LQ	< LQ	< LQ
C13	0,408	< LQ	0,643	1,051	0,513	0,454	0,530	0,048	0,210	1,048	0,860	0,131	< LQ	0,027
C14	1,730	0,843	1,688	3,398	1,490	1,451	1,965	0,858	1,262	3,303	2,220	1,738	0,933	1,022
C15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,028	< LQ	< LQ	< LQ				
C16	0,965	0,705	0,850	1,824	0,835	0,673	1,243	0,715	0,844	1,733	0,868	1,228	1,253	1,059
C17	0,080	0,048	0,235	0,195	0,023	0,049	0,080	0,230	0,013	0,145	0,060	0,123	0,078	0,634
Pristano	0,168	0,113	0,355	0,371	< LQ	0,122	0,168	< LQ	< LQ	0,268	< LQ	< LQ	< LQ	0,938
C18	0,288	0,163	0,548	0,629	0,158	0,114	0,425	0,543	0,148	0,673	0,210	0,403	0,555	1,449
Fitano	0,300	0,278	0,415	0,535	0,258	0,273	0,325	0,443	0,260	0,388	0,283	0,359	0,353	0,804
C19	0,105	< LQ	0,533	0,273	0,060	< LQ	0,103	0,298	< LQ	0,193	0,128	0,149	0,030	1,054
C20	0,443	0,363	0,698	1,012	0,375	0,276	0,538	0,185	0,319	1,028	0,578	0,608	0,545	0,632
C21	0,953	0,850	1,225	1,871	0,940	0,705	1,010	0,505	0,719	1,638	1,085	1,256	0,945	0,755
C22	1,005	0,858	1,235	1,871	1,155	0,822	1,090	0,595	0,823	1,820	1,525	1,285	0,998	0,941
C23	0,618	0,565	0,735	1,098	0,933	0,586	0,680	0,505	0,548	1,125	1,218	0,841	0,628	0,648
C24	0,368	0,330	0,413	0,570	0,818	0,384	0,373	0,415	0,395	0,725	0,860	0,551	0,355	0,546
C25	0,270	0,203	0,193	0,215	0,648	0,243	0,205	0,300	0,218	0,413	0,743	0,362	0,180	0,355
C26	0,265	0,173	0,153	0,188	0,608	0,211	0,173	0,283	0,197	0,285	0,660	0,277	0,148	0,360
C27	0,158	0,080	0,053	0,027	0,513	0,097	0,080	0,178	0,075	0,208	0,423	0,208	0,060	0,177
C28	0,348	0,220	0,215	0,285	0,593	0,251	0,225	0,260	0,239	0,330	0,508	0,403	0,203	0,363
C29	0,198	0,075	< LQ	< LQ	0,505	0,027	0,045	0,090	0,008	0,150	0,333	0,233	0,018	0,126
C30	0,323	0,243	0,233	0,305	0,603	0,281	0,230	0,328	0,236	0,298	0,423	0,418	0,215	0,328
C31	0,450	0,353	0,330	0,480	0,690	0,403	0,358	0,415	0,351	0,403	0,543	0,505	0,320	0,414
C32	0,490	0,428	0,395	0,582	0,655	0,476	0,418	0,485	0,426	0,465	0,553	0,533	0,403	0,481
C33	0,488	0,460	0,435	0,676	0,663	0,500	0,453	0,498	0,465	0,498	0,523	0,556	0,440	0,519
HC TOTAIS (ug/L)	11,633	7,345	13,938	21,020	14,833	10,232	11,823	8,173	8,670	20,770	17,110	12,167	8,655	13,632
média	13,48				12,61									
mediana	12,79				11,99									
mínimo	7,35				8,17									
máximo	21,02				20,77									
DP	4,58				4,08									

Fonte: Autoria própria.

Tabela A 7: Dados Campanha 1 (Foz Norte e Região Norte).

