

**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 – Dulcícola

RT-06 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

Gilberto Fonseca Barroso (UFES)

Subprojeto

Alessandra Delazari Barroso (FAESA)

Anderson Geyson Alves de Araújo (UFES)

Björn Gücker (UFSJ)

Daniel Rigo (UFES)

Edmilson Costa Teixeira (UFES)

Eneida Maria Eskinazi Sant'Anna (UFOP)

Iola Gonçalves Boechat (UFSJ)

Marco Aurélio Caiado (UFES)

Valéria de Oliveira Fernandes (UFES)

Vanya Marcia Duarte Pasa (UFMG)

SUMÁRIO

1 SUBPROJETO: CARACTERIZAÇÃO DOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS DA CALHA DO RIO DOCE, LAGOS E ESTUÁRIO: PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, NUTRIENTES E POLUENTES.....	23
1.1 OBJETIVO	23
1.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
1.2.1 Dados pretéritos do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS).....	23
1.2.2 Dados do Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola	34
1.3 CONCLUSÕES	72
2 SUBPROJETO: HIDROLOGIA - MONITORAMENTO DE FLUXOS DE ÁGUA E SEDIMENTOS.....	74
2.1 OBJETIVO	74
2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
2.2.1 Fluxos e Níveis D'água.....	76
2.2.2 Fluxos de Sedimentos.....	79
2.3 CONCLUSÃO.....	80
2.4 REFERÊNCIAS	81
3 SUBPROJETO: CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA GLOBAL PARA COMPREENSÃO DO APORTE DE ÁGUA DOCE NO AMBIENTE ESTUARINO-MARINHO DO RIO DOCE.....	82
3.1 OBJETIVO	82
3.2 INTRODUÇÃO	82
3.3 PLUVIOMETRIA.....	82
3.4 FLUVIOMETRIA.....	105
3.5 INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS E DE ALTIMETRIA.....	114
4 SUBPROJETO: ÁCIDOS GRAXOS, COMPOSIÇÃO ELEMENTAR E ISÓTOPOS	118
4.1 OBJETIVO	118
4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	118

4.2.1	Análise de Lipídeos Totais.....	119
4.2.2	Análises elementares de C e N e isótopos estáveis de C e N.....	122
4.2.3	Parâmetro, Indicador e Evidência de Impactos Agudos e/ou Crônicos	124
4.2.4	Inclusão/exclusão de parâmetro para continuidade do PMBA.....	124
4.2.5	Dificuldades para o desenvolvimento do subprojeto	125
4.3	CONCLUSÃO	126
4.4	REFERÊNCIAS	127
5	SUBPROJETO: METAIS E CONTAMINANTES ORGÂNICOS	128
5.1	OBJETIVO	128
5.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO	128
5.2.1	Dosagem de Metais	128
5.2.2	Dosagem de Compostos Orgânicos.....	131
5.2.3	Análise dos dados do PMQQS (Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático)	134
5.2.4	Discussão dos Resultados	134
5.2.5	Dificuldades para o desenvolvimento do subprojeto	144
5.3	CONCLUSÃO	148
5.4	REFERÊNCIAS	149
6	SUBPROJETO: FITOPLÂNCTON DULCÍCOLA.....	150
6.1	OBJETIVO	150
6.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO	150
6.2.1	Parâmetros, Indicadores e Evidências de Impactos Agudos e/ou Crônicos	157
6.2.2	Inclusão/exclusão de parâmetros para continuidade do PMBA.....	157
6.2.3	Dificuldades para o desenvolvimento do subprojeto	157
6.3	CONCLUSÃO	158
6.4	REFERÊNCIAS	159
7	SUBPROJETO: ZOOPLÂNCTON DULCÍCOLA.....	161

7.1	OBJETIVO	161
7.2	INTRODUÇÃO	161
7.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	161
7.4	REFERÊNCIAS	173
8	SUBPROJETO: PERIFITON	175
8.1	OBJETIVO	175
8.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO	175
8.2.1	Parâmetros, Indicadores e Evidências de Impactos Agudos e/ou Crônicos	182
8.2.2	Inclusão/exclusão de parâmetros para continuidade do PMBA.....	182
8.2.3	Dificuldades para o desenvolvimento do subprojeto	183
8.3	CONCLUSÃO	183
8.4	REFERÊNCIAS	185
8.5	APÊNDICE I	186
9	SUBPROJETO: COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DA COMUNIDADE DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS	202
9.1	OBJETIVOS	202
9.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO	202
9.3	CONCLUSÃO	212
9.4	REFERÊNCIAS	213
10	SUBPROJETO: SUBSÍDIOS A COMPREENSÃO GLOBAL DAS RELAÇÕES DE CAUSA E EFEITO DO CONJUNTO DE AÇÕES REALIZADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE SOBRE O APORTE DE FLUXO DE ÁGUA, SEDIMENTOS E NUTRIENTES NO SISTEMA ESTUARINO-MARINHO.....	214
10.1	OBJETIVO	214
10.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	214
10.2.1	Intervenções antrópicas com potencial para afetar os fluxos de água, sedimentos e nutrientes no sistema estuarino-marinho	214

10.2.2	Metodologias com potencial para subsidiar análise integrada de relações causa-efeito entre intervenções antrópicas e fluxos de água, sedimentos e nutrientes	241
10.3	CONCLUSÃO	244
10.4	REFERÊNCIAS	246

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estações amostrais do Anexo 3 dulcícola e no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) no Baixo Rio Doce.	24
Figura 2: Variação mensal de variáveis físicas mensuradas no Baixo Rio Doce no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre agosto de 2017 e julho de 2018. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.	25
Figura 3: Variação mensal de variáveis físico-químicas mensuradas no Baixo Rio Doce no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre agosto de 2017 e julho de 2018. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.	26
Figura 4: Variação mensal de variáveis químicas mensuradas no Baixo Rio Doce no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) no rio Doce, entre agosto de 2017 e julho de 2018.	27
Figura 5: Variação mensal de variáveis físicas mensuradas nas lagoas Areão, Areal e Monsarás no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre agosto de 2017 e julho de 2018. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.	28
Figura 6: Variação mensal de variáveis físico-químicas mensuradas nas lagoas Areão, Areal e Monsarás no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre agosto de 2017 e julho de 2018. Linhas em vermelho representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.	29
Figura 7: Variação mensal de variáveis químicas mensuradas nas lagoas Areão, Areal e Monsarás no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre agosto de 2017 e julho de 2018. Linhas em vermelho representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.	30
Figura 8: Variação mensal de variáveis físicas mensuradas nas lagoas do Limão, Juparanã e Nova no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre agosto de 2017 e julho de 2018. Linhas em vermelho representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.	31
Figura 9: Variação mensal de variáveis físico-químicas mensuradas nas lagoas do Limão, Juparanã e Nova no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre agosto de 2017 e julho de 2018. Linhas em vermelho representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.	32

Figura 10: Variação mensal de variáveis químicas mensuradas nas lagoas do Limão, Juparanã e Nova no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre agosto de 2017 e julho de 2018.....	33
Figura 11: Estações amostrais do Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola no Baixo Rio Doce.	34
Figura 12: Variação mensal de variáveis físicas mensuradas nos rios Doce e Guandu, no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola, entre outubro de 2018 e março de 2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.	42
Figura 13: Variação mensal de variáveis físico-químicas mensuradas nos rios Doce e Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola, entre outubro de 2018 e março de 2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.	43
Figura 14: <i>Box-plots</i> para diferenças nos valores de condutividade elétrica entre campanhas no mensuradas nos rios Doce e Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.	43
Figura 15: Variação mensal de variáveis químicas e clorofila a mensuradas nos rios Doce e Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola, entre outubro de 2018 e março de 2019.	44
Figura 16: Perfis de parâmetros físicos, físico-químicos e biológicos na coluna d'água do lago do Limão (E18).....	46
Figura 17: Perfis de parâmetros físicos e físico-químicos na coluna d'água do lago do Limão (E18).	47
Figura 18: Perfis de parâmetros físicos, físico-químicos e biológicos na coluna d'água do lago Nova (E19).....	50
Figura 19: Perfis de parâmetros físicos e físico-químicos na coluna d'água do lago Nova (E19).	51
Figura 20: Perfis de parâmetros físicos, físico-químicos e biológicos na coluna d'água do lago Juparanã (E20).....	54
Figura 21: Perfis de parâmetros físicos e físico-químicos na coluna d'água do lago Juparanã (E20).	55
Figura 22: <i>Box-plots</i> para diferenças das variáveis físicas entre lagos. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.	56
Figura 23: Variação mensal da turbidez mensurada nos lagos Limão, Juparanã e Nova, entre outubro de 2018 e março de 2019 (média de três profundidades).	57

Figura 24: <i>Box-plots</i> para diferenças da concentração de oxigênio dissolvido e da condutividade elétrica entre lagos. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.	57
Figura 25: <i>Box-plots</i> para diferenças da temperatura da água e do potencial redox entre campanhas. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.	58
Figura 26: <i>Box-plots</i> para diferenças entre lagoas, da alcalinidade total e da clorofila a. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.	58
Figura 27: Variação mensal de variáveis químicas e clorofila a mensuradas nos lagos do Limão, Juparanã e Nova, entre outubro de 2018 e março de 2019 (média de três profundidades).	59
Figura 28: <i>Box-plots</i> para diferenças da concentração de silicato entre campanhas. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.	59
Figura 29: <i>Box-plots</i> para diferenças de parâmetros físicos entre lagoas. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.	64
Figura 30: Variação mensal de variáveis físicas mensuradas nas lagoas Areão, Areal e Monsarás, entre outubro de 2018 e março de 2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.	65
Figura 31: <i>Box-plots</i> para diferenças de parâmetros físico-químicos entre lagoas. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.	66
Figura 32: Variação mensal de variáveis físico-químicas mensuradas nas lagoas Areão, Areal e Monsarás, entre outubro de 2018 e março de 2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.	67
Figura 33: <i>Box-plots</i> para diferenças de parâmetros químicos e clorofila a entre lagoas. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.	68
Figura 34: Variação mensal de variáveis químicas e clorofila a mensuradas nas lagoas Areão, Areal e Monsarás, entre outubro de 2018 e março de 2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.	69

Figura 35: <i>Box-plots</i> para diferenças de matéria orgânica no sedimento entre lagoas. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.	71
Figura 36: Mapa de localização dos pontos de monitoramento do PMBA.	74
Figura 37: Vazões médias mensais (QM) no rio Doce – Estação Corpo de Bombeiros, localizada em Colatina/ES; é indicada a vazão média mensal de longo termo (QMLT).	75
Figura 38: Níveis d'água e vazões medidos no PMQQS e no PMBA no P21.	77
Figura 39: Níveis d'água medidos no rio Doce.	78
Figura 40: Resumo sedimentométrico dos dados medidos no rio Doce nos pontos P21 e P22. (a) Concentração de sedimentos suspensos; (b) Descarga sólida de sedimentos em suspensão; (c) Descarga sólida de sedimentos de fundo; (d) Descarga sólida total de sedimentos.	79
Figura 41: Espacialização das estações pluviométricas de longa série histórica na bacia do rio Doce com dados entre 1985 e 2014.	86
Figura 42: Espacialização das estações pluviométricas operadas pelo CEMADEN e localizadas na bacia do rio Doce, que apresentam dados diariamente disponibilizados na internet.	91
Figura 43: Espacialização das estações telemétricas localizadas na bacia do rio Doce, com dados disponibilizadas na base de dados Gestor PCD, da ANA.	96
Figura 44: Resultado da interpolação dos valores de precipitação média anual entre 1985 e 2014 de 90 estações pluviométricas da bacia do rio Doce utilizando o interpolador IDW.	99
Figura 45: Posição geográfica de 8 estações pluviométricas para as quais foram calculadas as precipitações médias anuais entre 1985-2014 e 2013-2017.	100
Figura 46: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação fluviométrica Malacacheta (Código ANA 1742017).	101
Figura 47: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação Serro (Código ANA 1843011).	101
Figura 48: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação Belo Oriente (Código ANA 1942030).	102
Figura 49: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação Tumiritinga (Código ANA 1841011).	102
Figura 50: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação Colégio Caraça (Código ANA 2043059).	103

Figura 51: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação Laranja da Terra (Código ANA 1941008).	103
Figura 52: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação Matipó (Código ANA 2042017).	104
Figura 53: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação Piranga (Código ANA 2043010).	104
Figura 54: Espacialização das estações fluviométricas na bacia do rio Doce a montante de Linhares.	106
Figura 55: Deflúvio areal médio em L/s.km ² nas diversas bacias das estações fluviométricas da bacia do rio Doce.	110
Figura 56: Mapa das subbacias do rio Doce.....	112
Figura 57: MDE da bacia do rio Doce.	115
Figura 58: Uso e Ocupação da bacia do rio Doce.	116
Figura 59: Pedologia da bacia do rio Doce.	117
Figura 60: Concentração de lipídeos totais (% por gC, mg por gC e µg por g de sedimento) em amostras de sedimento das estações amostrais durante as coletas 1 a 4 (A e B) e 1 a 6 (C).	121
Figura 61: Conteúdos de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nos sedimentos coletados nas primeiras quatro coletas, apresentados por coleta (todas as estações) e por estação de coleta (todas as coletas). Os boxplots mostram o mínimo, o 1º quartil (Q1), a mediana, o 3º quartil (Q3), e o máximo. Outliers (círculos) são definidos como valores menores do que Q1–1.5*IQR (intervalo entre Q1 e Q3) e maiores do que Q3+1.5*IQR. Valores de P mostram os resultados de ANOVAs testando diferenças entre coletas e entre estações de coletas. Letras minúsculas diferentes mostram diferenças significativas entre estações de coleta (teste de Tukey P < 0,05).	122
Figura 62: Isotopia do carbono orgânico total (δ ¹³ C) e do nitrogênio total (δ ¹⁵ N) nos sedimentos coletados nas primeiras quatro coletas, apresentados por coleta (todas as estações) e por estação de coleta (todas as coletas). Os boxplots mostram o mínimo, o 1º quartil (Q1), a mediana, o 3º quartil (Q3), e o máximo. Outliers (círculos) são definidos como valores menores do que Q1–1.5*IQR (intervalo entre Q1 e Q3) e maiores do que Q3+1.5*IQR. Valores de P mostram os resultados de ANOVAs testando diferenças entre coletas e entre estações de coletas. Letras minúsculas diferentes mostram diferenças significativas entre estações de coleta (teste de Tukey P < 0,05).	123
Figura 63: Análise de Metais, identificando o total de amostras preparadas por campanha.	128
Figura 64: Análise de Metais, identificando a porcentagem de amostras preparadas por campanha.	129

Figura 65: Total de amostras analisadas por ICP_MS por campanha.	130
Figura 66: Porcentagem de amostras analisadas por ICP_MS por campanha.	130
Figura 67: Amostras preparadas para análise de cada parâmetro para as matrizes água e sedimento por campanha.	131
Figura 68: Porcentagem de amostras preparadas para análise de cada parâmetro para as matrizes água e sedimento por campanha.	132
Figura 69: Amostras preparadas para análise por cromatografia gasosa para as matrizes água e sedimento por campanha.	132
Figura 70: Porcentagem de amostras preparadas para análise por cromatografia gasosa para as matrizes água e sedimento por campanha.	133
Figura 71: <i>Box-plots</i> das concentrações de ferro total (T), particulado (S de suspensão) e dissolvido em µg/L na água dos ecossistema aquático do Baixo Rio Doce.	135
Figura 72: <i>Box-plots</i> das concentrações de alumínio total (T), particulado (S de suspensão) e dissolvido em µg/L na água dos ecossistema aquático do Baixo Rio Doce.	136
Figura 73: <i>Box-plots</i> das concentrações de manganês total (T), particulado (S de suspensão) e dissolvido em µg/L na água dos ecossistema aquático do Baixo Rio Doce.	136
Figura 74: Contribuição das Classes na composição da comunidade fitoplanctônica, sendo Bacil= <i>Bacillariophyceae</i> ; Chloro= <i>Chlorophyceae</i> ; Dino= <i>Dinophyceae</i> ; Cyano= <i>Cyanophyceae</i> ; Conju= <i>Conjugatophyceae</i> ; Outras= Demais Classes.	150
Figura 75: Lista de taxons amostrados pelo Subprojeto Fitoplâncton dulcícola.	151
Figura 76: Contribuição relativa das Classes de algas fitoplanctônicas com maior contribuição para a composição da comunidade, sendo Bacil= <i>Bacillariophyceae</i> ; Cyano= <i>Cyanophyceae</i> ; Chloro= <i>Chlorophyceae</i> ; Dino= <i>Dinophyceae</i> ; Outras= Demais Classes.	152
Figura 77: Registros fotográficos realizados pela equipe durante as análises qualitativas, de <i>Cylindospermopsis raciborskii</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i> e <i>Pseudanabaena limnetica</i> (da esquerda para a direita).	153
Figura 78: Relação entre densidade total (ind/mL) (A) e densidade de cianobactérias (cél/mL) (B) para as estações amostrais no rio Doce e nas lagoas durante o período de outubro de 2018 a fevereiro de 2019.	155
Figura 79: Relação entre diversidade e dominância para as estações amostrais no rio e nas lagoas durante o período de outubro de 2018 a fevereiro de 2019.	156

Figura 80: Abundância total (ind.L ⁻¹) do zooplâncton encontrado em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.....	164
Figura 81: Biomassa (µg de peso seco.L ⁻¹) do zooplâncton encontrado em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.....	165
Figura 82: Abundância relativa (%) dos grandes grupos do zooplâncton encontrados em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.	165
Figura 83: Biomassa relativa (%) dos grandes grupos do zooplâncton encontrados em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.	166
Figura 84: Curva de acumulação de espécies de zooplâncton encontradas em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.	166
Figura 85: Diversidade do zooplâncton em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.	167
Figura 86: Densidade (ind.L ⁻¹) dos rotíferos <i>Brachionus dolabratus</i> e <i>Lecane papuana</i> encontrados em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce. A, B e C: Lagoas Areal, Areão e Monsarás, respectivamente. D, E e F: lagos Limão, Nova e Juparanã, respectivamente. G, H, I e J: Jusante da UHEM, Rio Guandu, Rio Doce e Foz do Rio Doce, respectivamente.	168
Figura 87: Abundância (ind.L ⁻¹) dos cladóceros <i>Bosmina deitersi</i> e <i>Daphnia gessneri</i> encontrados em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce. A, B e C: Lagoas Areal, Areão e Monsarás, respectivamente. D, E e F: lagos Limão, Nova e Juparanã, respectivamente. G, H, I e J: Jusante da UHEM, Rio Guandu, Rio Doce e Foz do Rio Doce, respectivamente.	169
Figura 88: Abundância (ind.L ⁻¹) do rotífero <i>Lecane bulla</i> e do cladóceros <i>Diaphanosoma birgei</i> encontrados em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce. A, B e C: Lagoas Areal, Areão e Monsarás, respectivamente. D, E e F: lagos Limão, Nova e Juparanã, respectivamente. G, H, I e J: Jusante da UHEM, Rio Guandu, Rio Doce e Foz do Rio Doce, respectivamente.	170
Figura 89: Abundância (ind.L ⁻¹) dos rotíferos <i>Bdelloida</i> e <i>Keratella americana</i> encontrados em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce. A, B e C: Lagoas Areal, Areão e Monsarás, respectivamente. D, E e F: lagos Limão, Nova e Juparanã, respectivamente. G, H, I e J: Jusante da UHEM, Rio Guandu, Rio Doce e Foz do Rio Doce, respectivamente.	171

Figura 90: Abundância (ind.L ⁻¹) dos rotíferos <i>Keratella tropica</i> e <i>Lecane luna</i> encontrados em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce. A, B e C: Lagoas Areal, Areão e Monsarás, respectivamente. D, E e F: lagos Limão, Nova e Juparanã, respectivamente. G, H, I e J: Jusante da UHEM, Rio Guandu, Rio Doce e Foz do Rio Doce, respectivamente.	171
Figura 91: Escalonamento multidimensional não-métrico (baseado na matriz de similaridade de Bray-Curtis) das comunidades zooplânctônicas estudadas em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce. As cores representam os ambientes de coleta, e os símbolos as estações de coleta.	172
Figura 92: Variação temporal da riqueza (A) e da biomassa (densidade total – B; clorofila-a – C; peso seco – D) entre os ambientes “rios” e “lagos” do Baixo Rio Doce (barra de erro = desvio padrão)...	177
Figura 93: Análise de Redundância (RDA) da comunidade de algas perifíticas do Baixo Rio Doce. Para a análise, foram utilizadas aquelas com abundância relativa maior que 10% em pelo menos uma das amostras (n = 71). (A): Ordenação das espécies e variáveis abióticas. Foram selecionadas as espécies mais distantes do centro do gráfico (escores maiores que 0,7 ou menores que -0,7 nos dois eixos; n = 36). (B): Ordenação dos centroides das estações amostrais. Os polígonos representam a dispersão das amostras coletadas em relação ao centroide (onde aparece o nome da estação amostral). N = margem norte; S = margem sul; D = margem direita; E = margem esquerda; temp = temperatura da água; turb = turbidez; clor = clorofila-a na água; sal = salinidade; ce = condutividade elétrica. Códigos das espécies no Anexo.	179
Figura 94: Comparação da forma normal (A) e teratológica (B) de <i>Synedra goulardii</i> (Bacillariophyceae). Deformação nos padrões das estrias (seta branca) e alteração do eixo da área central (seta preta).	182
Figura 95: Mapa amostral das campanhas de coleta nas Estações amostrais.	202
Figura 96: Riqueza de espécies detectada após a 6ª campanha de coleta de macrófitas aquáticas nas diferentes Estações de amostragem.	203
Figura 97: Curva de riqueza para as 12 Estações amostrais ao longo das seis campanhas de coleta.	207
Figura 98: Curva de riqueza para os ambientes lóticos ao longo das seis campanhas de coleta.	207
Figura 99: Curva de riqueza para os ambientes lênticos ao longo das seis campanhas de coleta.	208
Figura 100: Espécies com potencial bioindicador de áreas eutrofizadas.	209
Figura 101: Espécies com potencial bioindicador de áreas com boa qualidade de água.	210

Figura 102: Macrófitas aquáticas. A-B. <i>Eichornia azurea</i> (Sw.) Kunth (Pontederiaceae). C-D. <i>Egeria densa</i> Planch. (Hydrocharitaceae). E-G. <i>Nymphaea</i> spp. (Nymphaeaceae). E. <i>Nymphaea caerulea</i> Savigny. F. <i>Nymphaea pulchella</i> DC. G. <i>Nymphaea rudgeana</i> G.Mey. H. <i>Utricularia foliosa</i> L. (Lentibulariaceae).....	211
Figura 103: Espécies com potencial bioindicador de áreas com boa qualidade de água.	212
Figura 104: Câmaras técnicas do Comitê Interfederativo.....	215
Figura 105: Ações Relacionadas à Recuperação de APPs e Reflorestamento	218
Figura 106: Ações relacionadas ao saneamento.	221
Figura 107: Ações Relacionadas ao Plano de Manejo de Rejeitos	226
Figura 108: Distribuição percentual do número captações na calha principal do rio Doce, por finalidade de uso da água.....	227
Figura 109: Distribuição percentual do volume de água captado na calha principal do rio Doce, por finalidade de uso da água.	227
Figura 110: Distribuição percentual das cargas lançadas na calha principal do rio Doce, por finalidade de uso. a) DBO; b) Fósforo; c) Nitrogênio.....	228
Figura 111: Pontos de captação.	229
Figura 112: Pontos de lançamento.	230
Figura 113: Distribuição percentual das tipologias de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Doce.	231
Figura 114: Uso e ocupação do solo.	232
Figura 115: Percentual da classe de uso e ocupação do solo por região hidrográfica da porção capixaba do rio Doce.	235
Figura 116: Uso e Ocupação do solo da Região Hidrográfica Pontões e Lagoas do rio Doce.	236
Figura 117: Uso e Ocupação do solo da Região Hidrográfica do rio Guandu.....	237
Figura 118: Uso e Ocupação do solo da Região Hidrográfica do rio Santa Joana.	238
Figura 119: Uso e Ocupação do solo da Região Hidrográfica do rio Santa Maria do Doce.....	239
Figura 120: Uso e Ocupação do solo da Região Hidrográfica do rio Barra Seca e Foz.	240
Figura 121: Fluxograma da abordagem Tetrahedral DPSIR de Maxim et al. (2009).	242

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados no Baixo Rio Doce no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre 08/2017 e 07/2018.	25
Tabela 2: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos, mensurados no Baixo Rio Doce no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre 08/2017 e 07/2018.	26
Tabela 3: Estatística descritiva para os parâmetros químicos e clorofila a mensurados no Baixo Rio Doce no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre 08/2017 e 07/2018.....	27
Tabela 4: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados nas lagoas Areão, Areal e Monsarás no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre 08/2017 e 07/2018.....	28
Tabela 5: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos, mensurados nas lagoas Areão, Areal e Monsarás no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre 08/2017 e 07/2018.	29
Tabela 6: Estatística descritiva para os parâmetros químicos, mensurados nas lagoas Areão, Areal e Monsarás no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre 08/2017 e 07/2018.....	30
Tabela 7: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados nas lagoas do Limão, Juparanã e Nova no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre 08/2017 e 07/2018.....	31
Tabela 8: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos, mensurados nas lagoas do Limão, Juparanã e Nova no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre 08/2017 e 07/2018.	32
Tabela 9: Estatística descritiva para os parâmetros químicos, mensurados nas lagoas do Limão, Juparanã e Nova no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre 08/2017 e 07/2018.	33
Tabela 10: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados no rio Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola, entre 10/2018 e 03/2019.	35
Tabela 11: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados no rio Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	35
Tabela 12: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados no rio Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	35

Tabela 13: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados no rio Doce (E0 – Itapina) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	36
Tabela 14: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados no rio Doce (E0 – Itapina) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	36
Tabela 15: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados no Doce (E0 – Itapina) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	37
Tabela 16: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados no rio Doce (E21 – Linhares) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	37
Tabela 17: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados no Doce (E21 – Linhares) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.....	38
Tabela 18: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados no Doce (E21 – Linhares) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola, entre 10/2018 e 03/2019 entre 10/2018 e 03/2019.....	38
Tabela 19: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados no rio Doce (E22) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	39
Tabela 20: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados no Doce (E22) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	39
Tabela 21: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados no Doce (E22) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	39
Tabela 22: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados no rio Doce (E26 - Regência) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola, entre 10/2018 e 03/2019.	40
Tabela 23: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados no Doce (E26 - Regência) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	40
Tabela 24: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados no Doce (EA 26 - Regência) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.....	41
Tabela 25: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados nos rios Doce e Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	41
Tabela 26: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados nos rios Doce e Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	42
Tabela 27: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados nos rios Doce e Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	44

Tabela 28: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na E18 (lago do Limão) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	45
Tabela 29: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos, mensurados na E18 (lago do Limão) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	45
Tabela 30: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados na E18 (lago do Limão) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.	45
Tabela 31: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na E19 (lago Nova), entre 10/2018 e 03/2019.	48
Tabela 32: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos, mensurados na E19 (lago Nova) entre 10/2018 e 03/2019.	48
Tabela 33: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados na E19 (lago Nova), entre 10/2018 e 03/2019.....	49
Tabela 34: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na E20 (lago Juparanã), entre 10/2018 e 03/2019.	52
Tabela 35: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos, mensurados na E20 (lago Juparanã), entre 10/2018 e 03/2019.....	52
Tabela 36: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados na E20 (lago Juparanã), entre 10/2018 e 03/2019.....	53
Tabela 37: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados nos lagos do Limão, Juparanã e Nova, entre 10/2018 e 03/2019.....	56
Tabela 38: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados nos lagos do Limão, Juparanã e Nova, entre 10/2018 e 03/2019.....	57
Tabela 39: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados nas lagoas do Limão, Juparanã e Nova, entre 10/2018 e 03/2019.....	58
Tabela 40: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na E23 (lagoa Areão), entre 10/2018 e 03/2019.	60
Tabela 41: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos, mensurados na E23 (lagoa Areão), entre 10/2018 e 03/2019.	60
Tabela 42: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados na E23 (lagoa Areão), entre 10/2018 e 03/2019.	60
Tabela 43: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na EA 24 (lagoa Areal), entre 10/2018 e 03/2019.	61

Tabela 44: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos, mensurados na EA 24 (lagoa Areal), entre 10/2018 e 03/2019.	61
Tabela 45: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados na EA 24 (lagoa Areal), entre 10/2018 e 03/2019.....	61
Tabela 46: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na EA 25 (lagoa Monsarás), entre 10/2018 e 03/2019.	62
Tabela 47: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos, mensurados na EA 25 (lagoa Monsarás), entre 10/2018 e 03/2019.	62
Tabela 48: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados na EA 25 (lagoa Monsarás), entre 10/2018 e 03/2019.	62
Tabela 49: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na E25a (lagoa Monsarás), entre 10/2018 e 03/2019.	62
Tabela 50: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos, mensurados na E25a (lagoa Monsarás), entre 10/2018 e 03/2019.	63
Tabela 51: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados na E25a (lagoa Monsarás), entre 10/2018 e 03/2019.	63
Tabela 52: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados nas lagoas Areão, Areal e Monsarás entre 10/2018 e 03/2019.	63
Tabela 53: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados nas lagoas Areão, Areal e Monsarás, entre 10/2018 e 03/2019.	65
Tabela 54: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados nas lagoas Areão, Areal e Monsarás, entre 10/2018 e 03/2019.	67
Tabela 55: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos mensurados no sedimento do rio Guandu, entre 10/2018 e 03/2019.....	69
Tabela 56: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos mensurados no sedimento do rio Doce, entre 10/2018 e 03/2019.	70
Tabela 57: Estatística descritiva para parâmetros físico-químicos e químicos mensurados no sedimento das lagoas do Limão, Nova e Juparanã, entre 10/2018 e 03/2019.	70
Tabela 58: Estatística descritiva para parâmetros físico-químicos e químicos mensurados no sedimento das lagoas Areão, Areal e Monsarás, entre 10/2018 e 03/2019.....	71
Tabela 59: Análise estatística dos valores dos totais pluviométricos anuais de estações pluviométricas localizadas na bacia do rio Doce que apresentaram dados entre 1985 a 2014.	97

Tabela 60: Análise estatística dos dados fluviométricos: médias das vazões médias, médias das máximas e médias das mínimas de cada estação.	108
Tabela 61: Vazão das subbacias hidrográficas por relação de área.	113
Tabela 62: Estatística descritiva da fração total de metais na coluna d'água dos ecossistema aquáticos do Baixo Rio Doce.	137
Tabela 63: Estatística descritiva da fração dissolvida de metais na coluna d'água dos ecossistema aquáticos do Baixo Rio Doce.	139
Tabela 64: Estatística descritiva da de HPAs na coluna d'água dos ecossistema aquáticos do Baixo Rio Doce.	141
Tabela 65: Estatística descritiva de hidrocarbonetos alifáticos na coluna d'água dos ecossistema aquáticos do Baixo Rio Doce.	142
Tabela 66: Estatística descritiva dos principais atributos da comunidade fitoplanctônica nas estações amostradas no período de outubro de 2018 a fevereiro de 2019 (DV = desvio padrão).	154

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resumo das medições de vazões obtidas nas campanhas de monitoramento.....	76
Quadro 2: Estações pluviométricas de longa série histórica na bacia do rio Doce com dados entre 1985 e 2014.....	83
Quadro 3: Estações pluviométricas operadas pelo CEMADEM com dados atuais.....	87
Quadro 4: Estações telemétricas disponibilizadas pela base de dados Gestor PCD, da ANA.....	92
Quadro 5: Análise da consistência de dados fluviométricos das 38 estações da bacia do rio Doce: anos eliminados e preenchimento de falhas.....	107
Quadro 6: Parâmetro do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Indicador de impacto e Evidência de Impacto.....	124
Quadro 7: Inclusão/exclusão de parâmetro para continuidade do PMBA.....	124
Quadro 8: Dificuldade com complexidade das amostras para o desenvolvimento do subprojeto.	125
Quadro 9: Dificuldades com infraestrutura para o desenvolvimento do subprojeto.....	125
Quadro 10: Dificuldade com material de consumo para o desenvolvimento do subprojeto.....	126
Quadro 11: Limites de quantificação para os principais metais analisados.....	134
Quadro 12: Dificuldades com complexidade das amostras para o desenvolvimento do subprojeto.....	144
Quadro 13: Dificuldades com infraestrutura para o desenvolvimento do subprojeto.....	146
Quadro 14: Dificuldade com material de consumo para o desenvolvimento do subprojeto.....	147
Quadro 15: Registro de cianobactérias dominantes e abundantes para as estações amostrais no rio Doce e nas lagoas.....	153
Quadro 16: Parâmetros do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Indicadores de impacto e Evidências de Impacto.....	157
Quadro 17: Dificuldades com complexidade das amostras para o desenvolvimento do subprojeto.....	157
Quadro 18: Dificuldades com infraestrutura para o desenvolvimento do subprojeto.....	157
Quadro 19: Espécies de rotíferos e suas respectivas densidades (ind.L ⁻¹) encontradas em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.....	161
Quadro 20: Espécies de cladóceros e suas respectivas densidades (ind.L ⁻¹) encontradas em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.....	163

Quadro 21: Espécies de copépodes e suas respectivas densidades (ind.L ⁻¹) encontradas em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.....	163
Quadro 22: Valor individual de indicação (IndVal) de espécies de zooplâncton encontradas em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.	167
Quadro 23: Medidas de diversidade (média, mínimo e máximo) nas estações amostrais em lagos, lagos e rios do Baixo Rio Doce (N = margem norte; S= margem sul; D = margem direita; E = margem esquerda).	176
Quadro 24: Biomassa da comunidade perifítica (média, mínimo e máximo) nas estações amostrais em lagos, lagos e rios do Baixo Rio Doce (N = margem norte; S= margem sul; D = margem direita; E = margem esquerda).	177
Quadro 25: Relação das espécies plotadas na Figura 2A com os agrupamentos das estações amostrais.	179
Quadro 26: Parâmetros do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Indicadores de impacto e Evidências de Impacto.....	182
Quadro 27: Inclusão/exclusão de parâmetro para continuidade do PMBA	182
Quadro 28: Dificuldades com complexidade das amostras para o desenvolvimento do subprojeto.	183
Quadro 29: Dificuldades com infraestrutura para o desenvolvimento do subprojeto.	183
Quadro 30: Lista de espécies registradas para as 12 estações amostrais do monitoramento RRDM.	203
Quadro 31: Programas acompanhados por cada CT.	215
Quadro 32: Ações relacionadas à recuperação de APPs e reflorestamento na bacia hidrográfica do rio Doce.	217
Quadro 33: Ações relacionadas ao saneamento básico na bacia hidrográfica do rio Doce.	219
Quadro 34: Ações relacionadas ao manejo de rejeito na bacia hidrográfica do rio Doce.....	222
Quadro 35: Caracterização geral de potenciais metodologias para subsidiar análise integrada de impactos.	244

1 SUBPROJETO: CARACTERIZAÇÃO DOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS DA CALHA DO RIO DOCE, LAGOS E ESTUÁRIO: PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, NUTRIENTES E POLUENTES

1.1 OBJETIVO

O estudo prevê a caracterização das condições ambientais dos ecossistemas fluviais, lacustres e estuarino para a comicidade biótica aquática no Baixo Rio Doce considerando parâmetros físicos, hidroquímicos e hidrobiológicos. A avaliação da coluna d'água e sedimentos é feita por meio de monitoramento mensal em uma malha amostral conforme previsto no Anexo 3 do TR 4. São considerados os parâmetros físicos temperatura, turbidez e transparência da coluna d'água; físico-químicos condutividade-elétrica, salinidade, pH, oxigênio dissolvido e Predox; e hidroquímicos nutrientes dissolvidos e totais (carbono, nitrogênio, fósforo e silício); e hidrobiológicos clorofila a e ficoacianina (perfilagem). Para o sedimento foram considerados os parâmetros físicos granulometria e densidade; físico-químicos pH e condutividade elétrica; hidroquímicos matéria orgânica e fósforo total.

1.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

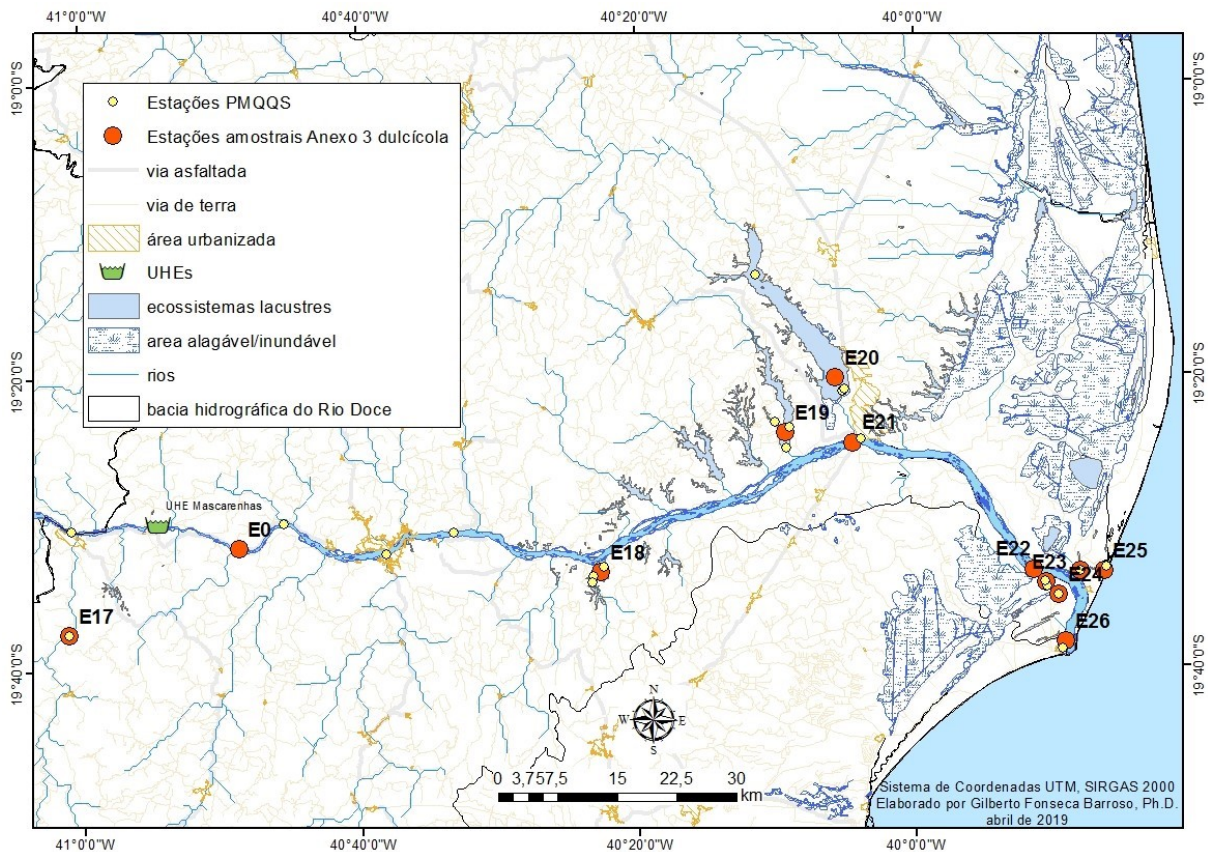
1.2.1 Dados pretéritos do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS)

A Figura 1 apresenta as malhas amostrais do Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola e do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS). A sobreposição espacial do monitoramento dos dois Programas se dá nas estações E17(RGU01) e E25a (LMN01). A estação do Anexo 3 dulcícola localizada na calha do Rio Doce E0 dista 6,7 km à montante da estação RD012 do PMQQS. A estação E18 no lago do Limão está situada a 650 m e 1.080 m das estações LLM01 e LLM02 respectivamente. A estação E19 está localizada na porção inferior do Lago Nova em região com cerca de 30m de profundidade e entre as estações LN01 e LN03, que estão localizadas na margem do lago. A estação E21 localiza-se no meio da calha do rio Doce e à montante da ponte da BR101 com acesso à Linhares. A estação RD015 localiza-se na margem norte do Rio Doce. A estação E20 localizada na lagoa Juparanã dista cerca de 1,8 km das estações LJ01 e LJ02, localizadas na margem lacustre. Na lagoa do Areão a estação E23 dista 155m da estação LA02 localizada mais próximo à margem. Na lagoa do Areal a estação E24 dista 54 m da estação LAL01. Na lagoa Monsarás a estação E25 dista 610m da estação LKMN02 localizada na margem lacustre. Além da distância entre a maior parte das estações amostrais dos dois Programas de Monitoramento há uma diferença temporal, sendo o PMQQS abrangendo o período de agosto de 2017 a julho de 2018, enquanto o Anexo 3 dulcícola abrange o período de outubro de 2018 a março de 2019.

Os dados do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) para o período de agosto de 2017 a julho de 2018 estão apresentados na Tabela 1 a Tabela 9 e Figura 2 a Figura 10.

Para fins e comparação com os dados do Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola as estações os dados do PMQQS foram plotados em gráficos conforme a proximidade das estações do Anexo 3, inclusive utilizando o código das estações do Anexo 3.

Figura 1: Estações amostrais do Anexo 3 dulcícola e no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) no Baixo Rio Doce.



Fonte: Autoria própria.

Os maiores valores de turbidez e material particulado em suspensão (MPS) foram encontrados no rio Guandu em março de 2018, 1.352 UNTs e 790 mg/L, respectivamente (Tabela 1 e Figura 1). Para o mesmo período a calha do rio Doce próximo à Linhares apresentou valores 400 UNTs e MPS < 200 mg/L. As concentrações diminuem em direção à foz com a estação mais à jusante (E26/RD016) com valores de 181 UNTs. Os elevados valores de turbidez ($192,2 \pm 328,6$ UNTs) estão acima do limite máximo recomendado para Classe 2 da Resolução CONAMA N. 357 de 2005. Os dados de março no Rio Guandu sugerem processos erosivos na bacia hidrográfica por eventos de pluviosidade.

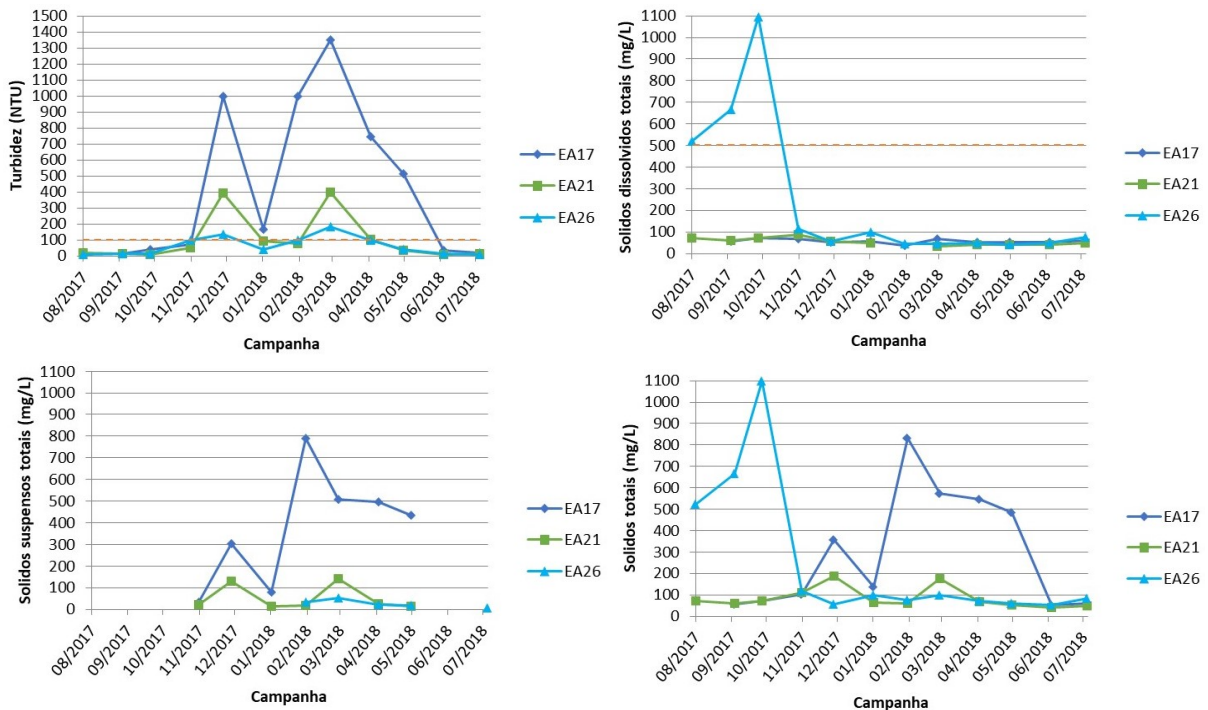
Tabela 1: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados no Baixo Rio Doce no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre 08/2017 e 07/2018.

Estatística	Turbidez (UNT)	Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	MPS (mg/L)	Sólidos totais (mg/L)
N amostral	36	34	19	35
Média	192,2	120,1	164,8	208,3
Mediana	45,9	56,0	32,0	77,0
Mínima	8,4	32,0	6,0	42,0
Máxima	1.352,0	1.096,0	790,0	1.097,0
Desvio padrão	328,6	216,0	228,7	260,2
Coeficiente de variação (%)	107,9	179,8	138,7	124,9
CONAMA 357/05 (Classe 2)	100	500	-	-

Fonte: Autoria própria.

MPS: material particulado em suspensão.

Figura 2: Variação mensal de variáveis físicas mensuradas no Baixo Rio Doce no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre agosto de 2017 e julho de 2018. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005. .



Fonte: PMQQS / Fundação RENOVA

Em relação as condições físico-químicas as águas fluviais apresentarem-se bem oxigenadas ($6,8 \pm 0,8$ mg O₂/L), oxidantes (Eh $208,1 \pm 51,1$ mV) e com pH neutro ($7,4 \pm 0,4$) (Tabela 2). A condutividade elétrica aumenta em direção à foz devido sobretudo no período de agosto a novembro de 2017 devido a intrusão de água do mar nas proximidades das E26 (RD016) (Figura 3).

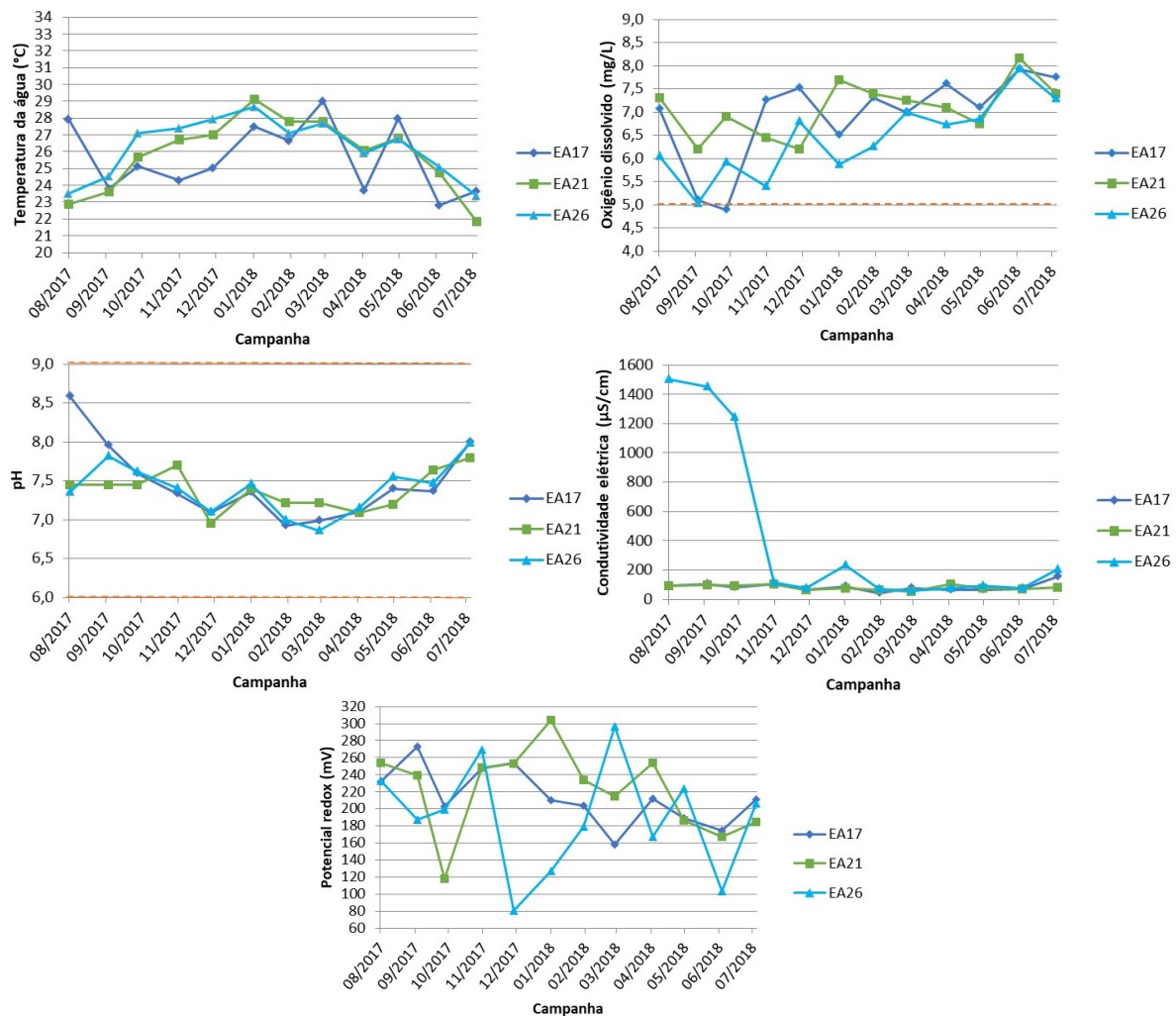
Tabela 2: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos, mensurados no Baixo Rio Doce no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre 08/2017 e 07/2018.

Estatística	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	36	36	36	36	36
Média	25,9	6,8	7,4	199,7	208,3
Mediana	26,4	7,0	7,4	81,0	211,0
Mínima	21,9	4,9	6,9	44,5	80,4
Máxima	29,1	8,2	8,6	1.503,6	304,1
Desvio padrão	2,0	0,8	0,4	370,1	51,1
Coefficiente de variação (%)	7,7	11,6	5,4	185,3	24,5
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	> 5,0	6,0 a 9,0	-	-

Fonte: Autoria própria.

OD: oxigênio dissolvido.

Figura 3: Variação mensal de variáveis físico-químicas mensuradas no Baixo Rio Doce no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre agosto de 2017 e julho de 2018. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.



Fonte: PMQQS / Fundação RENOVA.

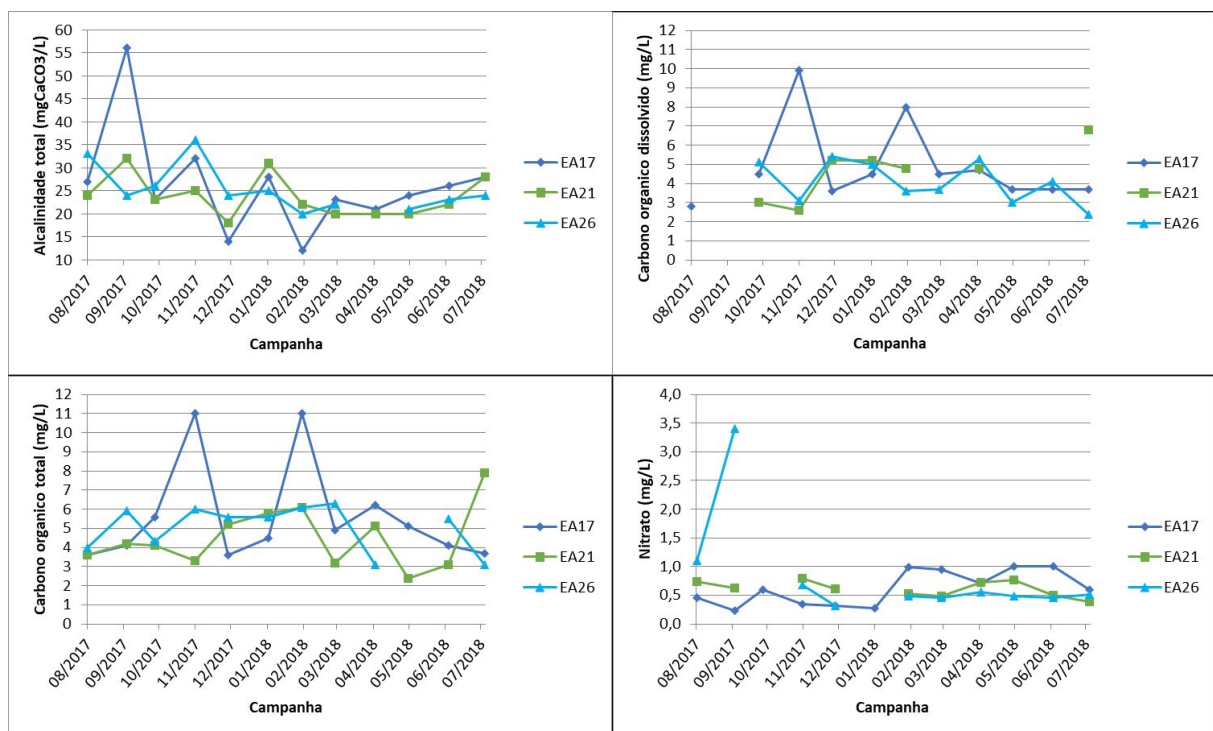
Os valores de alcalinidade total carbono orgânico dissolvido e total, nitrato e clorofila a nas estações fluviais indicam condições de bom tamponamento de ácidos e baixas concentrações de nutrientes e de biomassa fitoplanctônica (Tabela 3 e Figura 4).

Tabela 3: Estatística descritiva para os parâmetros químicos e clorofila a mensurados no Baixo Rio Doce no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre 08/2017 e 07/2018.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO ₃ /L)	Carbono orgânico dissolvido (mg/L)	Carbono orgânico total (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	35	31	35	32	6
Média	25,1	5,1	9,2	0,7	0,8
Mediana	24,0	4,9	9,4	0,6	0,8
Mínima	12,0	2,4	2,5	0,2	0,4
Máxima	56,0	11,0	11,1	3,4	1,7
Desvio padrão	7,3	1,9	2,3	0,5	0,5
Coefficiente de variação	29,8	37,2	25,0	71,4	62,5
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	-	-	10,0	30,0

Fonte: Autoria própria.

Figura 4: Variação mensal de variáveis químicas mensuradas no Baixo Rio Doce no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) no rio Doce, entre agosto de 2017 e julho de 2018.



Fonte: PMQQS / Fundação RENOVA

As lagoas que são sistemas lacustres rasos e sujeitos a resuspensão de sedimento pela turbulência do vento na coluna d'água é esperado uma menor transparência e maior turbidez. Os valores para

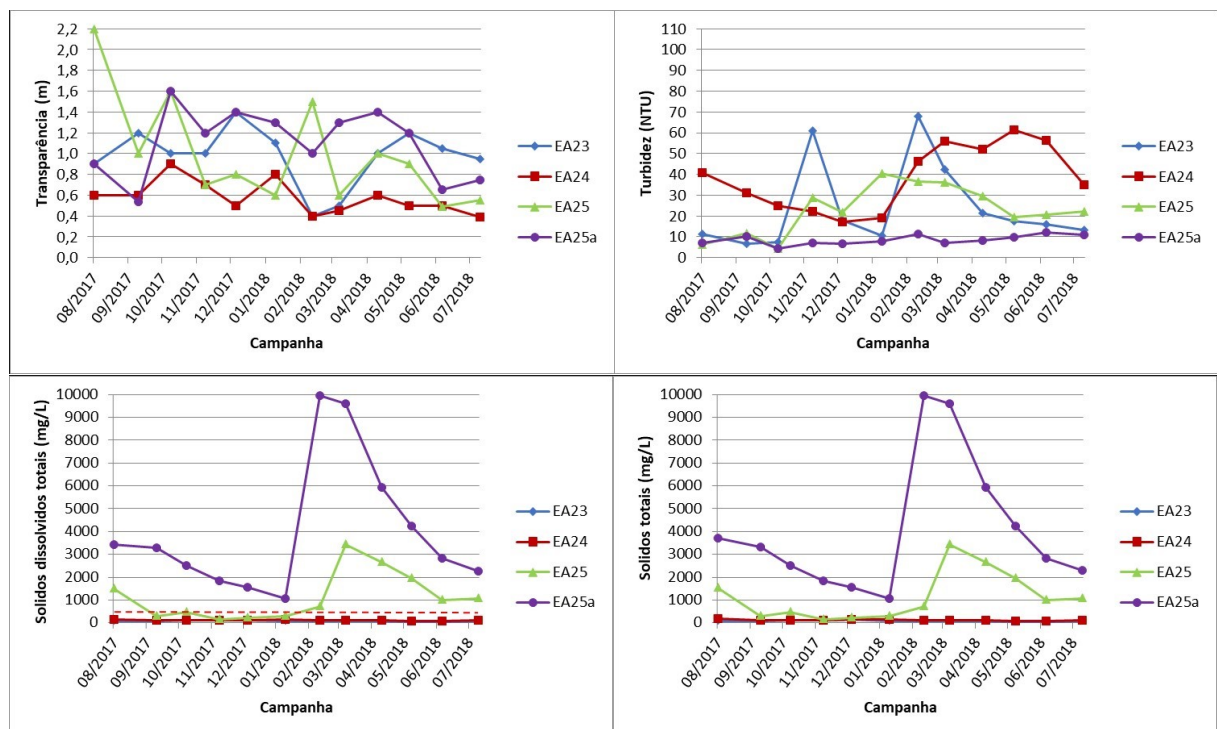
estes parâmetros são moderados, $0,9 \pm 0,4$ m para profundidade do disco de Secchi e $23,7 \pm 17,6$ UNT para turbidez, considerando a baixa profundidade ($\sim 2,5$ m) (Tabela 4 e Figura 5). A lagoa Monsarás apresenta a maior transparência possivelmente devido a influência marinha com o incremento da condutividade elétrica, salinidade e sólidos totais dissolvidos, além do fundo arenoso.

Tabela 4: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados nas lagoas Areão, Areal e Monsarás no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre 08/2017 e 07/2018.

Estatística	Transparência (m)	Turbidez (UNT)	Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	Sólidos totais (mg/L)
N amostral	48	48	48	48
Média	0,9	23,7	1342,6	1354,9
Mediana	0,9	18,5	144,5	161,5
Mínima	0,4	4,5	52,0	53,0
Máxima	2,2	67,8	9.945,0	9945,0
Desvio padrão	0,4	17,6	2.234,0	2239,9
Coefficiente de variação	44,4	74,26	166,4	165,32
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	100	500	-

Fonte: Autoria própria.

Figura 5: Variação mensal de variáveis físicas mensuradas nas lagoas Areão, Areal e Monsarás no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre agosto de 2017 e julho de 2018. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.



Fonte: PMQQS / Fundação RENOVA.

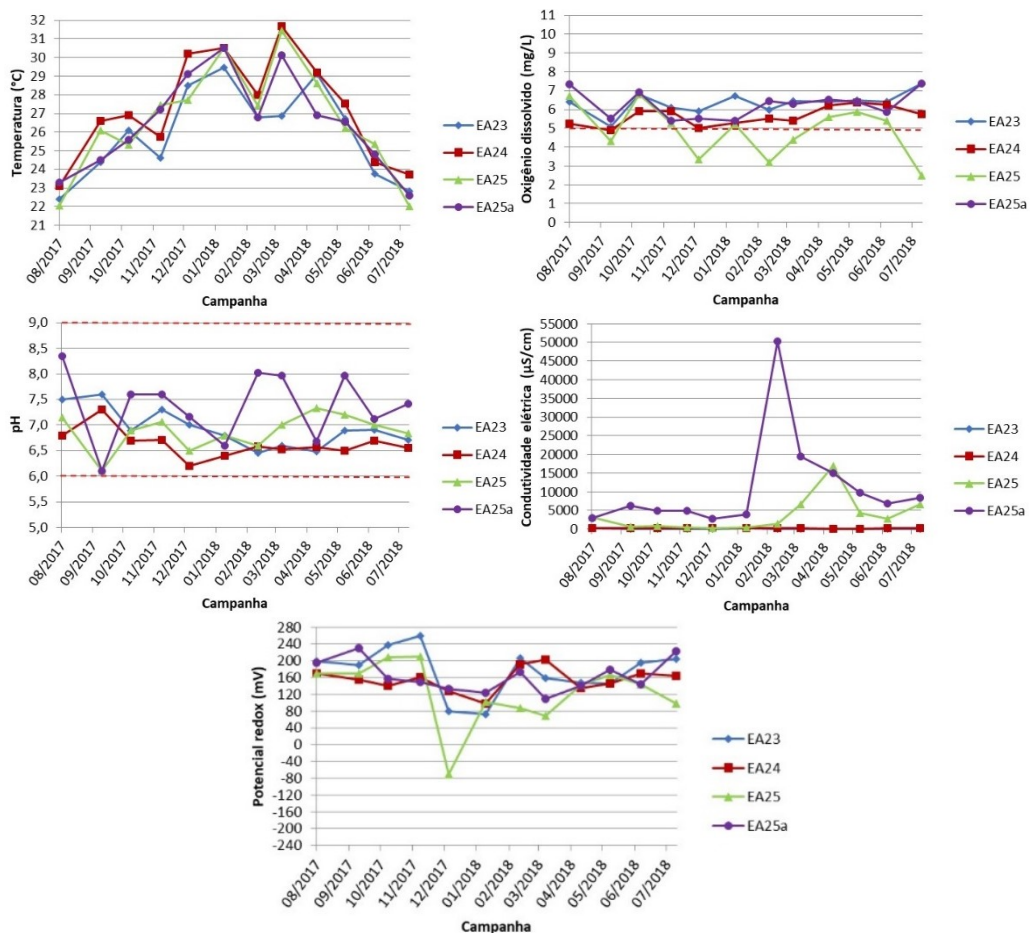
A variação de temperatura (22,0 a 31,7°C) é significativa com incremento para o período de verão (Tabela 5 e Figura 6). As condições de oxigenação são boas (5,8±1,0 mgO₂/L) e o ambiente químico é oxidante (Eh 154,0±54,9 mV). A exceção se dá na lagoa Monsarás (E25a/LMN01) quando o oxigênio dissolvido e o Predox decaem para 2,5 mg/L e -71,0 mV indicando condições redutoras.

Tabela 5: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos, mensurados nas lagoas Areão, Areal e Monsarás no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre 08/2017 e 07/2018.

Estatística	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	48	48	48	48	48
Média	26,6	5,8	7,0	3.809,0	154,0
Mediana	26,7	5,9	6,9	263,3	157,2
Mínima	22,0	2,5	6,1	102,0	-71,0
Máxima	31,7	7,4	8,4	5.0210,0	260,0
Desvio padrão	2,6	1,0	0,5	8.206,1	54,9
Coefficiente de variação (%)	9,7	17,2	7,1	215,4	21,6
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	> 5,0	6,0 a 9,0	-	-

Fonte: Autoria própria.

Figura 6: Variação mensal de variáveis físico-químicas mensuradas nas lagoas Areão, Areal e Monsarás no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre agosto de 2017 e julho de 2018. Linhas em vermelho representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.



Fonte: PMQQS / Fundação RENOVA.

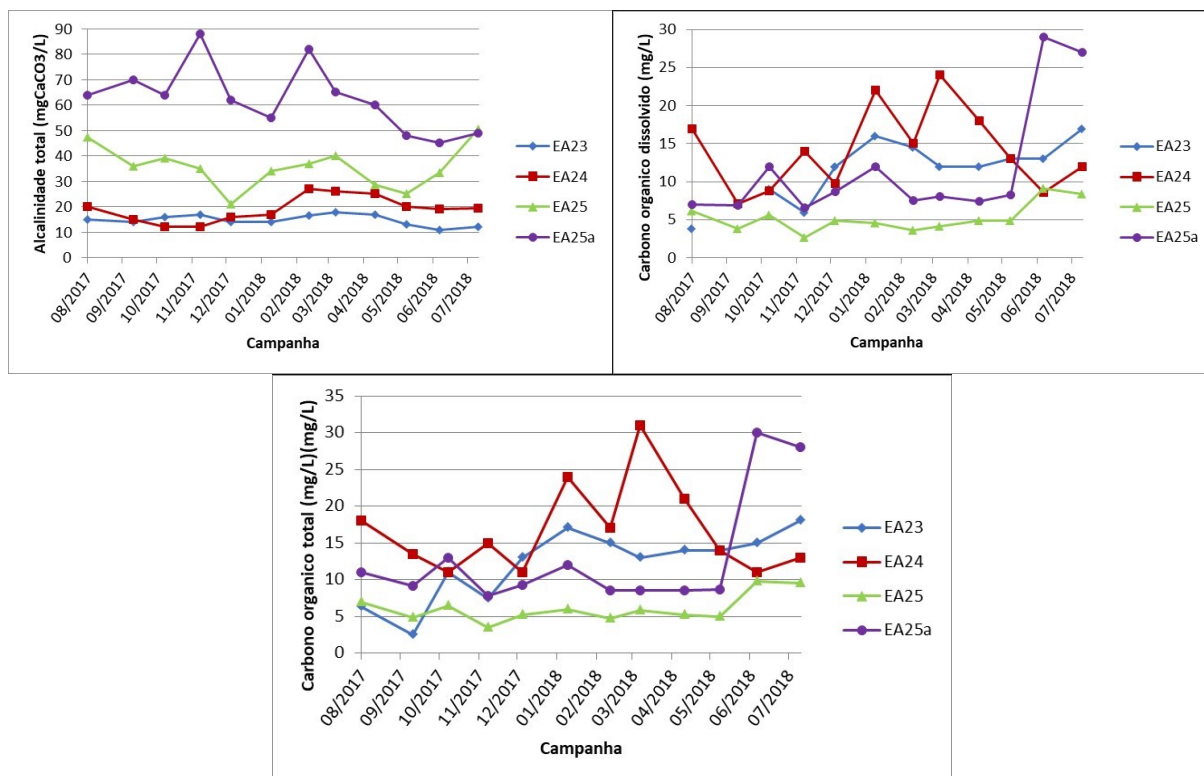
Embora as concentrações de carbono orgânico dissolvido e total não sejam elevadas, assim como a clorofila a, na lagoa Monsarás (E25a/LMN01) ocorrem pulsos de carbono orgânico com concentrações cerca de 3 vezes o restante do ano (Tabela 6 e Figura 7). Nota-se a elevada alcalinidade desta estação que possivelmente associada a influência marinha.

Tabela 6: Estatística descritiva para os parâmetros químicos, mensurados nas lagoas Areão, Areal e Monsarás no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre 08/2017 e 07/2018.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO ₃ /L)	Carbono orgânico dissolvido (mg/L)	Carbono orgânico total (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	35	47	48	11
Média	25,1	10,6	11,9	2,6
Mediana	24,0	8,8	11,0	1,2
Mínima	12,0	2,7	2,5	1,0
Máxima	56,0	29,0	31,0	13,0
Desvio padrão	7,3	6,0	6,5	3,7
Coefficiente de variação (%)	29,1	56,6	54,6	142,3
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	-	-	30,0

Fonte: Autoria própria.

Figura 7: Variação mensal de variáveis químicas mensuradas nas lagoas Areão, Areal e Monsarás no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre agosto de 2017 e julho de 2018. Linhas em vermelho representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.



Fonte: PMQQS / Fundação RENOVA.

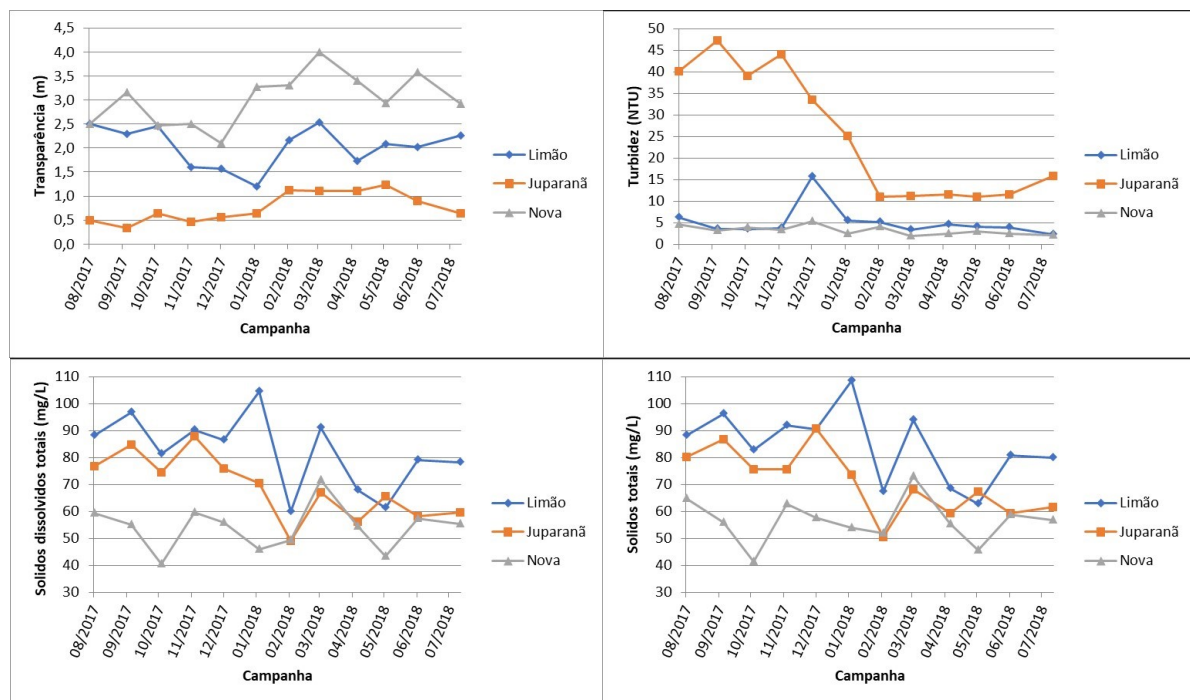
Os lagos do Limão, Juparanã e Nova são sistemas lacustre mais profundos (entre 10 e 32 m de profundidade máxima) e por isso tendem a apresentar estratificações físicas, químicas e hidrobiológicas acentuadas ao longo da coluna d'água. A maior transparência foi encontrada no lago do Limão (~4,0m) e a menor no Lago Juparanã (~0,5m), sendo esta última com valores de turbidez elevados (até 47,2 UNT) (Tabela 7 e Figura 8).

Tabela 7: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados nas lagoas do Limão, Juparanã e Nova no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre 08/2017 e 07/2018.

Estatística	Transparência (m)	Turbidez (UNT)	Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	Sólidos totais (mg/L)
N amostral	36	36	36	48
Média	1,9	11,2	68,3	1.354,9
Mediana	2,1	4,6	66,5	161,5
Mínima	0,3	2,0	40,5	53,0
Máxima	4,0	47,2	104,5	9.945,0
Desvio padrão	1,0	13,1	16,1	2.239,9
Coefficiente de variação	52,6	116,9	23,5	165,2
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	100	500	-

Fonte: Autoria própria.

Figura 8: Variação mensal de variáveis físicas mensuradas nas lagoas do Limão, Juparanã e Nova no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre agosto de 2017 e julho de 2018. Linhas em vermelho representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.



Fonte: PMQQS / Fundação RENOVA.

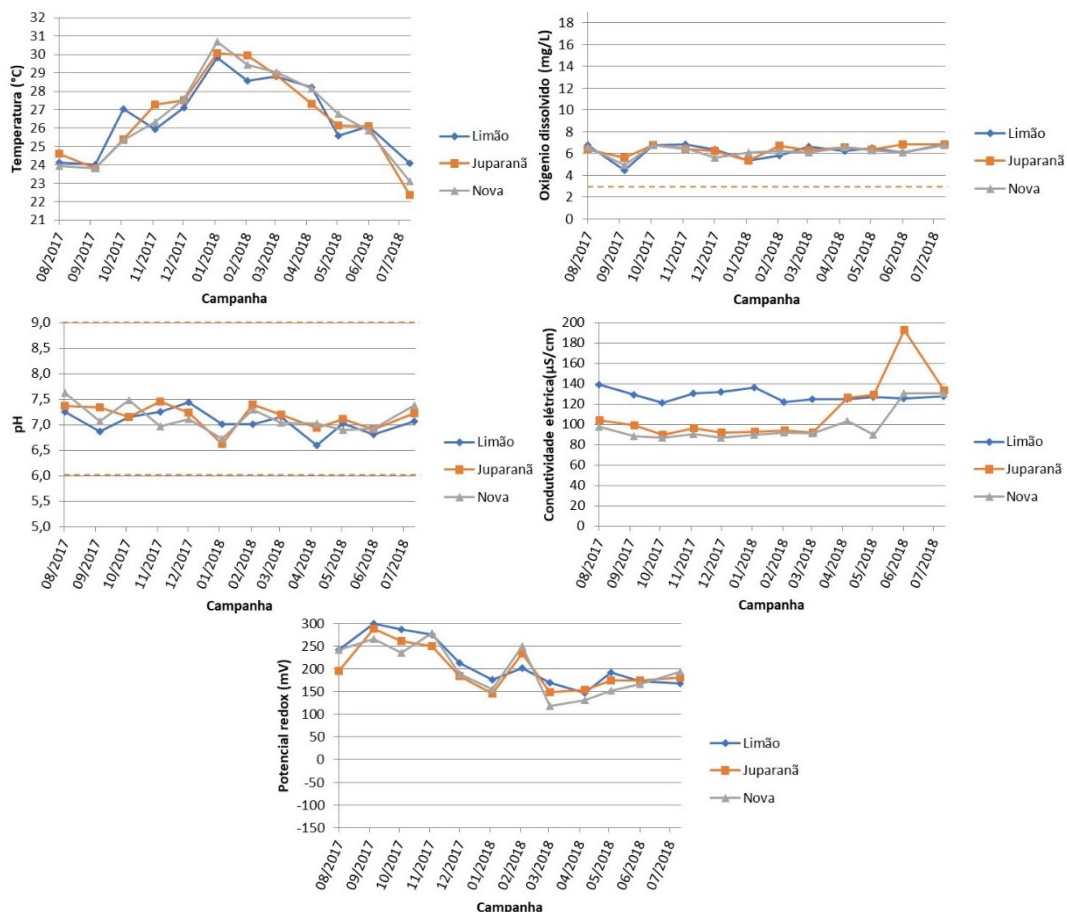
Os lagos, tal como as lagoas, apresentam incremento de temperatura durante o verão com variação entre 22,0 e 30,5°C, bem oxigenadas (6,3±0,6 mgO₂/L) e oxidantes (Eh 202,9±50,5 mV) e pH neutro (7,1±0,2) (Tabela 8 e Figura 9). Cabe ressaltar que estes valores retratam a camada superficial e que devido a estratificação térmica as condições de fundo podem ser anóxicas, redutoras e ligeiramente ácidas.

Tabela 8: Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos, mensurados nas lagoas do Limão, Juparanã e Nova no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre 08/2017 e 07/2018.

Estatística	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	36	36	36	36
Média	6,3	7,1	112,7	202,9
Mediana	6,4	7,1	112,5	190,2
Mínima	4,5	6,6	86,8	118,3
Máxima	6,9	7,6	192,5	299,6
Desvio padrão	0,6	0,2	23,0	50,5
Coefficiente de variação (%)	9,5	2,8	20,4	24,9
CONAMA 357/05 (Classe 2)	> 5,0	6,0 a 9,0	-	-

Fonte: Autoria própria.

Figura 9: Variação mensal de variáveis físico-químicas mensuradas nas lagoas do Limão, Juparanã e Nova no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) entre agosto de 2017 e julho de 2018. Linhas em vermelho representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.



Fonte: PMQQS / Fundação RENOVA.

As concentrações de carbono orgânico e a alcalinidade dos lagos são inferiores as das lagoas, possivelmente devido a morfometria mais profunda e menor influência de produção de matéria orgânica dissolvida de macrófitas aquáticas enraizadas. A concentração de clorofila a é baixa ($3,79 \pm 3,35 \mu\text{g/L}$), mas concentrações mais elevadas podem ocorrer em profundidades maiores, próximo a 1% de radiação fotossintética ativa. No lago Juparanã o pigmento predominante do fitoplâncton pode ser representado do ficocianina típico de cianobactérias.

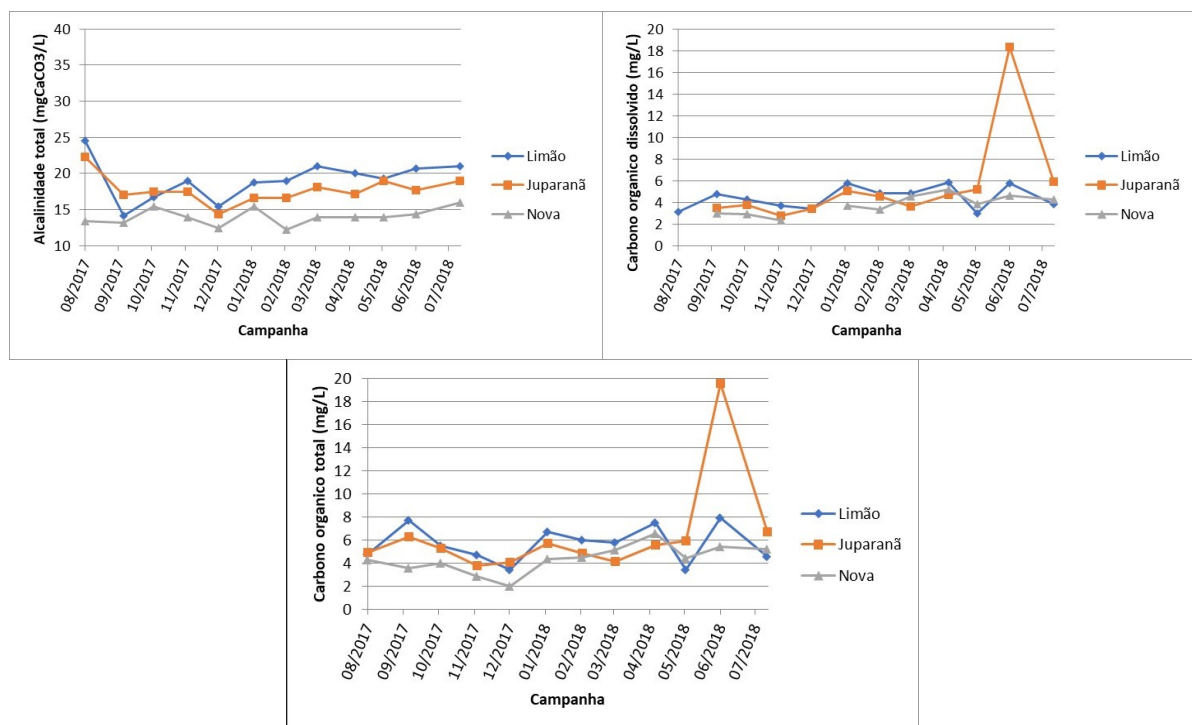
Tabela 9: Estatística descritiva para os parâmetros químicos, mensurados nas lagoas do Limão, Juparanã e Nova no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre 08/2017 e 07/2018.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO ₃ /L)	Carbono orgânico dissolvido (mg/L)	Carbono orgânico total (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Clorofila a (*) (µg/L)
N amostral	36	33	36	16,00	34,00
Média	17,0	4,6	5,5	0,48	3,79
Mediana	16,9	4,3	5,0	0,21	2,80
Mínima	12,3	2,3	2,0	0,07	0,90
Máxima	24,5	18,3	19,5	1,90	15,00
Desvio padrão	2,9	2,6	2,8	0,53	3,35
Coefficiente de variação (%)	17,6	56,5	50,9	110,4	88,4
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	-	-	10,0	30,0

Fonte: Autoria própria.

* Valores de clorofila a no lago Nova abaixo do limite de detecção. Não apresentados.

Figura 10: Variação mensal de variáveis químicas mensuradas nas lagoas do Limão, Juparanã e Nova no Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS), entre agosto de 2017 e julho de 2018.

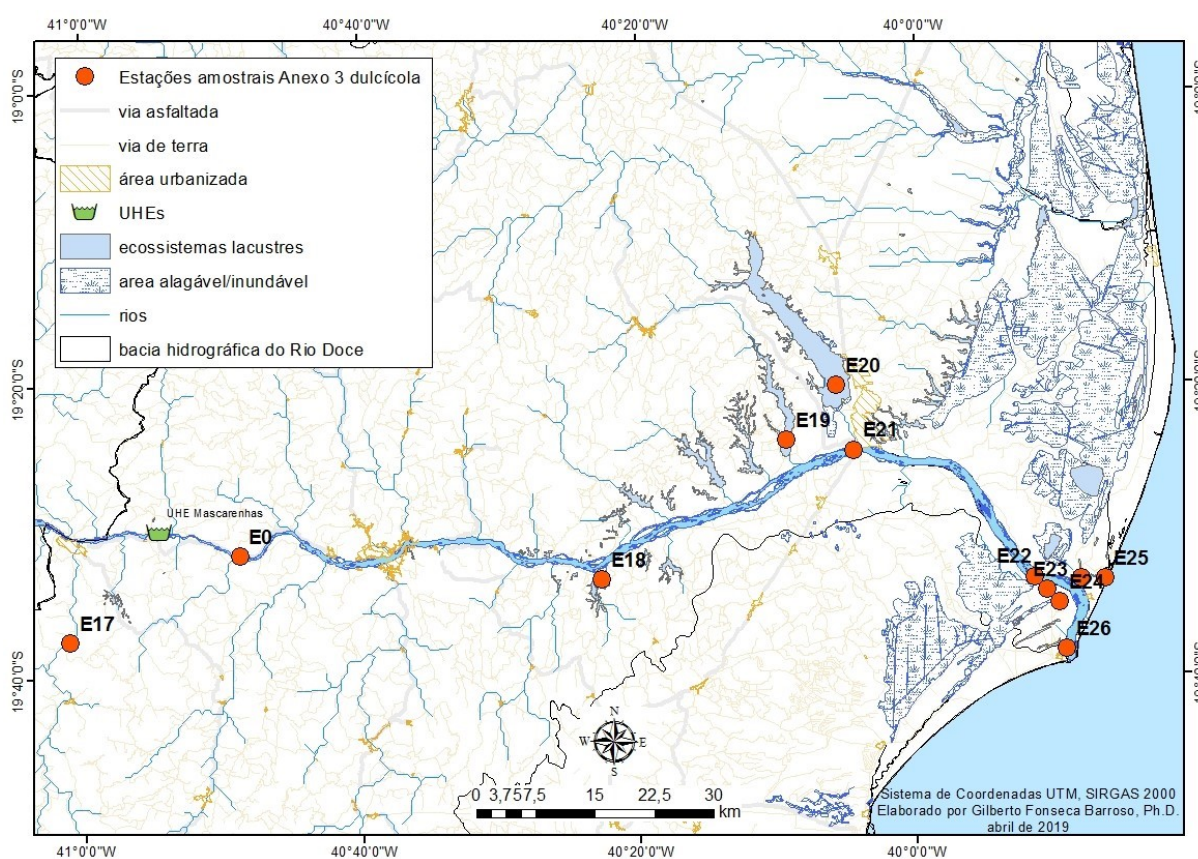


Fonte: PMQQS / Fundação RENOVA.

1.2.2 Dados do Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola

O Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola abrange 12 estações amostrais, sendo 4 na calha do Rio Doce, 1 em rio tributário (Rio Guandu) e 7 em 6 lagos/lagoas (Figura 11). A frequência amostral é mensal. A primeira campanha foi realizada em outubro de 2018 e a sexta amostragem em março de 2019.

Figura 11: Estações amostrais do Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola no Baixo Rio Doce.



Fonte: Autoria própria.

1.2.2.1 Sistemas fluviais

E17 – Rio Guandu

A estação do Rio Guandu apresenta os maiores valores médios de turbidez e material particulado em suspensão (MPS), $156,5 \pm 127,8$ UNT e $161,9 \pm 109,6$, respectivamente (Tabela 10). Estes valores devem-se a processos erosivos na bacia hidrográfica. Tal como os valores do PMQQS as águas desta estação são bem oxigenadas com ambiente oxidante e pH neutro a ligeiramente alcalino (Tabela 11) e alcalinidade moderada (Tabela 12). As concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos, sobretudo ortofosfato, podem ser consideradas moderadas e oriundas da lixiviação do solo de áreas agrícola e de pastagem. A concentração de clorofila a é baixa conforme esperado para rios de águas turvas (Tabela 12).

Tabela 10: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados no rio Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola, entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Turbidez (UNT)	Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	MPS (mg/L)
N amostral	5	6	6
Média	156,5	52,0	161,9
Mediana	132,0	51,0	141,1
Mínima	47,7	49,0	32,8
Máxima	369,0	57,0	315,2
Desvio padrão	127,8	3,0	109,6
Coefficiente de variação (%)	81,6	5,7	67,7
CONAMA 357.05 (Classe 2)	100	500	-

Fonte: Autoria própria.

MPS: material particulado em suspensão.

Tabela 11: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados no rio Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Salinidade	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	29	29	6	6	29	6
Média	0,040	27,8	7,3	7,6	71,2	159,5
Mediana	0,039	28,0	7,4	7,6	69,9	162,5
Mínima	0,038	26,0	5,3	7,3	68,2	110,0
Máxima	0,043	28,7	8,9	7,9	78,4	208,0
Desvio padrão	0,001	0,9	1,7	0,3	3,5	41,3
Coefficiente de variação (%)	2,500	3,2	23,3	3,9	4,9	25,9
CONAMA 357/05 (Classe 2)	<0,5	-	> 5,0	6,0 a 9,0	-	-

Fonte: Autoria própria.

OD: oxigênio dissolvido.

Tabela 12: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados no rio Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO ₃ /L)	Ortofostato (µg/L)	Nitrito (µg/L)	Silicato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	6	3	3	5,00	6
Média	32,9	49,2	2,8	4,06	0,8
Mediana	33,1	44,9	-	4,43	0,8
Mínima	25,0	11,7	-	2,47	0,4
Máxima	41,5	90,9	8,5	5,36	1,7
Desvio padrão	7,1	39,8	4,9	1,35	0,5
Coefficiente de variação (%)	21,6	80,9	175,0	33,3	62,5
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	-	1,0*		30,0

Fonte: Autoria própria.

*mg/L

E0 – Rio Doce (Itapina)

A estação do Rio Doce em Itapuna (E0) foi incluída na malha amostral, conforme aprovação na Reunião da CTBio de julho de 2018, para servir de referência da condição fluvial mais a montante no Baixo Rio Doce após a última usina hidrelétrica, a UHE de Mascarenhas. A turbidez e o MPS são significativamente inferiores ao Rio Guandu (E17) (Tabela 13). Corroborando com os dados do PMQQS as águas desta estação são bem oxigenadas com ambiente oxidante e pH neutro a ligeiramente alcalino (Tabela 13) e alcalinidade moderada (Tabela 14). As concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos, sobretudo ortofosfato, podem ser consideradas elevadas e com potencial de eutrofização à jusante (Tabela 15). Aparentemente a contribuição de biomassa fitoplanctônica a partir da UHE de Mascarenhas não é significativa devido as baixas concentrações de clorofila a (Tabela 15).

Tabela 13: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados no rio Doce (E0 – Itapina) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Turbidez (UNT)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	MPS (mg/L)
N amostral	5	12	8
Média	60,8	56,3	37,0
Mediana	54,7	59,5	17,8
Mínima	27,8	41,0	9,6
Máxima	130,6	66,0	97,6
Desvio padrão	41,4	10,5	37,5
Coefficiente de variação	68,1	18,7	101,4
CONAMA 357/05 (Classe 2)	100	500	-

Fonte: Autoria própria.

MPS: material particulado em suspensão

Tabela 14: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados no rio Doce (E0 – Itapina) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Salinidade	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	23	23	7	7	23	7
Média	0,040	28,7	6,7	7,4	71,9	169,3
Mediana	0,040	28,4	6,5	7,4	71,6	178,0
Mínima	0,033	26,3	5,1	7,1	56,1	121,0
Máxima	0,048	31,5	8,7	7,8	90,6	199,0
Desvio padrão	0,005	1,9	1,5	0,2	12,3	30,1
Coefficiente de variação	12,5	6,6	22,4	2,7	17,1	17,8
CONAMA 357/05 (Classe 2)	<0,5	-	> 5,0	6,0 a 9,0	-	-

Fonte: Autoria própria.

Tabela 15: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados no Doce (E0 – Itapina) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO ₃ /L)	Ortofosfato (µg/L)	Nitrito (µg/L)	Silicato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	8	5	5	8	8
Média	32,7	67,4	8,4	2,8	0,8
Mediana	32,8	78,1	8,1	3,3	0,8
Mínima	25,0	9,2	4,6	0,3	0,2
Máxima	38,1	124,1	12,4	4,6	1,2
Desvio padrão	5,1	52,4	3,8	1,8	0,3
Coefficiente de variação	15,6	77,7	45,2	64,3	37,5
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	-	1,0*		30,0

Fonte: Autoria própria.

*mg/L

E21 – Rio Doce (Linhares)

Na estação do Rio Doce em Linhares (E21) a turbidez média é inferior a estação E0, mas o MPS apresenta um incremento médio de 25%. (Tabela 16). Corroborando com os dados do PMQQS as águas desta estação são bem oxigenadas com ambiente oxidante e pH neutro a ligeiramente alcalino (Tabela 17) e alcalinidade moderada (Tabela 18). As concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos, sobretudo ortofosfato, podem ser consideradas elevadas e com potencial de eutrofização à jusante (Tabela 18). A estação apresenta um incremento da clorofila a provavelmente em decorrência da influência da contribuição do Lagoa Juparanã (Tabela 18).

Tabela 16: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados no rio Doce (E21 – Linhares) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Turbidez (UNT)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	MPS (mg/L)
N amostral	4	6	6
Média	47,1	50,7	46,5
Mediana	47,4	49,5	30,3
Mínima	29,4	44,0	10,0
Máxima	64,1	66,0	145,0
Desvio padrão	15,0	8,1	49,2
Coefficiente de variação (%)	31,8	16,0	105,8
CONAMA 357/05 (Classe 2)	100	500	-

Fonte: Autoria própria.

MPS: material particulado em suspensão

Tabela 17: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados no Doce (E21 – Linhares) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Salinidade	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	17	23	6	6	13	6
Média	0,040	28,7	8,0	7,6	70,5	155,3
Mediana	0,040	28,4	8,3	7,6	67,1	151,0
Mínima	0,032	26,3	6,5	7,3	53,6	114,0
Máxima	0,048	31,5	8,5	8,0	89,6	225,0
Desvio padrão	0,004	1,9	0,8	0,2	12,0	40,9
Coefficiente de variação (%)	10,0	6,6	10,0	2,6	17,0	26,3
CONAMA 357/05 (Classe 2)	<0,5	-	> 5,0	6,0 a 9,0	-	-

Fonte: Autoria própria.

OD: oxigênio dissolvido.

Tabela 18: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados no Doce (E21 – Linhares) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola, entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO ₃ /L)	Ortofosfato (µg/L)	Nitrito (µg/L)	Silicato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	6	3	3	6	6
Média	27,6	37,0	-	3,5	2,6
Mediana	28,6	49,2	-	4,1	2,3
Mínima	15,0	9,2	-	1,0	0,3
Máxima	35,7	52,6	-	4,5	5,0
Desvio padrão	7,0	24,1	-	1,4	1,8
Coefficiente de variação (%)	25,4	65,1	-	40,0	69,2
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	-	1,0*		30,0

Fonte: Autoria própria.

*mg/L

E22 – Rio Doce montante de Regência

Na estação do Rio Doce à montante de Regência (E22) a turbidez apresenta um ligeiro incremento possivelmente devido a resuspensão de sedimentos de fundo em decorrência da reduzida profundidade (~1,5 m) (Tabela 19). Os dados físico-químicos indicam águas bem oxigenadas com ambiente oxidante e pH neutro a ligeiramente alcalino (Tabela 20) e alcalinidade moderada (Tabela 21). Não houve indícios de salinidade (salinidade < 0,042), conforme indicam os valores de condutividade elétrica inferiores a 74,4 µS/cm (Tabela 20). As concentrações de ortofosfato embora inferiores a estação E21 podem ser consideradas elevadas e com potencial de eutrofização (Tabela 21). A estação apresenta um incremento da clorofila a (4,7±1,9 µg/L) provavelmente em decorrência da influência da contribuição da drenagem do Lago Juaparanã pelo rio Pequeno (Tabela 21).

Tabela 19: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados no rio Doce (E22) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Turbidez (UNT)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	MPS (mg/L)
N amostral	5	5	5
Média	53,7	51,4	39,3
Mediana	40,5	52,0	38,0
Mínima	17,2	44,0	18,6
Máxima	93,7	63,0	64,6
Desvio padrão	32,1	7,4	17,5
Coefficiente de variação (%)	59,8	14,4	44,5
CONAMA 357/05 (Classe 2)	100	500	-

Fonte: Autoria própria.

MPS: material particulado em suspensão

Tabela 20: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados no Doce (E22) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Salinidade	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	13	13	5	5	13	5
Média	0,039	30,3	7,2	7,7	69,2	139,6
Mediana	0,039	30,2	7,1	7,6	68,8	129,0
Mínima	0,035	27,0	5,6	7,3	61,6	117,0
Máxima	0,042	32,6	8,9	8,3	74,4	182,0
Desvio padrão	0,002	1,9	1,2	0,4	5,0	25,3
Coefficiente de variação (%)	5,1	6,3	16,7	5,2	7,2	18,1
CONAMA 357/05 (Classe 2)	<0,5	-	> 5,0	6,0 a 9,0	-	-

Fonte: Autoria própria.

Tabela 21: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados no Doce (E22) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO ₃ /L)	Ortofosfato (µg/L)	Nitrito (µg/L)	Silicato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	5	2	3	5	5
Média	33,1	29,2	-	3,9	4,7
Mediana	31,9	29,2	-	4,7	4,8
Mínima	21,7	24,5	-	0,9	3,1
Máxima	41,7	33,9	-	4,9	7,7
Desvio padrão	8,6	6,6	-	1,7	1,9
Coefficiente de variação	26,0	22,6	-	43,6	40,4
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	-	1,0*		30,0

Fonte: Autoria própria.

