UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Engenharia
Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Ana Luiza Cunha Soares

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAOPEBA: ANÁLISE INTEGRADA DOS DIFERENTES IMPACTOS ANTRÓPICOS

Belo Horizonte

2021

Ana Luiza Cunha Soares

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAOPEBA: ANÁLISE INTEGRADA DOS DIFERENTES IMPACTOS ANTRÓPICOS

Versão Final

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio ambiente
Linha de pesquisa: Caracterização, prevenção e controle da poluição

Orientadora: Dra. Sílvia Corrêa Oliveira
Coorientadora: Dra. Lenora Nunes Ludolf Gomes

Belo Horizonte
2021

Soares, Ana Luiza Cunha.
S676b Bacia hidrográfica do rio Paraopeba [recurso eletrônico] : análise integrada dos diferentes impactos antrópicos / Ana Luiza Cunha Soares .- 2021.
1 recurso online (xxiv, 420 f. : il., color.) : pdf.

Orientadora: Sílvia Corrêa Oliveira.
Coorientadora: Lenora Nunes Ludolf Gomes.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: 251-420.

Bibliografia: f. 226-250.
Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Meio ambiente - Teses. 3. Água - Qualidade - Teses. 4. Barragens e açudes - Teses. 5. Paraopeba, Rio, Bacia (MG) - Teses. 6. Reservatórios - Teses. 7. Abastecimento de água - Teses. I. Oliveira, Sílvia Maria Alves Corrêa. II. Gomes, Lenora Nunes Ludolf. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 628(043)

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Roseli Alves de Oliveira CRB/6 2121
Biblioteca Prof. Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
[ESCOLA DE ENGENHARIA]
COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO / PÓS-GRADUAÇÃO EM [SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS]

FOLHA DE APROVAÇÃO

"Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba: Análise Integrada dos Diferentes Impactos Antrópicos"

ANA LUIZA CUNHA SOARES

Tese defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Profª Sílvia Corrêa Oliveira

Profª Lenora Nunes Ludolf Gomes - Co-orientadora

Prof. Eduardo Coutinho de Paula

Prof. Ricardo Tezini Minoti

Prof. Cristiano Christofaro Matosinhos

Profª Marilia Carvalho de Melo

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Versão Final aprovada por

Profa. Priscilla Macedo Moura

Coordenadora

Profª. Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira

Orientadora

Belo Horizonte, 02 de agosto de 2021

Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Coutinho de Paula**, **Professor do Magistério Superior**, em 28/04/2023, às 12:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Silvia Maria Alves Correa Oliveira**, **Professora do Magistério Superior**, em 28/04/2023, às 14:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Marília Carvalho de Melo**, **Usuário Externo**, em 28/04/2023, às 17:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Cristiano Christofaro Matosinhos**, **Usuário Externo**, em 02/05/2023, às 08:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Lenora Nunes Ludolf Gomes**, **Usuário Externo**, em 09/05/2023, às 10:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Tezini Minoti**, **Usuário Externo**, em 16/05/2023, às 23:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Priscilla Macedo Moura**, **Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 27/05/2023, às 08:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2261663** e o código CRC **3ECEEAB4**.

Referência: Processo nº 23072.238667/2021-78 SEI nº 2261663

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

A Deus por sempre me mostrar que tudo acontece no Seu tempo e por estar sempre caminhando comigo e me protegendo.

Ao Tiaguin por todo amor, companheirismo, paciência, incentivo e tranquilidade ao longo desses anos e por sempre acreditar em mim, mais que eu mesma. Obrigada por estar sempre disposto a recarregar minhas energias.

Aos meus pais e Paulinha pelo amor incondicional, alegria e suporte em todos os momentos.

A minha orientadora Sílvia, pelos ensinamentos e paciência ao longo desses seis anos juntas. Obrigada pela confiança, amizade e todo apoio em diferentes aspectos da minha vida.

A minha coorientadora Lenora, por tantas contribuições a esse trabalho. Obrigada por toda gentileza e carinho.

A minha família e meus amigos pelos momentos de descontração e incentivo ao longo dessa caminhada.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SMARH) que contribuíram para minha formação. Aos funcionários do SMARH pelo apoio em diversas situações.

Ao Grupo de Estudos para Tratamento Estatístico de Dados Ambientais (GETEDA), obrigada tanto pelos momentos de descontração como pelas discussões científicas. Obrigada aos ICs, em especial Dawber e Vinícius, por toda a ajuda na organização dos dados e análises necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.

A Carol, pela amizade e apoio ao longo de todo esse tempo. Que nossa parceria perdure por muito anos.

Aos membros da banca examinadora, por terem aceitado avaliar esta tese.

Ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam) pela disponibilização dos dados de monitoramento, em especial à Katiane e ao Sérgio, sempre muito atenciosos.