CAMPANHA 1 Concentração (ug/L)	Foz Norte						Região Norte						
	SDN13F	SDN13S	SDN20F	SDN20S	SDN30F	SDN30S	DEG01F	DEG01S	BN01S	BN01F	BN02F	ITA01F	ITA01S
C12	2,625	0,866	< LQ	1,740	1,444	< LQ	0,296	0,894	1,503	< LQ	< LQ	1,509	0,997
C13	0,686	0,134	< LQ	0,408	0,418	0,026	< LQ	0,143	0,433	< LQ	< LQ	0,336	0,220
C14	2,031	0,724	0,718	1,470	1,370	1,283	0,362	0,860	1,573	0,203	< LQ	1,368	1,023
C15	0,028	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
C16	0,939	0,309	0,513	1,058	0,783	0,812	0,096	0,516	0,899	0,065	< LQ	0,687	0,594
C17	0,077	< LQ	< LQ	0,600	0,041	0,080	< LQ	< LQ	0,031	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Pristano	< LQ	< LQ	< LQ	0,885	0,105	< LQ	< LQ	< LQ	0,093	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
C18	0,184	< LQ	0,093	1,310	0,199	0,203	< LQ	0,058	0,236	< LQ	< LQ	0,110	0,096
Fitano	0,273	0,205	0,238	0,730	0,281	0,283	0,189	0,235	0,280	0,168	0,158	0,243	0,235
C19	0,056	< LQ	< LQ	0,960	0,031	0,031	< LQ	< LQ	0,067	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
C20	0,444	< LQ	0,195	0,515	0,349	0,393	< LQ	0,214	0,606	< LQ	< LQ	0,248	0,181
C21	1,026	0,210	0,605	0,720	0,816	0,933	0,724	0,632	1,622	0,293	< LQ	0,669	0,628
C22	1,054	0,260	0,638	0,920	0,860	1,147	1,654	0,918	3,098	0,688	< LQ	0,702	0,765
C23	0,676	0,311	0,428	0,730	0,571	0,995	2,059	0,971	3,311	0,923	< LQ	0,469	0,705
C24	0,426	0,268	0,243	0,650	0,344	0,830	2,160	0,971	3,352	0,900	< LQ	0,308	0,641
C25	0,263	0,164	0,098	0,483	0,186	0,627	1,758	0,788	2,868	0,748	< LQ	0,180	0,525
C26	0,240	0,178	0,093	0,453	0,148	0,517	1,475	0,661	2,484	0,630	0,054	0,203	0,411
C27	0,145	0,063	< LQ	0,278	0,043	0,360	1,134	0,489	2,067	0,440	< LQ	0,133	0,328
C28	0,309	0,238	0,178	0,408	0,199	0,504	1,055	0,542	1,782	0,493	0,182	0,288	0,450
C29	0,135	0,044	< LQ	0,198	0,023	0,334	0,900	0,347	1,715	0,293	< LQ	0,113	0,276
C30	0,301	0,279	0,190	0,338	0,207	0,494	0,908	0,505	1,549	0,433	0,204	0,256	0,398
C31	0,426	0,399	0,303	0,428	0,337	0,599	0,983	0,553	1,624	0,530	0,318	0,356	0,488
C32	0,446	0,467	0,378	0,485	0,413	0,638	0,999	0,638	1,503	0,575	0,402	0,398	0,506
C33	0,472	0,500	0,428	0,503	0,454	0,599	0,881	0,611	1,293	0,575	0,465	0,444	0,553
<b>HC TOTAIS (ug/L)</b>	<b>13,260</b>	<b>5,617</b>	<b>5,333</b>	<b>16,265</b>	<b>9,622</b>	<b>11,686</b>	<b>17,632</b>	<b>11,548</b>	<b>33,990</b>	<b>7,953</b>	<b>1,783</b>	<b>9,020</b>	<b>10,021</b>
média	<b>10,30</b>						<b>13,14</b>						
mediana	<b>10,65</b>						<b>10,02</b>						
mínimo	<b>5,33</b>						<b>1,78</b>						
máximo	<b>16,27</b>						<b>33,99</b>						
DP	<b>4,32</b>						<b>10,33</b>						

Fonte: Autoria própria.