*mg/L

E26 – Rio Doce (Regência)

Na estação do Rio Doce próximo a Regência (E26) apresenta o mesmo padrão da E22 quanto a turbidez, porém com incremento de sólidos totais dissolvidos (Tabela 22). Esse incremento é devido a intrusão halina com amostragem registrando salinidade de 27,9 e condutividade elétrica de 43.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 23). A influência marinha aumenta a alcalinidade da água o que é típico de sistemas estuarinos (Tabela 24). Ainda assim as condições físico-químicas indicam águas bem oxigenadas com ambiente oxidante e pH neutro a alcalino (Tabela 23).

Tabela 22: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados no rio Doce (E26 - Regência) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola, entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Turbidez (UNT)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	MPS (mg/L)
N amostral	5	9	7
Média	48,7	4.748,7	26,7
Mediana	54,7	55,0	20,3
Mínima	9,6	47,0	2,5
Máxima	77,8	27.300,0	61,0
Desvio padrão	26,1	9.794,0	22,5
Coefficiente de variação (%)	53,6	206,2	84,3
CONAMA 357/05 (Classe 2)	100	500	-

Fonte: Autoria própria.

MPS: material particulado em suspensão

Tabela 23: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados no Doce (E26 - Regência) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Salinidade	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Potencial Redox (mV)
N amostral	17	17	9	9	17	9
Média	4,036	27,5	7,3	7,7	6401,0	168,9
Mediana	0,042	27,2	7,9	7,7	76,1	181,0
Mínima	0,036	23,3	5,1	7,3	62,6	111,0
Máxima	27,950	30,5	8,8	8,2	43.434,5	213,0
Desvio padrão	9,130	2,7	1,5	0,3	14.363,3	32,9
Coefficiente de variação (%)	226,2	9,8	20,5	3,9	224,4	19,5
CONAMA 357/05 (Classe 2)	<0,5	-	> 5,0	6,0 a 9,0	-	-

Fonte: Autoria própria.

OD: oxigênio dissolvido

Tabela 24: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados no Doce (EA 26 - Regência) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO₃/L)	Ortofosfato (µg/L)	Nitrito (µg/L)	Silicato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	7	4	4	7	7
Média	45,4	36,6	-	3,1	3,2
Mediana	35,7	22,0	-	4,1	2,8
Mínima	25,0	4,1	-	0,6	0,3
Máxima	116,9	98,6	-	5,0	6,9
Desvio padrão	32,3	43,0	-	2,0	2,3
Coefficiente de variação (%)	71,1	117,5	-	64,5	71,9
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	-	1,0*		30,0

Fonte: Autoria própria.

*mg/L

Integração rio Doce e rio Guandu

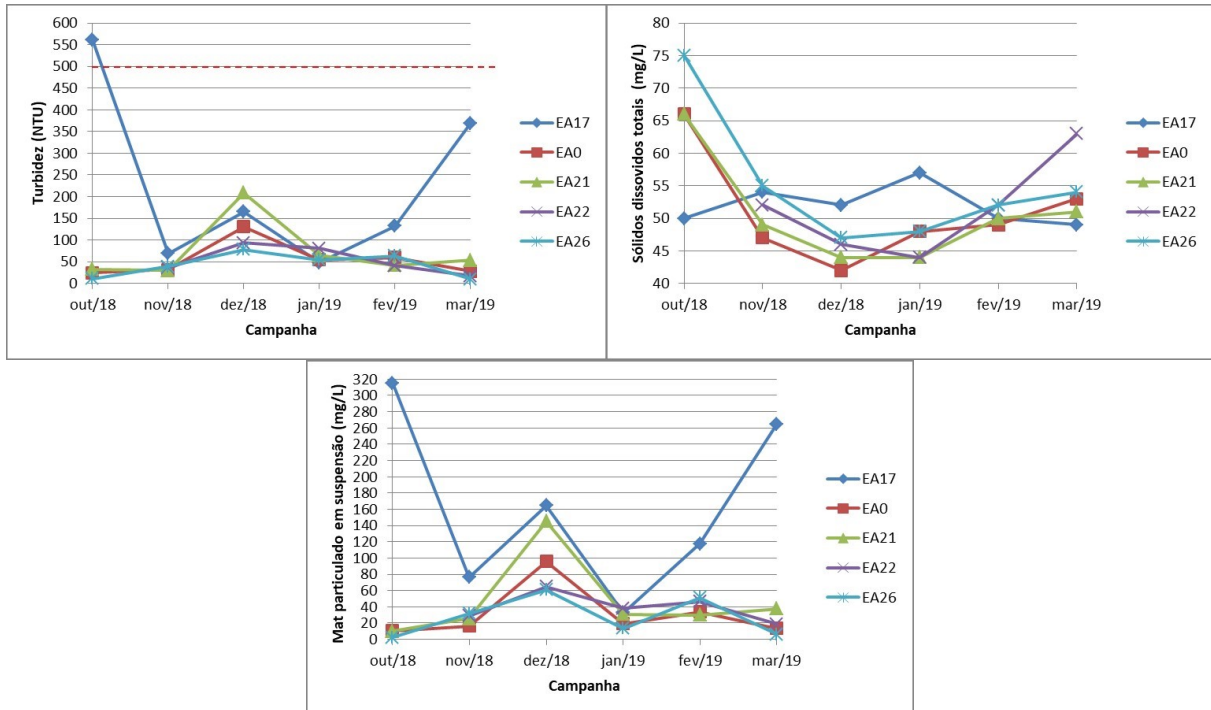
Tabela 25: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados nos rios Doce e Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Turbidez (UNT)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	MPS (mg/L)
N amostral	19	32	26
Média	52,9	1374,2	36,8
Mediana	53,4	52,0	29,4
Mínima	9,6	41,0	2,5
Máxima	130,6	27300,0	145,0
Desvio padrão	28,8	5417,9	33,2
Coefficiente de variação (%)	54,4	394,3	90,2
CONAMA 357/05 (Classe 2)	100	500	-

Fonte: Autoria própria.

MPS: material particulado em suspensão

Figura 12: Variação mensal de variáveis físicas mensuradas nos rios Doce e Guandu, no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola, entre outubro de 2018 e março de 2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.



Fonte: Autoria própria.

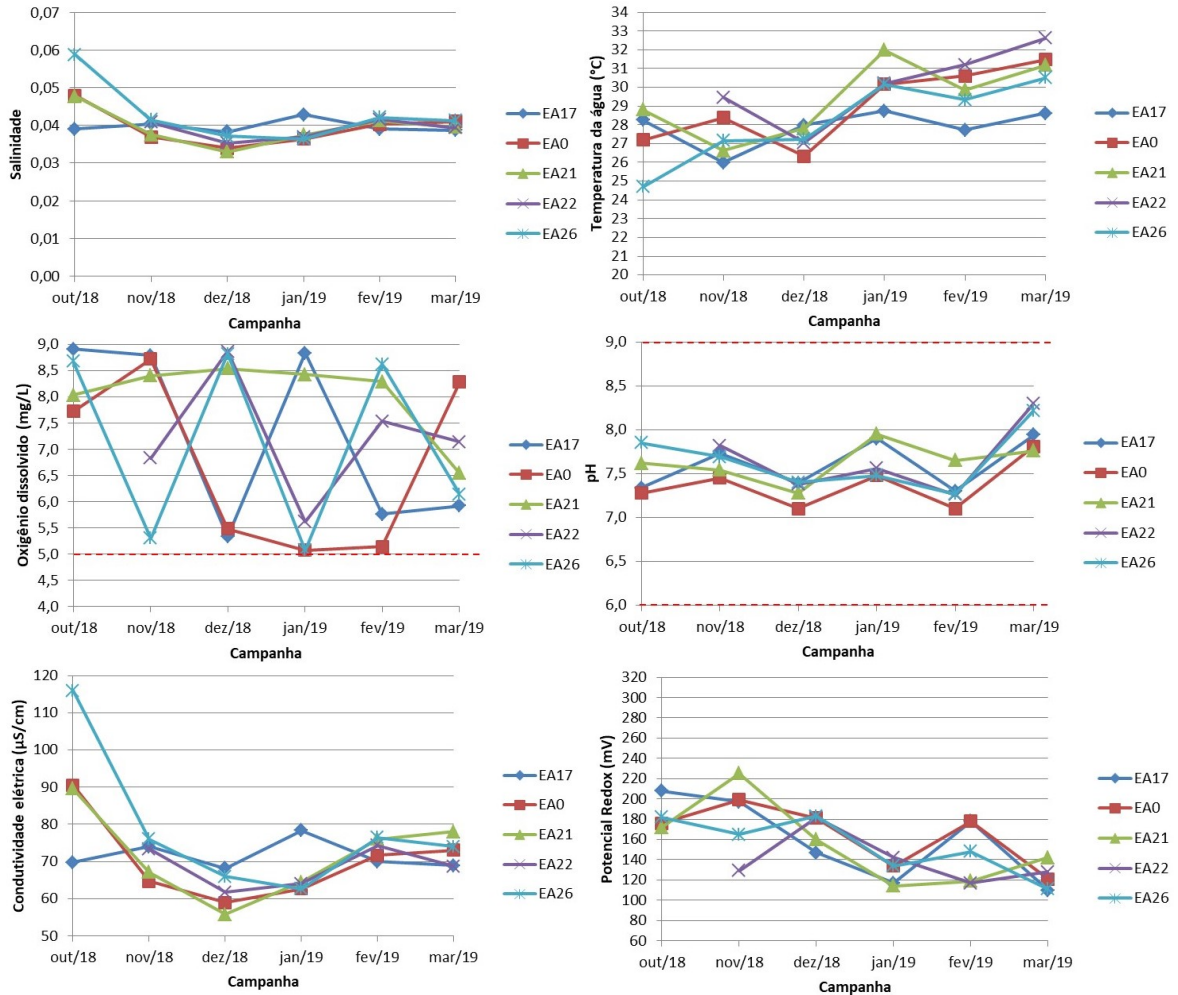
Tabela 26: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados nos rios Doce e Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Salinidade	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	70	32	32	32	66	32
Média	1,0	27,9	7,3	7,5	1.701,3	171,3
Mediana	0,0	27,5	7,6	7,5	71,7	177,0
Mínima	0,0	22,9	5,1	6,8	53,6	111,0
Máxima	28,0	31,78	8,9	8,3	43.434,5	249,0
Desvio padrão	4,7	2,6	1,2	0,4	7.652,7	40,6
Coefficiente de variação (%)	470,0	9,3	16,4	5,3	449,8	23,7
CONAMA 357/05 (Classe 2)	<0,5	-	> 5,0	6,0 a 9,0	-	-

Fonte: Autoria própria.

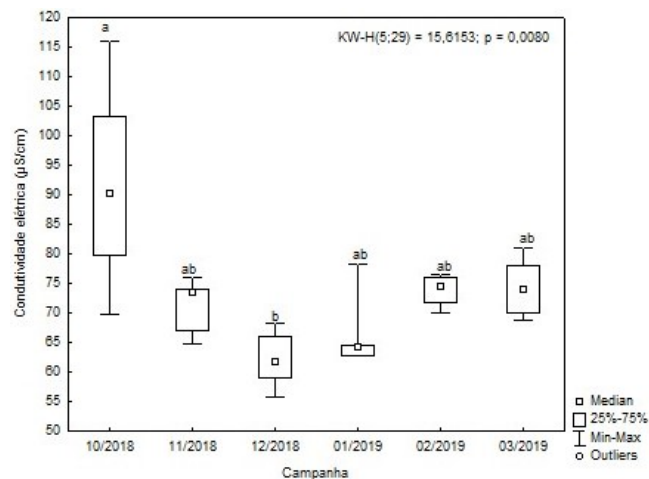
OD: oxigênio dissolvido

Figura 13: Variação mensal de variáveis físico-químicas mensuradas nos rios Doce e Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola, entre outubro de 2018 e março de 2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.



Fonte: Autoria própria.

Figura 14: Box-plots para diferenças nos valores de condutividade elétrica entre campanhas no mensuradas nos rios Doce e Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.



Fonte: Autoria própria.

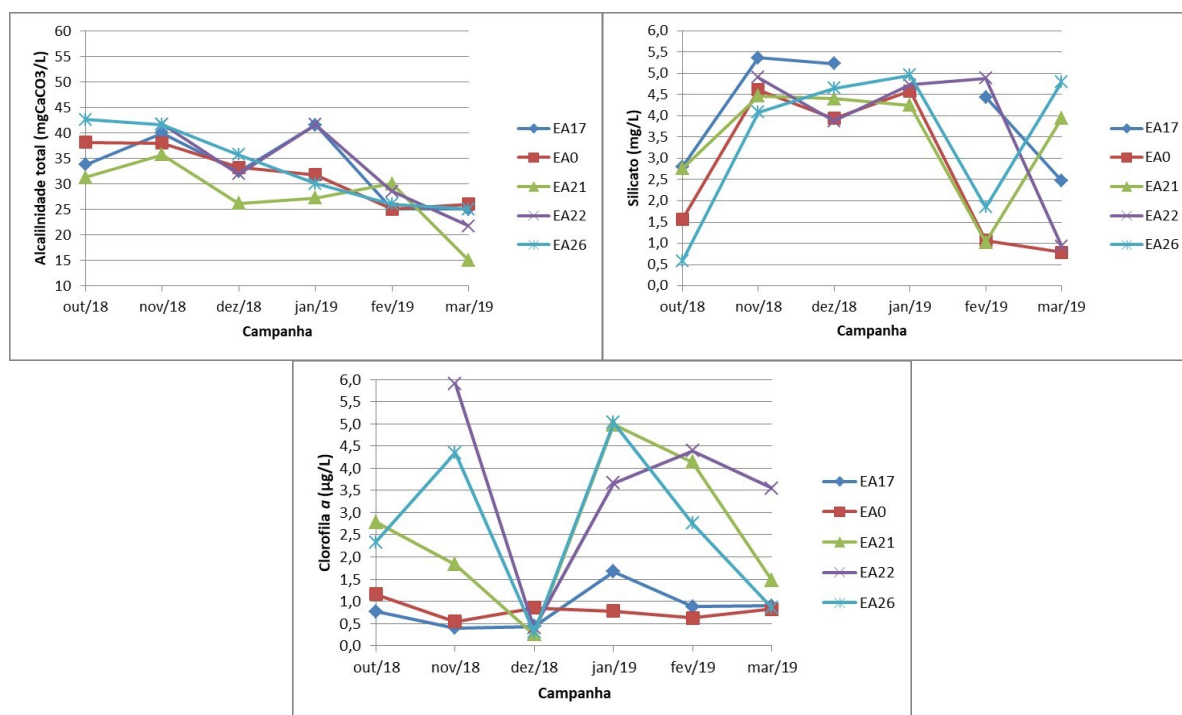
Tabela 27: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados nos rios Doce e Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO ₃ /L)	Ortofosfato (µg/L)	Nitrato (µg/L)	Silicato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	26	14	15	26	26
Média	35,0	46,6	2,8	3,2	2,4
Mediana	31,9	33,0	0,0	4,0	1,6
Mínima	15,0	4,1	0,0	0,3	0,2
Máxima	116,9	124,1	12,4	5,0	6,9
Desvio padrão	18,0	40,4	4,6	1,7	2,0
Coefficiente de variação	51,4	86,7	164,3	53,1	83,3
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	-	1,0*		30,0

Fonte: Autoria própria.

*mg/L

Figura 15: Variação mensal de variáveis químicas e clorofila a mensuradas nos rios Doce e Guandu no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola, entre outubro de 2018 e março de 2019.



Fonte: Autoria própria.

1.2.2.2 Sistemas lacustres

E18 - Lago do Limão

A estação do lago do Limão apresenta água relativamente clara com transparência média de $2,5 \pm 0,4$ m, baixa turbidez $7,0 \pm 7,4$ UNT e relativamente pobre em MPS $4,6 \pm 4,5$ mg/L (Tabela 28). As águas doces do lago do Limão apresentam condições físico-químicas na superfície bem oxigenadas e oxidantes (Tabela 29) e com baixas concentrações de ortofosfato, silicato e clorofila a (Tabela 30).

Os perfis verticais indicam um ambiente estratificado com tendência a anoxia e ambiente redutor no fundo. A concentração de pigmentos fotossintetizantes do fitoplâncton aumenta em direção ao fundo indicando a predominância da biomassa no metalímnio (Figura 16 e Figura 17).

Tabela 28: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na E18 (lago do Limão) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Transparência (m)	Turbidez (UNT)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	MPS (mg/L)
N amostral	6	15	76	18
Média	2,5	7,0	80,8	4,6
Mediana	2,6	5,8	79,5	3,1
Mínima	1,8	0,1	70,0	0,2
Máxima	3,0	29,0	100,0	17,6
Desvio padrão	0,4	7,4	6,7	4,5
Coefficiente de variação (%)	16,0	105,7	8,3	97,8
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	100	500	-

Fonte: Autoria própria.

MPS: material particulado em suspensão.

Tabela 29: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos, mensurados na E18 (lago do Limão) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Salinidade	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox(mV)
N amostral	77	77	76	76	77	76
Média	0,059	27,6	10,0	7,1	115,9	116,8
Mediana	0,058	26,8	10,3	7,0	114,3	165,0
Mínima	0,051	24,9	1,0	6,2	99,3	-172,0
Máxima	0,080	32,2	18,6	8,5	160,9	264,0
Desvio padrão	0,005	2,1	4,4	0,5	10,4	127,8
Coefficiente de variação (%)	8,5	7,6	44,0	7,0	9,0	109,4
CONAMA 357/05 (Classe 2)	<0,5	-	> 5,0	6,0 a 9,0	-	-

Fonte: Autoria própria.

OD: oxigênio dissolvido.

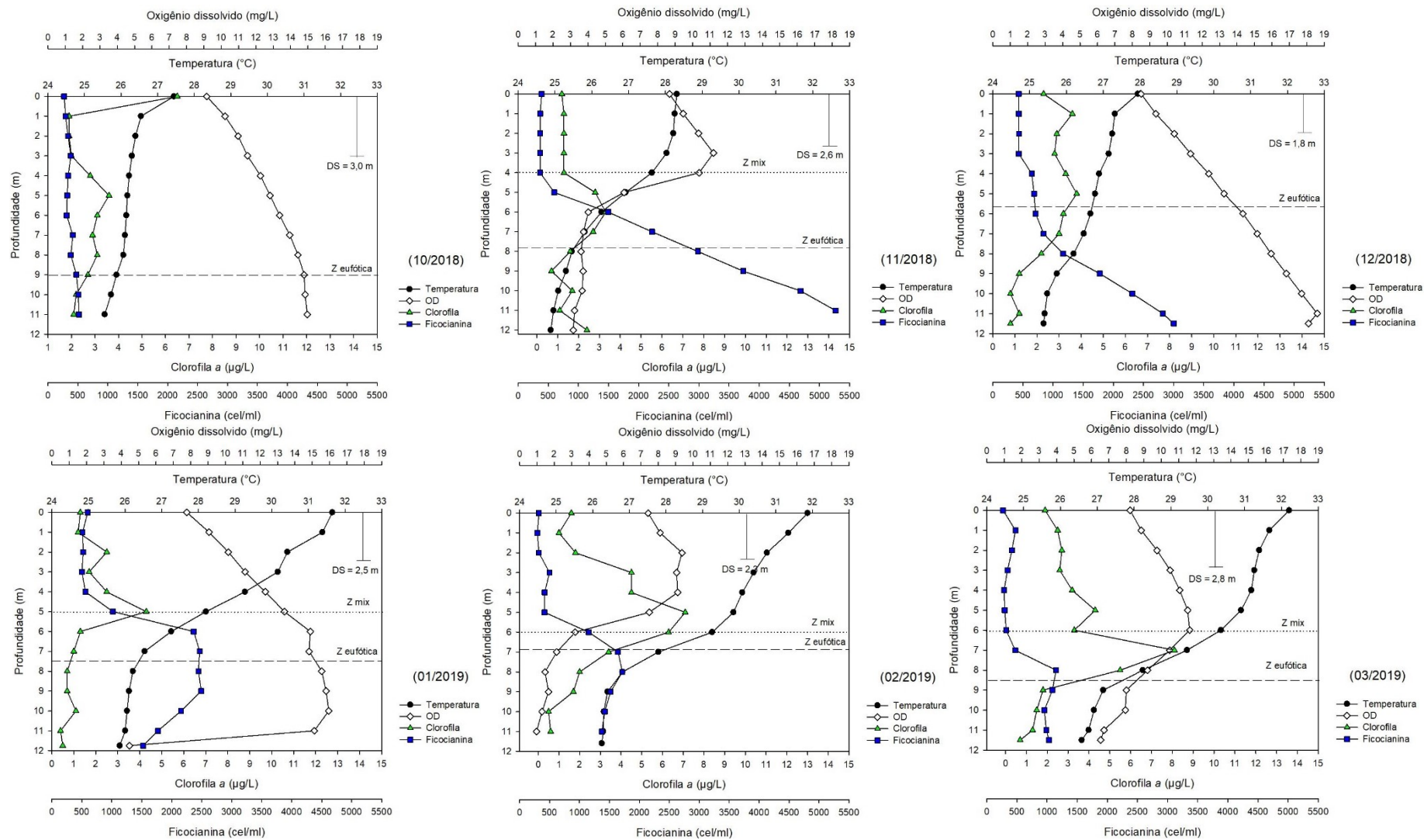
Tabela 30: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados na E18 (lago do Limão) no Programa de Monitoramento do Anexo 3 dulcícola entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO ₃ /L)	Ortofosfato (µg/L)	Nitrito (µg/L)	Silicato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	18	9	9	18	18
Média	33,6	16,3	0,1	3,0	2,5
Mediana	33,8	16,9	0,0	2,9	1,8
Mínima	23,0	0,0	0,0	1,0	0,2
Máxima	43,5	34,7	0,8	5,3	6,9
Desvio padrão	5,0	11,9	0,3	1,4	2,3
Coefficiente de variação (%)	14,9	73,0	300,0	46,7	92,0
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	-	1,0*	-	30,0

Fonte: Autoria própria.

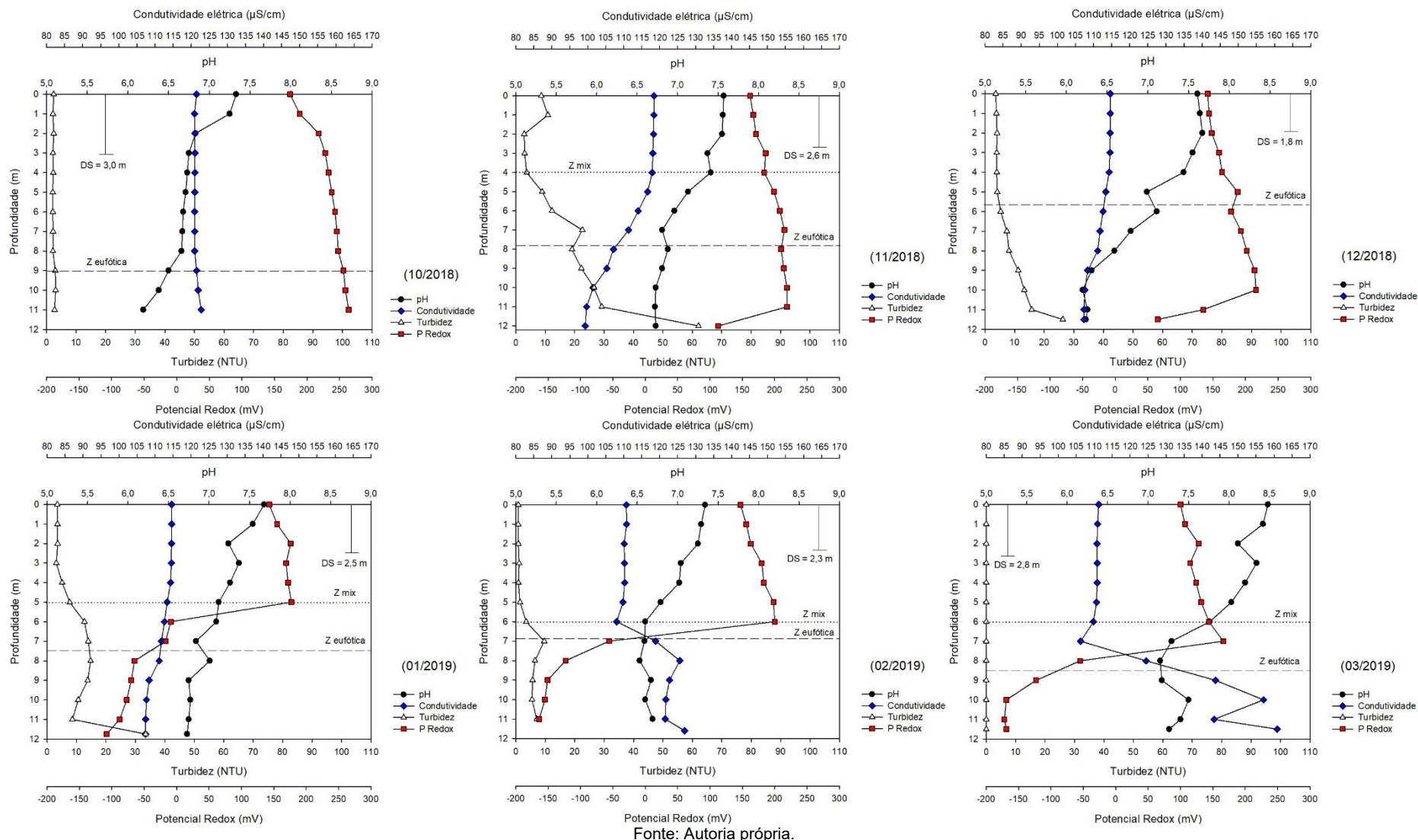
*mg/L

Figura 16: Perfis de parâmetros físicos, físico-químicos e biológicos na coluna d'água do lago do Limão (E18).



Fonte: Autoria própria.

Figura 17: Perfis de parâmetros físicos e físico-químicos na coluna d'água do lago do Limão (E18).



Fonte: Autoria própria.

E19 - Lago Nova

A estação do lago Nova apresenta água relativamente claras com transparência média de $4,0 \pm 0,7$ m, baixa turbidez $1,2,0 \pm 1,7$ UNT e relativamente pobre em MPS $1,3 \pm 1,1$ mg/L (Tabela 31). As águas doces do lago Nova apresentam condições físico-químicas na superfície bem oxigenadas e oxidantes (Tabela 32) e com baixas concentrações de ortofosfato, silicato e clorofila a (Tabela 33).

Os perfis verticais indicam um ambiente estratificado com tendência a anoxia e ambiente redutor no fundo. A concentração de pigmentos fotossintetizantes do fitoplâncton aumenta em direção ao fundo indicando a predominância da biomassa no metalímnio (Figura 18 e Figura 19).

Tabela 31: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na E19 (lago Nova), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Transparência (m)	Turbidez (UNT)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	MPS (mg/L)
N amostral	6	15	185	18
Média	4,0	1,2	68,3	1,3
Mediana	4,0	0,7	68,0	1,1
Mínima	3,0	0,0	63,0	0,1
Máxima	4,8	6,4	79,0	4,5
Desvio padrão	0,7	1,7	2,8	1,1
Coefficiente de variação (%)	17,5	141,7	4,1	84,6
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	100	500	-

Fonte: Autoria própria.

MPS: material particulado em suspensão.

Tabela 32: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos, mensurados na E19 (lago Nova) entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Salinidade	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	192	192	185	185	192	185
Média	0,051	26,5	5,5	6,8	97,7	176,0
Mediana	0,050	25,7	5,1	6,6	96,8	196,0
Mínima	0,050	24,4	0,6	6,0	94,2	-102,0
Máxima	0,057	30,8	16,2	7,8	112,3	295,0
Desvio padrão	0,001	1,9	3,8	0,5	3,2	93,0
Coefficiente de variação (%)	2,0	7,2	69,1	7,4	3,3	52,8
CONAMA 357/05 (Classe 2)	<0,5	-	> 5,0	6,0 a 9,0	-	-

Fonte: Autoria própria.

OD: oxigênio dissolvido

Tabela 33: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados na E19 (lago Nova), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO₃/L)	Ortofosfato (µg/L)	Nitrito (µg/L)	Silicato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	18	9	9	18	18
Média	25,5	10,0	-	2,2	2,8
Mediana	23,4	4,9	-	2,1	1,1
Mínima	19,0	0,0	-	0,7	0,1
Máxima	37,5	27,1	-	3,9	24,2
Desvio padrão	5,4	10,3	-	0,9	5,5
Coefficiente de variação (%)	21,2	103,0	-	40,9	196,4
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	-	1,0*		30,0

Fonte: Autoria própria.

*mg/L

Figura 18: Perfis de parâmetros físicos, físico-químicos e biológicos na coluna d'água do lago Nova (E19).

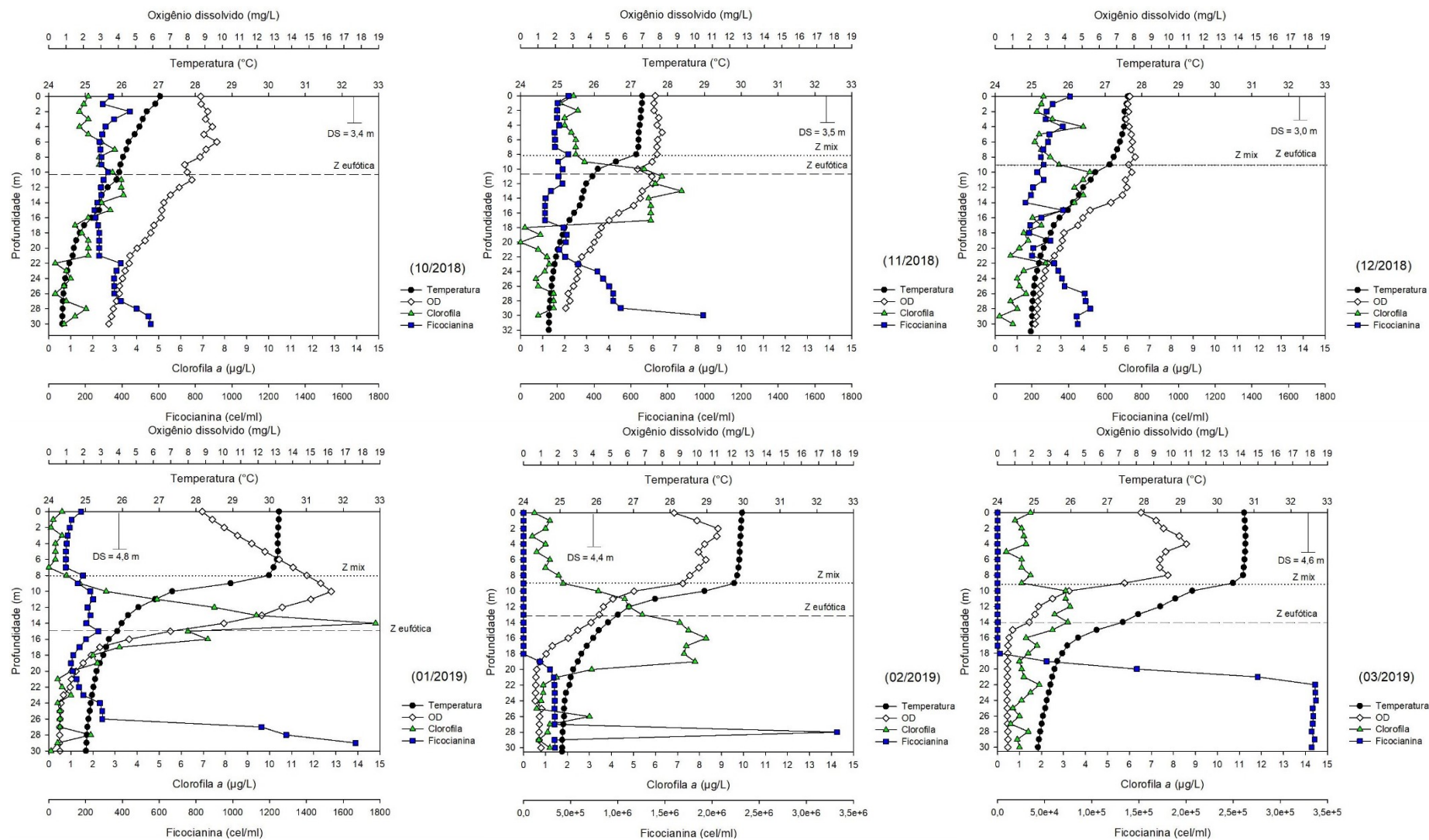
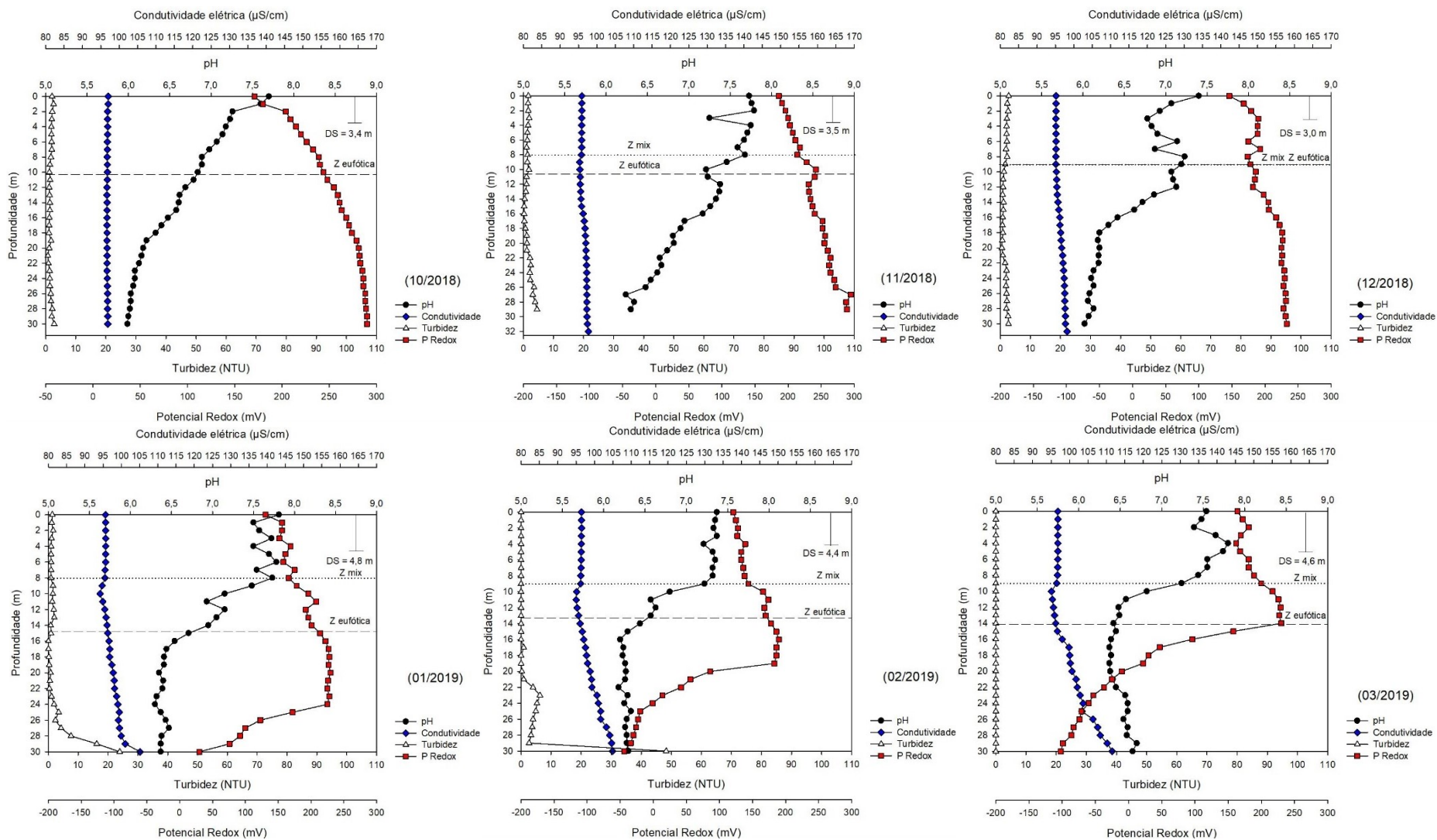


Figura 19: Perfis de parâmetros físicos e físico-químicos na coluna d'água do lago Nova (E19).



Fonte: Autoria própria.

E20- Lago Juparanã

A estação do lago Juparanã apresenta água relativamente mais turva com transparência média de $1,4 \pm 0,6$ m, baixa turbidez $10,0 \pm 8,6$ UNT e MPS de $8,7 \pm 7,1$ mg/L (Tabela 35). As águas doces do lago Juparanã apresentam condições físico-químicas na superfície bem oxigenadas e oxidantes (Tabela 36) e com baixas concentrações de ortofosfato e silicato. A concentração de clorofila a apresenta incremento $6,7 \pm 5,5$ µg/L (Tabela 36).

Os perfis verticais indicam um menos propenso a estratificação estratificado do que os lagos do Limão e Nova. Isso se deve provavelmente ao fetch na estação amostral com elevado comprimento máximo efetivo (mínimo de 2,0 km) e largura máxima (3,9 km) que possibilitam a turbulência do vento e mistura da coluna d'água. Não houve tendência a anoxia e ambiente redutor no fundo. A concentração de pigmentos fotossintetizantes do fitoplâncton, sobretudo de ficocianina, aumenta em direção ao fundo indicando a predominância da biomassa no metalímnio (Figura 20 e Figura 21).

Tabela 34: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na E20 (lago Juparanã), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Transparência (m)	Turbidez (UNT)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	MPS (mg/L)
N amostral	6	15	75	18
Média	1,4	10,0	63,0	8,7
Mediana	1,4	5,5	63,0	5,2
Mínima	0,8	1,2	59,0	0,4
Máxima	2,2	25,2	68,0	21,2
Desvio padrão	0,6	8,6	2,9	7,1
Coefficiente de variação (%)	42,9	86,0	4,6	81,6
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	100	500	-

Fonte: Autoria própria.

MPS: material particulado em suspensão

Tabela 35: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos, mensurados na E20 (lago Juparanã), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Salinidade	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	76	76	75	75	76	75
Média	0,048	27,9	8,9	7,4	89,8	186,1
Mediana	0,048	27,7	8,2	7,3	89,3	183,0
Mínima	0,047	25,1	2,5	6,6	88,0	60,0
Máxima	0,049	30,3	16,5	8,5	92,6	257,0
Desvio padrão	0,001	1,8	2,9	0,4	1,6	34,5
Coefficiente de variação (%)	2,1	6,5	32,6	5,4	1,8	18,5
CONAMA 357/05 (Classe 2)	<0,5	-	> 5,0	6,0 a 9,0	-	-

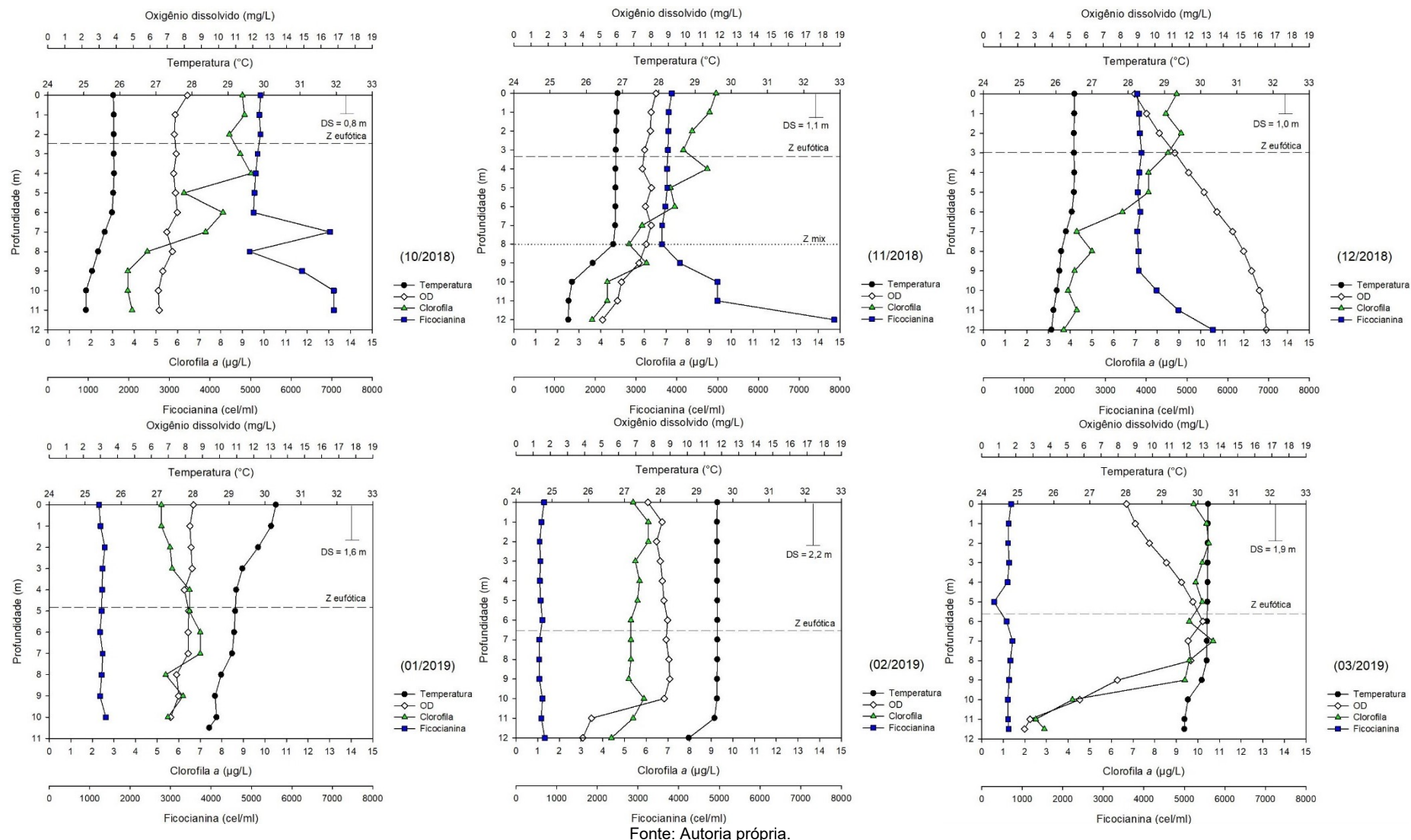
Fonte: Autoria própria.

Tabela 36: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados na E20 (lago Juparanã), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO₃/L)	Ortofosfato (µg/L)	Nitrato (µg/L)	Silicato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	18	9	9	18	18
Média	25,0	23,1	0,2	3,0	6,7
Mediana	24,4	22,0	-	2,6	5,2
Mínima	15,0	6,6	-	1,1	0,9
Máxima	31,1	42,4	1,5	5,4	17,4
Desvio padrão	3,8	10,9	0,5	1,5	5,5
Coefficiente de variação (%)	15,2	47,2	250,0	50,0	82,1
CONAMA 357/05 (Classe 2)	-	-	1,0*		30,0

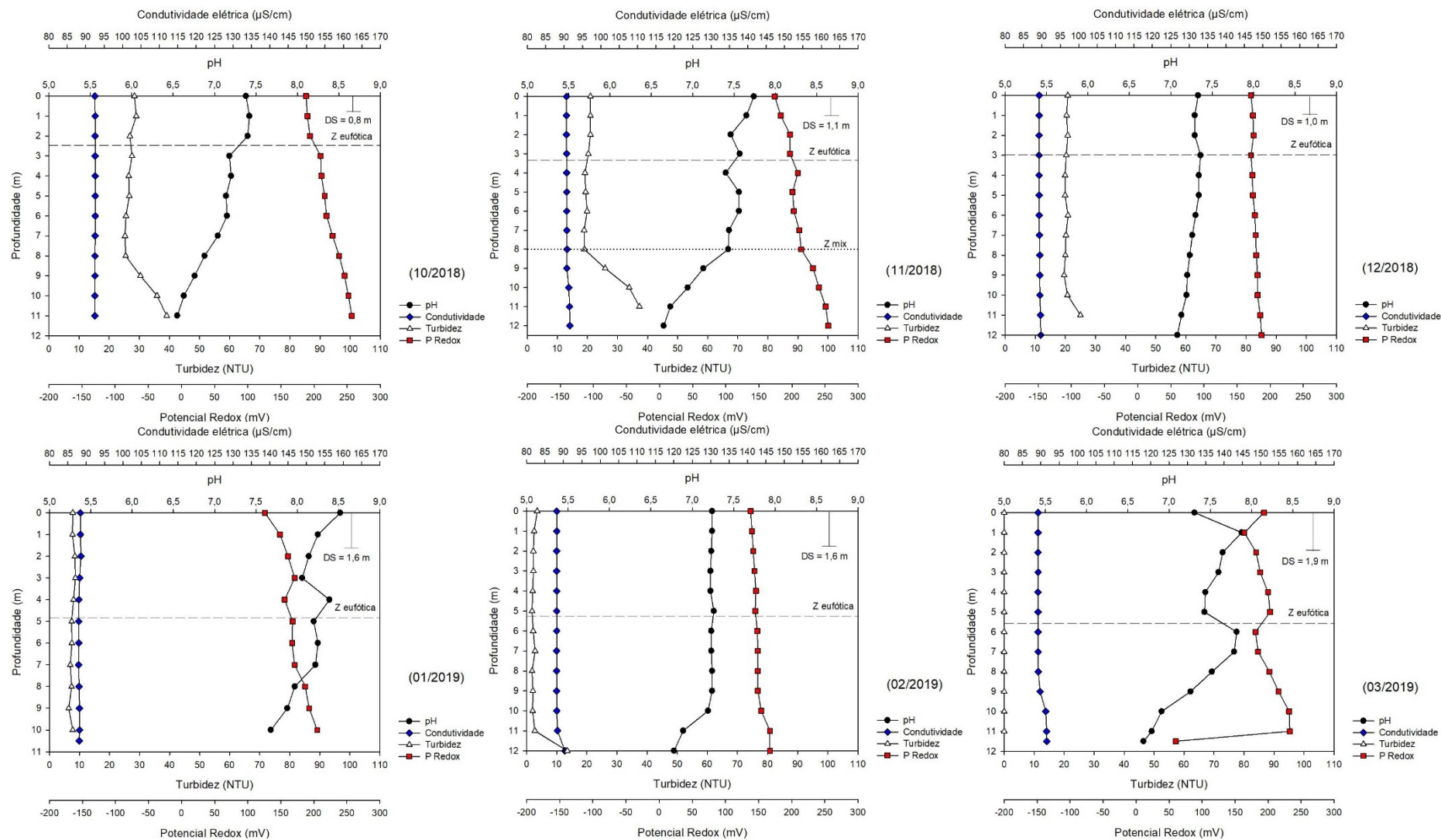
Fonte: Autoria própria.

Figura 20: Perfis de parâmetros físicos, físico-químicos e biológicos na coluna d'água do lago Juparanã (E20).



Fonte: Autoria própria.

Figura 21: Perfis de parâmetros físicos e físico-químicos na coluna d'água do lago Juparanã (E20).



Fonte: Autoria própria.

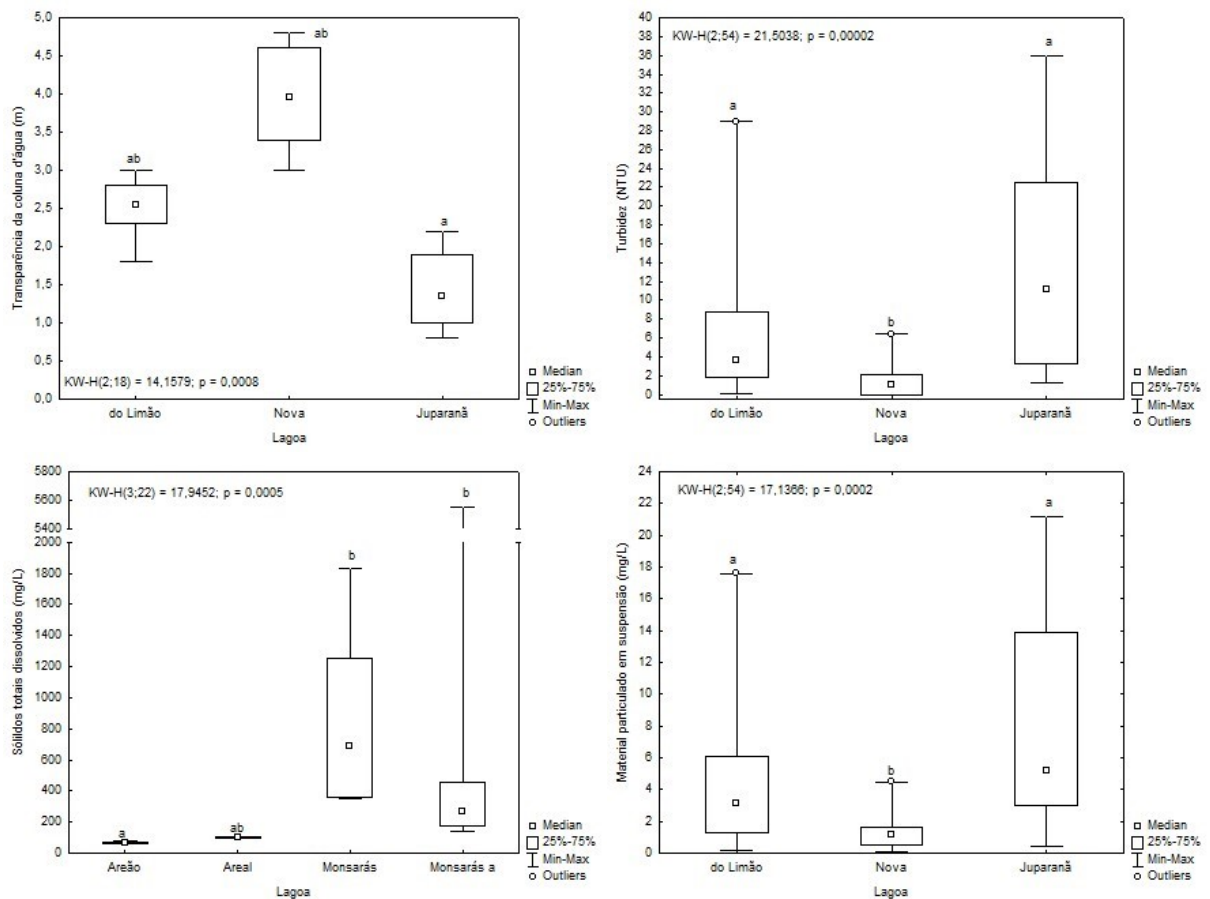
Integração lagos do Limão, Nova e Juparanã

Tabela 37: Estatística descritiva para os parâmetros físico mensurados nos lagos do Limão, Juparanã e Nova, entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Transparência (m)	Turbidez (UNT)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	MPS (mg/L)
N amostral	18	45	336	54
Média	2,6	6,0	70,0	4,9
Mediana	2,6	3,0	68,0	2,4
Mínima	0,8	0,0	59,0	0,1
Máxima	4,8	29,0	100,0	21,2
Desvio padrão	1,2	7,4	7,4	5,7
Coefficiente de variação (%)	46,2	123,3	10,6	116,3

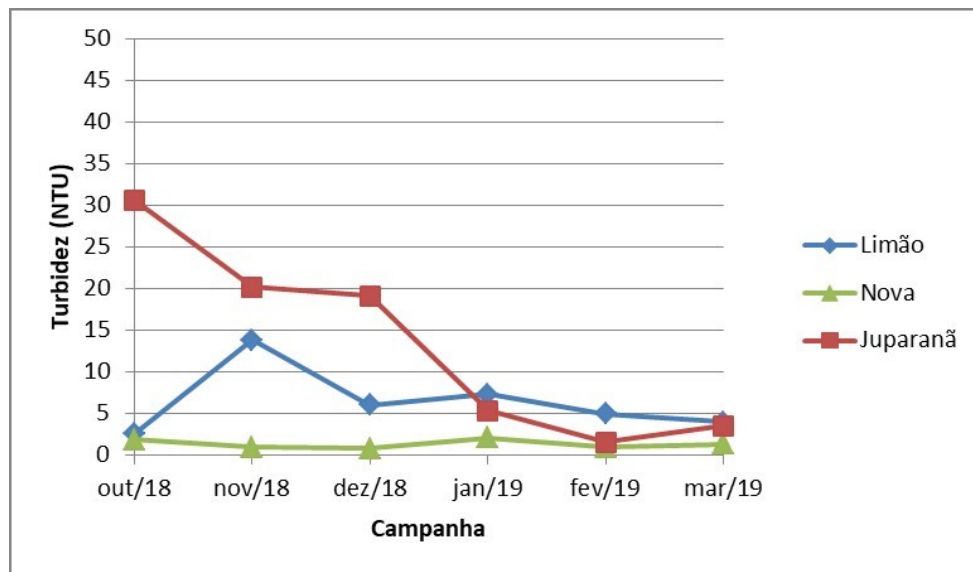
Fonte: Autoria própria.

Figura 22: *Box-plots* para diferenças das variáveis físicas entre lagos. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.



Fonte: Autoria própria.

Figura 23: Variação mensal da turbidez mensurada nos lagos Limão, Juparanã e Nova, entre outubro de 2018 e março de 2019 (média de três profundidades).



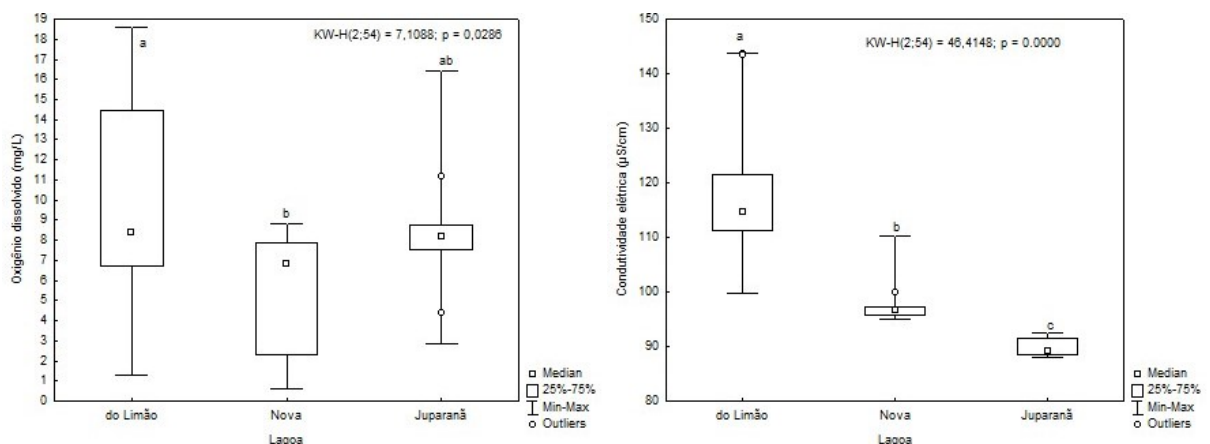
Fonte: Autoria própria.

Tabela 38: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados nos lagos do Limão, Juparanã e Nova, entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Salinidade	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	345	345	336	336	345	336
Média	0,1	27,0	7,3	7,0	100,0	164,9
Mediana	0,1	26,4	7,7	7,0	96,8	186,0
Mínima	0,0	24,4	0,6	6,0	88,0	-172,0
Máxima	0,1	32,2	18,6	8,5	160,9	295,0
Desvio padrão	0,0	2,0	4,3	0,6	10,6	96,8
Coefficiente de variação (%)	0,0	7,4	58,9	8,6	10,6	58,7

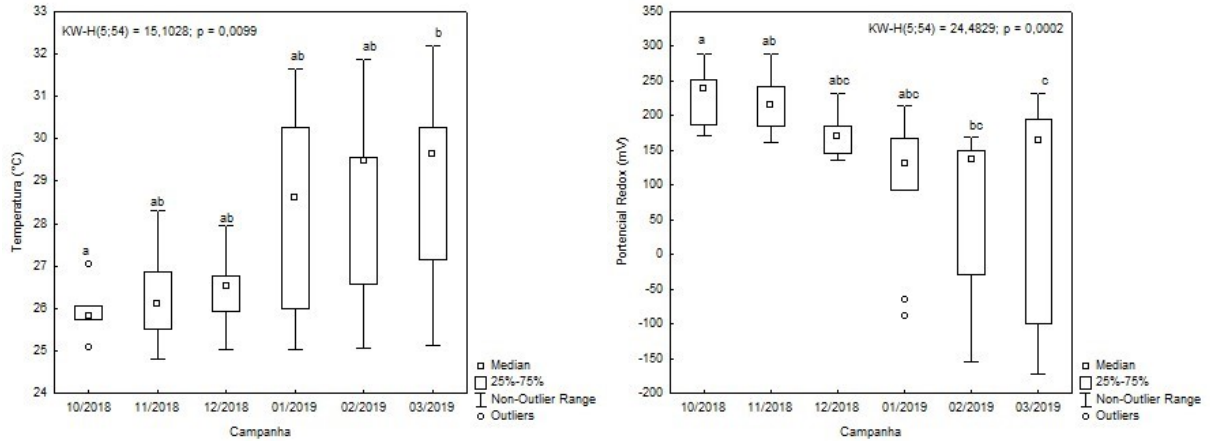
Fonte: Autoria própria.

Figura 24: Box-plots para diferenças da concentração de oxigênio dissolvido e da condutividade elétrica entre lagos. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.



Fonte: Autoria própria.

Figura 25: Box-plots para diferenças da temperatura da água e do potencial redox entre campanhas. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.



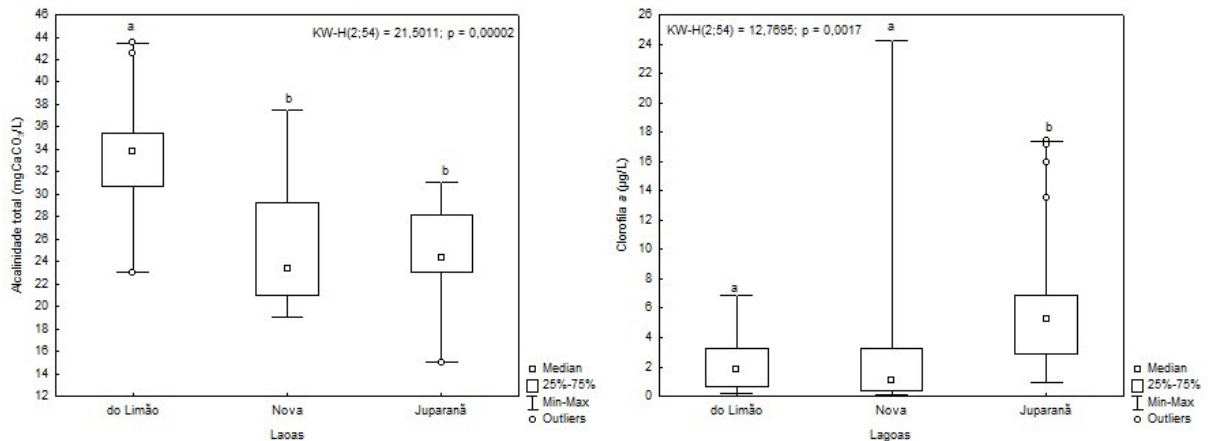
Fonte: Autoria própria.

Tabela 39: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados nas lagoas do Limão, Juparanã e Nova, entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO ₃ /L)	Ortofosfato (µg/L)	Nitrito (µg/L)	Silicato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	54	27	27	54	54
Média	28,0	16,5	0,1	2,7	4,0
Mediana	27,6	16,9	0,0	2,3	2,3
Mínima	15,0	0,0	0,0	0,7	0,1
Máxima	43,5	42,4	1,5	5,4	24,2
Desvio padrão	6,1	11,9	0,3	1,3	5,0
Coefficiente de variação (%)	21,8	72,1	300,0	48,1	125,0

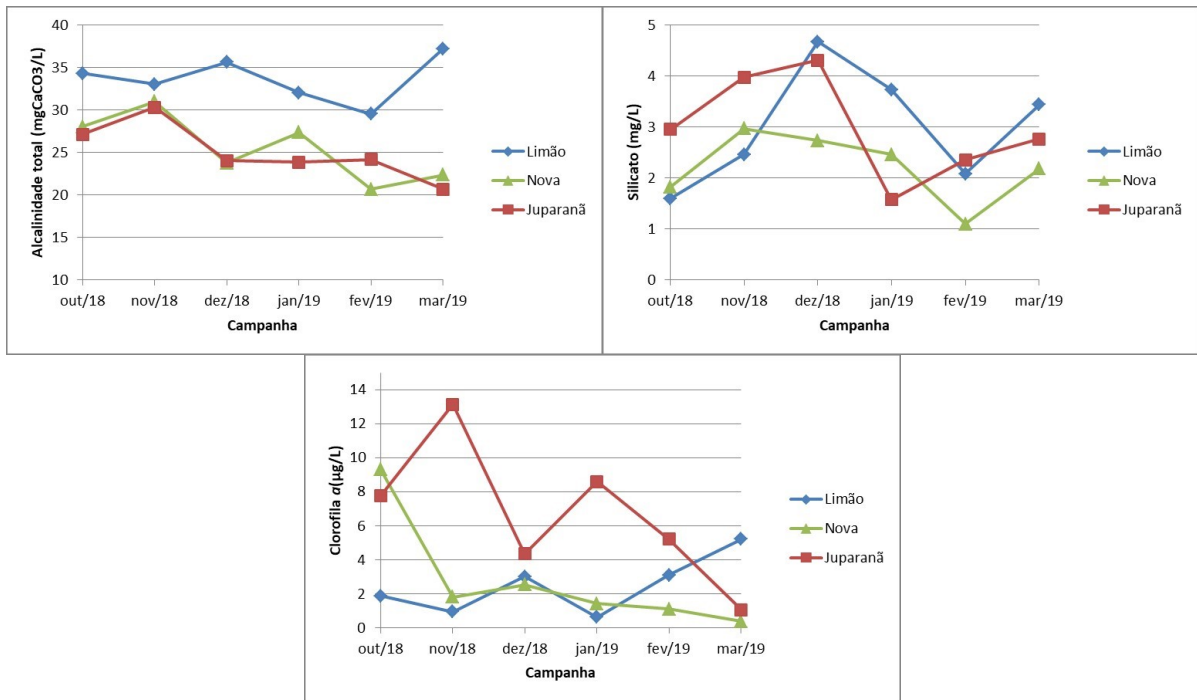
Fonte: Autoria própria.

Figura 26: Box-plots para diferenças entre lagoas, da alcalinidade total e da clorofila a. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.



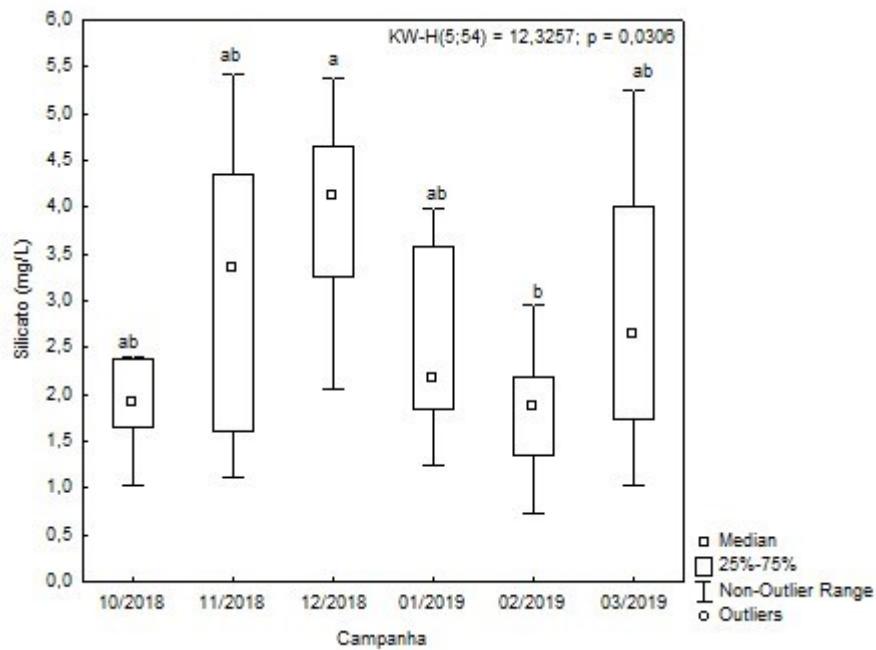
Fonte: Autoria própria.

Figura 27: Variação mensal de variáveis químicas e clorofila a mensuradas nos lagos do Limão, Juparanã e Nova, entre outubro de 2018 e março de 2019 (média de três profundidades).



Fonte: Autoria própria.

Figura 28: Box-plots para diferenças da concentração de silicato entre campanhas. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.



Fonte: Autoria própria.

E23 – Lagoa Areão

A estação da lagoa Areão apresenta água doce condições físico-químicas na superfície bem oxigenadas e oxidantes (Tabela 40 a Tabela 42) e com baixo potencial para estratificação vertical térmica e química.

Tabela 40: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na E23 (lagoa Areão), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Transparência (m)	Turbidez (UNT)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	MPS (mg/L)
N amostral	5	5	16	5
Média	1,6	9,0	67,8	5,6
Mediana	1,7	4,8	66,0	1,9
Mínima	0,7	4,4	63,0	0,6
Máxima	2,0	24,6	82,0	19,2
Desvio padrão	0,5	8,8	5,7	7,7
Coefficiente de variação (%)	31,3	97,8	8,4	137,5

Fonte: Autoria própria.

Tabela 41: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos, mensurados na E23 (lagoa Areão), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Salinidade	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	17	17	16	16	17	16
Média	0,051	28,3	7,3	7,0	96,8	204,1
Mediana	0,050	29,8	7,1	7,0	96,3	183,0
Mínima	0,048	24,9	6,2	6,3	90,1	147,0
Máxima	0,056	31,1	8,8	8,0	107,9	510,0
Desvio padrão	0,003	2,4	0,6	0,5	5,9	85,0
Coefficiente de variação (%)	5,9	8,5	8,2	7,1	6,1	41,6

Fonte: Autoria própria.

Tabela 42: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados na E23 (lagoa Areão), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO ₃ /L)	Ortofostato (µg/L)	Nitrito (µg/L)	Silicato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	5	2	3	5	5
Média	18,6	20,3	-	1,2	1,0
Mediana	15,5	20,3	-	1,1	1,3
Mínima	14,0	16,9	-	0,1	0,4
Máxima	26,1	23,7	-	2,7	1,3
Desvio padrão	5,4	4,8	-	0,9	0,4
Coefficiente de variação (%)	29,0	23,6	-	75,0	40,0

Fonte: Autoria própria.

E24 – Lagoa Areal

A estação da lagoa Areal apresenta água doce condições físico-químicas na superfície bem oxigenadas e oxidantes (Tabela 43 a Tabela 45) e com baixo potencial para estratificação vertical térmica e química.

Tabela 43: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na EA 24 (lagoa Areal), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Transparência (m)	Turbidez (UNT)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	MPS (mg/L)
N amostral	5	5	12	5
Média	0,6	30,1	101,3	12,2
Mediana	0,5	24,0	100,0	10,8
Mínima	0,3	13,9	97,0	5,6
Máxima	0,8	57,3	107,0	20,8
Desvio padrão	0,2	17,8	4,5	5,6
Coefficiente de variação (%)	33,3	59,1	4,4	45,9

Fonte: Autoria própria.

Tabela 44: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos, mensurados na EA 24 (lagoa Areal), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Salinidade	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	15	15	12	12	15	12
Média	0,074	28,5	7,0	7,0	148,5	151,7
Mediana	0,074	29,6	6,5	6,9	147,7	149,0
Mínima	0,071	24,9	4,3	6,6	142,2	105,0
Máxima	0,078	32,1	10,4	7,6	156,3	185,0
Desvio padrão	0,002	2,6	1,8	0,3	4,1	21,6
Coefficiente de variação (%)	0,3	8,6	1,8	2,5	410,0	10,6

Fonte: Autoria própria.

Tabela 45: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados na EA 24 (lagoa Areal), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO ₃ /L)	Ortofosfato (µg/L)	Nitrito (µg/L)	Silicato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	5	2	3	5	5
Média	31,8	23,2	-	2,3	4,0
Mediana	32,8	23,2	-	2,4	4,3
Mínima	21,0	6,6	-	1,1	1,5
Máxima	40,5	39,8	-	3,3	5,6
Desvio padrão	7,6	23,5	-	0,8	1,5
Coefficiente de variação (%)	23,9	101,3	-	34,8	37,5

Fonte: Autoria própria.

E25 – Lagoa Monsarás

A estação 25 da lagoa Monsarás apresenta água salobra condições físico-químicas na superfície bem oxigenadas e oxidantes (Tabela 46 a Tabela 48) e com baixo potencial para estratificação vertical térmica e química. A estação 25^a (Tabela 49 a Tabela 51), por outro lado, apresenta estratificação térmica e química com tendência a anoxia no fundo.

Tabela 46: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na EA 25 (lagoa Monsarás), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Transparência (m)	Turbidez (UNT)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	MPS (mg/L)
N amostral	6	4	22	6
Média	0,7	15,6	788,0	12,2
Mediana	0,8	15,1	489,0	10,8
Mínima	0,5	9,3	347,0	7,0
Máxima	0,9	23,1	1830,0	20,2
Desvio padrão	0,2	6,5	512,8	5,1
Coefficiente de variação (%)	28,6	41,7	65,1	41,8

Fonte: Autoria própria.

Tabela 47: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos, mensurados na EA 25 (lagoa Monsarás), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Salinidade	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	25	25	22	22	25	22
Média	0,619	28,3	7,5	7,3	1233,2	138,7
Mediana	0,356	28,8	8,5	7,2	731,2	142,5
Mínima	0,262	24,7	1,2	6,8	542,7	0,0
Máxima	1,323	30,9	11,1	7,9	2568,8	204,0
Desvio padrão	0,392	2,3	3,0	0,4	751,4	51,0
Coefficiente de variação (%)	63,3	8,1	40,0	5,5	60,9	36,8

Fonte: Autoria própria.

Tabela 48: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados na EA 25 (lagoa Monsarás), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO ₃ /L)	Ortofosfato (µg/L)	Nitrito (µg/L)	Silicato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	6	3	3	6	6
Média	57,1	12,3	23,1	2,5	2,0
Mediana	53,9	14,3	0,0	2,5	1,9
Mínima	45,0	4,1	0,0	1,1	1,6
Máxima	75,6	18,6	69,3	3,9	2,7
Desvio padrão	10,4	7,4	40,0	1,3	0,4
Coefficiente de variação (%)	18,2	60,2	173,2	52,0	20,0

Fonte: Autoria própria.

Tabela 49: Estatística descritiva para os parâmetros físicos, mensurados na E25a (lagoa Monsarás), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Transparência (m)	Turbidez (UNT)	Sólidos Totais Dissolvidos(mg/L)	MPS (mg/L)
N amostral	6	4	29	6
Média	0,7	29,2	3.222,7	11,1
Mediana	0,7	25,3	310,0	9,6
Mínima	0,3	12,5	140,0	5,1
Máxima	1,0	53,5	10.100,0	26,0
Desvio padrão	0,3	17,4	3.761,3	7,6
Coefficiente de variação (%)	42,9	59,6	116,7	68,5

Fonte: Autoria própria.

Tabela 50: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos, mensurados na E25a (lagoa Monsarás), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Salinidade	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	30	30	29	29	30	29
Média	3,297	27,6	6,5	7,1	5757,1	-30,0
Mediana	0,210	27,1	7,5	7,0	436,2	-59,0
Mínima	0,106	24,9	0,9	6,4	217,5	-275,0
Máxima	9,942	33,0	10,8	7,9	16939,1	263,0
Desvio padrão	3,930	2,1	3,0	0,4	6738,2	184,0
Coefficiente de variação (%)	119,2	7,6	46,2	5,6	117,0	613,3

Fonte: Autoria própria.

Tabela 51: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados na E25a (lagoa Monsarás), entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO₃/L)	Ortofosfato (µg/L)	Nitrito (µg/L)	Silicato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	6	3	3	6	6
Média	62,8	20,3	-	3,1	3,0
Mediana	62,8	19,4	-	3,6	2,3
Mínima	54,8	1,5	-	1,7	1,6
Máxima	69,8	39,8	-	4,0	6,4
Desvio padrão	5,3	19,2	-	1,0	1,8
Coefficiente de variação (%)	8,4	94,6	-	32,3	60,0

Fonte: Autoria própria.

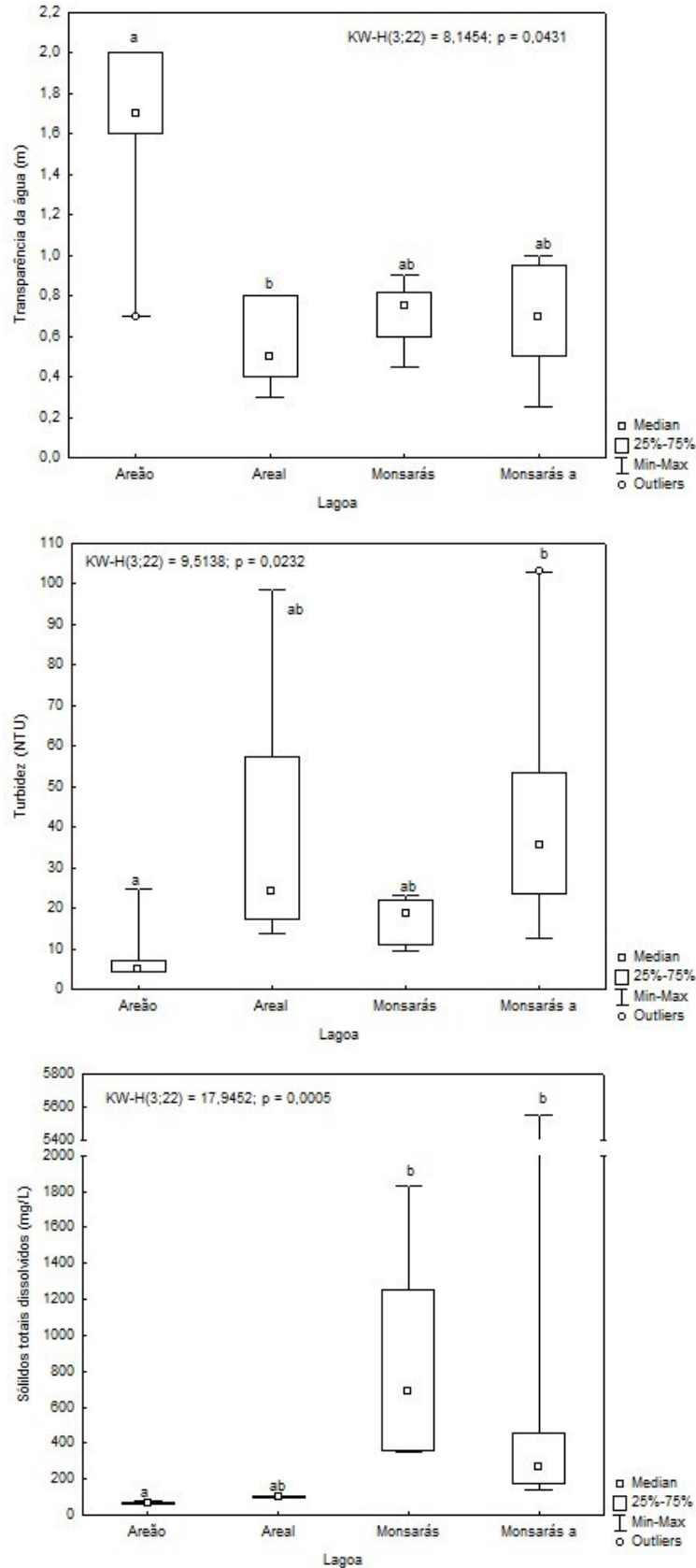
Integração lagoas Areão, Areal e Monsarás (E25 e E25a)

Tabela 52: Estatística descritiva para os parâmetros físicos mensurados nas lagoas Areão, Areal e Monsarás entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Transparência (m)	Turbidez (UNT)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	MPS (mg/L)
N amostral	18	18	79	23
Média	20,8	20,8	1.431,6	10,0
Mediana	18,1	18,1	303,0	10,2
Mínima	4,4	4,4	63,0	0,5
Máxima	57,3	57,3	10.100,0	26,0
Desvio padrão	15,5	15,5	2.667,0	6,9
Coefficiente de variação (%)	74,5	74,5	186,3	69,0

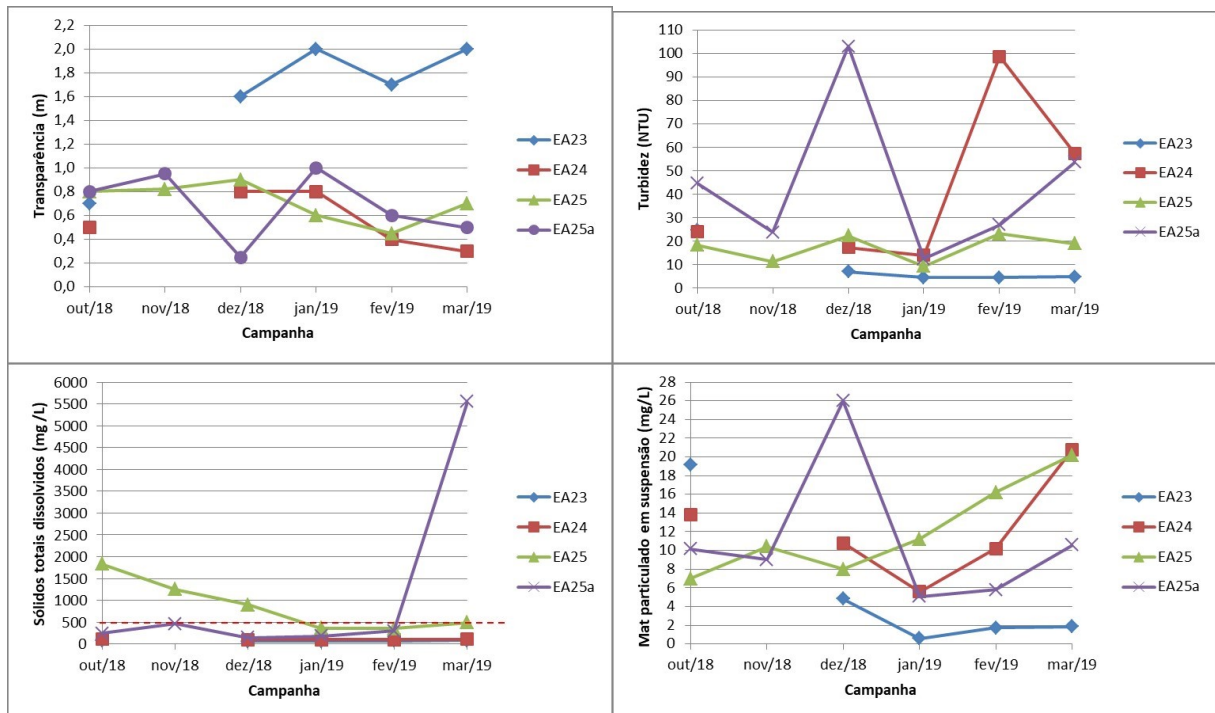
Fonte: Autoria própria.

Figura 29: *Box-plots* para diferenças de parâmetros físicos entre lagoas. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.



Fonte: Autoria própria.

Figura 30: Variação mensal de variáveis físicas mensuradas nas lagoas Areão, Areal e Monsarás, entre outubro de 2018 e março de 2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.



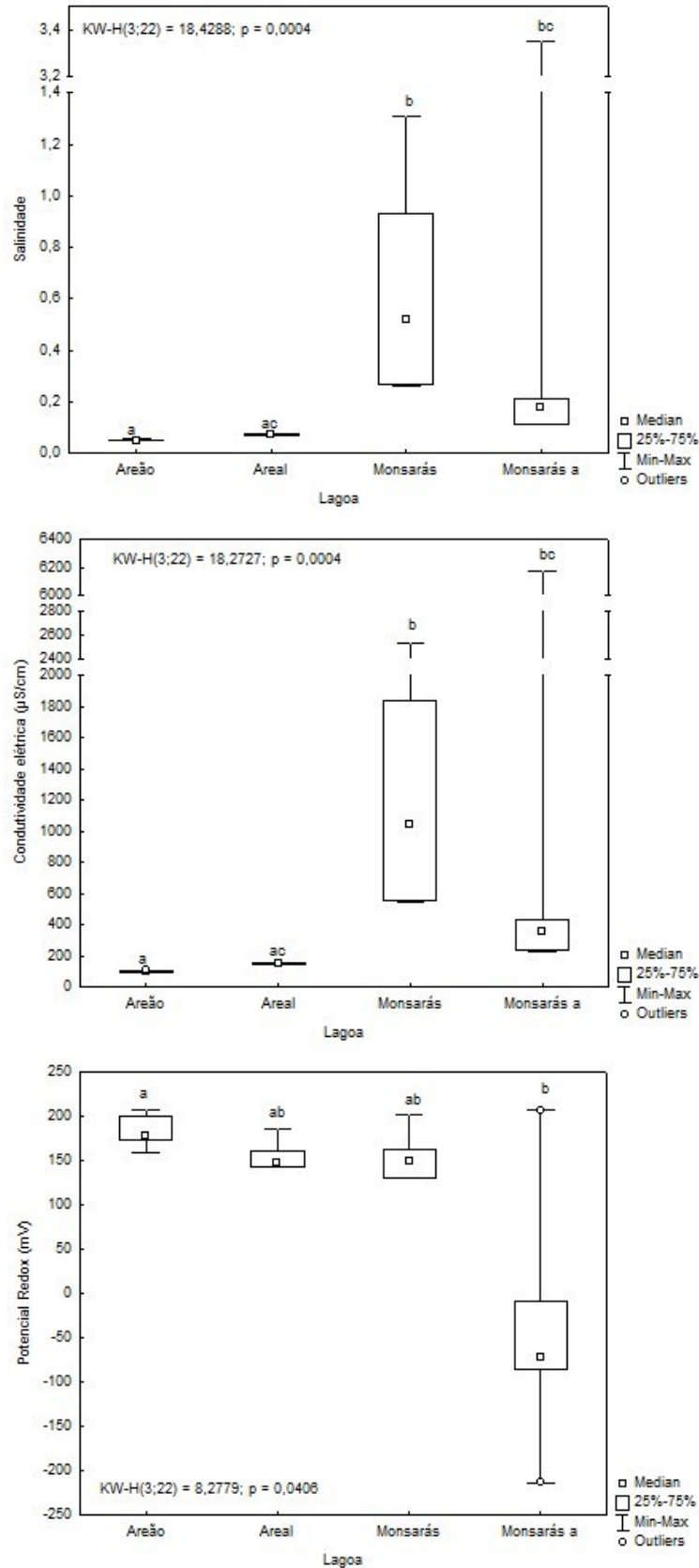
Fonte: Autoria própria.

Tabela 53: Estatística descritiva para a salinidade e parâmetros físico-químicos mensurados nas lagoas Areão, Areal e Monsarás, entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Salinidade	Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Potencial Redox (mV)
N amostral	87	87	79	79	87	79
Média	1,3	28,1	7,0	7,1	2.384,1	92,0
Mediana	0,2	28,4	7,4	7,1	401,6	146,0
Mínima	0,0	24,7	0,9	6,3	90,1	-275,0
Máxima	9,9	33,0	11,1	8,0	16.939,1	510,0
Desvio padrão	2,7	2,3	2,5	0,4	4.661,3	153,5
Coefficiente de variação (%)	207,7	8,2	35,7	5,6	195,5	166,8

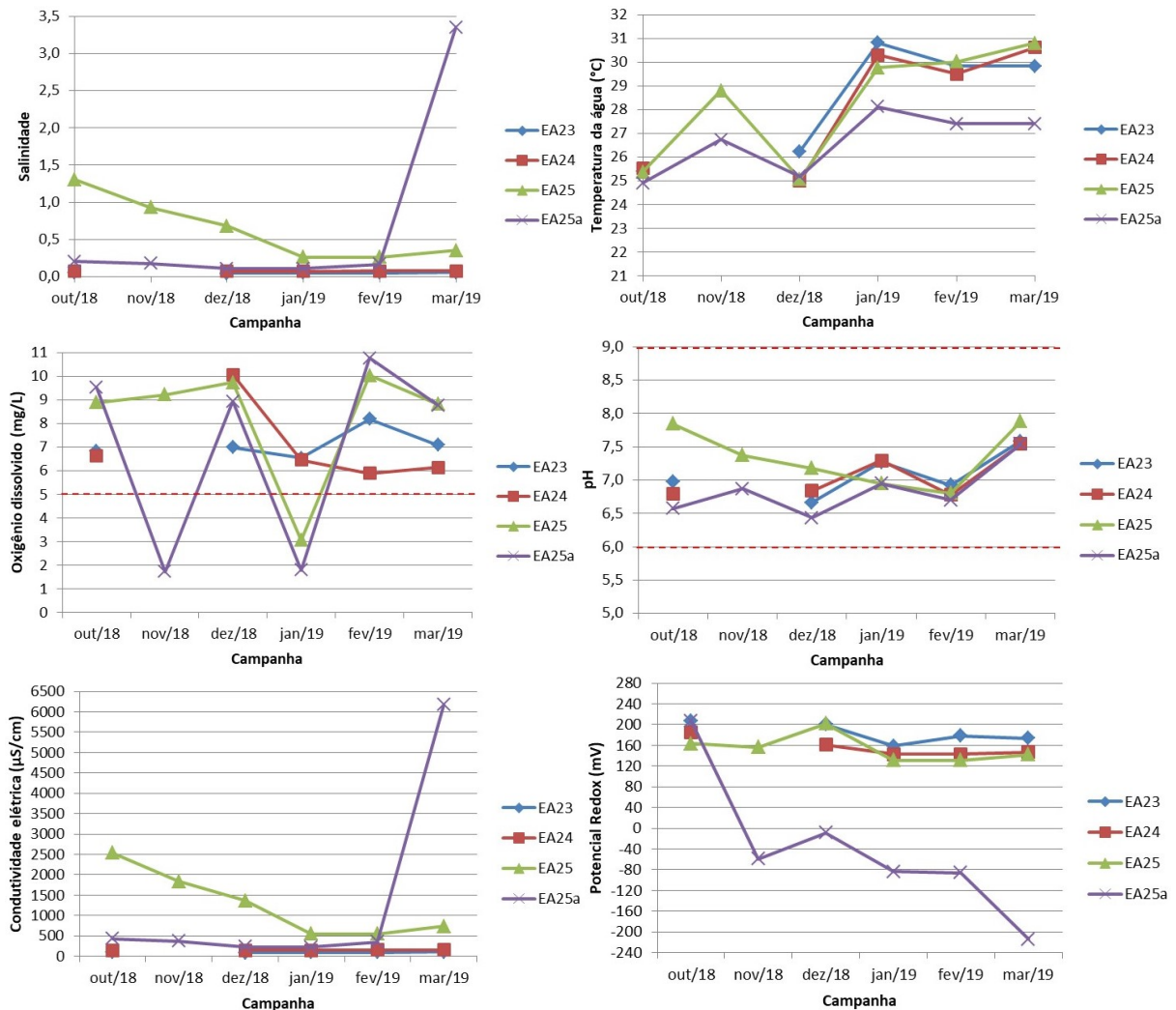
Fonte: Autoria própria.

Figura 31: *Box-plots* para diferenças de parâmetros físico-químicos entre lagoas. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.



Fonte: Autoria própria.

Figura 32: Variação mensal de variáveis físico-químicas mensuradas nas lagoas Areão, Areal e Monsarás, entre outubro de 2018 e março de 2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.



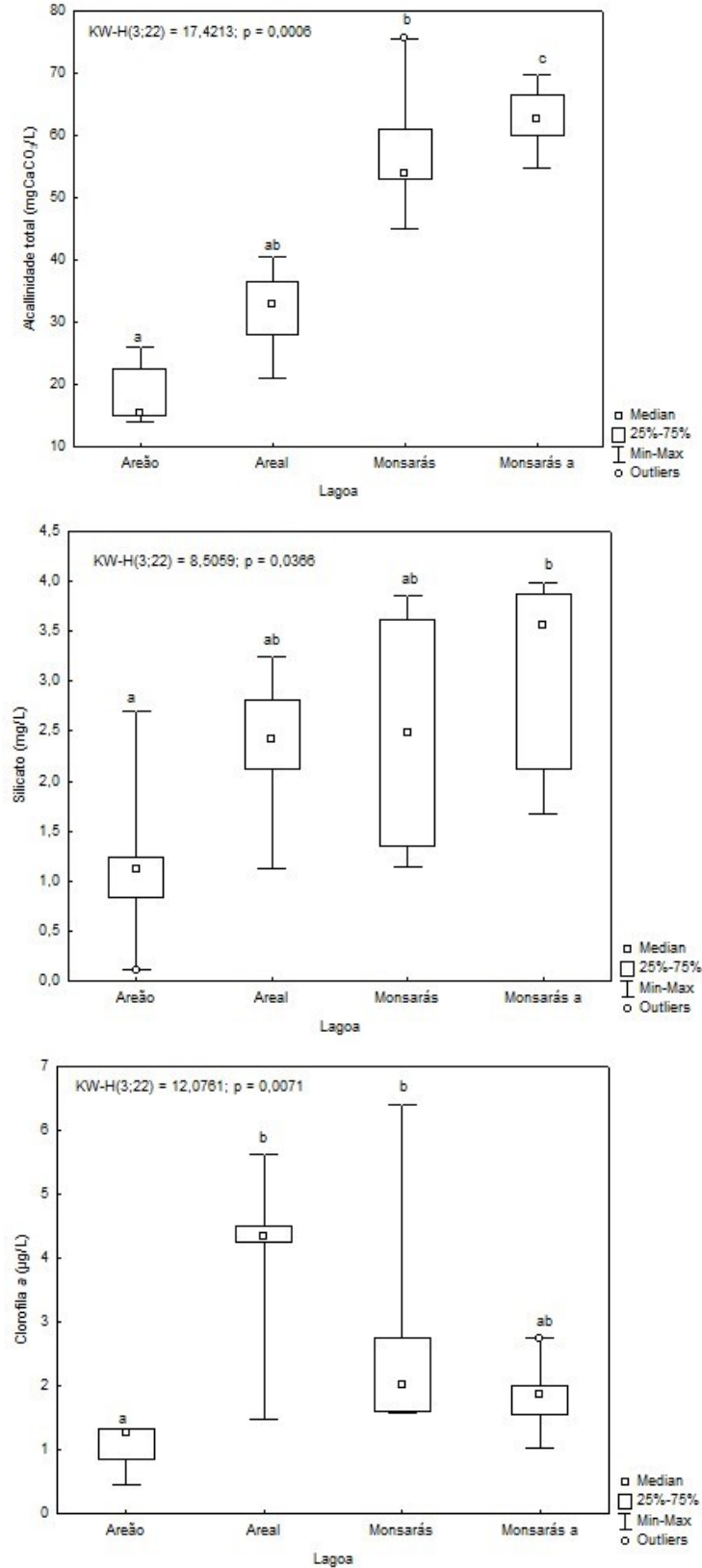
Fonte: Autoria própria.

Tabela 54: Estatística descritiva para parâmetros químicos e biológicos, mensurados nas lagoas Areão, Areal e Monsarás, entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Alcalinidade total (mgCaCO ₃ /L)	Ortofosfato (µg/L)	Nitrito (µg/L)	Silicato (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
N amostral	23	10	12	22	22
Média	42,3	18,5	5,8	2,3	2,4
Mediana	45,0	17,7	0,0	2,3	1,9
Mínima	1,5	1,5	0,0	0,1	0,4
Máxima	75,6	39,8	69,3	4,0	6,4
Desvio padrão	21,2	13,3	20,0	1,2	1,6
Coefficiente de variação (%)	50,1	71,9	344,8	52,2	66,7

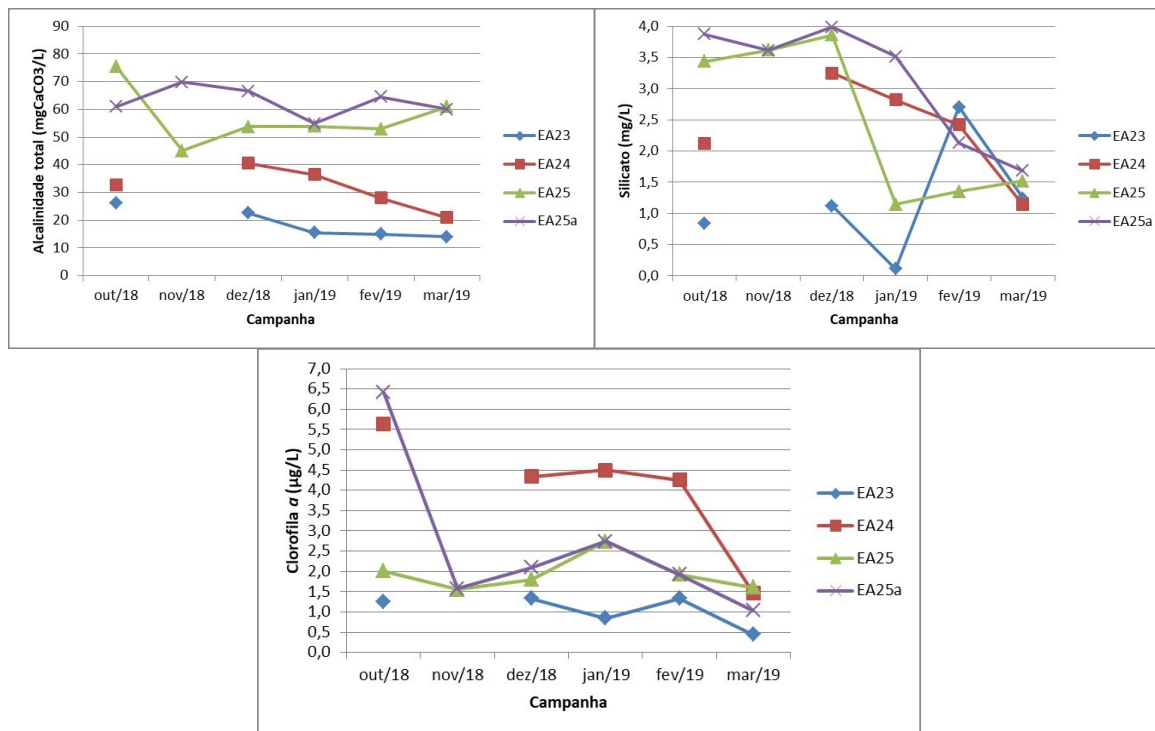
Fonte: Autoria própria.