A Capes pela disponibilização da bolsa para a realização deste projeto.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa conquista.

‘’Il faut bien que je supporte deux ou trois chenilles si je veux connaître les papillons.’’
(Antoine de Saint-Exupéry, Le Petit Prince, 1943)

RESUMO

A qualidade das águas superficiais reflete a influência de diversas atividades antrópicas associadas à explosão demográfica. Essas atividades acabam por gerar conflitos que comprometem os recursos naturais. A bacia hidrográfica do rio Paraopeba apresenta-se comprometida por várias dessas atividades, tendo sua condição ambiental agravada pelo rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão, pertencente à mineradora Vale S.A, localizada em Brumadinho, na Região Metropolitana de Belo Horizonte, em janeiro de 2019. Nesse contexto, para fornecer sugestões significativas aos planejadores e gestores para uma melhor proteção dos recursos hídricos, foi realizada a caracterização da bacia hidrográfica do rio Paraopeba em seus aspectos demográficos, geográficos, econômicos, sociais e ambientais; a análise da relação entre as concentrações de poluentes na bacia hidrográfica e o uso e ocupação do solo, a identificação dos padrões de variação da qualidade da água nos cursos de água monitorados, antes e após o rompimento da Barragem I, e nos reservatórios de abastecimento, assim identificando as potenciais fontes de poluição na bacia hidrográfica. Para as avaliações foram aplicadas ferramentas estatísticas, incluindo testes de hipóteses. Um índice de conformidade ao enquadramento foi utilizado para comparar os valores observados dos parâmetros de qualidade da água com valores preconizados pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 para cada classe de enquadramento. No período anterior ao rompimento da barragem, o ribeirão das Areias/riacho das Pedras, no município de Betim, apresentou o maior número de parâmetros com concentrações que violaram os limites preconizados na legislação, sendo, portanto, o corpo d´água mais impactado na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, principalmente devido ao lançamento de esgotos domésticos. Em relação aos impactos gerados pelo rompimento da barragem, destaca-se que as estações localizadas logo a jusante do local do rompimento, nos municípios de Brumadinho, São Joaquim de Bicas e Betim foram as mais impactadas, no entanto impactos podem ser observados em toda a calha do rio Paraopeba. Os parâmetros de qualidade que mais violaram os limites legais foram: indicador de contaminação fecal, manganês total e fósforo total. Os valores do índice calculados para o período chuvoso foram menores quando comparados àqueles obtidos no período seco, indicando uma maior deterioração da qualidade da água na estação chuvosa. Dessa forma, esta pesquisa colabora para o debate sobre o efeito da pressão das atividades econômicas em bacias hidrográficas localizadas em regiões metropolitanas e das consequências ambientais influenciadas pelas atividades antrópicas, trazendo informações sobre as áreas mais contaminadas e que necessitam de maior atenção e ações de recuperação e conservação para que o enquadramento proposto seja respeitado.

Palavras-chave: qualidade da água; rompimento de barragem; ferramentas estatísticas; índice de conformidade ao enquadramento, reservatórios de abastecimento.

ABSTRACT

The quality of surface water reflects the influence of various human activities associated with the population explosion. These activities end up generating conflicts that compromise natural resources. The Paraopeba River basin is compromised by several of these activities, with its environmental condition worsened by the rupture of Dam I, of the Córrego do Feijão mine, belonging to the mining company Vale SA, located in Brumadinho, in the Metropolitan Region of Belo Horizonte, in January 2019. In this context, to provide significant suggestions to planners and managers for better protection of water resources, the characterization of the Paraopeba River basin in its demographic, geographic, economic, social, and environmental aspects was carried out; the analysis of the relationship between the concentrations of pollutants in the hydrographic basin and the use and occupation of the soil, the identification of patterns of variation in water quality in the monitored watercourses, before and after the collapse of Dam I, and in the supply reservoirs, thus identifying the potential sources of pollution in the hydrographic basin. For the evaluations, statistical tools were applied, including non-parametric hypothesis tests. An index of compliance with the classification was used to compare the observed values of the water quality parameters with values recommended by the Joint Normative Deliberation COPAM/CERH-MG nº. 01/2008 for each classification class. In the period before the dam's failure, the Areias/Pedras stream, in the municipality of Betim, had the highest number of parameters with concentrations that violated the limits recommended in the legislation, being, therefore, the most impacted body of water in the Paraopeba river basin, mainly due to the discharge of domestic sewage. Regarding the impacts generated by the dam failure, it is noteworthy that the stations located just downstream of the dam rupture, in the municipalities of Brumadinho, São Joaquim de Bicas, and Betim were the most impacted, however, impacts can be observed throughout the trough of the river Paraopeba. The quality parameters that most violated the legal limits were: fecal contamination indicator, total manganese, and total phosphorus. The index values calculated for the rainy season were lower when compared to those obtained in the dry season, indicating a greater deterioration of water quality in the rainy season. Thus, this research contributes to the debate on the effect of the pressure of economic activities in hydrographic basins located in metropolitan regions and the environmental consequences influenced by human activities, bringing information about the most contaminated areas that need more attention and recovery actions and conservation so that the proposed framework be respected.