Tabela A 8: Dados Campanha 1 (Abrolhos).

<b>CAMPANHA 1</b>	<b>Abrolhos</b>					
<b>Concentração (ug/L)</b>	<b>ABR01S</b>	<b>ABR01F</b>	<b>ABR02F</b>	<b>ABR02S</b>	<b>ABR04F</b>	<b>ABR04S</b>
<b>C12</b>	< LQ	0,918	2,099	1,118	1,260	2,113
<b>C13</b>	< LQ	0,200	0,605	0,264	0,408	0,591
<b>C14</b>	< LQ	0,937	1,831	1,034	1,325	1,959
<b>C15</b>	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
<b>C16</b>	< LQ	0,395	0,836	0,450	0,657	0,951
<b>C17</b>	< LQ	< LQ	0,042	< LQ	0,016	0,074
<b>Pristano</b>	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,070	< LQ
<b>C18</b>	< LQ	< LQ	0,177	< LQ	0,047	0,240
<b>Fitano</b>	0,146	0,216	0,281	0,226	0,255	0,294
<b>C19</b>	< LQ	< LQ	0,055	< LQ	0,031	0,074
<b>C20</b>	< LQ	0,405	0,361	0,109	0,252	0,483
<b>C21</b>	< LQ	1,674	0,774	0,546	0,758	1,148
<b>C22</b>	0,276	3,495	0,873	0,656	0,823	1,330
<b>C23</b>	0,545	4,066	0,636	0,638	0,668	1,110
<b>C24</b>	0,649	4,184	0,462	0,602	0,455	0,969
<b>C25</b>	0,550	3,553	0,345	0,496	0,369	0,811
<b>C26</b>	0,475	3,039	0,382	0,470	0,345	0,793
<b>C27</b>	0,331	2,555	0,291	0,330	0,218	0,701
<b>C28</b>	0,435	2,158	0,436	0,445	0,361	0,765
<b>C29</b>	0,222	2,150	0,265	0,244	0,114	0,634
<b>C30</b>	0,381	1,887	0,439	0,409	0,322	0,670
<b>C31</b>	0,464	1,924	0,535	0,511	0,416	0,739
<b>C32</b>	0,503	1,845	0,577	0,567	0,496	0,719
<b>C33</b>	0,537	1,505	0,579	0,584	0,522	0,685
<b>HC TOTAIS (ug/L)</b>	<b>5,515</b>	<b>37,105</b>	<b>12,881</b>	<b>9,700</b>	<b>10,187</b>	<b>17,854</b>
<b>média</b>			<b>15,54</b>			
<b>mediana</b>			<b>11,53</b>			
<b>mínimo</b>			<b>5,51</b>			
<b>máximo</b>			<b>37,11</b>			
<b>DP</b>			<b>11,32</b>			

Fonte: Autoria própria.

Tabela A 9: Dados Campanha 2 (Foz Sul, Foz Central e Foz Norte).