Figura 33: *Box-plots* para diferenças de parâmetros químicos e clorofila a entre lagoas. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e Comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.



Fonte: Autoria própria.

Figura 34: Variação mensal de variáveis químicas e clorofila a mensuradas nas lagoas Areão, Areal e Monsarás, entre outubro de 2018 e março de 2019. Linhas tracejadas vermelhas representam o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.



Fonte: Autoria própria.

Sedimentos fluviais e lacustres

E17 Rio Guandu

O sedimento do rio Guandu pode ser caracterizado como mineral (matéria orgânica < 10%), pH neutro e condutividade elétrica baixa (Tabela 55). A forte correnteza do canal fluvial na estação amostral E17 não favorece a deposição de material fino.

Tabela 55: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos mensurados no sedimento do rio Guandu, entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Densidade (kg/m ³)	pH (m)	Condutividade elétrica (µS/cm)	Matéria orgânica (%)
N amostral	6	2	2	4
Média	2.730,6	7,2	40,0	0,5
Mediana	2.983,6	7,2	40,0	0,3
Mínima	2.095,3	7,1	30,0	0,1
Máxima	3.111,9	7,3	50,0	1,2
Desvio padrão	487,6	0,1	14,1	0,5
Coefficiente de variação (%)	17,9	1,4	35,3	100,0

Fonte: Autoria própria.

Rio Doce

O sedimento do rio Doce pode ser caracterizado como mineral (matéria orgânica < 10%), pH neutro e condutividade elétrica baixa (Tabela 56). A hidrodinâmica do canal fluvial nas estações amostrais E0, E21, E22 e E26 não favorece a deposição de material fino.

Tabela 56: Estatística descritiva para parâmetros físicos, físico-químicos e químicos mensurados no sedimento do rio Doce, entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Densidade (kg/m³)	pH (m)	Condutividade elétrica (µS/cm)	Matéria orgânica (%)
N amostral	23	8	8	15
Média	2.695,9	7,0	38,8	0,3
Mediana	2.976,7	7,3	35,0	0,2
Mínima	1.615,4	5,5	30,0	0,1
Máxima	3.150,1	7,7	60,0	0,5
Desvio padrão	523,3	0,7	11,3	0,1
Coefficiente de variação (%)	19,4	10,0	29,1	33,3

Fonte: Autoria própria.

Lagoas do Limão, Nova e Juparanã

Diferentemente dos sedimentos dos canais fluviais o sedimento lacustre se caracteriza como orgânico (matéria orgânica > 10%) e com elevada condutividade elétrica, mas condições de pH predominantemente neutro (Tabela 57). A condutividade elétrica cerca de 9 vezes maior do que a dos sedimentos dos canais fluviais deve-se as condições físico-químicas distintas do fundo da coluna d'água dos lagos, geralmente anóxicas e com condições redutoras promovendo o fluxo de íons da água intersticial. Devido a relativa profundidade dos lagos (Zmax >10m) estes sistemas acumulam materiais finos onde se acumulam detritos orgânicos de origem autóctone e alóctone. Ressalta-se que as amostragens têm sido realizadas em áreas mais profundas e fora da influência da turbulência do vento e eventual ressuspensão de sedimento de fundo.

Tabela 57: Estatística descritiva para parâmetros físico-químicos e químicos mensurados no sedimento das lagoas do Limão, Nova e Juparanã, entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Densidade (kg/m³)	pH (m)	Condutividade elétrica (µS/cm)	Matéria orgânica (%)
N amostral	18	6	6	12
Média	2.108,4	6,7	346,7	24,6
Mediana	2.266,9	6,9	360,0	24,3
Mínima	1.503,3	5,6	260,0	10,8
Máxima	2.463,6	7,4	380,0	43,7
Desvio padrão	328,6	0,7	43,7	10,6
Coefficiente de variação (%)	15,6	10,4	12,6	43,1

Fonte: Autoria própria.

Lagoas Areão, Areal e Monsarás

Os sedimentos lacustres das lagoas são mais suscetíveis a ressuspensão pela ação do vento devido a menor profundidade destes sistemas (<3,0 m). Ainda assim, o sedimento se caracteriza como orgânico (matéria orgânica > 10%), com elevada condutividade elétrica pela atividade iônica na água intersticial, e condições de pH predominantemente neutro (Tabela 58). Ressalta-se diferença do conteúdo orgânico do sedimento entre as estações E25 e E25a na lagoa Monsarás (Figura 34). Na primeira estação o sedimento é mineral e predominantemente arenoso, evidenciando a influência marinha no sistema lagunar. Na estação E25a o sedimento é composto por quase 60% por material orgânico, sugerindo a contribuição alóctone de detritos vegetais.

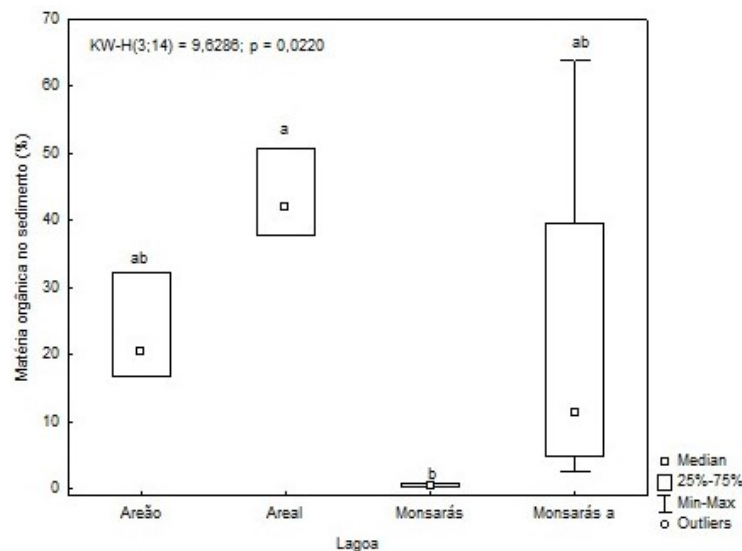
Tabela 58: Estatística descritiva para parâmetros físico-químicos e químicos mensurados no sedimento das lagoas Areão, Areal e Monsarás, entre 10/2018 e 03/2019.

Estatística	Densidade (kg/m ³)	pH (m)	Condutividade elétrica (µS/cm)	Matéria orgânica (%)
N amostral	22	8	6 (*)	14
Média	2.363,4	7,4	318,3	20,8
Mediana	2.360,5	7,5	330,0	16,1
Mínima	1.486,4	7,1	260,0	0,3
Máxima	2.967,4	7,8	360,0	63,9
Desvio padrão	427,8	0,2	39,7	21,2
Coefficiente de variação (%)	18,1	2,7	12,5	101,9

Fonte: Autoria própria.

* Condutividade elétrica: não são considerados, na estatística descritiva, os valores obtidos para a E25a, da lagoa Monsarás, onde os valores (> 4.000,00 µS/cm) são superiores ao limite de detecção do medidor portátil de condutividade no sedimento.

Figura 35: Box-plots para diferenças de matéria orgânica no sedimento entre lagoas. Diferenças significativas entre os ambientes (Análise de kruskal-Wallis e comparações múltiplas entre os valores de Z' e p) são representadas por letras diferentes.



Fonte: Autoria própria.

1.3 CONCLUSÕES

Os resultados do estudo quanto aos aspectos limnológicos estruturais dos ecossistemas aquáticos fluviais, lacustres e estuarinos, embora ainda preliminares, ainda não possibilitam avaliar evidências de impactos de rejeitos de minério sobre a biota aquática. Entretanto constata-se uma distinção entre os ecossistemas fluviais e lacustres.

Os sistemas fluviais são, obviamente, distintos pela ordem fluvial com a magnitude de vazão. Cabe ressaltar que o Rio Gaundu apresenta elevada turbidez e concentração de material em suspensão, sobretudo durante o período chuvoso. O Rio Doce apresenta um gradiente longitudinal com influência marinha na estação mais à jusante (E26). Ambos os sistemas são sujeitos à sazonalidade de vazão em decorrência do regime de pluviosidade entre períodos húmido e seco.

Os sistemas lacustres se distinguem em função da profundidade e volume. Os lagos mais profundos são considerados como sistemas intermitentes condicionados pela sazonalidade da incidência de radiação solar, com estratificação térmica no verão e em parte da primavera e outono. Sob estas condições pode ocorrer anoxia no fundo com condições redutoras que favorecem a difusão de substâncias (i.e., nutrientes e contaminantes) da água intersticial para o fundo da coluna d'água. O lago Juparanã é o mais eutrófico com maiores concentrações de pigmentos fotossintetizantes, embora os demais lagos também apresentem maiores concentrações de pigmentos, sobretudo de pigmentos e cianobactérias em profundidades intermediárias (i.e., metalímnio).

As lagoas, como sistemas mais rasos são mais dinâmicas em termos de hidrodinâmica devido à mistura da coluna d'água pela exposição ao vento. Por isso, podem apresentar maior turbidez e disponibilidade de nutrientes e contaminantes previamente retidos nos sedimentos lacustres. A estação 25a da lagoa Monsarás parece ser influenciada por um aporte de águas salobras junto ao fundo, além de considerável conteúdo de matéria orgânica.

Os dados apresentados até o momento ainda são incompletos em relação a alguns parâmetros, cujas amostras ainda não foram analisadas. É necessário a integração deste relatório com os dados e informações de outros relatórios como hidrologia, elementos traço, composição elementar, isótopos estáveis, sedimentologia, fitoplâncton, zooplâncton, perifíton e macrófitas aquáticas para uma avaliação mais completa.

A análise integrada dos subprojetos do Anexo 3 dulcícola, embora ainda preliminar considerando a base de 6 meses de dados, é feita na Seção 2 do presente Relatório. A avaliação das condições limnológicas fluviais, lacustres e estuarinas depende dos parâmetros do presente relatório, incluindo alguns parâmetros que foram incorporados como distribuição vertical de pigmentos de cianobactérias (i.e., ficocianina) por fluorimetria *in vivo*. Recomenda-se que seja realizada batimetria e estudo morfométrico nos lagos Juparanã e Limão e nas lagoas Areão, Areal e Monsarás para uma melhor compreensão da dinâmica limnológica destes sistemas.

Em relação a extensão do Programa de Monitoramento, o período de um ano com amostragens mensais permite avaliar a variabilidade intra-anual com os efeitos da sazonalidade da vazão nos sistemas fluviais e radiação solar nos ecossistemas lacustres. Cabe ressaltar que a continuidade do Programa de Monitoramento ao longo dos anos possibilita avaliar alterações nos padrões limnológicos em decorrência da regularidade do clima e de condições hidroclimáticas extremas, como estiagens prolongadas, como em 2015 e 2016 ou grandes cheias, como em dezembro de 2013.

2 SUBPROJETO: HIDROLOGIA - MONITORAMENTO DE FLUXOS DE ÁGUA E SEDIMENTOS

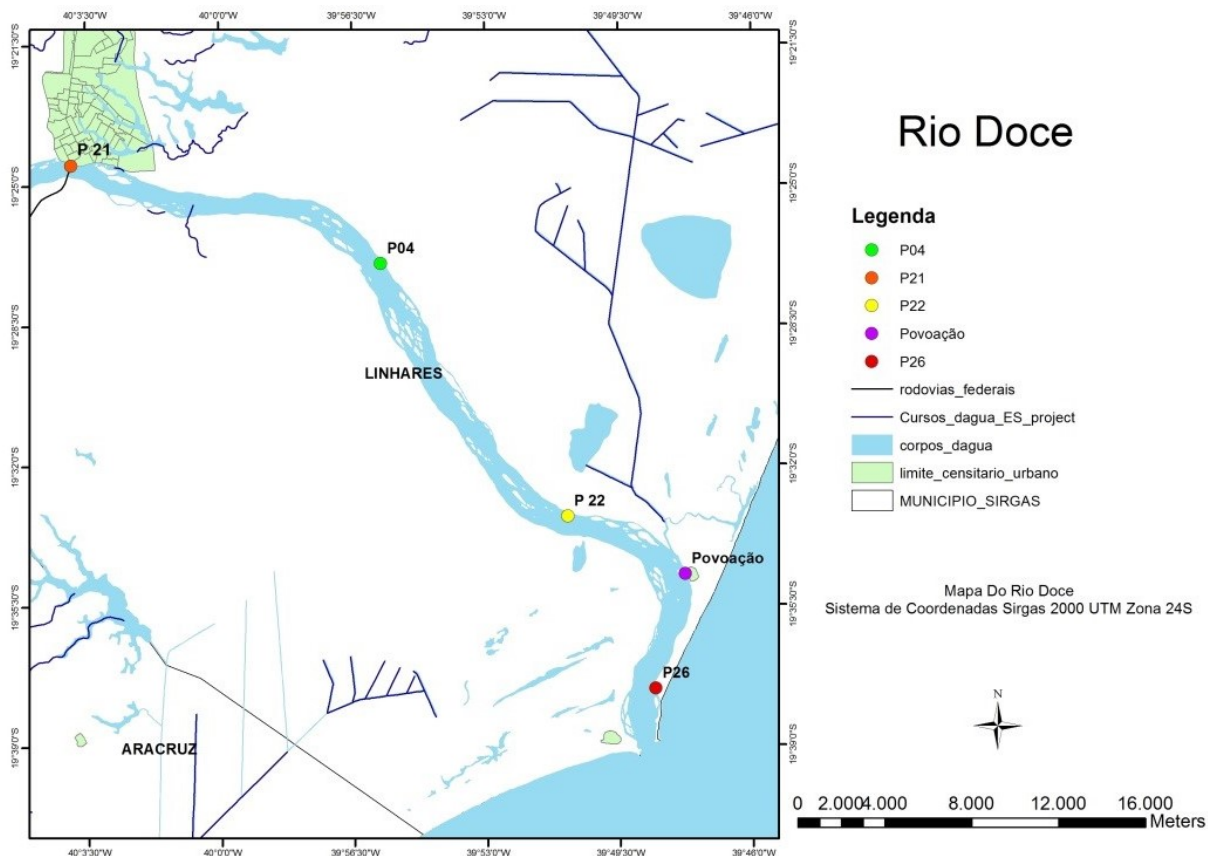
2.1 OBJETIVO

Monitorar descargas líquidas e sólidas no rio Doce, bem como fluxos e variações de níveis d'água, a fim de subsidiar os pesquisadores das áreas de biologia e modelagem ambiental, que integram a Rede Rio Doce, na caracterização do ambiente estudado.

2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pontos de monitoramento estão localizados no Baixo Rio Doce, entre Linhares e a foz do rio em Regência (Figura 36).

Figura 36: Mapa de localização dos pontos de monitoramento do PMBA.



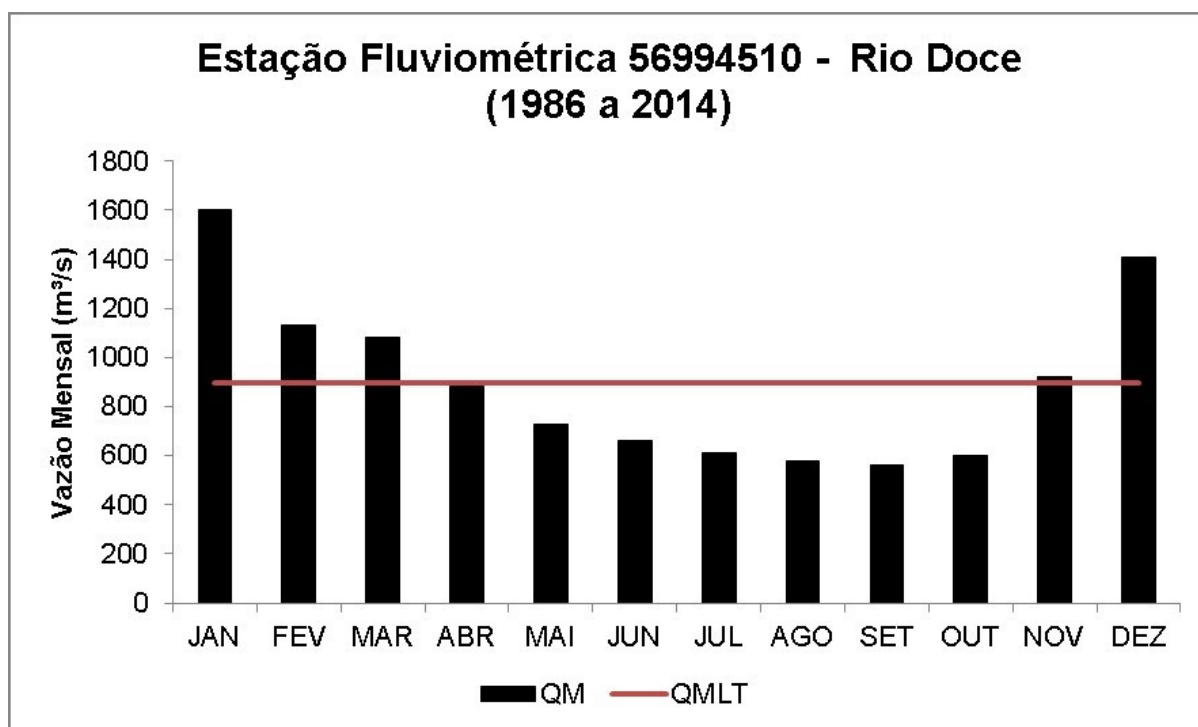
Fonte: Autoria própria.

Nos pontos P21 e P22 são realizadas medições de fluxos de águas (vazão) e de sedimentos (carga de sedimentos). Nos pontos P04 e P26 são realizadas medições de fluxo de água, salinidade e temperatura. Em todos os pontos é feito monitoramento de níveis d'água, exceto no P22, onde não foi autorizada a entrada da equipe de campo.

As medições de vazão foram feitas com ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*). As estimativas de fluxos de sedimentos foram feitas pelo Método modificado de Einstein, conforme apresentado em Carvalho (2008). Níveis d'água foram obtidos com sensores de pressão. Salinidade e temperatura foram medidas *in situ* com sonda multiparâmetros portátil.

O regime hidrológico do Baixo Rio Doce é caracterizado por um período seco, entre abril e setembro, e um período chuvoso, de outubro a março. O posto fluviométrico 56994510, localizado em Colatina, apresenta dados consistidos de vazões médias mensais (QM) para o período 1986 a 2014 (Figura 37) (ANA, 2019). As máximas vazões médias mensais ocorreram nos meses de janeiro e dezembro, com valores de 3.184 m³/s e 3.023 m³/s, respectivamente. As mínimas vazões médias mensais ocorreram nos meses de setembro e outubro, com valores de 393 m³/s e 367 m³/s, respectivamente. Para esse período de dados disponível, a vazão média mensal de longo termo (QMLT) foi 897 m³/s, sendo 1.124 m³/s, para o período chuvoso, e 670 m³/s, para o período seco.

Figura 37: Vazões médias mensais (QM) no rio Doce – Estação Corpo de Bombeiros, localizada em Colatina/ES; é indicada a vazão média mensal de longo termo (QMLT).



Fonte: Autoria própria.

Os meses de janeiro e dezembro são típicos para ocorrência de níveis d'água acima da cota de inundação de Colatina (629 cm) e Linhares (345 cm), estabelecidas pelo monitoramento do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE). Estas cotas estão referenciadas aos zeros das régua limnimétricas instaladas nesses locais (CPRM, 2019).

2.2.1 Fluxos e Níveis D'água

As vazões medidas nos pontos de monitoramento P21, P04, P22 e P26, são apresentadas no Quadro 1. Na campanha de janeiro de 2019 (C4) não foi possível realizar as campanhas em datas sequenciais, como nas demais campanhas.

Quadro 1: Resumo das medições de vazões obtidas nas campanhas de monitoramento.

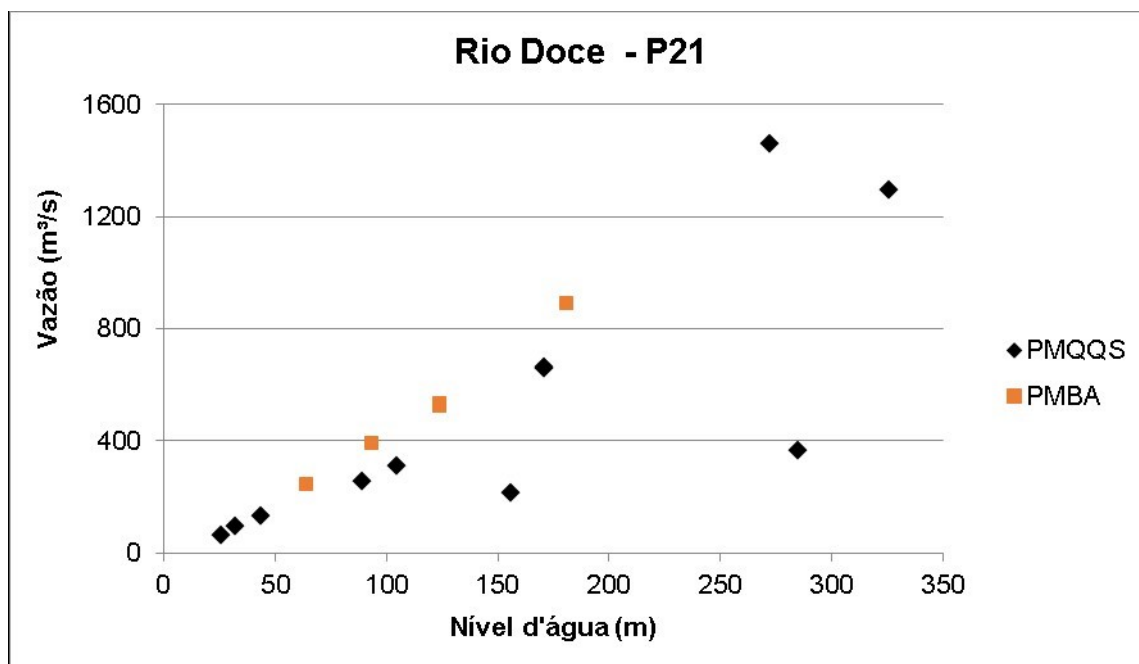
Campanha	Ponto	Data Hora	Vazão (m³/s)	Profundidade média (m)
C1 (out/2018)	P21	04/10/2018 07:53	244	0,8
C2 (nov/2018)	P21	22/11/2018 07:50	523	1,6
C3 (dez/2018)	P21	13/12/2018 07:56	891	2,3
C4 (jan/2019)	P21	18/01/2019 08:51	392	1,4
C5 (fev/2019)	P21	13/02/2019 08:27	536	1,5
C1 (out/2018)	P22	03/10/2018 00:00	NAN	NAN
C2 (nov/2018)	P22	21/11/2018 08:21	473	0,8
C3 (dez/2018)	P22	12/12/2018 06:51	1078	1,5
C4 (jan/2019)	P22	30/01/2019 08:45	138	0,6
C5 (fev/2019)	P22	12/02/2019 07:10	572	0,9
C1 (out/2018)	P04	05/10/2018 13:40	245	1,0
C2 (nov/2018)	P04	23/11/2018 11:10	467	1,0
C3 (dez/2018)	P04	14/12/2018 07:45	850	1,5
C4 (jan/2019)	P04	19/01/2019 08:50	418	1,2
C5 (fev/2019)	P04	14/02/2019 08:38	457	1,2
C1 (out/2018)	P26	02/10/2018 15:55	237	1,3
C2 (nov/2018)	P26	20/11/2018 14:15	470	1,5
C3 (dez/2018)	P26	11/12/2018 06:23	903	1,7
C4 (jan/2019)	P26	31/01/2019 09:10	232	1,4
C5 (fev/2019)	P26	11/02/2019 09:10	554	1,1

Fonte: Autoria própria.

Obs.: 1. Níveis d'água do P21 obtidos na estação fluviométrica 56998200. 2. Não foi possível instalar sensor de nível no ponto P22. 3. Não foi possível realizar medição no ponto P22 na campanha de outubro (NAN), por indisponibilidade de embarcação.

As vazões medidas no ponto P21 estão de acordo com os níveis d'água e vazões medidos no PMQQS, na mesma seção, conforme apresentado na Figura 38. A continuidade deste monitoramento é necessária para o estabelecimento de curva de descarga, ainda não existente para esta seção de monitoramento.

Figura 38: Níveis d'água e vazões medidos no PMQQS e no PMBA no P21.



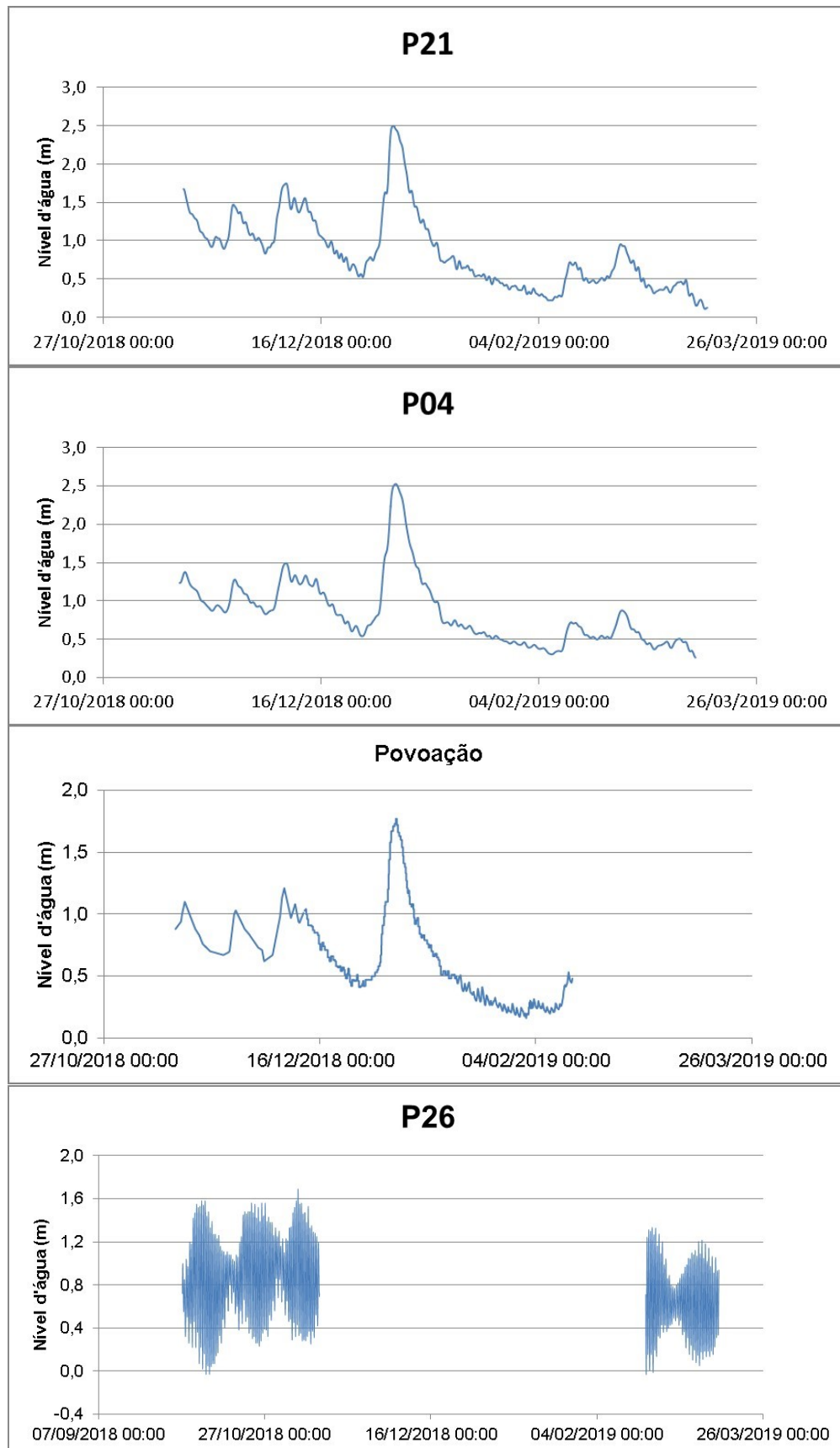
Fonte: Autoria própria.

Foram feitas medições salinidade e temperatura em pontos nas seções transversais, superfície e fundo, a fim de investigar a ocorrência de água salobra ou salgada no interior do rio, na região próxima à foz. Nas campanhas de monitoramento realizadas até o momento, os resultados desses parâmetros, medidos no P26 (localizado mais próximo à foz do rio Doce), indicaram a ocorrência apenas de água doce, com ausência de estratificação. Considerando as baixas vazões medidas nas campanhas C1 e C4, verifica-se que água salobra terá condições de ocorrer neste ponto somente em níveis d'água do rio muito baixos, associados a marés de maiores amplitudes.

Nesse sentido, o trecho do rio Doce localizado entre os pontos de monitoramento P21 e P26 apresentou fluxo unidirecional. Cabe ressaltar que o sensor de nível d'água do ponto P26 está instalado mais próximo à foz, estando sujeito ao regime de marés, mas este local não apresentou mudança de direção do fluxo nas 5 campanhas realizadas.

A Figura 39 apresenta gráficos de níveis d'água nos pontos P21, P04 e P26. Adicionalmente, foram feitas medições de níveis d'água, em seção do rio Doce, localizada em Povoação. Os resultados obtidos mostram comportamento semelhante entre os pontos localizados no interior do rio. O sensor de nível do P26 apresentou problemas, não sendo possível obtenção dos dados para todo o período monitorado.

Figura 39: Níveis d'água medidos no rio Doce.



Fonte: Autoria própria.

2.2.2 Fluxos de Sedimentos

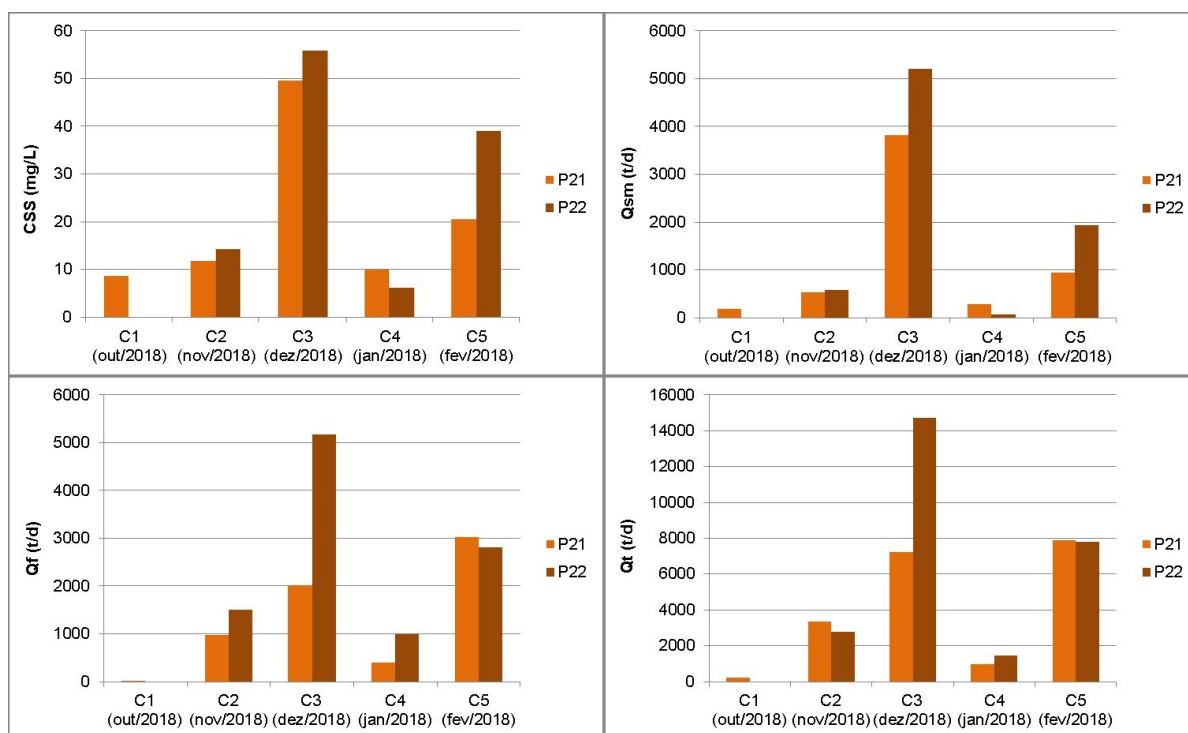
Nos dois pontos onde é feito monitoramento sedimentométrico, P21 e P22, os sedimentos suspensos apresentaram características semelhantes, com predominância de siltes (0.004 a 0.0624 mm), para 57% das amostras coletadas, 34% de argilas (< 0,004 mm) e 9% de areias (0,0625 a 1,000 mm). O sedimento de fundo era composto de areias, correspondendo a 92% das amostras coletadas.

Embora os sedimentos de fundo tenham apresentado características semelhantes em P21 e P22, observou-se que as descargas sólidas de sedimentos de fundo estimadas para o P22 foram superiores às estimadas para o P21, na maior parte das campanhas. Tal fato pode estar relacionado às características geométricas das seções monitoradas, sendo a largura da P22 quase o dobro da seção P21.

Os resultados de estimativas de fluxos de sedimentos mostram a variabilidade deste parâmetro, tanto na escala espacial quanto na temporal. Desse modo, o ponto P22 pode quantificar de forma mais apropriada o aporte de sedimentos para a foz do rio Doce e zona costeira adjacente.

Os parâmetros concentrações de sedimentos suspensos e vazões apresentaram valores relacionados, ou seja, valores maiores de vazão corresponderam a valores maiores de concentração de sedimentos suspensos (CSS) e descargas sólidas em suspensão (Qsm), de fundo (Qf) e total (Qt) (Figura 40).

Figura 40: Resumo sedimentométrico dos dados medidos no rio Doce nos pontos P21 e P22. (a) Concentração de sedimentos suspensos; (b) Descarga sólida de sedimentos em suspensão; (c) Descarga sólida de sedimentos de fundo; (d) Descarga sólida total de sedimentos.



Fonte: Autoria própria.

2.3 CONCLUSÃO

A quantificação de fluxos d'água e do aporte de descargas de sedimentos é importante para o entendimento tanto do ambiente dulcícola, quanto do ambiente marinho adjacente à foz do rio Doce. Nesse sentido, identifica-se a necessidade de manutenção dos pontos de monitoramento de descargas sólidas, P21 e P22.

Para acompanhamento da interação fluvio-marinha é necessária a continuidade do monitoramento de fluxos d'água, salinidade e temperatura no ponto P26, além de níveis d'água nos pontos P26 e Povoação.

Tendo em vista a proximidade entre os pontos P21 e P04, sugere-se a exclusão do ponto de monitoramento P04, pois a dinâmica deste ponto pode ser explicada pelo ponto P21.

2.4 REFERÊNCIAS

ANA. HIDROWEB. Acesso de registros de banco de dados fluviométrico e pluviométrico. Disponível em: www.ana.gov.br. Acesso em: fevereiro de 2019.

CPRM. SACE. Bacia do rio Doce. Disponível em: www.cprm.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas. Acesso em: fevereiro de 2019.

CARVALHO, N O. Hidrossedimentologia prática. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

3 SUBPROJETO: CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA GLOBAL PARA COMPREENSÃO DO APORTE DE ÁGUA DOCE NO AMBIENTE ESTUARINO-MARINHO DO RIO DOCE

3.1 OBJETIVO

O objetivo deste projeto é subsidiar a compreensão das relações chuva e vazão nas diferentes subbacias/regiões hidrográficas que compõem a bacia do rio Doce e o consequente aporte de água na seção de controle rio-estuário.

3.2 INTRODUÇÃO

A grande área da bacia do rio Doce e a sua complexidade no que tange aos aspectos ambientais, sobretudo uso do solo, pedologia, altimetria e hidrologia, levou a equipe a decidir a cumprir as etapas finais do projeto por meio da modelagem hidrológica da bacia, tendo sido escolhido o modelo SWAT – Soil and Water Assessment Tool. Trata-se de um modelo apropriado para ser aplicado em bacias de pequeno a grande porte, desenvolvido para simular a qualidade e a quantidade de águas superficiais e subterrâneas e prever o impacto ambiental do uso da terra, práticas de manejo da terra e mudanças climáticas. O modelo foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos EUA (USDA) e é utilizado por pesquisadores de todo o mundo, inclusive do Brasil.

Os procedimentos executados pela equipe responsável pelo presente subprojeto estão de acordo com o escopo apresentado à Fundação RENOVA, complementado com a metodologia necessária para a aplicação do modelo SWAT.

3.3 PLUVIOMETRIA

Neste item estão descritos a metodologia e os resultados obtidos sobre a distribuição das chuvas na bacia do rio Doce.

As estações pluviométricas existentes no interior e áreas lindeiras da bacia do Rio Doce foram identificadas por meio de consultas à Agência Nacional de Águas, Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – Incaper, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

As estações existentes tiveram suas posições geográficas determinadas em shapefile e seus dados foram analisados em termos de consistência, disponibilidade e modo de obtenção, tendo as mesmas sido divididas em dois grupos: (1) As estações que possuem longa série histórica e, (2) As estações que apresentam dados diários atuais.

No grupo das estações de longa série histórica ocorrem as com séries descontinuadas e as que tiveram coleta de dados interrompidas. Assim, foram escolhidas aquelas com pelo menos 30 anos de dados contínuos entre 1985 e 2014. Este grupo é composto por 90 estações, todas operadas pela Agência Nacional de Água e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (ANA/CPRM).

O Quadro 2 apresenta dados das estações que apresentam longa série histórica, enquanto a Figura 41 apresenta a espacialização das mesmas ao longo da bacia do rio Doce.

Quadro 2: Estações pluviométricas de longa série histórica na bacia do rio Doce com dados entre 1985 e 2014.

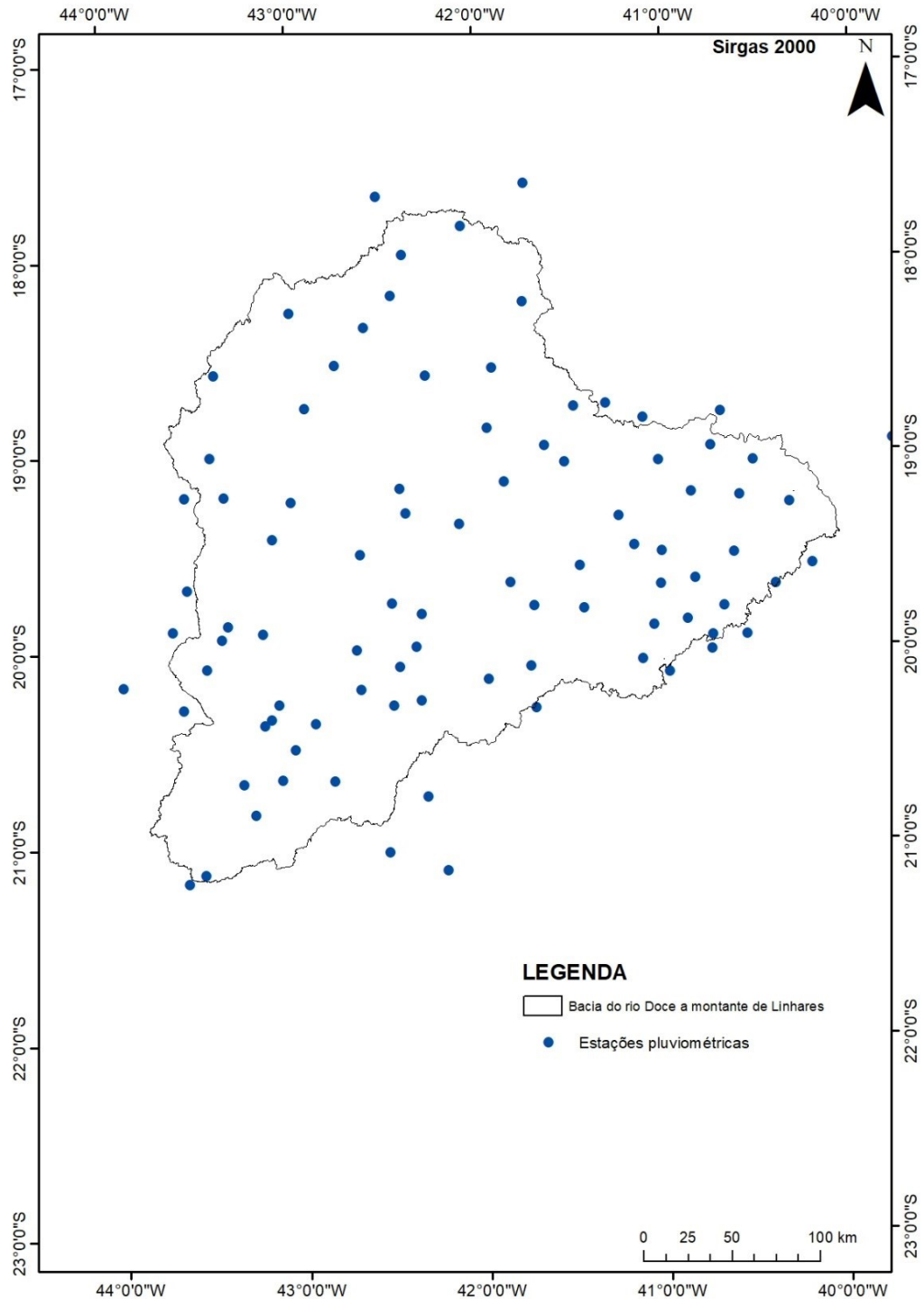
Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	2042010	Abre Campo	-20.69055556	-43.29944444
ANA/CPRM	2043009	Acaiaca Jusante	-20.67027778	-43.08805556
ANA/CPRM	2041023	Afonso Cláudio montante	-20.3625	-43.14388889
ANA/CPRM	1742019	Água Boa	-20.39	-43.18027778
ANA/CPRM	1840000	Águia Branca	-17.84555556	-42.07555556
ANA/CPRM	1941012	Alto Rio Novo	-17.99222222	-42.39388889
ANA/CPRM	1941006	Assaraí montante	-18.57472222	-41.91777778
ANA/CPRM	1941003	Baixo Guandu	-18.23861111	-41.74861111
ANA/CPRM	1940016	Barra de São Gabriel	-18.88305556	-41.95027778
ANA/CPRM	1941005	Barra do Cuieté jusante	-18.77694444	-41.48277778
ANA/CPRM	1839006	Barra Nova	-18.55277778	-42.76416667
ANA/CPRM	1942030	Belo Oriente	-19.31638889	-42.39611111
ANA/CPRM	2042014	Bicuíba	-18.59277778	-43.4125
ANA/CPRM	1942002	Bom Jesus do Galho	-18.61194444	-42.27861111
ANA/CPRM	2043026	Braz Pires	-18.97638889	-41.64027778
ANA/CPRM	1942031	Cachoeira dos Óculos montante	-19.76944444	-42.47694444
ANA/CPRM	1943010	Caeté	-18.36305556	-42.60222222
ANA/CPRM	1940020	Caldeirão	-18.27972222	-43.00055556
ANA/CPRM	1841003	Campanário	-18.77222222	-42.93111111
ANA/CPRM	1742014	Capelinha	-18.20111111	-42.45527778
ANA/CPRM	1940005	Cavalinho	-19.79888889	-41.70611111
ANA/CPRM	1840010	Cedrolândia	-19.06166667	-41.53277778
ANA/CPRM	1841018	Central de Minas	-19.67833333	-41.83611111
ANA/CPRM	1940006	Colatina - Corpo de Bombeiros	-19.16166667	-41.86222222
ANA/CPRM	2043059	Colégio Caraça	-19.01666667	-43.44416667
ANA/CPRM	1943002	Conc. do Mato Dentro	-19.44027778	-43.11861111
ANA/CPRM	1842005	Coroaci	-19.59472222	-41.45805556
ANA/CPRM	2143003	Desterro do Melo	-19.2175	-43.37416667
ANA/CPRM	1841019	Divino de Laranjeiras	-19.99888889	-42.3475
ANA/CPRM	1942008	Dom Cavati	-19.25027778	-43.01444444
ANA/CPRM	2041008	Dores do Manhumirim	-19.34305556	-41.24611111

Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	2043056	Fazenda Água Limpa Jusante	-19.92277778	-43.17777778
ANA/CPRM	2042031	Fazenda Cachoeira D'Antas	-19.94527778	-43.40111111
ANA/CPRM	2043027	Fazenda Ocidente	-19.81111111	-41.43777778
ANA/CPRM	2043011	Fazenda Paraíso	-19.37361111	-42.105
ANA/CPRM	2142004	Fazenda Umbaúbas	-19.4925	-41.16166667
ANA/CPRM	2041048	Fazenda Vargem Alegre	-19.83361111	-42.31777778
ANA/CPRM	1943003	Ferros	-19.52472222	-42.64416667
ANA/CPRM	2040008	Garrafão (DNOS)	-19.88083333	-43.3675
ANA/CPRM	1841020	Governador Valadares	-20.10805556	-41.72833333
ANA/CPRM	1842007	Guanhães	-20.10361111	-42.44
ANA/CPRM	1941009	Ibituba	-20.29888889	-42.47805556
ANA/CPRM	1941000	Ipanema	-20.21472222	-42.65222222
ANA/CPRM	1940012	Itaimbé	-20.01138889	-42.67416667
ANA/CPRM	1941018	Itanhomi	-20.09694444	-43.48805556
ANA/CPRM	1940000	Itarana	-20.6825	-42.80666667
ANA/CPRM	1940022	Jacupemba	-20.38472222	-42.90277778
ANA/CPRM	1943024	José de Melo	-20.28555556	-43.09888889
ANA/CPRM	1741006	Ladainha	-20.8475	-43.24194444
ANA/CPRM	2043002	Lagoa Grande	-20.51666667	-43.01666667
ANA/CPRM	1941008	Laranja da Terra	-21.14916667	-43.52
ANA/CPRM	1742017	Malacacheta	-20.27722222	-42.32555556
ANA/CPRM	1841009	Mantenópolis	-20.17055556	-41.96111111
ANA/CPRM	1942029	Mario de Carvalho	-19.90111111	-41.05805556
ANA/CPRM	2042017	Matipó	-20.07861111	-41.12138889
ANA/CPRM	1943025	Morro do Pilar	-18.98555556	-40.74611111
ANA/CPRM	1941019	Mutum	-19.69111111	-41.02
ANA/CPRM	1942032	Naque Velho	-19.18861111	-42.42277778
ANA/CPRM	1940013	Novo Brasil	-19.52361111	-41.01416667
ANA/CPRM	1940009	Pancas	-19.53083333	-40.62305556
ANA/CPRM	2142002	Patrocínio do Muriaé	-19.2375	-40.59138889
ANA/CPRM	2043010	Piranga	-19.69222222	-40.39805556
ANA/CPRM	2042018	Ponte Nova jusante	-19.66361111	-40.83527778
ANA/CPRM	2043014	Porto Firme	-19.87444444	-40.87444444
ANA/CPRM	2042008	Raul Soares montante	-19.27416667	-40.32083333
ANA/CPRM	1941004	Resplendor jusante	-19.05777778	-40.51638889
ANA/CPRM	1940023	Rio Bananal	-19.22027778	-40.85333333
ANA/CPRM	2042011	Rio Casca	-19.05916667	-41.0275
ANA/CPRM	1943001	Rio Piracicaba	-19.80527778	-40.67888889
ANA/CPRM	1843012	Rio Vermelho	-19.955	-40.74166667
ANA/CPRM	1943007	Santa Barbara	-17.62944444	-41.73722222

Resp./Operadora	Código	Estação	Latitude	Longitude
ANA/CPRM	2041017	Santa Cruz Caparaó	-17.69166667	-42.52611111
ANA/CPRM	1943008	Santa Maria do Itabira	-18.76305556	-41.30833333
ANA/CPRM	2040007	Santa Maria de Jetibá	-19.90277778	-43.66638889
ANA/CPRM	1842008	Santa Maria do Suaçuí	-19.68972222	-43.58555556
ANA/CPRM	1941011	Santo Antônio do Manhuaçu	-19.21888889	-43.58805556
ANA/CPRM	1940001	São João de Petrópolis	-20.76944444	-42.30111111
ANA/CPRM	1842020	São João Evangelista	-20.17916667	-43.94277778
ANA/CPRM	2042016	São Miguel do Anta	-20.30305556	-43.61583333
ANA/CPRM	1842004	São Pedro do Suaçuí	-21.05027778	-42.51555556
ANA/CPRM	1941010	São Sebastião da Encruzilhada	-21.15	-42.20111111
ANA/CPRM	1843011	Serro	-21.19277778	-43.61388889
ANA/CPRM	1841011	Tumiritinga	-19.58861111	-40.19805556
ANA/CPRM	2043025	Usina da Brecha	-20.32277778	-41.70416667
ANA/CPRM	1943027	Usina Peti	-18.83888889	-41.11027778
ANA/CPRM	1940010	Valsugana Velha montante	-18.80972222	-40.69055556
ANA/IGAM	2143007	Vargem do Engenho	-20.14333333	-40.97527778
ANA/CPRM	1943035	Vau da Lagoa	-20.02805556	-40.74416667
ANA/CPRM	1942006	Vermelho Velho	-19.95333333	-40.5525
ANA/CPRM	1841001	Vila Matias montante	-18.95027778	-39.76444444

Fonte: Autoria própria.

Figura 41: Espacialização das estações pluviométricas de longa série histórica na bacia do rio Doce com dados entre 1985 e 2014.



Fonte: Autoria própria.

No grupo das estações com dados atuais estão incluídas aquelas cujos dados são disponibilizados na internet diariamente ou em tempo real. Tratam-se das estações operadas pelo INMET, CEMADEN e ANA, cujos dados estão sendo compilados diariamente para alimentar o modelo SWAT durante as simulações hidrológicas.

O Quadro 3 apresenta as estações operadas pelo CEMADEN, enquanto a Figura 42 apresenta a espacialização das mesmas ao longo da bacia do rio Doce. O Quadro 4 apresenta as estações telemétricas disponibilizadas pela base de dados Gestor PCD, da ANA, enquanto a Figura 43 apresenta a espacialização das mesmas.

Quadro 3: Estações pluviométricas operadas pelo CEMADEN com dados atuais.

Responsável	Código	Estação
CEMADEN	320010201H	Rio Guandu
CEMADEN	320010202A	São Vicente
CEMADEN	320010203A	Floresta
CEMADEN	320010205A	Fazenda Guandu
CEMADEN	320010207A	Serra Pelada
CEMADEN	320010208A	Piracema
CEMADEN	320060702A	Centro
CEMADEN	320060705A	Jacupemba
CEMADEN	320060707A	Rod. Primo Bitti
CEMADEN	320090401A	Centro
CEMADEN	320090402A	Bambu
CEMADEN	320090403A	Centro2
CEMADEN	320150601A	Centro
CEMADEN	320150602A	Maria das Graças
CEMADEN	320150603A	Baunilha
CEMADEN	320150604A	Morada do Sol
CEMADEN	320150605A	Carlos Germano
CEMADEN	320150606A	Novo Horizonte
CEMADEN	320170401A	Pedro Rigo
CEMADEN	320220702A	São Joao
CEMADEN	320250401A	Centro
CEMADEN	320250402A	Av. Getúlio Vargas
CEMADEN	320255301A	Centro
CEMADEN	320270201A	Itaguaçu
CEMADEN	320270202A	Otto Luis Hofman
CEMADEN	320300701A	Centro
CEMADEN	320313001A	Joao Neiva
CEMADEN	320316301A	São Luiz de Miranda
CEMADEN	320316310H	Rio Guandu
CEMADEN	320320501A	Centro
CEMADEN	320330401A	Mantenópolis
CEMADEN	320400501A	Pancas
CEMADEN	320455901A	Alto Rio Possmoser
CEMADEN	320455903A	São Joao do Garrafão
CEMADEN	320455904A	São Luís
CEMADEN	320455905A	Baixo São Sebastiao
CEMADEN	320460901A	Centro
CEMADEN	320460902A	Alto Caldeirão
CEMADEN	320465801A	São Domingos do Norte
CEMADEN	320495501A	São Roque do Canãa
CEMADEN	320495502A	São Jacinto
CEMADEN	320506901A	Esplanada

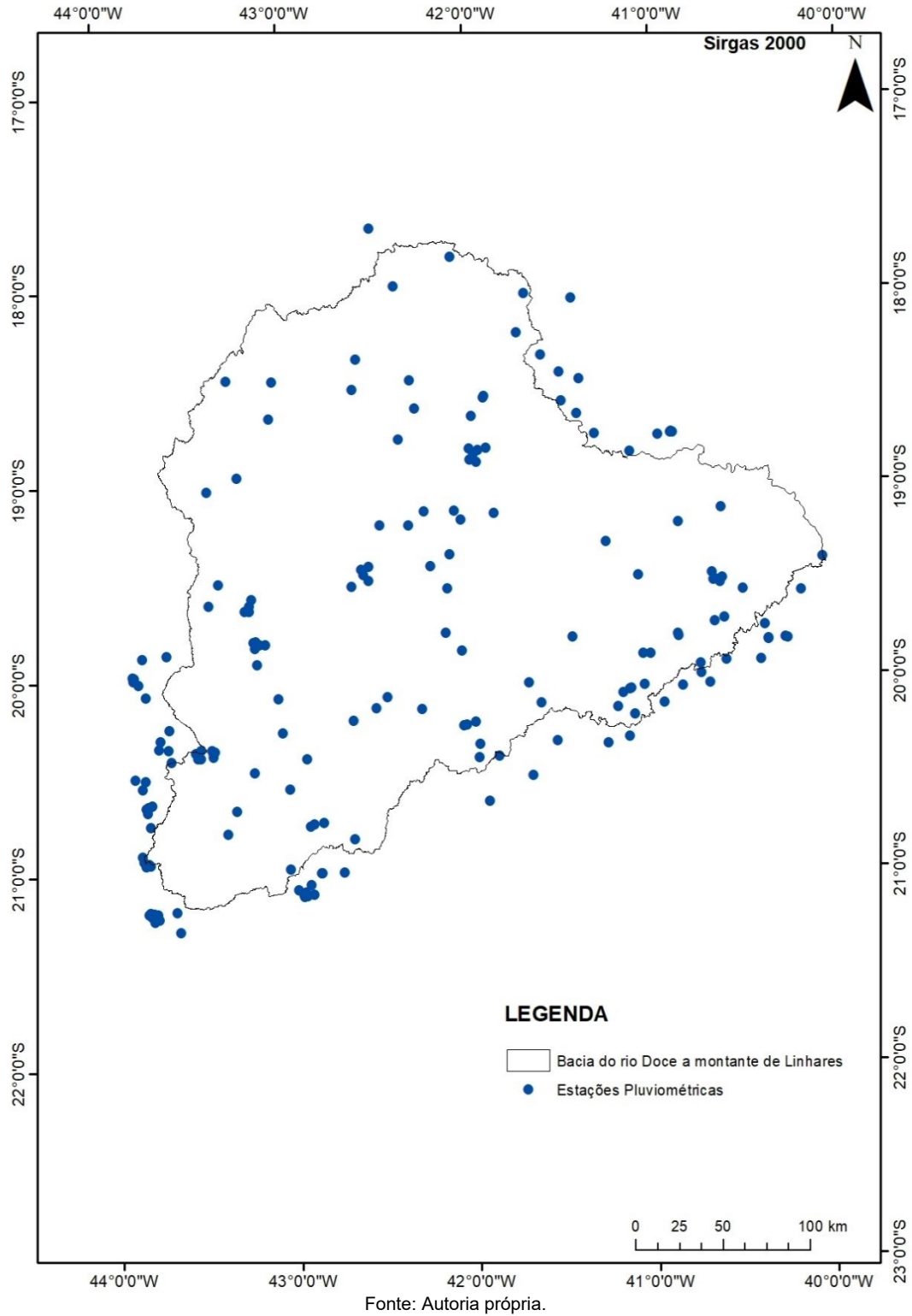
Responsável	Código	Estação
CEMADEN	310060901A	Centro
CEMADEN	310110201A	Igrejinha
CEMADEN	315350901A	Centro
CEMADEN	310230801A	Centro
CEMADEN	310560802A	Joao Paulo II
CEMADEN	310560803A	São Francisco
CEMADEN	310560804A	Correia de Almeida
CEMADEN	310560805A	Senhora dos Dores
CEMADEN	310560806A	Funcionários
CEMADEN	310560808A	Ipanema
CEMADEN	310560810A	Água Santa
CEMADEN	310560811A	Nove de Março
CEMADEN	310560813A	Vilela
CEMADEN	310560814A	Carmo
CEMADEN	310560828H	Ribeirão Caieiro
CEMADEN	310570701A	Centro
CEMADEN	310630901A	Centro
CEMADEN	311000401A	Jose Brandao
CEMADEN	311080601A	Centro
CEMADEN	311205901A	Centro
CEMADEN	311230701A	Centro
CEMADEN	311290101A	Centro
CEMADEN	311320603A	Centro
CEMADEN	311320604A	Ponte Chave
CEMADEN	311320605A	Dombe
CEMADEN	311320606A	Pedra do Sino
CEMADEN	311320607A	Herculano Pena
CEMADEN	311340401A	Centro
CEMADEN	311340402A	Rural
CEMADEN	311570601A	Centro
CEMADEN	311600101A	Centro
CEMADEN	311750401A	Centro
CEMADEN	311800703A	Lobo Leite
CEMADEN	311800704A	Joaquim Murtinho
CEMADEN	311800711H	Rio Maranhão
CEMADEN	311830401A	Centro
CEMADEN	311830402A	Santa Efigênia
CEMADEN	311830403A	São Sebastiao
CEMADEN	311830404A	Belavinha
CEMADEN	311830405A	Buarque de Macedo
CEMADEN	311830406A	Santa Matilde
CEMADEN	311830410H	Rio Bananeiras
CEMADEN	311920301A	Centro
CEMADEN	312170402A	Centro
CEMADEN	312190201A	Centro
CEMADEN	312250401A	Centro
CEMADEN	312260301A	Centro
CEMADEN	312370001A	Centro
CEMADEN	312400501A	Centro
CEMADEN	312420301A	Centro

Responsável	Código	Estação
CEMADEN	312420302A	Pq. Nac. Caparaó
CEMADEN	312580401A	Centro
CEMADEN	312680201A	Centro
CEMADEN	312690102A	Centro
CEMADEN	312690112H	Rio Suaçuí Grande
CEMADEN	312770101A	Altinópolis
CEMADEN	312770102A	Caravelas
CEMADEN	312770103A	Vera Cruz
CEMADEN	312770104A	Chonim de Baixo
CEMADEN	312770105A	Querosene
CEMADEN	312770106A	Santa Paula
CEMADEN	312770108A	Sir
CEMADEN	312820401A	Centro
CEMADEN	312900401A	Centro
CEMADEN	312930102A	Centro
CEMADEN	313090301A	Centro
CEMADEN	313130702A	Bom Jardim
CEMADEN	313130703A	Limoeiro
CEMADEN	313130704A	Bethânia
CEMADEN	313130705A	Bom Retiro
CEMADEN	313170301A	Joao XXIII
CEMADEN	313170302A	Gabiroba
CEMADEN	313170303A	N. S. das Oliveiras
CEMADEN	313170304A	Pedreira
CEMADEN	313170305A	Ipoema
CEMADEN	313170306A	Senhora do Carmo
CEMADEN	313270101A	Centro
CEMADEN	313320401A	Centro
CEMADEN	313620701A	Centro Industrial
CEMADEN	313620702A	N. S. da Conceição
CEMADEN	313620703A	Cruzeiro Celeste
CEMADEN	313620704A	Laranjeiras
CEMADEN	313620705A	Aclimação
CEMADEN	313770001A	Centro
CEMADEN	313920101A	Centro
CEMADEN	313940901A	Pouso Alegre
CEMADEN	313940902A	Todos os Santos
CEMADEN	313950801A	Centro
CEMADEN	313960701A	Vila Florinda
CEMADEN	314000101A	Rosário
CEMADEN	314000102A	Centro
CEMADEN	314000103A	São Pedro
CEMADEN	314000104A	Santa Rita de Cassia
CEMADEN	314060501A	Centro
CEMADEN	314150401A	Centro
CEMADEN	314400301A	Centro
CEMADEN	314435901A	Centro
CEMADEN	314480503A	Centro
CEMADEN	314480504A	Honório Bicalho
CEMADEN	314480505A	Oswaldo Barbosa Penna II

Responsável	Código	Estação
CEMADEN	314480506A	Retiro
CEMADEN	314490401A	Esperança
CEMADEN	314610701A	Santo Antônio do Leite
CEMADEN	314610702A	Subdistrito de Soares
CEMADEN	314610703A	Bauxita
CEMADEN	314610704A	São Cristóvão
CEMADEN	314610705A	Parque das Andorinhas
CEMADEN	314610706A	Vila Itacolomy
CEMADEN	314610707A	Rodovia Melo Franco
CEMADEN	314610709A	Amarantina
CEMADEN	314610711A	Vila alegre
CEMADEN	314610712A	Estação Dom Bosco
CEMADEN	314995201A	Gameleira
CEMADEN	315000001A	Centro
CEMADEN	315080201A	Rosário
CEMADEN	315210502A	Centro MG
CEMADEN	315400201A	Santana
CEMADEN	315415001A	Moreira Bastos
CEMADEN	315430902A	Resplendor
CEMADEN	315480401A	Morgans
CEMADEN	315490301A	Centro
CEMADEN	315570201A	Centro
CEMADEN	315670023H	Ribeirão Sabará
CEMADEN	315680901A	Centro
CEMADEN	316020701A	Centro
CEMADEN	316105601A	Centro
CEMADEN	316330001A	Centro
CEMADEN	316400101A	Centro
CEMADEN	316410001A	Centro
CEMADEN	316550301A	Centro
CEMADEN	316600601A	Centro
CEMADEN	316870501A	Centro-Norte
CEMADEN	316990102A	São Domingos
CEMADEN	316990104A	Otacílio Coutinho
CEMADEN	316990105A	Aeroporto
CEMADEN	316990107A	Ubá Pequeno
CEMADEN	316990108A	Av. Amadeu Schiavon
CEMADEN	316990109A	Rua Lilina Rinaldi
CEMADEN	316990110A	Av. Olegário Maciel
CEMADEN	316990126H	Rio Ubá
CEMADEN	317130301A	Centro
CEMADEN	317130303A	Fatima
CEMADEN	317130304A	São José do Triunfo
CEMADEN	317190701A	Centro
CEMADEN	317200401A	Centro
CEMADEN	317200427H	Rio Xopotó

Fonte: Autoria própria.

Figura 42: Espacialização das estações pluviométricas operadas pelo CEMADEN e localizadas na bacia do rio Doce, que apresentam dados diariamente disponibilizados na internet.



Quadro 4: Estações telemétricas disponibilizadas pela base de dados Gestor PCD, da ANA.

Resp./ Operadora	Código Est. Fluviométrica	Código Est. Pluviométrica	Estação
ENERGEST	56992380	1941023	UHE Mascarenhas - Montante 1
ENERGEST	56992390	-	UHE Mascarenhas - Montante 2
ENERGEST	56992370	1941033	UHE Mascarenhas - Montante 3
ENERGEST	56992400	1940051	UHE Mascarenhas - Barramento
ENERGEST	56992480	1940047	UHE Mascarenhas - Jusante
Empresa Luz e Força Santa Maria S.A.	56993700		CGH Tobocas
Empresa Luz e Força Santa Maria S.A.	56994100		Santa Maria
ANA/CPRM	56994510	1940006	Colatina - Corpo de Bombeiros
Empresa Luz e Força Santa Maria S.A.	56995600		CGH Cachoeira do Oito
Empresa Luz e Força Santa Maria S.A.	56997300		CGH Cachoeira da Onça
ANA/CPRM	56998200	1940004	Linhares - Cais do Porto
ANA/CPRM	56998400	1940016	Barra de SAO Gabriel
CEMIG LESTE	-	1841029	PCH Tronqueiras Gov. Valadares
SA CARVALHO	-	1942033	UHE Sá Carvalho Mesquita
SA CARVALHO	-	1942049	UHE Sá Carvalho Jusante
CEMIG LESTE	-	2043063	UHE Peti São Gonçalo do Rio Acima
CEMIG LESTE	-	2043066	PCH Dona Rita Ouro Preto
ANA/CPRM	56083000	2042073	Viçosa Hidro
NOVELIS	56094000	2043069	PCH Brecha Montante 1
NOVELIS	56093000	2043068	PCH Brecha Montante 2
NOVELIS	56092000	2043067	PCH Brecha Montante 3
NOVELIS	56096000	2042055	PCH Brecha Barramento
NOVELIS	56097000	2042035	PCH Brecha Jusante
NOVELIS	56100500	2043087	PCH Brito Barramento
NOVELIS	56101000	2043088	PCH Brito Jusante
ANA/CPRM	56110005	2042018	Ponte Nova Jusante
MAYNART	56148500	2043083	PCH Furquim Barramento
MAYNART	56149000	2043084	PCH Furquim Jusante
MAYNART	56194800	-	PCH Caboclo Montante
MAYNART	56194900	2043129	PCH Caboclo Barramento
MAYNART	56208000	2043082	PCH Salto Jusante
MAYNART	56209080	2043130	CGH Cachoeira dos Prazeres Barramento
MAYNART	56211500	2043080	PCH Funil Barramento
MAYNART	56212000	2043081	PCH Funil Jusante
MAYNART	56220900	-	CGH Cachoeira dos Prazeres - Rio Gualaxo do Sul
MAYNART	56230050	2043085	PCH Fumaça Barramento
MAYNART	56230100	2043086	PCH Fumaça Jusante

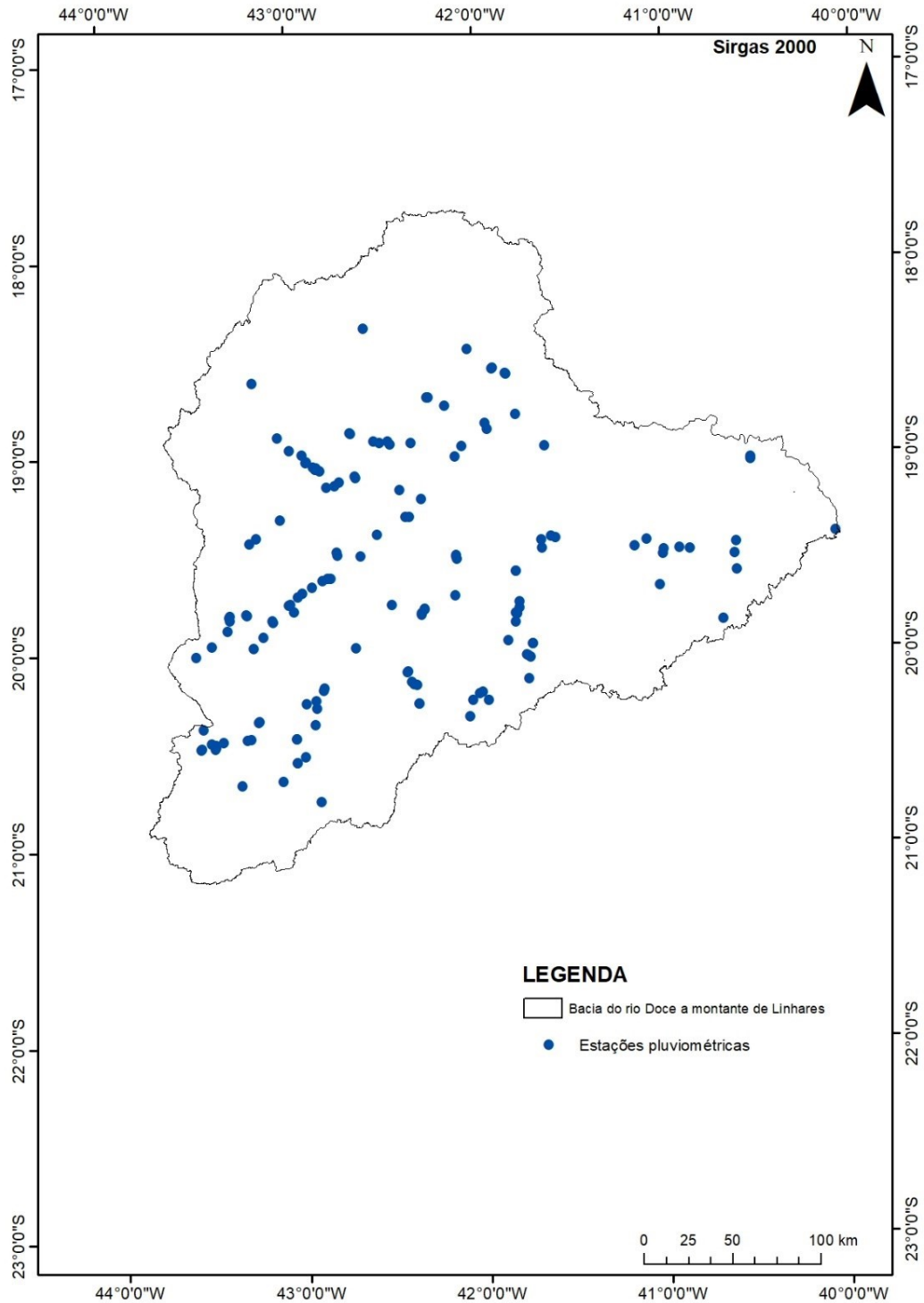
Resp./ Operadora	Código Est. Fluviométrica	Código Est. Pluviométrica	Estação
CONS. RISOLETA	56337200	2042056	UHE Risoleta Neves - Rio Piranga
CONS. RISOLETA	56337500	2042057	UHE Risoleta Neves - Rio do Carmo
CONS. RISOLETA	56338000	2042058	UHE Risoleta Neves Montante
CONS. RISOLETA	56338080	-	UHE Risoleta Neves Barramento
CONS. RISOLETA	56338500	2042059	UHE Risoleta Neves Jusante
ANA/CPRM	56425000	2042031	Fazenda Cachoeira D'Antas
SAO GERALDO	56443000	2042052	PCH Tulio Cordeiro de Mello Montante 1
SAO GERALDO	56440000	2042053	PCH Tulio Cordeiro de Mello Montante 2
SAO GERALDO	56444000	-	PCH Tulio Cordeiro de Mello Barramento
SAO GERALDO	56445000	2042054	PCH Tulio Cordeiro de Mello Jusante
ZONA DA MATA	56450100	-	PCH João Camilo Penna Barramento
ZONA DA MATA	56450180	2142069	PCH João Camilo Penna Jusante
ZONA DA MATA	56458080	2042037	CGH Matipó Jusante
ANA/CPRM	56539000	1942031	Cachoeira dos Óculos Montante
CEMIG	56565060	1942078	CGH Bom Jesus do Galho Montante
CEMIG	56565080	1942077	CGH Bom Jesus do Galho Barramento
CEMIG	56568000	1942034	CGH Sumidouro Barramento
CEMIG	56568050	1942076	CGH Sumidouro Jusante
Arcelor Mittal Brasil S.A.	56599000		PCH Rio Piracicaba Rio Turvo
ARCELOR	56610100	1943111	PCH Rio Piracicaba Montante
ARCELOR	56620000	-	PCH Rio Piracicaba Barramento
ARCELOR	56620100	1943112	PCH Rio Piracicaba Jusante
CEMIG LESTE	56640001	1943101	UHE Peti Carrapato
CEMIG LESTE	56650080	1943076	UHE Peti Barramento
CEMIG LESTE	56650600	1943145	UHE Peti Jusante
SPE Gonçalves	56651000	1943104	PCH SAO Gonçalves Montante 1
SPE Gonçalves	56650500	1943114	PCH SAO Gonçalves Montante 2
SPE Gonçalves	56651800	-	PCH SAO Gonçalves Barramento
SPE Gonçalves	56652000	1943103	PCH SAO Gonçalves Jusante
SA CARVALHO	56660002	1942050	UHE SA Carvalho Drumond Central
ANA/CPRM	56661000	1943100	Nova Era Telemétrica
CONS. UHEGA	56666000	1943113	UHE Guilman Amorim - Rio da Prata
CONS. UHEGA	56674000	1943080	UHE Guilman Amorim - Nova Era
CONS. UHEGA	56675000	-	UHE Guilman Amorim - Barramento
CONS. UHEGA	56675080	1942055	UHE Guilman Amorim - Jusante
SA CARVALHO	56688080	-	UHE SA Carvalho Barramento Antônio Dias
SA CARVALHO	56688081	-	UHE Sá Carvalho Barramento Severo
SPE COCAIS	56690200	1942057	PCH Cocais Grande Montante
SPE COCAIS	56690300	-	PCH Cocais Grande Barramento

Resp./ Operadora	Código Est. Fluviométrica	Código Est. Pluviométrica	Estação
ANA/CPRM	56696000	1942029	Mario de Carvalho
ANA/CPRM	56719998	1942030	Belo Oriente
SALTO GRANDE	56776500	1942022	UHE Salto Grande Rio Sto. Antônio
CEMIG LESTE	56777000	1943102	PCH Dona Rita Povoado dos Gomes
CEMIG LESTE	56777500	-	PCH Dona Rita Barramento
CEMIG LESTE	56787100	1943147	PCH Dona Rita Jusante
Jacaré	56800700	1843026	PCH Jacaré Montante 1
Jacaré	56800500	1843025	PCH Jacaré Montante 2
Jacaré	56795000	1843024	PCH Jacaré Montante 3
Jacaré	56800800	1942064	PCH Jacaré Barramento
SENHORA	56802000	-	PCH Senhora do Porto Barramento
SENHORA	56802500	1942065	PCH Senhora do Porto Jusante
DORES	56808000	-	PCH Dores de Guanhães Barramento
DORES	56810500	1942063	PCH Dores de Guanhães Jusante
SALTO GRANDE	56810000	1942045	UHE Salto Grande Montante
FUNIL	56811000	1942053	PCH Funil Montante
FUNIL	56812000	-	PCH Funil Barramento
SALTO GRANDE	56819080	1942059	UHE Salto Grande Barramento Sto. Antônio
SALTO GRANDE	56819081	1942025	UHE Salto Grande Barramento Guanhães
PORTO ESTRELA	56820080	-	UHE Porto Estrela Barramento
PORTO ESTRELA	56820100	1942041	UHE Porto Estrela Jusante
ANA/CPRM	56825000	1942032	Naque Velho
CONS. BAGUARI	56830800	1942066	UHE Baguari Montante
CONS. BAGUARI	56831000	1942051	UHE Baguari Naque Balsa
SPE PACIENCIA	56843500	-	PCH Barra da Paciência Barramento
SPE PACIENCIA	56844000	1842030	PCH Barra da Paciência Jusante
SPE CORR. GRANDE	56844500	1842030	PCH Corrente Grande Montante
SPE CORR. GRANDE	56844700	-	PCH Corrente Grande Barramento
FORTUNA	56845100	-	SPE Fortuna II Barramento
FORTUNA	56845150	1842033	SPE Fortuna II Jusante
CONS. BAGUARI	56846020	1842034	UHE Baguari Rio Corrente Grande
CONS. BAGUARI	56846080	1942067	UHE Baguari Barramento
CONS. BAGUARI	56846200	1842028	UHE Baguari Jusante
CEMIG LESTE	56846480	-	PCH Tronqueiras Barramento
CEMIG LESTE	56846801	1842027	PCH Tronqueiras Jusante
CEMIG LESTE	56846860	1842036	PCH Tronqueiras Suaçuí Pequeno
ANA/CPRM	56850000	1841020	Governador Valadares
ANA/CPRM	56860000	1842004	SAO Pedro do Suaçuí
SPE PAIOL	56892100	1841032	PCH Paiol Montante 1
SPE PAIOL	56885000	1842032	PCH Paiol Montante 2

Resp./ Operadora	Código Est. Fluviométrica	Código Est. Pluviométrica	Estação
SPE PAIOL	56892150	-	PCH Paiol Barramento
SPE PAIOL	56892200	1841031	PCH Paiol Jusante
ANA/CPRM	56891900	1841001	Vila Matias Montante
ALIANCA	56895000	1841030	UHE Aimorés - Rio Suaçuí Grande
ALIANCA	56919500	1841044	UHE Aimorés Montante
IG. CAARATINGA	56927500	1942061	PCH Inhapim Montante 1
IG. CAARATINGA	56925050	1942060	PCH Inhapim Montante 2
IG. CAARATINGA	56927800	-	PCH Inhapim Barramento
IG. CAARATINGA	56927900	1942062	PCH Inhapim Jusante
Semesa S.A.	56950080		UHE PONTE DO SILVA
CEMIG LESTE	56960003	2042074	PCH Sinceridade Montante
RIO MANHUACU	56960080	2041098	PCH Benjamim Mário Baptista Montante
RIO MANHUACU	56960100	-	PCH Benjamim Mário Baptista Barramento
CEMIG LESTE	56960180	1941040	PCH Neblina Montante 1
CEMIG LESTE	56960150	1941039	PCH Neblina Montante 2
CEMIG LESTE	56972000	1941041	PCH Neblina Barramento
CEMIG LESTE	56972080	1941022	PCH Neblina Jusante
CEMIG LESTE	56962080	2041089	CGH Cachoeira Alta Jusante
PIPOCA	56975000	1941032	PCH Pipoca Montante
PIPOCA	56975500	-	PCH Pipoca Barramento
AREIA BRANCA	56978200	1941030	PCH Areia Branca Barramento
AREIA BRANCA	56978300	1941036	PCH Areia Branca Jusante
Cachoeirao	56979500	1941027	PCH Cachoeirao Montante 1
Cachoeirao	56979000	1941028	PCH Cachoeirao Montante 2
Cachoeirao	56979550	-	PCH Cachoeirao Barramento
Cachoeirao	56979600	1941029	PCH Cachoeirao Jusante
SPE VARGINHA	56983500	2041086	PCH Varginha Montante 1
SPE VARGINHA	56982500	2041093	PCH Varginha Montante 2
SPE VARGINHA	56983800	-	PCH Varginha Barramento
SPE VARGINHA	56984000	2048085	PCH Varginha Jusante
SPE V. ALEGRE	56987000	1941031	PCH Várzea Alegre Jusante
SPE V. ALEGRE	56986800	-	PCH Várzea Alegre Barramento
ALIANCA	56990005	1941038	PCH Aimorés - Rio MANHUACU
ALIANCA	56990850	1941037	PCH Aimorés Barramento

Fonte: Autoria própria.

Figura 43: Espacialização das estações telemétricas localizadas na bacia do rio Doce, com dados disponibilizadas na base de dados Gestor PCD, da ANA.



As estações que apresentam dados pluviométricos de longo prazo (1985 a 2014) tiveram seus dados compilados em planilha eletrônica e os totais pluviométricos anuais calculados. A Tabela 59 apresenta estatísticas calculadas a partir dos valores dos totais pluviométricos anuais de cada estação.

Tabela 59: Análise estatística dos valores dos totais pluviométricos anuais de estações pluviométricas localizadas na bacia do rio Doce que apresentaram dados entre 1985 a 2014.

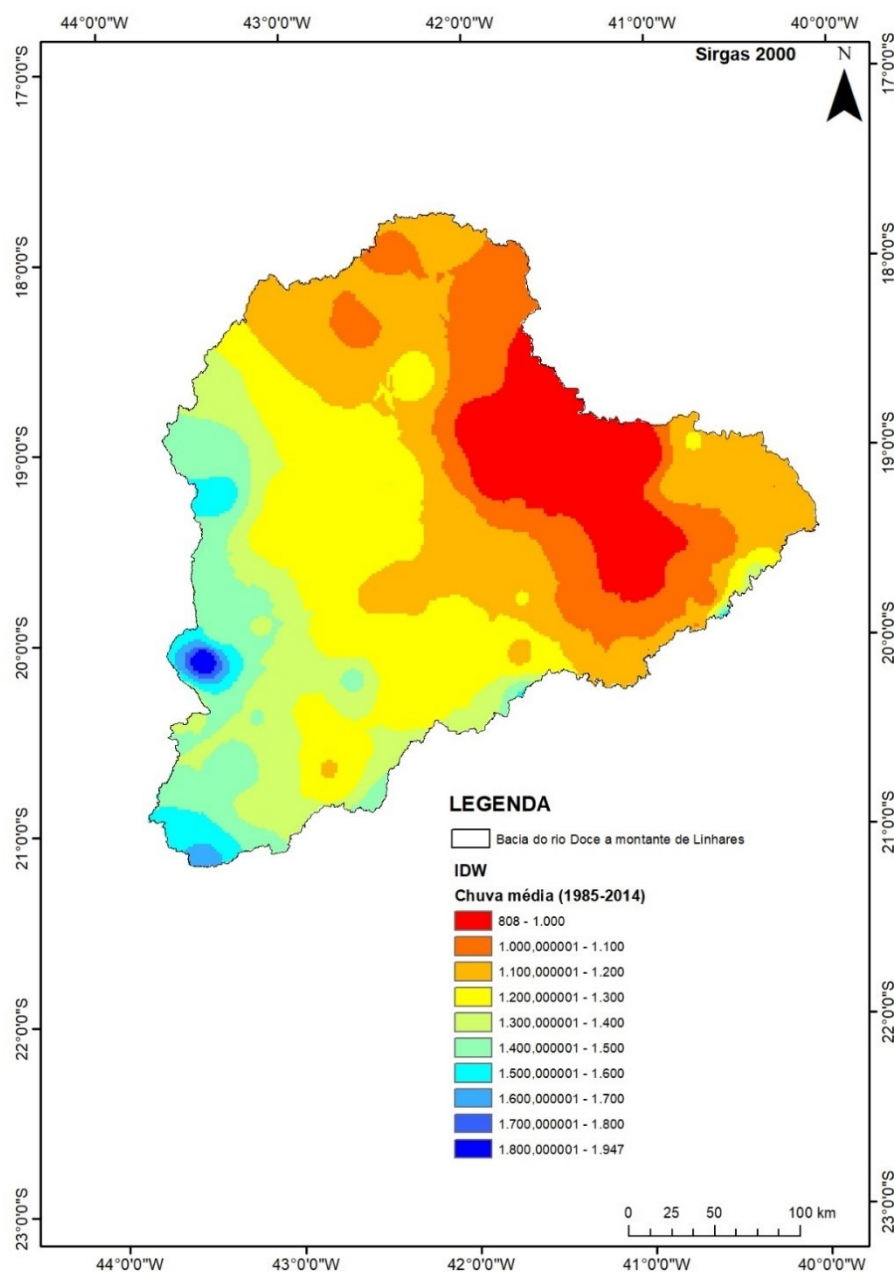
Estação	Valores – Série Histórica					
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão	CV (%)
Abre Campo	665,9	3.003,3	1.292,9	1.212,0	522,6	40,4
Acaiaca Jusante	744,5	1.889,6	1.357,3	1.375,1	281,3	20,7
Afonso Cláudio montante	394,7	2.073,8	1.124,6	1.129,0	358,6	31,9
Água Boa	426,1	1.642,0	1.081,7	1.156,1	322,8	29,8
Águia Branca	661,8	1.769,6	1.221,0	1.206,6	324,2	26,5
Alto Rio Novo	255,2	1.546,3	848,1	836,5	322,6	38,0
Assaraí montante	619,4	1.928,4	1.091,8	1.016,3	282,0	25,8
Baixo Guandu	393,5	1.252,4	807,8	787,5	223,3	27,6
Barra de São Gabriel	701,2	1.663,8	1.102,9	1.051,0	269,9	24,5
Barra do Cuieté Jusante	544,1	1.665,2	946,7	962,2	251,8	26,6
Barra Nova	882,3	1.577,1	1.227,0	1.228,2	199,1	16,2
Belo Oriente	676,0	1.782,1	1.215,7	1.241,5	284,5	23,4
Bicuíba	819,8	2.137,1	1.464,7	1.498,2	313,8	21,4
Bom Jesus do Galho	656,7	1.901,3	1.189,8	1.179,8	262,7	22,1
Braz Pires	668,8	1.941,4	1.352,3	1.342,9	257,0	19,0
Cachoeira dos Óculos montante	670,7	1.655,4	1.157,3	1.169,4	257,3	22,2
Caeté	1.022,1	2.782,6	1.478,8	1.415,9	348,2	23,5
Caldeirão	682,5	1.873,2	1.094,4	1.038,7	310,9	28,4
Campanário	504,7	1.689,5	1.012,6	981,1	257,8	25,5
Capelinha	500,1	2.092,7	1.121,1	1.130,7	308,9	27,6
Cavalinho	761,3	1.944,5	1.328,4	1.297,4	315,6	23,8
Cedrolândia	612,2	2.010,6	1.173,2	1.084,2	341,8	29,1
Central de Minas	427,5	1.426,3	900,2	900,7	222,6	24,7
Colatina – Corpo de Bombeiros	600,2	1.490,8	1.017,7	1.015,5	236,0	23,2
Colégio Caraça	1.222,0	3.274,4	1.948,4	1.880,1	475,5	24,4
Conc, do Mato Dentro	950,4	2.128,8	1.422,9	1.386,2	310,6	21,8
Coroaci	642,7	2.067,2	1.266,7	1.292,3	379,5	30,0
Desterro do Melo	1.102,5	2.329,3	1.643,3	1.609,2	309,4	18,8
Divino de Laranjeiras	530,0	1.450,6	957,5	921,3	235,1	24,6
Dom Cavati	595,9	1.599,2	1.159,4	1.154,9	244,8	21,1
Dores do Manhumirim	641,1	1.687,0	1.172,9	1.130,3	241,7	20,6
Fazenda Água Limpa jusante	374,8	1.740,8	1.242,6	1.226,3	306,3	24,6
Fazenda Cachoeira D'Antas	547,4	1.960,0	1.230,9	1.229,1	327,8	26,6
Fazenda Ocidente	240,2	2.030,8	1.308,0	1.283,7	370,7	28,3
Fazenda Paraíso	802,4	2.015,2	1.429,3	1.403,4	315,6	22,1
Fazenda Umbaúbas	1.200,3	2.204,5	1.541,5	1.415,9	288,9	18,7
Fazenda Vargem Alegre	821,7	1.949,1	1.281,7	1.280,1	301,9	23,6
Ferros	834,8	1.890,4	1.233,7	1.199,1	275,0	22,3
Garrafão	394,9	1.829,9	1.133,9	1.123,5	285,2	25,2
Governador Valadares	577,1	1.502,9	963,4	918,8	221,3	23,0
Guanhães	683,0	1.856,9	1.234,9	1.208,5	265,8	21,5
Ibituba	555,8	1.349,7	891,3	892,2	216,4	24,3
Ipanema	580,3	1.912,7	1.206,3	1.211,3	299,5	24,8
Itaimbé	731,5	1.642,3	1.059,4	989,6	240,3	22,7
Itanhomi	572,2	1.632,6	967,5	944,2	268,3	27,7
Itarana	537,1	1.629,4	1.097,1	1.089,1	272,9	24,9
Jacupemba	671,3	1.810,0	1.181,5	1.178,6	292,6	24,8
José de Melo	787,5	1.952,1	1.446,0	1.447,4	237,2	16,4
Ladainha	705,7	1.668,7	1.065,5	1.022,4	242,2	22,7

Estação	Valores – Série Histórica					
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão	CV (%)
Lagoa Grande	1.099,9	2.254,5	1.651,0	1.633,5	306,7	18,6
Laranja da Terra	461,1	1.505,6	1.010,8	1.075,2	285,0	28,2
Malacacheta	730,5	2.038,0	1.150,7	1.075,0	309,6	26,9
Mantenópolis	657,4	1.548,6	963,8	885,7	252,0	26,1
Mario de Carvalho	630,9	1.949,7	1.256,8	1.299,3	307,8	24,5
Matipó	679,5	1.762,6	1.212,7	1.254,9	263,7	21,7
Morro do Pilar	949,1	2.428,8	1.573,6	1.559,5	354,9	22,6
Mutum	684,2	1.447,3	1.075,1	1.095,7	220,1	20,5
Naque Velho	667,0	2.065,9	1.300,5	1.304,4	340,0	26,1
Novo Brasil	619,4	1.695,6	1.104,3	1.116,7	274,9	24,9
Pancas	479,8	1.673,0	1.162,1	1.101,3	289,0	24,9
Patrocínio do Muriaé	917,7	2.996,8	1.745,1	1.607,5	569,7	32,6
Piranga	837,6	2.018,3	1.491,3	1.502,3	249,9	16,8
Ponte Nova jusante	756,2	1.760,8	1.238,0	1.243,1	257,5	20,8
Porto Firme	631,1	1.962,2	1.332,9	1.359,6	289,6	21,7
Raul Soares montante	632,7	1.968,5	1.226,7	1.250,4	307,1	25,0
Resplendor jusante	559,2	1.775,6	979,4	946,8	247,8	25,3
Rio Bananal	645,0	2.034,7	1.175,8	1.072,2	320,3	27,2
Rio Casca	811,8	2.641,4	1.454,4	1.342,7	441,0	30,3
Rio Piracicaba	499,4	2.042,4	1.385,5	1.402,4	363,6	26,2
Rio Vermelho	651,7	1.651,3	1.177,6	1.226,3	285,9	24,3
Santa Barbara	725,5	2.470,7	1.423,6	1.359,7	411,5	28,9
Santa Cruz Caparaó	1.005,6	2.119,9	1.520,7	1.451,6	278,6	18,3
Santa Maria de Jetibá	658,7	1.988,9	1.222,2	1.210,5	319,1	26,1
Santa Maria do Itabira	818,1	1.689,5	1.249,7	1.240,5	261,8	20,9
Santa Maria do Suaçuí	396,3	2.242,9	1.123,4	1.102,6	361,0	32,1
Santo Antônio do Manhuaçu	506,8	1.891,4	1.160,8	1.087,0	326,2	28,1
São João de Petrópolis	604,9	1.437,7	1.023,2	1.062,5	265,0	25,9
São João Evangelista	699,9	1.766,5	1.160,6	1.153,0	255,2	22,0
São Miguel do Anta	669,9	1.668,3	1.186,6	1.207,7	240,2	20,2
São Pedro do Suaçuí	202,0	1.753,9	1.044,7	1.047,9	327,9	31,4
São Sebastião da Encruzilhada	496,1	1.675,7	989,2	996,3	253,5	25,6
Serro	841,3	1.805,6	1.325,8	1.288,6	289,6	21,8
Tumiritinga	496,3	1.384,3	920,1	908,3	216,8	23,6
Usina da Brecha	729,2	1.884,2	1.306,3	1.274,7	294,4	22,5
Usina Peti	752,8	2.012,2	1.442,3	1.484,8	338,7	23,5
Valsugana Velha montante	1.087,7	2.897,9	1.830,3	1.806,6	441,5	24,1
Vargem do Engenho	859,0	2.232,3	1.592,8	1.526,1	361,1	22,7
Vau da Lagoa	1.034,4	2.073,7	1.532,8	1.522,5	250,9	16,4
Vermelho Velho	699,5	1.933,8	1.273,9	1.302,7	295,5	23,2
Vila Matias montante	547,1	1.708,6	1.021,0	975,0	256,0	25,1

Fonte: Autoria própria.

As pluviosidades médias anuais foram interpoladas em sistema de informação geográfica utilizando o interpolador *Inverse Distance Weight* (IDW). Para a bacia do Rio Benevente, Silva e Caiado (2013) estudaram qual a melhor combinação de potência e número de pontos para a interpolação de dados pluviométricos utilizando o interpolador IDW. O estudo indicou que os melhores resultados foram obtidos com potência 2 e número de pontos igual a 6. Essa mesma combinação foi utilizada para a interpolação de dados pluviométricos na bacia do Rio Doce e o resultado está apresentado na Figura 44.

Figura 44: Resultado da interpolação dos valores de precipitação média anual entre 1985 e 2014 de 90 estações pluviométricas da bacia do rio Doce utilizando o interpolador IDW.



Fonte: Autoria própria.

Conforme pode ser observado, a bacia apresentou uma significativa variação em sua pluviosidade média anual no período analisado, variando entre 795 mm e 1.916 mm, sendo a parte central e nordeste a parte mais seca da bacia e a faixa a oeste, a mais chuvosa.

Foi realizado um estudo da distribuição da chuva durante o ano na bacia por meio do cálculo das precipitações médias mensais em oito estações pluviométricas distribuídas ao longo da bacia do rio Doce. As precipitações médias mensais foram calculadas para dois períodos, o primeiro, para uma série histórica de 30 anos (entre 1985 e 2014) e o segundo, para os últimos 5 anos (entre 2013 e 2017).

As estações utilizadas neste estudo foram: Serro, Malacacheta, Tumiritinga, Laranja da Terra, Belo Oriente, Matipó, Piranga e Colégio Caraça, cujas localizações estão apresentadas no Quadro 2.

Figura 45: Posição geográfica de 8 estações pluviométricas para as quais foram calculadas as precipitações médias anuais entre 1985-2014 e 2013-2017.