Keywords: water quality; dam failure; statistical tools; framework compliance index, supply reservoirs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Pontos de Monitoramento de Qualidade da Água Superficial da Rede Básica do Programa Águas de Minas em operação em 2018. 43

Figura 3.1: Subdivisão da bacia hidrográfica do rio Paraopeba em sub-bacias. 68

Figura 3.2: Estações pluviométricas inseridas na Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba. 69

Figura 3.3: Valores de precipitação acumulada (mm) por ano nas estações na bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 71

Figura 3.4: Precipitação média mensal (em mm), na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, de 2008 a 2019. 72

Figura 3.5: Estações fluviométricas inseridas na Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba. 73

Figura 3.6: Vazões médias mensais das estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Paraopeba (2008 a 2019). 73

Figura 3.7: Classes de solo da Bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 77

Figura 3.8: Unidades de conservação inseridas na Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba. 80

Figura 3.9: Sequência das rotinas executadas para delimitação das áreas de drenagem inseridas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba utilizando o QGis 3.4.12. 82

Figura 3.10: Evolução das classes de uso e ocupação do solo para o Alto, Médio e Baixo rio Paraopeba para os anos de 2008, 2014 e 2019. 87

Figura 3.11: Evolução do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Paraopeba em 2008 (à esquerda) e em 2019 (à direita). 89

Figura 3.12: Porcentagem de licenças ambientais vigentes de acordo com a tipologia da atividade na bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 92

Figura 3.13: Localização dos empreendimentos licenciados na Bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 93

Figura 3.14: Número de licenças concedidas por tipologia em cada região da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 94

Figura 3.15: Outorgas superficiais e subterrâneas cadastradas na Bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 96

Figura 3.16: Barragens de contenção de rejeitos localizadas na da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 98

Figura 3.17: Espalhamento do rejeito até a confluência com o rio Paraopeba – 29/01/2019 – Brumadinho - MG. 100

Figura 3.18: Densidade demográfica (hab/km^2) para os municípios da bacia hidrográfica do rio Paraopeba com base em dados do ano de 2010. 103

Figura 4.1: Localização das estações de monitoramento, local do rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão e delimitação dos trechos na bacia hidrográfica do rio Paraopeba e represa de Três Marias. 123

Figura 4.2: Sequência metodológica da avaliação da qualidade das águas superficiais das estações localizadas nos afluentes do rio Paraopeba. 127

Figura 4.3: Sequência metodológica da avaliação da qualidade das águas das estações localizadas na calha do rio Paraopeba. 128

Figura 4.4: Variabilidade dos parâmetros indicador de contaminação fecal (ICF), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total (P_T) e nitrogênio amoniacal total (NNH_4^+) nas estações de qualidade da água dos afluentes do rio Paraopeba no Alto Paraopeba de montante para jusante. 131

Figura 4.5: Variabilidade dos parâmetros ferro dissolvido (Fe_{diss}), manganês total (Mn_T), condutividade elétrica *in loco* (CE) e sólidos dissolvidos totais (SDT) nas estações de qualidade da água dos afluentes do rio Paraopeba no Alto Paraopeba de montante para jusante. 133

Figura 4.6: Variabilidade dos parâmetros fósforo total (P_T) e indicador de contaminação fecal (ICF) nas estações de qualidade da água dos afluentes do rio Paraopeba entre Brumadinho e Betim de montante para jusante..... 137

Figura 4.7: Variabilidade dos parâmetros cloreto total (Cl_T) e condutividade elétrica *in loco* (CE) nas estações de qualidade da água dos afluentes do rio Paraopeba entre Brumadinho e Betim de montante para jusante..... 138

Figura 4.8: Variabilidade dos parâmetros manganês total (Mn_T) e ferro dissolvido (Fe_{diss}) nas estações de qualidade da água dos afluentes do rio Paraopeba entre Betim e Esmeraldas de montante para jusante. 140

Figura 4.9: Variabilidade dos parâmetros indicador de contaminação fecal (ICF) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) considerando as estações de qualidade da água dos afluentes do rio Paraopeba entre Betim e Esmeraldas de montante para jusante. 141