CAMPANHA 2	Foz Sul						Foz Central						Foz Norte			
	Concentração (ug/L)	SDS20 F	SDS20 S	SDS30 F	SDS30 S	SD01 F	SD01 S	SD02 F	SD02 S	SD03 F	SD03 S	SDN13 F	SDN13 S	SDN20 F	SDN20 S	SDN30 F
C12	2,154	2,665	1,175	1,391	1,564	3,440	1,257	1,234	0,640	< LQ	1,868	0,265	4,162	2,780	3,867	1,360
C13	0,297	0,795	0,492	0,291	0,391	0,956	0,236	0,299	0,085	< LQ	0,746	0,224	1,331	0,695	1,037	0,318
C14	1,682	1,973	2,077	1,226	1,391	2,640	0,809	1,125	0,706	< LQ	2,951	1,822	3,667	2,467	2,757	1,152
C15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,027	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,016	< LQ	0,048	< LQ	< LQ	< LQ
C16	0,733	1,128	0,930	0,512	0,675	1,333	0,371	0,530	0,316	< LQ	1,797	1,170	1,843	1,172	1,495	0,522
C17	< LQ	0,108	0,052	< LQ	0,029	0,105	< LQ	0,068	0,038	< LQ	0,159	0,062	0,210	0,073	0,187	< LQ
Pristano	< LQ	0,133	0,113	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,295	< LQ	0,369	0,156	0,333	< LQ
C18	< LQ	0,243	0,340	0,027	0,126	0,420	< LQ	0,055	0,201	< LQ	0,597	0,332	0,710	0,309	0,498	0,042
Fitano	0,421	0,285	0,309	0,237	0,270	0,353	0,223	0,260	0,316	0,146	0,384	0,311	0,422	0,296	0,379	0,247
C19	< LQ	0,130	0,111	< LQ	< LQ	0,116	< LQ	< LQ	0,096	< LQ	0,308	0,122	0,366	0,120	0,211	< LQ
C20	< LQ	0,388	0,631	0,127	0,255	0,673	< LQ	0,125	0,022	< LQ	0,927	0,651	1,346	0,635	0,969	0,181
C21	0,662	1,233	1,149	0,518	0,677	1,182	0,342	0,678	0,371	< LQ	1,659	1,230	2,073	1,189	1,622	0,693
C22	0,733	1,535	1,191	0,504	0,761	1,236	0,286	0,821	0,525	< LQ	1,700	1,230	2,134	1,257	1,749	1,021
C23	0,641	1,255	0,722	0,342	0,360	0,811	0,194	0,732	0,407	0,342	0,938	0,754	1,192	0,790	1,040	1,089
C24	0,503	0,978	0,397	0,213	0,239	0,509	0,088	0,660	0,407	0,401	0,470	0,411	0,586	0,477	0,607	1,087
C25	0,338	0,758	0,191	0,108	0,173	0,310	< LQ	0,532	0,269	0,385	0,222	0,208	0,311	0,246	0,347	0,879
C26	0,374	0,708	0,157	0,127	0,157	0,291	0,021	0,509	0,305	0,427	0,162	0,189	0,270	0,206	0,282	0,743
C27	0,210	0,723	0,059	0,022	0,039	0,170	< LQ	0,348	0,118	0,260	0,078	0,068	0,162	0,078	0,144	0,496
C28	0,518	0,868	0,219	0,199	0,199	0,302	0,146	0,470	0,327	0,363	0,249	0,222	0,303	0,201	0,265	0,504
C29	0,097	0,745	< LQ	< LQ	< LQ	0,065	< LQ	0,275	0,049	0,154	0,024	0,014	0,126	0,005	0,081	0,310
C30	0,462	0,788	0,206	0,205	0,178	0,291	0,159	0,418	0,275	0,337	0,243	0,216	0,270	0,203	0,260	0,459
C31	0,687	0,918	0,312	0,315	0,304	0,385	0,276	0,481	0,365	0,448	0,338	0,316	0,354	0,299	0,390	0,525
C32	0,800	0,963	0,397	0,399	0,388	0,450	0,369	0,538	0,462	0,488	0,411	0,408	0,417	0,379	0,439	0,575
C33	0,892	0,893	0,441	0,461	0,446	0,504	0,438	0,530	0,489	0,528	0,478	0,457	0,457	0,432	0,487	0,588
HC TOTAIS (ug/L)	12,205	20,205	11,673	7,224	8,625	16,568	5,215	10,686	6,788	4,281	17,022	10,681	23,126	14,464	19,445	12,790
média	12,827						8,69						16,25			
mediana	11,939						7,71						15,74			
mínimo	7,224						4,28						10,68			
máximo	20,205						16,57						23,13			
DP	5,402						4,50						4,57			

Fonte: Autoria própria.