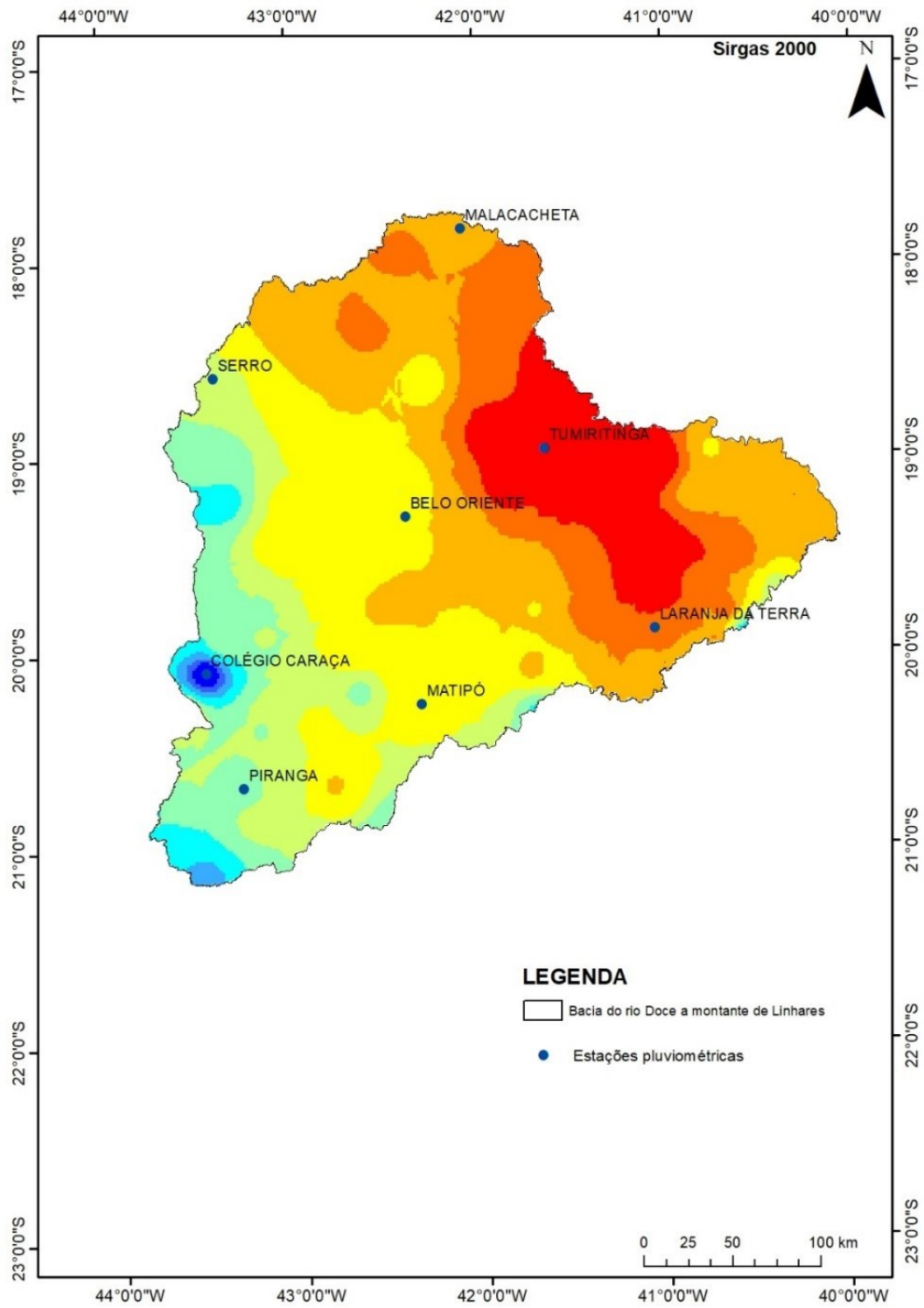


Figura 46: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação fluviométrica Malacacheta (Código ANA 1742017).

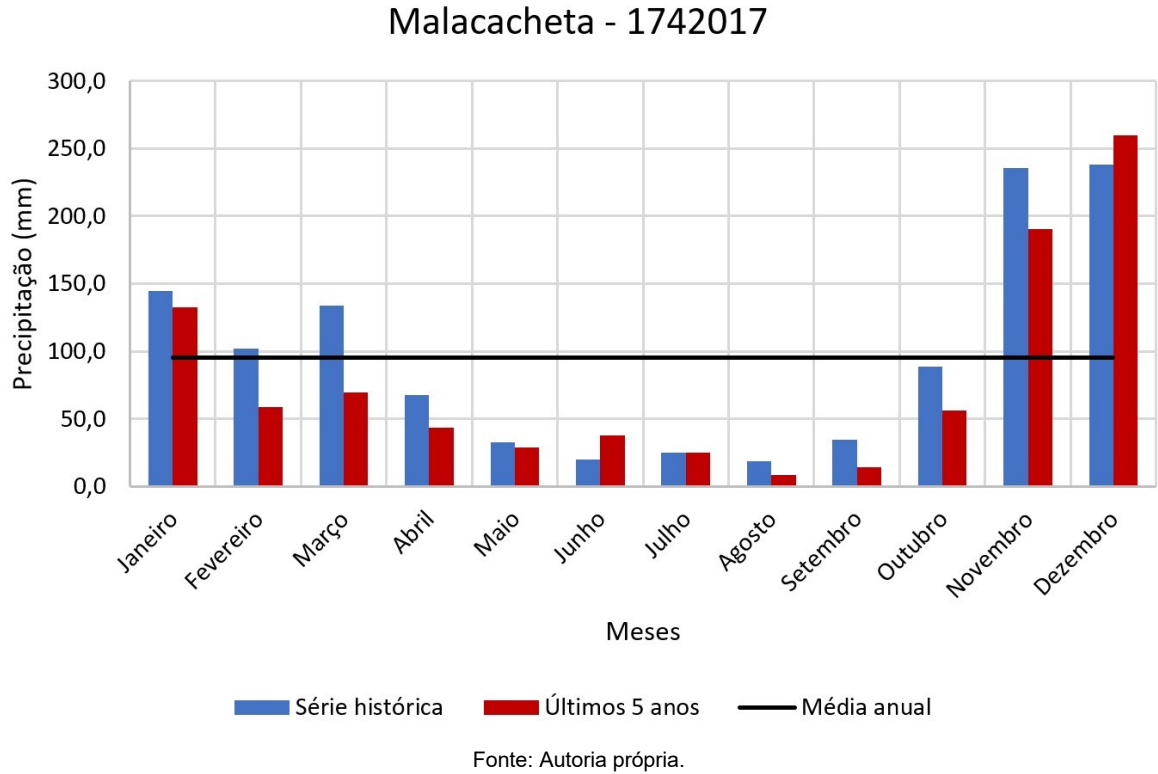


Figura 47: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação Serro (Código ANA 1843011).

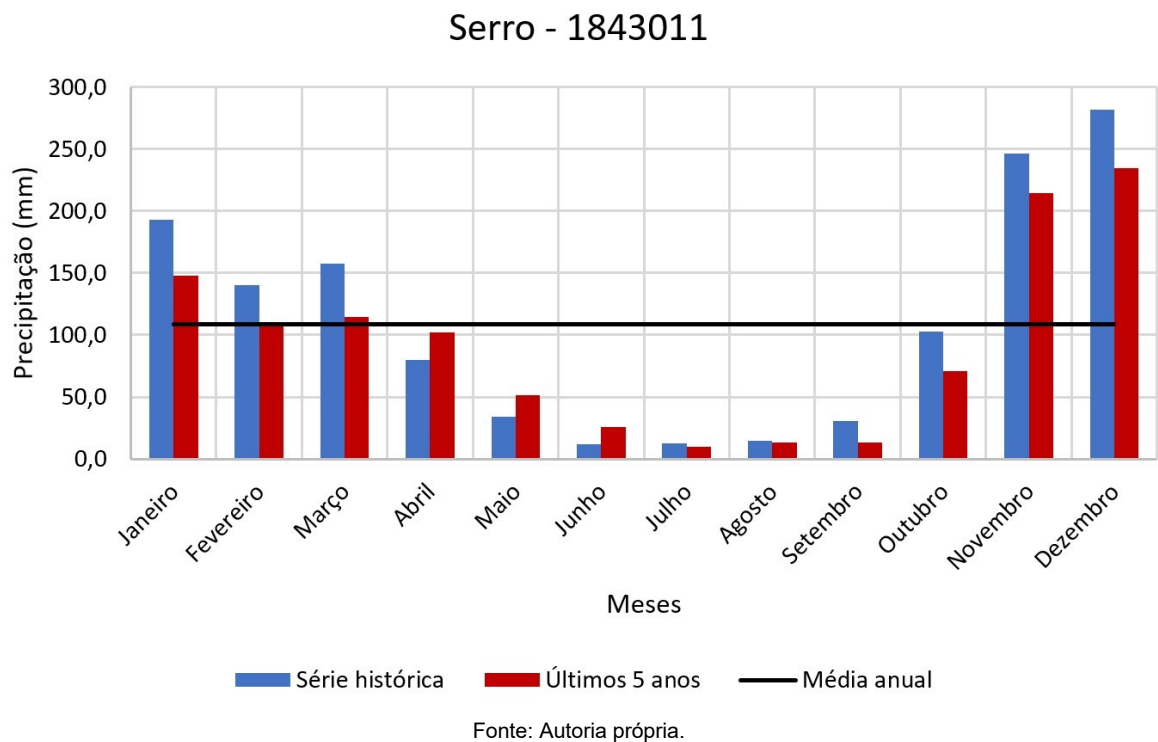


Figura 48: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação Belo Oriente (Código ANA 1942030).

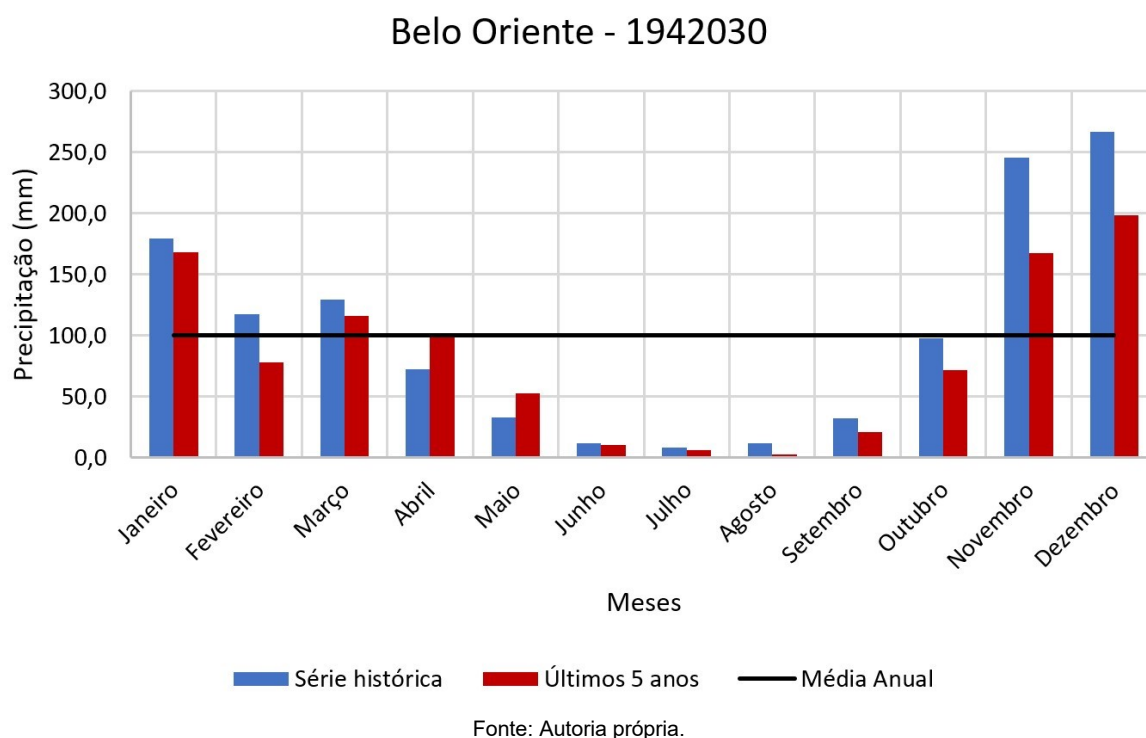


Figura 49: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação Tumiritinga (Código ANA 1841011).

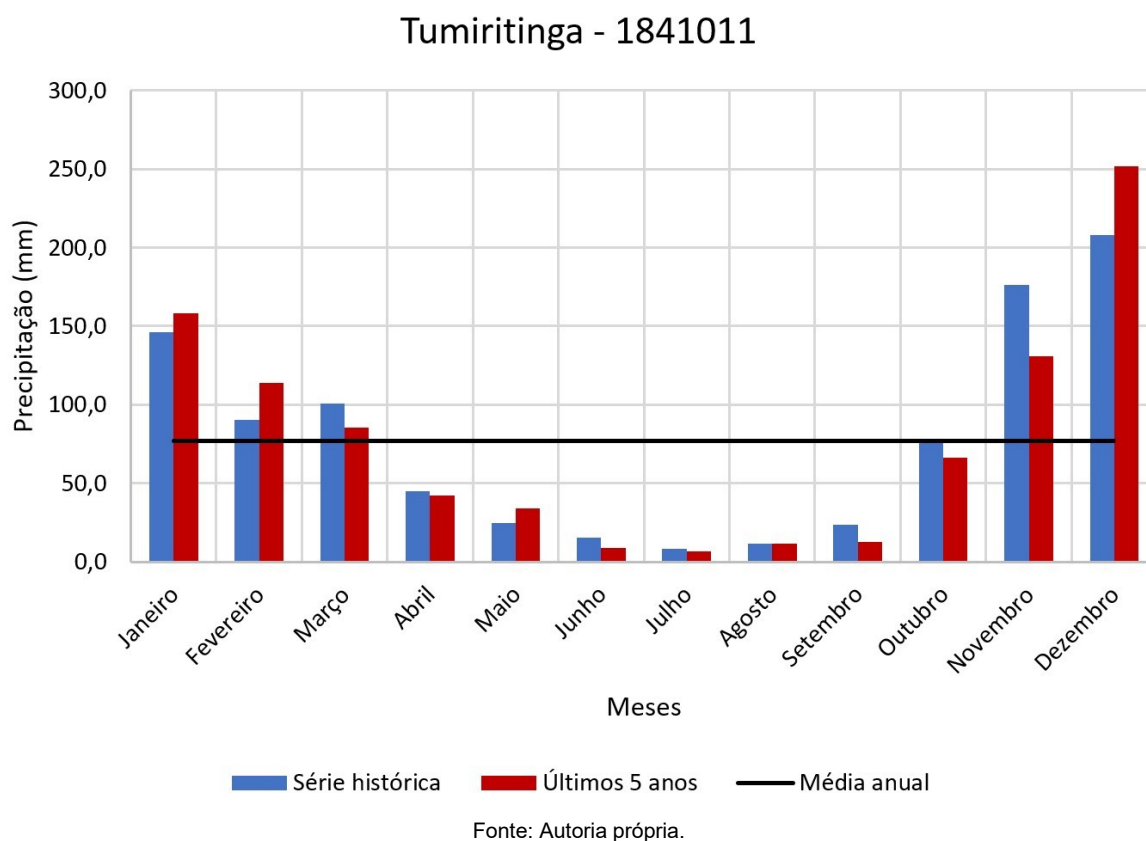
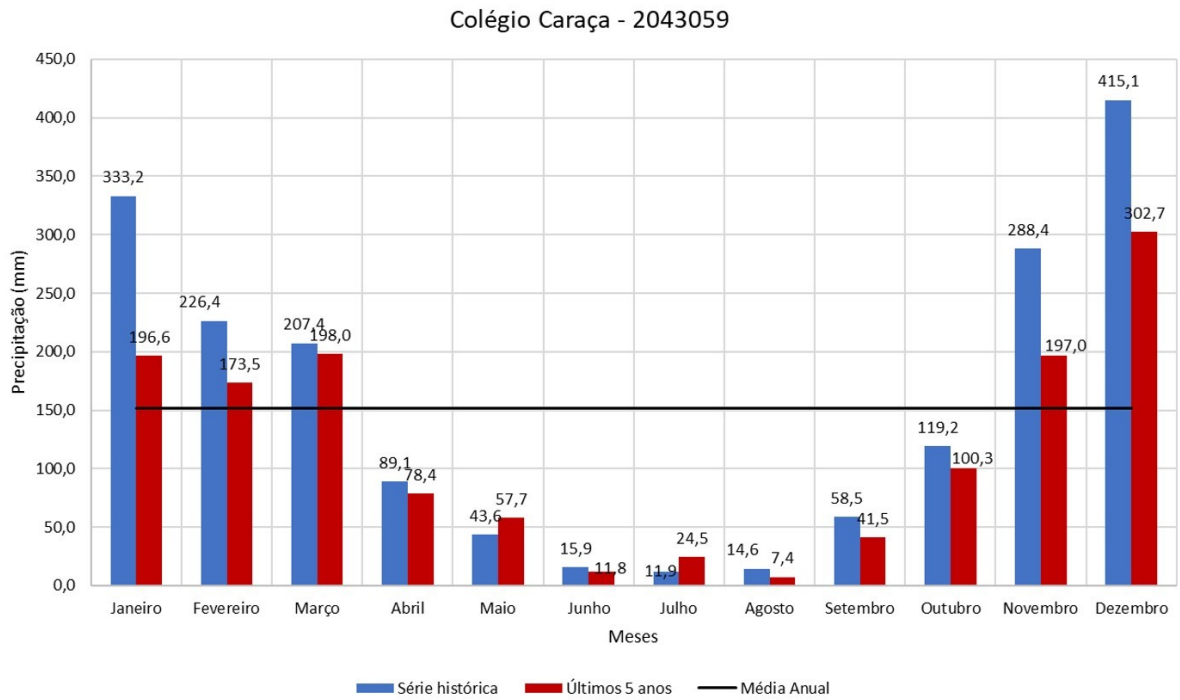
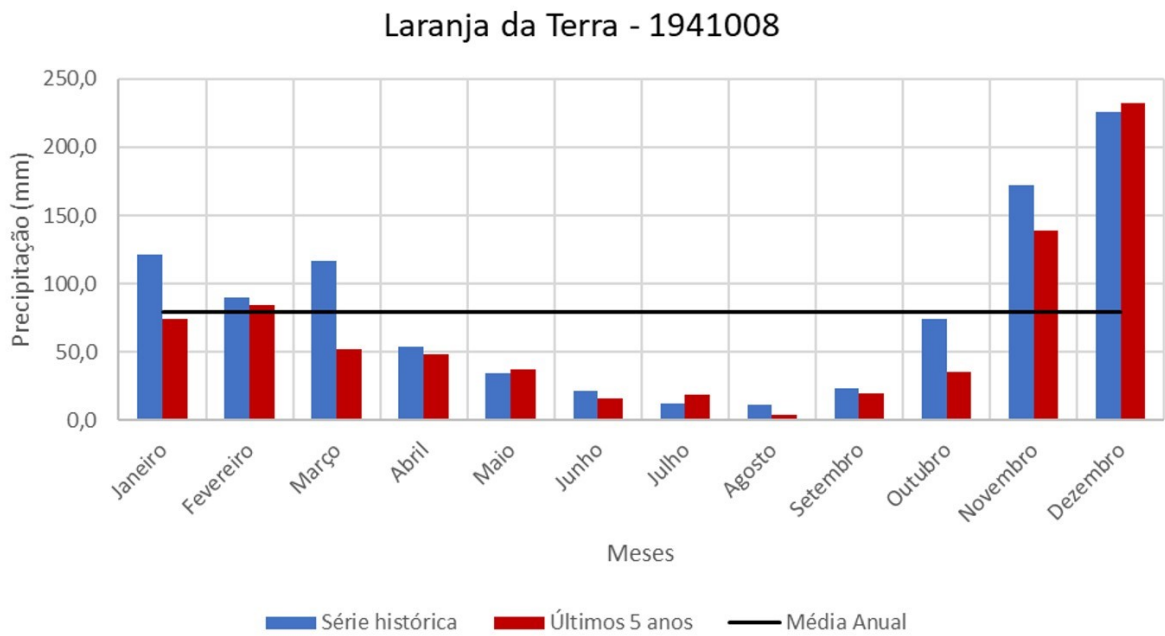


Figura 50: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação Colégio Caraça (Código ANA 2043059).



Fonte: Autoria própria.

Figura 51: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação Laranja da Terra (Código ANA 1941008).



Fonte: Autoria própria.

Figura 52: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação Matipó (Código ANA 2042017).

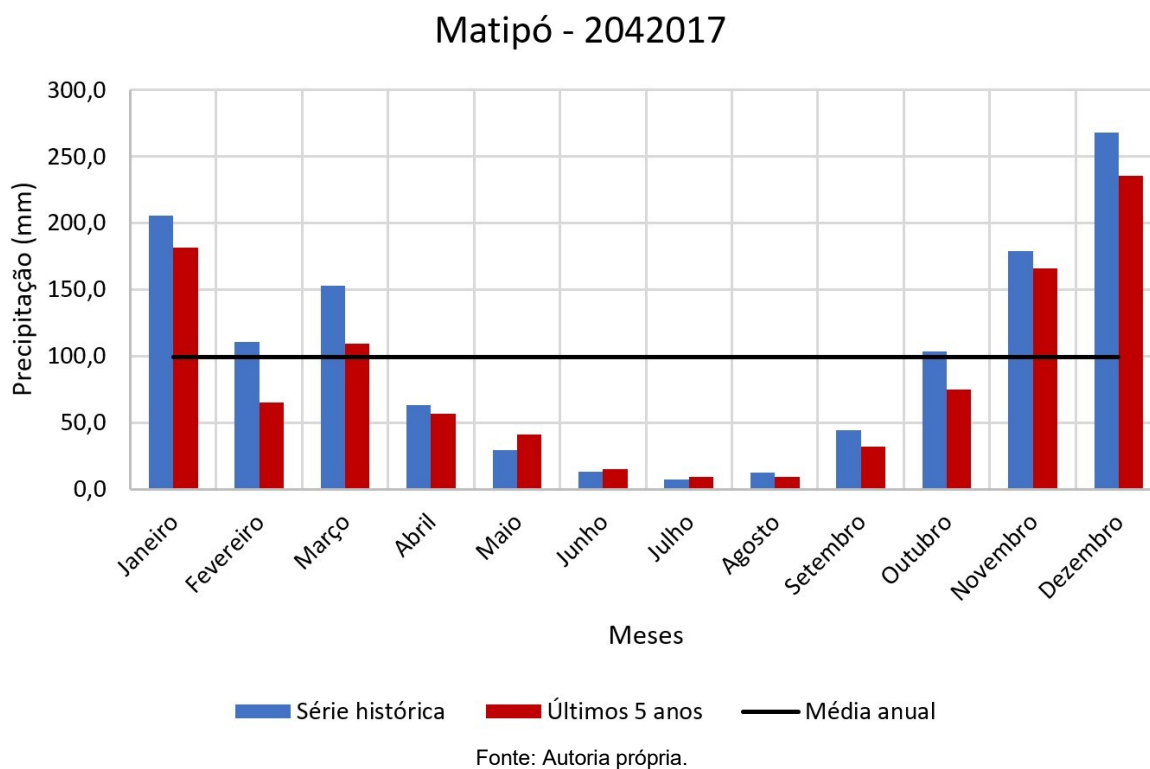
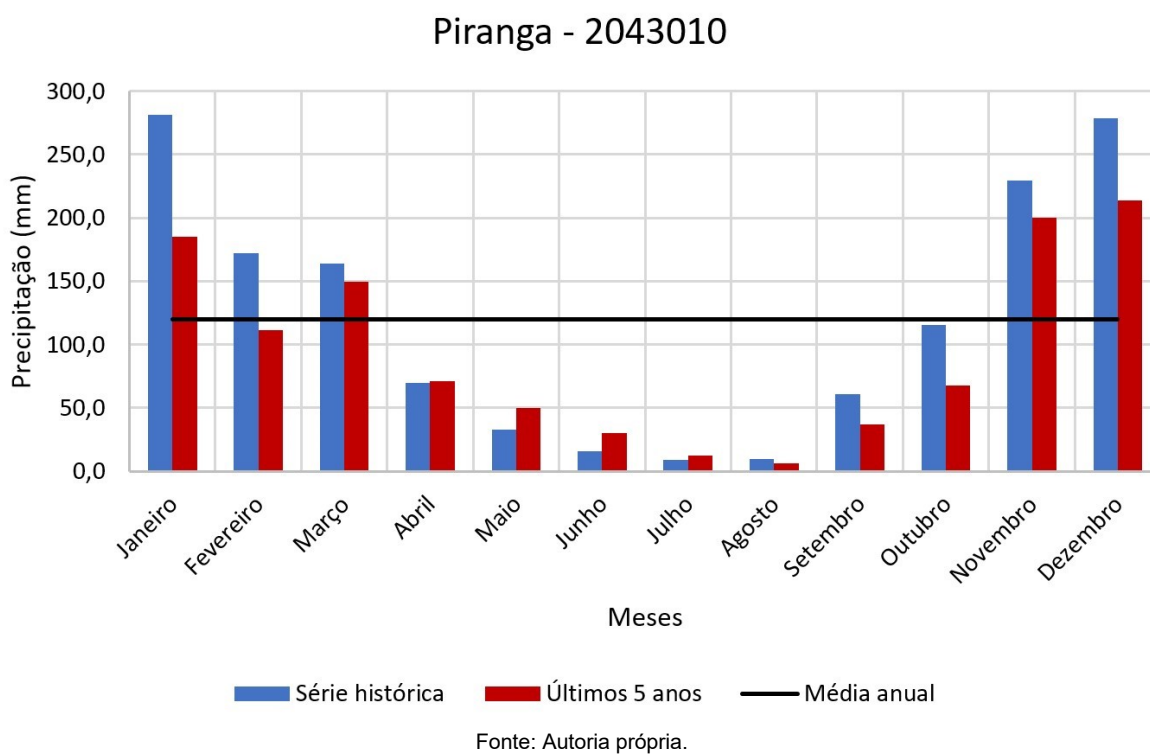


Figura 53: Precipitação média mensal entre 1985 – 2014 e 2013-2017 na estação Piranga (Código ANA 2043010).



Considerando como secos os meses com pluviosidade abaixo da média mensal anual, todas as estações apresentam uma estação chuvosa e uma seca, sendo o período seco coincidente com os meses mais frios do ano. Para todas as estações, o período seco se inicia em abril, entretanto, o término deste finaliza em setembro para duas estações (Tumiritinga e Matipó) e em outubro para as demais, se estendendo o período seco por 6 ou 7 meses.

Os últimos 5 anos se apresentaram mais secos que a média das séries históricas para todas as estações, porém com alguns meses mais chuvosos que a série histórica sobretudo no período seco. Assim, sete estações apresentaram maiores precipitações médias em maio nos últimos 5 anos que na série histórica. Junho foi mais chuvoso nos últimos 5 anos em 5 estações, abril em 4 estações e julho em três.

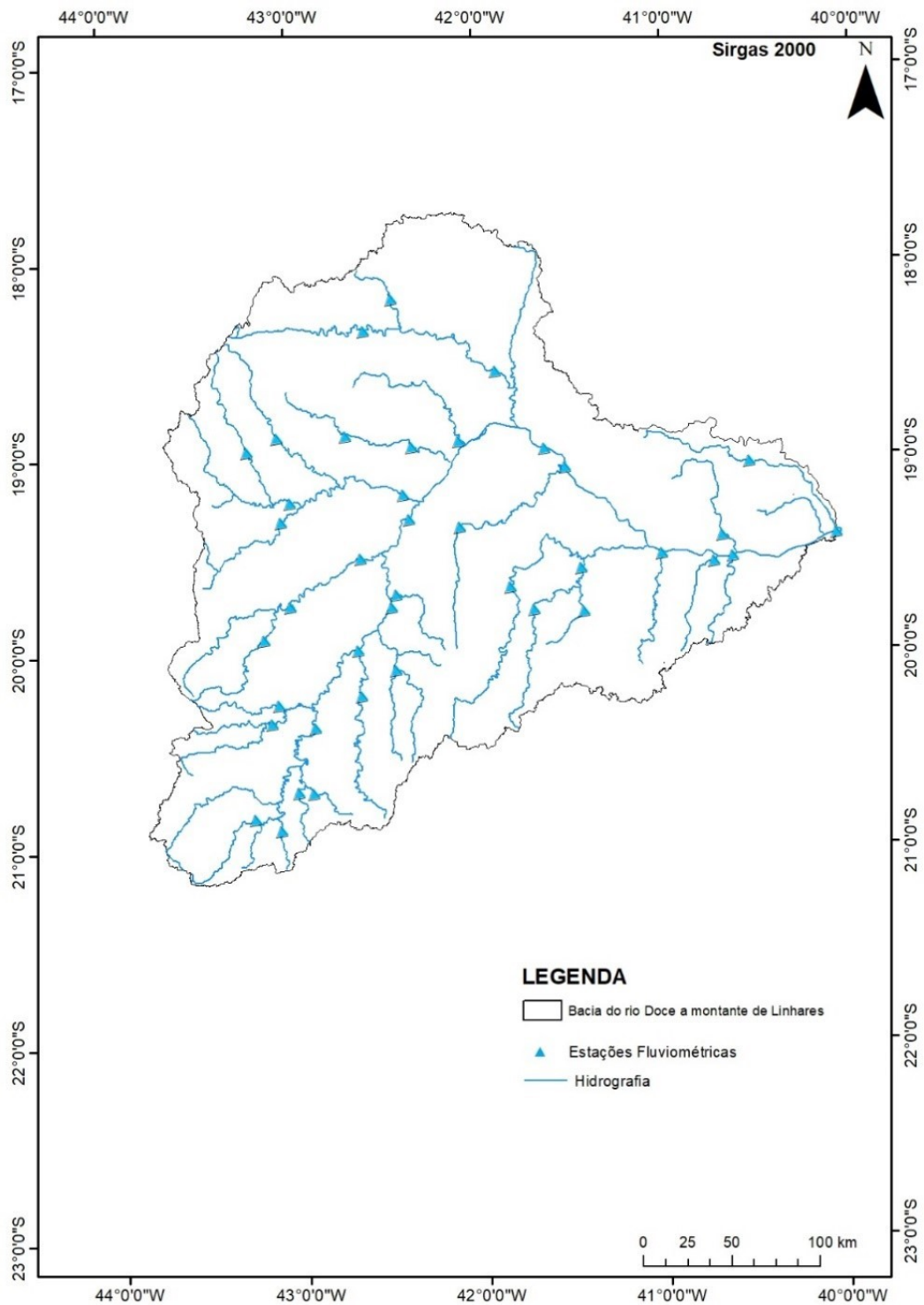
3.4 FLUVIOMETRIA

As estações fluviométricas localizadas na bacia do rio Doce, assim como os responsáveis por sua operação, foram identificadas e em seguida espacializadas utilizando sistema de informações geográficas. Das estações identificadas nesta fase, algumas não estão mais em operação e outras apresentam séries históricas com muitas falhas ou estão localizadas muito próximas de outras. Assim, 39 estações foram consideradas adequadas para caracterizar fluviometricamente a bacia do rio Doce. A Figura 54 apresenta a espacialização das 39 estações fluviométricas ao longo da bacia do rio Doce. Destas, cinco estações estão localizadas na calha do rio Doce, cinco localizadas no rio Piranga e no rio Santo Antônio, quatro estações no rio Manhuaçu, três estações nos rios Itambacuri e Piracicaba, duas estações no rio Corrente, no rio Caratinga e no rio do Carmo e uma estação nos seguintes rios: Casca, Guandu, Guanhães, Matipó, Pancas, Sacramento, Santa Joana, Santa Maria do rio Doce e São José. O rio Suaçuí Pequeno possui uma estação (Fazenda Aconchego – encontra-se também espacializada), porém, a mesma possui poucos dados disponíveis, não constituindo uma série histórica e, portanto, não foi utilizada em análises estatísticas subsequentes.

Os dados das estações foram consistidos em escritórios com a eliminação dos anos com falhas superiores a vinte dias e preenchimento de dados dos anos com menos de 20 dias de falha. Para o preenchimento das falhas, foram utilizados dados da estação mais próxima localizada e no mesmo curso d'água da estação com dados a serem preenchidos. O Quadro 5 apresenta a listagem das estações e as operações executadas nas mesmas para a consistência de seus dados. Das 38 estações, 36 tiveram o ano de 1988 eliminado devido ao grande número de falhas. A estação Dom Cavati teve três anos eliminados da análise (1988, 1991 e 1993), enquanto as estações Porto de Santa Rita, Instituto Florestal Raul Soares, Rio Piracicaba, Barra do Cuieté Jusante, Barra de São Gabriel, Colatina, Ponte do Pancas e Jusante Córrego da Piaba tiveram dois anos eliminados. Quatro estações tiveram dados preenchidos durante o processamento de consistência de dados, Instituto Florestal Raul Soares, Mário de Carvalho, Colatina e Jusante Córrego da Piaba.

Para a maioria das estações, a série histórica estudada compreende os anos de 1985 a 2014. As exceções foram para as estações Nova Era IV, Mario de Carvalho e Belo Oriente. Para a primeira, a série histórica abrangeu o período 1990 – 2016, enquanto que, para as estações Mario de Carvalho e Belo Oriente o período foi entre 1987 e 2016.

Figura 54: Espacialização das estações fluviométricas na bacia do rio Doce a montante de Linhares.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 5: Análise da consistência de dados fluviométricos das 38 estações da bacia do rio Doce: anos eliminados e preenchimento de falhas.

Código	Estação	Anos eliminados	Preenchimento de falhas
56846000	Porto de Santa Rita	1988 e 1989	-
56415000	Rio Casca	1988	-
56055000	Braz Pires	1988	-
56090000	Fazenda Varginha	1988	-
56110005	Ponte Nova Jusante	1988	-
56335001	Acaiaca Jusante	1988	-
56337000	Fazenda Ocidente	1988	-
56425000	Fazenda Cachoeira D'Antas	1988	-
56510000	Instituto Florestal Raul Soares	1988 e 2009	Dez. 2008
56539000	Cachoeira dos Óculos Montante	1988	-
56570000	Pingo D'Água	1988	-
56610000	Rio Piracicaba	1986 e 1988	-
56659998	Nova Era IV	-	-
56696000	Mário de Carvalho	1988	Mai. 1985, jul. 2016 e set. 2016
56719998	Belo Oriente	1988	-
56765000	Dom Joaquim	1988	-
56775000	Ferros	1988	-
56787000	Fazenda Barraca	1988	-
56800000	Senhora do Porto	1988	-
56825000	Naque Velho	1988	-
56845000	Fazenda Corrente	1988	-
56860000	São Pedro do Suaçuí	1988	-
56870000	Santa Maria do Suaçuí	1988	-
56891900	Vila Matias Montante	1988	-
56920000	Tumiritinga	1988	-
56935000	Dom Cavati	1988, 1991 e 1993	-
56940002	Barra do Cuieté Jusante	1988 e 1993	-
56978000	Santo Antônio do Manhuaçu	1988	-
56988500	Ipanema	1988	-
56989001	Mutum	1988	-
56989400	Assaraí montante	1988	-
56998400	Barra de São Gabriel	1988 e 1989	-
56992000	Baixo Guandu	1988	-
56994500	Colatina	1988 e 1989	Jan. 1985 e fev. 1985
56995500	Ponte do Pancas	1988 e 1989	-
56993551	Jusante Córrego da Piaba	1990 e 1989	Mar 1995
56075000	Porto Firme	1988	-
56085000	Seriquite	1988	-
56065000	Senador Firmino	1988	-

Fonte: Autoria própria.

Os dados fluviométricos diários de cada estação foram compilados em planilha eletrônica e calculada a vazão média para todo o período. Para cada ano, foram identificadas as vazões máxima e mínima e calculadas as médias das mesmas para a série histórica. Com o objetivo de se comparar a produção de água entre as diversas subbacias do rio Doce, as vazões médias das estações foram divididas pelas áreas de contribuição das mesmas, resultando na produção de água em L/s.km² (deflúvio areal médio). Os resultados estão apresentados na Tabela 60. A Figura 55 apresenta a espacialização da produção de água em cada subbacia.

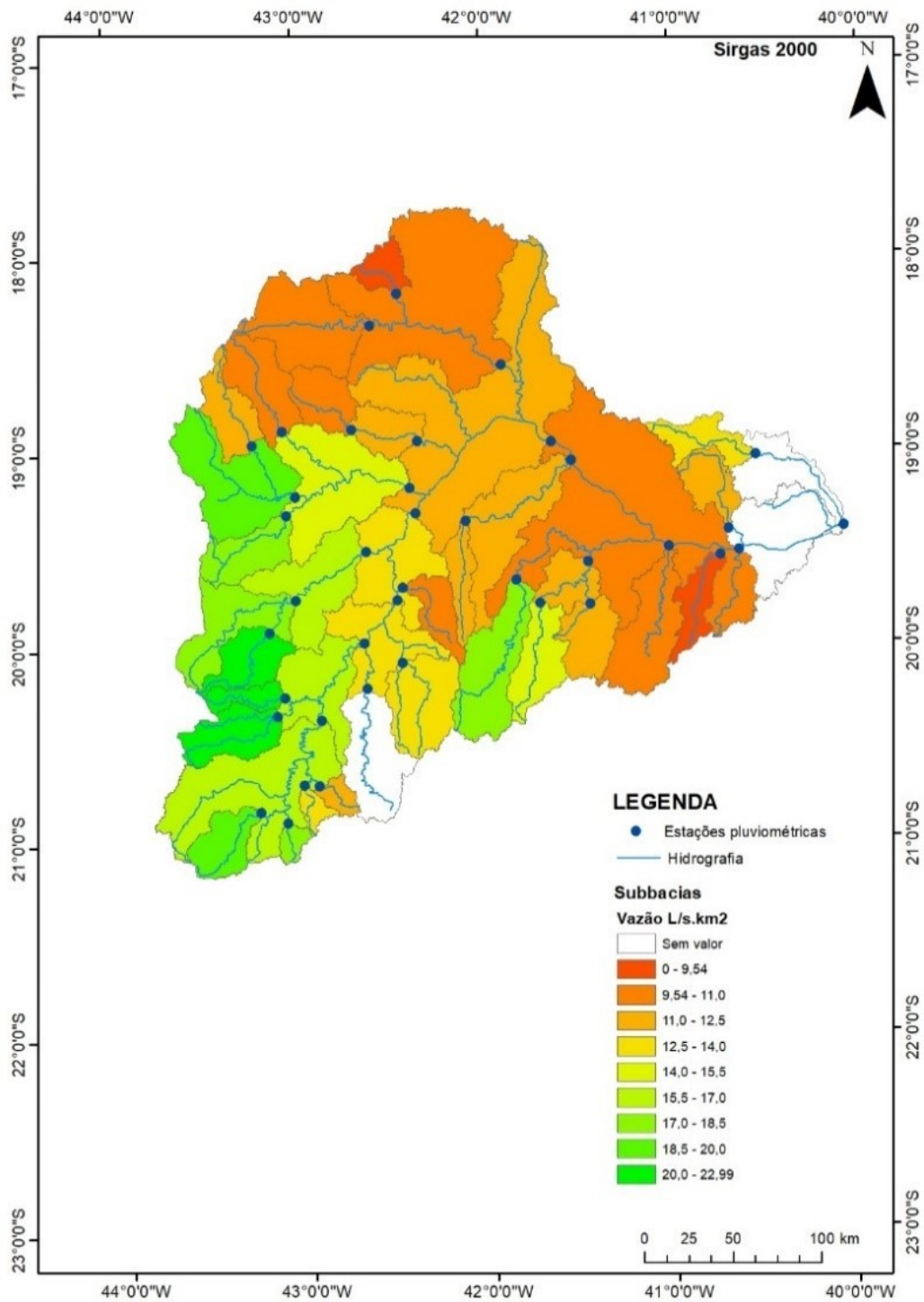
Tabela 60: Análise estatística dos dados fluviométricos: médias das vazões médias, médias das máximas e médias das mínimas de cada estação.

Código	Estação	Área de drenagem (km ²)	Média das máximas (m ³ /s)	Média das mínimas (m ³ /s)	Vazões médias (m ³ /s)	Produção por subbacia (L/s.km ²)
56846000	Porto de Santa Rita	1965	112,26	10,23	22,85	11,63
56055000	Braz Pires	1089	118,50	7,93	20,33	18,67
56090000	Fazenda Varginha	324	19,98	2,13	3,92	12,10
56110005	Ponte Nova jusante	6132	610,30	35,64	100,10	16,32
56335001	Acaiaca jusante	1371	223,01	12,72	29,75	21,70
56337000	Fazenda Ocidente	531	115,74	5,39	12,25	23,07
56425000	Fazenda Cachoeira D'Antas	10079	835,33	71,54	165,50	16,42
56510000	Instituto Florestal Raul Soares	1800	202,74	6,43	23,92	13,29
56539000	Cachoeira dos Óculos montante	15836	1036,50	88,78	220,01	13,89
56570000	Pingo D'Água	814	84,34	2,90	8,98	11,03
56610000	Rio Piracicaba	1163	204,88	7,22	23,88	20,53
56659998	Nova Era IV	3060	478,33	18,09	53,34	17,43
56696000	Mário de Carvalho	5270	594,97	30,82	84,19	15,98
56719998	Belo Oriente	24200	1614,00	124,03	313,13	12,94
56765000	Dom Joaquim	972	145,04	2,87	14,20	14,61
56775000	Ferros	4058	899,17	16,92	81,04	19,97
56787000	Fazenda Barraca	1280	258,25	6,68	23,07	18,02
56800000	Senhora do Porto	1521	119,44	4,84	16,38	10,77
56825000	Naque Velho	10170	1046,97	43,07	148,92	14,64
56845000	Fazenda Corrente	1064	64,21	2,94	10,38	9,76
56860000	São Pedro do Suaçuí	2610	158,46	9,04	24,53	9,40
56870000	Santa Maria do Suaçuí	670	53,76	1,56	5,73	8,55
56891900	Vila Matias Montante	10200	397,06	21,81	67,37	6,60
56920000	Tumiritinga	55425	3284,07	266,49	669,39	12,08

Código	Estação	Área de drenagem (km ²)	Média das máximas (m ³ /s)	Média das mínimas (m ³ /s)	Vazões médias (m ³ /s)	Produção por subbacia (L/s.km ²)
56935000	Dom Cavati	784	126,93	2,63	9,41	12,00
56940002	Barra do Cuieté jusante	3250	317,59	8,26	29,40	9,05
56978000	Santo Antônio do Manhuaçu	2287	276,53	11,57	41,33	18,07
56988500	Ipanema	1420	174,40	6,71	20,61	14,51
56989001	Mutum	1187	146,96	3,73	13,38	11,27
56989400	Assaraí montante	3190	341,61	11,11	36,85	11,55
56998400	Barra de São Gabriel	1070	107,20	2,62	13,29	12,42
56992000	Baixo Guandu	2135	228,77	6,20	21,03	9,85
56994500	Colatina	75800	4982,78	296,41	829,86	10,95
56995500	Ponte do Pancas	919	129,82	1,51	10,77	11,72
56993551	Jusante Córrego da Piaba	873	113,41	1,04	7,61	8,72
56075000	Porto Firme	4251	349,83	27,64	71,02	-
56085000	Seriquite	342	48,87	1,68	4,17	12,19
56065000	Senador Firmino	291	30,64	2,23	5,07	17,42

Fonte: Autoria própria.

Figura 55: Deflúvio areal médio em L/s.km² nas diversas bacias das estações fluviométricas da bacia do rio Doce.



As maiores produções de água em L/s.km² (deflúvio areal médio) coincidem com as áreas de maiores pluviosidades, tendo sido observado uma relação direta entre as duas grandezas. Deve-se observar que os valores apresentados na Tabela 60 estão relacionados a toda a bacia da estação. Assim, o valor auferido para a subbacia Colatina está relacionado a toda a bacia a montante da mesma. Como a bacia

da estação Colatina abrange cerca de 91,4% da bacia do rio Doce, pode-se afirmar que o deflúvio areal médio da bacia é de cerca de 10,95 L/s.km².

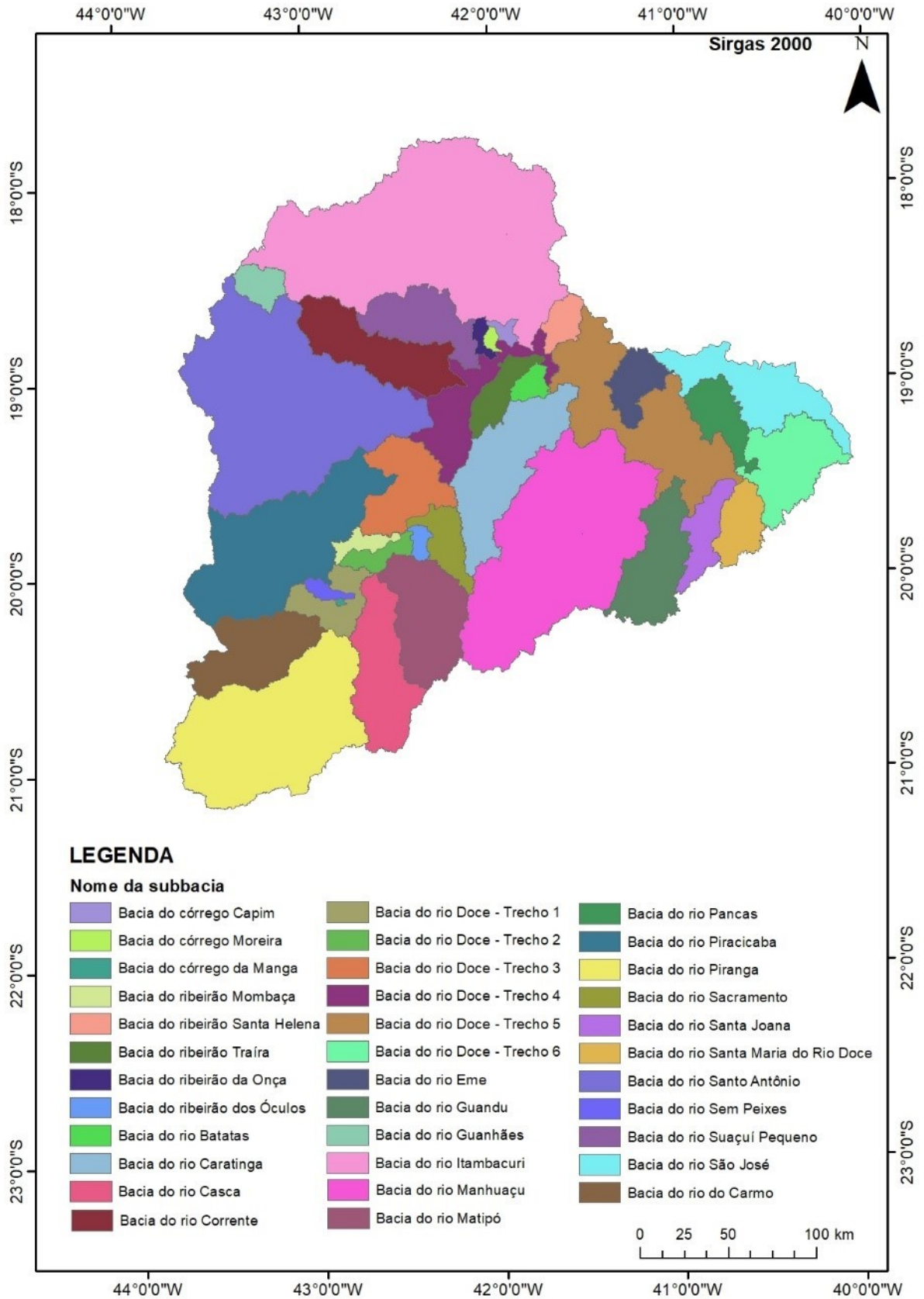
As subbacias com menores deflúvios médios estão situados no extremo norte e oeste da bacia, são elas: Jusante Córrego da Piaba (Rio Santa Joana), Santa Maria do Suaçuí, São Pedro do Suaçuí, Fazenda Corrente, Vila Matias Montante (bacia do rio Itambacuri) e Baixo Guandu (Rio Guandu).

Os maiores deflúvios médios são observados nas estações Ferros e Fazenda Barraca (Subbacia do rio Santo Antônio), Mário de Carvalho, Nova Era IV e Rio Piracicaba (Subbacia do rio Piracicaba), Fazenda Ocidente e Acaiaca Jusante (Subbacia do rio do Carmo), Ponte Nova Jusante, Braz Pires e Senador Firmino (Subbacia do rio Piranga) e Santo Antônio de Manhuaçu, no rio Manhuaçu.

Os dados das vazões médias anuais das estações foram transpostos para as demais áreas da bacia do rio Doce, de forma a se computar as vazões médias contribuintes de cada uma das subbacias e trechos do rio Doce, isto é, o quanto cada subbacia e cada trecho do rio Doce contribui para a vazão média do rio Doce. A Figura 56 apresenta as subbacias do rio Doce, enquanto a Tabela 61 apresenta os valores obtidos, incluindo o percentual que cada área contribui para a vazão média total da bacia a montante de sua área estuarina, isto é, a montante de Linhares.

Conforme pode ser observado, os formadores do rio Doce, rios Piranga e Carmo, são responsáveis por cerca de 16% da vazão do rio Doce na entrada do seu estuário. As bacias dos rios Santo Antônio, Manhuaçu, Piracicaba e Itambacuri são as que mais contribuem no deflúvio médio do rio Doce, respectivamente 16%, 11%, 9% e 9%). A contribuição das pequenas bacias que drenam diretamente para o rio Doce somam cerca de 14% do deflúvio médio.

Figura 56: Mapa das subbacias do rio Doce.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 61: Vazão das subbacias hidrográficas por relação de área.

Subbacias hidrográficas	Estação Fluviométrica mais próxima	Área Territorial da Subbacia	Vazão média da subbacia	Vazão percentual % vazão média total
Bacia do rio Manhuaçu	Assaraí montante	8811,82	101,803	11
Bacia do rio Guandu	Baixo Guandu	2162,25	21,345	2
Bacia do rio São José	Barra de São Gabriel	2392,24	29,702	3
Bacia do ribeirão Traíra	Barra do Cuieté Jusante	763,219	6,968	0,7
Bacia do rio Caratinga	Barra do Cuieté Jusante	3217,47	29,375	3
Bacia do rio Eme	Barra do Cuieté Jusante	903,381	8,248	0,9
Bacia do rio Batatas	Barra do Cuieté Jusante	312,743	2,855	0,3
Bacia do córrego Capim	Barra do Cuieté Jusante	140,736	1,285	0,1
Bacia do rio Doce - Trecho 3	Belo Oriente	1858,92	24,053	2,6
Bacia do rio Doce - Trecho 2	Cachoeira dos Óculos Montante	423,48	5,860	0,6
Bacia do rio Doce - Trecho 5	Colatina	4458,34	48,427	5
Bacia do rio Doce - Trecho 1	Fazenda Cachoeira D'Antas	978,782	16,038	1
Bacia do rio Carmo	Fazenda Ocidente	2287,15	52,959	5
Bacia do rio Matipó	Instituto Florestal Raul Soares	2559,31	32,732	3
Bacia do rio Santa Joana	Jusante Córrego da Piaba	912,338	7,777	0,8
Bacia do rio Santa Maria do Rio Doce	Jusante Córrego da Piaba	961,314	8,194	0,9
Bacia do rio Doce - Trecho 6	Colatina	2164,83	23,515	2
Bacia do rio Piracicaba	Mario de Carvalho	5460,09	87,231	9
Bacia do rio Santo Antônio	Naque Velho	9923,83	144,885	16
Bacia do ribeirão dos Óculos	Pingo D'Água	187,473	1,969	0,2
Bacia do ribeirão Mombaça	Pingo D'Água	323,282	3,395	0,3
Bacia do rio Sacramento	Pingo D'Água	844,684	8,872	0,9
Bacia do rio Pancas	Ponte do Pancas	1052,72	12,323	1
Bacia do córrego da Manga	Ponte Nova Jusante	19,0292	0,306	0,03
Bacia do rio Piranga	Ponte Nova Jusante	6642,12	106,722	11

Subbacias hidrográficas	Estação Fluviométrica mais próxima	Área Territorial da Subbacia	Vazão média da subbacia	Vazão percentual % vazão média total
Bacia do rio Sem Peixes	Ponte Nova Jusante	190,492	3,061	0,3
Bacia do córrego Moreira	Porto Santa Rita	87,4375	1,014	0,1
Bacia do ribeirão da Onça	Porto Santa Rita	166,981	1,936	0,2
Bacia do rio Corrente	Porto Santa Rita	2458,02	28,504	3
Bacia do rio Suaçuí Pequeno	Porto Santa Rita	1727,46	20,032	2
Bacia do rio Casca	Rio Casca	2506,7	33,635	3
Bacia do rio Guanhões	Senhora do Porto	546,42	5,889	0,6
Bacia do rio Doce - Trecho 4	Tumiritinga	1888,16	22,938	2
Bacia do ribeirão Santa Helena	Vila Matias Montante	511,933	3,530	0,3
Bacia do rio Itambacuri	Vila Matias Montante	12426,2	85,691	9

Fonte: Autoria própria.

3.5 INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS E DE ALTIMETRIA

Juntamente com as análises pluviométrica e fluviométrica, foi realizado o levantamento dos dados cartográficos e topográficos de toda a bacia, os quais foram preparados para compor as informações de entrada do modelo SWAT. Foram preparados o Modelo Digital de Elevação (MDE) e os mapas Pedológico e de Uso e Ocupação do Solo. O MDE utilizado foi o disponibilizado no Portal para Informações e Dados Espaciais – *GeoNetwork*, da Agência Nacional de Águas – ANA. O MDE possui moderada resolução espacial (células de 10m) da bacia do rio Doce. Este foi criado a partir de Modelos Digitais SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e ASTER GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) e *Global Digital Elevation Map*. A interpolação utilizada para a elaboração do MDE com resolução de 10 m foi pelo método “*Spline*”. Além disso, foram utilizados os pontos cotados altimétricos para alocação de torres de transmissão de sinal de telefonia celular distribuídos aleatoriamente por toda a área do projeto, aprimorando a acurácia do dado. Para a área correspondente ao fuso 23 foram utilizados 9.720 pontos com as coordenadas planialtimétricas conhecidas e na área pertencente ao fuso 24 um total de 6.478 pontos. Como resultado foi gerado um MDE de Superfície (MDS) com uma precisão de 5 m na altimetria e 10 m na planimetria.

O Mapa de Uso e Ocupação do Solo utilizado é também disponibilizado pelo Portal para Informações e Dados Espaciais – *GeoNetwork*, da Agência Nacional de Águas – ANA. O mapa foi criado por meio de imagens de satélites ALOS, QUICKBIRD, WORLD VIEW I e LANDSAT-7 e o produto tem uma escala de interpretação de 10 metros compatível com escala 1:100.000.

Já o Mapa Pedológico da bacia do Rio Doce foi criado em 2006 pela Diretoria de Geociências do IBGE e está disponibilizado pelo Portal FTP deste órgão em resolução 1:5.000.000.

Os dados cartográficos e de altimetria que serão utilizados no subprojeto de modelagem estão apresentados a seguir: o MDE é apresentado na Figura 57, o mapa de Uso e ocupação do solo, na Figura 58 e o Mapa Pedológico, na Figura 59.

Figura 57: MDE da bacia do rio Doce.

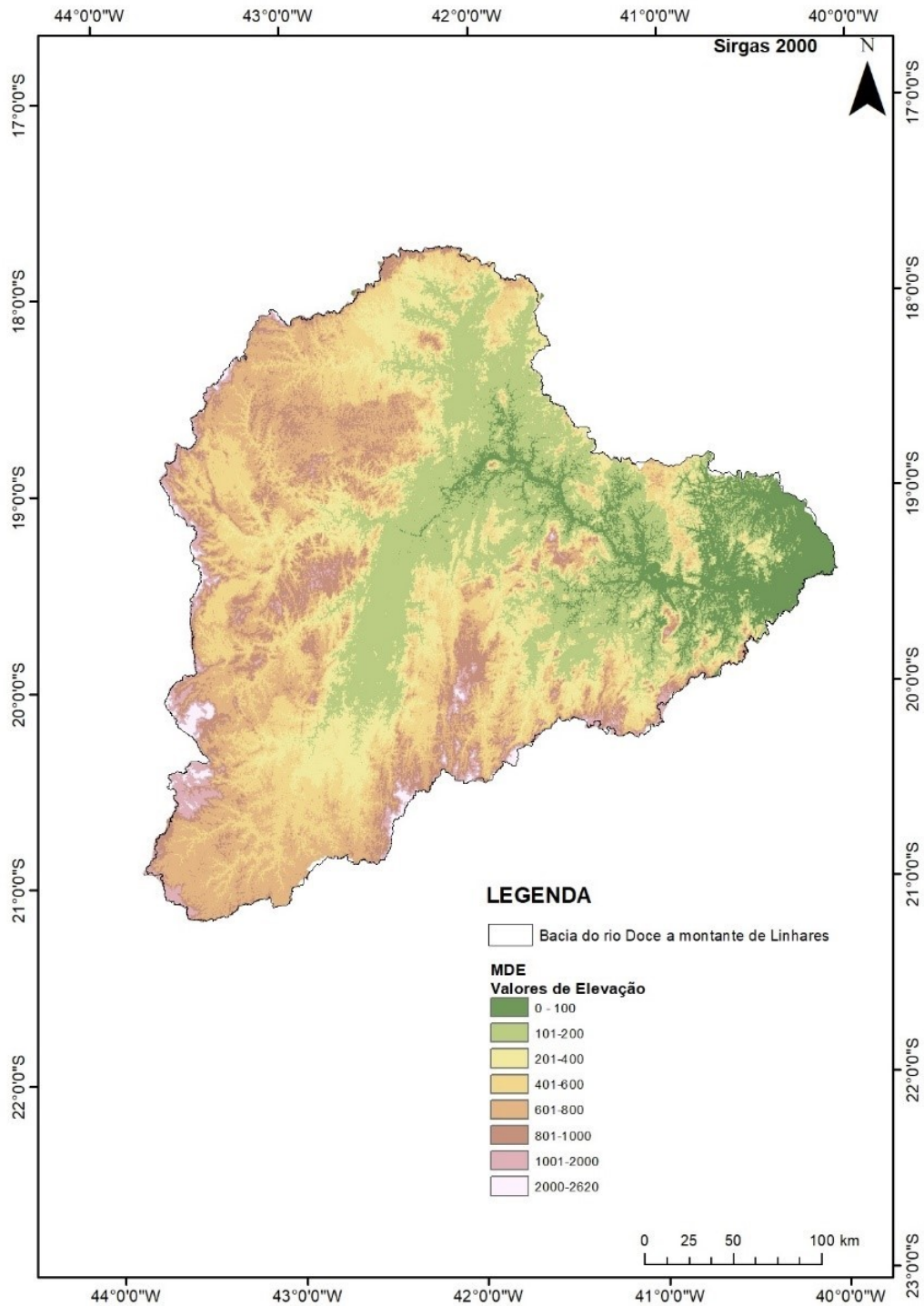


Figura 58: Uso e Ocupação da bacia do rio Doce.

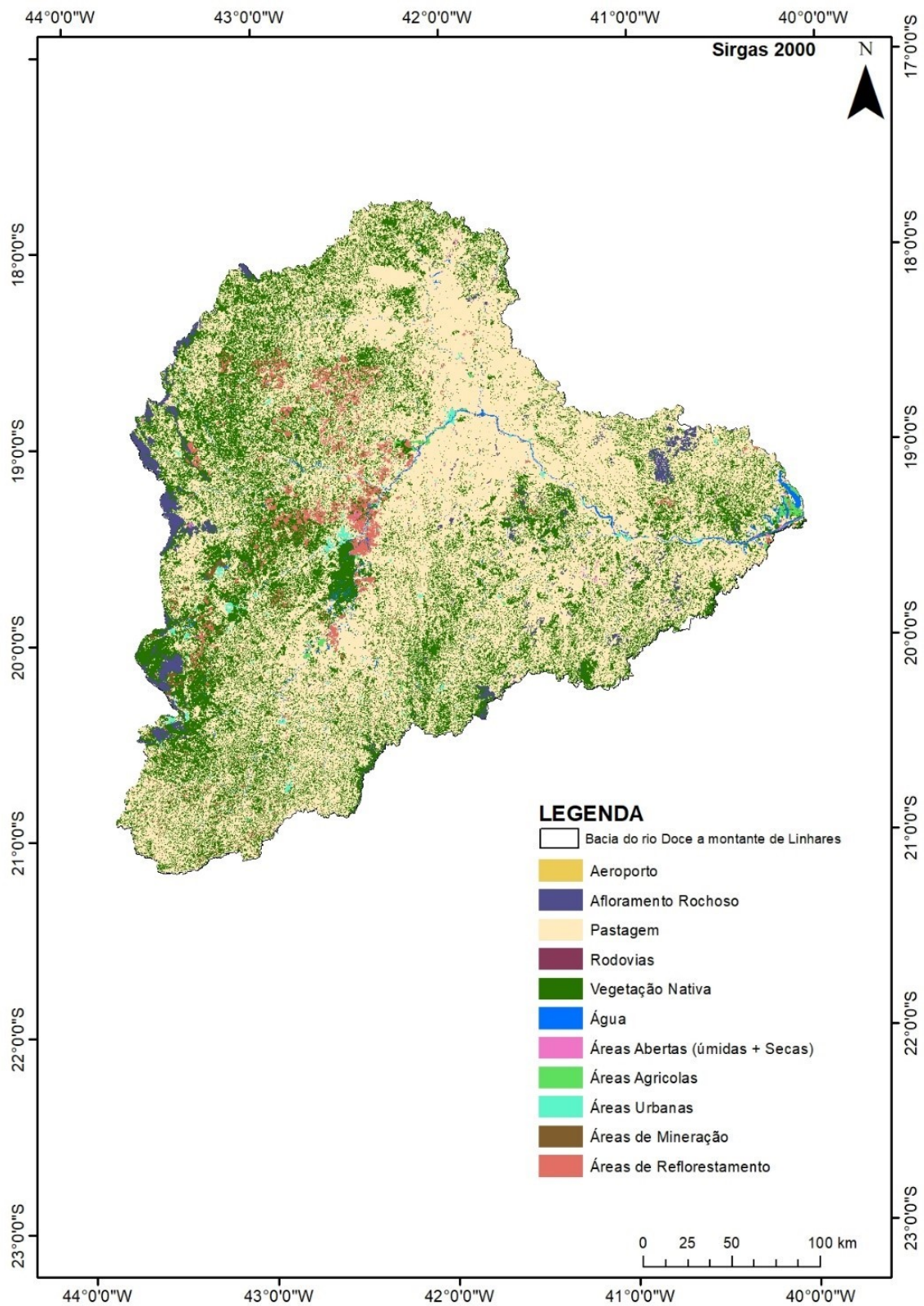
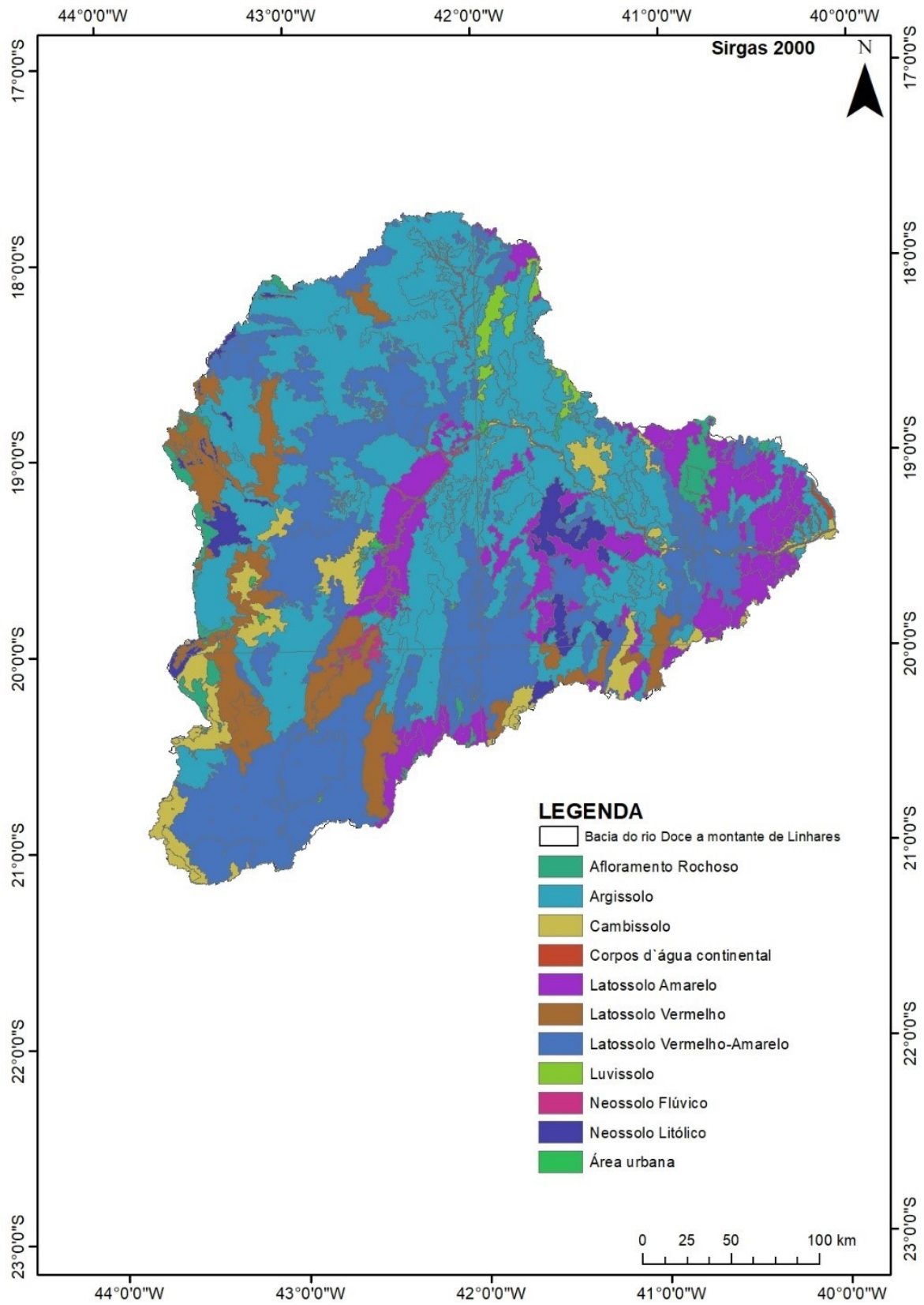


Figura 59: Pedologia da bacia do rio Doce.



4 SUBPROJETO: ÁCIDOS GRAXOS, COMPOSIÇÃO ELEMENTAR E ISÓTOPOS

4.1 OBJETIVO

Monitoramento ambiental da área dulcícola, em 10 estações ao longo da bacia do Rio Doce, por meio das análises de lipídeos totais, ácidos graxos e das concentrações totais de C, N e suas razões isotópicas no seston (amostras de água filtradas) e sedimentos.

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A deposição de matéria orgânica nos sedimentos de sistemas aquáticos constitui um importante passo da ciclagem de C no sistema aquático e representa um elo de ligação entre as fontes de C na água e seu processamento no sedimento. Sedimento de rios e sistemas lacustres recebem material orgânico de diversas fontes, tanto internas quanto externas, e por isso são formados por uma mistura heterogênea de componentes orgânicos, que só pode ser elucidada a partir de uma combinação de técnicas (Pedrosa-Pàmies et al., 2015). Estas incluem análises elementares, de C e N, seus isótopos estáveis e marcadores bioquímicos (lipídeos totais, ácidos graxos, dentre outros).

Neste subprojeto foram realizadas até o momento (com resultados apresentados neste relatório):

- Amostras de C, N e isótopos estáveis de C e N do sedimento das coletas 1 a 4;
- Amostras de lipídeos totais das amostras de sedimento das coletas 1 a 6 (para expressão em massa de sedimento);
- Amostras de lipídeos totais das amostras de sedimento das coletas 1 a 4 (para expressão em massa de Carbono);

Se encontram em processamento:

- Amostras C, N e isótopos do sedimento das coletas 5 a 8;
- Amostras C, N e isótopos da água das coletas 1 a 8;
- Amostras de lipídeos totais da água das coletas 1 a 8;
- Amostras de ácidos graxos da água e sedimento das coletas 1 a 8;

As causas para o atraso na execução das análises elementares, de isótopos de C e N, de lipídeos totais e ácidos graxos envolvem atrasos na compra e repasse do equipamento importado (liofilizador), assim como nos processos de compra de materiais de laboratório (vidrarias, reagentes, etc), listados nas tabelas ao final deste relatório. Alguns materiais essenciais para a execução das análises ainda não foram entregues, e a previsão de entrega é para maio/junho de 2019 (por ex., tubos cônicos para extração de ácidos graxos). Estamos operando com material pré-existente no laboratório, mas este é

insuficiente para o processamento de um grande número de amostras, como as previstas no presente projeto.

Com relação ao ácidos graxos, que são essenciais para nos auxiliar a caracterizar as mudanças taxonômicas e ecofisiológicas na microbiota no sedimento e na água, ficamos ainda limitados pela falta dos padrões para a análise cromatográfica. Estes só chegaram no final de abril, e assim, apesar de muitas amostras terem começado a ser processadas (lembrando que o liofilizador só chegou em final de janeiro e que ainda não dispomos de vidraria suficiente para um processamento eficiente), a quantificação depende do estabelecimento das curvas de padrão, que estão em fase de finalização após a chegada das substâncias.

Apesar de em atraso, todas as metodologias analíticas já foram testadas e se encontram padronizadas. Assim, o processamento das amostras se dá agora de maneira automatizada, dependendo apenas da disponibilidade de material de consumo.

4.2.1 Análise de Lipídeos Totais

Foram realizadas as análises de lipídeos totais do sedimento das coletas 1 a 6. No entanto, os resultados relativos ao teor de lipídeos totais por unidade de carbono ainda não se encontram aqui apresentados, visto que para este cálculo necessitamos dos valores de C orgânico total, que estão em processamento para as coletas 5 e 6. Da mesma forma, as amostras de água das 6 coletas foram processadas, mas dependem dos dados de C para serem quantificadas e apresentadas. Até o final de junho todas as análises referentes a lipídeos totais na água e sedimento, para o primeiro semestre, estarão prontas.

De uma maneira geral as concentrações de lipídeos encontradas nas amostras de sedimento das estações amostrais – até o momento – estiveram sempre abaixo de 50 mg por g de carbono orgânico, representando menos do que 10% do conteúdo total de C orgânico para a maioria das estações (Fig. 1A e B). Em termos de concentração por amostra de sedimento (Figura 60), estas ficaram sempre abaixo de 0.20 mg g⁻¹ de sedimento, com exceção das estações e24 e e25a, que foram estações com maior concentração de C por g de sedimento. Ambos são sistemas lênticos, sendo que a estação 24 é uma pequena lagoa com presença de pocilga nas imediações, o que pode ter contribuído para os elevados teores de lipídeos e de carbono total no sedimento. A estação 25, Lagoa de Monsarás, apresenta conexão com o Rio Doce, representada pela estação de número 25a.

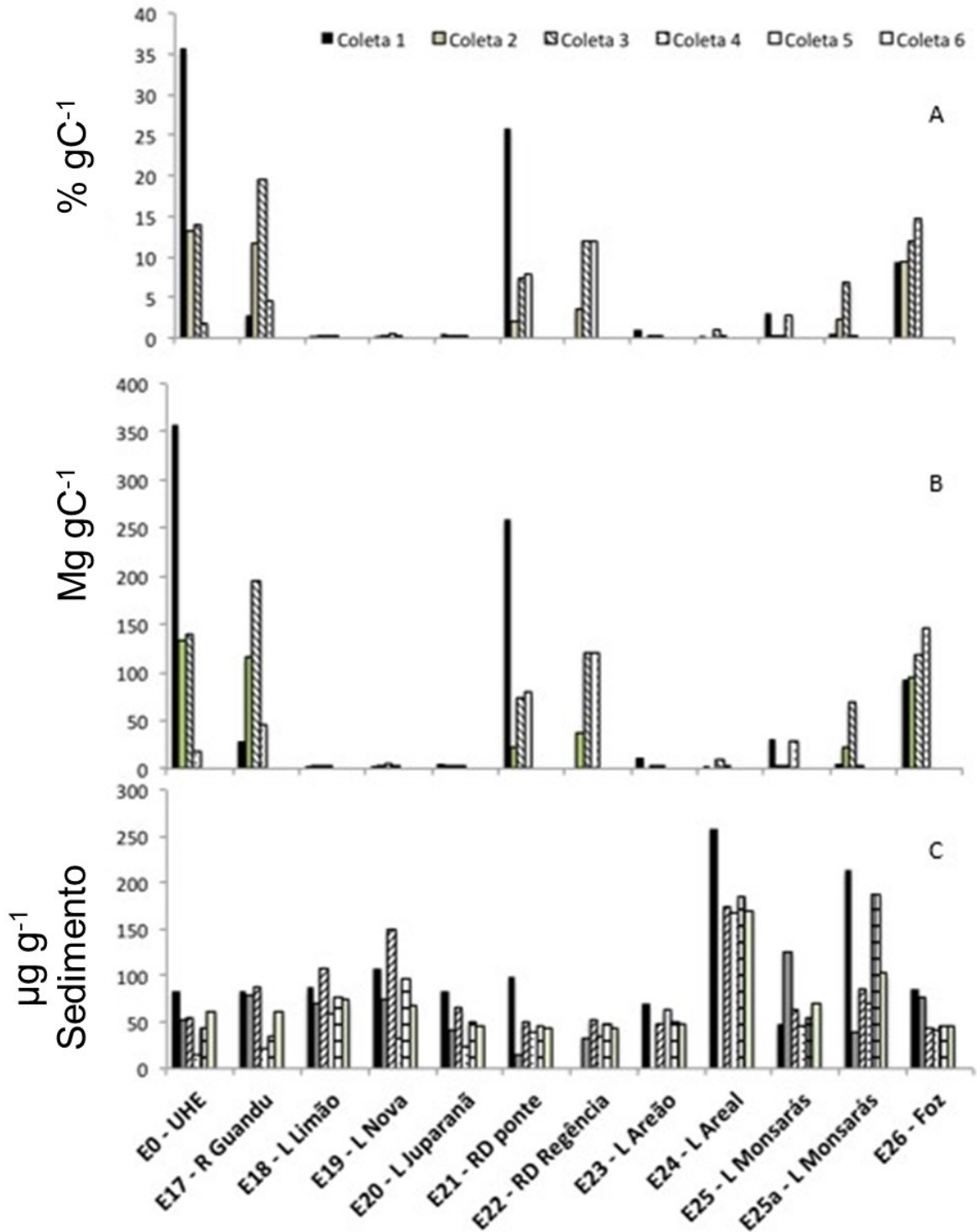
Os valores encontrados para a maioria das estações, em termos de concentração de lipídeos por g de sedimento, estão coerentes com valores encontrados na literatura (e.g., 0.26-4.47 mg g⁻¹, Pusceddu et al., 1999). A título de comparação, um estudo realizado em sedimentos da baía da Guanabara (RJ), que recebe esgoto doméstico em elevadas concentrações, apontou uma concentração média de lipídeos totais da ordem de 714.9 mg por g de C, correspondendo em média a 0.60 ± 0.4 mg g⁻¹ sedimento (Silva et al., 2011).

No entanto, em termos de concentração de lipídeos por g de carbono orgânico, destaca-se aqui os elevados valores encontrados nas estações riverinas, incluindo os pontos amostrais na calha do Rio Doce, em comparação aos sistemas lênticos, à exceção talvez da estação e25a, que representa uma estação de conexão entre o Rio Doce e a Lagoa Monsarás. Em praticamente todas as coletas, a concentração de lipídeos totais por unidade de C no sedimento de estações riverinas estiveram acima dos valores verificados nas lagoas e demais sistemas lênticos, inclusive da lagoa 24, que apresenta elevada concentração de C em virtude da descarga de dejetos de criação suína nas margens. Especialmente as estações e0 e e21, durante a primeira coleta, apresentaram valores excepcionalmente altos (análises refeitas e confirmadas). Tal acúmulo de lipídeos totais na biomassa de C pode indicar uma deposição de matéria orgânica rica em lipídeo (Pusceddu et al., 2009), ou ainda, a ineficiência da microbiota em processar a matéria orgânica. Nesse último caso, o material mais dificilmente processado (os lipídeos) acabam se acumulando na biomassa, como resultado do processamento preferencial do material mais lábil (carboidratos e proteínas). Este resultado precisa ser analisado conjuntamente aos demais dados de isotopia de C e dos ácidos graxos, além de dados de outros marcadores lipídicos no sedimento, a fim de entendermos se o acúmulo de lipídeos segue um padrão de acúmulo de biomassa nessas estações ou se está sendo causado por alterações nas taxas de decomposição. Cabe ressaltar que essa tendência de acúmulo de lipídeos na biomassa de C parece aumentar com o avançar do tempo, particularmente nas estações intermediárias e na foz do Rio Doce (Figura 60). Se essa tendência se confirmar para as demais coletas, e não for observada nenhuma alteração em resposta a mudanças sazonais, tal padrão poderia sugerir uma alteração na ciclagem de C nos sedimentos do Rio Doce, o que pode ser uma consequência direta de alterações granulométricas no sedimento em função da deposição de sedimentos finos provenientes do rejeito, de alterações de pH e de oxigenação do sedimento, o que pode alterar a comunidade bacteriana (Zhao et al., 2017). É sabido que alterações granulométricas e na qualidade elementar (N:P:C) do sedimento também interferem com as taxas de decomposição (Burke et al., 1989). Sedimentos argilosos e sílticos normalmente apresentam menores taxas de decomposição do que sedimentos arenosos. Aliado à redução na vazão, observada nas últimas coletas, esse processo pode resultar, a médio prazo, no acúmulo de matéria orgânica não processada no leito do rio, que poderá ser disponibilizada pontualmente, caso algum evento promotor de ressuspensão venha a ocorrer no sistema.

Dependendo da caracterização das frações lipídicas é possível inferir se essa deposição está associada a processos microbiológicos internos ou se representa um acúmulo de material alóctone transportado e depositado. As análises de ácidos graxos no sedimento, assim como as análises elementares, podem auxiliar na compreensão da origem deste acúmulo lipídico em alguns pontos amostrais e que compreenderam, de uma maneira geral, as amostragens realizadas na calha do Rio Doce. Como não existem dados pretéritos de lipídeos totais e ácidos graxos para o Rio Doce, ainda não é possível realizar um diagnóstico sazonal preciso entre as amostragens, embora as tendências espaciais relatadas tenham sido perceptíveis a partir dos dados analisados até o momento. É fundamental mantermos a análise mensal dos valores de lipídeos pelo maior período de tempo

possível, pois estes parâmetros nos indicarão os padrões de processamento da matéria orgânica no sedimento, assim como os de C, N, isotopia e ácidos graxos nos indicarão a origem de tais padrões.

Figura 60: Concentração de lipídeos totais (% por gC, mg por gC e μg por g de sedimento) em amostras de sedimento das estações amostrais durante as coletas 1 a 4 (A e B) e 1 a 6 (C).

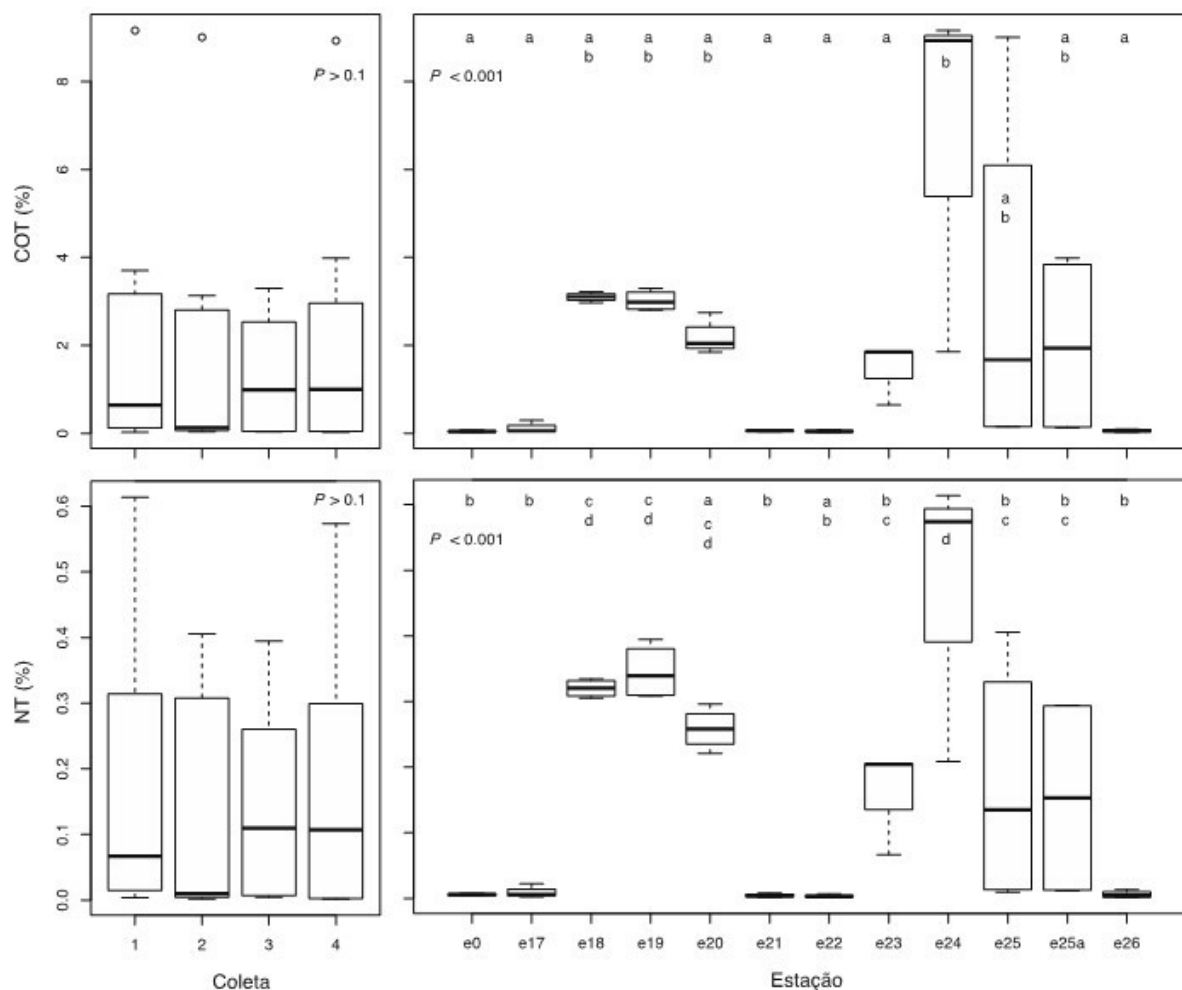


Fonte: Autoria própria.

4.2.2 Análises elementares de C e N e isótopos estáveis de C e N

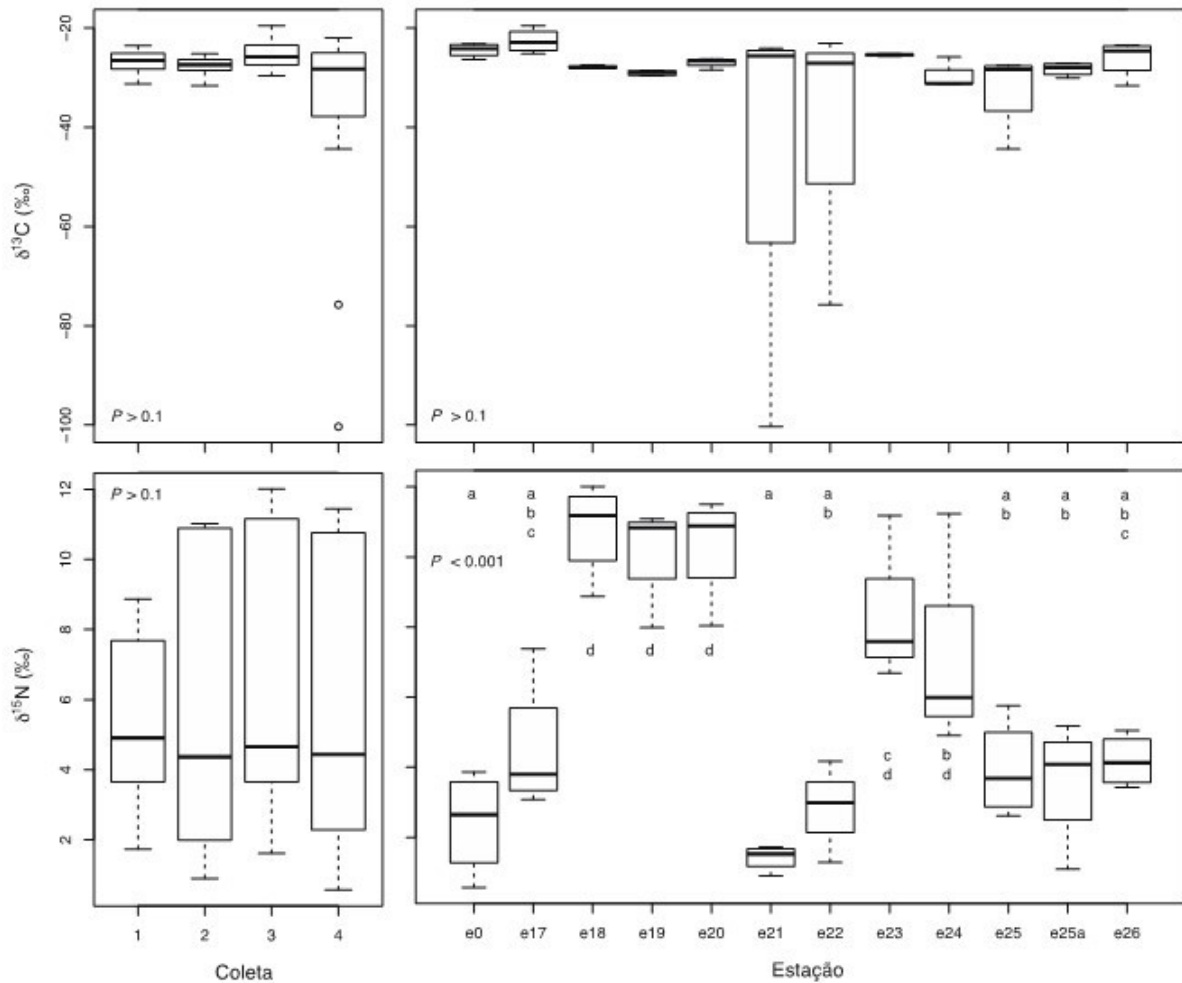
Os valores absolutos de carbono orgânico total (COT, em % de massa seca), de nitrogênio total (NT, em % de massa seca), da isotopia do carbono orgânico total ($\delta^{13}\text{C}$, em ‰ referente ao padrão VPDB) e do nitrogênio total ($\delta^{15}\text{N}$, em ‰ referente ao N_2 atmosférico) dos sedimentos durante as primeiras quatro coletas (Figura 61 e Figura 62) estão dentro da faixa de valores amplamente encontrados e esperados para sedimentos límnicos (Sterner & Elser, 2002; Fry, 2006; Finlay & Kendall, 2007). A única exceção seriam talvez dois valores de $\delta^{13}\text{C}$ extremamente baixos nas estações de coleta fluviais e21 e e22 (Figura 62; Rio Doce em Linhares e Rio Doce 13.2 km a montante da foz). Valores tão baixos são tipicamente associados com a presença de bactérias metanotróficas (Fry, 2006; Finlay & Kendall, 2007).

Figura 61: Conteúdos de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nos sedimentos coletados nas primeiras quatro coletas, apresentados por coleta (todas as estações) e por estação de coleta (todas as coletas). Os boxplots mostram o mínimo, o 1º quartil (Q1), a mediana, o 3º quartil (Q3), e o máximo. Outliers (círculos) são definidos como valores menores do que $Q1 - 1.5 \cdot \text{IQR}$ (intervalo entre Q1 e Q3) e maiores do que $Q3 + 1.5 \cdot \text{IQR}$. Valores de P mostram os resultados de ANOVAs testando diferenças entre coletas e entre estações de coletas. Letras minúsculas diferentes mostram diferenças significativas entre estações de coleta (teste de Tukey $P < 0,05$).



Fonte: Autoria própria.

Figura 62: Isotopia do carbono orgânico total ($\delta^{13}\text{C}$) e do nitrogênio total ($\delta^{15}\text{N}$) nos sedimentos coletados nas primeiras quatro coletas, apresentados por coleta (todas as estações) e por estação de coleta (todas as coletas). Os boxplots mostram o mínimo, o 1º quartil (Q1), a mediana, o 3º quartil (Q3), e o máximo. Outliers (círculos) são definidos como valores menores do que $Q1 - 1.5 \cdot \text{IQR}$ (intervalo entre Q1 e Q3) e maiores do que $Q3 + 1.5 \cdot \text{IQR}$. Valores de P mostram os resultados de ANOVAs testando diferenças entre coletas e entre estações de coletas. Letras minúsculas diferentes mostram diferenças significativas entre estações de coleta (teste de Tukey $P < 0,05$).



Fonte: Autoria própria.

Em nenhuma das variáveis geoquímicas dos sedimentos (COT, NT, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) foram encontradas diferenças significativas entre as quatro coletas (Figura 60 e Figura 61; ANOVA, $P > 0,1$). Entretanto, foram encontradas diferenças significativas entre estações de coleta para as variáveis COT, NT e $\delta^{15}\text{N}$ (Figura 61 e Figura 62; ANOVA, $P < 0,001$, teste pós-hoc Tukey, $P < 0,05$). De uma maneira geral, estações de coleta lacustres mostraram uma tendência para valores de COT, NT e $\delta^{15}\text{N}$ maiores que estações fluviais (Figura 61 e Figura 62). Valores maiores de $\delta^{15}\text{N}$ em ambientes lacustres, especialmente valores entre 9‰ e 12‰ nas lagoas mais profundas (L. Limão, L. Nova e L. Juparanã), correspondem bem com resultados de estudos anteriores que acharam valores maiores de $\delta^{15}\text{N}$ para biomassa algal do que para solos terrestres, folhagem e macrófitas aquáticas (Finlay & Kendall, 2007). Do mesmo modo, valores de $\delta^{13}\text{C}$ relativamente altos nas estações riverinas e0, e17 e e26 correspondem com estudos na literatura que evidenciaram valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais altos para algas

bentônicas do que para algas fitoplanctônicas, e que contribuem significativamente para a biomassa de sedimentos em lagoas mais profundas (Finlay & Kendall, 2007). Vale lembrar que nestas mesmas estações foram encontrados valores de lipídeos (em % do C orgânico total) mais elevados, indicando uma possível maior contribuição de biomassa bentônica nestes pontos (Figura 60).

Os valores de COT nas estações riverinas nas primeiras quatro coletas (Figura 61; 0,05% [0,02–2,8%], mediana [mínimo–máximo]) foram baixos em comparação com os valores do Córrego Tripuí e do Rio Carmo da mesma bacia hidrográfica (0,2% [0,04–0,91]; Silva et al., 2018) e podem ser um indício para a dominância de material mineral de origem da barragem do Fundão nessas estações. Na mesma forma, os valores de COT e NT nos sedimentos lacustres no presente estudo (0,09–9,5% COT e 0,002–0,61% NT) parecem baixos em comparação com a L. Canto Grande perto de Linhares (0,6–37,2% COT e 0,08–1,7% NT; Lorente et al., 2018). Os valores de $\delta^{13}C$ (entre -44 e -25) e $\delta^{15}N$ (entre 1,1 e 12) dos ambientes lacustres no presente estudo mostraram uma variabilidade isotópica maior do que os valores publicados para a Lagoa Canto Grande ($\delta^{13}C$ entre -32 e -28, e $\delta^{15}N$ entre 0 e 5).

4.2.3 Parâmetro, Indicador e Evidência de Impactos Agudos e/ou Crônicos

Quadro 6: Parâmetro do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Indicador de impacto e Evidência de Impacto.

Parâmetro	Indicador	Evidência
Lipídeos totais	Possível indicador de alterações nas taxas de decomposição e na composição da biota microbiana dos sedimentos.	Concentração de lipídeos por unidade de C aumentada nos sedimentos riverinos, em relação às lagoas da bacia.

Fonte: Autoria própria.

4.2.4 Inclusão/exclusão de parâmetro para continuidade do PMBA

Quadro 7: Inclusão/exclusão de parâmetro para continuidade do PMBA

Parâmetro	Frequência amostral	Adequação de amostragem e/ou método analítico	Justificativa
Lipídeos totais	Mensal	Utilizar o padrão de ácido linoleico	O padrão de 5-alfa-cholestano, indicado no TR, não produz reação colorimétrica pelo método da fosfovanilina, não sendo indicado para o cálculo das concentrações de lipídeos totais.

Fonte: Autoria própria.

4.2.5 Dificuldades para o desenvolvimento do subprojeto

Quadro 8: Dificuldade com complexidade das amostras para o desenvolvimento do subprojeto.

Complexidade das amostras	Dificuldade para desenvolvimento das análises das amostras	Situação das amostras	Observação
Falhas no acondicionamento e identificação das amostras em algumas campanhas	Necessidade de recondicionar as amostras adequadamente e de conferir a identificação de todas as amostras antes das análises	Amostras em processamento	As amostras de sedimento das quatro primeiras campanhas já foram analisadas quanto a composição de C, N e razões isotópicas. As amostras de sedimento da 1a campanha já foram analisadas quanto à concentração de lipídeos totais e de ácidos graxos.

Fonte: Autoria própria.

Quadro 9: Dificuldades com infraestrutura para o desenvolvimento do subprojeto.

Infraestrutura: adequação do espaço físico	Dificuldade para desenvolvimento das análises das amostras	Situação do espaço físico	Observação
Problemas com falta de energia elétrica em função das chuvas	A falta de energia durante as chuvas é regular (em média 3 vezes por semana) e compromete o funcionamento fulltime dos equipamentos.	Foi feita nova instalação de energia pela CEMIG (concessionária mineira de energia) a pedido da reitoria da universidade.	Com a nova instalação elétrica e a chegada da época de seca o problema não deve mais reincidir.
Infraestrutura: equipamento de laboratório	Dificuldade para desenvolvimento das análises das amostras	Situação do equipamento	Observação
Liofilizador	Demora na aquisição e instalação do liofilizador	Instalado apenas em 30/01/2019. A partir da instalação iniciamos os testes de adequação de processamento das amostras no equipamento. Estes testes foram finalizados em meados de fevereiro, quando iniciamos o pré-tratamento das amostras.	Finalizamos o pré-tratamento das amostras destinadas à análise de lipídeos e ácidos graxos das coletas 1 e 2. Estamos em fase de pré-tratamento das amostras destinadas à análise de lipídeos e ácidos graxos para as demais coletas. No entanto, o pré-tratamento é lento, tendo em vista a não operacionalização total do equipamento, devido à falta do ar condicionado (Vide abaixo)
Ar condicionado	Ar condicionado chegou na FEST mas a mesma não o enviou para nós até a data de entrega desse relatório (29/03/2019). Demora no envio do ar condicionado para instalação no laboratório	Ainda não foi entregue em São João del Rei	Sem o ar condicionado o liofilizador não pode operar o dia inteiro para o pré-tratamento das amostras. O funcionamento do equipamento produz muito calor e interfere com outros equipamentos na sala (inclusive câmaras de cultivo de microorganismos).

Fonte: Autoria própria.

Quadro 10: Dificuldade com material de consumo para o desenvolvimento do subprojeto.

Material de consumo	Dificuldade para desenvolvimento das análises das amostras	Situação do material de consumo	Observação
Padrões analíticos, material de laboratório e reagentes para ácidos graxos e isótopos	Sem os padrões, material e reagentes não há como analisar amostras.	O pedido foi feito mas os reagentes não chegaram, por falta de comunicação entre a FEST e os fornecedores. As autorizações de fornecimento foram emitidas pela FEST em janeiro/2019. No entanto, os fornecedores nos informaram em 26/03/2019 que a FEST não autorizou a compra ou não deu prosseguimento na mesma. Um outro fornecedor alegou não ter recebido o email do setor de compras. Os padrões de ácidos graxos só chegaram no final de abril.	As curvas de soluções padrão e as análises de ácidos graxos estão sendo feitas com solução padrão e reagentes antigos que tínhamos disponíveis no laboratório. Para os isótopos foram feitas as curvas padrão, mas o tempo restante só foi suficiente para a medição das amostras de sedimento das coletas 1 a 4.

Fonte: Autoria própria.

4.3 CONCLUSÃO

Com os dados disponíveis até o momento é possível inferir que existe uma tendência a acumulação de matéria orgânica rica em lipídeos no sedimento das estações riverinas, embora ainda não seja possível concluir sobre a fonte deste acúmulo: se resulta de deposição de matéria orgânica alóctone, trazida com o rejeito, ou de alterações na microbiota e nas taxas de decomposição causadas por alterações nas características do sedimento. As análises de C e isótopos de C já sugerem a possível presença de microbiota metanogênica nos sedimentos das estações intermediárias do Rio Doce, onde as concentrações de lipídeos na biomassa também foram elevadas. A não disponibilidade de dados pretéritos das estações amostrais, para as variáveis aqui apresentadas, dificulta a interpretação dos resultados obtidos à luz de um impossível impacto direto. No entanto, estamos providenciando a análise de amostras do rejeito e de fontes terrestres, a fim de concluirmos sobre a importância do rejeito nestas modificações. As tendências já observadas para as análises de lipídeos são bastante peculiares, e certamente poderão nos auxiliar na interpretação das alterações microbiológicas ocorrentes no sedimento do rio e dos sistemas lacustres afetados, assim que os resultados de ácidos graxos estiverem disponíveis. Nesse sentido, as análises de lipídeos totais, C, N e isótopos, e de ácidos graxos são complementares e nos auxiliarão na interpretação da resiliência dos sistemas e a melhoria das condições ambientais da microbiota dos sedimentos, após a perturbação ecossistêmica. Para tal, é necessário que o monitoramento seja continuado pelo maior tempo possível, a fim de que estas tendências possam se tornar aparentes e diferenciadas de um possível ciclo sazonal natural dos sistemas avaliados.

4.4 REFERÊNCIAS

BURKE, C., YONKER, C. M., PARTON, W. J., COLE, C. V., FLACH, K., SCHIMEL, D. S. (1989) Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in U.S. grassland soils. *Soil Scientific Society of America Journal*, 53, 800-805.

FINLAY, J. C., & KENDALL, C. (2007). Stable isotope tracing of temporal and spatial variability in organic matter sources to freshwater ecosystems. Pp. 283–333 In: Michener, R., & Lajtha, K. *Stable isotopes in ecology and environmental science*. Blackwell Publishing

Fry, B. (2006). *Stable isotope ecology*. Springer, 308 p.

LORENTE, F. L., PESSEDA, L. C. R., OBOH-IKUENOBE, F., JUNIOR, A. A. B., DE FÁTIMA ROSSETTI, D., GIANNINI, P. C. F., COHEN, M. C. E., DE OLIVEIRA, P.E., MAYLE, F. D., FRANCISQUINI, M. I., FRANÇA, M. C., BENDASSOLLI, J. A., & MACARIO, K. (2018). An 11,000-year record of depositional environmental change based upon particulate organic matter and stable isotopes (C and N) in a lake sediment in southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 84, 373-384.

PEDROSA-PÀMIES, R., PARINOS, C., SANCHEZ-VIDAL, A., GOGOU, A., CALAFAT, A., CANALS, M., BOULOUBASSI, I., & LAMPADARIOU, N. (2015) Composition and sources of sedimentary organic matter in the deep eastern Mediterranean Sea. *Biogeosciences*, 12, 7379–7402.

PUSCEDDU, A., SARÀ, G., ARMENI, M., FABIANO, M. & MAZZOLA, A. (1999). Seasonal and spatial changes in the sediment organic matter of a semi- enclosed marine system (W-Mediterranean Sea). *Hydrobiologia*, 397, 59-70.

PUSCEDDU, A., DELL'ANNO, A., FABIANO, M., DANOVARO, R. (2009) Quantity and bioavailability of sediment organic matter as signatures of benthic trophic status. *Marine Ecology Progress Series*, 75, 41– 52.

SILVA, D. D. C., BELLATO, C. R., MARQUES NETO, J. D. O., & FONTES, M. P. (2018). Trace elements in river waters and sediments before and after a mining dam breach (Bento Rodrigues, Brazil). *Química Nova*, 41, 857-866.

SILVA, F. S., BITENCOURT, J. A. P., SAVERGNINI, F., GUERRA, L. V., NETO, J. A. B. & CRAPEZ, M. A. C. (2011) Bioavailability of Organic Matter in the Superficial Sediment of Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 34, 52-63.

STERNER, R. W., & ELSER, J. J. (2002). *Ecological stoichiometry: The biology of elements from molecules to the biosphere*. Princeton University Press, 439 p.

ZHAO, D., CAO, X., HUANG, R., ZENG, J., WU, Q.L. (2007) Variation of bacterial communities in water and sediments during the decomposition of *Microcystis* biomass. *PLOS ONE* 12(4): e0176397.

5 SUBPROJETO: METAIS E CONTAMINANTES ORGÂNICOS

5.1 OBJETIVO

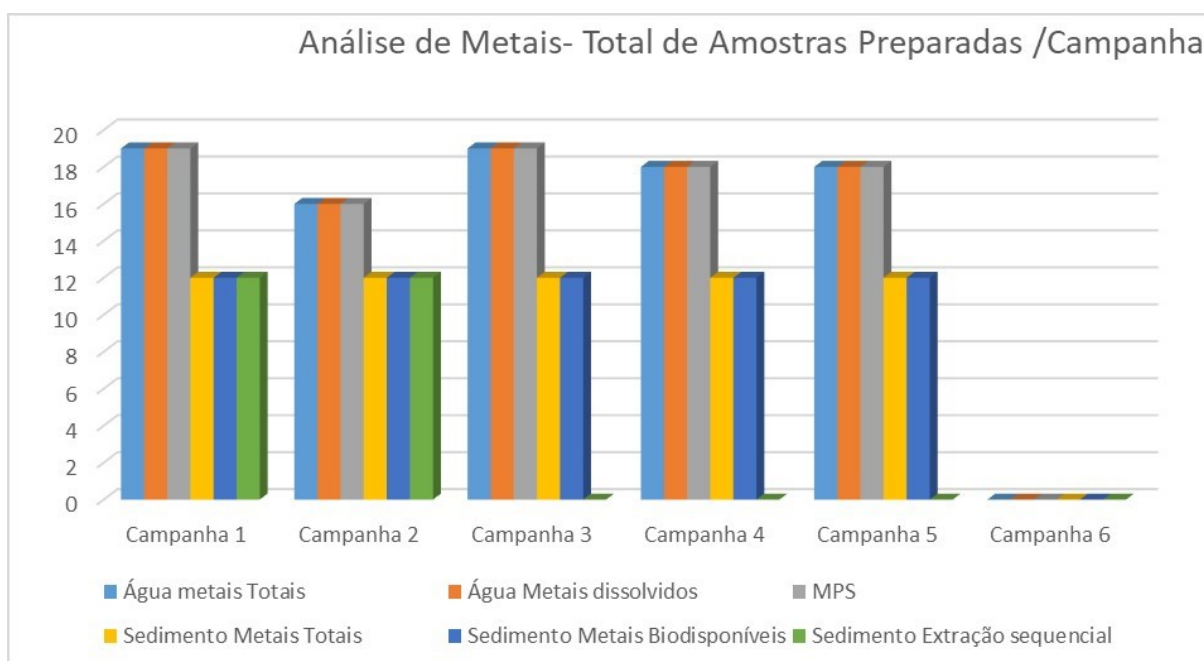
Este projeto tem como objetivo avaliar os índices de contaminação de metais e compostos orgânicos em águas e sedimentos do rio Doce, no estado do Espírito Santo, região afetada pelo acidente da Samarco- Mariana/MG, utilizando-se procedimentos de coleta e análise especificados nos Termos de Referência 4- Anexo 3.

5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.2.1 Dosagem de Metais

O trabalho envolve a dosagem dos seguintes parâmetros para água: a) metais totais (30 analitos), b) metais dissolvidos (30 analitos) e c) Materiais Particulados Solúveis -MPS (30 analitos). Para os sedimentos foi planejada a dosagem de: d) metais totais (27 parâmetros), e) metais biodisponíveis (30 parâmetros) e f) extração sequencial. Para analisar estes seis parâmetros foram usados diferentes protocolos para a matriz água e para a matriz sedimentos. Os gráficos a seguir apresentam o total de amostras preparadas e analisadas executado até o momento bem como o percentual preparado e analisado, até então.

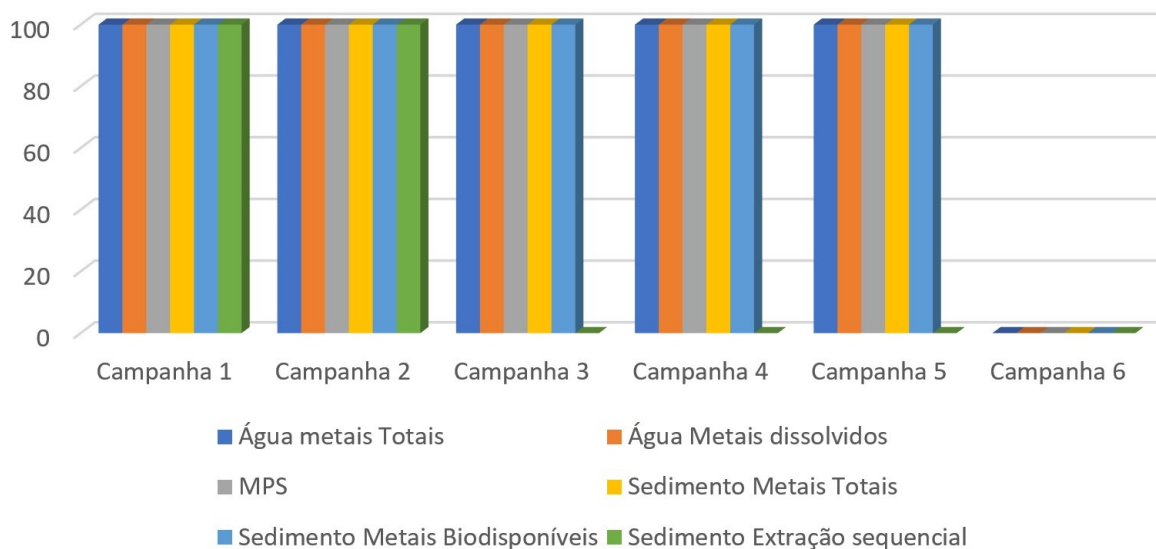
Figura 63: Análise de Metais, identificando o total de amostras preparadas por campanha.



Fonte: Autoria própria.

Figura 64: Análise de Metais, identificando a porcentagem de amostras preparadas por campanha.

Análise de Metais- % de Amostras Preparadas/ Campanha



Fonte: Autoria própria.

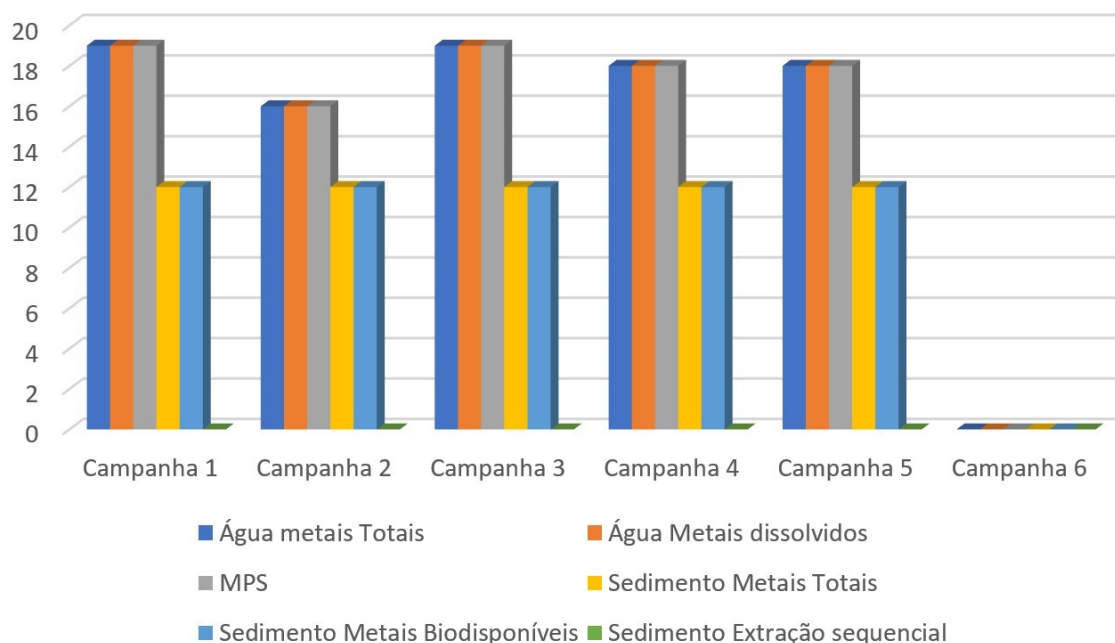
Conforme mostram os dados, foram preparadas praticamente todas as amostras para posterior análise no quesito dosagem de metais, excetuando-se a Extração Sequencial nos sedimentos em que foram preparadas apenas as amostras das campanhas 1 e 2. Isto ocorreu porque este parâmetro foi classificado como de menor prioridade para sermos capazes de responder os quesitos de maior importância das resoluções CONAMA 357/05 (água) e 454/12 (sedimentos). Este procedimento ainda está em evolução e deverá ser concluído em breve. As amostras da campanha 6 não foram preparadas porque ainda não houve tempo hábil.

Em resumo, foram executados os preparos de 414 amostras (77% do total incluindo a campanha 6) e foram analisadas 390 amostras (72% do total incluindo a campanha 6)

A seguir são apresentados os dados de quantificação, ou seja, a análise das amostras por ICP-MS. Deve-se ressaltar que estas amostras foram analisadas no laboratório da Universidade Federal de Montes Claros, equipamento este que não está dedicado à execução do projeto, demandando viagem de nossa equipe, que está alocada em Belo Horizonte (distância 426 km).

Figura 65: Total de amostras analisadas por ICP_MS por campanha.

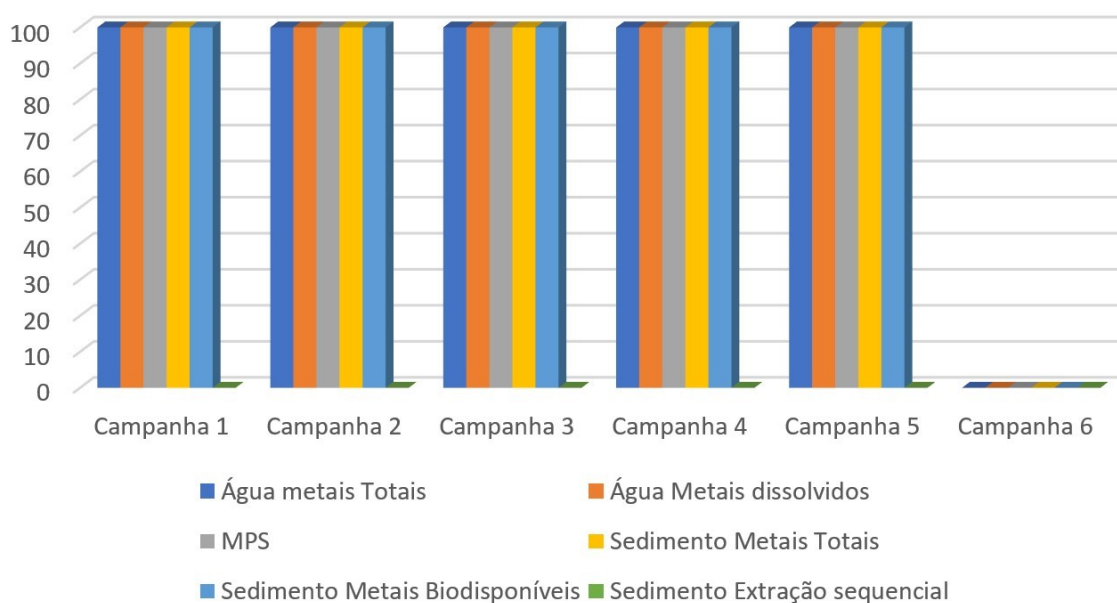
Análise de Metais- Total de Amostras Analisadas por ICP-MS/Campanha



Fonte: Autoria própria.

Figura 66: Porcentagem de amostras analisadas por ICP_MS por campanha.

Dosagem de Metais - % Amostras Analisadas por ICP-MS



Fonte: Autoria própria.

Afora a campanha 6, foram quantificados todos os parâmetros: metais totais em água, metais dissolvidos em água, metais totais em MPS, metais totais em sedimentos e metais biodisponíveis em sedimentos. Não foram analisadas as amostras de extração sequencial para nenhuma campanha, porque esta não foi priorizada. As amostras da campanha 6 não foram ainda trabalhadas por falta de tempo.

5.2.2 Dosagem de Compostos Orgânicos

As amostras de água e sedimentos foram preparadas, gerando extratos que posteriormente foram analisadas por cromatografia gasosa. Foram analisados os seguintes parâmetros: hidrocarbonetos, hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA), fenóis, esteróis, pesticidas, bifenilas policloradas (PCBs) e eteraminas. Para cada parâmetro foi usado um protocolo distinto de extração dos orgânicos e posterior concentração dos mesmos, para depois serem submetidos à análise por cromatografia gasosa. Para todo o trabalho foram construídas 120 curvas analíticas em um trabalho bastante extenso e minucioso, que requereu uma logística típica de um trabalho em grande escala. Nas figuras que se seguem tem-se os números de amostras preparadas e analisadas, bem como o percentual em relação ao total para cada campanha.

Figura 67: Amostras preparadas para análise de cada parâmetro para as matrizes água e sedimento por campanha.

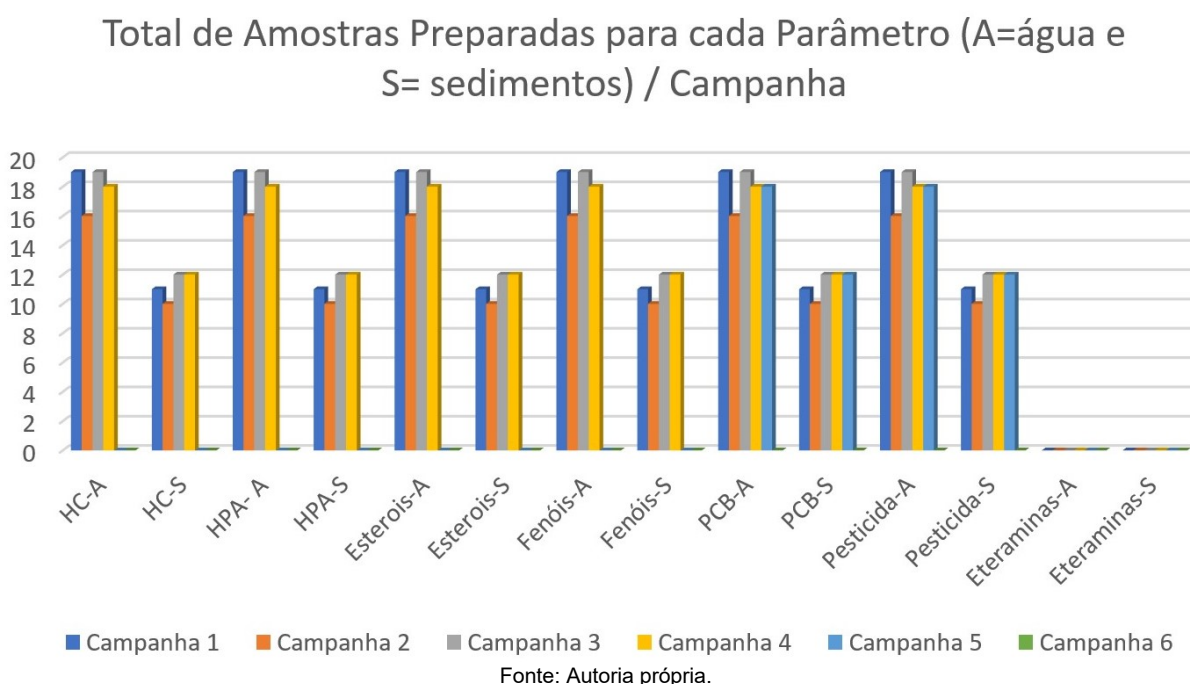
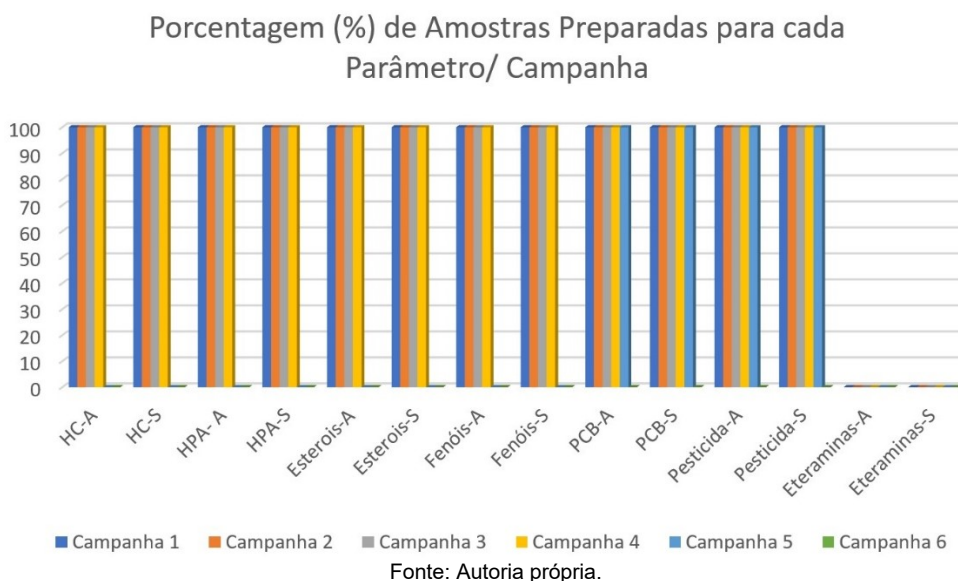


Figura 68: Porcentagem de amostras preparadas para análise de cada parâmetro para as matrizes água e sedimento por campanha.



Foram preparadas praticamente todas as amostras das campanhas 1, 2, 3 e 4 (Hidrocarbonetos, HC, Esteróis, Fenóis, PCB e Pesticidas). Devido à restrição de tempo foram preparadas as amostras da campanha 5 para os parâmetros PCB e Pesticidas, os demais estão em andamento. As amostras da campanha 6 ainda não foram trabalhadas devido também à restrição de tempo. As amostras para análise de éteraminas não foram preparadas para nenhuma campanha devido a não disponibilidade do surrogate para a extração, em fase de importação.

A seguir são apresentados os gráficos referentes às análises realizadas por cromatografia gasosa, sendo apresentados o número de amostras e o percentual executado.

Figura 69: Amostras preparadas para análise por cromatografia gasosa para as matrizes água e sedimento por campanha.

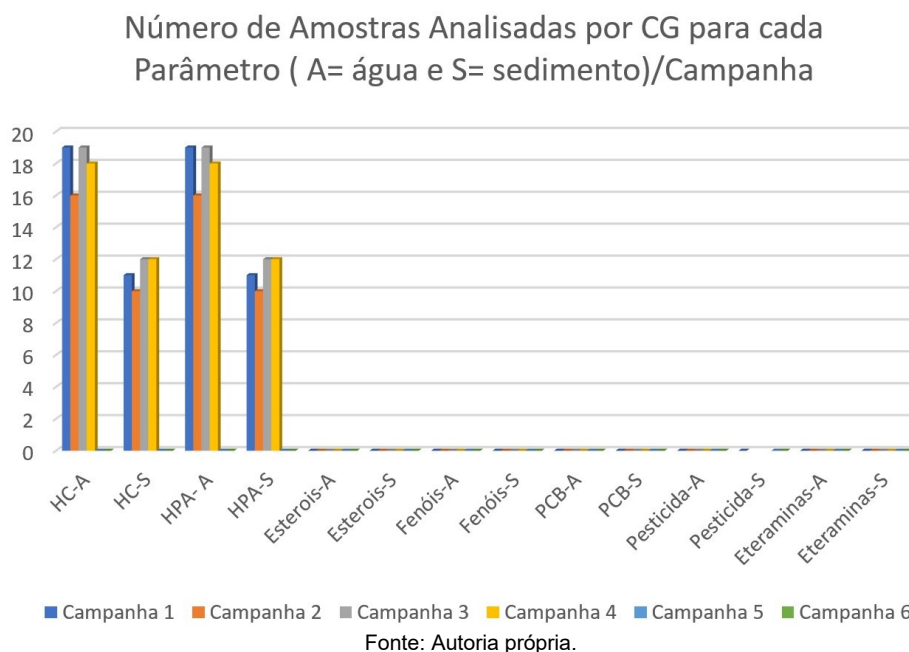
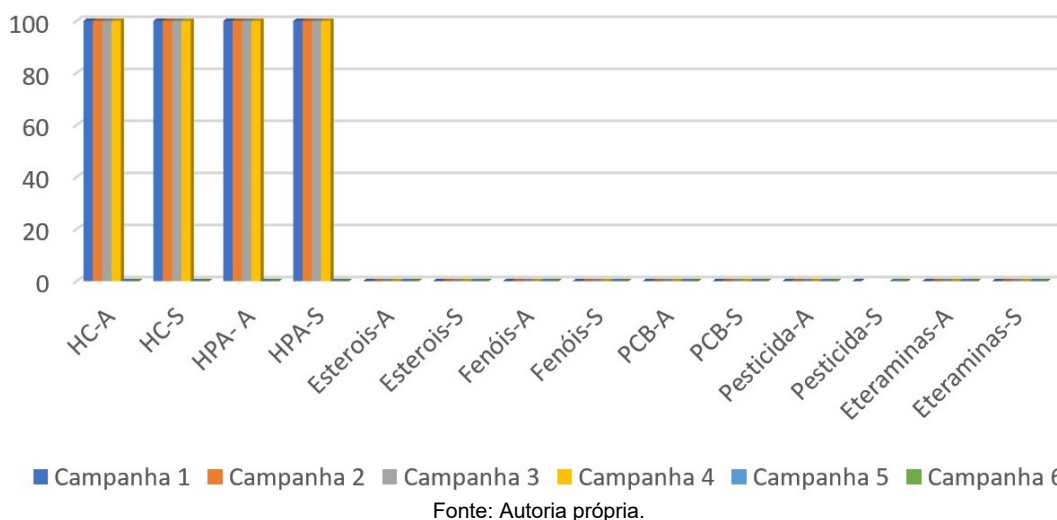


Figura 70: Porcentagem de amostras preparadas para análise por cromatografia gasosa para as matrizes água e sedimento por campanha.

Percentual (%) de Amostras Analisadas por CG para cada Parâmetro (A= água e S= sedimentos)/ Campanha



Fonte: Autoria própria.

Conforme mostram os gráficos foram analisadas as amostras das 4 primeiras campanhas para os parâmetros Hidrocarbonetos (35 analitos) e HPA (16 analitos). Estes não foram analisados para as campanhas 5 e 6 por falta de tempo, considerando que o equipamento importado (CG/MS) para o projeto só foi instalado em 14 de janeiro e a equipe se dedicou inicialmente ao preparo das amostras e aquisição de materiais e padrões, o que foi um trabalho bastante exaustivo. No momento estão sendo implantadas as análises de PCBs (7 analitos) e pesticidas (11 analitos) em outros equipamentos do laboratório, para que as análises sejam aceleradas. Não há como realizar as análises de fenóis (21 analitos) e esteróis (10 analitos), uma vez que não estão disponíveis os derivatizantes. Estes estão em fase de importação. Como já mencionado, as amostras para eteraminas (5 analitos) ainda não foram preparadas porque não recebemos o surrogate, em fase de importação. Ressalta-se que os materiais faltantes se referem aos ensaios esteróis e fenóis, que estavam previstos para serem executados em outro laboratório, bem como as amostras de éteraminas.

Ressalta-se que o volume de trabalho é bastante grande, mas que uma vez implantados todos os protocolos, assim que chegarem todos os padrões, as defasagens de execução/campanha serão zeradas.

Considerando todo o volume de trabalho para as seis campanhas, foram executados 62% do preparo das amostras (762 amostras) e 20% (234 amostras) das análises de quantificação por cromatografia gasosa. Grande parte do tempo da equipe foi tomada para a aquisição de equipamentos, padrões e implantação dos protocolos analíticos. Atrasos nos processos de importação dos padrões foram

também determinantes nesta primeira fase do projeto, o que certamente não impactarão às próximas etapas.

5.2.3 Análise dos dados do PMQQS (Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático)

Consistência dos dados do PMQQS, adequação dos limites de quantificação e detecção. Informações sobre a metodologia amostral e analítica do PMQQS disponível em <https://goo.gl/Gfsx6U>

5.2.4 Discussão dos Resultados

5.2.4.1 Orgânicos

Até o momento, o trabalho na área de compostos orgânicos está adequado do ponto de vista analítico, com todas as leituras consistentes. Todos os valores para o parâmetro HPA estão abaixo do limite do CONAMA (para água: Resolução 357/2005 – classe 2 e para sedimentos: Resolução 454/12- nível 1 e 2). Os valores para hidrocarbonetos alifáticos, que envolvem 35 analitos, não apresentam limites estabelecidos pelo CONAMA.

5.2.4.2 Metais

Os limites de quantificação para os principais metais analisados são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11: Limites de quantificação para os principais metais analisados.

Analito	LQ (µg/L)	Analito	LQ (µg/L)
Al	6,8	La	3,6
V	3,4	Ce	2,7
Cr	1,1	Pr	6,1
Mn	1,5	Nd	4,2
Fe	3,9	Sm	2,7
Co	1,0	Eu	1,3
Ni	2,6	Gd	2,7
Cu	2,9	Dy	3,6
Zn	3,8	Ho	2,5
As	2,1	Er	2,7
Cd	1,3	Tm	2,6
Sn	0,7	Yb	3,9
Ba	1,7	Lu	2,9
Hg	1,5	Th	4,9
Pb	1,2	U	2,4

Fonte: Autoria própria.

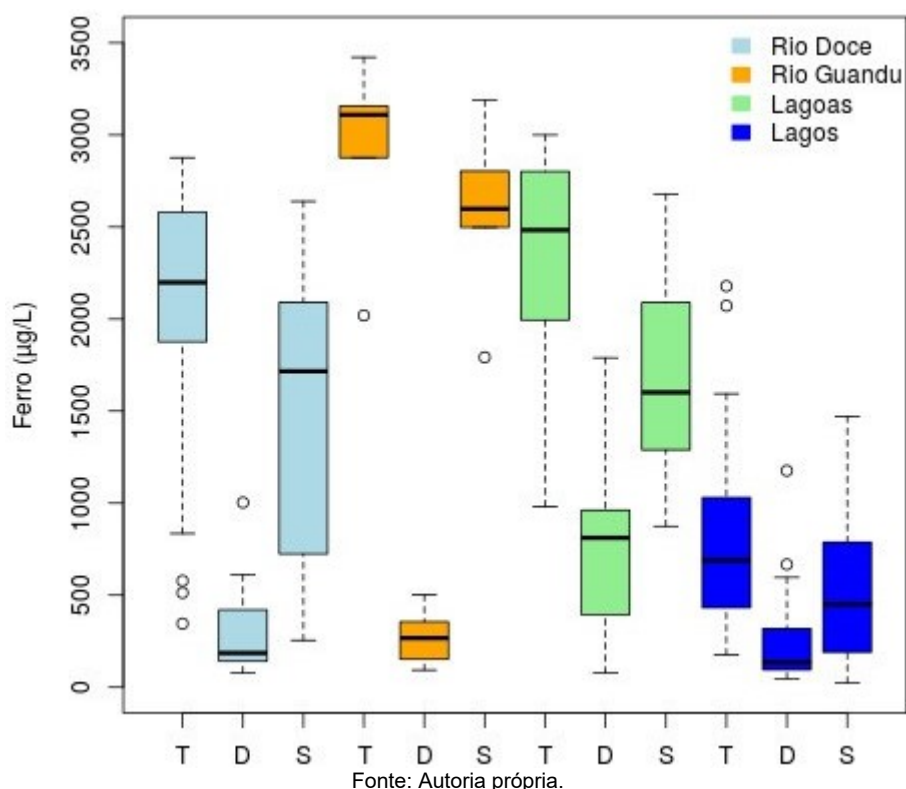
Em apenas algumas estações, os valores de Fe e Al dissolvidos estão elevados e acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA. Entretanto, os valores maiores estão na fração particulada. Já os valores de Cr, Cd e Zn estão abaixo dos limites da Resolução (amostras conformes). Deve-se ressaltar que os

valores obtidos para algumas estações para os metais Fe, Al e Mn estão muito acima da faixa linear de trabalho estabelecida, portanto, estes valores não foram reportados na planilha, uma vez que não apresentam a exatidão necessária. Para solução deste problema foi feito um estudo de diluição destas amostras e até uma avaliação para uso de outra técnica analítica mais adequada. A reanálise das amostras em tempo hábil para este relatório ficou dificultada por não dispormos do equipamento que está sendo usado (ICP-MS) em nosso laboratório, de forma a seguir os protocolos do TR-4. Os resultados das frações total, particulada e dissolvida dos metais são apresentados na Tabela 62, Tabela 63 e Tabela 64, respectivamente.

As maiores concentrações foram dos metais Fe, Al e Mn, sobretudo na fração particulada, a qual ficou acima do limite máximo admissível para Classe 2 da Resolução CONAMA N. 357 de 2005, que é de 0,1 mg/L para Al dissolvido, 0,3 mg/L para Fe dissolvido e 0,1 mg/L para Mn total. As concentrações das frações total, particulada e dissolvida de Fe, Al e Mn são apresentadas na Figura 71, Figura 72 e Figura 73, respectivamente. As concentrações de Fe e Al foram mais elevadas no Rio Guandu do que no Rio Doce e Mn apresentou maior concentração nas lagoas, sobretudo Areão e Areal. Embora o Rio Guandu tenha apresentado considerável contribuição de Fe e Al os dados da estação do PMQQS de Resplendor (RDO10), localizada à montante da UHE de Mascarenhas apresentam uma considerável concentração de Fe, $7.405,50 \pm 7.961,32 \mu\text{g/L}$.

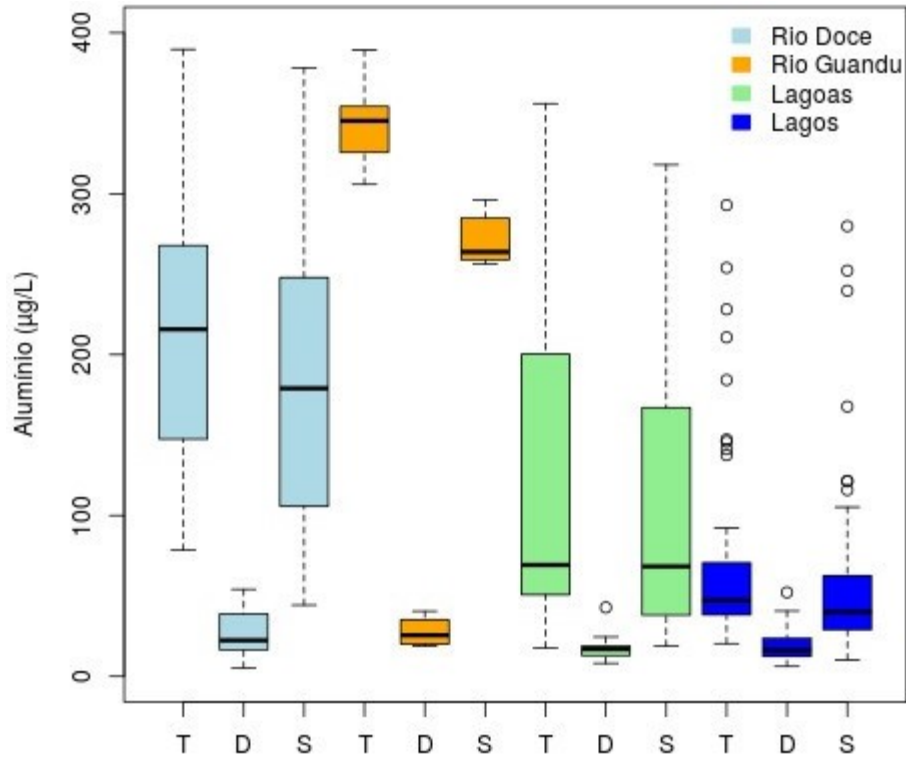
Acredita-se que para os principais metais seria mais adequado utilizar outras técnicas como o ICP-OES para minimizar erros e permitir a quantificação.

Figura 71: Box-plots das concentrações de ferro total (T), particulado (S de suspensão) e dissolvido em $\mu\text{g/L}$ na água dos ecossistema aquático do Baixo Rio Doce.



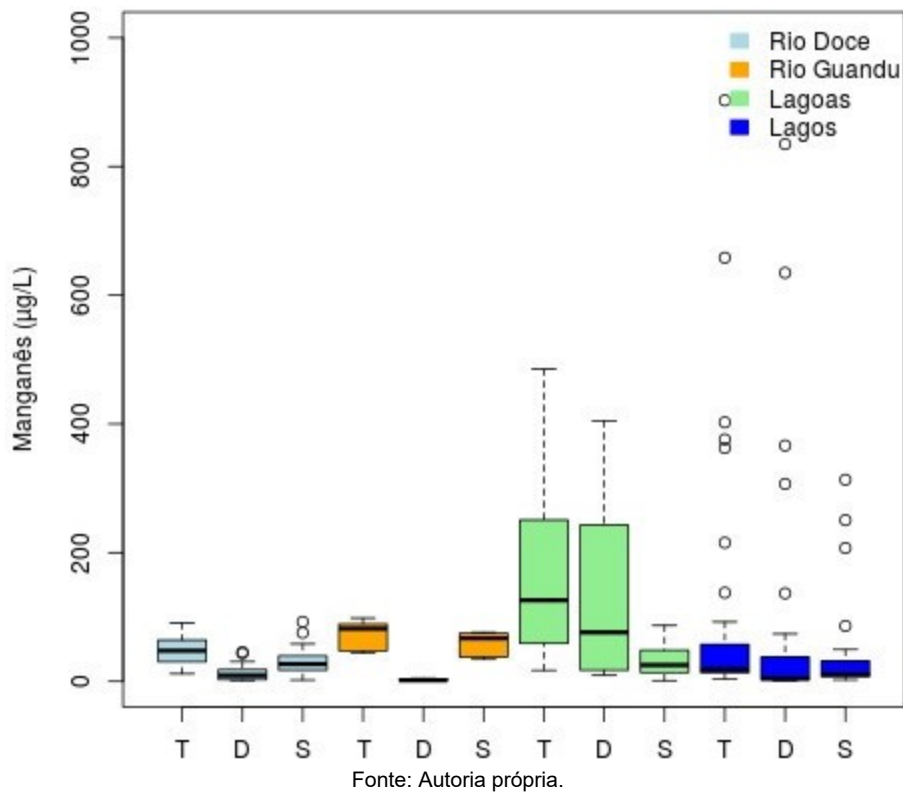
Fonte: Autoria própria.

Figura 72: *Box-plots* das concentrações de alumínio total (T), particulado (S de suspensão) e dissolvido em $\mu\text{g/L}$ na água dos ecossistema aquático do Baixo Rio Doce.



Fonte: Autoria própria.

Figura 73: *Box-plots* das concentrações de manganês total (T), particulado (S de suspensão) e dissolvido em $\mu\text{g/L}$ na água dos ecossistema aquático do Baixo Rio Doce.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 62: Estatística descritiva da fração total de metais na coluna d'água dos ecossistema aquáticos do Baixo Rio Doce.

Ambiente/ Estações		Analitos																
		Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Ba	Hg	Pb	La	Ce
Rio Guandu (E17)	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Média (ug/L)	344,05	23,34	6,58	72,18	2916,56	1,41	6,87	5,18	15,48	<LQ	<LQ	3,48	39,90	<LQ	4,26	6,24	13,33
	Mediana (ug/L)	345,25	23,35	7,05	81,80	3709,35	1,37	5,54	6,58	16,79	<LQ	<LQ	3,71	39,45	<LQ	4,30	6,21	11,93
	Mínima (ug/L)	305,79	18,87	1,52	44,09	2019,35	1,00	2,73	2,10	9,86	<LQ	<LQ	2,49	37,56	<LQ	3,70	4,52	10,79
	Máxima (ug/L)	389,21	29,98	9,13	98,28	3421,46	1,90	12,46	7,00	20,86	<LQ	<LQ	4,00	43,30	<LQ	4,94	8,99	20,10
	Desvio Padrão (ug/L)	31,42	4,69	3,05	24,85	537,64	0,37	3,86	2,33	4,89	-	-	0,68	2,46	-	0,46	1,82	3,84
	CV (%)	913,15	2007,75	4639,05	3442,61	1843,42	2629,62	5619,10	4498,48	3161,73	-	-	1954,53	617,56	-	1080,12	2912,73	2881,25
Rio Doce (E0, E21, E22 e E26)	N	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
	Média (ug/L)	208,29	23,33	4,57	47,58	1948,20	2,37	6,05	5,59	10,96	1,76	<LQ	2,33	36,59	<LQ	2,82	4,74	8,64
	Mediana (ug/L)	215,67	23,40	3,75	47,62	2198,67	1,80	5,29	6,22	9,93	1,66	<LQ	2,46	37,55	<LQ	2,47	4,40	6,90
	Mínima (ug/L)	78,41	13,10	1,03	11,92	345,57	1,00	1,02	2,10	5,55	0,91	<LQ	1,56	30,41	<LQ	1,07	2,36	3,55
	Máxima (ug/L)	389,65	30,76	11,92	90,75	2876,12	4,42	15,04	7,72	24,45	2,68	<LQ	3,40	51,03	<LQ	4,76	7,07	17,20
	Desvio Padrão (ug/L)	81,33	4,61	3,63	24,76	811,52	1,35	3,84	1,67	4,12	0,68	-	0,58	4,47	-	1,11	1,52	4,52
	CV (%)	3904,62	1974,24	7937,45	5204,42	4165,47	5692,63	6335,84	2984,29	3760,08	3830,49	-	2505,20	1220,71	-	3945,28	3204,63	5240,06

Ambiente/ Estações		Analitos																
		Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Ba	Hg	Pb	La	Ce
Lagoas (E18, E19, E20)	N	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	Média (ug/L)	75,83	18,14	2,60	90,84	772,06	3,32	6,81	4,19	10,37	0,97	<LQ	2,80	49,00	<LQ	2,24	5,19	6,22
	Mediana (ug/L)	47,23	18,99	1,62	18,32	689,33	3,56	6,30	3,89	9,95	0,89	<LQ	2,26	45,99	<LQ	2,10	5,12	5,02
	Mínima (ug/L)	20,37	10,88	0,57	3,51	176,46	0,99	0,79	1,88	4,26	0,76	<LQ	1,57	30,12	<LQ	0,22	4,18	2,70
	Máxima (ug/L)	292,91	29,99	6,34	902,80	2178,54	5,96	16,61	8,15	17,99	1,36	<LQ	4,50	69,16	<LQ	4,81	6,84	10,84
	Desvio Padrão (ug/L)	65,86	4,19	1,99	179,94	474,11	1,93	3,85	1,37	3,12	0,27	-	1,02	9,02	-	1,46	0,97	3,21
	CV (%)	8688,13	2308,29	7656,46	19807,12	6140,80	5825,08	5649,07	3261,08	3007,80	2729,71	-	3654,55	1841,62	-	6526,34	1877,22	5165,97
Lagoas (E23, E24, E25, E25a)	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	Média (ug/L)	122,86	24,06	3,17	166,66	2399,89	3,18	3,85	5,97	11,56	2,09	<LQ	2,06	45,42	<LQ	2,30	4,89	7,60
	Mediana (ug/L)	69,26	22,26	2,40	126,00	2483,13	2,36	3,04	5,73	11,78	2,15	<LQ	2,07	46,07	<LQ	2,61	4,30	7,20
	Mínima (ug/L)	17,67	15,81	1,28	17,11	982,14	1,51	0,75	3,65	7,17	1,16	<LQ	1,51	39,32	<LQ	0,31	4,19	2,96
	Máxima (ug/L)	355,97	35,23	6,96	485,13	2999,64	5,26	10,40	7,81	15,56	2,91	<LQ	2,70	49,80	<LQ	3,87	6,78	14,06
	Desvio Padrão (ug/L)	97,78	6,03	2,16	138,74	532,59	1,71	2,59	1,56	2,23	0,59	-	0,45	3,35	-	1,12	1,26	3,97
	CV (%)	7958,51	2505,79	6803,46	8324,54	2219,22	5387,61	6730,25	2607,42	1933,57	2822,80	-	2185,87	738,58	-	4862,78	2579,76	5218,98

Fonte: Autoria própria.

Tabela 63: Estatística descritiva da fração dissolvida de metais na coluna d'água dos ecossistema aquáticos do Baixo Rio Doce.

Ambiente/ Estações		Analitos																
		Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Ba	Hg	Pb	La	Ce
Rio Guandu (E17)	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Média (ug/L)	27,65	20,25	<LQ	2,62	274,03	1,72	4,75	2,04	4,36	<LQ	<LQ	<LQ	35,17	<LQ	2,00	<LQ	<LQ
	Mediana (ug/L)	25,55	20,94	<LQ	1,74	267,01	1,72	4,87	2,04	4,57	<LQ	<LQ	<LQ	35,37	<LQ	1,67	<LQ	<LQ
	Mínima (ug/L)	18,96	15,33	<LQ	1,11	92,96	1,72	2,99	2,04	3,38	<LQ	<LQ	<LQ	31,94	<LQ	1,40	<LQ	<LQ
	Máxima (ug/L)	40,53	25,67	<LQ	4,66	502,12	1,72	6,38	2,04	5,06	<LQ	<LQ	<LQ	37,92	<LQ	3,40	<LQ	<LQ
	Desvio Padrão (ug/L)	9,82	4,16	-	1,61	163,14	-	1,70	-	0,64	-	-	-	2,28	-	0,81	-	-
	CV (%)	35,53	20,53	-	61,63	59,53	-	35,87	-	14,67	-	-	-	6,49	-	40,50	-	-
Rio Doce (E0, E21, E22 e E26)	N	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
	Média (ug/L)	27,07	19,43	1,40	13,60	308,04	3,21	5,53	3,49	6,76	0,49	<LQ	<LQ	29,76	<LQ	2,47	<LQ	<LQ
	Mediana (ug/L)	22,44	20,62	1,40	9,41	186,05	3,21	6,34	3,87	6,61	0,49	<LQ	<LQ	29,34	<LQ	1,99	<LQ	<LQ
	Mínima (ug/L)	5,10	11,40	1,40	1,43	78,90	3,21	0,99	0,98	3,99	0,49	<LQ	<LQ	24,96	<LQ	1,27	<LQ	<LQ
	Máxima (ug/L)	54,07	27,88	1,40	45,42	1003,12	3,21	12,23	5,60	11,97	0,49	<LQ	<LQ	41,54	<LQ	4,24	<LQ	<LQ
	Desvio Padrão (ug/L)	14,54	4,21	-	13,20	235,96	-	3,34	1,70	1,90	-	-	-	3,59	-	1,12	-	-
	CV (%)	53,72	21,65	-	97,04	76,60	-	60,42	48,64	28,13	-	-	-	12,07	-	45,20	-	-

Ambiente/ Estações		Analitos																
		Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Ba	Hg	Pb	La	Ce
Lagos (E18, E19, E20)	N	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	Média (ug/L)	19,1	14,6	1,0	78,9	222,9	1,4	5,1	2,4	6,1	<LQ	<LQ	<LQ	40,5	<LQ	1,8	<LQ	6,4
	Mediana (ug/L)	16,5	14,6	0,8	4,6	136,7	1,4	5,0	1,9	5,4	<LQ	<LQ	<LQ	35,8	<LQ	1,6	<LQ	7,5
	Mínima (ug/L)	6,2	8,6	0,7	1,0	46,8	1,1	0,7	1,0	2,9	<LQ	<LQ	<LQ	25,4	<LQ	1,3	<LQ	2,9
	Máxima (ug/L)	52,2	25,6	1,3	834,8	1176,2	1,7	9,9	6,1	13,5	<LQ	<LQ	<LQ	62,6	<LQ	2,8	<LQ	8,8
	Desvio Padrão (ug/L)	11,4	3,7	0,3	186,8	214,4	0,4	2,2	1,5	2,0	-	-	-	10,3	-	0,4	-	3,1
	CV (%)	59,58	25,64	33,48	236,84	96,22	31,79	42,37	60,75	32,79	-	-	-	25,45	-	25,12	-	48,45
Lagoas (E23, E24, E25, E25a)	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	Média (ug/L)	18,72	20,17	1,02	124,36	733,29	1,28	3,49	4,67	6,86	0,93	<LQ	<LQ	35,89	<LQ	1,33	3,97	7,93
	Mediana (ug/L)	16,91	19,20	1,10	76,07	811,78	1,28	2,43	5,05	7,20	0,93	<LQ	<LQ	36,03	<LQ	1,29	3,97	11,11
	Mínima (ug/L)	8,06	12,63	0,44	9,41	77,30	1,10	0,63	1,03	1,76	0,77	<LQ	<LQ	31,10	<LQ	0,19	3,97	1,42
	Máxima (ug/L)	42,77	31,11	1,57	404,83	1789,45	1,47	8,45	7,02	10,53	1,09	<LQ	<LQ	41,54	<LQ	1,91	3,97	11,68
	Desvio Padrão (ug/L)	10,21	5,85	0,50	126,98	431,64	0,26	3,43	1,83	2,93	0,23	-	-	3,37	-	0,58	-	4,82
	CV (%)	54,53	29,01	48,55	102,10	58,86	20,48	98,37	39,19	42,69	24,42	-	-	9,39	-	43,73	-	60,77

Fonte: Autoria própria.

Tabela 64: Estatística descritiva da de HPAs na coluna d'água dos ecossistema aquáticos do Baixo Rio Doce.

Ambiente/ Estações		Analitos															
		Naftaleno	Acenafileno	Acenafeno	Floreno	Fenantreno	Antraceno	Fluoranteno	Pireno	Benzo(a)antra ceno	Criseno	Benzo(b)fluor anteno	Benzo(k)fluor anteno	Benzo(a)piren o	Indeno (1,2,3-cd) pireno	Dibenzeno (a,h) antraceno	Benzo (g,h,i) perileno
Rio Grandu (E17)	N	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Média (ug/L)	4,89	2,07	2,29	2,07	2,29	5,39	3,09	5,94	5,00	6,11	4,66	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3,65
	Mediana (ug/L)	4,62	2,07	2,29	2,07	2,29	5,39	3,09	6,95	5,00	5,39	4,18	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3,36
	Mínima (ug/L)	2,57	2,07	1,00	2,07	1,00	5,39	3,09	1,17	1,31	5,22	3,28	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	2,15
	Máxima (ug/L)	7,77	2,07	3,58	2,07	3,58	5,39	3,09	9,68	8,70	8,45	6,52	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	5,43
	Desvio Padrão (ug/L)	2,49	-	1,82	-	1,82	-	-	4,34	5,22	1,56	1,67	-	-	-	-	1,66
	CV (%)	50,85	-	79,40	-	79,40	-	-	73,17	104,36	25,54	35,84	-	-	-	-	45,48
Rio Doce (E0, E21, E22 e E26)	N	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	Média (ug/L)	4,44	3,32	3,22	3,32	3,22	3,18	3,35	3,92	2,19	4,39	5,53	5,57	5,00	3,50	5,18	3,89
	Mediana (ug/L)	2,49	2,19	3,53	2,19	3,53	3,07	2,73	3,27	1,76	3,68	5,21	7,29	4,16	3,32	4,39	3,01
	Mínima (ug/L)	1,09	1,36	-0,36	1,36	-0,36	1,16	1,31	-0,14	1,06	1,08	1,80	1,54	2,35	1,62	2,75	1,04
	Máxima (ug/L)	18,00	8,72	6,84	8,72	6,84	5,61	8,19	9,40	6,83	9,97	9,90	7,29	9,02	5,51	9,21	9,72
	Desvio Padrão (ug/L)	5,09	3,09	2,33	3,09	2,33	1,57	1,95	3,05	1,54	2,98	2,81	3,32	2,36	1,99	2,79	2,98
	CV (%)	114,51	93,27	72,30	93,27	72,30	49,44	58,18	77,63	70,36	67,89	50,76	61,71	47,25	56,82	53,90	76,71
Lagos (E18, E19, E20)	N	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	Média (ug/L)	4,14	4,84	5,64	4,84	5,64	3,97	3,98	4,59	3,23	4,30	4,19	<LQ	4,31	3,27	3,56	4,26
	Mediana (ug/L)	3,23	3,84	5,60	3,84	5,60	3,59	2,80	3,09	2,12	3,66	3,72	<LQ	3,72	2,67	2,73	4,29
	Mínima (ug/L)	1,06	1,47	1,32	1,47	1,32	1,02	1,06	1,12	1,06	1,08	2,50	<LQ	1,44	1,73	2,45	1,61
	Máxima (ug/L)	9,95	8,72	9,36	8,72	9,36	8,75	8,47	9,84	8,70	9,52	7,59	<LQ	9,93	4,99	5,49	9,31
	Desvio Padrão (ug/L)	2,74	3,31	2,47	3,31	2,47	2,76	2,51	2,89	2,31	2,46	1,68	-	2,59	1,59	1,68	2,37
	CV (%)	66,87	68,44	43,80	68,44	43,80	69,55	63,04	63,02	71,64	57,28	40,05	-	60,18	48,71	74,20	55,58
Lagoas (E23, E24, E25, E2)	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Média (ug/L)	3,10	2,49	3,63	2,49	3,63	4,41	4,64	4,47	3,98	3,81	6,64	4,41	5,55	1,73	3,16	3,85
	Mediana (ug/L)	1,77	2,72	3,16	2,72	3,16	3,93	4,44	5,10	3,21	3,64	6,50	4,41	5,55	1,76	3,30	2,70
	Mínima (ug/L)	1,01	1,47	1,21	1,47	1,21	1,11	1,16	1,03	1,15	0,75	6,16	4,41	5,55	1,01	2,76	1,15
	Máxima (ug/L)	9,67	3,05	6,50	3,05	6,50	8,14	9,46	7,66	8,50	8,59	7,27	4,41	5,55	2,40	3,42	8,43
	Desvio Padrão (ug/L)	2,89	0,74	2,03	0,74	2,03	2,45	2,20	2,48	2,90	2,55	0,57	-	-	0,64	0,35	2,94
	CV (%)	93,23	29,77	56,07	29,77	56,07	55,49	47,48	55,50	72,76	66,88	8,52	-	-	37,06	11,15	76,27

Fonte: Autoria própria.

Tabela 65: Estatística descritiva de hidrocarbonetos alifáticos na coluna d'água dos ecossistema aquáticos do Baixo Rio Doce.

Ambiente/ Estações		C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	C37	C 38	C 39	C 40	Prist ano	Pita no	
Rio Guandu (E17)	N	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	Média (ug/L)	2,92	<LQ	1,55	<LQ	1,55	7,10	1,40	5,64	4,62	5,36	4,26	2,96	3,75	3,20	3,83	4,86	3,79	4,21	2,67	1,60	3,71	5,20	3,20	1,70	3,41	2,08	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
	Mediana (ug/L)	2,92	<LQ	1,55	<LQ	1,55	7,10	1,40	5,64	3,36	5,36	3,54	2,96	3,75	3,09	3,98	3,86	4,79	4,95	2,67	1,60	3,71	5,20	3,20	1,70	3,41	2,08	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
	Mínima (ug/L)	2,92	<LQ	1,55	<LQ	1,55	7,10	1,07	1,71	1,56	5,05	1,45	2,95	1,20	1,10	1,83	2,68	3,03	2,29	1,77	1,09	1,13	3,52	1,95	1,06	1,54	2,08	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
	Máxima (ug/L)	2,92	<LQ	1,55	<LQ	1,55	7,10	1,74	9,58	8,95	5,67	7,80	2,97	6,29	5,41	5,52	8,05	6,55	5,39	3,57	2,11	6,29	6,88	4,46	2,34	5,27	2,08	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
	Desvio Padrão (ug/L)	-	-	-	-	-	-	0,47	5,57	3,85	0,43	3,24	0,02	3,60	2,16	1,70	2,82	2,49	1,67	1,27	0,73	3,65	2,38	1,78	0,90	2,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CV (%)	-	-	-	-	-	-	33,51	98,67	83,32	8,11	75,99	0,58	93,06	67,33	44,29	58,07	52,00	39,77	47,62	45,35	98,33	45,72	55,55	53,30	77,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rio Doce (E0, E21, E22, E26)	N	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
	Média (ug/L)	4,13	5,12	5,41	5,12	5,41	3,73	3,55	4,05	3,77	3,58	3,14	3,93	2,65	3,26	3,78	2,83	3,91	4,36	4,20	3,23	2,32	2,65	2,59	1,99	2,03	2,45	4,30	4,39	5,20	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
	Mediana (ug/L)	4,13	5,12	5,41	5,12	5,41	2,42	3,05	3,50	3,78	3,48	2,89	3,20	1,82	3,27	3,06	2,55	3,29	3,21	4,07	3,19	2,32	2,12	1,92	1,52	1,58	1,76	4,30	4,39	5,20	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
	Mínima (ug/L)	3,49	3,17	1,66	3,17	1,66	1,05	1,74	1,05	0,00	0,00	0,00	1,14	1,00	1,01	0,00	0,00	1,26	0,00	2,35	2,11	1,26	1,00	0,00	0,00	0,00	1,02	4,30	4,39	5,20	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
	Máxima (ug/L)	4,78	7,08	9,17	7,08	9,17	8,86	7,72	9,53	7,51	8,34	8,86	9,90	5,03	5,78	9,39	9,41	8,60	9,40	6,49	4,05	3,89	8,66	7,21	4,21	6,56	3,96	4,30	4,39	5,20	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
	Desvio Padrão (ug/L)	0,91	2,77	5,31	2,77	5,31	2,67	1,65	2,53	2,28	2,19	2,27	2,47	1,54	1,71	2,80	2,20	2,09	2,89	1,36	0,59	0,76	1,93	1,92	1,21	1,53	1,38	-	-	-	-	-	-	-	-	
	CV (%)	22,10	54,05	98,05	54,05	98,05	71,69	46,31	62,44	60,64	61,22	72,49	62,89	58,23	52,50	74,12	77,67	53,58	66,16	32,41	18,21	32,78	72,89	74,18	60,83	75,19	56,26	-	-	-	-	-	-	-	-	

Ambiente/ Estações		C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	C37	C38	C39	C40	Pristano	Ptano	
Lagos (E18, E19, E20)	N	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	
	Média (ug/L)	2,99	2,25	6,00	2,25	6,00	5,49	4,46	4,86	4,52	3,27	3,61	2,68	3,61	3,35	3,76	2,57	4,26	5,82	4,88	3,95	3,32	3,41	4,15	2,55	2,16	1,98	1,22	6,50	4,59	<LQ	2,26	<LQ	1,83	1,97	
	Mediana (ug/L)	2,99	2,25	5,78	2,25	5,78	5,20	4,06	4,82	4,01	2,76	3,08	2,03	2,93	2,46	2,63	1,62	2,93	6,58	4,73	3,85	2,50	2,63	2,89	2,41	2,14	1,80	1,23	6,76	4,89	<LQ	2,26	<LQ	2,03	1,97	
	Mínima (ug/L)	2,99	1,05	1,46	1,05	1,46	1,71	1,38	1,08	1,11	0,00	0,00	1,06	0,00	1,07	0,00	1,05	1,02	1,02	2,92	2,21	1,26	1,10	1,29	0,00	1,03	1,80	1,16	5,88	3,90	<LQ	2,26	<LQ	1,39	1,95	
	Máxima (ug/L)	2,99	3,45	8,95	3,45	8,95	9,91	8,78	8,39	9,10	10,00	9,73	7,82	8,99	9,44	9,66	9,29	9,84	9,47	8,14	6,63	9,12	9,78	9,62	5,93	3,07	4,31	1,25	6,86	4,97	<LQ	2,26	<LQ	2,07	1,99	
	Desvio Padrão (ug/L)	-	1,69	2,58	1,69	2,58	2,57	2,04	2,32	2,40	2,03	2,20	1,74	2,33	2,38	2,74	2,02	3,36	2,92	1,54	1,12	2,00	2,31	2,48	1,43	0,64	0,80	0,05	0,54	0,60	-	-	-	0,38	0,03	
	CV (%)	-	75,22	42,93	75,22	42,93	46,77	45,84	47,83	53,22	62,29	60,94	64,92	64,57	71,18	73,01	78,51	78,81	50,17	31,62	28,42	60,20	67,91	59,80	56,10	29,57	40,58	3,85	8,35	13,07	-	-	-	0,21	0,01	
Lagos (E18, E19, E20)	N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
	Média (ug/L)	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	2,75	3,42	4,32	3,40	3,26	2,43	4,10	4,09	3,89	3,03	3,73	4,33	4,03	3,19	2,94	3,23	3,57	2,95	2,27	1,99	1,70	4,14	4,22	5,01	5,17	5,92	<LQ	<LQ	<LQ	
	Mediana (ug/L)	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	2,11	2,80	3,30	2,61	2,70	1,83	3,34	3,61	3,65	3,26	3,22	3,94	3,63	3,13	2,94	2,82	2,68	2,58	2,16	1,95	1,43	4,14	4,22	5,01	5,17	5,92	<LQ	<LQ	<LQ	
	Mínima (ug/L)	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,09	1,23	1,82	1,37	1,02	0,67	1,08	1,44	1,53	1,27	1,53	2,64	2,64	2,16	1,59	1,48	1,69	1,31	1,01	1,04	1,09	4,14	4,22	5,01	5,17	5,92	<LQ	<LQ	<LQ	
	Máxima (ug/L)	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	6,95	7,53	9,27	7,69	8,17	6,14	8,92	7,64	7,28	6,37	9,44	7,29	7,18	4,27	3,82	8,30	9,23	5,83	3,84	3,77	3,74	4,14	4,22	5,01	5,17	5,92	<LQ	<LQ	<LQ	
	Desvio Padrão (ug/L)	-	-	-	-	-	2,39	1,97	2,58	2,06	2,39	1,71	2,74	2,51	2,04	1,64	2,57	1,56	1,56	0,63	0,69	1,94	2,35	1,24	0,99	0,79	0,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CV (%)	-	-	-	-	-	87,01	57,61	59,78	60,42	73,46	70,58	66,74	61,38	52,59	54,10	68,83	36,18	38,72	19,81	23,42	60,02	65,87	41,89	43,83	39,68	54,00	-	-	-	-	-	-	-	-	

Fonte: Autoria própria.

5.2.5 Dificuldades para o desenvolvimento do subprojeto

Quadro 12: Dificuldades com complexidade das amostras para o desenvolvimento do subprojeto.

Complexidade das amostras	Dificuldade para desenvolvimento das análises das amostras	Situação das amostras	Observação
1-Diversidade muito grande de parâmetros a serem avaliados nos compostos orgânicos nas amostras de água – Preparo de Amostras	Dificuldade em processar o grande volume de amostras considerando que o preparo das mesmas é muito demorado, pois envolve extração líquido-líquido, rotaevaporação e eluição em colunas, seguida de rotaevaporação com separação de fases, gerando várias outras amostras. Ressalta-se que há preparos diferentes para diferentes tipos de orgânicos analisados.	Praticamente todas as amostras de água já foram processadas para extração de orgânicos para as campanhas 1,2,3,4. Campanha 5 em andamento. Campanha 6 ainda não foi iniciada.	As amostras para extração de éteres aminas não foram processadas para nenhuma campanha devido à falta de surrogate, que está em fase de importação. O trabalho poderia ser otimizado para redução do tempo se houvesse extratores especiais, o que não temos. Trabalhamos com funis de extração e rotaevaporadores (4)
2-Diversidade muito grande de parâmetros a serem avaliados nos compostos orgânicos nas amostras de sedimentos – Preparo de Amostras	Dificuldade em liofilizar os sedimentos, pois usamos equipamentos emprestado. Dificuldade em processar o grande volume de amostras considerando que o preparo das mesmas é muito demorado, pois envolve extração em soxhlet por muitas horas, seguido de rotaevaporação e eluição em colunas, seguida de rotaevaporação com separação de fases, gerando várias outras amostras. Ressalta-se que há preparos diferentes para diferentes tipos de orgânicos analisados. O tempo de preparo é extremamente longo.	As amostras das campanhas 1,2, 3 e 4 foram analisadas para os padrões hidrocarbonetos e HPA. Para as análises de esteróis e fenóis faltam os derivatizantes, falta surrogates para éteraminas e padrões para esteróis. PCBs e Pesticidas estão com as metodologias em desenvolvimento. .	Estamos usando outros equipamentos não previstos inicialmente no projeto para implementar as metodologias de modo a acelerar as análises assim que os padrões importados forem entregues. Esperamos reduzir a defasagem analítica rapidamente. Os maiores gargalos, entretanto, são o preparo das amostras e o tratamento dos dados.
3- Quantificação de grande número de parâmetros (HC, HPA, esteróis, fenóis, PCB, pesticidas, eteraminas) que se desdobram em 105 analitos a serem quantificados, o que equivale a 120 curvas analíticas a serem construídas e utilizadas para quantificação. É	Dificuldade na aquisição dos padrões importados, necessidade de se utilizar equipamentos extras uma vez que os parâmetros Esteróis, Fenóis e Eteraminas foram adicionados ao nosso grupo posteriormente. Dificuldade em construir 120 curvas analíticas e em tratar tamanho volume de	Até o momento foram analisados os parâmetros hidrocarbonetos e HPA para as campanhas 1,2,3, e 4. As análises de PCBs e Pesticidas e estão sendo implantadas, já as demais aguardam material importado.	Necessidade de aumentar o número de equipamentos para rodar simultaneamente vários parâmetros, o que está sendo feito visando minimizar atrasos. A questão da importação de padrões impactou fortemente o trabalho.

Complexidade das amostras	Dificuldade para desenvolvimento das análises das amostras	Situação das amostras	Observação
<p>necessária uma gestão/logística criteriosa para que haja um processamento em grande escala. O tratamento dos dados é um grande desafio, considerando o número elevado dos mesmos. Estudos de recuperação dos orgânicos estão sendo desenvolvidos simultaneamente para análise crítica dos resultados.</p>	<p>dados. Tempo curto, mesmo trabalhando-se com injetor automático, 24 h/dia pois as corridas por CG são longas.</p>		
<p>Dosagem de Metais em água e em sedimentos, considerando um grande muito elevado de parâmetros,</p>	<p>Não disponibilidade de sedimentos liofilizados como previsto, obrigando-nos a trabalhar com equipamentos emprestado que inicialmente demandou manutenção e também não disponibilidade de micro-ondas e de ICP-MS. Informamos que dispúnhamos de ICP-OES e posteriormente recebemos amostras para ICP-MS. O tratamento dos dados é bastante pesado devido ao número grande de parâmetros medidos.</p>	<p>Apesar das dificuldades e foi executado mais de 75% do trabalho de quantificação de metais. Para as campanhas 1e 2 os 6 parâmetros foram executados. Para as campanhas 3,4 e 5 foram executados todos os parâmetros exceto Extração sequencial em sedimentos e campanha 6 ainda não analisada.</p>	<p>Necessário urgentemente termos um a ajuda na liofilização das amostras e principalmente adquirirmos um extrator por micro-ondas.</p>
<p>Adequação de Metodologia de Quantificação de Metais em água</p>	<p>Os parâmetros Fe, Al e Mn em água estão com valores elevados e inadequados para quantificação via ICP-MS (EPA 6020)</p>	<p>As amostras foram analisadas, os valores foram parcialmente reportados e as amostras serão diluídas para quantificação via ICPMS ou analisados por ICPOES, a definir.</p>	<p>Usar ICP-OES (EPA 6010) e ICP-MS para diferentes metais.</p>
<p>Adequação de Metodologia de Quantificação de Sedimentos em água</p>	<p>Praticamente todos os metais estão com valores elevados e inadequados para quantificação via ICP-MS (EPA 6020)</p>	<p>As amostras foram analisadas e os valores não serão reportados. As análises serão refeitas com diluição para quantificação via ICPMS ou analisados por ICPOES, a definir.</p>	<p>Usar ICP-OES (EPA 6010) para todas as amostras de sedimentos.</p>

Fonte: Autoria própria.

Quadro 13: Dificuldades com infraestrutura para o desenvolvimento do subprojeto.

Infraestrutura: recursos humanos	Dificuldade para desenvolvimento das análises das amostras	Situação dos recursos humanos	Observação
Equipe de preparo de amostras insuficiente	Falta de técnicos para o desenvolvimento das atividades	Foram contratados três estagiários do curso técnico para trabalharem integralmente no projeto com outros recursos da UFMG.	Seria importantes termos recursos para pagamento de bolsas para estes estagiários.
Equipe de analistas insuficientes	Falta de equipe suficiente para tratar dados, implantar metodologias	Bolsista de pós-doutorado trabalhando como químico do projeto.	Necessidade de contratação de mais um químico para que a equipe tivesse tempo para análise crítica de dados.
Infraestrutura: equipamento de coleta de amostras em campo	Dificuldade para desenvolvimento das análises das amostras	Situação do equipamento	Observação
Mecanismos de acondicionamento dos frascos de vidro para transporte.	Tivemos dificuldades iniciais para transporte de frascos de vidro sem que houvesse quebra, pois tivemos perdas de algumas amostras	Atualmente as amostras vêm acondicionadas em frascos de vidro envoltos em plástico bolha, em caixas térmicas contendo gelo.	Processo atual está satisfatório.
Infraestrutura: equipamento de laboratório	Dificuldade para desenvolvimento das análises das amostras	Situação do equipamento	Observação
CG-MS para análise de orgânicos	CG-MS foi importado com celeridade mais houve atraso na instalação devido os recessos de natal e final de ano, sendo instalado apenas em 14 de janeiro.	Equipamento Operante 24 h/dia	Outros equipamentos estão sendo utilizados para implementação de outras metodologias, que no total são 7, perfazendo um total de 105 analitos a serem quantificados.
ICP- MS	Não há um ICPMS dedicado no laboratório, trabalhamos em Montes Claros, há mais de 450 km de BH.	Equipamento não previsto no projeto, uma vez que inicialmente as nossas análises não demandariam este equipamento.	Estamos trabalhando com equipamento de outro grupo.
Liofilizador	Não recebemos as amostras de sedimentos liofilizadas conforme previsto. Estamos utilizando equipamento de outros colegas da UFMG, com restrição de horário de utilização para não deixar o projeto sem realizar. Houve corte deste item em nossa proposta porque esta atividade seria desenvolvida em Vitória.	Equipamento foi adquirido por professor responsável por esta etapa, mas ainda não está operante.	Temos a expectativa que as amostras comecem a chegar liofilizadas na UFMG nas próximas campanhas.

Digestor de Metais por Microondas	Sem o micro-ondas não podemos realizar a abertura das amostras de água e sedimentos para análise dos metais, inviabilizando grande parte do trabalho. Temos trabalhado com equipamento de demonstração de fornecedores, já que este item foi cortado de nosso projeto inicial uma vez que faríamos um trabalho menor.	Temos que fazer urgentemente um remanejamento para aquisição deste item.	Nossa quota de negociação com fornecedores se esgotou para uso de equipamentos demo. Tentamos o uso de outros equipamentos em nossa universidade sem sucesso porque estavam danificados.
Destilador de Ácidos	Estamos utilizando destilador da base oceanográfica, com transporte de ácidos destilados juntamente com o envio das amostras, de modo a reduzir custos do projeto.	Não temos previsão de aquisição do equipamento	Seria melhor se tivéssemos o equipamento, juntamente com o micro-ondas para otimizar o nosso trabalho.

Fonte: Autoria própria.

Quadro 14: Dificuldade com material de consumo para o desenvolvimento do subprojeto.

Material de consumo	Dificuldade para desenvolvimento das análises das amostras	Situação do material de consumo	Observação
Padrões analíticos para análise esteróis	Sem os padrões não há como analisar amostras	Em fase de importação. Esta análise estava previamente prevista para ser feita pelo grupo da profa. Iola (S. J. Del Rei).	Amostras preparadas aguardando para serem analisadas.
Derivatizantes para análise de esteróis e fenóis	Sem os derivatizantes não há como analisar amostras	Em fase de importação. Estas análises estavam previamente previstas para serem feitas pelo grupo da profa. Iola (S. J. Del Rei)	Amostras preparadas, mas sem a etapa final de derivatização aguardando para serem analisadas.
Surrogate para preparo de éter amina	Sem os surrogates não há como analisar amostras	Em fase de importação. Esta análise estava previamente prevista para ser feita pelo grupo do prof. Renato.	Amostras não puderam ser preparadas para análise.

Fonte: Autoria própria.

5.3 CONCLUSÃO

Apesar das dificuldades iniciais para implantação de protocolos e aquisições para desenvolvimento do projeto, além do número imenso de amostras a serem analisadas, o que acarretaram atrasos na execução, grande volume de resultados foram gerados e uma análise crítica foi realizada. Os dados referentes aos analitos orgânicos foram consistentes e apresentam baixo nível de contaminação (HPA e hidrocarbonetos em água e nos sedimentos). No que tange aos metais, existem muitas amostras com valores superiores e que apresentaram teores inadequados para quantificação com a metodologia usada (ICP-MS). Os estudos devem prosseguir via diluição e reanálise via ICP-MS ou uso de outras técnicas (ICP-OES) ou até via absorção atômica.

5.4 REFERÊNCIAS

Hatje, V., Pedreira, R. M. A., Rezende, C. E., Schettini, C. A. F., Souza, G. C., Marin, F. C. and Hackspacher, P. C. (2017). The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. *Scientific Reports* 7: 10706.

Licínio, M. V. V. J., Leão, R. T., Gaudereto, F. G., Costa-Gonçalves, A., Patchneelan, S. R., Vidal, M. S. M., Carneiro, M. T. W. D., Freitas, A. C., Evangelista, H. S., Ribeiro, J. N., Pereira, M. G. and Ribeiro, A. V. F. N. (2015). Historical trends in sedimentation rates and trace elements accumulation in 'Doce' river, Espírito Santo state, Brazil. *Cadernos de Geociências* 12(1-2): 13-24.

Magris, R. A., Marta-Almeida, M. M., Monteiro, J. A. F. and Banb, N. C. (2019). A modelling approach to assess the impact of land mining on marine biodiversity: Assessment in coastal catchments experiencing catastrophic events (SW Brazil). *Science of The Total Environment* 659: 828-840.

Silva, D. C., Bellato, C. R., Neto, J. O. M. and Fontes, M. P. F. (2018). Trace elements in river waters and sediments before and after a mining dam breach (Bento Rodrigues, Brazil). *Química Nova* 41(8): 13-24.

6 SUBPROJETO: FITOPLÂNCTON DULCÍCOLA

6.1 OBJETIVO

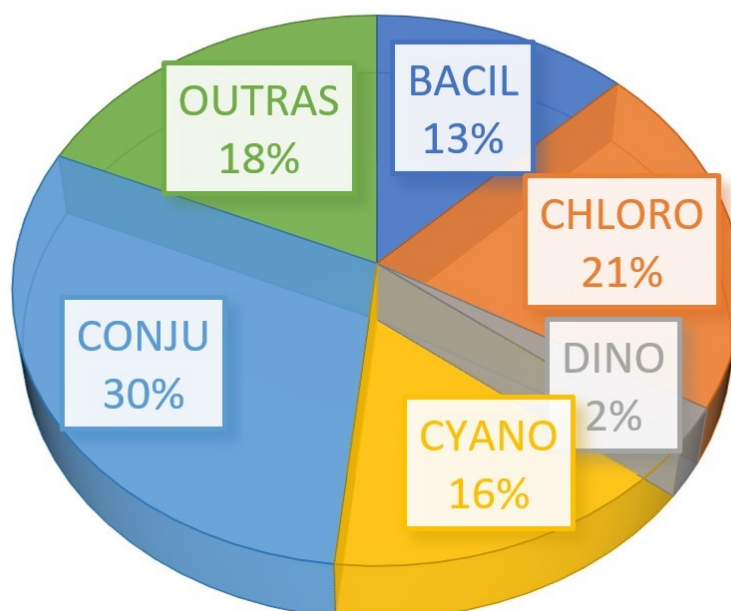
Avaliar a dinâmica da comunidade fitoplanctônica, através de seus principais atributos, como diversidade, equitabilidade, dominância e riqueza, identificar a ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas em trechos e lagoas da região do Baixo rio Doce, afim de verificar a influência na comunidade pela passagem do rejeito de minério.

6.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das amostras qualitativas e quantitativas, até o presente momento, foram registrados um total de 383 táxons, distribuídos em 16 Classes, compondo a comunidade fitoplanctônica das estações amostradas no trecho do rio e lagoas do Baixo Rio Doce, até fevereiro de 2019, conforme Figura 74 e lista de táxons na Figura 75.

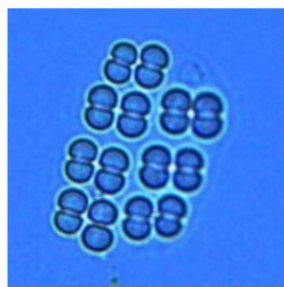
Figura 74: Contribuição das Classes na composição da comunidade fitoplanctônica, sendo Bacil= *Bacillariophyceae*; Chloro= *Chlorophyceae*; Dino= *Dinophyceae*; Cyano= *Cyanophyceae*; Conju= *Conjugatophyceae*; Outras= Demais Classes.

RIQUEZA TOTAL

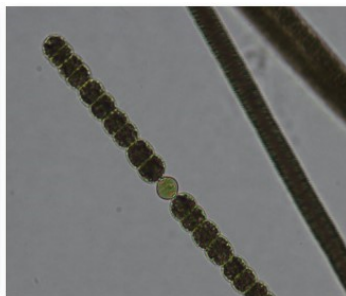


Fonte: Autoria própria.

Figura 75: Lista de taxons amostrados pelo Subprojeto Fitoplâncton dulcícola.



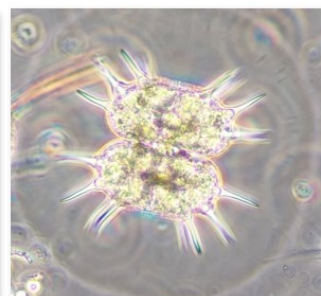
Merismopedia glauca Kützing 1845



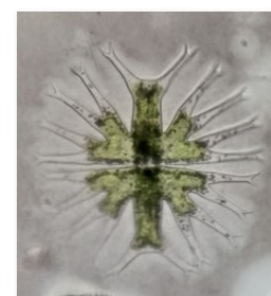
Dolichospermum planctonicum (Brunnthal) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek 2009



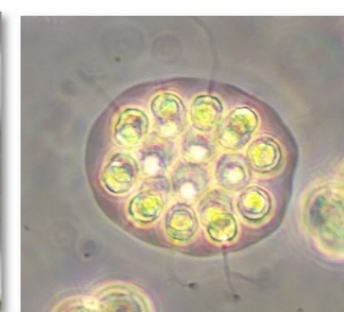
Scenedesmus bernardii G. M. Smith 1916



Xanthidium antilopaeum Kützing 1849



Micrasterias furcata C.Agardh ex Ralfs



Eudorina elegans Ehrenberg 1832



Actinastrum hantzschii Lagerh 1882



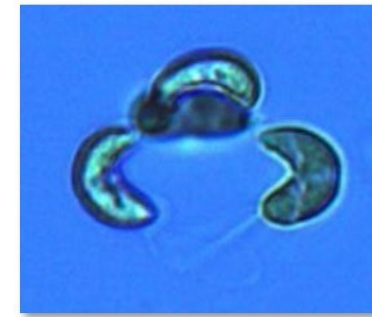
Microcystis wesenbergii (Komárek) Komárek ex Komárek 2006



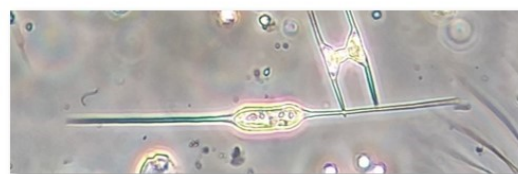
Scenedesmus smithii (Teiling) Chodat 1926



Golenkinia radiata Chodat 1894



Tetrallantos lagerheimii Teiling 1916



Centritractus belonophorus (Schmidle) Lemmermann 1900

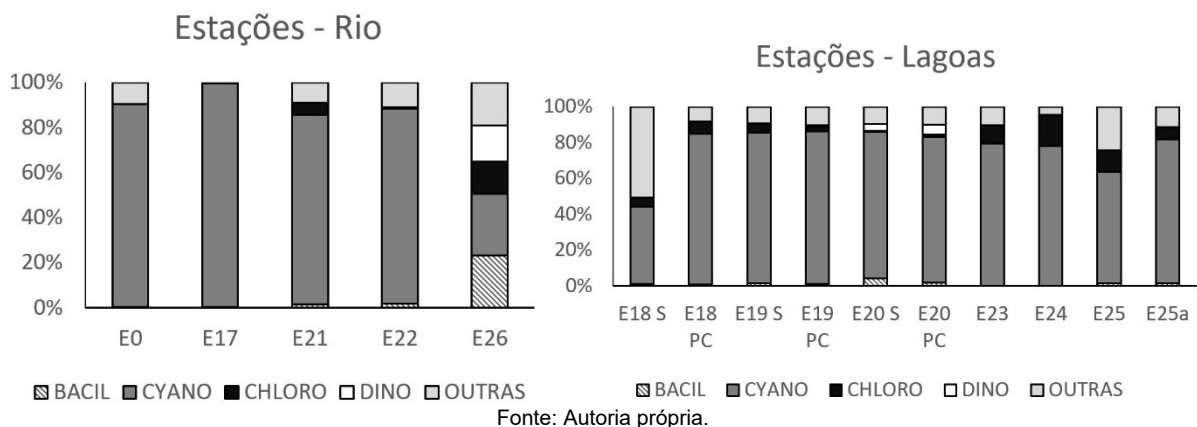
Fonte: Autorial própria.

A elevada biodiversidade, especialmente das lagoas, tem sido registrada desde estudos realizados por Huszar et al. (1990), que avaliaram a estrutura da comunidade fitoplanctônica de 18 lagoas da região do Baixo Rio Doce, entre elas, lagoa Juparanã (E19) e lagoa Nova (E20), desde quando já registrava alta contribuição de cianobactérias para os ambientes citados.

As estações amostrais E0, E17, E21, E22 e E26 apresentaram nas análises quali e quantitativa grande representatividade qualitativa de algas da Classe Bacillariophyceae, também conhecidas como diatomáceas. Estas algas são caracteristicamente registradas em ambientes lóticos (Chamixaes, 1991), uma vez que possuem estratégias, como gotículas de óleo, que auxiliam na flutuabilidade, além da própria turbulência da água que permite que elas se mantenham na coluna d'água (fitoplâncton).

Porém, nas análises quantitativas, a maior representatividade numérica esteve relacionada com as cianobactérias (Figura 76), tanto para as amostras do trecho do rio, assim como nas lagoas do Baixo rio Doce.

Figura 76: Contribuição relativa das Classes de algas fitoplanctônicas com maior contribuição para a composição da comunidade, sendo Bacil= Bacillariophyceae; Cyano= Cyanophyceae; Chlora= Chlorophyceae; Dino= Dinophyceae; Outras= Demais Classes.



O registro de cianobactérias em vários ambientes pelo mundo tem merecido destaque pelo sabido conhecimento da capacidade destes organismos de produzirem metabólitos com conteúdos tóxicos e desde então diversos trabalhos são publicados com esse enfoque. Durante as análises quantitativas, pode-se observar a presença de cianobactérias em todas as estações de amostragens e em todas as campanhas, valendo o destaque de que, na maioria das amostras, algumas espécies se destacaram como dominantes e/ou abundantes (Quadro 15), segundo Lobo & Leighton (1986).

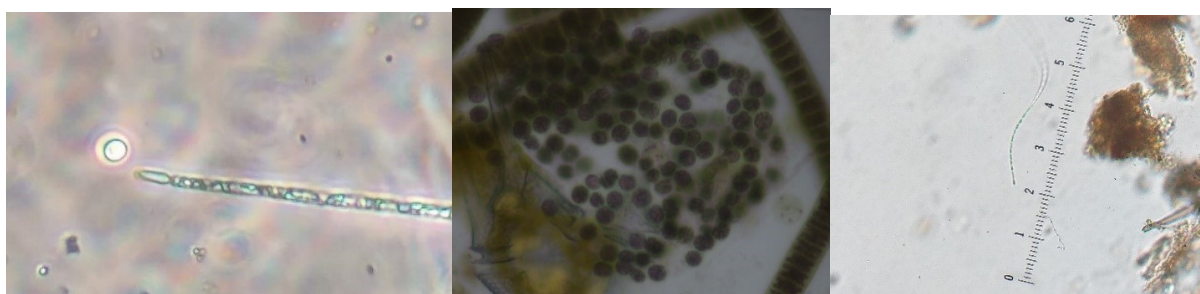
Quadro 15: Registro de cianobactérias dominantes e abundantes para as estações amostrais no rio Doce e nas lagoas.

Cianobactérias definidas como Dominantes e Abundantes
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju in Desikachary 1972
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing 1846
<i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg 1992
<i>Pseudanabaena limnetica</i> (Lemmermann) Komárek 1974
<i>Spirulina cf. subtilissima</i> Kützing ex Gomont 1892
<i>Synechococcus nidulans</i> (Pringsheim) Komárek 1970
<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau 1892

Fonte: Autoria própria.

Sant'Anna et al. (2008), fizeram uma revisão para cianobactérias tóxicas com ocorrência no Brasil e dentre estas, foram encontradas nesse monitoramento com elevadas densidades, sendo consideradas dominantes e/ou abundantes, as espécies *Microcystis aeruginosa* registrada por BOBEDA (1993); ZAGATTO et al. (1998); YUNES et al. (1996); MAGALHÃES & AZEVEDO (1998); HIROOKA et al. (1999); MATHIENSEN et al. (1999, 2000); PORFIRIO et al. (1999); JARDIM et al. (2000, 2004a); MINILLO et al. (2000); JARDIM & VIANA (2003); AZEVEDO et al. (2004); SOTERO-SANTOS et al. (2005); ANJOS et al. (2006) apud Sant'Anna et al. (2008); *Synechocystis aquatilis* registrada por NASCIMENTO & AZEVEDO (1999); MAGALHÃES et al. (2003) apud Sant'Anna et al. (2008); *Synechococcus nidulans* apud Santa'Anna et al. (2008); *Pseudanaena limnetica* ZAGATTO et al. (1998) apud Sant'Anna et al. (2008) e *Cylindrospermopsis raciborskii* registrada por BOUVY et al. (1999); LAGOS et al. (1999); NASCIMENTO et al. (2000); YUNES et al. (2000); JARDIM et al. (2000, 2001a); MOLICA et al. (2002); JARDIM & VIANA (2003); MORALES (2003); YUNES et al. (2003); FERNANDES et al. (2005); ANJOS et al. (2006); COSTA et al. (2006); GRELLMANN (2006) apud Sant'Anna et al. (2008). Ainda neste trabalho os autores se referem a *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii* como as cianobactérias tóxicas de maior ocorrência no Brasil.

Figura 77: Registros fotográficos realizados pela equipe durante as análises qualitativas, de *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Microcystis aeruginosa* e *Pseudanabaena limnetica* (da esquerda para a direita).



Fonte: Autoria própria.

Cylindrospermopsis raciborskii é uma espécie que apresenta alta competitividade em ambientes eutróficos e grande capacidade de formar florações e produzir toxinas, como a cilindrospermopsina, um alcalóide com ação no fígado e rins (Ohtani et al., 1992, Lagos et al. 1999) e a potente toxina paralisante do tipo PSP (Paralytic Shellfish Poison), que age no sistema neuromuscular causando morte

por asfixia (Lagos et al., 1999). As florações e a produção de toxinas comprometem a qualidade da água para abastecimento, além de aumentarem consideravelmente os seus custos de tratamento (Carmichael, 1996, Codd, 2000).

Essa potencial capacidade tóxica das cianobactérias merece destaque, especialmente para populações algais submetidas a condições de estresse. Alguns estudos apontam que cepas de cianobactérias originadas de populações naturais, ao serem submetidas a condições adversas, como incremento de metais, por exemplo, podem apresentar alterações fisiológicas e endógenas que elevam a concentração das toxinas produzidas, como os resultados obtidos por Amé & Wunderlin (2005) que ao utilizarem uma amostra de *Microcystis aeruginosa* concentrada a partir de uma população selvagem, mostraram que os níveis de microcistinas são favorecidos pelo aumento da concentração de ferro no meio de cultura.

Nas estações amostrais do trecho do rio (E0, E17, E21, E22 e E26) a densidade fitoplanctônica variou de 344 ind/mL a 129.458 ind/mL, enquanto nas estações amostrais das lagoas (E18, E19, E20, E23, E24, E25 e E25a) a densidade variou de 1.171 ind/mL a 21.084 ind/mL, valores próximos aos encontrados por Huszar et al. (1990), para as lagoas Juparanã (850 a 5.492 ind/mL) e Nova (14.604 a 18.674 ind/mL). Destaca-se a elevada concentração de células/mL, para as cianobactérias, com valores até 382.875 cél/mL (Tabela 66 e Figura 78), que, segundo a resolução CONAMA 357 de 2005, não deve exceder o total de 50.000 cel/mL para águas doces de classes 2 e 3.

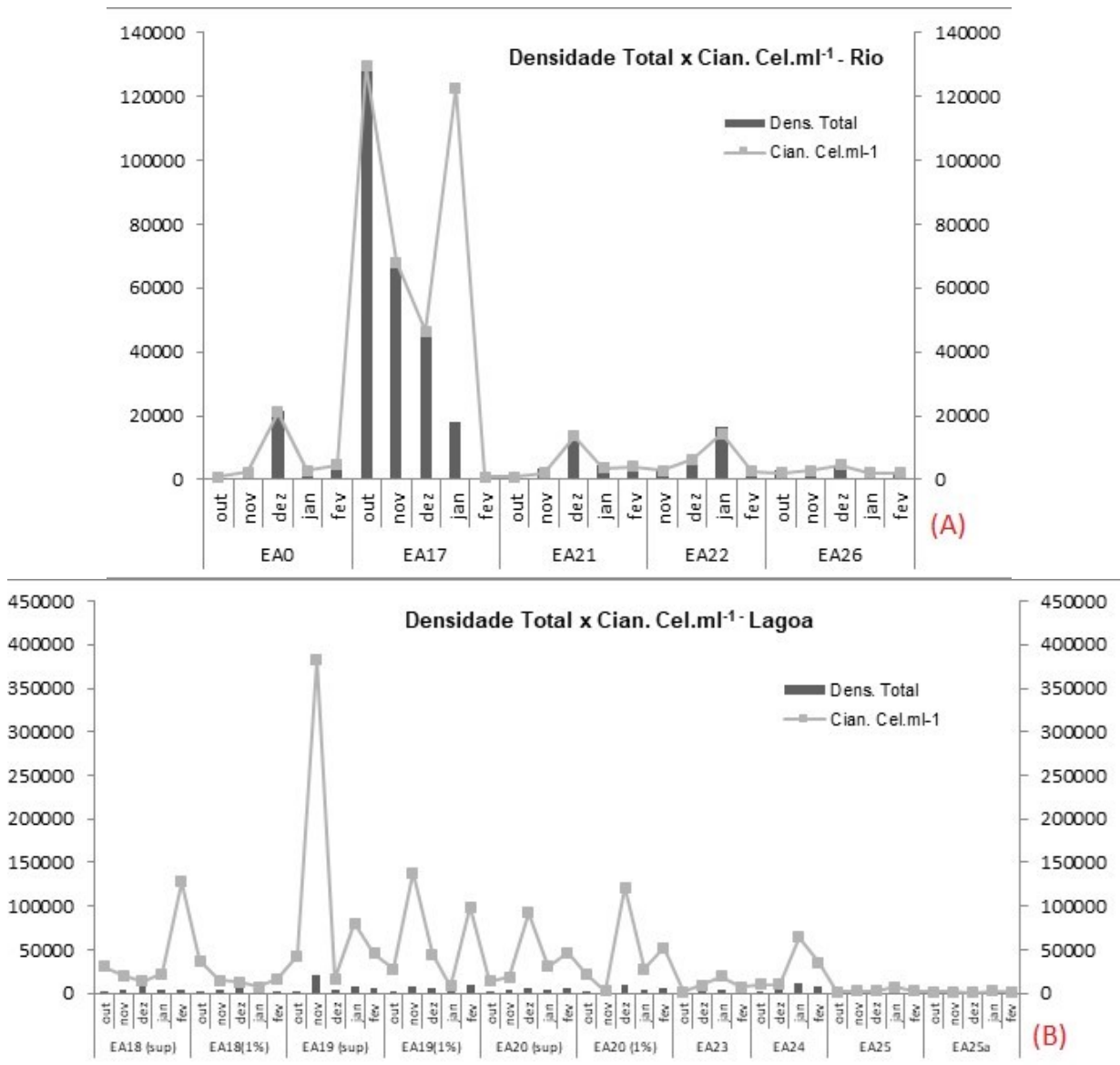
As densidades fitoplanctônicas registradas no PMQQS são extremamente mais baixas que as encontradas em todas as estações amostradas nesse estudo. Embora tenha sido usada a mesma metodologia de análise quantitativa por sedimentação em câmaras (Utermohl, 1958), não é especificada a fórmula usada para o cálculo da densidade fitoplanctônica no relatório do PMQQS e os valores apresentados são surpreendentemente baixos.

Tabela 66: Estatística descritiva dos principais atributos da comunidade fitoplanctônica nas estações amostradas no período de outubro de 2018 a fevereiro de 2019 (DV = desvio padrão).