Tabela A 10: Dados Campanha 3 (Foz Sul, Foz Central e Foz Norte).

CAMPANHA 3	Foz Sul				Foz Central				Foz Norte			
Concentração (ug/L)	SDS20F	SDS20S	SDS30F	SDS30S	SD01F	SD01S	SD03S	SD03F	SDN13F	SDN13S	SDN20F	SDN20S
C12	< LQ	< LQ	0,103	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	1,071	< LQ	0,445	1,684
C13	< LQ	< LQ	0,448	0,033	0,073	0,548						
C14	< LQ	0,120	0,235	< LQ	< LQ	0,234	0,360	0,816	2,189	1,531	0,760	1,987
C15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ						
C16	< LQ	< LQ	0,115	< LQ	< LQ	0,285	0,243	0,967	1,423	1,123	0,415	1,066
C17	< LQ	0,029	0,101	0,050	< LQ	0,078						
Pristano	< LQ	< LQ	0,202	0,118	< LQ	0,152						
C18	< LQ	0,311	0,582	0,368	0,010	0,444						
Fitano	0,153	0,140	0,178	0,151	0,146	0,212	0,200	0,293	0,340	0,302	0,205	0,331
C19	< LQ	0,058	0,229	0,103	< LQ	0,189						
C20	< LQ	0,163	0,614	1,317	0,814	0,073	0,967					
C21	< LQ	< LQ	0,133	< LQ	< LQ	0,317	1,368	1,192	1,733	1,050	0,530	1,556
C22	0,092	< LQ	0,088	0,053	< LQ	0,298	3,390	1,339	1,955	1,227	0,815	1,644
C23	0,297	< LQ	0,213	0,287	0,250	0,252	4,603	0,894	1,466	0,730	0,918	1,015
C24	0,403	< LQ	0,273	0,398	0,401	0,183	5,338	0,622	1,479	0,388	1,078	0,641
C25	0,368	< LQ	0,288	0,322	0,319	0,102	4,918	0,413	2,136	0,161	1,435	0,452
C26	0,413	0,008	0,283	0,322	0,420	0,118	4,390	0,356	2,972	0,146	2,138	0,442
C27	0,266	< LQ	0,155	0,181	0,319	0,005	3,783	0,204	3,602	0,045	2,963	0,386
C28	0,408	0,130	0,280	0,315	0,457	0,199	3,023	0,314	3,184	0,199	3,105	0,508
C29	0,211	< LQ	0,073	0,111	0,266	< LQ	3,058	0,118	3,191	< LQ	3,618	0,351
C30	0,387	0,150	0,270	0,287	0,430	0,196	2,560	0,277	2,169	0,191	2,698	0,429
C31	0,453	0,260	0,363	0,383	0,518	0,314	2,655	0,384	1,728	0,290	2,355	0,485
C32	0,487	0,350	0,428	0,441	0,574	0,400	2,490	0,442	1,214	0,373	1,765	0,490
C33	0,516	0,415	0,460	0,469	0,579	0,462	1,993	0,484	0,914	0,431	1,250	0,495
<b>HC TOTAIS (ug/L)</b>	<b>4,453</b>	<b>1,580</b>	<b>3,933</b>	<b>3,720</b>	<b>4,677</b>	<b>3,576</b>	<b>44,530</b>	<b>10,125</b>	<b>35,645</b>	<b>9,675</b>	<b>26,635</b>	<b>16,341</b>
média	3,421				15,73				22,07			
mediana	3,826				7,40				21,49			
mínimo	1,580				3,58				9,68			
máximo	4,453				44,53				35,64			
DP	1,266				19,41				11,42			

Fonte: Autoria própria.