ESTAÇÕES NO RIO				
ATRIBUTOS DA COMUNIDADE	Mínimo	Máximo	Média	DV
DENSIDADE TOTAL	344	129.458	15.233	28.875
CÉL/ML (cianobactérias)	739	129.458	19.329	36.516
DIVERSIDADE SHANNON (H')	0	3	1	1
RIQUEZA MARGALEF (1958)	0	2	1	1
EQUITABILIDADE PIELOU (1975)	0	1	1	0
DOMINÂNCIA SIMPSON (1949)	0	1	1	0
ESTAÇÕES NAS LAGOAS				
ATRIBUTOS DA COMUNIDADE	Mínimo	Máximo	Média	DV
DENSIDADE TOTAL	1.171	21.084	4.977	3.922
CÉL/ML (cianobactérias)	1.106	382.875	37.638	61.666
DIVERSIDADE SHANNON (H')	0	3	2	1
RIQUEZA MARGALEF (1958)	1	4	2	1
EQUITABILIDADE PIELOU (1975)	0	1	1	0
DOMINÂNCIA SIMPSON (1949)	0	1	0	0

Fonte: Autoria própria.

Figura 78: Relação entre densidade total (ind/mL) (A) e densidade de cianobactérias (cél/mL) (B) para as estações amostrais no rio Doce e nas lagoas durante o período de outubro de 2018 a fevereiro de 2019.

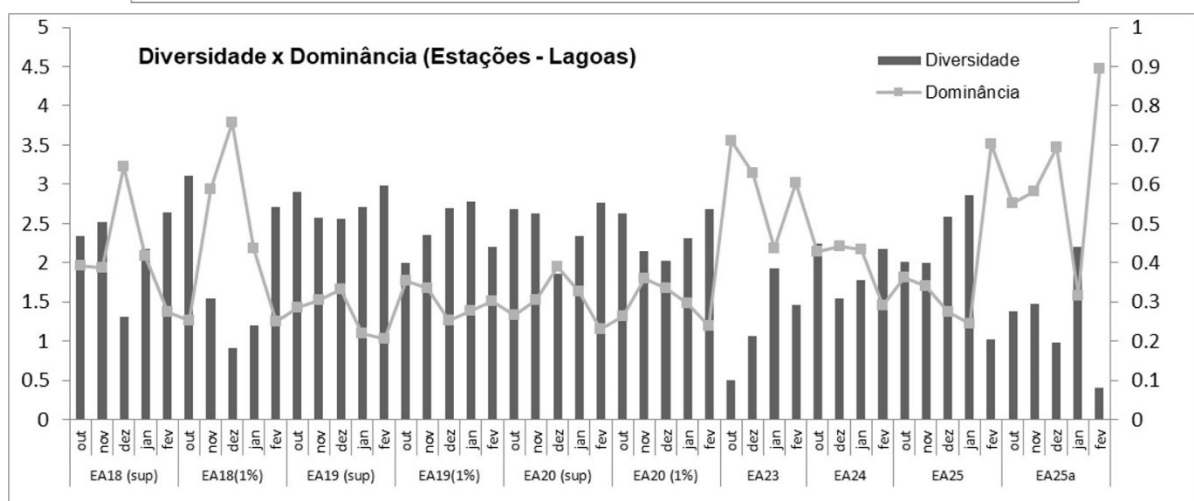
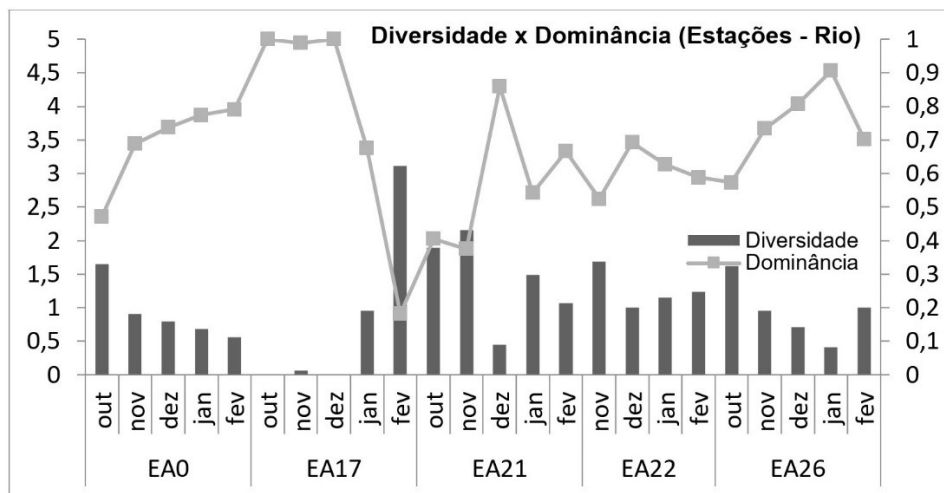


Baixos valores de diversidade e dominância de poucas espécies tem sido registrados em ambientes com florações fitoplanctônicas (MARGALEF, 1983; REYNOLDS, 2006). Wilhm e Dorris (1968) usaram valores de diversidade para classificar ecossistemas aquáticos quanto ao grau de estresse ambiental. Valores inferiores a 1,0 bits.ind⁻¹ indicam alto grau de estresse ou ambiente poluído. Valores entre 1,0 e 3,0 bits.ind⁻¹ indicam médio estresse ou com carga poluidora moderada e superior a 3,0 bits.ind⁻¹, ambientes sob baixo nível de estresse. Considerando essa classificação e os valores médios de diversidade fitoplanctônica encontrados nas estações amostrais até então, pode-se inferir, embora o número de amostras ainda seja pequeno para afirmações conclusivas, que as estações no rio Doce em Itapina (E zero), na foz (E 26) e no rio Guandú (E 17) estão sob alto grau de estresse (diversidade média entre 0,8 e 0,9 bits.ind⁻¹). As estações no rio Doce em Linhares (E 21) e Povoação (E 22), e as

lagoas Nova (E 19), Juparanã (E 20), Areão (E 23), Areal (E24) e Monsarás (E25) (média entre 1,2 e 2,6 bits.ind⁻¹) estão sob nível moderado de estresse, conforme Figura 79.

A dominância da cianobactéria picoplânctônica *Synechocystis aquatilis* nas estações amostrais sob alto grau de estresse foi o principal contribuinte para os baixos valores de diversidade e equitabilidade. O picoplâncton fotossintetizante, principalmente as cianobactérias, é influenciado positivamente pela disponibilidade de ferro no ambiente. O ferro é um micronutriente importante para o crescimento fitoplânctônico pois está envolvido na produção de enzimas que atuam na síntese de clorofila (WILHELM, 1995). A baixa disponibilidade de ferro tem sido reportada como um fator limitante para as cianobactérias (HYENSTRAND et al., 2000), logo, o aumento na disponibilidade de ferro, decorrente de atividades antrópicas como a mineração, pode influenciar positivamente o crescimento das espécies, resultando em florações. Porém, nutrientes necessários em concentrações traço, como o ferro, quando em grandes concentrações, pode provocar efeitos tóxicos ao longo da cadeia trófica, diminuindo a diversidade e abundância de espécies do fitoplâncton, pequenos invertebrados e peixes (VUORI, 1995).

Figura 79: Relação entre diversidade e dominância para as estações amostrais no rio e nas lagoas durante o período de outubro de 2018 a fevereiro de 2019.



Fonte: Autoria própria.

6.2.1 Parâmetros, Indicadores e Evidências de Impactos Agudos e/ou Crônicos

Quadro 16: Parâmetros do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Indicadores de impacto e Evidências de Impacto.

Parâmetro	Indicador	Evidência
Análise quantitativa	Dominância e Abundância	Presença de cianobactérias potencialmente tóxicas
Análise quantitativa	Índice de Diversidade x Dominância	Avaliação do grau de estresse dos ecossistemas amostrados
Análise qualitativa	Riqueza de táxons	Elevada biodiversidade de táxons, em especial nas estações das lagoas.

Fonte: Autoria própria.

6.2.2 Inclusão/exclusão de parâmetros para continuidade do PMBA

A equipe avalia como sendo ideal a periodicidade das amostragens realizadas e previstas no plano de trabalho, assim como viável os índices, parâmetros e atributos analisados.

6.2.3 Dificuldades para o desenvolvimento do subprojeto

Quadro 17: Dificuldades com complexidade das amostras para o desenvolvimento do subprojeto.

Complexidade das amostras	Dificuldade para desenvolvimento das análises das amostras	Situação das amostras	Observação
Diversidade de espécies elevada	Necessidade de identificação taxonômica para posterior quantificação de espécimes	Em processamento para identificação das espécies	

Fonte: Autoria própria.

Quadro 18: Dificuldades com infraestrutura para o desenvolvimento do subprojeto.

Infraestrutura: equipamento de laboratório	Dificuldade para desenvolvimento das análises das amostras	Situação do equipamento	Observação
Equipamentos em geral	Houve atraso na aquisição e entrega de equipamentos considerados indispensáveis para realização das análises.	Tempo para aquisição e entrega do produto prolongada.	Análises realizadas com uso de equipamentos cedidos pela FAESA.

Fonte: Autoria própria.

6.3 CONCLUSÃO

O monitoramento de ambientes aquáticos impactados faz-se de grande importância, especialmente devido aos inúmeros usos de suas águas e a comunidade fitoplanctônica é uma excelente bioindicadora da qualidade ambiental devido as rápidas respostas apresentadas por seus componentes. Além disso, o fitoplâncton é o primeiro nível trófico nos ambientes aquáticos e qualquer impacto negativo que altere a diversidade de espécies, por exemplo, pode se estender ao longo da cadeia trófica, pois esses eventos geralmente selecionam as espécies fitoplanctônicas mais resistentes ou oportunistas e o zooplâncton responde de forma semelhante, assim como pode acontecer com os níveis tróficos mais elevados. Ao longo desses primeiros meses de amostragem pode-se ressaltar a elevada riqueza de microalgas compondo o fitoplâncton e, em destaque, as elevadas densidades, especialmente no que diz respeito às cianobactérias, como registrado nesse monitoramento até então. Grande importância tem sido dada a esse grupo de algas no fitoplâncton devido a sua capacidade tóxica e grande impacto que isso pode gerar para toda a biota aquática, comprometendo o uso dessa água para diversas finalidades. Até o momento, embora os dados ainda estejam sendo analisados, podemos inferir que existe relação entre a composição de espécies e a diversidade e dominância nas estações amostradas com os impactos ocasionados no ambiente em virtude da passagem de rejeito contendo minério. Um grande número de dados e correlações podem ser apresentados ao longo do tempo e para que isso se cumpra é necessário um estudo a longo prazo do comportamento dessa comunidade, até mesmo para que possa se verificar se os ecossistemas estão apresentando capacidade de recuperação diante do cenário pós rompimento de barragem. Em virtude da manutenção do monitoramento, que se faz de extrema importância para os avanços do conhecimento ecológico e possível recuperação do ambiente, destaca-se a necessidade de manutenção das amostragens realizadas, seguindo a periodicidade e os atributos já propostos.

6.4 REFERÊNCIAS

- AMÉ, M. V., & WUNDERLIN, D. A. 2005. Effects of iron, ammonium and temperature on microcystin content by a natural concentrated *Microcystis aeruginosa* population. *Water, Air and Soil pollution* 168, 235-248
- BRASIL, Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U.
- CARMICHAEL, W.W. 1996. Toxic *Microcystis* and the environment. In *Toxic Microcystis* (M.F. Watanabe, K.I. Harada, W.W. Carmichael & H. Fujiki, eds.). CRC Press, Boca Raton, p.1-11
- CHAMIXAES, C.B.C.B. 1991. Variação temporal e espacial da biomassa, composição de espécies e produtividade das algas perifíticas relacionadas com as condições ambientais de pequenos rios da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lobo (Itirapina - SP). Tese de doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- CODD, G.A. 2000. Cyanobacterial toxins, the perception of water quality, and the prioritisation of eutrophication control. *Ecological Engineering* 16:51-60.
- HYENSTRAND, P.; RYDIN, E. e GUNNERHED, M. 2000. RESPONSE OF PELAGIC CYANOBACTERIA TO IRON ADDITIONS - ENCLOSURE EXPERIMENTS FROM LAKE ERKEN. *JOURNAL OF PLANKTON RESEARCH* 22 (6): 1113-1126.
- HUSZAR V.L.M.; SILVA, L.H.S. & ESTEVES, F.A. 1990. Estrutura das comunidades fitoplanctônicas de 18 lagoas da região do baixo Rio Doce, Linhares, Espírito Santo, Brasil. *Revista Brasileira de Biologia*. 50 (3): 585-598.
- LAGOS, N., ONODERA, H., ZAGATTO, P.A., ANDRINOLO, D., AZEVEDO, S.M.F.O., OSHIMA, Y., 1999. The first evidence of paralytic shellfish toxins in the freshwater cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*, isolated from Brazil. *Toxicon* 37, p. 1359-1373.
- LOBO, E.; & LEIGHTON, G. Estruturas comunitárias de lãs ficonozes plaktonicas de los sistemas de desembocaduras y esteros de rios de la zona central de Chile. *Rev. Biol. Mar*, v.22 (1), p. 1-29, 1986.
- MARGALEF, R. *Limnologia*. Barcelona: Ediciones Omega, 1983.
- OHTANI, I., MOORE, R.E., RUNNEGAR, M.T.C., 1992. CYLINDROSPERMOPSIN: A POTENT HEPATOTOXIN FROM THE BLUE-GREEN ALGAE CYLINDROSPERMOPSIS RACIBORSKII. *J. AM. CHEM. SOC.* 114, 7941-7942.
- REYNOLDS, C.S. 2006. *The Ecology of Phytoplankton (Ecology, Biodiversity and Conservation)*. Cambridge University Press, Cambridge, 537 p.
- SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.; WERNER, V.R.; DOGO, C.R., RIOS, F.R.; CARVALHO, L.R. 2008. Review of toxic species of Cyanobacteria in Brazil. *Algological studies* 126: 251-265.

VUORI, K.-M. 1995. Direct and indirect effects of iron on river ecosystems. *Annales Zoologici Fennici* 32: 317-329.

WILHELM, S.W. 1995. Ecology of iron-limited cyanobacteria: a review of physiological responses and implications for aquatic ecosystems. *Aquatic Microbial Ecology* 9: 295-303.

WILHM, J.L & DORRIS, T.C. 1968. Biological parameters for water quality criteria. *Bioscience* 18 (6): 447-481.

7 SUBPROJETO: ZOOPLÂNCTON DULCÍCOLA

7.1 OBJETIVO

Avaliar as condições ambientais a partir dos requerimentos do habitat aquático por parte deste grupo hidrobiológico. São considerados parâmetros da estrutura de comunidades como abundância, diversidade (i.e., riqueza e uniformidade) e biomassa como indicadores das condições ambientais de ecossistemas fluviais, lacustres e estuarino do Baixo Rio Doce.

7.2 INTRODUÇÃO

O presente relatório apresenta os resultados obtidos nas análises de amostras de zooplâncton dulcícola da malha amostral englobada no Anexo 3 do projeto Rede Rio Doce Mar. Foram consideradas na presente apresentação os dados relativos à composição, densidade, biomassa, riqueza e diversidade de espécies, sob uma base de análises estatísticas múltiplas (exploratórias e univariadas) para a explanação dos dados. Na busca de espécies indicadoras da qualidade ambiental, consideramos os fundamentos básicos que regem o entendimento da distribuição de espécies em uma matriz ambiental submetida a impactos claramente identificados: a presença do rejeito de mineração e os aspectos urbanos aos quais vários dos ecossistemas estudados estão sujeitos.

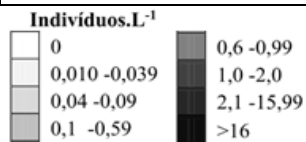
7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um total de 71 taxa de organismos zooplancônicos foram encontrados em todos os ambientes de estudo (calha do Rio Doce e lagoas costeiras), assim distribuídos: Rotíferos com 1 classe, 1 gênero e 34 espécies (Quadro 18); Cladóceros com 21 espécies identificadas (Quadro 20) e Copépodos com 14 espécies representadas (Quadro 21).

Quadro 19: Espécies de rotíferos e suas respectivas densidades (ind.L⁻¹) encontradas em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.

Ambientes	Lagoa				Lago			Rio				
	23	24	25	25A	18	19	20	0	17	21	22	26
<i>Ascomorpha</i>					■	■	■	■				
<i>Bdelloida</i>		■	■	■		■	■					■
<i>Brachionus calyciflorus</i>						■	■	■	■			
<i>Brachionus falcatus</i>		■	■	■	■	■	■					
<i>Brachionus dolabratus</i>	■	■	■	■	■	■	■	■				
<i>Brachionus leydigi</i>												
<i>Brachionus mirus</i>						■	■					

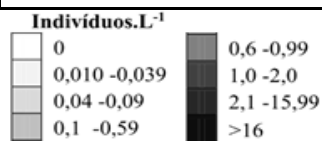
Ambientes	Lagoa				Lago			Rio				
	23	24	25	25A	18	19	20	0	17	21	22	26
<i>Brachionus patulus</i>												
<i>Conochilus dossuarius</i>												
<i>Conochilus unicornis</i>												
<i>Euchalanis dilatata lucksiana</i>												
<i>Euchalanis dilatata dilatata</i>												
<i>Euchalanis lyra</i>												
<i>Filinia opoliensis</i>												
<i>Filinia terminalis</i>												
<i>Filinia longiseta</i>												
<i>Hexarthra mira</i>												
<i>Hexarthra oxyuris</i>												
<i>Keratella americana</i>												
<i>Keratella tropica</i>												
<i>Lecane bulla</i>												
<i>Lecane clara</i>												
<i>Lecane cornuta</i>												
<i>Lecane elongata</i>												
<i>Lecane leontina</i>												
<i>Lecane luna</i>												
<i>Lecane lunaris</i>												
<i>Lecane papuana</i>												
<i>Lecane scutata</i>												
<i>Platyias quadriornis</i>												
<i>Polyarthra vulgaris</i>												
<i>Pompholyx triloba</i>												
<i>Synchaeta jollyae</i>												
<i>Testudinella patina</i>												
<i>Trichocerca elongata</i>												
<i>Trichotria tetractis</i>												



Fonte: Autoria própria.

Quadro 20: Espécies de cladóceros e suas respectivas densidades (ind.L⁻¹) encontradas em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.

Ambientes	Lagoa				Lago			Rio					
	Estações	23	24	25	25A	18	19	20	0	17	21	22	26
<i>Alona guttata</i>													
<i>Bosmina deitersi</i>													
<i>Bosmina hagmani</i>													
<i>Bosmina longirostris</i>													
<i>Camptocercus australis</i>													
<i>Ceriodaphnia cornuta</i>													
<i>Ceriodaphnia silvestri</i>													
<i>Chydorus pubescens</i>													
<i>Chydorus cf. sphaericus</i>													
<i>Coronatella monacantha</i>													
<i>Daphnia gessneri</i>													
<i>Diaphanosoma birgei</i>													
<i>Diaphanosoma spinuloso</i>													
<i>Disparalona leptorhyncha</i>													
<i>Ephemeroporus hybridus</i>													
<i>Ilyocryptus spinifer</i>													
<i>Macrothrix laticornis</i>													
<i>Moina micrura</i>													
<i>Moina minuta</i>													
<i>Nicsmimovirus paggii</i>													
<i>Notoalona sculpta</i>													

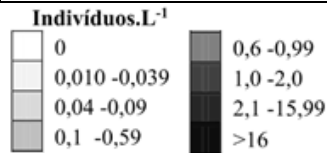


Fonte: Autoria própria.

Quadro 21: Espécies de copépodes e suas respectivas densidades (ind.L⁻¹) encontradas em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.

Ambientes	Lagoa				Lago			Rio					
	Estações	23	24	25	25A	18	19	20	0	17	21	22	26
Cyclopoida													
<i>Eucyclops cf elegans</i>													
<i>Eucyclops cf serrulatus</i>													
<i>Mesocyclops ellipticus</i>													
<i>Mesocyclops meridianus</i>													
<i>Mesocyclops cf longisetus</i>													

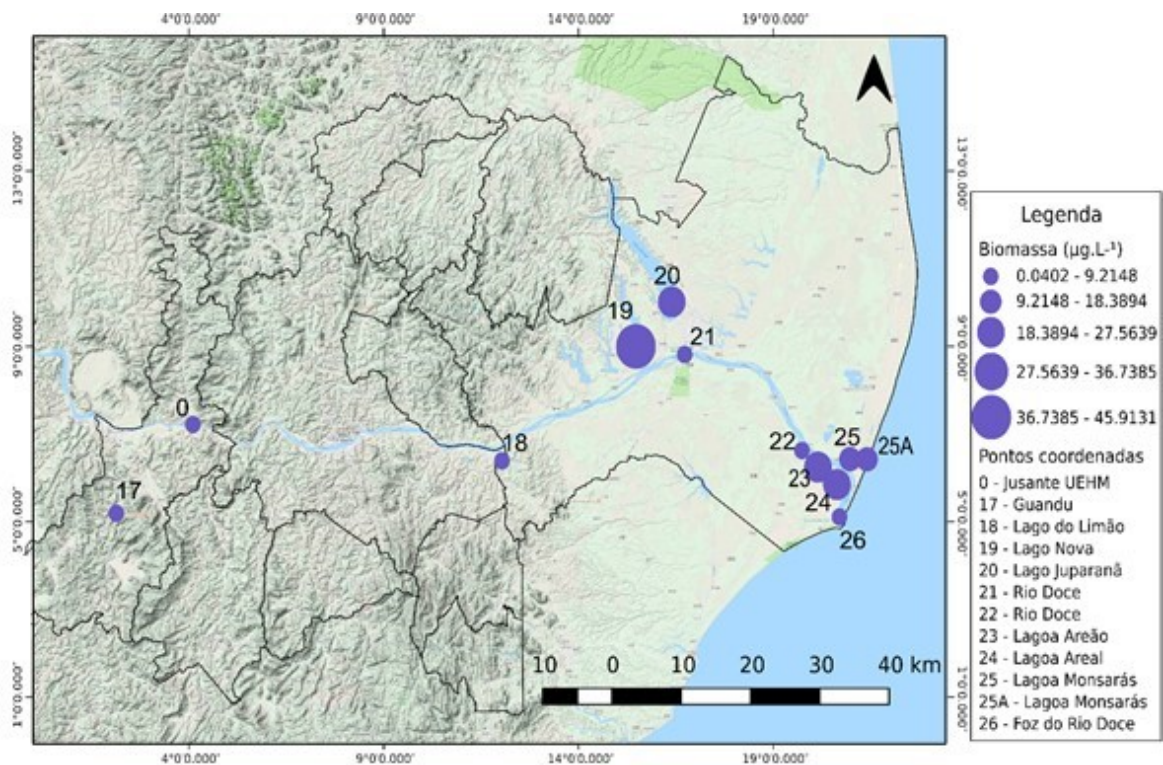
Ambientes	Lagoa				Lago			Rio				
	23	24	25	25A	18	19	20	0	17	21	22	26
<i>Microcyclops anseps</i>												
<i>Microcyclops ceibaensis</i>												
<i>Themocyclops decipiens</i>												
<i>Themocyclops minutus</i>												
<i>Themocyclops inversus</i>												
Calanoida												
<i>Notodiaptomus conifer</i>												
<i>Notodiaptomus iheringi</i>												
<i>Notodiaptomus isabelae</i>												
<i>Notodiaptomus nordestinos</i>												



Fonte: Autoria própria.

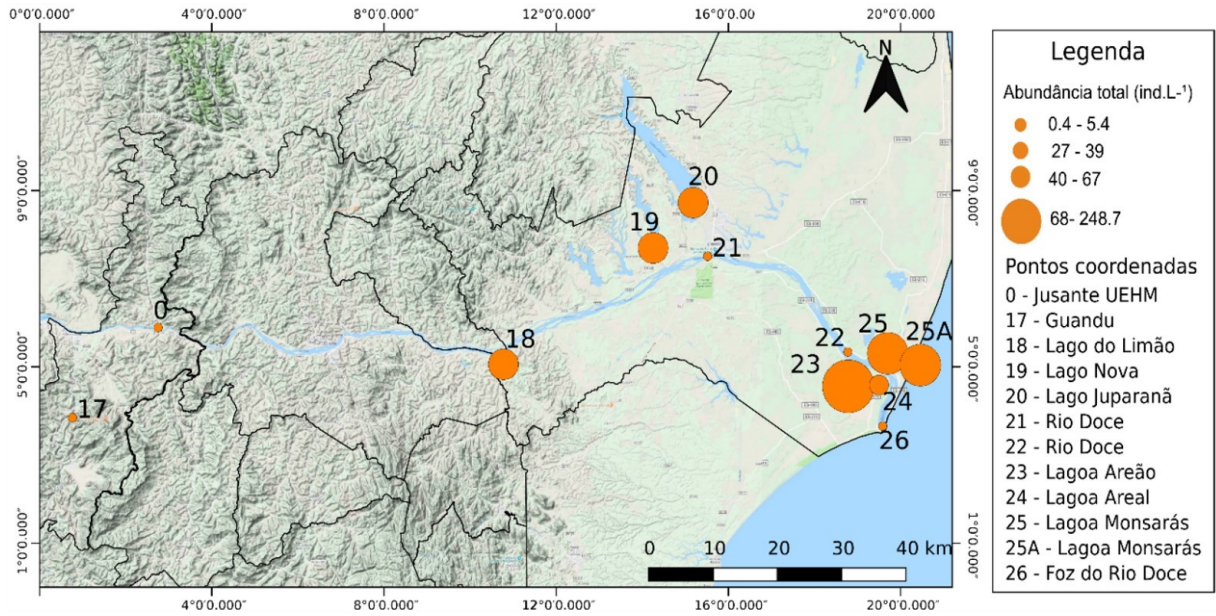
Os ambientes que apresentaram maiores densidades (ind.L⁻¹) foram a lagoa Areão e Monsarás (Figura 80). No entanto, os maiores valores de biomassa (µg peso seco.L⁻¹) foram registrados nos lagos Nova e Juparanã (Figura 81).

Figura 80: Abundância total (ind.L⁻¹) do zooplâncton encontrado em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRD (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.



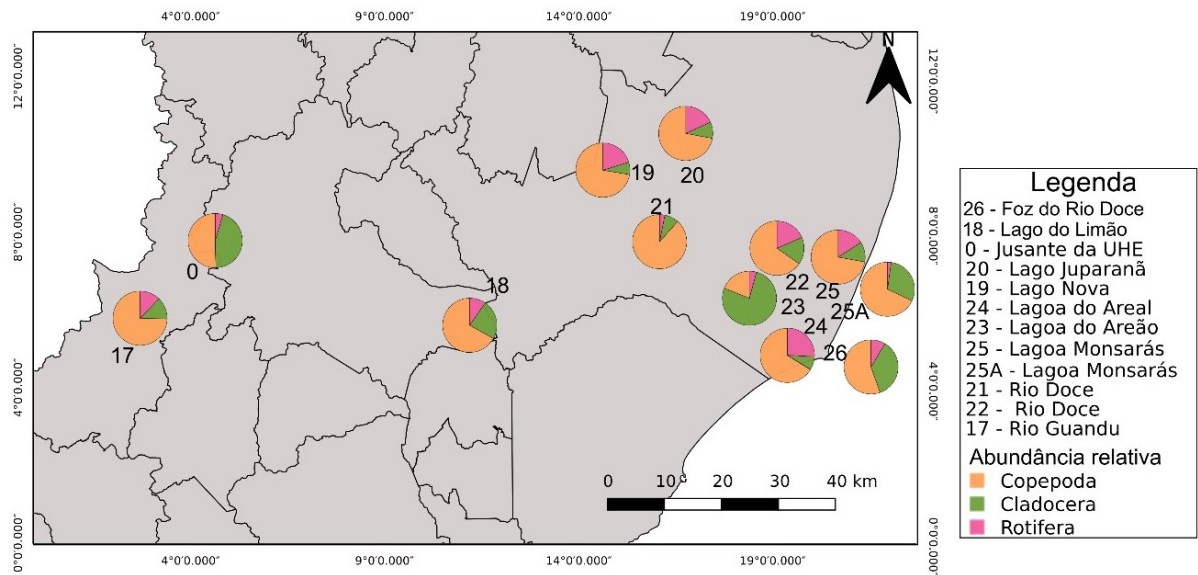
Fonte: Autoria própria.

Figura 81: Biomassa (μg de peso seco. L^{-1}) do zooplâncton encontrado em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.



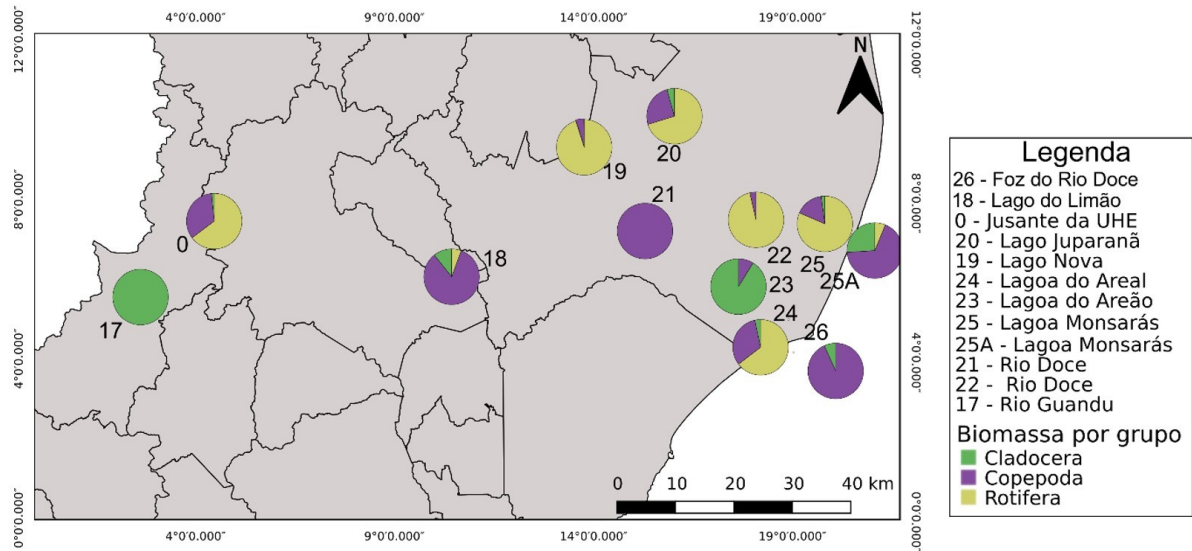
Fonte: Autoria própria.

Figura 82: Abundância relativa (%) dos grandes grupos do zooplâncton encontrados em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.



Fonte: Autoria própria.

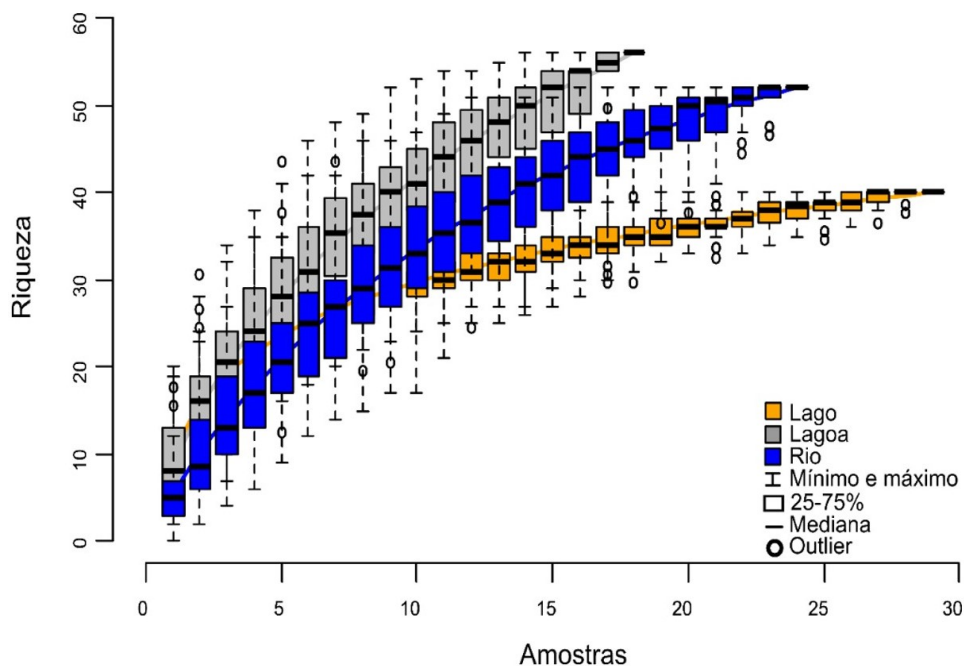
Figura 83: Biomassa relativa (%) dos grandes grupos do zooplâncton encontrados em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.



Fonte: Autoria própria.

Foi realizada uma curva de acumulação de espécies para cada ambiente de estudo: lagoas, lagos e calha do Rio do Doce. A Figura 84 demonstra que a curva ainda não se estabilizou para nenhum dos ambientes estudados, o que sugere que ainda existe um número amostral muito pequeno para a estimativa precisa da biodiversidade nos ambientes de estudos. Por isso, destaca-se a necessidade da realização de análises de um volume maior de amostras para que se estime, de forma precisa e confiável, a biodiversidade zooplancônica desses ambientes.

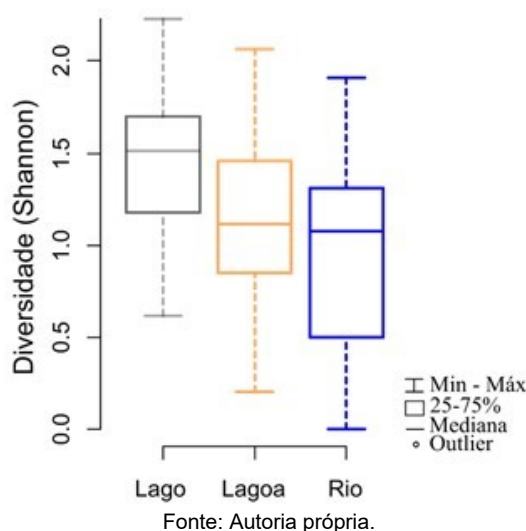
Figura 84: Curva de acumulação de espécies de zooplâncton encontradas em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.



Fonte: Autoria própria.

Entretanto, os resultados preliminares revelaram que as amostras coletadas em lagos, lagoas e calha do Rio Doce apresentam diferenças em relação à diversidade do zooplâncton (ANOVA Kruskal-Wallis, $p = 0.01$; Figura 85). Os lagos apresentaram uma maior diversidade em comparação com os rios (Mann-Whitney, $p = 0.04$). Porém, lagos e lagoas não apresentaram diferenças em termos de diversidade.

Figura 85: Diversidade do zooplâncton em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.



Para quantificar o “valor de bioindicação” das espécies zooplânctônicas foi utilizada a análise de Valor Indicador Individual (IndVal) dos organismos encontrados (Dufrene & Legendre, 1997), com o objetivo de detectar quais espécies poderiam apresentar características que evidenciam “fidelidade” a algum tipo de hábitat. Os grupos que indicaram ser característicos de alguns pontos de amostragem foram a Classe Bdelloida e as espécies *Bosmina deitersi*, *Brachionus dolabratus*, *Daphnia gessneri*, *Diaphanosoma birgei*, *Keratella Americana*, *Keratella tropica*, *Lecane bulla*, *Lecane luna*. O valor individual de indicação de cada grupo está apresentado no Quadro 22. As possíveis razões que explicam a forte correlação dessas espécies com determinados tipos de ambientes serão apresentadas a seguir.

Quadro 22: Valor individual de indicação (IndVal) de espécies de zooplâncton encontradas em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce.

	Valor de indicação (IndVal)	P	Ambiente indicado
<i>Bdelloida</i> ^R	0.7196	0.016	Lago Nova
<i>Bosmina deitersi</i> ^C	0.9598	0.003	Lagoa Areão
<i>Brachionus dolabratus</i> ^R	0.6764	0.006	Lagoa Areal
<i>Daphnia gessneri</i> ^C	0.6367	0.006	Lagoa Areal
<i>Diaphanosoma birgei</i> ^C	0.3541	0.039	Lagoa Monsarás
<i>Keratella americana</i> ^R	0.633	0.001	Lago Juparanã
<i>Keratella tropica</i> ^R	0.3404	0.049	Lago Juparanã
<i>Lecane bulla</i> ^R	0.5406	0.024	Lagoa Monsarás
<i>Lecane luna</i> ^R	0.6616	0.006	Foz do Rio Doce
<i>Lecane papuana</i> ^R	0.6405	0.007	Lagoa Areal

Fonte: Autoria própria.

^R Rotíferos e ^C Cladóceros.

Os rotíferos *Brachionus dolabratus* e *Lecane papuana* e o cladóceros *Daphnia gessneri* foram espécies indicadoras da Lagoa Areal (Quadro 22), apresentando as maiores abundâncias nesta estação em relação às demais estações de coleta (Figura 86 e Figura 87). *B. dolabratus* pode ser classificada como uma espécie característica de ambientes com elevada turbidez por material em suspensão (Souza, 2007).

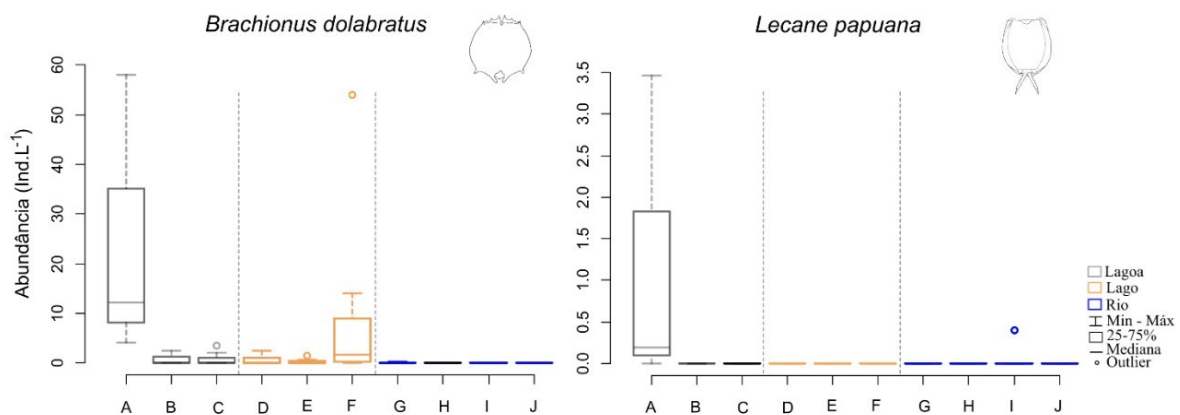
Por outro lado, apesar da alta abundância de *L. papuana* na lagoa Areal, pouco se pode concluir, até o momento, sobre a importância dessa espécie para essa lagoa, pois pouco se sabe sobre a ecologia da mesma. Garza-León et al (2017) realizaram estudos de toxicidade com *L. papuana* e o cladóceros *Alona guttata* e observaram que o rotífero pode ter uma resistência maior que o *A. guttata* à ação de poluentes como pesticidas, sob diferentes concentrações.

Especulamos que essa característica pode favorecer *L. papuana* em estratégias competitivas com outras espécies mais sensíveis à ação de poluentes, o que pode aumentar as taxas de sobrevivência da espécie e o aumento da população da mesma em ambientes perturbados. Logo, os resultados preliminares da presente pesquisa sugerem a continuidade de estudos que devem abordar o potencial de *L. papuana* como espécie bioindicadora de lagoas tropicais brasileiras.

Com relação à espécie *D. gessneri*, estudos relatam que a espécie é bem adaptada tanto a locais oligotróficos (Sampaio et al., 2002) como a ambientes classificados como mesotróficos e eutróficos (Angeletti, 2014), embora a espécie possa apresentar anomalias morfológicas como resultado de poluição causada por esgoto (Melo et al. 2017).

As espécies encontradas como indicadoras da lagoa Areal merecem destaque, pois a dominância das mesmas nos sistemas planctônicos pode indicar que o ambiente em estudo apresenta um nível elevado de material em suspensão (que pode ter influência direto com a presença dos rejeitos de minério na água), eutrofização e poluição.

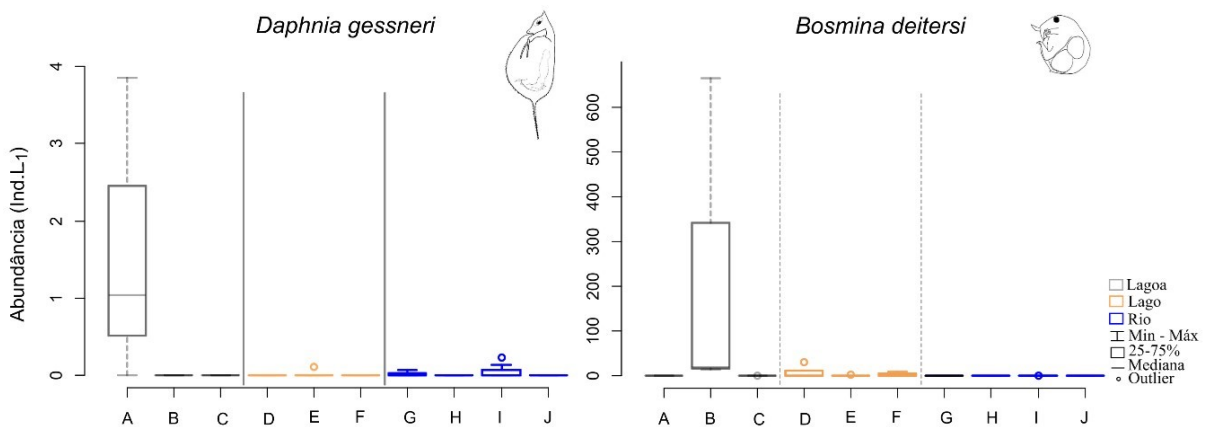
Figura 86: Densidade (ind.L⁻¹) dos rotíferos *Brachionus dolabratus* e *Lecane papuana* encontrados em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce. A, B e C: Lagoas Areal, Areão e Monsarás, respectivamente. D, E e F: lagos Limão, Nova e Juparanã, respectivamente. G, H, I e J: Jusante da UHEM, Rio Guandu, Rio Doce e Foz do Rio Doce, respectivamente.



Fonte: Autoria própria.

O cladócero *Bosmina deitersi* foi indicador da lagoa Areão (Quadro 22) e foi mais abundante nesse ambiente em comparação com os outros ambientes estudados (Figura 87). Além de ser uma espécie que apresenta preferência por habitats oligotróficos e/ou mesotróficos (Sampaio et al., 2002), *B. deitersi* pode apresentar preferência por ambientes de pH ácido (característica de cladóceros da família Bosminidae) (Rossa, et al., 2001). A diminuição do pH em ambientes limnéticos pode estar relacionado com a presença de elementos químicos como ferro, alumínio, manganês e etc. Esses elementos podem sofrer processos de oxirredução e ligação com outros elementos, alterando os valores de pH e condutividade (Ferrari et al., 2015). O fato da lagoa Areão ter recebido rejeitos de minério pode ter influenciado a diminuição do pH desse ambiente e o consequente aumento populacional de *B. deitersi*. Entretanto, ainda se faz necessário a análise de um lote maior de amostras para concluir com precisão se a alta abundância de *B. deitersi* na lagoa do Areão está relacionada com a presença de resíduos de rejeito de minério nessa lagoa.

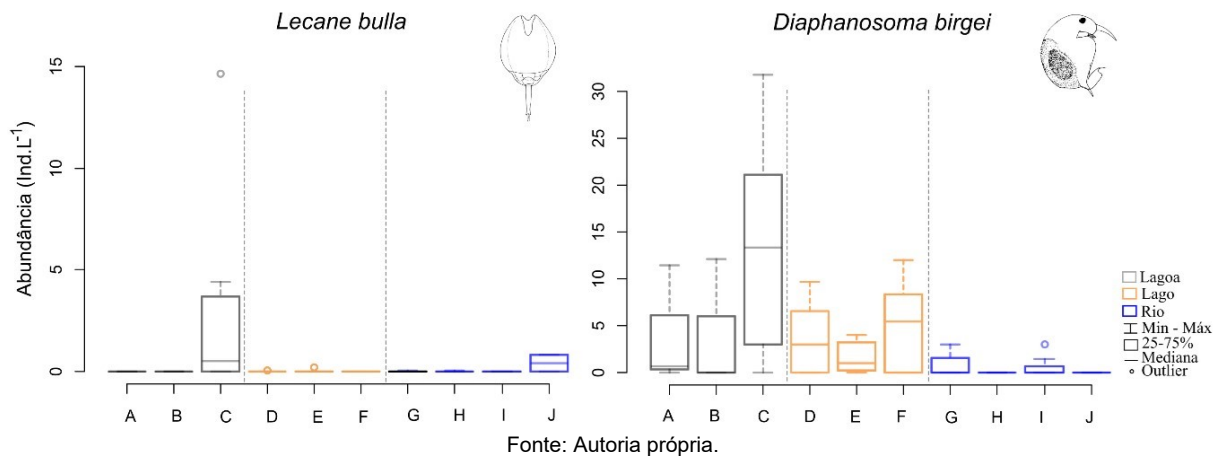
Figura 87: Abundância (ind.L⁻¹) dos cladóceros *Bosmina deitersi* e *Daphnia gessneri* encontrados em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce. A, B e C: Lagoas Areal, Areão e Monsarás, respectivamente. D, E e F: lagos Limão, Nova e Juparanã, respectivamente. G, H, I e J: Jusante da UHEM, Rio Guandu, Rio Doce e Foz do Rio Doce, respectivamente.



Fonte: Autoria própria.

Lecane bulla e *Diaphanosoma birgei* também merecem destaque, pois foram espécies indicadoras da lagoa Monsarás (Quadro 22), apresentando as mais altas abundâncias nessa lagoa, em comparação com os demais ambientes estudados (Figura 88). *L. bulla* é uma espécie que vive associada às espécies de macrófitas (Lucinda, 2003). A presença dessas plantas é bastante comum no fundo de lagoas e lagos. Em contrapartida, *D. birgei* é característica de ambientes eutrofizados (Rocha et al., 2002), o que sugere que a lagoa Monsarás pode ser um ambiente fortemente eutrofizado. Adicionalmente, ambientes enriquecidos artificialmente com cobre, níquel e zinco podem aumentar expressivamente a abundância de *D. birgei* em ambientes limnéticos (Valois et al. 2010). Por isso, as altas abundâncias de *D. birgei*, na lagoa Monsarás, também podem estar relacionadas com a possível presença de elementos químicos oriundos de rejeitos de minérios nesse ecossistema.

Figura 88: Abundância (ind.L⁻¹) do rotífero *Lecane bulla* e do cladóceros *Diaphanosoma birgei* encontrados em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce. A, B e C: Lagoas Areal, Areão e Monsarás, respectivamente. D, E e F: lagos Limão, Nova e Juparanã, respectivamente. G, H, I e J: Jusante da UHEM, Rio Guandu, Rio Doce e Foz do Rio Doce, respectivamente.

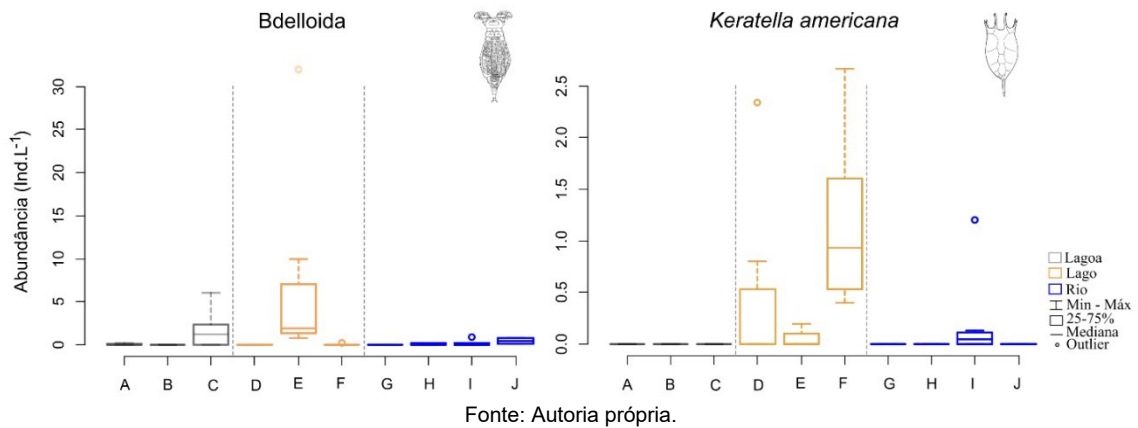


A classe Bdelloida foi um grupo indicador do Lago Nova (Quadro 22), apresentando as mais altas abundâncias nesse lago em relação aos demais ambientes estudados (Figura 89). Algumas espécies do grupo conseguem sobreviver apenas em ambientes oligotróficos, embora existam outras espécies bem adaptadas a ambientes poluídos (Kutikova, 2003). No entanto, não se pode concluir se as espécies de Bdelloida que habitam o Lago Nova são características de ambientes oligotróficos ou poluídos. Quando fixados em formol, esses organismos enrijecem o corpo, o que dificulta a visualização de caracteres morfológicos indispensáveis para a identificação desses rotíferos a nível de espécie.

Por outro lado, *Keratella americana* e *K. tropica* foram espécies indicadoras do lago Juparanã (Quadro 22), onde apresentaram as mais altas abundâncias em comparação com os demais ambientes de coleta (Figura 89 e Figura 90). *K. americana* e *K. tropica* foram descritas como espécies que apresentam importância em comunidades zooplânctônicas de ambientes eutrofizados (Eskinazi-Sant'Anna et al. 2013), o que sugere que o lago Juparanã é um ambiente que apresenta fortes indícios de eutrofização.

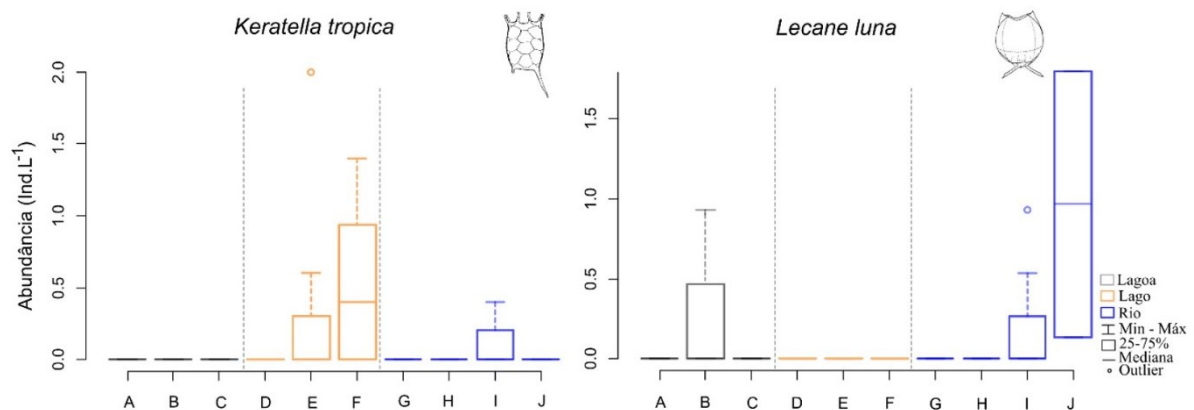
Lecane luna foi a única espécie indicadora da Foz do Rio Doce (Quadro 22), sendo mais abundante nesse ambiente em relação aos demais pontos de amostragem (Figura 88). No entanto, pouco se pode concluir sobre a presença dessa espécie na Foz do Rio Doce, pois pouco se sabe sobre a ecologia da mesma em ambientes limnéticos.

Figura 89: Abundância (ind.L⁻¹) dos rotíferos *Bdelloida* e *Keratella americana* encontrados em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce. A, B e C: Lagoas Areal, Areão e Monsarás, respectivamente. D, E e F: lagos Limão, Nova e Juparanã, respectivamente. G, H, I e J: Jusante da UHEM, Rio Guandu, Rio Doce e Foz do Rio Doce, respectivamente.



Fonte: Autoria própria.

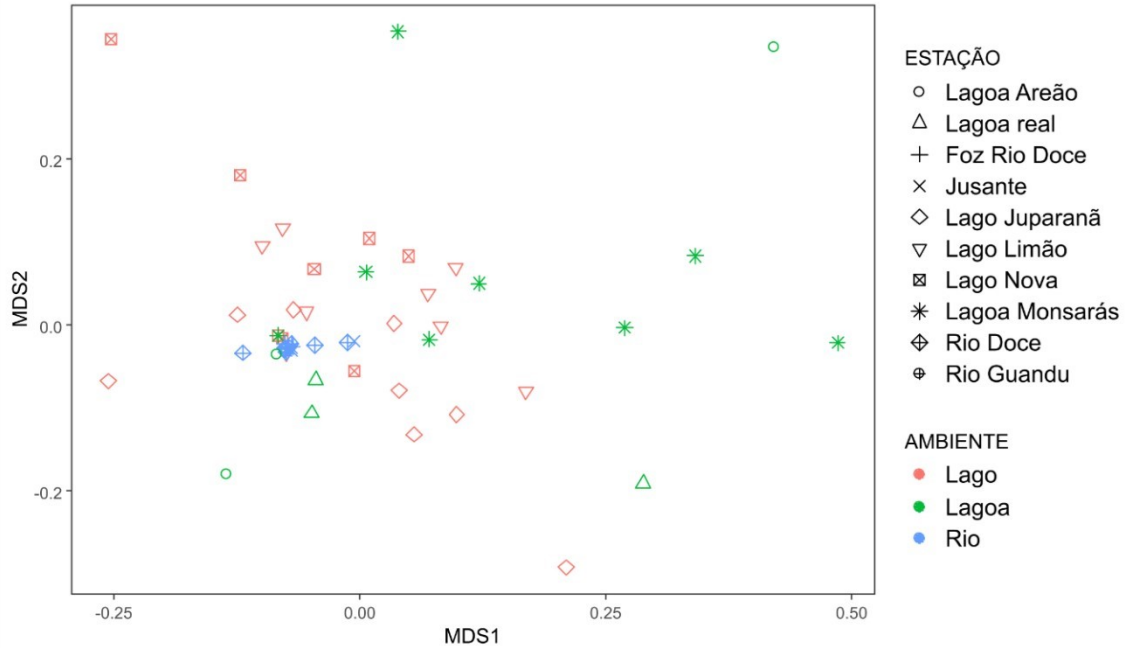
Figura 90: Abundância (ind.L⁻¹) dos rotíferos *Keratella tropica* e *Lecane luna* encontrados em amostras de zooplâncton obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce. A, B e C: Lagoas Areal, Areão e Monsarás, respectivamente. D, E e F: lagos Limão, Nova e Juparanã, respectivamente. G, H, I e J: Jusante da UHEM, Rio Guandu, Rio Doce e Foz do Rio Doce, respectivamente.



Fonte: Autoria própria.

Para avaliar se a composição das comunidades de zooplâncton apresentam dissimilaridades em relação aos ambientes de estudo (lagoa, lago e rio), foi utilizado o Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (nMDS) com os dados de abundância (ind.L⁻¹) (Clarke & Gorley, 2006). Como pode ser observado na Figura 91, há uma separação discreta entre os ambientes de lagos e lagoas. Entretanto, vale ressaltar, que o número de amostras utilizado para esse tipo de análise ainda é pequeno para a detecção de possíveis padrões de distribuição espacial dos organismos nos ambientes de estudo, visto que o zooplâncton de ambientes limnéticos apresenta uma alta variabilidade espacial e temporal. Por isso sugerimos a continuidade de coletas para o projeto de monitoramentos dos ambientes em questão, para que seja possível concluir e entender melhor os padrões ecológicos que determinam a variabilidade espacial e temporal do zooplâncton desses ecossistemas.

Figura 91: Escalonamento multidimensional não-métrico (baseado na matriz de similaridade de Bray-Curtis) das comunidades zooplancônicas estudadas em amostras obtidas no primeiro semestre de coleta da RRDM (2018/2019) em lagoas, lagos e calha do Rio Doce. As cores representam os ambientes de coleta, e os símbolos as estações de coleta.



7.4 REFERÊNCIAS

ANGELETTI, A. C. B. Diversidade de cladóceros e biomassa em quatro Reservatórios tropicais: potencial papel do conteúdo iônico para determinar a distribuição das espécies. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. 2014. 45 f.

CLARKE, K. R. & GORLEY, R. N. (2006) PRIMER v6: User Manual/Tutorial (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research). PRIMER-E, Plymouth.

DUFRENE, M. & LEGENDRE, P. Species assemblages and indicator species: the need for flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, v. 67, n. 3, p. 345-366, 1997.

ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M.; MENEZES, R.; COSTA, I. S.; ARAÚJO, M.; PANOSSO, R.; ATTAYDE, J. L. Zooplankton assemblages in eutrophic reservoirs of the Brazilian semi-arid. *Brazilian Journal of Biology*, v. 73, n. 1, p. 37-52, 2013.

FERRARI, C. R.; AZEVEDO, H.; WISNIEWSKI, M. J. S.; RODGHER, S.; ROQUE, S. V.; NASCIMENTO, M. R. L. An overview of an acidic uranium mine Pit lake (Caldas, Brazil): composition of the zooplankton community and limnochemical aspects. *Mine Water and the Environment*, v. 34, p: 343–351, 2015.

GARZA-LEÓN, C. V.; ARZATE-CÁRDENAS, M. A.; RICO-MARTÍNEZ, R. Toxicity evaluation of cypermethrin, glyphosate, and malathion, on two indigenous zooplanktonic species. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, p. 18123–18134, 2017.

KUTIKOVA, L. A. Bdelloid Rotifers (Rotifera, Bdelloidea) as a Component of Soil and Land Biocenoses. *Biology Bulletin*, v. 30, n. 3, p: 271–274, 2003.

LUCINDA, I. Composição de Rotifera de corpos d'água da bacia do Rio Tietê – São Paulo, Brasil. Universidade Federal de São Carlos. Tese de doutorado. Universidade Federal de São Carlos. Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. 2003. 199 f.

MELO, R. R. R.; COELHO, P. N.; SANTOS-WISNIEWSKI, M. J.; WISNIEWSKI, C.; MAGALHÃES, C. S. Morphological abnormalities in cladocerans related to eutrophication of a tropical reservoir. *Journal of Limnology*, v. 76, n. 1, p. 94-102, 2017.

ROSSA, D. C.; LANSAC-TÔHA, F. A.; BONECKER, C. C.; VELHO, L. F. M. Abundance of cladocerans in the littoral regions of two environments of the upper Paraná river floodplain, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 61, n. 1, p: 45-53, 2001.

SAMPAIO, E. V.; ROCHA, O.; MATSUMURA-TUNDISI, T; TUNDISI, J. G. Composition and abundance of zooplankton in the limnetic zone of seven reservoirs of the Paranapanema river, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 62, n. 3, p: 525-545, 2002.

SOUZA, W. Comunidades zooplanctônicas como bioindicadoras da qualidade da água de quatro reservatórios da região semi-árida do Rio Grande do Norte. Comunidades zooplanctônicas como bioindicadoras da qualidade da água de quatro reservatórios da região semi-árida do Rio Grande do Norte. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2007. 40 f.

VALOIS, A.; KELLER, W. B.; RAMCHARAN, C. Abiotic and biotic processes in lakes recovering from acidification: the relative roles of metal toxicity and fish predation as barriers to zooplankton re-establishment. *Freshwater Biology*, v. 55, p: 2585–2597, 2010.

8 SUBPROJETO: PERIFITON

8.1 OBJETIVO

Avaliar a dinâmica, estrutura e composição da comunidade de algas perifíticas em ambientes lóticos e lênticos do baixo Rio Doce (Espírito Santo) visando o levantamento e monitoramento da ficoflórua após passagem do rejeito de minério.

8.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da comunidade perifítica são referentes às análises quantitativa e qualitativa, e, a partir destas, foram determinados os seguintes atributos da comunidade: riqueza de táxons, densidade total, composição, dominância de Simpson, Diversidade de Shannon-Weaner e equitabilidade, sendo ainda avaliada a biomassa da comunidade pelos teores de clorofila-a, peso seco, e peso seco livre de cinzas, das amostras coletadas entre os meses de Outubro/2018 e Fevereiro/2019. Foram então consideradas as variações temporais e espaciais dessas variáveis, assim como a comparação entre estações amostrais e tipos de ecossistemas (rios e lagos).

Na análise qualitativa foram registrados 488 táxons, considerando as coletas de Outubro/2018 a Janeiro/2018 (Apêndice I). Destes, 218 táxons já foram identificados em nível específico e 43 em nível genérico. Considerando apenas as análises quantitativas, onde existe uma padronização do esforço amostral, foi observada riqueza total de 257 táxons. Destes, o grupo mais abundante foi o das diatomáceas com cerca de 42% de representatividade dos táxons contados.

A diversidade de espécies, de forma geral, não variou muito entre as estações. Somente a Lagoa do Limão (E18) se destacou das demais estações amostrais, com maiores valores de Riqueza (média 32,4 espécies) e Diversidade de Shannon-Weaner (média 2,5 bits; Quadro 23). Considerando o número total de espécies observadas na análise qualitativa, a quantidade média de espécies por amostra quantitativa foi baixa, o que pode indicar alta taxa de variação de composição da comunidade, relacionada principalmente às mudanças ambientais.

Outro fator importante é o tipo de substrato coletado, uma vez que a comunidade perifítica é dependente dele (Ferragut et al. 2013). Mesmo com a padronização de coleta, é complexo o controle dos efeitos de fatores como a idade do substrato ou a própria presença do mesmo (talvez não esteja presente em todos os meses, como é o caso das macrófitas). Essa mudança de substratos pode ser um fator interferente na comparação de riqueza entre as estações amostrais. Entretanto, a coleta de diferentes substratos pode enriquecer a análise qualitativa, uma vez que algumas espécies aparecerão apenas em um tipo de substrato.

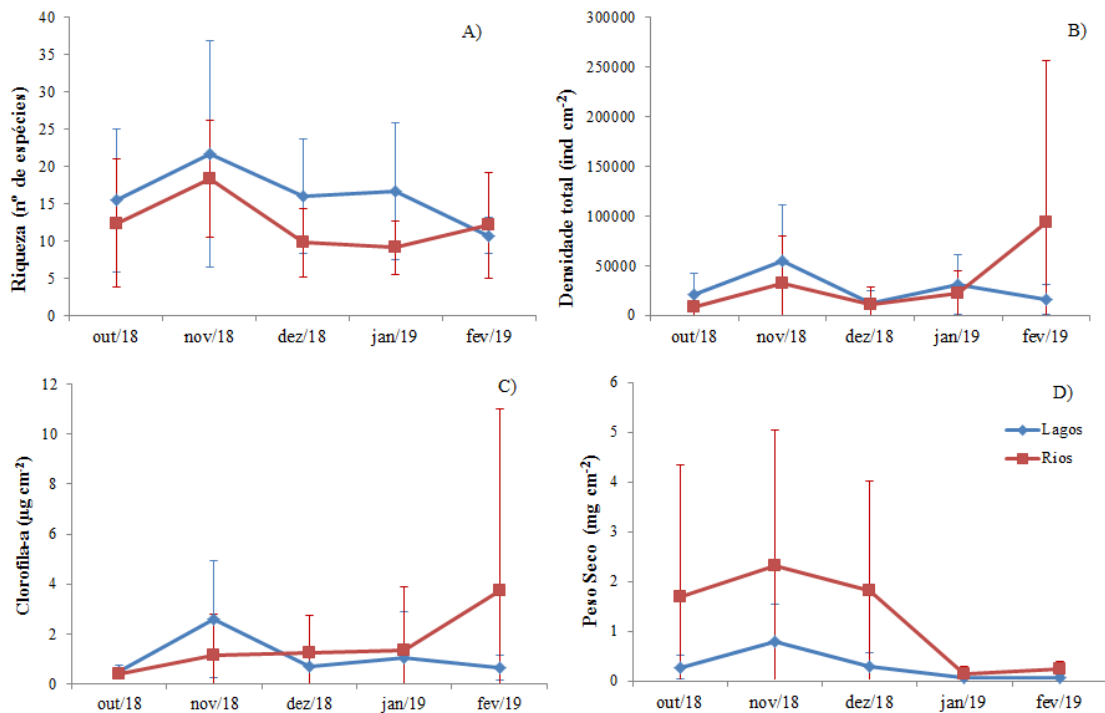
Quadro 23: Medidas de diversidade (média, mínimo e máximo) nas estações amostrais em lagos, lagos e rios do Baixo Rio Doce (N = margem norte; S= margem sul; D = margem direita; E = margem esquerda).

Estação	Riqueza Nº de espécies	Dominância	Diversidade de Shannon-Weaner bits	Equitabilidade
E0N	12,4 (3 - 20)	0,70 (0,50 - 0,87)	1,6 (1,1 - 2,2)	0,7 (0,5 - 1,0)
E0S	8,4 (1 - 23)	0,43 (0-0,87)	1,0 (0-2,4)	0,5 (0,0-1,0)
E17D	10,0 (4 - 14)	0,77 (0,54 -0,87)	1,8 (1,0 - 2,2)	0,8 (0,7 - 0,9)
E17E	7,6 (4 - 11)	0,64 (0,36 - 0,80)	1,4 (0,8 -1,8)	0,7 (0,4 - 0,9)
E18	32,4 (10 - 48)	0,85 (0,80 -0,91)	2,5 (1,8 -2,9)	0,7 (0,7 - 0,8)
E19	10,8 (7 - 16)	0,76 (0,60 - 0,87)	1,8 (1,3 - 2,3)	0,7 (0,6 - 0,9)
E20	17,0 (14 - 20)	0,76 (0,69-0,83)	1,8 (1,5 - 2,1)	0,7 (0,5 - 0,71)
E21N	14,6 (7-20)	0,71 (0,46 - 0,88)	1,7 (0,94-2,4)	0,7 (0,5 - 0,8)
E21S	13,0 (5-25)	0,58 (0,38-0,71)	1,4 (0,9-1,8)	0,6 (0,4-0,8)
E22N	19,3 (13-36)	0,76 (0,5-0,90)	2,1 (1,1-2,6)	0,7 (0,5 - 0,9)
E22S	18,0 (10-25)	0,83 (0,78-0,91)	2,2 (1,8-2,7)	0,8 (0,6-0,8)
E23	13,8 (9-16)	0,59 (0,28-0,74)	1,4 (0,7-1,9)	0,6 (0,3-0,7)
E24	13,3 (11-16)	0,75 (0,71-0,79)	1,8 (1,7-2,0)	0,7 (0,7-0,7)
E25	11,8 (8-14)	0,64 (0,43-0,87)	1,5 (1,0-2,2)	0,6 (0,4-0,8)
E25a	10,4 (9-14)	0,63 (0,58-0,73)	1,4 (1,2-1,7)	0,6 (0,6-0,7)
E26N	12,8 (6-18)	0,54 (0,17-0,84)	1,3 (0,5-2,2)	0,5 (0,2-0,8)
E26S	9,8 (4-17)	0,54 (0,31-0,74)	1,2 (0,6-1,6)	0,6 (0,4-0,7)

Fonte: Autoria própria.

A avaliação temporal da riqueza de espécies mostra que, apesar da grande variabilidade espacial, a média de riqueza nos ambientes lênticos é maior que aquela encontrada nos ambientes lóticos (Figura 92), exceto para o mês de fevereiro onde as duas médias foram similares. É interessante notar que houve variação temporal da riqueza com padrão semelhante entre os dois ambientes, com um aumento da riqueza do mês de Novembro/2018.

Figura 92: Variação temporal da riqueza (A) e da biomassa (densidade total – B; clorofila-a – C; peso seco – D) entre os ambientes “rios” e “lagos” do Baixo Rio Doce (barra de erro = desvio padrão).



Fonte: Autoria própria.

A biomassa da comunidade perífítica apresentou grande variação temporal dentro de cada estação amostral (Quadro 24). Por exemplo, o peso seco na estação E0S variou de 0,09 a 6,86 mg.cm⁻² durante os cinco meses de coleta. O peso seco do perífiton em rios parece ter maior variação de valores do que aquele observado em comunidade perífíticas lacustres (Quadro 24). Nesses ambientes lóticos, houve rápida redução do peso seco médio entre os meses de dezembro/2018 e janeiro/2019, chegando a concentrações similares a dos lagos. As variações temporais da densidade total e da clorofila-a apresentaram o mesmo padrão, com aumento em novembro/18 e, para a comunidade de ambiente lótico, um aumento em fevereiro. O aumento no mês de fevereiro pode ter relação com o aumento das chuvas no período (observação em campo), que removeram parte da matéria acumulada na matriz perífítica, levando à criação de nichos que foram colonizados por algas, explicando o aumento da densidade e da clorofila-a. Devido a essa grande variação nos dados, não foi possível inferir se a comunidade perífítica é típica de ambiente impactado ou preservado.

Quadro 24: Biomassa da comunidade perífítica (média, mínimo e máximo) nas estações amostrais em lagos, lagos e rios do Baixo Rio Doce (N = margem norte; S= margem sul; D = margem direita; E = margem esquerda).

Estação	Densidade Total Indivíduos cm ⁻²	Clorofila-a µg cm ⁻²	Peso Seco mg cm ⁻²	PSLC mg cm ⁻²
E0N	9284,6 (378,7 - 28929,5)	0,65 (0,14-2,05)	1,48 (0,04-5,13)	0,05 (0,02-0,08)
E0S	6698,5 (138,2 - 17982,5)	4,48 (0,11-21,54)	1,76 (0,09-6,86)	0,08 (0,02-0,13)
E17D	1375,3 (202,7 - 2902,0)	0,06 (0,05-0,08)	0,21 (0,06-0,4)	0,01 (0,01-0,02)

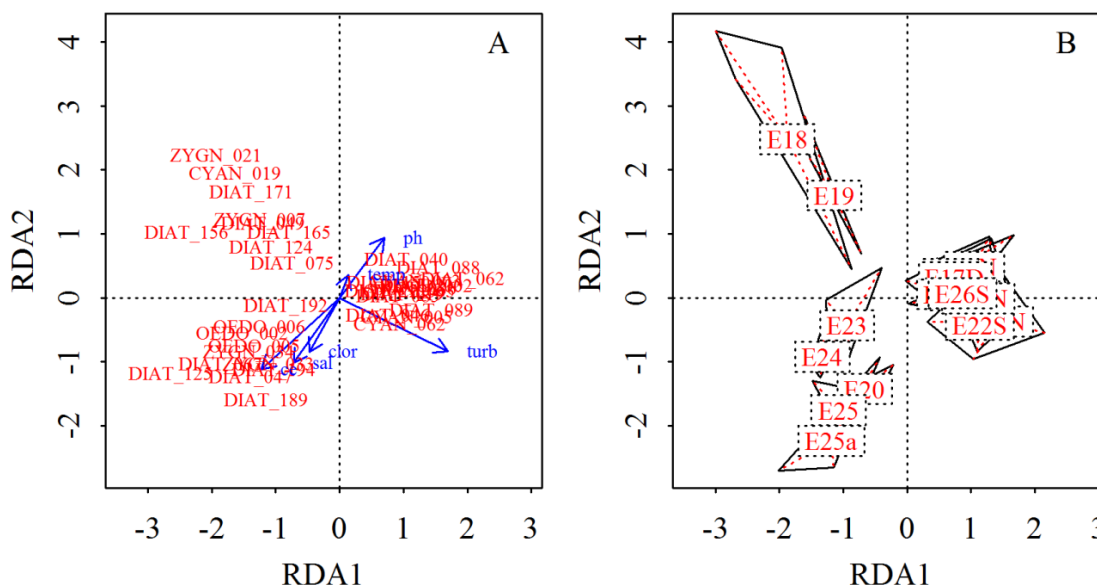
Estação	Densidade Total Indivíduos cm ⁻²	Clorofila-a µg cm ⁻²	Peso Seco mg cm ⁻²	PSLC mg cm ⁻²
E17E	5014,7 (277,2 - 20006,2)	0,08 (0,05-0,18)	0,48 (0,09-1,44)	0,03 (0,02-0,03)
E18	12675,7 (1615,3 - 21506,0)	0,43 (0,05-0,8)	0,43 (0,02-0,9)	0,04 (0,02-0,06)
E19	3106,9 (1705,7 - 6946,9)	0,34 (0,05-1,12)	0,08 (0,03-0,2)	0,03 (0,03-0,04)
E20	35057,2 (21285,3 - 64342,1)	0,33 (0,05-0,73)	0,19 (0,05-0,39)	0,03 (0,03-0,03)
E21N	32469,8 (2019,5-148408,3)	0,48 (0,2-1,07)	0,96 (0,07-4,11)	0,03 (0,03-0,03)
E21S	63550,7 (907,2-300902,7)	0,87 (0,05-3,74)	0,17 (0,09-0,4)	0,07 (0,02-0,11)
E22N	35626,6 (4060,2-75044,2)	2,17 (0,05-7,8)	0,96 (0,1-2,73)	0,06 (0,04-0,08)
E22S	16484,1 (752,0-26928,0)	0,87 (0,05-2,63)	0,62 (0,13-1,63)	0,15 (0,14-0,16)
E23	23142,6 (995,5-52053,3)	0,1 (0,05-0,13)	0,05 (0-0,13)	0,02 (0,02-0,02)
E24	11226,4 (4347,7-15094,0)	0,55 (0,24-0,84)	0,3 (0,06-0,74)	0,05 (0,01-0,08)
E25	52817,4 (606,6-115677,2)	2,47 (0,14-5,21)	0,24 (0,02-0,66)	0,05 (0,02-0,09)
E25a	36360,4 (8224,7-115001,8)	0,9 (0,59-1,44)	0,57 (0,08-2,03)	0,05 (0,04-0,06)
E26N	45863,0 (536,7-88992,4)	0,95 (0,05-1,67)	2,68 (0-9,05)	0,05 (0,02-0,07)
E26S	124352,8 (21714,8-473791,5)	2,12 (0,37-4,34)	2,82 (0,13-5,57)	0,09 (0,06-0,12)

Fonte: Autoria própria.

A análise conjunta dos dados (análise de redundância – RDA) ordenou as estações amostrais de acordo com a comunidade perifítica, utilizando as espécies com mais de 10% de representatividade em pelo menos uma das amostras, relacionando com algumas variáveis ambientais (turbidez, condutividade elétrica, salinidade, pH e clorofila-a da água), com um total de 8,8% de explicabilidade acumulada nos dois primeiros eixos. Foram observados três agrupamentos (Figura 2): (1) na região superior à esquerda, agrupando as estações E18 e E19, relacionadas com baixos valores de turbidez da água; (2) na região inferior à esquerda, agrupando as estações E20, E23, E24, E25 e E25a, relacionadas com maiores valores de condutividade elétrica, salinidade, e clorofila-a e baixos valores de pH; e (3) na região central do lado direito do primeiro eixo as demais estações amostrais, todas em ambiente lótico, relacionadas com maiores valores de turbidez e pH. Para cada um desses agrupamentos, foram destacadas as espécies mais relacionadas com cada um (Quadro 25).

Foi evidente a distinção entre os ambientes lóticos e lênticos. Ainda, dentre os ambientes lênticos, é bem evidente a separação das demais lagoas. A proximidade das estações amostrais de rio indica maior similaridade entre as comunidades. Isso pode ser explicado pela forte conectividade entre as estações amostrais, que leva a similaridade entre as comunidades (Zorzal-Almeida et al. 2017; Leibold et al. 2004). Contudo, estudos mais refinados, por exemplo, utilizando modelos de variáveis espaciais (mapas espaciais de Moran) que consideram a conectividade e proximidade das estações amostrais e outras variáveis abióticas (e.g. nutrientes e metais), podem fornecer evidências para explicar essa separação.

Figura 93: Análise de Redundância (RDA) da comunidade de algas perifíticas do Baixo Rio Doce. Para a análise, foram utilizadas aquelas com abundância relativa maior que 10% em pelo menos uma das amostras (n = 71). (A): Ordenação das espécies e variáveis abióticas. Foram selecionadas as espécies mais distantes do centro do gráfico (escores maiores que 0.7 ou menores que -0,7 nos dois eixos; n = 36). (B): Ordenação dos centroides das estações amostrais. Os polígonos representam a dispersão das amostras coletadas em relação ao centroide (onde aparece o nome da estação amostral). N = margem norte; S= margem sul; D = margem direita; E = margem esquerda; temp = temperatura da água; turb= turbidez; clor= clorofila-a na água; sal = salinidade; ce = condutividade elétrica. Códigos das espécies no Anexo.



Fonte: Autoria própria.

Da mesma forma que houve o agrupamento entre estações amostrais, podemos agrupar alguns táxons relacionados com os grupos de estações amostrais (Figura 93 e Quadro 25). No primeiro agrupamento (lagoa do Limão e lagoa Nova), foram observados táxons de Zygnemaphyceae e diatomáceas como *Eunotia*, *Fragilaria*, *Brachysira* e *Encyonopsis*. No segundo agrupamento, além de espécies de *Eunotia*, *Tabularia*, *Gomphonema* e *Brachysira*, foram observados táxons filamentosos da Classe Zygnemaphyceae. O agrupamento 3, das estações amostrais em ambientes lênticos, está relacionado com diatomáceas do gênero *Fragilaria*, *Synedra*, *Navicula*, e *Nitzschia*, cianobactérias e algas rodófitas filamentosas da ordem Batrachospermales.

Quadro 25: Relação das espécies plotadas na Figura 2A com os agrupamentos das estações amostrais.

Agrupamento das estações amostrais	Espécies relacionadas
E18 E19	<i>Gloetrichia</i> sp.
	<i>Fragilaria perdelicatissima</i> Lange-Bertalot & Van de Vijver
	<i>Gomphonema</i> sp.6
	<i>Brachysira</i> sp.1
	<i>Encyonopsis</i> sp.
	<i>Eunotia</i> sp.
	<i>Eunotia</i> sp.2
	<i>Staurastrum excavatum</i> West
	<i>Cosmarium contractum</i> Kirchner
E23 E24 E25 E25a, E20	<i>Tabularia</i> cf. <i>affinis</i> (Kützing) Snoeijs
	<i>Gomphonema</i> sp.3
	<i>Brachysira</i> sp.1
	<i>Eunotia</i> sp.3

Agrupamento das estações amostrais	Espécies relacionadas
E23 E24 E25 E25a E20	<i>Eunotia</i> sp.4
	<i>Eunotia</i> sp.5
	<i>Oedogonium</i> sp.1
	<i>Oedogonium</i> sp.2
	<i>Oedogonium</i> sp.3
	<i>Spyrogyra</i> spp.
	<i>Mougeotia</i> spp.
E0N E0S E17D E17E E21N E21S E22N E22S E26N E26S	<i>Phormidium tergestinum</i> [Kützing] Anagnostidis et Korákek
	Cyanobacteria 1
	Cyanobacteria 2
	Cyanobacteria 3
	<i>Cocconeis fluviatilis</i> Wallace
	<i>Synedra goulardii</i> Bréb. ex Cleve and Grunow
	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>rumpens</i> (Kützing) Lange-Bertalot
	<i>Gomphonema lagenula</i> Kützing
	<i>Navicula</i> cf. <i>rostellata</i> Kützing
	morfotipo 1
	<i>Navicula</i> cf. <i>rostellata</i> Kützing morfotipo 2
	<i>Navicula notha</i> Wallace
	<i>Navicula symmetrica</i> Patrick
	<i>Encyonema</i> sp.
	<i>Nitzschia</i> sp.1
	<i>Nitzschia</i> sp.2
Batrachospermales - fase chantransia	

Fonte: Autoria própria.

Uma série de trabalhos relata sobre espécies de algas resistentes e indicadoras de ambientes impactados por atividades de mineração, sobretudo espécies de diatomáceas. *Achnantheidium minutissimum* tem sido relatada como diatomácea resistente a metais, sendo encontrada em grande abundância em locais impactados por esses poluentes (Olenici et al. 2017; Luis et al. 2011). Essa espécie, além de outras correlatadas com o complexo à qual ela faz parte, foi observada em cerca de 65% das estações amostrais. Contudo, é importante observar que esta é uma espécie com ampla distribuição geográfica, e apenas sua presença não pode ser considerada como forte indicativo de contaminação por metais.

Cattaneo et al (2004), estudando um testemunho de um lago no Canadá, relacionou as espécies *Achnanthes minutissima*, *Brachysira vitrea*, *Fragilaria capucina* var. *rupens*, *Fragilaria* cf. *nanana*, *Frustulia rhomboides*, *Caloneis* sp., *Eunotia arculus*, *Pinnularia gibba* à períodos de contaminação por efluente de mineração. Para a fase de recuperação da contaminação química, esses autores observaram o aumento da abundância relativa de *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Nitzschia palea*, *Diploneis marginestriata*, *Navicula* sp. e *Fragilaria parasitica*.

Niyogi et al. (2002) observaram a dominância dos gêneros Ulothrix, Achnanthes, Phormidium, Stigeoclonium, Microthamnion, Mougeotia, Eunotia e Scapania em ambientes com algum grau de impacto por metais. Os autores também observaram que os valores de clorofila-a foram indiferentes quanto ao tipo de impacto no ambiente.

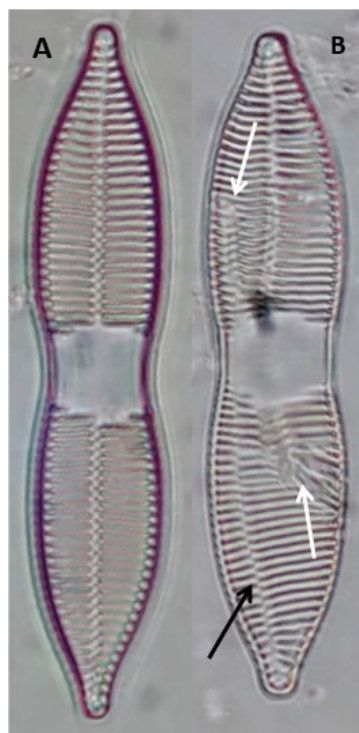
A espécie *Fragilaria capucina* var. *rupens* foi registrada em elevada abundância em um testemunho de lago em um estudo que avaliou o início, funcionamento e fechamento de uma mina na Finlândia (Salonen et al. 2006). Essa mesma espécie foi encontrada na Bacia do Rio Doce relacionada

principalmente com as estações amostrais em rios, área essa mais impactada pelo rejeito da mina de Fundão. É interessante notar que, ainda no trabalho de Salonen et al (2006) e no trabalho de Cattaneo et al (2004), as diatomáceas cêntricas tiveram sua representatividade diminuída quando em local com altos níveis de contaminação por metais. Em todas as estações amostrais da bacia do Baixo Rio Doce, pode-se observar uma baixa representatividade desse grupo de diatomáceas.

Os trabalhos avaliados sempre abordam a questão do pH na avaliação da comunidade, além dos metais. As espécies as quais se tem observado como resistentes aos metais são aquelas espécies acidófilas. Observamos que espécies dos gêneros *Tabularia*, *Gomphonema*, *Brachysira*, *Eunotia*, *Oedogonium*, *Spyrogyra* e *Mougeotia*, encontradas na bacia do Baixo Rio Doce, estão relacionadas com ambientes com baixo pH, como a Lagoa Monsarás, Areão, Areal e também na lagoa Juparanã (Figura 93). A avaliação das respostas da comunidade perifítica aos teores de metais presentes na Bacia do Rio Doce só será possível após a compreensão da dinâmica temporal do ecossistema e de análises conjuntas da comunidade perifítica e da concentração desses elementos, uma vez que diversos fatores podem confundir a avaliação.

Espécies do gênero *Cocconeis* e a espécie *Synedra goulardii* tem sido encontradas nas amostras em forma teratológicas, as quais são alterações morfológicas causadas por agente estressantes, como metais (Falasco et al. 2009). A Figura 94 mostra dois indivíduos da espécie *Synedra goulardii*, um com a morfologia normal (Figura 94A) e o outro em forma teratológica (Figura 94B). Dois tipos de alterações podem ser observados: a) na disposição da área central (seta preta) e b) na disposição das estrias (setas brancas). Esses efeitos podem ter sido causados pelo contato com substâncias estressantes para alga. Cobre, manganês e zinco são alguns dos metais já comprovadamente causadores dessas alterações na valva de diatomáceas. Os efeitos na deformação das valvas não são apenas quanto ao contorno da valva ou ornamentações na valva, mas também em sua ultra-estrutura; assim, faz-se importante a análise dessas evidências (por meio de microscopia eletrônica, por exemplo). Além disso, os efeitos na teratologia das diatomáceas não são apenas qualitativos; existem evidências mostrando que o grau de alteração na frústula aumenta com o aumento da concentração dos metais (Olenici et al. 2017; Luis et al. 2011).

Figura 94: Comparação da forma normal (A) e teratológica (B) de *Synedra goulardii* (Bacillariophyceae). Deformação nos padrões das estrias (seta branca) e alteração do eixo da área central (seta preta).



Fonte: Autoria própria.

8.2.1 Parâmetros, Indicadores e Evidências de Impactos Agudos e/ou Crônicos

Quadro 26: Parâmetros do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Indicadores de impacto e Evidências de Impacto.

Parâmetro	Indicador	Evidência
Análise Quantitativa	Espécies abundantes	Presença de espécies acidófilas, que são típicas de áreas de drenagem de mineração, principalmente na região de rios

Fonte: Autoria própria.

8.2.2 Inclusão/exclusão de parâmetros para continuidade do PMBA

Quadro 27: Inclusão/exclusão de parâmetro para continuidade do PMBA

Parâmetro	Frequência amostral	Adequação de amostragem e/ou método analítico	Justificativa
Análise Quantitativa	Mensal	Amostragem passaria a ser bimestral	As avaliações temporais da comunidade perifítica podem ser realizadas em um espaço de tempo maior sem comprometimento à qualidade dos resultados. Com isso, a equipe poderá demandar mais tempo na identificação das espécies e, possivelmente, na descrição de novas espécies para a Ciência, colaborando de forma significativa para o conhecimento da Biodiversidade do Baixo Rio Doce

Parâmetro	Frequência amostral	Adequação de amostragem e/ou método analítico	Justificativa
Análise Qualitativa	Mensal	Amostragem passaria a ser bimestral	As avaliações temporais da comunidade periffítica podem ser realizadas em um espaço de tempo maior sem comprometimento à qualidade dos resultados. Com isso, a equipe poderá demandar mais tempo na identificação das espécies e, possivelmente, na descrição de novas espécies para a Ciência, colaborando de forma significativa para o conhecimento da Biodiversidade do Baixo Rio Doce

Fonte: Autoria própria.

8.2.3 Dificuldades para o desenvolvimento do subprojeto

Quadro 28: Dificuldades com complexidade das amostras para o desenvolvimento do subprojeto.

Complexidade das amostras	Dificuldade para desenvolvimento das análises das amostras	Situação das amostras	Observação
Diversidade de espécies elevada	Necessidade de identificação taxonômica para posterior quantificação de espécimes	Em processamento para identificação das espécies	

Fonte: Autoria própria.

Quadro 29: Dificuldades com infraestrutura para o desenvolvimento do subprojeto.

Infraestrutura: recursos humanos	Dificuldade para desenvolvimento das análises das amostras	Situação dos recursos humanos	Observação
Equipe de análise de laboratório incompleta	Falta de analistas para o desenvolvimento das atividades	A demanda de amostras, assim como a complexidade de análise, é alta, demandando muito tempo da equipe, podendo atrasar alguns resultados	Verba não foi disponibilizada no início do projeto.

Fonte: Autoria própria.

8.3 CONCLUSÃO

Os primeiros meses de trabalho do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática têm gerado interessantes e importantes resultados. O levantamento da flora de algas periffíticas dessa região é de suma importância, uma vez que é altamente impactada há décadas (agricultura e áreas urbanas) e que recebeu uma grande carga de metal, com a passagem do rejeito de mineração. Poucos, se é que existe algum, são os trabalhos publicados que mostram essa biodiversidade. A grande quantidade de táxons encontrados em menos da metade do primeiro ano já é considerada alta, ainda mais para uma bacia com todo esse grau de impacto. Assim, os métodos utilizados para as análises, em caso de continuidade, deverão ser os mesmos.

Sugere-se, contudo, que a periodicidade das campanhas amostrais seja bimestral. Existe uma demanda muito grande de pesquisa e tempo para a correta identificação de um táxon, uma vez que é feita análise populacional e não de um único ou poucos indivíduos. A correta identificação do táxon é de suma importância para sua utilização em programas de biomonitoramento. Uma identificação errônea pode levar a interpretações equivocadas. Sugere-se também a inclusão da análise da concentração de alguns metais de interesse (e.g. ferro, cobre) na comunidade perifítica, uma vez que acumula material orgânico e inorgânico da água. A presença desses elementos no perifíton pode ser um indicador de que o ambiente está contaminado.

Como última sugestão em caso de continuidade, tem-se a exclusão e inclusão de alguns pontos amostrais. Sugere-se a exclusão da estação amostral E17, uma vez que não contribui para o entendimento dos efeitos do impacto do rompimento da barragem. O rio é impactado por uma bacia altamente degradada, além de sofrer grandes alterações em termos de qualidade quando passa pela cidade de Baixo Guandu. Sugere-se, portanto, um afluente do rio Doce que esteja em uma área preservada. Da mesma forma, sugere-se outro ambiente lótico, mas que esteja em uma bacia impactada pelos mesmos usos do solo que o Rio Doce (e.g. agricultura e áreas urbanas), mas com a condição de que entre a estação de coleta do rio e a sua chegada ao rio Doce, o rio não passe por nenhum grande impacto. Para que não aumente o número de estações amostrais, demandando mais custos operacionais, sugere-se a exclusão da estação E22, uma vez que não há nenhuma atividade entre as estações mais próximas que possa alterar suas características. Somado a esse fator, o acesso à estação é difícil devido à grande quantidade de bancos de areias, principalmente no período de seca.

De forma geral, esse primeiro semestre pode ser avaliado de forma positiva, com uma grande quantidade de dados já gerados, mas ainda com a necessidade de refinamento dos dados no sentido de detalhamentos taxonômicos para que se confirme as espécies e/ou para se identifique aquelas que ainda se encontram em níveis superiores de hierarquia taxonômica (Classe, Ordem, Família).

8.4 REFERÊNCIAS

- Ferragut, C.; Bicudo, D.C.; Vercellino. Amostragem e Medidas de Estrutura da Comunidade Perifítica. 2013. In: Schwarzbald, A.; Burliga, A.L.; Torgan, L.C. 2013. Ecologia do Perifiton. RiMa: São Carlos. p. 157-178.
- Zorzal-Almeida, S., Soininen, J., Bini, L.M., Bicudo, D.C. 2017. Local environment and connectivity are the main drivers of diatom species composition and trait variation in a set of tropical reservoirs. *Freshwater Biology*, 62, 1551-1563.
- Leibold, M.A., Holyoak, M., Mouquet, N. et al. 2004. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters*, 7, 601-613.
- Olenici, A.; Blanco, S.; Borrego-Ramos, M.; Momeu, L.; Baciu, C. Exploring the effects of acid mine drainage on diatom teratology using geometric morphometry. 2017. *Ecotoxicology*.
- Luís AT, Teixeira P, Almeida SFP, Matos JX, da Silva EF (2011) Environmental impact of mining activities in the lousal area (Portugal): chemical and diatom characterization of metalcontaminated stream sediments and surface water of corona stream. *Sci Total Environ* 409:4312–4325.
- Cattaneo A, Couillard Y, Wunsam S, Courcelles M. Diatom taxonomic and morphological changes as indicators of metal pollution and recovery in Lac Dufault (Québec, Canada). *J Paleolimnol* 2004;32:163–75
- Niyogi, D.V.; Lewis Jr., W.M., McKnight, D.M. 2002. Effects of Stress from Mine Drainage on Diversity, Biomass, and Function of Primary Producers in Mountain Streams. *Ecosystems* 5: 554-567.
- Salone, V.; Tuovinen, N; Valpola, S. 2006. History of mine drainage impact on Lake Orija" rvi algal communities, SW Finland . *Journal of Paleolimnology* (2006) 35: 289–303.
- Falasco, E., Bona, F., Badino, G. et al. Diatom teratological forms and environmental alterations: a review. *Hydrobiologia*, 623:1–35.

8.5 APÊNDICE I

Quadro A 1: Lista de espécies e presença/ausência nas estações amostrais, considerando as campanhas entre Outubro/2018 e Janeiro/2018 (Análise qualitativa).

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
DIAT_001	DIAT_001	X		X		X	X	X	X	X						X		X
<i>Achnanthydium tropicocatenatum</i> Marquardt, C.E. Wetzel & Ector	DIAT_002					X	X			X				X				
DIAT_003	DIAT_003	X	X	X						X								
DIAT_004	DIAT_004	X	X	X		X	X	X		X			X		X			X
DIAT_005	DIAT_005							X										
DIAT_006	DIAT_006															X		
DIAT_007	DIAT_007			X														
DIAT_008	DIAT_008						X											
<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarniecki	DIAT_009	X	X		X		X	X		X	X	X	X			X	X	
DIAT_010	DIAT_010								X									
DIAT_011	DIAT_011						X							X				
DIAT_012	DIAT_012		X	X					X									
DIAT_013	DIAT_013				X	X	X											
DIAT_014	DIAT_014					X												
<i>Achnanthydium exiguum</i> (Grunow) Czarniecki	DIAT_015			X	X	X				X								
<i>Achnanthydium exiguum</i> var. <i>constrictum</i> (Torka) Andresen et al.	DIAT_016			X	X					X								X
<i>Sellaphora tropicomadida</i> Marquardt and C.E. Wetzel	DIAT_017	X	X	X	X					X								X
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>euglypta</i> Ehrenberg	DIAT_018	X		X	X	X	X			X		X	X		X		X	X
<i>Cocconeis fluviatilis</i> Wallace	DIAT_019		X	X	X					X	X	X						
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) Van Heurck	DIAT_020		X	X			X			X	X							
<i>Cocconeis</i> sp.	DIAT_021	X								X	X						X	X
<i>Tryblionella victoriae</i> Grunow	DIAT_022	X												X	X			
<i>Planothidium rostratum</i> (Østrup) Lange-Bertalot	DIAT_023		X	X	X					X								X
<i>Planothidium minutissimum</i> (Krasske) E.A.Morales	DIAT_024			X						X								

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
Planothidium incuriatum C.E.Wetzel, Van de Vijver & Ector	DIAT_025			X	X													
Diploneis sp.	DIAT_026														X			
Diploneis sp.2	DIAT_027														X			
Spicaticribra rudis (P.I.Tremarin, T.A.V.Ludwig, V.Becker & L.C.Torgan) A.Tuji, P.Leelahakriengkrai & Y. Peerapornpaisal	DIAT_028	X	X				X		X	X		X		X				X
Cyclotella meneghiniana Kützing	DIAT_029	X	X						X	X				X	X		X	X
Melosira varians C. Agardh	DIAT_030	X	X		X													
Aulacoseira pusilla (Meister) Tuji et A. Houki	DIAT_031	X	X					X	X	X			X		X		X	X
Aulacoseira tenella (Nygaard) Simonsen	DIAT_032									X								
Aulacoseira sp.	DIAT_033									X								
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen var. granulata	DIAT_034		X	X				X	X	X			X	X		X	X	
Aulacoseira granulata var. angustissima (O. Müller) Simonsen	DIAT_035			X														X
Aulacoseira ambigua (Grunow) Simonsen	DIAT_036					X	X						X					X
Discostella stelligera (Cleve and Grunow) Houk and Klee	DIAT_037			X		X	X		X	X			X	X	X			X
Orthoseira roseana (Rabenhorst) O'Meara	DIAT_038				X													
Odontella sp.	DIAT_039																	X
Synedra goulardii Bréb. ex Cleve and Grunow	DIAT_040	X	X	X	X			X	X	X							X	X
Ulnaria acus (Kützing) Aboal	DIAT_041	X		X		X		X	X	X	X					X		
Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère	DIAT_042					X										X		X
Fragilaria fragilarioides (Grunow) Cholnoky	DIAT_043	X		X				X	X	X								
Fragilaria bidens Heiberg	DIAT_044	X	X					X		X								
Fragilaria cf. vaucheriae (Kützing) Petersen	DIAT_045	X	X							X								
Fragilaria capucina var. rumpens (Kützing) Lange-Bertalot	DIAT_046	X			X	X		X	X									
Tabularia cf. affinis (Kützing) Snoeijs	DIAT_047												X		X			
Tabularia cf. parva (Kützing) D.M.Williams & Round	DIAT_048	X	X							X					X		X	X
Fragilaria perdelicatissima Lange-Bertalot & Van de Vijver	DIAT_049					X		X	X									
Fragilaria gracilis Østrup	DIAT_050		X			X		X										
Fragilaria sp.1	DIAT_051								X									
Fragilaria sp.2	DIAT_052			X														

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
Pseudostaurosira cf. clavatum Morales	DIAT_053									X								X
Staurosira cf. acutirostrata (Metzeltin & Lange-Bertalot) Metzeltin & Lange-Bertalot	DIAT_054		X															
Staurosira/Punctastriata	DIAT_055					X							X					
Staurosira sp.1	DIAT_056			X											X			X
Pseudostaurosira sp.1	DIAT_057					X									X			
Pseudostaurosira sp.2	DIAT_058									X								X
Pseudostaurosira sp.3	DIAT_059				X													
Gomphonema pseudoaugur Lange-Bertalot	DIAT_060	X	X							X			X					
Gomphonema turris Ehrenberg var. coarctata (Frenguelli) Frenguelli	DIAT_061	X							X	X								X
Gomphonema lagenula Kützing	DIAT_062	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X		X	X
Gomphonema cf. naviculoides W. Smith morfotipo 1	DIAT_063	X							X	X								
Gomphonema affine Kützing	DIAT_064	X								X							X	
Gomphonema sp.1	DIAT_065								X									
Gomphonema sp.2	DIAT_066	X						X										
Gomphonema sp.3	DIAT_067		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Gomphonema guaraniarum Metzeltin & Lange-Bertalot	DIAT_068					X	X	X						X	X	X		
Gomphonema sp.4	DIAT_069													X				
Gomphonema parvulum Kützing	DIAT_070	X			X		X			X	X	X					X	X
Gomphonema cf. hawaiiense E.Reichardt	DIAT_071	X	X									X						
Gomphonema brasiliense Grunow	DIAT_072			X	X													
Gomphonema sp.5	DIAT_073			X														
Gomphonema brasiliense ssp. pacificum G. Moser, Lange-Bertalot & D. Metzeltin	DIAT_074					X				X					X		X	
Gomphonema sp.6	DIAT_075						X	X		X								
Gomphonema sp.7	DIAT_076												X					
Gomphonema sp.8	DIAT_077												X					
Gomphonema sp.9	DIAT_078					X							X					
Gomphonema cf. auritum A.Braun ex Kützing	DIAT_079	X	X												X			
Gomphonema cf. naviculoides W. Smith morfotipo 2	DIAT_080	X																
Gomphonema cf. acidoclinatum Lange-Bertalot & Reichardt	DIAT_081	X											X					X
Gomphonema sp.10	DIAT_082	X											X					

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
Gomphonema cf. subtile Ehrenberg	DIAT_083					X												
Gomphonema cf. parvulum Kützing	DIAT_084			X														
Navicula cf. rostellata Kützing morfotipo 1	DIAT_085	X	X	X				X		X	X	X					X	X
Navicula cf. rostellata Kützing morfotipo 2	DIAT_086	X	X	X	X		X			X	X	X					X	X
Navicula capitatoradiata Germain	DIAT_087					X												
Navicula notha Wallace	DIAT_088	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X			X	X
Navicula symmetrica Patrick	DIAT_089	X	X	X	X					X							X	
Navicula sp.1	DIAT_090																	X
DIAT_091	DIAT_091	X											X					
DIAT_092	DIAT_092								X									
DIAT_093	DIAT_093								X									
DIAT_094	DIAT_094					X												
DIAT_095	DIAT_095													X				
DIAT_096	DIAT_096	X												X				X
DIAT_097	DIAT_097			X		X								X			X	X
DIAT_098	DIAT_098																	X
DIAT_099	DIAT_099									X								X
DIAT_100	DIAT_100	X	X						X									
DIAT_101	DIAT_101					X			X	X								X
DIAT_102	DIAT_102																	X
DIAT_103	DIAT_103							X										X
DIAT_104	DIAT_104	X	X			X			X		X				X	X		
DIAT_105	DIAT_105			X	X					X								X
DIAT_106	DIAT_106			X	X													
DIAT_107	DIAT_107																	X
DIAT_108	DIAT_108						X											X
DIAT_109	DIAT_109																	X
DIAT_110	DIAT_110																	X
DIAT_111	DIAT_111	X							X									
DIAT_112	DIAT_112					X					X	X						
DIAT_113	DIAT_113		X	X	X							X					X	
DIAT_114	DIAT_114	X														X		
DIAT_115	DIAT_115	X																
DIAT_116	DIAT_116						X											
DIAT_117	DIAT_117	X																X
DIAT_118	DIAT_118																	X

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
DIAT_119	DIAT_119		X															
DIAT_120	DIAT_120					X			X	X								X
DIAT_121	DIAT_121					X												
DIAT_122	DIAT_122								X									
DIAT_123	DIAT_123								X	X								X
DIAT_124	DIAT_124		X			X	X							X			X	
DIAT_125	DIAT_125				X	X	X	X	X				X	X	X	X		
DIAT_126	DIAT_126							X	X									X
DIAT_127	DIAT_127								X									X
DIAT_128	DIAT_128													X				
DIAT_129	DIAT_129												X					
DIAT_130	DIAT_130		X							X								
DIAT_131	DIAT_131		X						X									
DIAT_132	DIAT_132					X												
DIAT_133	DIAT_133						X								X			
DIAT_134	DIAT_134		X											X				
DIAT_135	DIAT_135		X	X														X
DIAT_136	DIAT_136		X							X								X
DIAT_137	DIAT_137		X															
DIAT_138	DIAT_138							X	X									
DIAT_139	DIAT_139						X							X				
DIAT_140	DIAT_140					X												
DIAT_141	DIAT_141								X									
DIAT_142	DIAT_142	X	X							X	X							X
DIAT_143	DIAT_143		X	X	X				X	X							X	X
DIAT_144	DIAT_144	X	X	X	X	X		X	X	X		X				X		X
DIAT_145	DIAT_145																	X
DIAT_146	DIAT_146	X				X	X	X	X						X	X		
DIAT_147	DIAT_147					X											X	
DIAT_148	DIAT_148																X	
DIAT_149	DIAT_149					X	X	X						X				
DIAT_150	DIAT_150	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		X	X
DIAT_151	DIAT_151	X		X		X				X								
DIAT_152	DIAT_152					X	X	X									X	
DIAT_153	DIAT_153	X	X											X				
DIAT_154	DIAT_154	X												X			X	X

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
DIAT_155	DIAT_155								X									
DIAT_156	DIAT_156					X	X	X						X				
DIAT_157	DIAT_157																	X
DIAT_158	DIAT_158				X													
DIAT_159	DIAT_159	X		X	X	X			X	X					X			X
DIAT_160	DIAT_160		X															
DIAT_161	DIAT_161				X													
DIAT_162	DIAT_162				X								X		X			
DIAT_163	DIAT_163																	X
DIAT_164	DIAT_164					X								X				
DIAT_165	DIAT_165	X				X	X			X			X	X				
DIAT_166	DIAT_166						X		X					X	X	X		
DIAT_167	DIAT_167								X									
DIAT_168	DIAT_168															X		
DIAT_169	DIAT_169												X					
DIAT_170	DIAT_170													X				
DIAT_171	DIAT_171					X	X							X				
DIAT_172	DIAT_172						X				X	X	X	X	X	X		
DIAT_173	DIAT_173						X							X				
DIAT_174	DIAT_174		X						X									
DIAT_175	DIAT_175								X									
DIAT_176	DIAT_176							X	X		X							
DIAT_177	DIAT_177									X								
DIAT_178	DIAT_178	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	
DIAT_179	DIAT_179					X							X	X		X		X
DIAT_180	DIAT_180					X							X				X	X
DIAT_181	DIAT_181													X				
DIAT_182	DIAT_182					X	X									X		
DIAT_183	DIAT_183					X												
DIAT_184	DIAT_184					X	X							X				
DIAT_185	DIAT_185								X									
DIAT_186	DIAT_186								X									
DIAT_187	DIAT_187					X	X	X										
DIAT_188	DIAT_188								X									
DIAT_189	DIAT_189								X		X			X		X		
DIAT_190	DIAT_190					X			X									

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
DIAT_191	DIAT_191													X				
DIAT_192	DIAT_192					X	X		X						X		X	
DIAT_193	DIAT_193															X		
DIAT_194	DIAT_194						X		X					X		X		
DIAT_195	DIAT_195		X															
DIAT_196	DIAT_196	X									X	X						
DIAT_197	DIAT_197		X															
DIAT_198	DIAT_198					X						X		X			X	X
DIAT_199	DIAT_199			X														
DIAT_200	DIAT_200													X				
DIAT_201	DIAT_201														X			
DIAT_202	DIAT_202					X												
DIAT_203	DIAT_203				X													
DIAT_204	DIAT_204	X		X		X				X								X
DIAT_205	DIAT_205	X	X															X
DIAT_206	DIAT_206	X																
DIAT_207	DIAT_207																X	X
DIAT_208	DIAT_208								X									
DIAT_209	DIAT_209								X	X								
DIAT_210	DIAT_210													X				
DIAT_211	DIAT_211					X	X						X	X				
DIAT_212	DIAT_212																	X
DIAT_213	DIAT_213	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X				X	X	X
DIAT_214	DIAT_214	X				X												
DIAT_215	DIAT_215	X	X															
DIAT_216	DIAT_216			X	X													X
DIAT_217	DIAT_217	X																
DIAT_218	DIAT_218		X							X								
DIAT_219	DIAT_219																X	X
DIAT_220	DIAT_220					X												
DIAT_221	DIAT_221																	X
DIAT_222	DIAT_222		X	X	X						X							
DIAT_223	DIAT_223	X		X		X			X							X		
DIAT_224	DIAT_224				X											X		
DIAT_225	DIAT_225					X												
DIAT_226	DIAT_226					X												

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
DIAT_227	DIAT_227					X												
DIAT_228	DIAT_228					X	X		X					X				
DIAT_229	DIAT_229								X									
DIAT_230	DIAT_230								X									
DIAT_231	DIAT_231		X			X												
DIAT_232	DIAT_232									X								
DIAT_233	DIAT_233				X													
DIAT_234	DIAT_234													X		X		
Pinnularia sp.	DIAT_250																X	
Compsopogon caeruleus (Balbis ex C.Agardh) Montagne	RHOD_001							X	X		X				X		X	X
Batrachospermales - chantransia	RHOD_002	X	X	X	X				X	X	X	X	X				X	X
RHOD_003	RHOD_003																	
OUTR_002	OUTR_002	X						X		X	X							
OUTR_003	OUTR_003														X			
OUTR_005	OUTR_005									X								
OUTR_006	OUTR_006									X								
OUTR_007	OUTR_007													X				
OUTR_008	OUTR_008									X								
OUTR_009	OUTR_009						X											
Coleochaete orbicularis Pringsheim	CHLO_001	X				X		X	X			X		X			X	
Scenedesmus acunae Comas	CHLO_002	X				X					X					X		
Desmodesmus abundans (Kirchner) E.H.Hegewald	CHLO_003									X								
Coelastrum microporum Nägeli	CHLO_005						X	X						X				
CHLO_007	CHLO_007																	X
Desmodesmus intermedius	CHLO_008				X													
Chlorococcales sp.	CHLO_009					X												
Coenocystis subcylindrica	CHLO_012					X	X	X						X	X	X		
Coenochloris piscinalis Fott	CHLO_013															X		
Radiococcaceae sp.	CHLO_015			X		X	X		X		X			X	X		X	
CHLO_016	CHLO_016														X			
Stigeoclonium sp.	CHLO_021							X	X	X	X	X			X		X	
CHLO_022	CHLO_022															X		
Desmodesmus brasiliensis (Bohlin) Hegewald	CHLO_023															X	X	
CHLO_025	CHLO_025	X																

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
Scenedesmus obliquus (Turpin) Kützing	CHLO_026			X							X	X	X				X	
Schizoclamidella sphaerica	CHLO_027					X	X							X	X			
Radiococcus polycoccus	CHLO_028					X	X							X				
CHLO_031	CHLO_031						X											
Eutetramorus sp.	CHLO_032					X												
CHLO_035	CHLO_035																	
Chlorococcales sp.1	CHLO_037					X	X											
Chlorococcales sp.2	CHLO_040															X		
Scenedesmus eornis (Ehrenberg) R. Chodat	CHLO_043															X		
Botryococcus sp.	CHLO_044					X												
Desmodesmus denticulatus var linearis	CHLO_045															X		
Monoraphidium arcuatum (Korshikov) Hindák	CHLO_046							X								X		
Actinastrum sp.	CHLO_047								X									
CHLO_048	CHLO_048																X	
Desmodesmus protuberans	CHLO_049																X	
Desmodesmus spinosus	CHLO_051		X								X	X					X	
CHLO_052	CHLO_052										X							
CHLO_053	CHLO_053										X							
Coenochloris mucosa (Korshikov) Hindak	CHLO_054						X											
Botryococcus sp.	CHLO_056													X				
Ankistrodesmus sp.	CHLO_057																X	
Desmodesmus maximus (West & West) Hegewald	CHLO_058																X	
Chlorococcales sp.	CHLO_059																X	
Chlorococcales sp.	CHLO_062																X	
Desmodesmus sp.	CHLO_064																X	
CHLO_068	CHLO_068					X	X											
Botryococcus sp.	CHLO_072													X			X	
Dictyosphaerium sp.	CHLO_073													X			X	
Desmodesmus communis	CHLO_074										X						X	
Desmodesmus dispar	CHLO_076											X						
CHLO_077	CHLO_077				X							X						
Desmodesmus armatus	CHLO_078										X	X						
Desmodesmus opoliensis var. corinatus (Lemmerman) Hegewald	CHLO_080													X				
Actinastrum sp.2	CHLO_081																	

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
Monoraphidium sp.	CHLO_082																	
Desmodemus sp.	CHLO_083																	
CHLO_084	CHLO_084																	
Ceratium hirundinella (O.F.Müller) Dujardin	DINO_001						X	X										
DINO_002	DINO_002					X												
DINO_003	DINO_003						X											
DINO_004	DINO_004					X												
Lepocinclis cf. ovum (Ehrenberg) Minkevich	EUGL_001														X	X		
Trachelomonas volvocina (Ehrenberg) Ehrenberg	EUGL_002					X									X	X		
Euglenac.f variabilis G.A. Klebs	EUGL_004																	X
Trachelomonas volvocinopsis Svirenko	EUGL_005													X				
Phacus circulatus Pochman	EUGL_006													X				
Euglena sp.	EUGL_007													X				
Phacus sp.	EUGL_008																	
Trachelomonas c.f hispida	EUGL_010															X		
Trachelomonas sp.	EUGL_011						X											
Phacus / Lepocinclis	EUGL_012;												X					
Bulbochaete spp.	OEDO_001																	
	OEDO_003					X		X		X				X	X	X		X
	OEDO_004																	
Oedogonium spp.	OEDO_002																	
	OEDO_005																	
	OEDO_006	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	OEDO_007																	
	OEDO_008																	
OEDO_009																		
Cosmarium ornatum Förster & Eckert	ZYGN_001					X												
Staurastrum sp1	ZYGN_002					X												
Euastrum denticulatum F. Gay	ZYGN_003					X												
Staurastrum sp2	ZYGN_004					X	X											
Staurastrum subpygmaeum var. spiniferum(?) West	ZYGN_005					X												
Euastrum bidentatum Nägeli	ZYGN_006		X			X												
Staurastrum excavatum West	ZYGN_007					X												
Staurastrum leptocladum Nordstedt	ZYGN_008					X												

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
Staurastrum sp3	ZYGN_009					X	X											
Staurastrum margaritaceum Ehrenberg	ZYGN_010					X												
Cosmarium laeve Rabenhorst	ZYGN_011	X		X	X				X		X	X						
Staurastrum submanfeldtii West	ZYGN_012		X			X	X											
Cosmarium punctulatum Brébisson	ZYGN_013					X										X		
Cosmarium quadrum P. Lundell	ZYGN_014	X	X			X			X	X	X			X				
Cosmarium portianum W. Archer	ZYGN_015													X				
Staurodesmus validus var. subvalidus (Grönblad) Teiling	ZYGN_016					X	X											
Cosmarium blytii Wille	ZYGN_017	X		X			X		X									
Cosmarium obtusatum (Schmidle) Schmidle	ZYGN_018									X	X	X					X	
Cosmarium askenasyi Schmidle	ZYGN_019					X												
Staurodesmus corniculatus var. subspinigerus	ZYGN_020							X			X							
Cosmarium contractum Kirchner	ZYGN_021					X	X											
Cosmarium abbreviatum Raciborski var. minus (West & West) Krieger & Gerloff	ZYGN_022	X						X	X									
Cosmarium succisum West	ZYGN_023					X	X			X								
Staurastrum wolleanum G.L. Butler	ZYGN_024					X												
Staurodesmus lobatus Fritsch & M.F. Rich	ZYGN_025						X											
Cosmarium obsoletum (Hantzsch) Reinsch	ZYGN_026															X		
Staurastrum orbiculare Meneghini	ZYGN_027					X										X		
Cosmarium decoratum West & G.S. West	ZYGN_028					X								X				
Cosmarium granatum Brébisson ex Ralfs	ZYGN_029	X	X		X	X			X	X	X						X	X
Zygnema/Zygnemopsis	ZYGN_032					X				X								
Cosmarium pseudobroomei Wolle	ZYGN_040					X												
Cosmarium margaritatum (Lundell) Roy & Bisset	ZYGN_041		X							X		X						
Euastrum platycerum Reinsch	ZYGN_042						X											
Euastrum verrucosum Ehrenberg ex Ralfs	ZYGN_044								X									
Closterium incurvum Brébisson	ZYGN_045	X	X					X	X			X	X			X		
Cosmarium trilobulatum Reinsch	ZYGN_046									X								
Closterium moniliferum Ehrenberg ex Ralfs	ZYGN_047		X						X	X	X							
Micrasterias truncata Brébisson ex Ralfs	ZYGN_048											X						
Cosmarium subbroomei Schmidle	ZYGN_049					X												
Cosmarium reniforme (Ralfs) W. Archer	ZYGN_050					X												
Cosmarium connatum Brébisson ex Ralfs	ZYGN_051					X												
Cosmarium c.f. obtusatum	ZYGN_052					X												

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
<i>Cosmarium difficile</i> Lütkemüller	ZYGN_055					X								X		X		
<i>Cosmarium conspersum</i> Ralfs	ZYGN_057													X				
<i>Cosmarium cf. subtumidum</i>	ZYGN_059													X				
<i>Staurodesmus dejectus</i> (Brébisson) Croasdale	ZYGN_060					X											X	
<i>Pleurotaenium ehrenbergii</i> (Ralfs) De Bary	ZYGN_061					X											X	
<i>Cosmarium pyramidatum</i>	ZYGN_064					X												
<i>Cosmarium fuelleborniforme</i>	ZYGN_065					X	X											
<i>Cosmarium c.f. moniliforme</i>	ZYGN_066					X												
<i>Cosmarium cf. formosulum</i>	ZYGN_067					X												
<i>Staurodesmus convergens</i> (Ehrenberg ex Ralfs) S.Lillieroth	ZYGN_068					X	X											
<i>Staurastrum claviferum</i>	ZYGN_069															X		
<i>Mougeotia</i> spp.	ZYGN_031 ZYGN_034 ZYGN_035 ZYGN_036 ZYGN_054 ZYGN_070	X		X				X	X			X			X	X		X
<i>Cosmarium pseudoretusum</i> F. Duce	ZYGN_071					X												
<i>Spyrogyra</i>	ZYGN_033 ZYGN_037 ZYGN_038 ZYGN_039 ZYGN_072	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
<i>Cosmarium</i> sp.1	ZYGN_073					X	X											
<i>Cosmarium</i> sp.2	ZYGN_074					X	X											
<i>Staurastrum</i> sp.4	ZYGN_075					X												
<i>Cosmarium</i> sp.3	ZYGN_076													X				
<i>Onychonema laeve</i> Nordstedt	ZYGN_077							X									X	
<i>Staurastrum</i> sp.5	ZYGN_078							X										
<i>Staurastrum alternans</i> Brébisson	ZYGN_079										X							
<i>Cosmarium</i> sp. 4	ZYGN_080									X								
<i>Cosmarium pseudoconnatum</i> Nordstedt	ZYGN_081										X							
<i>Closterium</i> sp1	ZYGN_082						X							X				
<i>Staurastrum quadrangulare</i> Brébisson ex Ralfs var. <i>contectum</i>	ZYGN_083																	
<i>Micrasterias mahabuleshwariensis</i> Hobson	ZYGN_084								X									

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
Cosmarium sp.5	ZYGN_085								X									
Closterium sp.2	ZYGN_086			X														
Closterium sp.3	ZYGN_087														X			
Staurastrum sp.6	ZYGN_088										X							
Closterium sp.4	ZYGN_089										X							
Closterium sp.5	ZYGN_090										X							
Staurastrum sp.7	ZYGN_091																	
Staurastrum sp.8	ZYGN_092																	
Cosmarium sp.6	ZYGN_093																	
Cosmarium sp.7	ZYGN_094																	
Closterium sp.6	ZYGN_095	X																
Pleurotaenium sp.1	ZYGN_096																	
Staurastrum sp.9	ZYGN_097					X												
Onychonema sp.	ZYGN_098					X												
Xanthidium sp.	ZYGN_099					X												
Closterium sp.7	ZYGN_100		X															
Closterium sp.8	ZYGN_101				X													
Pleurotaenium sp.2	ZYGN_102															X		
Cyanophyta 1	CYAN_001							X							X			
Leptolyngbya lagerheimii (Gomont ex Gomont) Anagnostidis & Komárek	CYAN_002	X								X								X
Phormidium tergestinum [Kützing] Anagnostidis et Komárek	CYAN_003	X	X	X	X					X	X							
CYAN_004	CYAN_004	X																
CYAN_005	CYAN_005	X		X	X			X	X		X	X					X	
Heteroleibleinia kuetzingii (Schmidle) Compère	CYAN_006		X	X	X	X		X	X	X			X		X		X	X
Planktolyngbya cf. limnetica	CYAN_008		X		X	X		X		X	X	X					X	X
CYAN_009	CYAN_009	X																X
Pseudanabaena cf. catenata	CYAN_010							X								X		
Calothrix fusca (Kützing) Bornet et Flahault	CYAN_011							X										
CYAN_012	CYAN_012							X	X	X					X			X
Borzia trilocularis Cohn ex Gomont	CYAN_013							X										
CYAN_014	CYAN_014								X									
Leptolyngbya valderiana (Gomont) Anagnostidis & Komárek	CYAN_015				X													
Phormidium granulatum (Gardner) Anagnostidis	CYAN_016			X														

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
Oscillatoria sancta Kützing ex Gomont	CYAN_017							X	X									
CYAN_018	CYAN_018							X			X						X	
Gloeo-trichia sp.	CYAN_019					X	X											
CYAN_020	CYAN_020								X									
Pseudanabaena minima (G.S.An) Anagnostidis	CYAN_021	X		X					X									
Pseudanabaena limnetica (Lemmermann) Komárek	CYAN_022								X		X							
Komvophoron schmidlei (Jaag) Anagn. et Komárek	CYAN_023	X		X														
Leptolyngbya fragilis (Gomont) Anagnostidis & Komárek	CYAN_024		X		X			X	X	X								X
Phormidium willei (Gardner) Anagnostides et Komárek	CYAN_025																X	X
CYAN_026	CYAN_026																	X
CYAN_028	CYAN_028																	X
CYAN_029	CYAN_029	X																
Lyngbya ceylanica Wille	CYAN_030									X								
CYAN_031	CYAN_031	X	X							X								
Anathece minutissima (West) Komárek, Kastovsky & Jezberová	CYAN_032							X										
Chroococcus minor (Kützing) Nägeli	CYAN_033	X															X	
Microcystis protocystis Crow	CYAN_034														X			
CYAN_035	CYAN_035															X		
Aphanocapsa incerta (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek	CYAN_039														X			
Coelomorom pusillum (Van Goor) Komárek	CYAN_040	X						X			X				X			X
Merismopedia punctata Meyen	CYAN_041														X			
Microcystis wesenbergii (Komárek) Komárek ex Komárek	CYAN_042						X											
CYAN_043	CYAN_043						X							X				
CYAN_044	CYAN_044				X				X								X	
Merismopedia elegans A.Braun ex Kützing	CYAN_045	X																
Homoeothrix juliana (Bornet et Flahault) Kirchner	CYAN_047	X	X					X							X		X	
Oscillatoria sp1	CYAN_048				X													
Oscillatoria sp2	CYAN_049						X											
Phormidium sp.	CYAN_050			X														

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
CYAN_051	CYAN_051					X												
CYAN_052	CYAN_052					X												
Microcystis aeruginosa (Kützing) Kützing	CYAN_053						X											
Merismopedia	CYAN_054					X												
CYAN_055	CYAN_055					X												
CYAN_057	CYAN_057															X		
CYAN_058	CYAN_058					X												
CYAN_059	CYAN_059							X										
Chroococcus sp2	CYAN_060													X	X			
Geitleribactron periphyticum	CYAN_061										X				X		X	
CYAN_062	CYAN_062				X				X		X	X						
CYAN_063	CYAN_063		X						X		X	X					X	
Aphanocapsa c.f. annulata McGregor	CYAN_064	X							X		X							
Chroococcus sp1	CYAN_065								X									
CYAN_066	CYAN_066																	X
CYAN_067	CYAN_067										X							X
Merismopedia tenuissima Lemmermann	CYAN_068										X							X
Pseudanabaena sp.	CYAN_069					X		X	X		X	X	X					
CYAN_070	CYAN_070										X							
CYAN_071	CYAN_071										X							
Hapalosiphon sp.1	CYAN_072					X	X											
Phormidium/Oscillatoria	CYAN_073						X											
Gomphosphaeria sp.	CYAN_074													X				
Lyngbya sp.	CYAN_075		X				X											
Hapalosiphon sp.2	CYAN_076						X											
CYAN_078	CYAN_078																	
Chroococcus sp3	CYAN_079					X	X					X					X	
CYAN_080	CYAN_080						X											
CYAN_082	CYAN_082							X					X					
CYAN_083	CYAN_083																	
CYAN_083	CYAN_083					X	X										X	
CYAN_085	CYAN_085																	X
CYAN_086	CYAN_086																	X
CYAN_087	CYAN_087																	
Hapalosiphon sp.3	CYAN_088					X												
Chroococcales sp.	CYAN_089															X		

Táxon	Código	E0-N	E0-S	E17-D	E17-E	E18	E19	E20	E21-N	E21-S	E22-N	E22-S	E23	E24	E25	E25a	E26-N	E26-S
Chroococcus sp4	CYAN_090															X		
Gloeotheca sp.	CYAN_091					X	X											
CYAN_092	CYAN_092	X																
CYAN_093	CYAN_093														X			
Lyngbya sp.2	CYAN_094																	
CYAN_095	CYAN_095																	
Chroococcus sp5	CYAN_096																	
Oscillatoria sp.	CYAN_097													X				
CYAN_098	CYAN_098					X												

Fonte: Autoria própria.

9 SUBPROJETO: COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DA COMUNIDADE DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

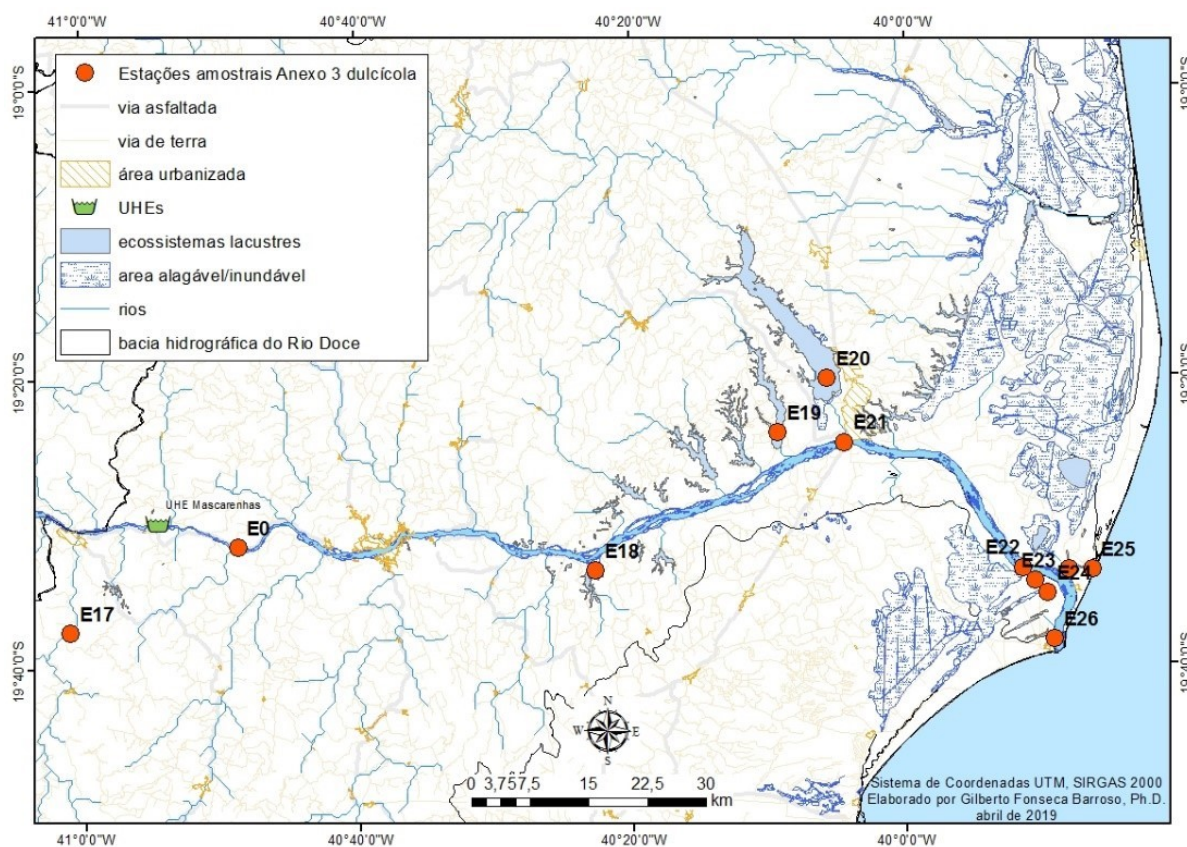
9.1 OBJETIVOS

Identificar taxonomicamente a riqueza e composição das espécies de macrófitas aquáticas (Plantas Vasculares sem Sementes e Angiospermas); Identificar a distribuição geográfica e elaborar mapas georreferenciados das espécies ocorrentes na Bacia do Rio Doce; Elaborar guia(s) fotográfico(s) para identificação das espécies em seu hábitat.

9.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o cumprimento parcial das metas previamente estabelecidas, os resultados aqui apresentados são referentes às seis primeiras campanhas de coletas sistemáticas mensais ao longo das 12 diferentes estações de amostragem (Figura 95).

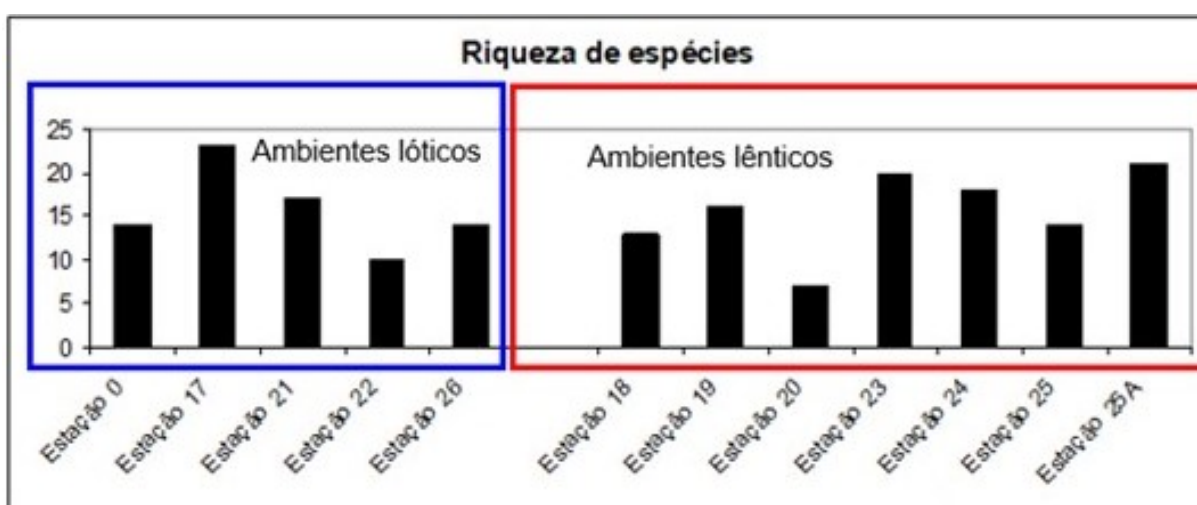
Figura 95: Mapa amostral das campanhas de coleta nas Estações amostrais.



Fonte: Autoria própria.

Com base nos objetivos propostos, o principal desafio da equipe responsável pela determinação da riqueza e composição da macrófitas aquáticas é a correta determinação das amostras, uma vez que a grande maioria não apresentou estruturas férteis, características estas que são cruciais para identificação em nível específico. Sendo assim, até o momento, 95 táxons pertencentes a 45 gêneros e 30 famílias foram registradas, das quais cinco famílias e oito espécies correspondem a plantas vasculares sem sementes e 25 famílias e 87 espécies a angiospermas. Das amostras coletadas, 15 estão determinadas em nível de família e 26 em nível genérico (Quadro 30 e Figura 96).

Figura 96: Riqueza de espécies detectada após a 6ª campanha de coleta de macrófitas aquáticas nas diferentes Estações de amostragem.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 30: Lista de espécies registradas para as 12 estações amostrais do monitoramento RRDM.

Famílias	Espécies (Morfo-espécies)
Alismataceae	<i>Limncharis flava</i> (L.) Buchenau
	<i>Sagittaria lancifolia</i> L.
Amaranthaceae	<i>Alternanthera ficoidea</i> (L.) Sm.
	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.
	<i>Alternanthera</i> sp.1
	<i>Alternanthera</i> sp.2
	<i>Blutaparon portulacoides</i> (A. St.-Hil.) Griseb.
	<i>Hebanthe eriantha</i> (Poir.) Pedersen
	<i>Pfaffia glomerata</i> (Spreng.) Pedersen
	<i>Pfaffia tuberosa</i> (Spreng.) Hicken
Amaryllidaceae	<i>Crinum americanum</i> L.
Apiaceae	<i>Centella asiatica</i> (L.) Urb.
Araceae	<i>Montrichardia linifera</i> (Arruda) Schott
	<i>Pistia stratioides</i> L.
Asteraceae	<i>Enydra anagallis</i> Gardner
Blechnaceae	<i>Telmatoblechnum serrulatum</i> (Rich.) Perrie, D.J. Ohlsen & Brownsey

Famílias	Espécies (Morfo-espécies)
Cabombaceae	<i>Cabomba furcata</i> Schult. & Schult.f.
Cleomaceae	<i>Tarenaya spinosa</i> (Jacq.) Raf.
Cyperaceae	<i>Cyperus articulatus</i> L.
	<i>Cyperus haspan</i> L.
	<i>Cyperus ligularis</i> L.
	<i>Cyperus sp.1</i>
	<i>Cyperus sp.2</i>
	<i>Cyperus sp.3</i>
Famílias	Espécies (Morfo-espécies)
Cyperaceae	<i>Cyperus sp.4</i>
	<i>Cyperus sp.5</i>
	<i>Cyperus sp.6</i>
	<i>Cyperus sp.7</i>
	<i>Cyperus sp.8</i>
	<i>Cyperus sp.9</i>
	<i>Cyperus sp.10</i>
	<i>Eleocharis sp.1</i>
	<i>Eleocharis sp.2</i>
	<i>Eleocharis sp.3</i>
	<i>Eleocharis sp.4</i>
	<i>Fimbristilis sp.1</i>
	<i>Fuirena umbellata</i> Rottb.
	<i>Rhynchospora glomerata</i> (L.) Vahl
	<i>Rhynchospora sp.1</i>
	<i>Rhynchospora sp.2</i>
	<i>Rhynchospora sp.3</i>
	<i>Scleria sp.1</i>
	<i>Scleria sp.2</i>
	<i>Scleria sp.3</i>
	<i>sp.1</i>
	<i>sp.2</i>
	<i>sp.3</i>
	<i>sp.4</i>
	<i>sp.5</i>
Eriocaulaceae	<i>Tonina fluviatilis</i> Aubl.
Hydrocharitaceae	<i>Egeria densa</i> Planch.
	<i>Limnobium laevigatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine
Hydroleaceae	<i>Hydrolea spinosa</i> L.
Lentibulariaceae	<i>Utricularia foliosa</i> L.
	<i>Utricularia gibba</i> L.
	<i>Utricularia hydrocarpa</i> Vahl

Famílias	Espécies (Morfo-espécies)
Linderniaceae	<i>Micranthemum umbrosum</i> (J.F.Gmel.) S.F.Blake
	<i>Torenia thouarsii</i> (Cham. & Schtdl.) Kuntze
Lygodiaceae	<i>Lygodium venustum</i> Sw.
	<i>Lygodium volubile</i> Sw.
Lythraceae	<i>Cuphea melvilla</i> Lindl.
	<i>Cuphea sp.1</i>
Malvaceae	<i>Talipariti pernambucensis</i> (Arruda) Bovini
Marantaceae	<i>Stromanthe thalia</i> (Vell.) J.M.A.Braga
Menyanthaceae	<i>Nymphoides indica</i> (L.) Kuntze
Molluginaceae	<i>Mollugo verticillata</i> L.
Nymphaeaceae	<i>Nymphaea caerulea</i> Savigny
	<i>Nymphaea pulchella</i> DC.
Famílias	Espécies (Morfo-espécies)
Nymphaeaceae	<i>Nymphaea rudgeana</i> G.Mey.
Onagraceae	<i>Ludwigia erecta</i> (L.) H.Hara
	<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P.H.Raven
	<i>Ludwigia torulosa</i> (Arn.) H.Hara
Poaceae	<i>Paspalum millegrana</i> Schrad.
	<i>Paspalum sp.1</i>
	<i>Paspalum sp.2</i>
	<i>sp.1</i>
	<i>sp.2</i>
	<i>sp.3</i>
	<i>sp.4</i>
	<i>sp.5</i>
	<i>sp.6</i>
	<i>sp.7</i>
	<i>sp.8</i>
	<i>sp.9</i>
	<i>sp.10</i>
Polygonaceae	<i>Persicaria ferruginea</i> (Wedd.) Soják
	<i>Persicaria hydropiperoides</i> (Michx.) Small
Pontederiaceae	<i>Eichhornia azurea</i> (Sw.) Kunth
	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms
Pteridaceae	<i>Adiantum latifolium</i> Lam.
	<i>Ceratopteris thalictroides</i> (L.) Brongn
Salviniaceae	<i>Salvinia auriculata</i> Aubl.
	<i>Salvinia biloba</i> Raddi
Thelypteridaceae	<i>Cyclosorus interruptus</i> (Willd.) H. Itô
Typhaceae	<i>Typha domingensis</i> Pers.

Fonte: Autoria própria.

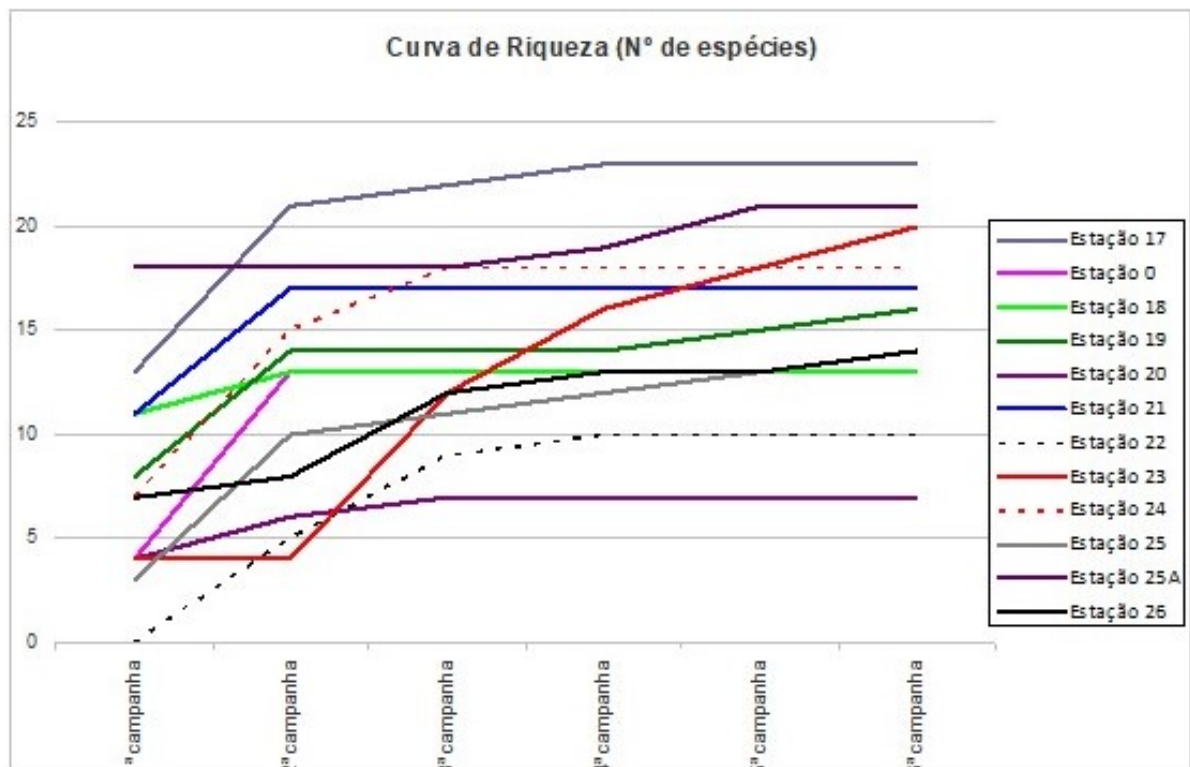
Dada a inexistência de dados pretéritos para comparação dos períodos anteriores ao início das atividades de monitoramento pela RRDM, a riqueza taxonômica de macrófitas aqui apresentada é considerada alta frente aos resultados encontrados por outros autores para diferentes ambientes aquáticos, a exemplo de Ferreira et al. (2010) - 37 espécies; Kufner et al. (2011) - 42 espécies; Araújo et al. (2012) - 52 espécies; e Souza et al. (2017) - 66 espécies. A alta riqueza provavelmente deve-se ao maior número de diferentes ambientes aquáticos aqui monitorados (12 estações de amostragem) em comparação aos dados apresentados pelos autores acima mencionados e que realizaram seus levantamentos em apenas uma única área. Contudo, ao analisar as áreas de amostragem individualmente, evidencia-se a baixa riqueza quando comparadas às informações citadas por Ferreira et al. (2010), Kufner et al. (2011), Araújo et al. (2012) e Souza et al. (2017). Isso demonstra o esforço amostral ainda insuficiente e/u efeitos das diferentes metodologias empregadas.

A curva de riqueza reunindo os dados gerais (Figura 97) apresenta tendência à estabilização a partir da 4ª campanha de amostragem, contudo, alguns pontos tais quais as estações 0, 19, 23, 25 e 25A ainda possuem as suas curvas na ascendente ou com a tendência à estabilização a partir da 6ª campanha de amostragem.

Quando analisados em separado, tanto os ambientes lóticos (Figura 98) quanto os lênticos (Figura 99), os gráficos evidenciam que a amostragem ainda se encontra insuficiente para determinação mais acurada da riqueza. E, atrelada a essa informação, dada à natureza interdependente dos níveis de água do grupo biológico em questão, a sazonalidade, bem como o ciclo biológico (anual, bianual ou perene), forma de vida (flutuantes livres ou fixas, parcial ou totalmente submersas) e/ou áreas de ocorrência na lâmina d'água (baixa ou alta profundidade do leito, margens) de cada táxon devem ser considerados como importantes fatores para determinação temporal da riqueza.

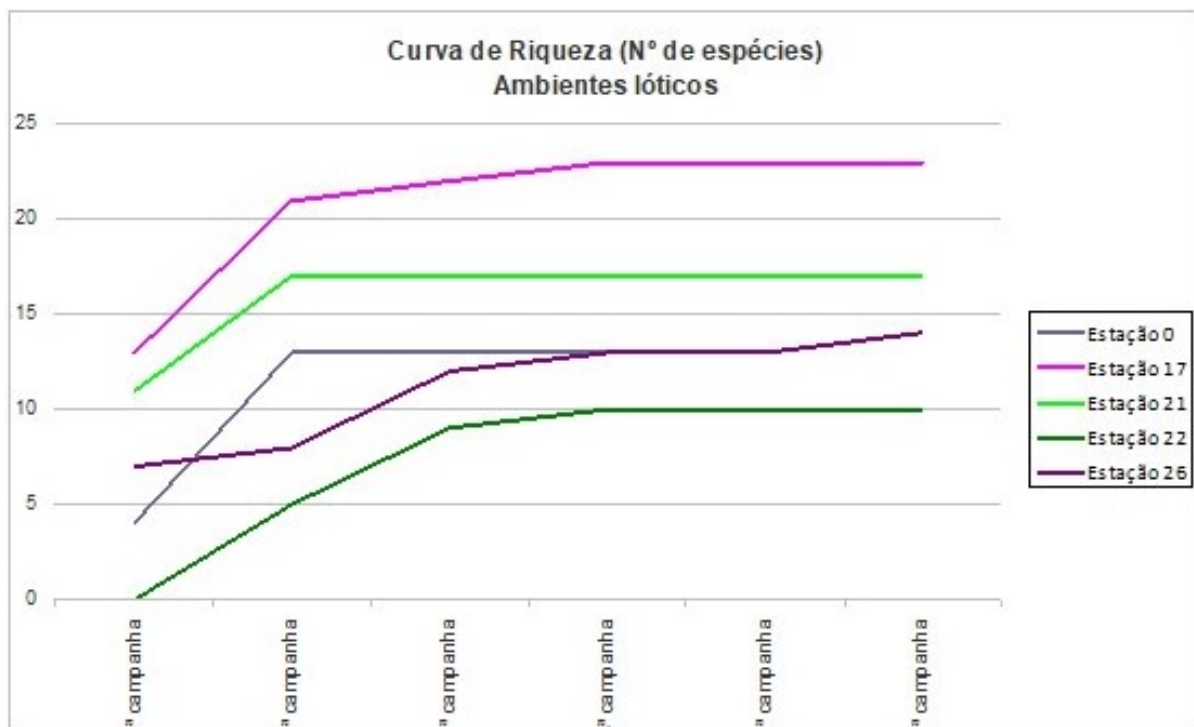
Uma vez que as áreas mais afetadas pela passagem dos agentes contaminantes após o rompimento da barragem localizam-se, principalmente, no leito (ambiente lótico) do Rio Doce, pode-se constatar que os valores de riqueza são, até o momento, equiparadas (a exemplo da Estação 17 - ambiente lótico, com 23 espécies; e as Estações 23 e 25A - ambiente lêntico, com 20 e 21 espécies, respectivamente) entre os pontos aqui analisados. No entanto, cabe salientar que a Estação amostral 17 é referente ao Rio Guandú, um dos afluentes do Rio Doce e que não esteve na rota direta dos contaminantes provenientes do rompimento. Todas as estações amostrais no leito do Rio Doce apresentaram valores de riqueza inferiores aos registrados nos ambientes lênticos. Dado este que merece especial atenção pela possibilidade de efeito agudo direto de perda de riqueza, dadas às condições necessárias para ocorrência de alguns táxons que demandam baixa ou nenhuma perturbação antrópica.

Figura 97: Curva de riqueza para as 12 Estações amostrais ao longo das seis campanhas de coleta.



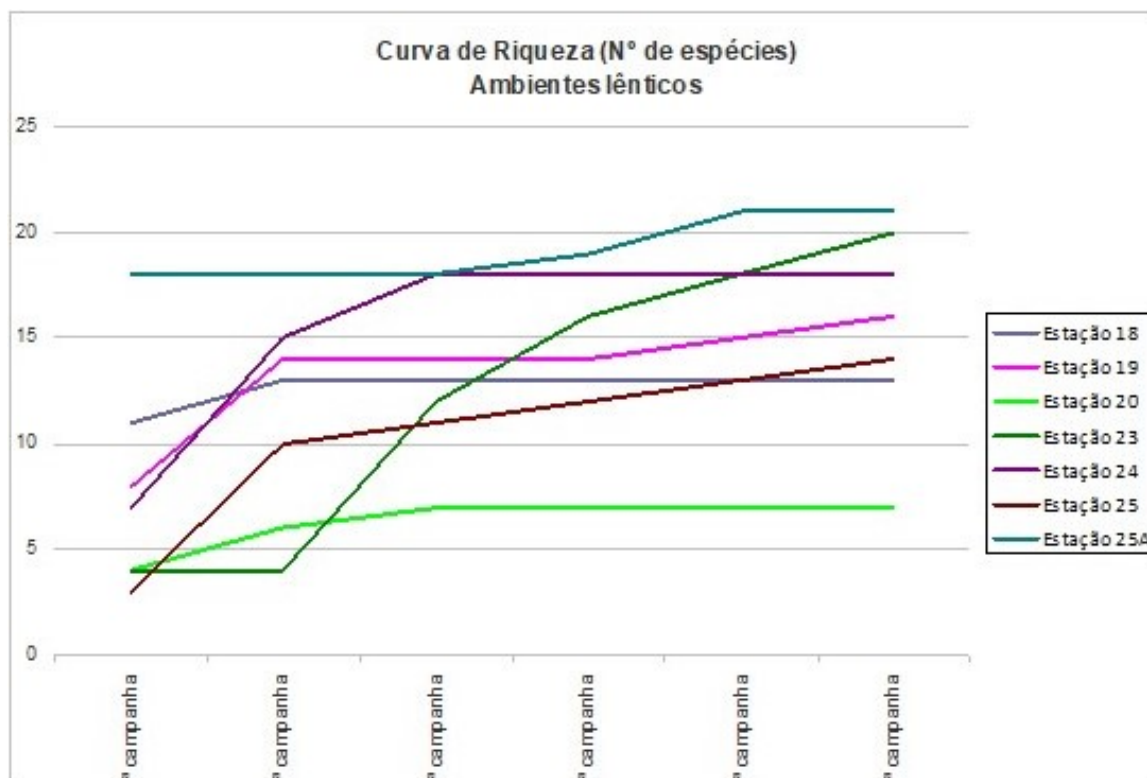
Fonte: Autoria própria.

Figura 98: Curva de riqueza para os ambientes lóticos ao longo das seis campanhas de coleta.



Fonte: Autoria própria.

Figura 99: Curva de riqueza para as os ambientes lênticos ao longo das seis campanhas de coleta.



Fonte: Autoria própria.

Dentre as estações de amostragem com ambientes lênticos, chama-se atenção para os dados de riqueza apresentados na Estação 20, o qual encontra-se na Lagoa Juparanã e é o menos rico em número de espécies (sete spp.) em relação aos demais sítios lênticos. Além disso, os táxons que ali ocorrem possuem ampla distribuição geográfica e, geralmente, são comumente observados em ambientes com alto grau de perturbação, a exemplo de *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms (Pontederiaceae) e *Salvinia auriculata* Aubl. (Salviniaceae).

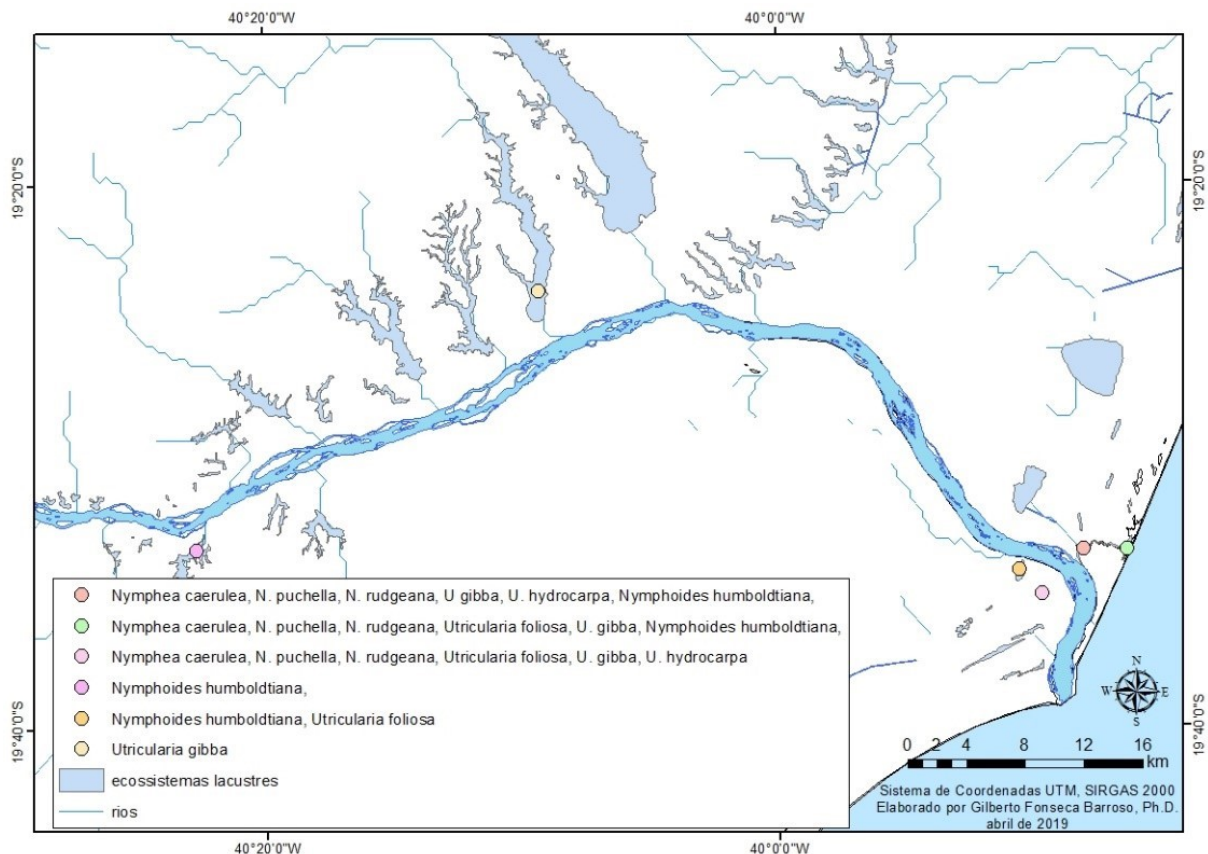
Dada a capacidade (ou incapacidade) de tolerância a perturbações antrópicas, alguns grupos de macrófitas podem ser utilizadas como bioindicadoras de qualidade ambiental. Informações de registro de espécies associados aos valores de abundância nas suas populações devem ser levados em consideração para determinação de ambiente com níveis toleráveis (água de boa qualidade) ou com elevadas taxas de macro e micromoléculas em suspensão na água (ambientes eutrofizados) (Pompeo 2008). Tal condição é favorecida pelas altas concentrações de compostos orgânicos (Fósforo e Nitrogênio) e de metais pesados (Cádmio, Chumbo, Cromo, Manganês, Zinco, Níquel e Ferro) (Shotyk & Le Rouxy 2005).

Pela sua grande afinidade pelo oxigênio, o ferro pode ser facilmente encontrado sob a sua forma oxidada em solução aquosa. Nos rios, o Fe pode ser encontrado na sua forma iônica ou precipitada quando ligado a íons de fosfato (PO_4^{3-}), de sulfeto (S^{2-}) ou ânions orgânicos (principalmente os provenientes dos ácidos húmicos e fúlvicos). O Fe ainda pode ficar aderido a partículas de argilas de carga negativa no leito dos rios (Shotyk & Le Rouxy 2005).

Apesar de grande importância do Fe na fisiologia dos vegetais por participar na transferência de elétrons nos citocromos, altos níveis de Fe podem causar danos celulares devido à oxidação do oxigênio e à formação de suas espécies reativas livres (Halliwell & Gutteridge 1986, Imlay et al. 1988).

Dentre as espécies encontradas neste levantamento, algumas são bastante citadas na literatura por apresentar elevadas taxas de crescimento e produção de biomassa em ambientes eutrofizados (Figura 100) e, portanto, podem indicar baixa qualidade da água onde suas populações são dominantes e com altos valores de frequência e abundância. Apesar de sua ocorrência natural em ambientes de boa qualidade, o tamanho das populações é, visualmente (dados de frequência e abundância não disponíveis nesse relatório), muito menor quando comparado aos locais com altos índices de matéria orgânica em suspensão. A ocorrência de algumas espécies de macrófitas aquáticas está relacionada ao processo de eutrofização da água, reduzindo o oxigênio dissolvido, formando gases e diminuindo o pH da água, o que leva a efeitos deletérios sobre as comunidades aquáticas (Pedralli 2003, Pompeo 2008).

Figura 100: Espécies com potencial bioindicador de áreas eutrofizadas.



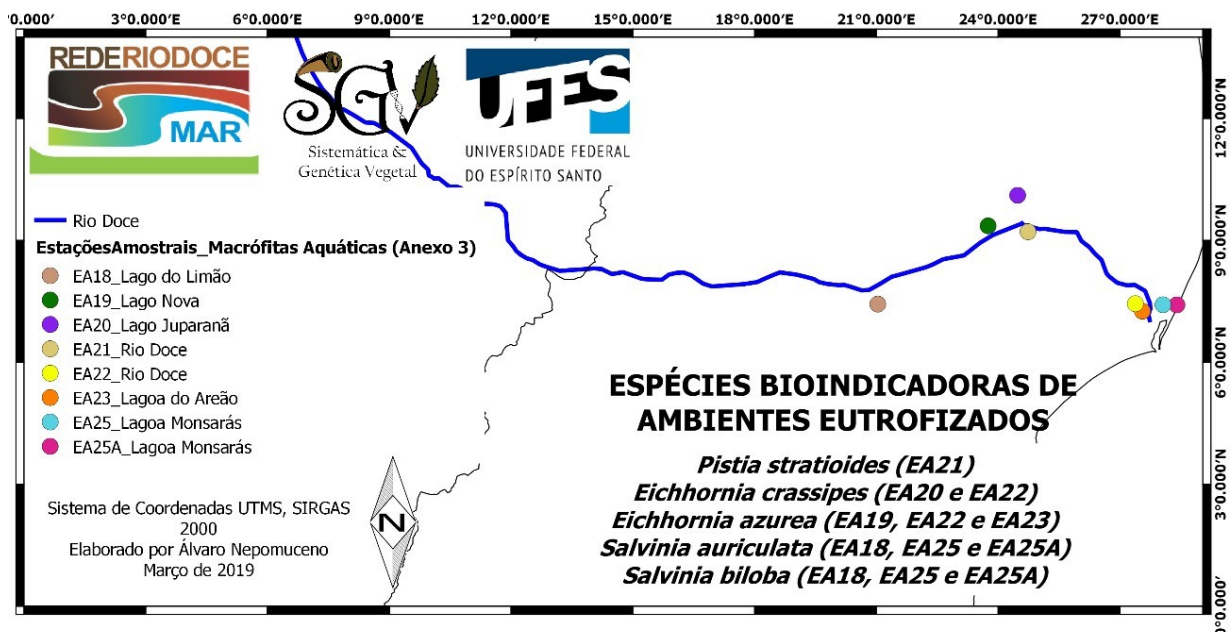
Fonte: Autoria própria.

Por outro lado, outros táxons servem de indicadores de boa qualidade da água e, até momento, foram registrados em áreas que não foram diretamente afetadas pela passagem dos rejeitos do rompimento da barragem.

Representantes das famílias Lentibulariaceae e Nymphaeaceae (três espécies, cada), tipicamente encontrados em locais com baixo grau de perturbação, foram registrados nas estações de amostragem que não estavam diretamente na rota de passagem da pluma de rejeitos (Figura 101). Além destas, outros táxons indicadores de boa qualidade de água, tais como: *Cabomba furcata* Schult. & Schult.f. (Cabombaceae), *Egeria densa* Planch. (Hydrocharitaceae) e *Limnocharis flava* (L.) Buchenau (Alismataceae); foram coletados nas mesmas condições e estações de amostragem (Figura 103), o que nos leva a concluir que as áreas ainda não apresentam perturbações significativas. Contudo, o registro por si só das espécies não é garantia de que não houve (não há) contaminação proveniente da pluma e essa informação só poderá ser avaliada com o monitoramento das populações dessas espécies por um período mínimo esperado de 3-5 anos (a depender das condições de pluviosidade e sazonalidade futuras).

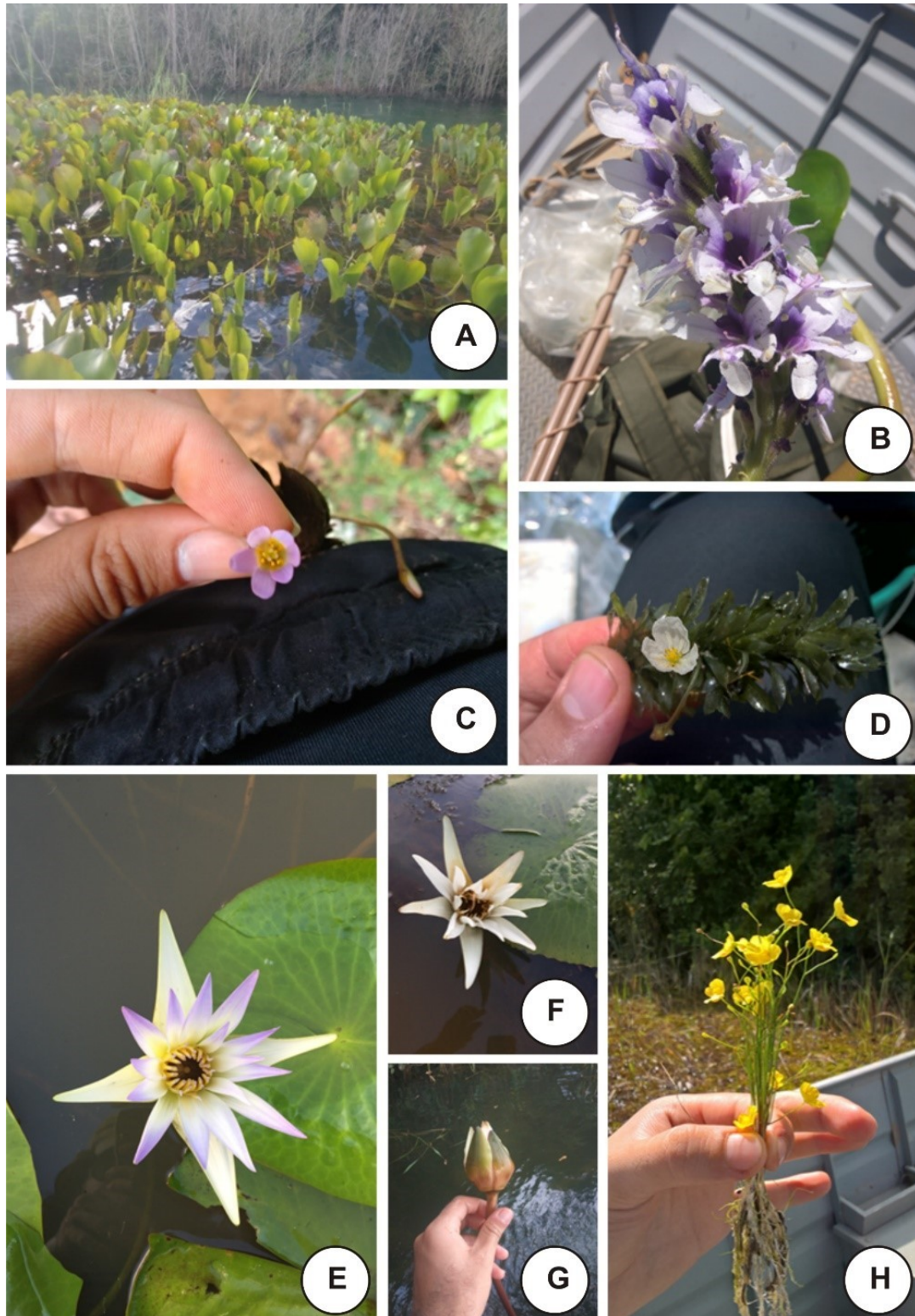
Diante dessas informações, ainda que parciais, faz-se necessário monitorar as populações das espécies registradas ao longo do tempo, principalmente nos ambientes lênticos, para que possamos ter dados suficientes e sermos capazes de apontar prováveis alterações na riqueza e composição de espécies de macrófitas aquáticas (Figura 102).

Figura 101: Espécies com potencial bioindicador de áreas com boa qualidade de água.



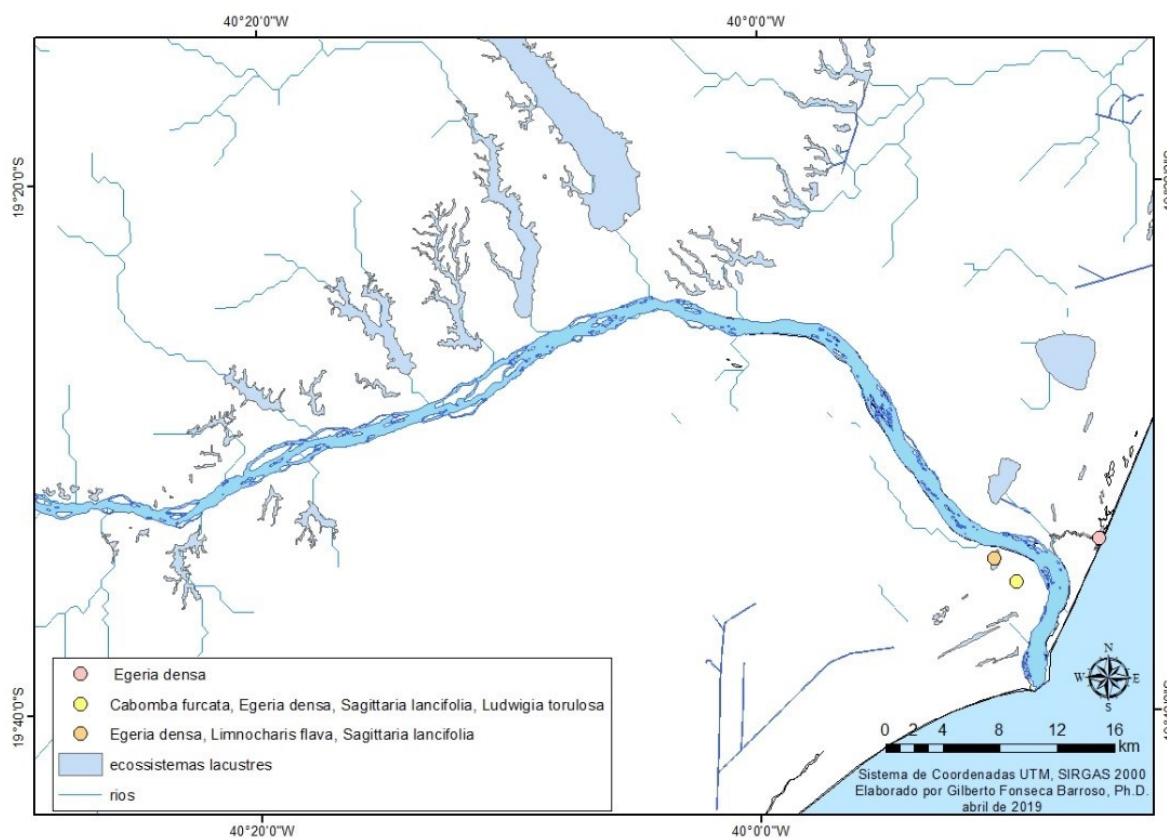
Fonte: Autoria própria.

Figura 102: Macrófitas aquáticas. A-B. *Eichornia azurea* (Sw.) Kunth (Pontederiaceae). C-D. *Egeria densa* Planch. (Hydrocharitaceae). E-G. *Nymphaea* spp. (Nymphaeaceae). E. *Nymphaea caerulea* Savigny. F. *Nymphaea pulchella* DC. G. *Nymphaea rudgeana* G.Mey. H. *Utricularia foliosa* L. (Lentibulariaceae)



Fonte: Autoria própria.

Figura 103: Espécies com potencial bioindicador de áreas com boa qualidade de água.



Fonte: Autoria própria.

9.3 CONCLUSÃO

Devido à ausência de dados pretéritos, não há observações pertinentes quanto à riqueza possivelmente perdida após o rompimento da barragem. No entanto, os resultados obtidos neste primeiro ano de atuação da RRDM na comunidade de macrófitas aquáticas podem servir de base para o acompanhamento das populações e testar os efeitos crônicos na mesma.

Os valores de riqueza detectados até o momento mostram tendências ao acréscimo de táxons, especialmente quando observadas as curvas de riqueza dos ambientes lênticos. Essas áreas, se monitoradas e bem analisadas do ponto de vista de composição e riqueza taxonômica, podem servir de repositórios naturais de espécies ambientalmente exigentes e que já não são encontradas nos ambientes que foram diretamente atingidos pela pluma de rejeitos.

Visto isso, a análise e o monitoramento da produtividade da biomassa de pelo menos duas espécies bioindicadoras em detrimento da qualidade ambiental ao longo de 3-5 anos são de crucial importância após este primeiro ano de execução do projeto. Os resultados provenientes dessas análises poderão evidenciar o restabelecimento (ou não) do equilíbrio natural da biota de macrófitas aquáticas nas estações de amostragem.

9.4 REFERÊNCIAS

- Araújo, E. S., Sabino, J. H. F., Cotarelli, V. M., Filho, J. A. S. & Campelo, M. J. A. (2012). Riqueza e diversidade de macrófitas aquáticas em mananciais da Caatinga. *Diálogos & Ciência* 32: 229-233.
- Ferreira, F. A., Mormul, R. P., Pedralli, G., Pott, V. J. & Pott, A. (2010). Estrutura da comunidade de macrófitas aquáticas em três lagoas do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. *Hoehnea* 37(1): 43-52.
- Halliwell, B. & Gutteridge, J. M. C. (1986). Iron and free radical reactions: two aspects of antioxidant protection. *Trends Biochemical Science* 11: 375.
- Imlay, J. A., Chin, S. M. & Linn, S. (1988). Toxic DNA damage by hydrogen peroxide through the Fenton reaction in vivo and in vitro. *Science* 240: 640-642.
- Kufner, D. C. L., Scremin-Dias, E. & Guglieri-Caporal, A. (2011). Composição florística e variação sazonal da biomassa de macrófitas aquáticas em lagoa de meandro do Pantanal. *Rodriguésia* 62(4): 803-812.
- Pedralli, G. (2003). Macrófitas aquáticas como bioindicadoras da qualidade da água: alternativa para usos múltiplos de reservatórios. In *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas* (S.M. Thomaz & L.M. Bini, eds.). Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- Pompeo, M. L. M. (2008). Monitoramento de Macrófitas Aquáticas. *Oecol. Bras.* 12(3): 406-424.
- Shotyk, W. & Le Rouxy, G. (2005) Biogeochemistry and cycling of lead. *Metal Ions Biological Systems* 43: 239-275.
- Souza, W. O., Pena, N. T. L., Garbin, M., L. & Alves-Araújo, A. (2017). Macrófitas aquáticas do Parque Estadual de Itaúnas, Espírito Santo, Brasil. *Rodriguésia* 68(5): 1907-1919.

10 SUBPROJETO: SUBSÍDIOS A COMPREENSÃO GLOBAL DAS RELAÇÕES DE CAUSA E EFEITO DO CONJUNTO DE AÇÕES REALIZADAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE SOBRE O APORTE DE FLUXO DE ÁGUA, SEDIMENTOS E NUTRIENTES NO SISTEMA ESTUARINO-MARINHO

10.1 OBJETIVO

Subsidiar a compreensão global das relações de causa e efeito do conjunto de ações realizadas na bacia hidrográfica do Rio Doce sobre o aporte de fluxos de água, sedimentos e nutrientes no ambiente estuarino-marinho.

10.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção será apresentado e analisado o conjunto de ações e intervenções identificado sobre o território delimitado pela bacia hidrográfica do rio Doce, particularmente a montante da seção de referência rio-estuário (em Linhares). Essas ações foram identificadas por meio de consulta à base de dados e informações disponíveis no site da Fundação Renova, das Prefeituras Municipais, do Instituto Mineiro das Águas (IGAM), da Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), da Agência Nacional das Águas (ANA), entre outras.

Também são apresentadas e discutidas metodologias disponíveis na literatura técnico-científica com potencial para subsidiar análises de relações causa-efeito, de forma mais integrada, entre intervenções antrópicas e/ou naturais que ocorrem sobre o território da bacia e variações de fluxos de água, sedimento e nutrientes na seção de referência. As metodologias foram identificadas por meio de revisão e análise de literatura técnica-científica na temática de “avaliação integrada de impactos”.

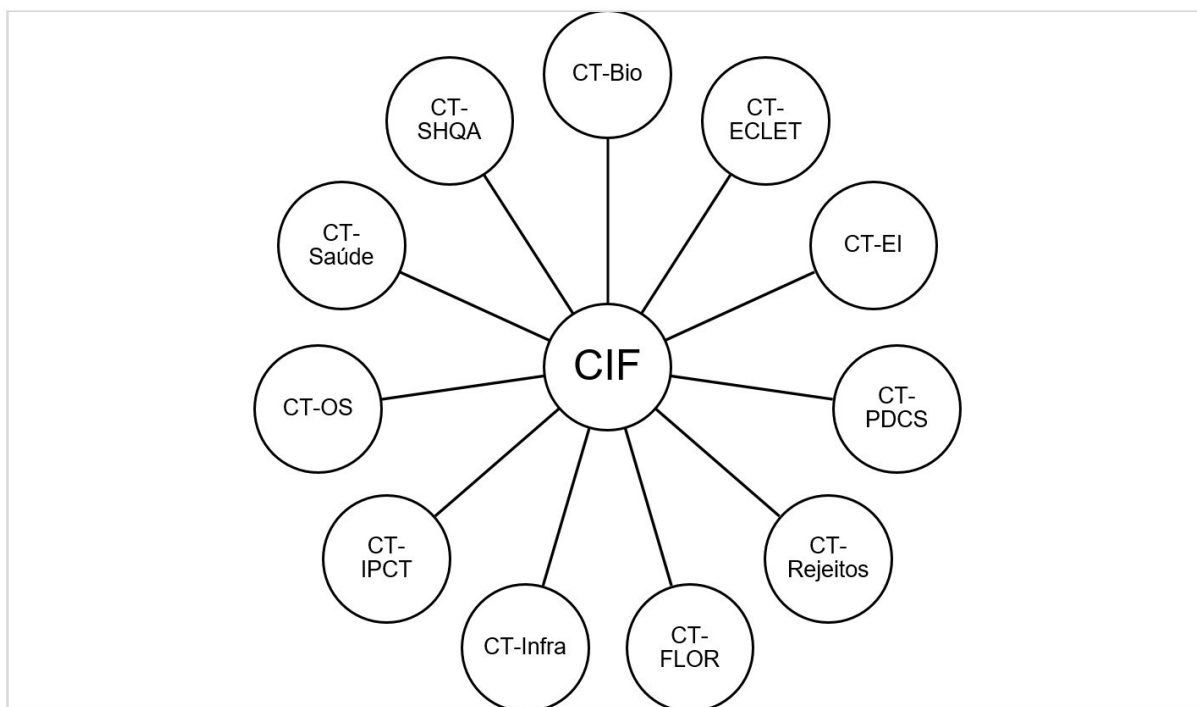
Os resultados que serão apresentados a seguir foram obtidos de modo a oferecer subsídios a avaliações que serão realizadas pelos subprojetos a) caracterização hidrológica global para compreensão do aporte de água doce no ambiente estuarino-marinho do Rio Doce; b) monitoramento de vazões e descargas sólidas no estuário do Rio Doce; e c) determinação dos fluxos de água, nutrientes e metais do sistema fluvial para o sistema estuarino-marinho. Buscou-se no âmbito da construção verificar, entre os subprojetos: quais informações seriam úteis para as análises dos fluxos, o nível de detalhamento dessas informações, a complementação de tarefas, entre outros.

10.2.1 Intervenções antrópicas com potencial para afetar os fluxos de água, sedimentos e nutrientes no sistema estuarino-marinho

Em função dos danos socioeconômicos e socioambientais causados em decorrência do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana (MG), a Fundação Renova – entidade responsável pela reparação desses danos – tem implementado uma série de ações nas áreas direta e indiretamente impactadas. Essas ações foram agrupadas em 42 programas que se desdobram numa gama de projetos.

A instância responsável por orientar, acompanhar, monitorar e fiscalizar essas ações é o Comitê Interfederativo (CIF). Para desempenhar sua função, o CIF conta com apoio de 11 Câmaras Técnicas (CT) que o assessoram com pareceres técnicos, abrangendo os programas socioeconômicos e socioambientais geridos pela Renova. Na Figura 104 é apresentado o organograma das CTs do CIF.

Figura 104: Câmaras técnicas do Comitê Interfederativo.



Fonte: Autoria própria.

No Quadro 31 são apresentados os programas que cada uma das CTs acompanha.

Quadro 31: Programas acompanhados por cada CT.

Câmara Técnica	Programas
Câmara Técnica de Conservação e Biodiversidade (CT-Bio)	Conservação da Biodiversidade Aquática: monitoramento de tartarugas marinhas, ictiofauna e insetos aquáticos. Fortalecimento dos Centros de Triagem de Animais Silvestres (CETAS) do Ibama. Conservação da Fauna e da Flora Terrestres: avaliação ecológica rápida e elaboração de plano de ação para conservação da biodiversidade. Consolidação de Unidades de Conservação: realização de oficinas de diagnóstico e obtenção de anuência para UCs continentais, costeiras e marinhas.
Câmara Técnica de Participação, Diálogo e Controle Social (CT-PDCS)	Comunicação, participação, diálogo e controle social. Informação para a população da ÁREA AMBIENTAL 1. Comunicação nacional e internacional.
Câmara Técnica de Educação, Cultura, Lazer, Esporte e Turismo (CT-ECLET)	Recuperação de Escolas e Reintegração da Comunidade Escolar. Educação Ambiental. Preservação da Memória Histórica, Artística e Cultural. Programa de Apoio ao Turismo, Cultura, Esporte e Lazer.

Câmara Técnica	Programas
Câmara Técnica de Economia e Inovação (CTEI)	Criação de Fundos de Desenvolvimento para o Programa de Diversificação e Recuperação da Economia Regional, com apoio do Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais (BDMG) e do Banco de Desenvolvimento do Espírito Santo (BANDES). Estímulo à Contratação Local pela Fundação Renova.
Câmara Técnica de Gestão de Rejeitos e Segurança Ambiental (CT-Rejeitos)	Programas de manejo dos rejeitos despejados pela barragem de Fundão, de construção de sistemas de contenção, de preparação para emergências ambientais e de recuperação e retomada das atividades do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Risoleta Neves (Candongá). Programa de implantação de sistemas de contenção dos rejeitos e de tratamento dos rios impactados.
Câmara Técnica de Restauração Florestal e Produção de Água (CT-Flor)	Acompanha os programas de recuperação da área ambiental afetada, Ações de cadastramento dos proprietários atingidos no Cadastro Ambiental Rural (CAR) e estímulo à regularização das propriedades.
Câmara Técnica de Reconstrução e Recuperação de Infraestrutura (CT-Infra)	Programa de reconstrução, recuperação e realocação de Bento Rodrigues, Paracatu de Baixo e Gesteira. Programa de recuperação do Reservatório da UHE Risoleta Neves (Candongá). Programa de Recuperação das demais Comunidades e Infraestruturas impactadas entre Fundão e Candonga, inclusive Barra Longa.
Câmara Técnica Indígena e Povos e Comunidades Tradicionais (CT-IPCT)	Programa de proteção e recuperação da qualidade de vida dos povos indígenas. Programa de proteção e recuperação da qualidade de vida de outros povos e comunidades tradicionais.
Câmara Técnica de Organização Social e Auxílio Emergencial (CT-OS)	Programa de levantamento e cadastro dos impactados. Programa de ressarcimento e indenização dos impactados. Programa de auxílio financeiro emergencial aos impactados. Programa de proteção social. Programa de assistência aos animais.
Câmara Técnica de Saúde (CT-Saúde)	Programa de Apoio à Saúde Física e Mental da População Impactada.
Câmara Técnica de Segurança Hídrica e Qualidade da Água (CT-SHQA)	Programa de coleta e tratamento de esgoto e de destinação de resíduos sólidos. Programa de melhoria dos sistemas de abastecimento de água. Programa de investigação e monitoramento da qualidade da água superficial da Bacia do Rio Doce, áreas estuarinas e costeira impactada.

Fonte: adaptado de Fundação Renova (2019).

Dentre as CTs existentes, verificou-se que as de maior relação com as temáticas “biodiversidade” e “alteração de quantidade e qualidade de água” são as câmaras CT-Bio, CT-Flor, CT-Rejeitos e CT-SHQA. Avaliando o conjunto de programas e projetos associados a elas, identificou-se um conjunto de ações com potencial para influenciar variações em fluxos de água, sedimento e nutrientes na calha principal do rio Doce.

De modo geral, as ações identificadas possuem caráter estrutural e não estrutural. Dentre as de caráter estrutural foram observadas ações relacionadas à recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APPs); ao reflorestamento, de forma mais abrangente; ao saneamento básico; à prevenção e controle de produção e/ou aporte de sedimentos; ao manejo de rejeitos; e outras que não se encaixam nessas categorias. Por outro lado, as ações de caráter não estrutural identificadas são ações de gestão relacionadas à elaboração de termos de referência, estudos e monitoramentos ambientais, planos de ação, capacitações, articulações institucionais e firmamento de parcerias, entre outras.

É necessário ressaltar que antes do rompimento da barragem de Fundão, as principais intervenções antrópicas que geravam pressão sobre a quantidade e qualidade eram as provenientes da alteração de uso e ocupação do solo, da deficiência do saneamento básico e dos usos da água demandados na bacia. Após o rompimento da barragem de Fundão, novas ações surgiram sobre o território delimitado pela bacia do rio Doce a fim de reparação e compensação de danos socioeconômicos e socioambientais.

No Quadro 32 são apresentadas as ações relacionadas à recuperação de APPs e reflorestamento na bacia do rio Doce.

Quadro 32: Ações relacionadas à recuperação de APPs e reflorestamento na bacia hidrográfica do rio Doce.

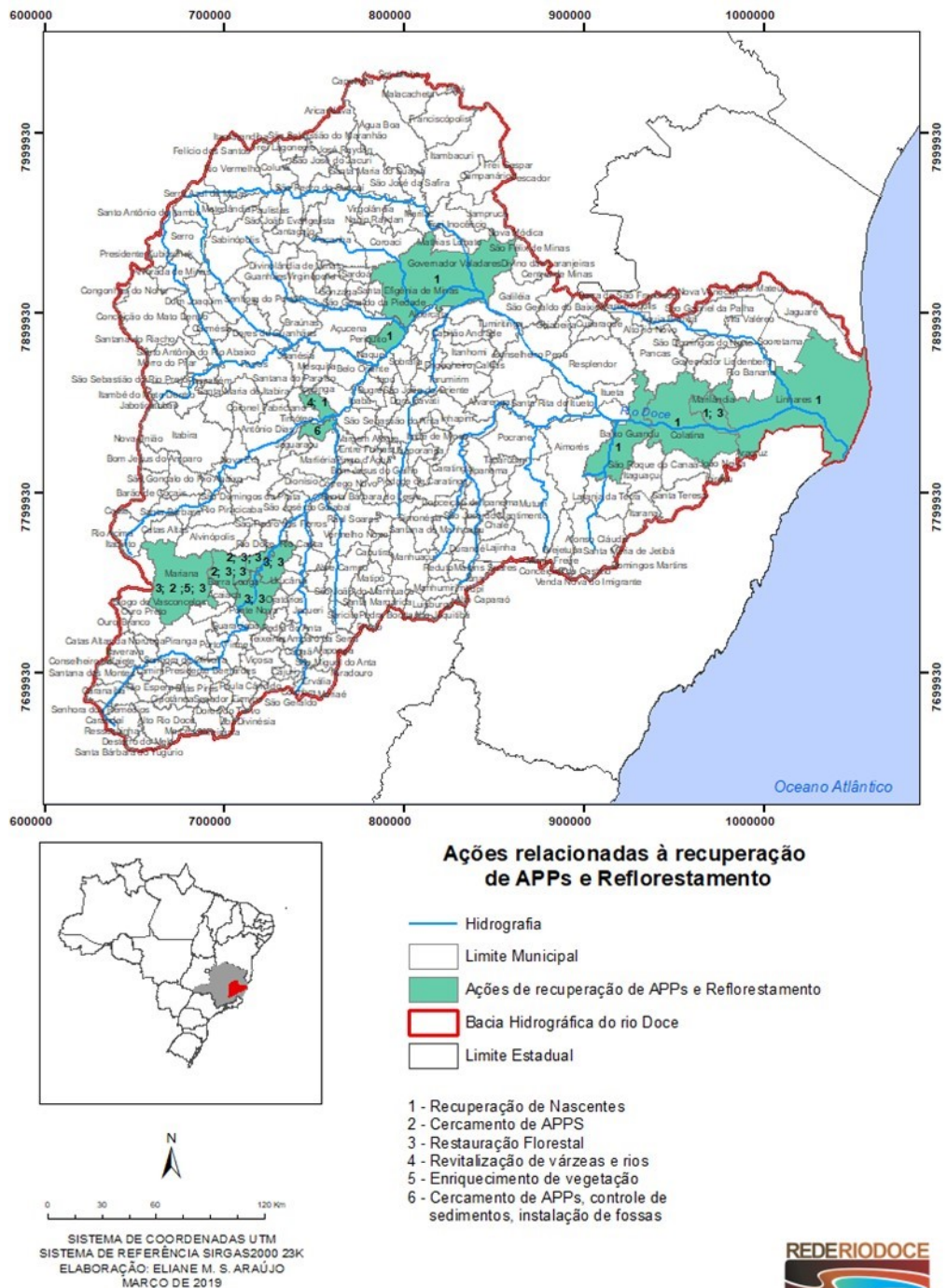
Ação	Município	Fonte da informação
Início do cercamento de APPs para a restauração florestal	Barra Longa, Rio Doce	Renova
Iniciou-se o processo de restauração florestal com visitas a campo e amostragem de solos	Barra Longa, Ponte Nova, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado, Mariana	Renova
Recuperação de nascentes	Colatina, Marilândia, Linhares	Renova
	Governador Valadares, Periquito, Ipatinga, Baixo Guandu	Prefeitura
Revitalização das Margens de Rios	Ipatinga	Prefeitura
Atividade de cercamento de áreas de preservação permanente	Mariana	Renova
Enriquecimento da vegetação nas planícies de inundação com espécies nativas		
Reflorestamento e Preservação de áreas	Marilândia	SEAMA/ Reflorestar
Cercamento de APPs e nascentes, controle de sedimentos e instalação de fossas sépticas em propriedades da zona rural.	Timóteo	Prefeitura
Iniciou-se o processo de restauração florestal com visitas a campo e amostragem de solos	Barra Longa, Ponte Nova, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado, Mariana	Renova

Fonte: adaptado de Fundação Renova (2019).

Nota-se que a maioria das ações se referem a atividades voltadas para recuperação de nascentes. Sabe-se que as nascentes, em particular, são importantes para a dinâmica hidrológica uma vez que são focos de passagem da água subterrânea para a superfície e pela formação de canais fluviais. Em relação as ações de recuperação de APPs e de reflorestamento, de forma mais ampla, destaca-se sua importância para a manutenção do equilíbrio ambiental (PIRES et al., 2009; TUCCI; MENDES, 2006). Alguns autores (PINHEIRO, 2011; ATTANASIO et al., 2012) também destacam o papel das APPs na promoção de serviços ecossistêmicos como controle de aporte de sedimentos, rejeitos e espécies químicas resultantes de processos erosivos, na estabilidade de margens de rios e infiltração de água no solo. A promoção ou não desses serviços ecossistêmicos tem potencial para afetar na variação dos fluxos de água, sedimento e nutrientes na bacia.

É possível observar na Figura 105, que as atividades de reflorestamento estão concentradas na porção mais a montante da bacia do rio Doce, entre os municípios de Mariana e Rio Doce. Segundo o Plano de Manejo de Rejeitos (CH2M, 2017), nessa região houve grande volume de depósito de rejeito em calhas e planícies aluvionares e maior erosão das margens das calhas dos rios onde a onda de rejeitos passou. Por outro lado, na porção capixaba da bacia, ações voltadas à recuperação de nascentes são mais evidentes.

Figura 105: Ações Relacionadas à Recuperação de APPs e Reflorestamento



Fonte: Autoria própria.

Em relação ao saneamento básico, a Fundação Renova vem disponibilizando recursos financeiros aos municípios banhados pelo Rio Doce e por trechos impactados dos rios Gualaxo do Norte e Carmo a fim de elaboração de planos municipais de saneamento, execução de projetos e obras de sistemas de tratamento de esgoto, implantação de aterros sanitários regionais, entre outras.

No Quadro 33 são apresentadas as ações relacionadas ao saneamento básico na bacia hidrográfica rio Doce, focadas no eixo de coleta e tratamento de esgoto. Esse foco é justificável, uma vez que ações dessa natureza têm potencial para acarretar variações significativas na qualidade das águas e na biodiversidade aquática. Outras ações relacionadas ao tratamento de água, gerenciamento de resíduos sólidos e drenagem urbana também foram identificadas.

Quadro 33: Ações relacionadas ao saneamento básico na bacia hidrográfica do rio Doce.

Ação	Município	Fonte da Informação
Obras de Saneamento Básico	Alpercata	Renova
Tratamento de Esgoto Doméstico	Baixo Guandu	Renova
Monitoramento e Prestação de Assistência Técnica a ETAs		
Canalização de Córregos	Bom Jesus do Galho	Prefeitura
Elaboração de Plano de Saneamento Básico	Córrego Novo	Prefeitura
Obras no Sistema de Captação e Tratamento de água	Galiléia	Renova
Construção de ETA		
Implantação de uma Unidade de Tratamento de Resíduos		
Interligação de poços		
Implantação de Adutora de água	Governador Valadares	Renova
Ampliação da ETA Central		Prefeitura
Construção de ETE	Ipaba	Prefeitura
Recuperação de redes pluviais	Ipatinga	Prefeitura
Construção de aterro sanitário Regional		Renova
Monitoramento e Prestação de Assistência Técnica a ETAs	Linhares	Renova
Implantação de Estação de Tratamento Natural nos trechos 6 e 7	Mariana	Renova
Proposta de intervenção: sistema de tratamento de esgoto e, em específico para a UGRH 2 – Piracicaba, sistema de tratamento de água	Mariana, São Domingos do Prata, Marliéria, Timóteo, Ipatinga, Santana do Paraíso	PIRH-Doce
Implantação de novas redes de esgotamento sanitário	Periquito	Prefeitura
Implantação de fossas sépticas na comunidade de Córrego de Ubá de Baixo	Raul Soares	Prefeitura
Obras de interligação dos poços de captação de água subterrânea	Resplendor	Renova
Implantação de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) no distrito de Santana do Deserto	Rio Doce	Prefeitura
Coleta seletiva nas escolas da rede pública municipal e estadual de Rio Doce		
Projetos e obras de coleta e tratamento de esgotos domésticos dos núcleos populacionais de toda a bacia	Sem Referência	PIRH-Doce

Fonte: Autoria própria.

Em relação ao eixo de esgotamento sanitário, foram identificadas ações pontuais com objetivo de construção de novas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) ou ampliação da cobertura de redes coletoras (ver Quadro 33). A maioria delas localizadas na porção mineira da bacia do rio Doce. No entanto, sabe-se (IGAM, 2010) que muitos dos municípios inseridos na bacia hidrográfica não possuem infraestrutura adequada de coleta e tratamento de esgoto. Esta ainda é uma realidade do Brasil. Dados do Instituto Trata Brasil (2019), mostram que o índice de cobertura de coleta de esgoto no país é cerca de 52%, onde apenas 46% do esgoto produzido é tratado.

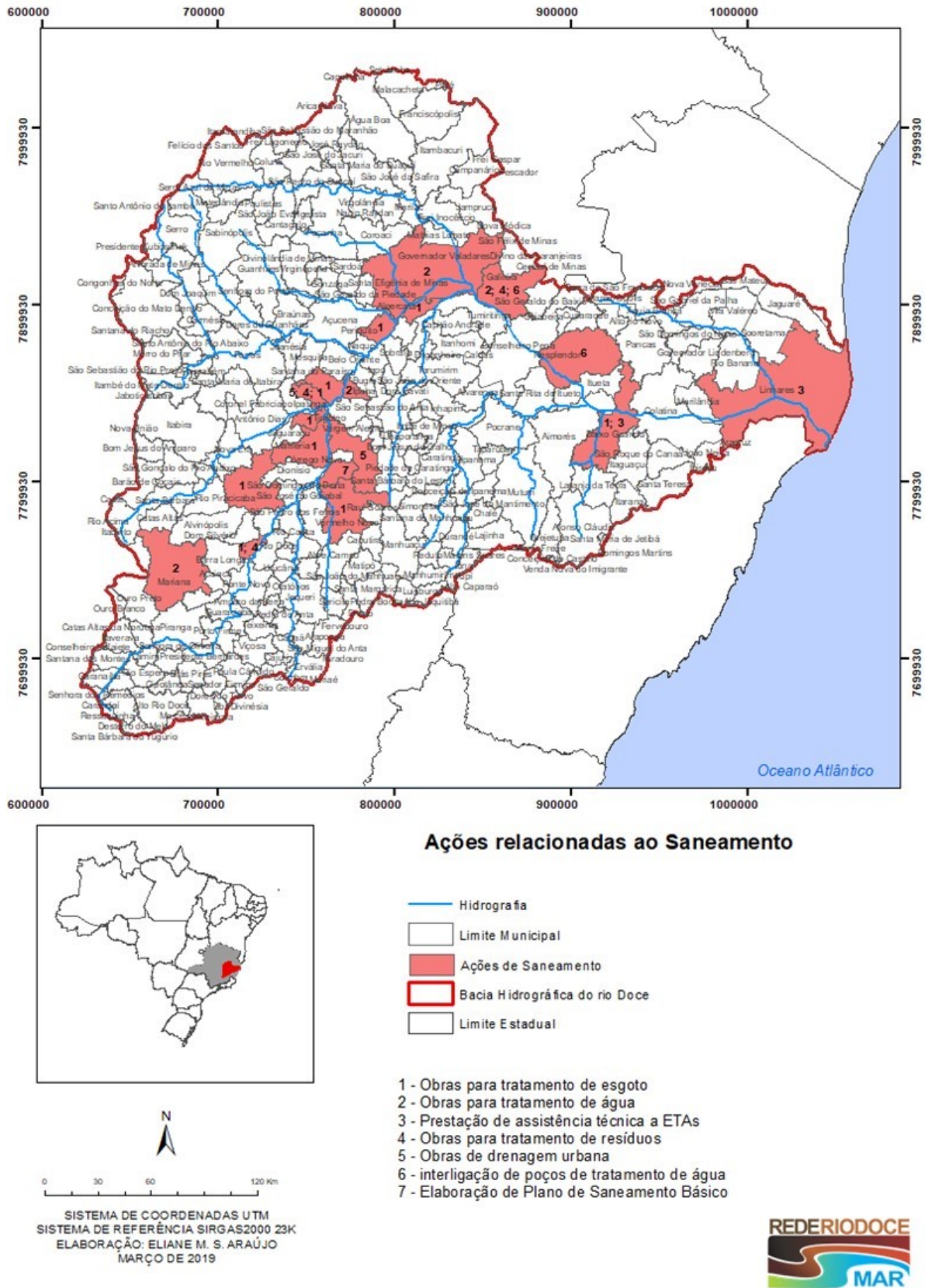
A existência ou inexistência de ações relacionadas à coleta e tratamento de esgoto contribuem para o aporte de matéria orgânica e nutrientes aos corpos hídricos, influenciando a variação do fluxo de matéria orgânica e nutrientes na bacia hidrográfica do rio Doce. Segundo Von Sperling (2007), após a entrada da fonte de poluição, o equilíbrio entre as comunidades aquáticas é afetado, resultando em uma desordenação inicial, que com o tempo tende a se reorganizar. O autor ressalta que, geralmente, nas regiões próximas aos pontos de lançamento de esgoto verifica-se alta concentração de matéria orgânica e de compostos orgânicos nitrogenados complexos, baixos níveis de oxigênio dissolvido e uma sensível diminuição do número de espécies de seres vivos (fauna e flora).

Segundo Chão (2006), o lançamento de efluentes também aumenta a concentração de fósforo na coluna d'água, propiciando a eutrofização de corpos hídricos. Dentre os impactos decorrentes da eutrofização dos corpos hídricos, Mota (2000) destaca: redução da transparência da coluna d'água, proliferação de grupos de algas que liberam toxinas; mortandade de peixes devido à depleção de oxigênio dissolvido e/ou presença de toxinas na água.

Destaca-se que antes do rompimento da barragem de rejeitos, a bacia hidrográfica do rio Doce tinha carência de infraestrutura adequada de coleta e tratamento de esgoto. Nota-se no Quadro 33 que no PIRH-Doce foram previstas ações dessa natureza para núcleos populacionais de toda bacia, urbano ou rural. Todavia, ainda não se sabe o estágio de implementação de cada uma delas.

A Figura 106 espacializa, na escala municipal, as ações identificadas. É possível observar que as ações relacionadas à coleta e tratamento de esgoto estão mais concentradas na porção mineira da bacia do rio Doce.

Figura 106: Ações relacionadas ao saneamento.



Fonte: Autoria própria.

No Quadro 34 são apresentadas as ações relacionadas ao manejo de rejeitos na bacia hidrográfica rio Doce. Nota-se que as ações estão agrupadas por município e por trechos¹. O levantamento dessas ações é fundamental para subsidiar avaliações e análises da variação de fluxos de sedimento, nutrientes e elementos traço na seção transversal de referência. Isso porque a maioria dessas ações exerce algum tipo de efeito sobre a qualidade de água (turbidez, cor, sólidos em suspensão, oxigênio dissolvido, teor de metais, entre outros).

Quadro 34: Ações relacionadas ao manejo de rejeito na bacia hidrográfica do rio Doce.

Ação	Município	Trecho	Fonte da Informação
Obras de controle de erosão	Mariana	Trecho 1 a 4	Renova
Condução de regeneração natural			
Execução da barragem EIXO 1			
Estruturas de contenção de sedimentos	Mariana	Trechos 1 a 8	Renova
Construção de dique de contenção de finos			
Retaludamento da ombreira direita do dique intermediário			
Manutenção e controle de erosão e bioengenharia	Mariana	Trecho 6, 7 e 8	Renova
Recuperação ambiental de lagoas Marginais			
Remoção emergencial de rejeitos	Barra Longa	Barra Longa e em fazendas de Gesteira. Trecho 9 e 10	Renova
Plantio de gramíneas para conter o rejeito nas margens dos rios	Barra Longa	Trecho 9 e 10	Renova
Retaludamento, enrocamentos e revegetação das áreas prioritárias	Barra Longa	Pedras, Paracatu de Cima, Campinas Barreto, Ponte do Gama, PCH Bicas, Rio Carmo em Barra Longa e Barra Longa. Trechos 9 e 10	Renova
Início da retirada de rochas às margens do rio	Barra Longa	Rio do Carmo. Trecho 10	Renova
Obras na fazenda Floresta	Rio Doce	Próximo à comunidade de Santana, Trecho 12	Prefeitura
Recuperação de vias urbanas e rurais	Rio Doce	Trecho 12	Prefeitura
Nova dragagem do rejeito UHE Risoleta Neves	Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado	Trecho 12	Renova
Ações de dragagem			
Construção de passagem molhada			
Recomposição de jusante do barramento C			
Drenagem do setor 8			
Colchão reno e enrocamento das ombreiras			

¹ Esses trechos foram criados no âmbito do plano de manejo de rejeitos (CH2M, 2017), considerando a forma como houve deposição e o tipo de deposição de materiais, as características dos cursos d'água e seu relevo, além da abrangência espacial das áreas afetadas. Ao todo foram criados 17 trechos.

Ação	Município	Trecho	Fonte da Informação
Plano de Manejo de Rejeitos	Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado	Trecho 12 (UHE Risoleta Neves)	Renova
Reconformação das calhas dos rios principais e controle de erosão	Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado	Trechos 1 a 12	Renova
Implantação de sistemas de drenagem superficial e de revegetação por plantio	Mariana, Barra Longa, Rio Doce	Córrego Santarém, rio Gualaxo do Norte e rio do Carmo. Trechos 1 a 12	Renova
Recuperação de terrenos expostos	Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado	Trechos 1 a 12	Renova
Dragagem	Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado	Trechos 4, 6, 8, 9, 10, 11 e 12	Renova
Construção de barraginhas	Ipatinga	Trecho 13	Prefeitura
Desassoreamento de córrego	Timóteo	Bairro Santa Rita, córrego do Santa Rita. Trecho 13	Prefeitura
Limpeza e desassoreamento de córrego	Ponte Nova	Córrego Passa Cinco. Trecho 13	Prefeitura
Dragagem de rio	Baixo Guandu	Rio Mutum (Km 14). Trecho 14	Prefeitura
Construção de barragem	Baixo Guandu, Marilândia	Guandu: Vila Nova do Bananal, Córrego Pinta Fogo e Córrego Bonfim. Marilândia: Rio Liberdade. Trecho 14	SEAG
Operação para limpeza de reservatório	Itueta	Remanso do reservatório de UHE de Aimorés. Trecho 14	Renova
Limpeza e desassoreamento de córregos e canais	Governador Valadares	Córrego Figueirinha. Trecho 14	Prefeitura
Construção de barragens	Governador Valadares	Distritos de Nova Floresta, Córrego de Melquíades, Penha do Cassiano, São Vítor, Itapinoã, Baguari. Trecho 14	Prefeitura
Escavação hidráulica	Barra Longa, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado, Fernandes Tourinho, Ipatinga, Naque, Periquito, São José do Goiabal, Tumiritinga, Itueta, Galileia, Governador Valadares, Conselheiro Pena, Baixo Guandu	Trechos 10, 11, 12 e 14	Renova
Planos de manejo de lagoas	Linhares	Lagoas Juparanã, Nova, Monsarás, Areal e Pandolfi. Trechos 15 e 16	Renova
Alargamento do canal lateral extravasor para reduzir alagamento	Linhares	Lagoa Juparanã Trechos 15 e 16	Renova
Construção de barragens	Linhares	Trechos 15 e 16	Prefeitura

Ação	Município	Trecho	Fonte da Informação
Abertura de canais para escoamento de água excedente	Linhares	Lagoa Juparanã, Rio Pequeno. Trechos 15 e 16	Renova
Retirada manual de rejeitos	Mariana, Barra Longa, Fernandes Tourinho, Ipaba, Ipatinga, Naque, Periquito, São José do Goiabal, Tumiritinga, Itueta, Galileia, Governador Valadares, Conselheiro Pena, Baixo Guandu, Aimorés, Colatina, Marilândia, Linhares	Trechos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16	Renova
Escavação mecanizada	Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado, Fernandes Tourinho, Ipaba, Ipatinga, Naque, Periquito, São José do Goiabal, Tumiritinga, Itueta, Galileia, Governador Valadares, Conselheiro Pena, Baixo Guandu, Aimorés, Colatina, Marilândia, Linhares	Trechos 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	Renova
Mudança de alinhamento de tributários	-	Todos os trechos	Renova

Fonte: Autoria própria.

No Quadro 34, verifica-se que as ações identificadas nos trechos 1 a 8, em Mariana, referem-se basicamente a ações estruturais voltadas à construção de estruturas de contenção de rejeitos e obras de manutenção e controle de processos erosivos. Segundo CH2M (2017), em função da proximidade com o local da barragem e Fundão, nesses trechos houve grande volume de rejeitos depositado em calhas e planícies de terraços aluvionares dos rios Gualaxo e Carmo.

Nos trechos 9 e 10, no município de Barra Longa, também houve grande volume de rejeitos depositado em calhas e planícies dos rios Gualaxo e Carmo. Logo após o desastre foram realizadas ações emergenciais (ver Quadro 34), como remoção emergencial de rejeitos e revegetação das margens dos rios por gramíneas, para controle do aporte de rejeitos aos cursos d'água. Atualmente, as ações identificadas referem-se à revegetação de áreas consideradas prioritárias, enrocamento e retaludamento. No trecho 10, iniciou-se a retirada de parte das rochas dispostas às margens do rio do Carmo.

O trecho 12 está localizado nos municípios de Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado. Nesse trecho fica localizada a UHE Risoleta Neves. Observou-se que entre os meses de outubro e novembro de 2018

foi realizada uma série de ações estruturais relacionadas à Usina, como construção de passagem molhada; recomposição de jusante do barramento C; Drenagem do setor 8; implantação de cochão reno e enrocamento das ombreiras; e não estruturais, como a elaboração do plano de manejo de rejeito desse trecho.

Ao longo dos trechos, especialmente até o trecho 12, ainda estão sendo realizadas ações pontuais de dragagem, escavação mecanizada e hidráulica. No que tange ao reservatório da UHE Risoleta Neves – onde grande parte do rejeito ficou depositado –, estão previstas para o ano de 2019 novas ações de dragagem. Salienta-se que no ato da realização da dragagem pode haver remobilização dos rejeitos depositados, afetando a qualidade da água a jusante mesmo que temporariamente. A atividade de dragagem também pode afetar as comunidades bentônicas. Parte dos rejeitos que serão retirados desse reservatório serão dispostos na Fazenda Floresta (a 3 km de Candonga). Para isso, a fazenda passa por uma série de intervenções para receber parte dos rejeitos, com previsão de término em 2020.

Os trechos 13 e 14 abrangem o território de vários municípios e estão localizados após o barramento da UHE Risoleta Neves. Desta forma, o depósito de rejeitos foi quase que exclusivamente no leito normal do rio Doce. Foram identificadas ações relacionadas a desassoreamento em Timóteo (Córrego Santa Rita), Ponte Nova (Córrego Passa Cinco), Baixo Guandu (rio Mutum), Governador Valadares (Córrego Figueirinha) realizadas no final de 2018. Nesses trechos ainda são identificadas ações pontuais de retirada manual de rejeitos. A retirada manual de rejeitos pode expor o solo, temporariamente, a processos erosivos e produzir aportes de sedimentos aos cursos d'água. Outra ação identificada diz respeito à remoção de sedimentos do reservatório da hidrelétrica Aimorés (ES/MG), durante o período chuvoso, prevista para o ano de 2019.

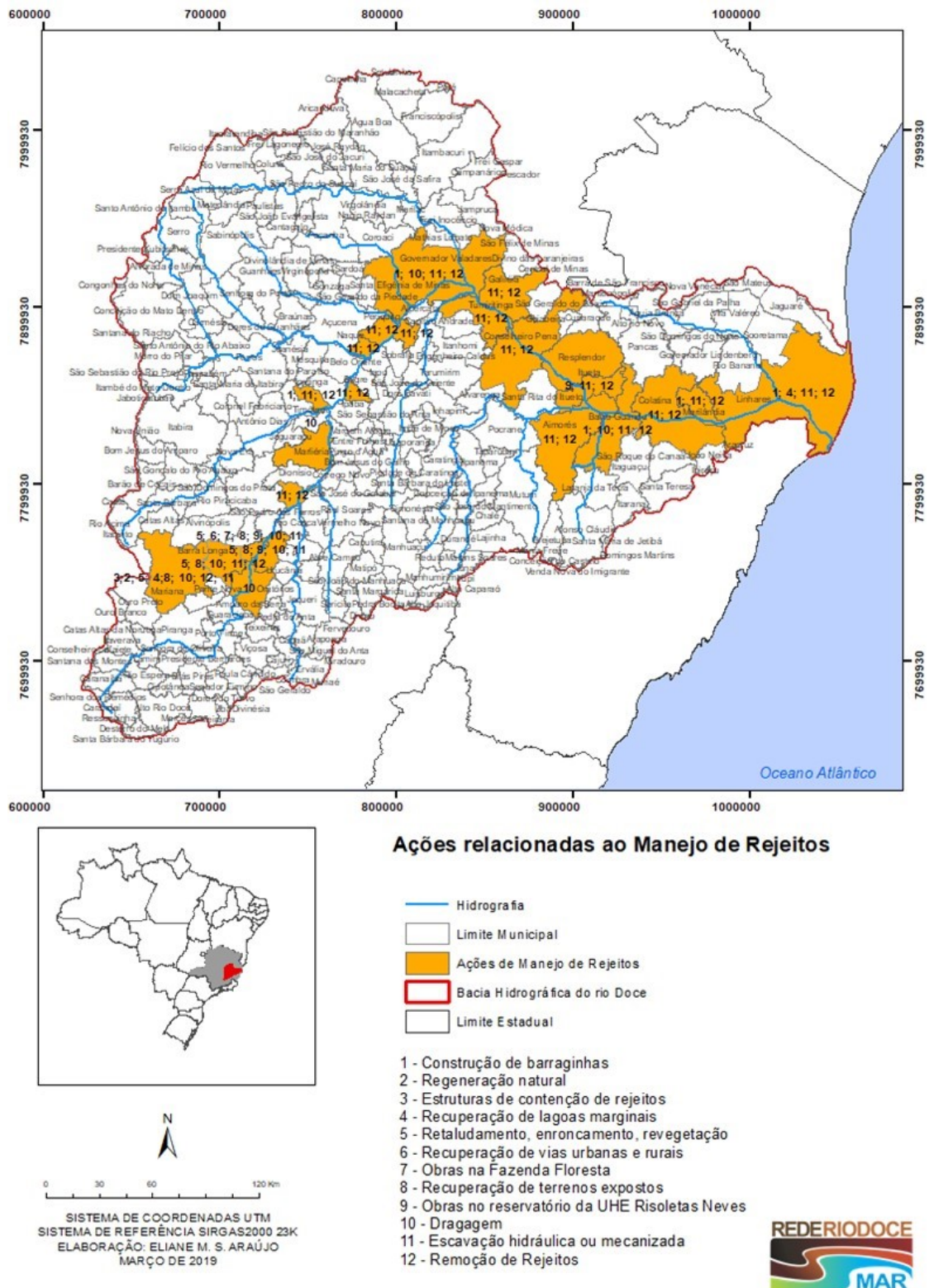
Os trechos 15 e 16, localizados no estado do Espírito Santo, são caracterizados pela maior largura do rio Doce (menores velocidades) e presença de leito arenoso. Nesses trechos também foram atingidas as lagoas Pandolfi, Areal Nova e Monsarás (CH2M, 2017). No município de Linhares, em 2018, foram realizadas ações de construção de barragens, abertura de canais para escoamento de água excedente (Lagoa Juparanã e Rio Pequeno, em abril), elaborado um plano de manejo das lagoas afetadas, e realização de obras para alargamento do canal lateral extravasor da lagoa Juparanã, para reduzir alagamentos. Nesses trechos ainda são encontradas ações pontuais de retirada manual de rejeitos.

No Plano de Manejo de Rejeitos (CH2M, 2017), a escavação mecânica foi citada como alternativa ao manejo de rejeitos nos trechos impactados. O mesmo ressalta que nas regiões onde esse tipo de manejo for adotado, poderá haver remobilização dos rejeitos depositados na calha fluvial, com consequente aumento de concentração de sólidos suspensos na coluna d'água. Nas regiões onde houve depósitos de rejeitos, Roseboom et al. (1983) destaca que os sedimentos mais finos podem cobrir o cascalho de fundo, onde muitos organismos encontram alimento e se reproduzem.

Na Figura 107 é possível observar alta concentração e diversidade de ações nos trechos iniciais do caminho do rejeito. Destaca-se que ao longo de grande parte da calha principal do rio Doce podem ser

observadas ações sendo realizadas, especialmente às relacionadas ao manejo de rejeitos (dragagem, escavação e retirada manual de rejeitos).

Figura 107: Ações Relacionadas ao Plano de Manejo de Rejeitos

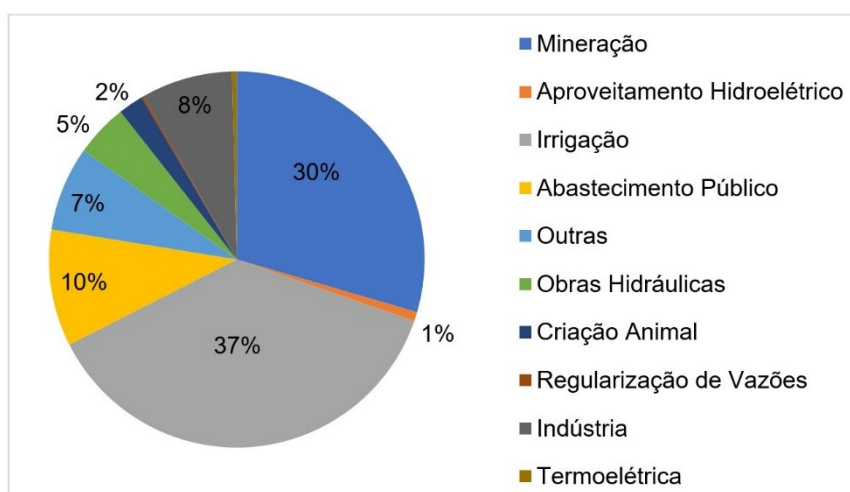


Fonte: Autoria própria.

Além das ações identificadas, caracterizou-se também os principais usuários de água na calha principal do rio Doce, haja vista que os usos destinados à água podem levar a variações nos fluxos de água, sedimento e nutrientes na seção de referência, estão intrinsecamente associados ao uso e ocupação do solo na bacia. Para isso, foram utilizados dados do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH)² – ano base de 2019.

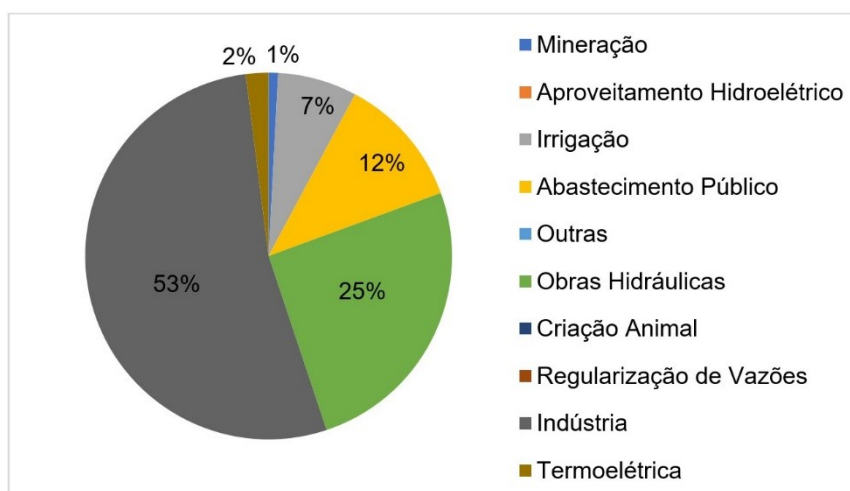
A finalidade de uso com maior número de captações de água é irrigação, correspondendo a 37% do total de 508 registros, seguido de mineração para extração de areia/cascalho no leito do rio (30%) (ver Figura 108). Outras finalidades de uso da água, que chamam atenção, são abastecimento público (10%) e abastecimento industrial (8%).

Figura 108: Distribuição percentual do número captações na calha principal do rio Doce, por finalidade de uso da água.



Fonte: Autoria própria.

Figura 109: Distribuição percentual do volume de água captado na calha principal do rio Doce, por finalidade de uso da água.



Fonte: Autoria própria.

² O CNARH foi criado para conter os registros dos usuários de recursos hídricos que captam água, lançam efluentes ou realizam demais interferências diretas em corpos hídricos (rio ou curso d'água, reservatório, açude, barragem, poço, nascente etc.). A maior parte dos dados são para rios de domínio da União.

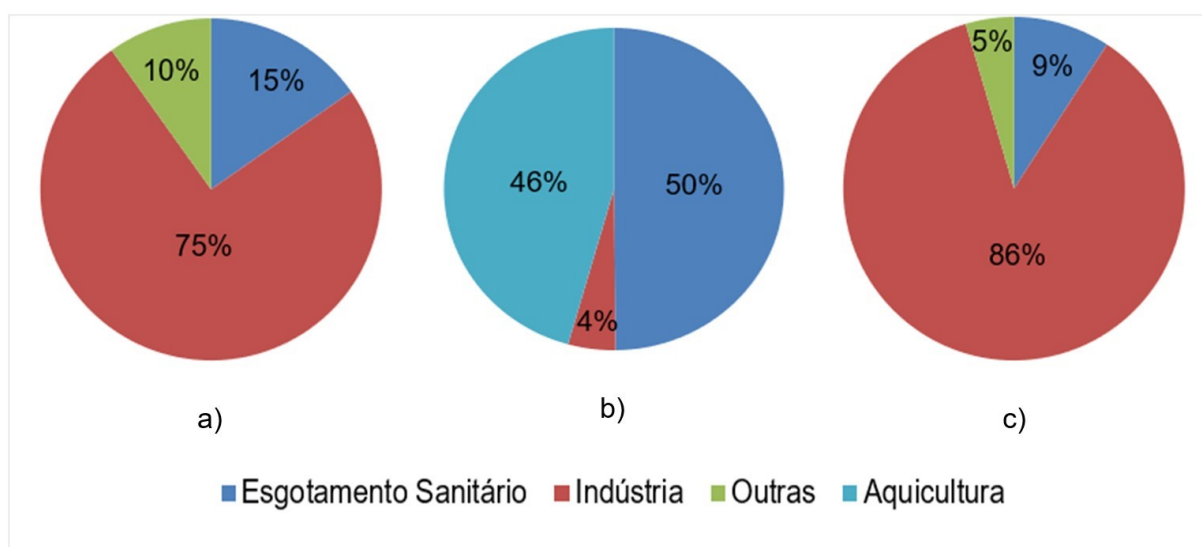
Porém, segundo os dados do CNARH, o abastecimento industrial é a finalidade de uso que possui o maior volume de captação, representando 53% dos 931,4 Hm³ de água que são captados na calha principal do rio Doce. Outros volumes relativamente expressivos são os observados para obras hidráulicas (25%) e abastecimento público (12%). Verifica-se que apesar da irrigação possuir o maior número de captações, o volume percentual total de água captado é da ordem de 7%.

Além dos usos relacionados à captação de água, foram identificados usos para fins de diluição de efluentes. Ao todo foram identificados 133 registros de lançamento de efluentes cadastrados no CNARH; a maioria provenientes de esgotamento sanitário (55%) e indústrias (30%). O volume total de efluentes lançados diretamente na calha principal do rio Doce é de 250,5 Hm³.

O CNARH também disponibiliza para cada uso, a carga de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo (P) e Nitrogênio (N) lançada. Verificou-se que as cargas totais de DBO, P, e N lançadas ao longo da calha do rio Doce são de 4.953, 389 e 1.020 toneladas por ano, respectivamente.

Na Figura 110 é possível observar que os lançamentos provenientes das indústrias são responsáveis pela maior parte da carga de DBO e Nitrogênio afluente à calha do rio Doce, representando 75% e 86% do total, nessa ordem. Já os lançamentos oriundos do esgotamento sanitário ganham destaque quando é analisada a carga de fósforo afluente à calha do rio Doce (50%).

Figura 110: Distribuição percentual das cargas lançadas na calha principal do rio Doce, por finalidade de uso. a) DBO; b) Fósforo; c) Nitrogênio.

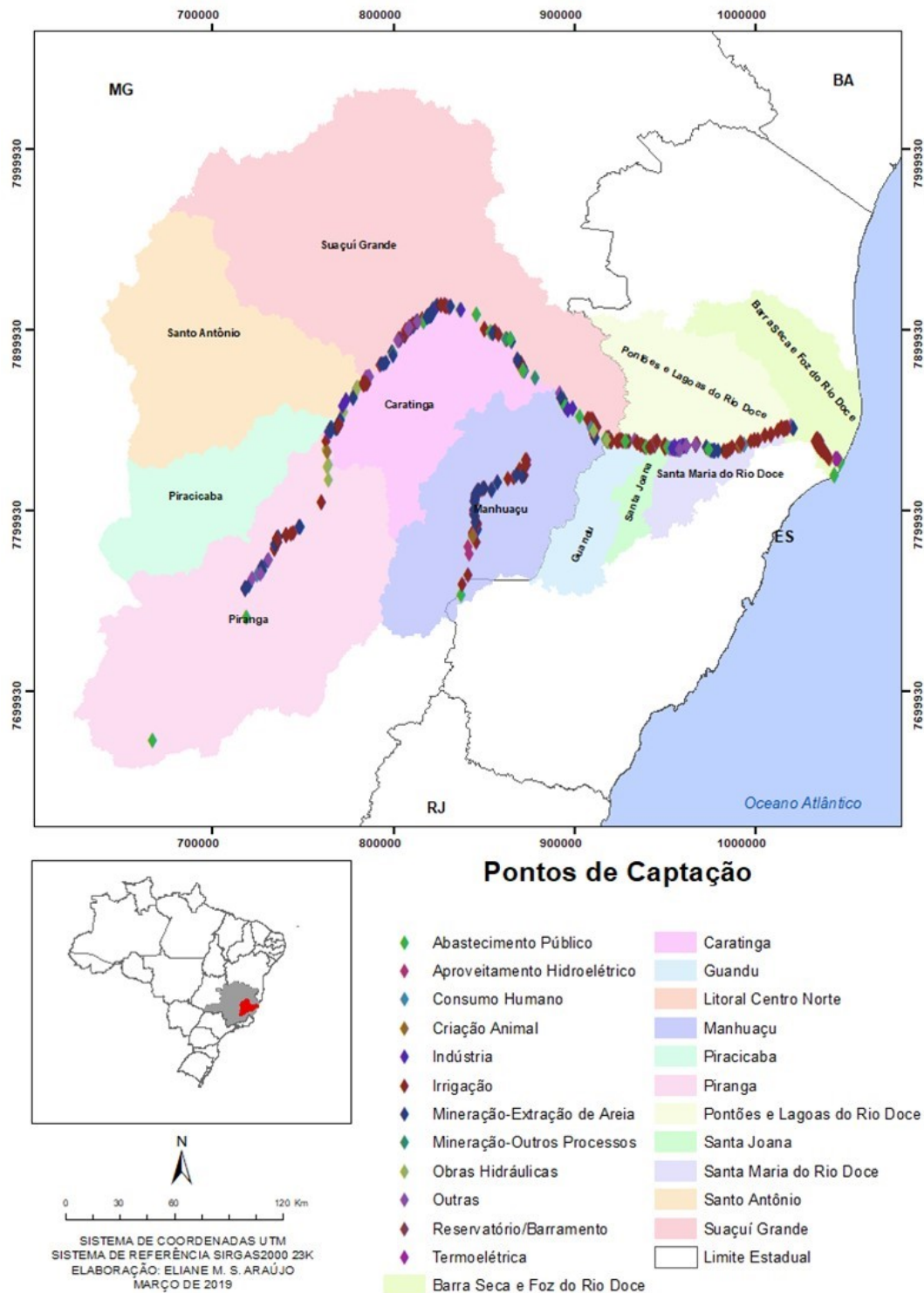


Fonte: Autoria própria.

É necessário ressaltar que nem todas as captações ou lançamentos existentes na bacia hidrográfica do rio Doce estão disponíveis na base de dados do CNARH. Logo, os dados apresentados estão subestimados. Para os próximos relatórios serão agregados ao conjunto de dados, informações provenientes do cadastro de outorgas dos corpos hídricos de dominialidade do estado de Minas Gerais e Espírito Santo.

As Figura 111 e Figura 112 apresentam a espacialização dos pontos de captação e lançamento cadastrados no CNARH, para a calha principal do rio Doce, por finalidade de uso. Nota-se que no estado do Espírito Santo há maior concentração de pontos de captação para irrigação e de lançamento de efluentes provenientes de esgotamento sanitário.

Figura 111: Pontos de captação.



Fonte: Autoria própria.

Figura 112: Pontos de lançamento.



Fonte: Autoria própria.

No que tange ao uso e ocupação do solo, ele está relacionado às funções ecossistêmicas dos ambientes, em que suas alterações exercem influências sobre a retenção de água da chuva (BESERRA, 2016; SARI; PAIVA; PAIVA, 2016), infiltração, recarga de aquíferos (SAJIKUMAR; REMYA, 2015), escoamentos superficiais e subsuperficiais (BAYER, 2014; BENINI, 2015;), produção de sedimentos (BATISTA, 2016; MARCHIORO, 2008), fertilidade do solo (LOPES, 2008; ABDO; VALERI; MARTINS, 2009), entre outros. Portanto, entender a sua distribuição espacial sobre o território

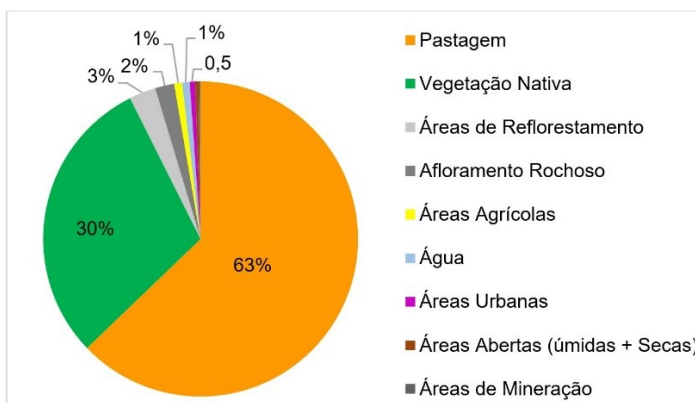
da bacia hidrográfica do rio Doce é essencial para subsidiar a compreensão de relações causa-efeito sobre os fluxos de água, sedimento e nutrientes.

Para realizar uma análise geral do uso e ocupação do solo na bacia, as tipologias de uso foram agrupadas em 13 classes, como ser visto no mapa Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Rio Doce. Foram utilizados dados obtidos junto à Agência Nacional de Água, por meio do portal GeoNetwork open-source, referentes ao levantamento de uso e ocupação do solo extraídos de imagens de satélites ALOS, QUICKBIRD, WORLD VIEW I e LANDSAT-7 (2013/2014), com resolução de 10 metros (escala 1:100.000). Na Figura 113 é apresentada a distribuição percentual das tipologias mais expressivas de uso do solo na bacia.

Dentre as tipologias, observa-se que a predominante é a pastagem, se fazendo presente em 63% da área (ver Figura 113), mas sendo destacada na porção média da bacia, ocupando grande parte da porção mineira. As áreas agrícolas se destacam na porção mais baixa da bacia. Foram mapeadas também outras tipologias de uso e ocupação do solo, que apesar de pouco expressivas no que se refere à área de estudo, demandam volumes significativos de água. Exemplo disso são as áreas urbanas, que representam 0,5% da cobertura total, que, no entanto, apresentam fortes demandas sobre os recursos hídricos em termos de abastecimento público e industrial. Outro exemplo é a atividade de mineração que apresenta 0,1% da área em análise, mas que intensifica a pressão sobre a disponibilidade dos recursos hídricos, devido a utilização de grandes volumes de água em seu processo produtivo, e provoca suspensão de sedimentos. Além disso, essas tipologias de uso também podem ser caracterizadas como pontos de poluição, devido aos lançamentos de efluentes domésticos e industriais, tratados ou não.

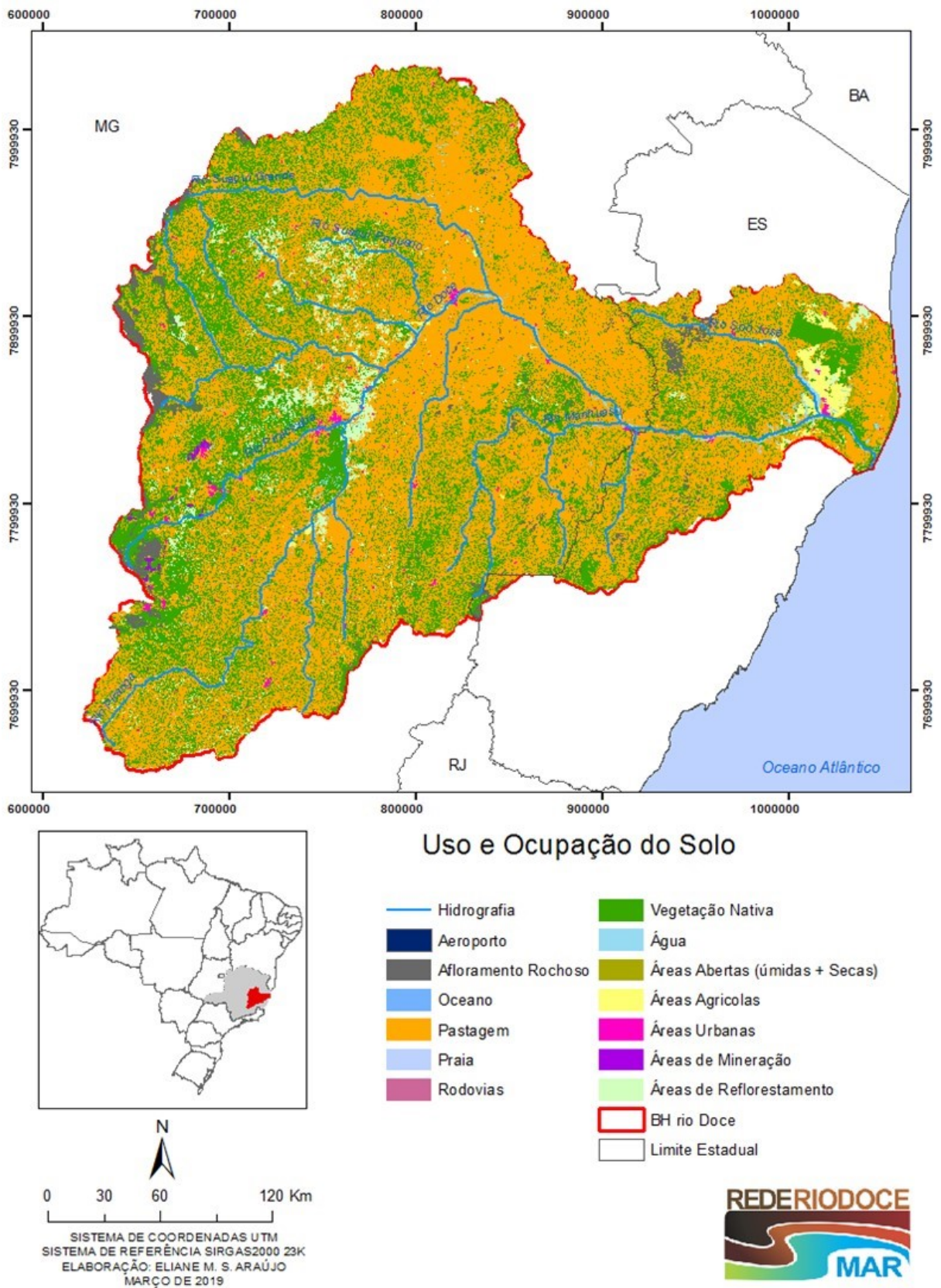
Apesar do uso antrópico prevalecer na maior parte da bacia (68%) e potencializar a degradação dos recursos hídricos, nota-se que a vegetação nativa ainda se faz presente, cobrindo 30% da área total. Observa-se presença destacada de fragmentos florestais dispersos na porção mais alta da bacia. Em relação aos afloramentos rochosos (2%), esses predominam no estado de Minas Gerais, especificamente no limite oeste da bacia. Nota-se, também na região mineira, a presença de áreas de reflorestamento (3%), localizadas na porção central da bacia.

Figura 113: Distribuição percentual das tipologias de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Doce.



Fonte: Autoria própria.

Figura 114: Uso e ocupação do solo.



Fonte: Autoria própria.

A fim de subsidiar a avaliação do uso e ocupação do solo na porção capixaba da bacia do rio Doce realizou-se uma avaliação detalhada de situação para cada uma das regiões hidrográficas do rio Doce (Pontões e Lagoas do rio Doce, Barra Seca e Foz, Guandu, Santa Joana e Santa Maria do Doce). Para isso, foram utilizados dados obtidos junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA) referentes ao levantamento de uso e ocupação do solo extraídos dos ortofotomosaicos executados em 2012, na resolução de 1 metro (escala 1:15.000).

Em função desses dados foram construídas as Figura 116, Figura 117, Figura 118, Figura 119 e Figura 120. Adicionalmente, na Figura 115, ilustram-se os percentuais de cada classe de uso e ocupação do solo por região hidrográfica.

A região hidrográfica Pontões e Lagoas do rio Doce possui aproximadamente 5.491 km², em que 70% desta área está ocupada por usos antrópicos. A tipologia pastagem é a mais relevante em termos de área relativa, apresentando percentual de 32% (1.740km²), seguida do cultivo de café, 18% (994km²). Entre as demais classes de usos antrópicos, podem ser observados, porém em menos expressão, a presença de silvicultura (6%), que consiste predominantemente em eucalipto, macega (6%), outros cultivos agrícolas (3%), solo exposto (2%) e área edificada (0,5%). Das tipologias naturais (30%), a mata nativa e a mata nativa em estágio inicial de regeneração, somadas, correspondem a 20% da região hidrográfica, enquanto afloramento rochoso equivale a 6%.

Na Figura 116 é apresentada de forma mais detalhada a distribuição espacial das classes mapeadas para a região. Nota-se a distribuição dispersa de fragmentos florestais, associados aos cultivos agrícolas e extensas áreas de pastagem. As áreas edificadas podem ser melhor percebidas nos municípios de Colatina e Linhares, sendo que este último também se destaca pela presença de grandes lagoas próximas a calha principal do rio Doce, como a lagoa Juparanã (de maior extensão).

As regiões hidrográficas Guandu (2475 km²), Santa Joana (929 km²) e Santa Maria do Doce (1.800 km²) estão localizadas na margem direita do rio Doce. Nota-se que a distribuição percentual de classes de uso do solo é semelhante entre elas. Os sistemas antropizados cobrem 70%, 66% e 70% dessas regiões, respectivamente. Nota-se, assim como nas demais regiões da bacia, que a tipologia pastagem é a que predomina, com percentuais que variam de 41% a 33%. Em relação ao sistema natural, as áreas de mata nativa e mata nativa em estágio de regeneração é que se destacam.

Nas Figura 117, Figura 118 e Figura 119 pode-se perceber com maior detalhe a distribuição espacial de cada tipologia de uso do solo. Na região hidrográfica do rio Guandu, chama-se atenção para as extensas áreas de plantio de café em Brejetuba e de afloramentos rochosos em Afonso Cláudio. Observa-se que os fragmentos florestais estão bem dispersos ao longo do território. Na região hidrográfica do rio Santa Joana, nota-se a presença de fragmentos florestais mais contínuos, provavelmente devido ao terreno com alta declividade, o qual dificulta a atividade de agricultura. Na região hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, é possível perceber parte da mancha urbana de Colatina e a existência de lagoas marginais ao rio Doce. Na porção mais alta da região, há predomínio da atividade cafeeira.

A região hidrográfica do rio Barra Seca e Foz possui 4.180 km², onde a área coberta por tipologias antrópicas é cerca de 59% de toda a região. A pastagem é a tipologia antrópica mais presente nessa região hidrográfica, cobrindo 28% da área, seguindo de café (12%) e outros cultivos agrícolas (7%). Já o sistema natural cobre 41% da região hidrográfica, onde se destacam a mata nativa e mata nativa em estágio inicial de regeneração (28%) e as áreas de brejo (9%).

Na Figura 120 pode-se notar o considerável fragmento florestal da Reserva Biológica de Sooretama e regiões brejosas próximo à zona costeira.

No que tange aos impactos sobre os fluxos, aponta-se que essas principais tipologias identificadas exercem influência sobre diferentes componentes hidrológicos, hidrosedimentológicos e elementos bioquímico do solo. As pastagens, cultivos de monoculturas, dentre outros usos e atividades pouco conservativas, que alteram a condição natural do ambiente observadas na bacia do rio Doce, contribuem para a diminuição da capacidade de percolação da água no solo e recarga de aquíferos rasos e profundos (BAKER; MILLER, 2013; BESERRA, 2016). Em médio e longo prazo, essas interferências influenciam na alimentação dos cursos d'água, com impactos mais severos nos períodos de estiagem, quando a vazão do rio é mais dependente da recarga dos aquíferos (SAJIKUMAR; REMYA, 2015).

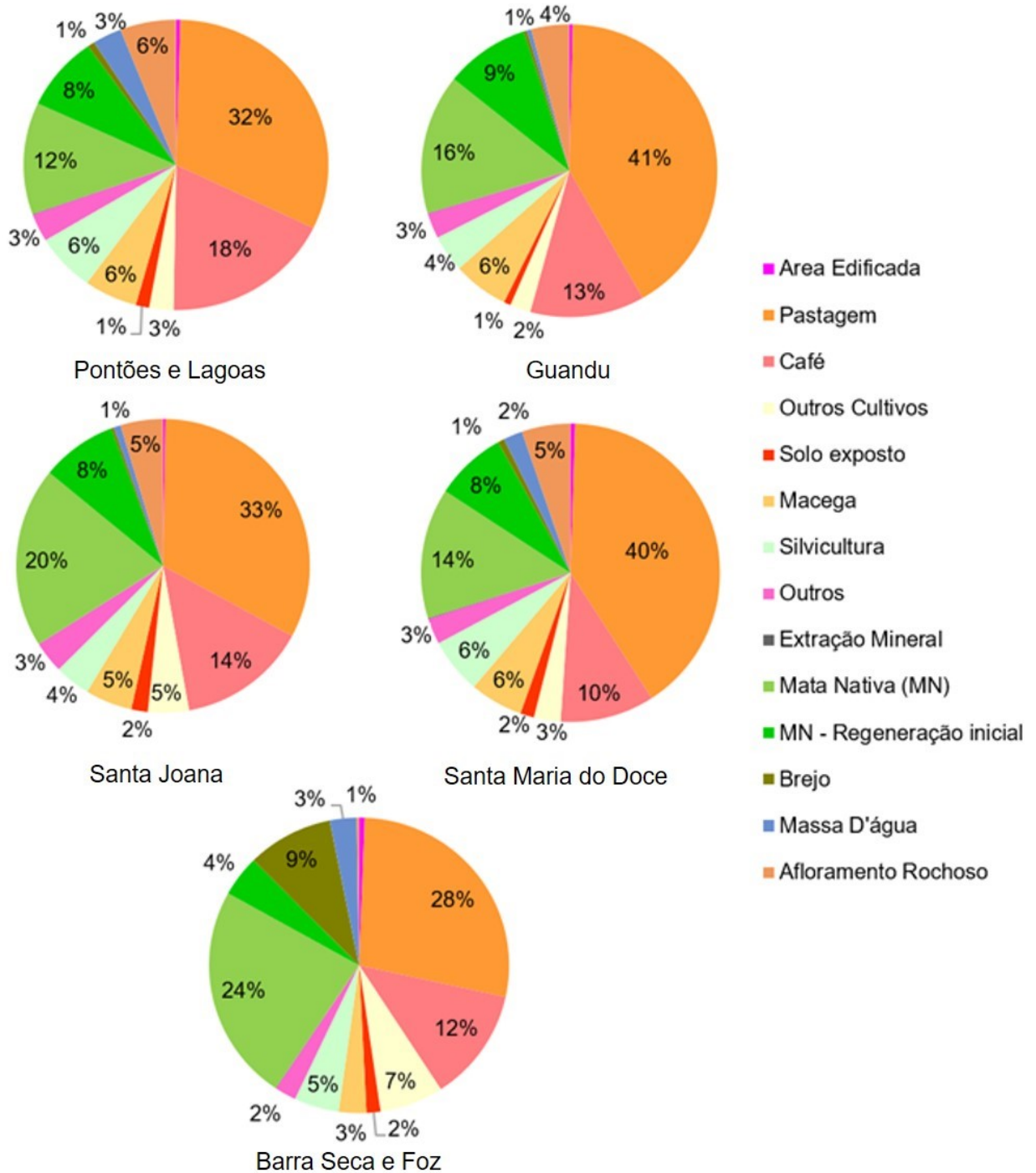
Esses efeitos puderam ser observados no recente período de estiagem que ocorreu no Espírito Santo (2014-2016), em que todas as regiões hidrográficas da porção capixaba do rio Doce sofreram com a baixa vazão dos rios (AGERH, 2018), tendo sido relatado trechos onde a água secou, e períodos em que a foz do rio não alcançavam o mar. As referidas tipologias também contribuem para o aumento do escoamento superficial, conseqüentemente, os picos de vazão observados durante os eventos de cheias provocam inundações e enchentes às margens dos rios, afetando as populações ribeirinhas e residentes das áreas urbanas. Diferentes trechos na porção média e baixa da bacia possuem de média a alta vulnerabilidade a inundações (ANA, 2014).

Além disso, o aumento do escoamento superficial, associado às extensas áreas de pastagens e exposição do solo, implicam no aumento e aceleração dos processos erosivos e perdas de nutrientes do solo. As características de uso da bacia do rio Doce fazem com que a bacia seja, notoriamente, responsável por expressiva produção e transporte de sedimentos. Em 2010, o PIRH-Doce apontou que 58% da bacia apresentava forte susceptibilidade a erosão (IGAM, 2010). No Espírito Santo as regiões que apresentaram maior susceptibilidade à erosão e geração de sedimento são aquelas correspondentes ao Pontões e Lagoas do Doce e Santa Joana, que, por sua vez, possuem áreas antropizadas da ordem de 70% de seu território.

A antropização da bacia também pode comprometer a ciclagem de nutrientes no solo, provocando seu empobrecimento, considerando que paralelo ao aporte de sedimentos, também são carregados nutrientes, visto que os processos erosivos são considerados uma das principais formas de degradação e esgotamento de nutrientes do solo, o que afeta a sustentabilidade da região (BERTANI, 2014). Nesta mesma via, o uso e ocupação do solo característico da bacia hidrográfica do rio Doce contribui para a

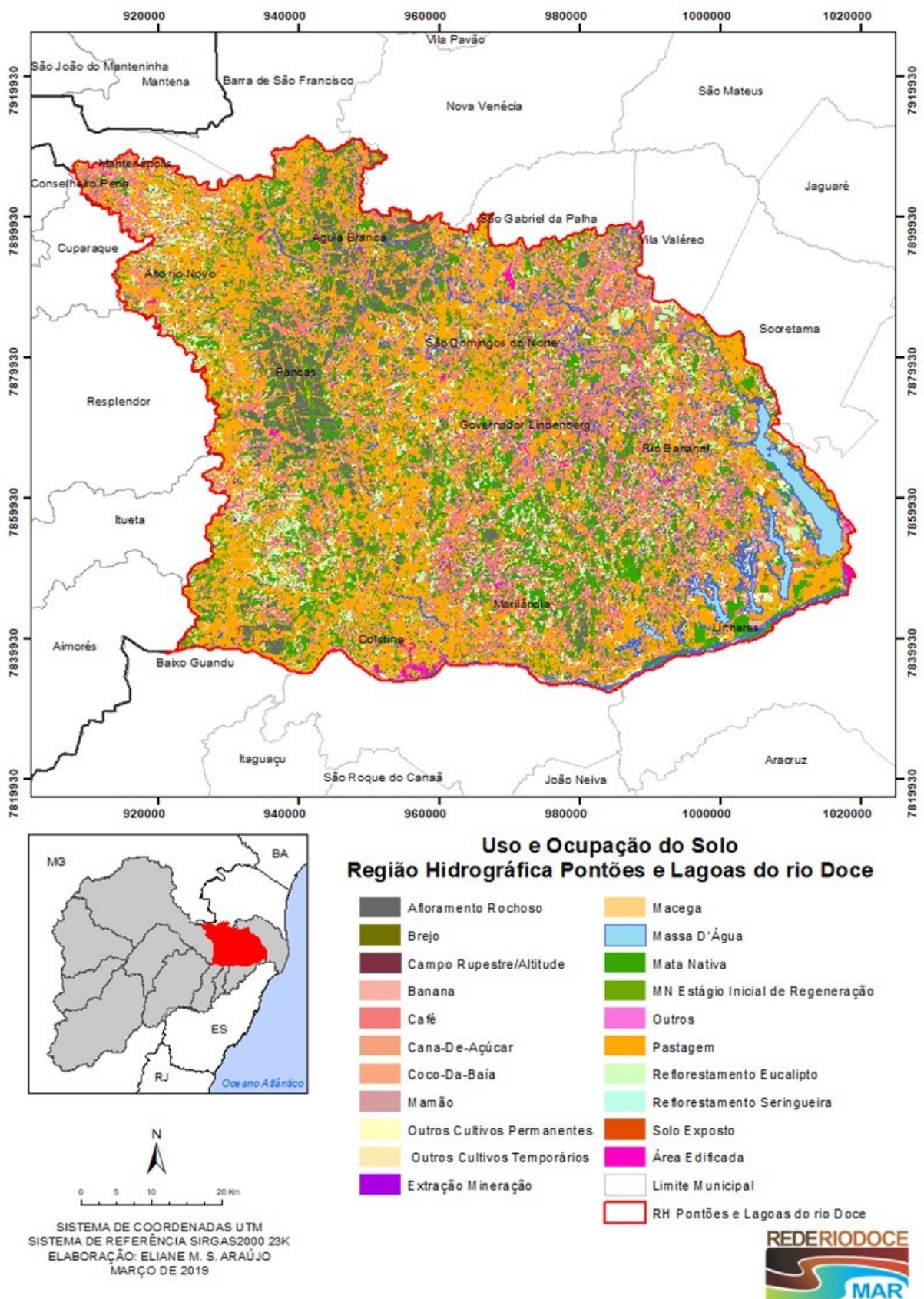
poluição difusa dos corpos d'água, devido as práticas comuns de uso de pesticidas e fertilizantes. A poluição causada por nutrientes pode provocar a eutrofização dos corpos d'água, principalmente, nos ambientes lóticos.

Figura 115: Percentual da classe de uso e ocupação do solo por região hidrográfica da porção capixaba do rio Doce.



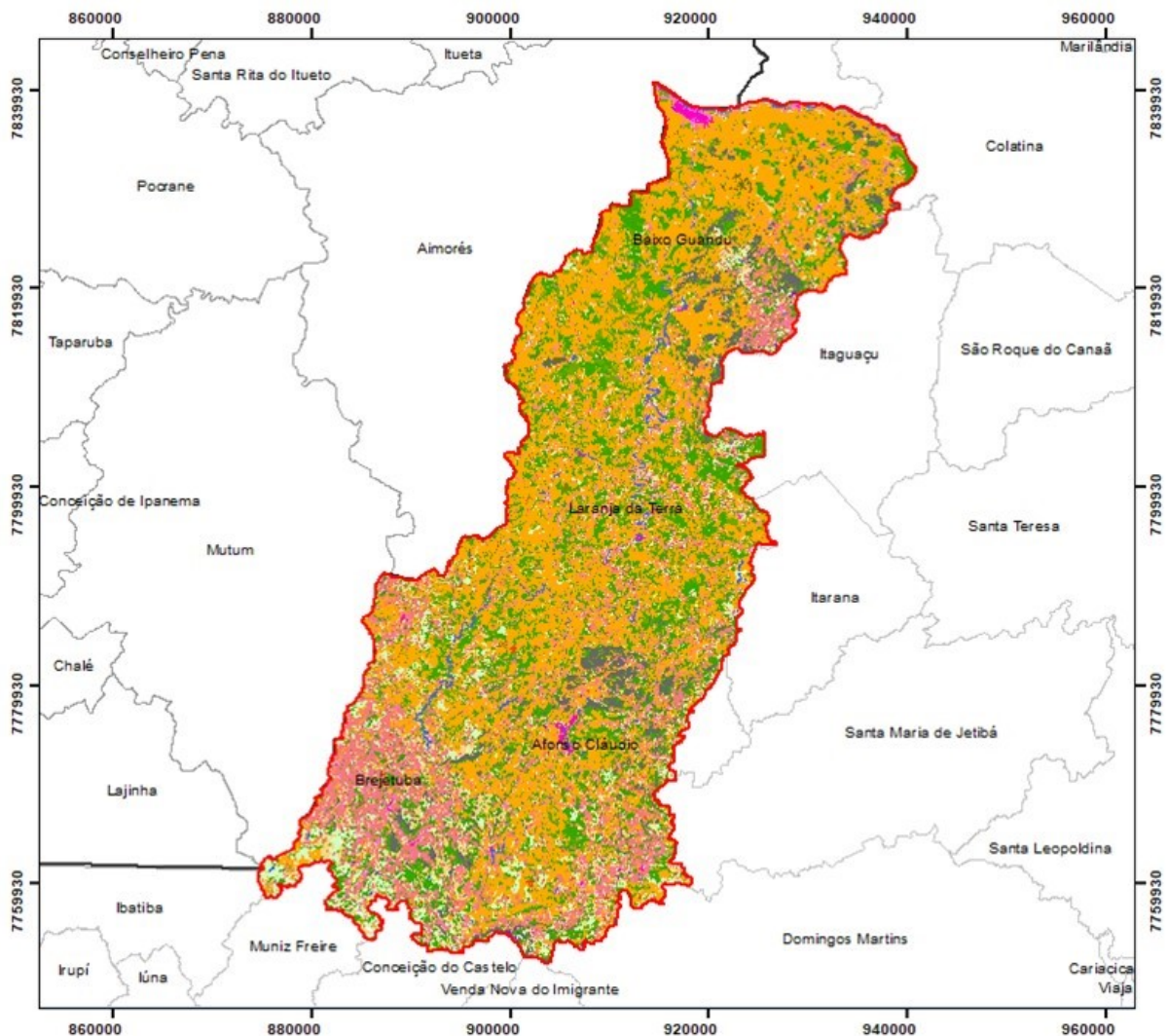
Fonte: Autoria própria.

Figura 116: Uso e Ocupação do solo da Região Hidrográfica Pontões e Lagoas do rio Doce.



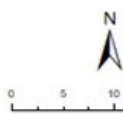
Fonte: Autoria própria.

Figura 117: Uso e Ocupação do solo da Região Hidrográfica do rio Guandu.



**Uso e Ocupação do Solo
Região Hidrográfica do rio Guandu**

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| Afloramento Rochoso | Macega |
| Brejo | Massa D'Água |
| Campo Rupestre/Altitude | Mata Nativa |
| Banana | MN Estágio Inicial de Regeneração |
| Café | Outros |
| Cana-De-Açúcar | Pastagem |
| Coco-Da-Baía | Reflorestamento Eucalipto |
| Mamão | Reflorestamento Seringueira |
| Outros Cultivos Permanentes | Solo Exposto |
| Outros Cultivos Temporários | Área Edificada |
| Extração Mineração | Limite Municipal |
| | RH Guandu |

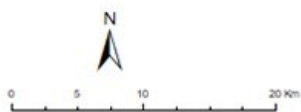
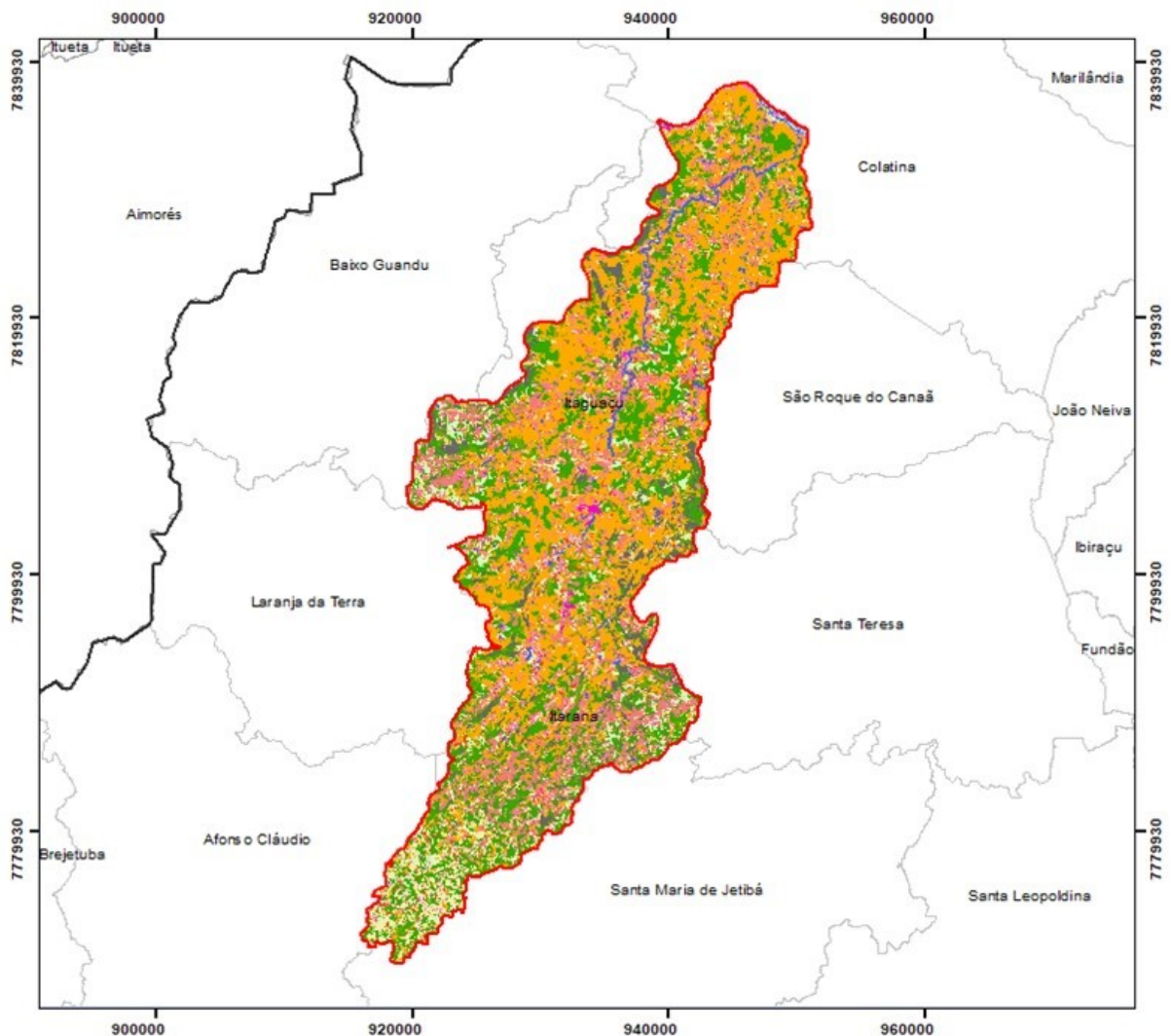


SISTEMA DE COORDENADAS UTM
SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS2000 23K
ELABORAÇÃO: ELIANE M. S. ARAÚJO
MARÇO DE 2019



Fonte: Autoria própria.

Figura 118: Uso e Ocupação do solo da Região Hidrográfica do rio Santa Joana.



SISTEMA DE COORDENADAS UTM
SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS2000 23K
ELABORAÇÃO: ELIANE M. S. ARAÚJO
MARÇO DE 2019

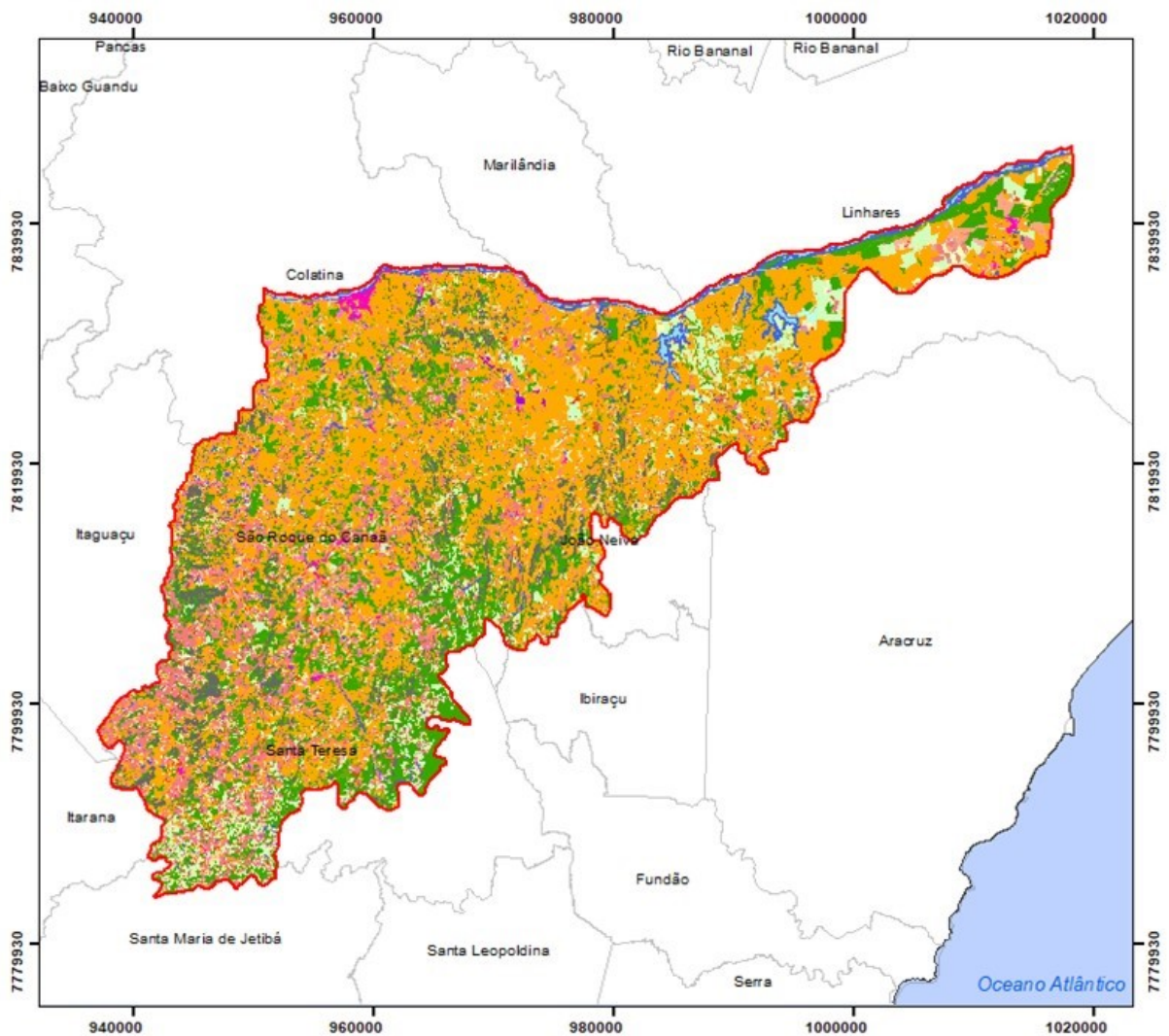
Uso e Ocupação do Solo Região Hidrográfica do rio Santa Joana

Afloramento Rochoso	Macega
Brejo	Massa D'Água
Campo Rupestre/Altitude	Mata Nativa
Banana	MN Estágio Inicial de Regeneração
Café	Outros
Cana-De-Açúcar	Pastagem
Coco-Da-Baía	Reflorestamento Eucalipto
Mamão	Reflorestamento Seringueira
Outros Cultivos Permanentes	Solo Exposto
Outros Cultivos Temporários	Área Edificada
Extração Mineração	RH Santa Joana
	Limite Municipal



Fonte: Autoria própria.

Figura 119: Uso e Ocupação do solo da Região Hidrográfica do rio Santa Maria do Doce



SISTEMA DE COORDENADAS UTM
SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS2000 23K
ELABORAÇÃO: ELIANE M. S. ARAÚJO
MARÇO DE 2019

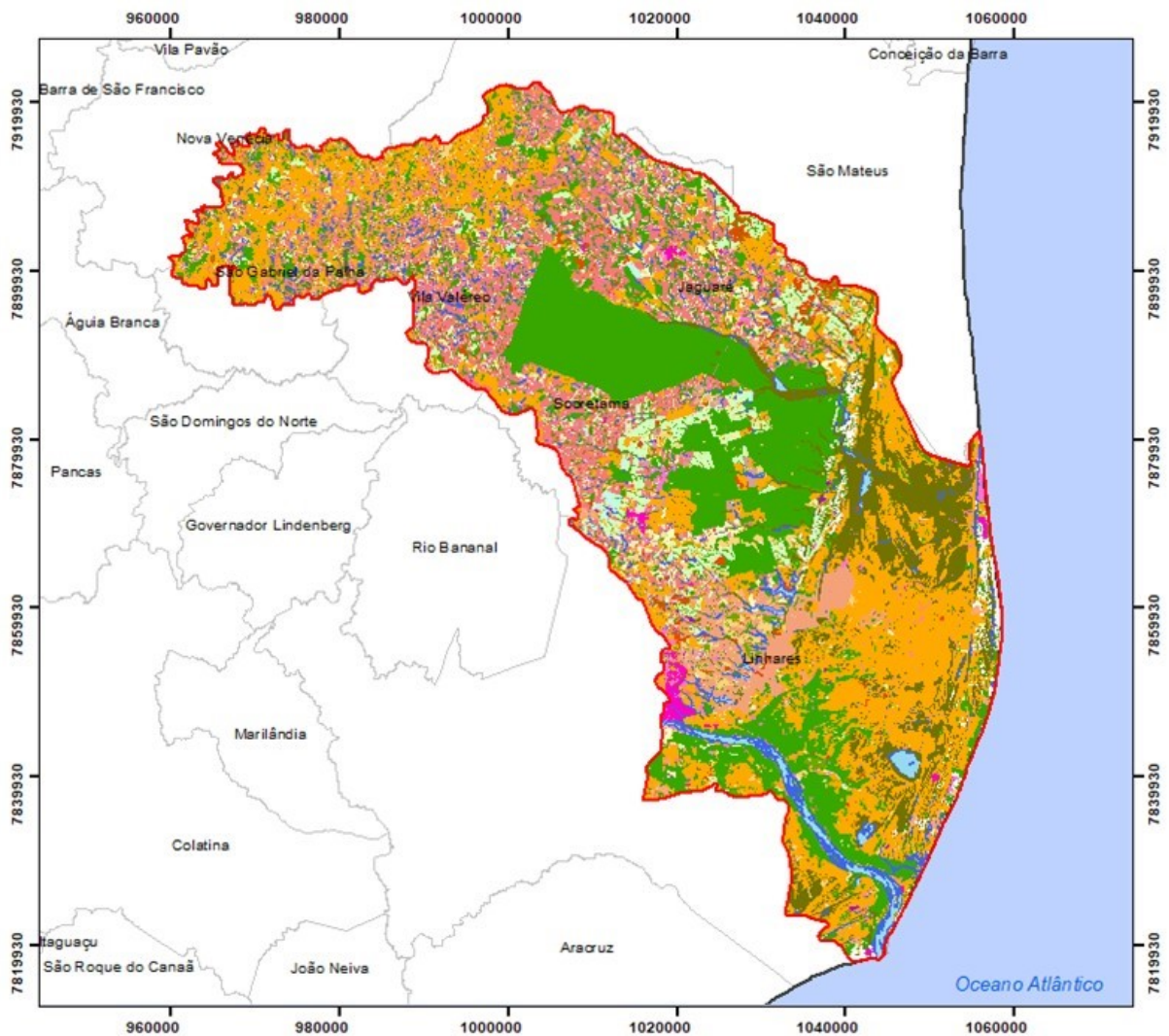
Uso e Ocupação do Solo
Região Hidrográfica do rio Santa Maria do Doce

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| Afloramento Rochoso | Macega |
| Brejo | Massa D'Água |
| Campo Rupestre/Altitude | Mata Nativa |
| Banana | MN Estágio Inicial de Regeneração |
| Café | Outros |
| Cana-De-Açúcar | Pastagem |
| Coco-Da-Baía | Reflorestamento Eucalipto |
| Mamão | Reflorestamento Seringueira |
| Outros Cultivos Permanentes | Solo Exposto |
| Outros Cultivos Temporários | Área Edificada |
| Extração Mineral | RH Stª Maria do Rio Doce |
| | Limite Municipal |



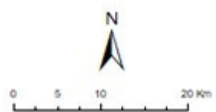
Fonte: Autoria própria.

Figura 120: Uso e Ocupação do solo da Região Hidrográfica do rio Barra Seca e Foz.



Uso e Ocupação do Solo
Região Hidrográfica do rio Barra Seca e Foz

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| RH Barra Seca e Foz | Extração Mineral |
| Afloramento Rochoso | Macega |
| Brejo | Massa D'Água |
| Campo Rupestre/Altitude | Mata Nativa |
| Banana | MN Estágio Inicial de Regeneração |
| Café | Outros |
| Cana-De-Açúcar | Pastagem |
| Coco-Da-Baía | Reflorestamento Eucalipto |
| Mamão | Reflorestamento Seringueira |
| Outros Cultivos Permanentes | Solo Exposto |
| Outros Cultivos Temporários | Área Edificada |
| | Limite Municipal |



SISTEMA DE COORDENADAS UTM
SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS2000 23K
ELABORAÇÃO: ELIANE M. S. ARAÚJO
MARÇO DE 2019



Fonte: Autoria própria.

10.2.2 Metodologias com potencial para subsidiar análise integrada de relações causa-efeito entre intervenções antrópicas e fluxos de água, sedimentos e nutrientes

Visando oferecer subsídios para análise integrada de impactos de intervenções antrópicas e/ou naturais sobre variações de fluxo de água, sedimento e nutrientes na calha principal do rio Doce, foram identificadas na literatura técnica-científica previamente potenciais metodologias para oferecer esse suporte. Ao todo, foram identificadas quatro metodologias: a) Antes/Depois Controle/Impacto (BACI)³; b) Força Indutora, Pressão, Estado, Impacto e Resposta⁴ (DPSIR); c) Pensamento Sistêmico e Planejamento de Cenários (PSPC); e d) Análise de Modos de Falhas e Efeitos⁵ (FMEA).

A seguir será apresentada uma breve descrição de cada uma das metodologias identificadas

10.2.2.1 Antes/Depois Controle/Impacto (BACI)

É uma metodologia que objetiva detectar impactos sobre a biodiversidade devido a distúrbios causados por ação antrópica. A ideia central que dá base à metodologia é que uma perturbação antropogênica no local do “impacto” causará um padrão diferente de mudanças no tempo (de antes para depois de iniciada a perturbação), quando comparado a mudanças naturais na região controle. O impacto é detectado por meio de análises estatísticas, como análise de variância de dados. A principal crítica encontrada na literatura sobre esta metodologia, é que o modelo padrão de utilização do BACI, por considerar apenas uma região controle, pode gerar erros fazendo com que alterações espaço-temporais naturais da região sejam interpretadas como impacto antrópico. Mais informações sobre a metodologia BACI em ver Torres et al. (2011) e Underwood (1994, 2002).

10.2.2.2 Força Indutora, Pressão, Estado, Impacto e Resposta (DPSIR)

A metodologia DPSIR é amplamente utilizada como ferramenta para avaliar, gerenciar e comunicar impactos de mudanças políticas e modos de vida da sociedade sobre o meio ambiente (GREGORY et al., 2013) e se relaciona com a realidade de forma determinística, em uma relação de causa-efeito.

Suas características de flexibilidade e aplicação geral trazem ambiguidade na descrição de seus passos por diversos autores (MAXIM et al., 2009). Porém, uma descrição geral apontada por Junior (2016) afirma que as Forças Indutoras (Drivers - como incremento de população, intensificação de atividade agrícola, aumento do consumo de água), decorrentes de atividades humanas ou de indutores naturais, exercem Pressões (*Pressure* - como exploração de recursos, emissões de poluentes) que modificam as propriedades intrínsecas do Estado do ecossistema (*State* - como alteração na qualidade das águas, aumento da temperatura, deposição de substâncias tóxicas), resultando em Impactos (*Impacts* - efeito na saúde humana, efeitos nas espécie e habitats) na dimensão humana (socioeconomia) e na dimensão ecológica demandando Respostas (Response - plano de manejo, enquadramento de corpos

³ Before/After and Control/Impact.

⁴ Drivers, Pressures, States, Impacts, Responses.

⁵ Failure Mode and Effects Analysis.

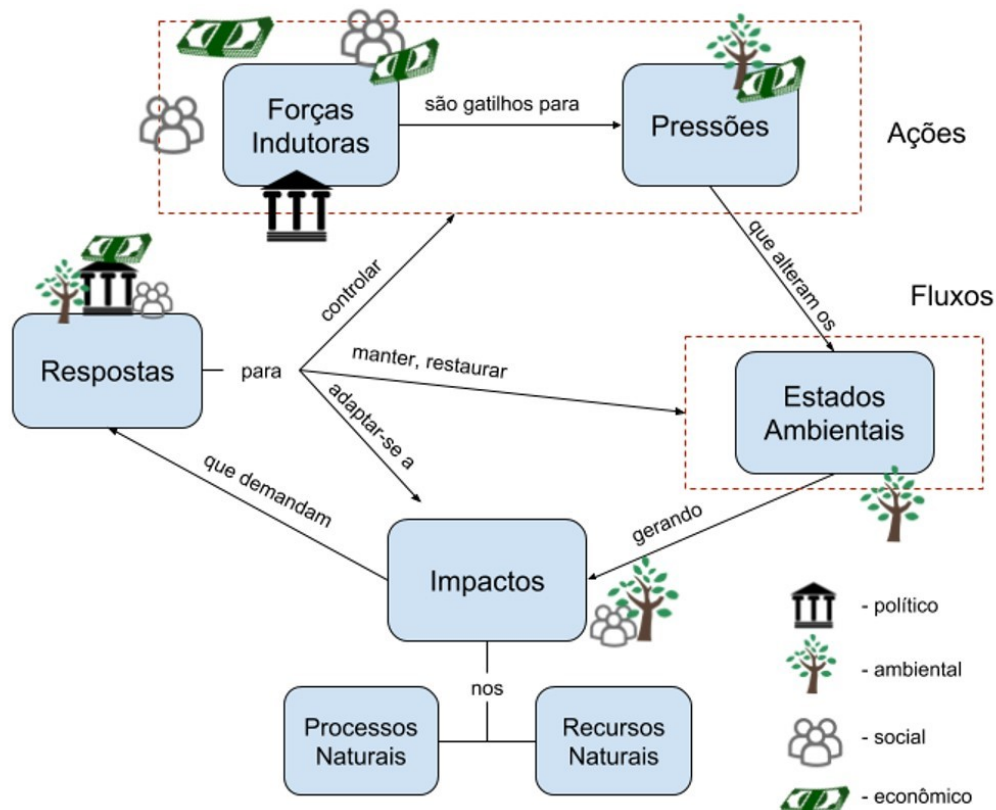
hídricos, programa de saneamento, programa de reflorestamento) dos sistemas de gestão, que retroalimentam a estrutura.

Esta metodologia é útil para realização de uma associação causa-efeito e não se mostra difícil de ser implementada. Além disso, a hierarquização de drivers e *pressures*, como feita por Junior (2016) pode auxiliar no sentido de apontar ações que impactaram mais na biodiversidade. A abordagem natural desse método, como mostrado na Figura 121, segue na direção de apontar os possíveis impactos (desconhecidos) a partir das ações e fluxos (ambos conhecidos).

A DPSIR não traz uma relação muito direta de integração temporal (o que ocorria antes e o que está ocorrendo depois de determinado evento), mas por ser possível realizar simulações de cenários através dele, é uma possibilidade usar-se dessa metodologia para comparar os cenários reais de antes e depois do rompimento. As principais críticas à DPSIR são o tratamento linear dado as relações causa-efeito, especialmente para descrever assuntos completos, marcados por incerteza, escala de tempo e espaço indeterminadas e interação social (MAXIM et al., 2009).

Uma possibilidade de adaptação da DPSIR é uma abordagem sugerida por Maxim et al., (2009), denominada de Tetrahedral DPSIR. Nessa abordagem os componentes da DPSIR são definidos a partir das esferas social, econômica, ambiental e política, bem como a sua interação em pares: socioeconômica, socioambiental, sociopolítica, econômico-ambiental, econômico-política e político-social, conforme ilustrado na Figura 121.

Figura 121: Fluxograma da abordagem Tetrahedral DPSIR de Maxim et al. (2009).



Fonte: adaptado de Maxim et al. (2009).

Mais detalhes sobre a utilização da metodologia DPSIR, ver Bell (2012) Gregory et al. (2013), Maxim et al. (2009), Junior (2016) e Semeoshenkova (2017).

10.2.2.3 Pensamento Sistêmico e Planejamento de Cenários (PSPC)

Essa metodologia tem como princípio filosófico o entendimento de que a realidade pode ser dividida em níveis, numa pirâmide invertida, que vão de superficiais a mais profundos, de modo que à medida com que se aprofunda nesses níveis, a realidade dos sistemas é percebida de forma mais abrangente. Essa percepção permite mudanças mais impactantes por parte dos gestores.

Na parte superficial dessa pirâmide estão os eventos, que são as situações da realidade mais perceptíveis pelos sentidos; já abaixo da superfície estão os padrões de comportamento das variáveis que provocam os eventos ao longo do tempo, seguido da estrutura sistêmica, que explica as causas que moldam os padrões de comportamento; e por último estão os modelos mentais que criam as estruturas presentes no sistema (ANDRADE, 2016; DE LIMA, 2015).

As principais etapas da metodologia são: A) definir uma situação complexa de interesse; B) apresentar a história por meio de eventos; C) identificar as variáveis chaves; D) traçar os padrões de comportamento; E) desenhar o mapa sistêmico; F) identificar modelos mentais; G) realizar cenários; H) modelar em computador; I) definir direcionadores estratégicos, planejar ações e reprojeter o sistema:

Ressalta-se que diferente da metodologia DPSIR, o PSPC segue uma linha em que primeiro são identificados os impactos perceptíveis (os eventos) e depois é que eles são relacionados aos fluxos e ações. A identificação é na direção do efeito para a causa. Mais detalhes sobre a utilização dessa metodologia pode ser encontrada em De Lima (2015) e Andrade (2006).

10.2.2.4 Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)

A metodologia FMEA foi inicialmente projetada para estudar falhas em produtos da indústria aeronáutica, voltada assim ao Sistema de Gestão de Qualidade. Ela tem se apontado como metodologia de potencial aplicação a Sistemas de Gestão Ambiental. Uma de suas principais características é a utilização de índices de criticidade que permitem uma priorização por parte dos gestores na aplicação de esforços para diminuição dos riscos.

Sua aplicação inicial tem bases na gestão de riscos, porém, uma alteração na ordem de aplicação e comparação de suas etapas com o método DPSIR pode auxiliar na estruturação de uma planilha de impactos e causadores baseado no estado ambiental, permitindo uma análise na direção do efeito para a causa.

Mais detalhes sobre a utilização da metodologia FMEA pode ser encontrada em Andrade et al. (2000) e Schmitt et al. (2016).

No Quadro 36 é apresentado um resumo de cada metodologia, no que tange às suas características mais relevantes, ao seu foco de aplicação e a sua flexibilidade e potencialidade de adaptação.

De forma preliminar, verificou-se que a metodologia DPSIR é a que tem dado indícios de maior potencial para contribuir no objeto deste estudo – análise de relação causa-efeito de ações antrópicas e/ou naturais sobre fluxos de água, sedimento e nutrientes. Uma vez que permite maior flexibilidade de aplicação, têm forte ênfase na relação causa-efeito, é amplamente citada na literatura, além de se mostrar como boa ferramenta para organização e integração de dados e informações.

Quadro 35: Caracterização geral de potenciais metodologias para subsidiar análise integrada de impactos.

Metodologia	Foco	Características relevantes	Potencial para adaptação
BACI	Detecção de impactos sobre a biodiversidade	A análise é feita numa perspectiva espaço-temporal; utilização de regiões de controle (branco); conduz a valores numéricos que indicam um impacto	O aumento no número de regiões de controle.
DPSIR	Associação causa-efeito para identificação de impactos a partir de pressão exercidas sobre o ambiente;	Flexibilidade de aplicação; forte ênfase na relação causa-efeito; boa ferramenta para organização da informação e comunicação entre pesquisadores e sociedade	Utilização a partir da abordagem Tetrahedral DPSIR de Maxim et al. (2009), que leva à uma abordagem multicriterial; participação de stakeholders e pesquisadores na definição de indicadores e; necessidade de tornar o método mais cíclico.
PSPC	Percepção da realidade de forma sistêmica;	Utilização de métodos gráficos; fácil adaptação com outras metodologias; percepção da realidade partindo do evento (como os impactos socioambientais) até níveis mais profundos da realidade; utilização de modelagem	Aprofundamento no nível da realidade apenas de <i>eventos à estrutura sistêmica</i> (etapas A à E), sendo necessário avaliar a necessidade de utilização dos passos F à I; definição de qual ferramenta utilizar na etapa E: <i>Desenhar mapa sistêmico</i> .
FMEA	Diagnóstico de problemas ambientais. Sistema de Gestão de Qualidade e Gestão Ambiental.	Busca por dar resposta aos impactos; avalia a resposta dada quanto à sua efetividade; utiliza o Índice de Risco Ambiental (ANDRADE et al., 2000) que dá um valor para o grau de importância na relação causa-efeito-deteção.	Adaptar como um modo de apresentação do DPSIR, relacionando-o com as variáveis do FMEA, seguindo a ordem do FMEA com D=processo, S=Aspecto, I=Impacto, P=causa, R=Forma de Resposta, sendo necessário adaptar também os índices, em especial o Grau de Detecção, que não se encaixa muito ao contexto.

Fonte: Autoria própria.

10.3 CONCLUSÃO

Neste estudo foram identificadas e analisadas ações com potencial para afetar o aporte de fluxo de água, sedimentos e nutrientes no sistema estuarino-marinho da bacia hidrográfica do rio Doce. Ainda que parcial, este estudo evidenciou que as ações com maior potencial para implicar alterações nos

fluxos supracitados estão relacionadas ao manejo de rejeitos, ao saneamento básico (esgotamento sanitário, particularmente) e a recuperação de APPs e reflorestamento, nessa ordem.

A avaliação do uso e ocupação do solo, por sua vez, demonstrou que as tipologias de maior predominância na bacia, aquelas decorrentes da antropização do território, possuem potencial influência sobre os fluxos de água, sedimentos e nutrientes na bacia – a pastagem, especialmente. Por outro lado, a análise de dados do CNARH apontou para relevância do setor industrial na captação de água e no lançamento de carga orgânica e de nutrientes ao longo da calha principal do rio Doce.

As informações levantadas sobre cada uma das ações, bem como sua especialização sobre território delimitado pela bacia do rio Doce, trarão mais elementos para análise dos dados de natureza física, química ou biológica que estão sendo produzidos no âmbito do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática. Como as alterações do uso e ocupação do solo da bacia e as atividades que são exercidas sobre ele são dinâmicas, o acompanhamento das ações já identificadas e o levantamento de novas ações é fundamental, nesse contexto.

Como próximos passos, foi identificada a necessidade de maior acompanhamento de ações associadas às câmaras técnicas CT-Bio, CT-Flor, CT-SHQA e CT-Rejeitos, esta última em especial. Isto porque, sob a perspectiva de que os planos de manejo de rejeitos dos 17 trechos impactados irão começar a ser implementados, é importante ter conhecimento de quais alternativas de manejo de rejeito serão aplicadas e como, onde e quanto serão aplicadas, visto seu potencial para afetar os fluxos de água, sedimento e nutrientes na calha principal, mesmo que temporariamente.

Além disso, no âmbito da proposta de subsídio às análises de causa-efeito sobre os fluxos de água, sedimento e nutrientes, é importante que os pesquisadores dos parâmetros de quantidade e qualidade de água e os órgãos gestores tenham acesso, em tempo real, às ações que estão sendo realizadas na bacia. Isso seria possível por meio de um sistema de alerta de ações.

Quanto às metodologias de análise integrada, até o momento, a metodologia que mais tem se mostrado com potencial para dar suporte à análise integrada de impactos de intervenções antrópicas e/ou naturais sobre variações dos fluxos em estudo, é a DPSIR.

Ressalta-se que nesta etapa buscou-se realizar uma caracterização das ações existentes e do uso e ocupação do solo da bacia do rio Doce, dando indicativos de suas influências sobre os fluxos. Posteriormente, com maiores informações dos dados de qualidade de água que estão sendo monitorados no âmbito do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, as avaliações serão mais detalhadas, possibilitando estabelecer uma relação direta entre esses fatores e os principais parâmetros monitorados. Essa relação direta será subsidiada pela aplicação da metodologia DPSIR. Que, além disso, propiciará maior integração entre subprojetos nas respostas globais do “Projeto Integração Flúvio-Estuarina: Fluxos Hidrológicos”, fornecendo subsídios para os desenvolvimentos de análises integradas sobre o nível de exposição da biodiversidade aquática, dulcícola e marinha, aos efeitos deletérios dos rejeitos de minério considerando a magnitude dos fluxos hidrológicos.

10.4 REFERÊNCIAS

- ABDO, M. T. V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS, A. L. M. Sistemas Agroflorestais e Agricultura Familiar: Uma Parceria Interessante. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, 2008.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Atlas de Vulnerabilidade a Inundações. 2014. Disponível em: http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=243&fname=Atlas_d_e_Vulnerabilidade_a_Inundaes.pdf&access=private. Acesso em: 17/03/2017.
- ANDRADE, A. L. et al; SELEME, A.; RODRIGUES, L. H. Pensamento sistêmico: caderno de campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- ANDRADE, M. R. S.; TURRIONI, J. B. Uma Metodologia De Análise Dos Aspectos E Impactos Ambientais Através Da Utilização Do FMEA. XX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, n. 1997, p. 01–08, 2000.
- ATTANASIO, C. M. et al. A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. Bragantia, v. 71, n. 4, p. 493-501, 2012.
- BAKER, T. J.; MILLER, S. N. Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. Journal of Hydrology, v. 486, p. 100–111, 2013.
- BATISTA, Núbia Laís Fernandes. Proposição de metodologia baseada em indicadores de qualidade do solo para sustentabilidade da produção agrícola. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.
- BAYER, Débora Missio. Efeitos das mudanças de uso da terra no regime hidrológico de bacias de grande escala. 2014. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- BELL, S. DPSIR = A Problem Structuring Method? An exploration from the “imagine” approach. European Journal of Operational Research, v. 222, n. 2, p. 350–360, 2012.
- BENINI, Sandra Medina. Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana: Estudo de caso da cidade de Tupã/SP. 2015. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2015.
- BESERRA, Plácido Souza. Avaliação dos Efeitos das alterações na Cobertura e uso do solo sobre o regime de vazões via Modelagem Hidrológica. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). 2016, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- CH2M. Plano de Manejo de Rejeitos, Rev. 1, 2017.

CHÃO, I.R.S. Remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento biológico de esgotos utilizando lodo de estação de tratamento de água. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo 2006.

DE LIMA, P. N. Problem Structuring Methods: Métodos para a abordagem de situações complexas para a engenharia de produção. 2015. Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, 2015.

FUNDAÇÃO RENOVA. Quem Faz Parte. Disponível em: <https://www.fundacaorenova.org/quem-faz-parte/>. Acesso em: 12/03/2019.

GREGORY, A. J. et al. A problem structuring method for ecosystem-based management: The DPSIR modelling process. *European Journal of Operational Research*, v. 227, n. 3, p. 558–569, 2013.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce - Relatório Final, Volume I. 2010.

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESPÍRITO SANTO (AGERH). Plano Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo – PERH-ES. Revisão Final. 2010. Disponível em: <https://perh.es.gov.br/Media/perh/Arquivos%20Biblioteca/PERHES-DocumentoConsolidado.pdf>.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Esgoto. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>. Acesso em: 22/03/2019.

JUNIOR, F. J. T. Aporte de água e nutrientes para o sistema estuarino da Baía de Vitória (ES): Subsídios para a gestão ambiental integrada. 2016. UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, 2016.

LOPES, Nadia Hidemi Yano. Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais com o modelo SWAT. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

MARCHIORO, Eberval. Modelagem hidrosedimentológica na bacia do córrego Santa Maria: Subsídios à Aplicação de Práticas de Conservação de Água e Solo no Noroeste Fluminense. 2008. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MAXIM, L.; SPANGENBERG, J. H.; O'CONNOR, M. An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. *Ecological Economics*, v. 69, n. 1, p. 12–23, 15 nov. 2009.

MOTA, S. Introdução a engenharia ambiental. 1 ed. Rio de Janeiro. ABES. 2000.

PINHEIRO, A. et al. Uso do solo na zona ripária de bacias agrícolas de pequeno a médio porte. *Revista Árvore*, v. 35, n. 6, 2011.

PIRES, L. F. et al. Riparian forest potential to retain sediment and carbon evaluated by the ¹³⁷Cs fallout and carbon isotopic ratio techniques. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 81, n. 2, p. 271-279, 2009.

ROSEBOOM, D. P.; EVANS, R. L.; ERICKSON, J. E.; BROOKS, L. G. An inventory of court creek watershed characteristics that may relate to water quality in the watershed. Illinois Department of Energy and Natural Resources, Peoria, 1983.

SAJIKUMAR, N.; REMYA, R. S. Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. *Journal of Environmental Management*, v. 161, p. 460–468, 2015.

SARI, Vanessa; PAIVA, Eloiza Maria Cauduro Dias de PAIVA, João Batista Dias de. Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil. *RBRH* [online]. 2016, vol.21, n.1, pp.65-79. ISSN 2318-0331. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p65-79>.

SCHMITT, Jose Claudemir; LIMA, Carlos Roberto Camello. Método de Análise de Falhas utilizando a Integração das Ferramentas DMAIC, RCA, FTA e FMEA. *Revista ESPACIOS* | Vol. 37 (Nº 08) Año 2016, 2016.

SEMEOSHENKOVA, V. et al. A combined DPSIR and SAF approach for the adaptive management of beach erosion in Monte Hermoso and Pehuen Co (Argentina). *Ocean and Coastal Management*, v. 143, p. 63–73, 2017.

TORRES, A. et al. Assessing the effects of a highway on a threatened species using Before-During-After and Before-During-After-Control-Impact designs. *Biological Conservation*, v. 144, n. 9, p. 2223–2232, 2011.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Ministério do Meio Ambiente, 2006.

UNDERWOOD, A. J. Beyond BACI: the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. v. 161, p. 1–34, 2002.

On beyond BACI: sampling designs that might reliably detect environmental disturbances. *Ecological applications*, v. 4, n. 1, p. 3-15, 1994.

VON SPERLING, M. Estudos e modelagem da qualidade da água em rios. v. 7, DESA/UFMG, 2007.