Figura 4.10: Variabilidade dos parâmetros indicador de contaminação fecal (ICF) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) considerando as estações de qualidade da água dos afluentes do rio Paraopeba entre Esmeraldas e Pompéu, a montante da UHE Retiro Baixo de montante para jusante. 143

Figura 4.11: Variabilidade do parâmetro ferro dissolvido (Fe_{diss}) considerando as estações de qualidade da água da calha do rio Paraopeba que possuem monitoramento no período antes (2008-2018) e após (2019- 2021) o rompimento da Barragem I de montante para jusante... 147

Figura 4.12: Variabilidade dos parâmetros ferro total (Fe_T) e manganês total (MnT) considerando as estações de qualidade da água da calha do rio Paraopeba no período de 2019 a 2021 de montante para jusante. 147

Figura 4.13: Dendogramas da Análise de Agrupamento referentes ao período antes do rompimento (a) e após rompimento (b) da Barragem I, da mina Córrego do Feijão – 8 pontos de monitoramento e 40 parâmetros. 150

Figura 5.1: Localização geográfica do Reservatório de Serra Azul (à esquerda), Reservatório do Rio Manso (ao centro) e Reservatório de Vargem das Flores (à direita) e das estações de monitoramento da qualidade da água. 159

Figura 5.2: Localização das estações de monitoramento de qualidade das águas da COPASA nos reservatórios de Serra Azul, Rio Manso e Vargem das Flores. 163

Figura 5.3: Sequência das rotinas executadas para delimitação das áreas de drenagem das sub-bacias dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul utilizando o QGis 3.4.12. 165

Figura 5.4: Evolução do uso e cobertura do solo nas áreas de drenagem dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul, no ano inicial do estudo, 2003, e no final, 2019. 172

Figura 5.5: *Box plots* dos valores dos parâmetros condutividade elétrica (CE), cor, fósforo total (PT) e oxigênio dissolvido (OD) para as estações nos afluentes dos reservatórios Rio Manso, Vargem das Flores e Serra Azul. 177

Figura 5.6: *Box plots* dos valores dos parâmetros condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio amoniacal total ($N\text{-}NH_4^+$) e sólidos dissolvidos totais (SST) para as estações nos reservatórios Rio Manso, Vargem das Flores e Serra Azul nas profundidades Secchi e fundo. 181

Figura 5.7: Dendrograma da Análise de Agrupamento para o banco de dados dos reservatórios do Rio Manso (RM), Vargem das Flores (VF) e Serra Azul (SA), referente ao período de 2003 a 2019 para 11 parâmetros de qualidade de água e 11 classes de uso e cobertura do solo de 38 estações de monitoramento. 184

Figura 5.8: *Biplot* para as componentes CP1 e CP2 considerando os grupos formados na Análise de Agrupamento 189

Figura 6.1: Localização das estações de monitoramento de qualidade de água do Igam na bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 196

Figura 6.2: Sequência metodológica para a definição dos parâmetros para compor o índice CCME. 199

Figura 6.3: Percentual de violação aos limites legais dos parâmetros de qualidade água da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, considerando os dados no período de 2009 a 2020. 203

Figura 6.4: Frequência de ocorrência do CCME WQI Na bacia hidrográfica do rio Paraopeba para os biênios analisados. 208

Figura 6.5: Registro fotográfico das regiões (a) a montante e (b) a jusante da estação de monitoramento BP081 no município de Ibirité. 211

Figura 6.6: Índice CCME WQI, por estação do Alto Paraopeba no período de 2009 a 2020. 212

Figura 6.7: Índice CCME WQI, por estação do Médio Paraopeba no período de 2009 a 2020. 213

Figura 6.8: Índice CCME WQI, por estação do Baixo Paraopeba no período de 2009 a 2020. 215

Figura 6.9: Evolução temporal do CCME WQI na calha do rio Paraopeba. 217

Figura 6.10: Gráfico comparativo entre os valores de índice CCME WQI obtidos nos períodos seco e chuvoso nas estações de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 219

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Acumulados anuais de precipitação (mm) nas estações pluviométricas da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 70

Tabela 3.2: Classes de solos encontradas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 76

Tabela 3.3: Áreas de drenagem e áreas incrementais de cada estação de monitoramento da qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Paraopeba no âmbito do Programa "Águas de Minas" (estações em cinza estão localizadas no rio Paraopeba). 83

Tabela 3.4: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019. 86

Tabela 3.5: Consolidação do Cadastro de Outorgas. 96

Tabela 3.6: Áreas dos municípios pertencentes à bacia hidrográfica do rio Paraopeba e participação desses municípios na bacia. 101

Tabela 3.7: Dados do prestador de serviço e índice urbano de atendimento à água dos municípios da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 104

Tabela 3.8: Dados do prestador de serviço e índice de atendimento à coleta e tratamento de esgotos nos municípios da bacia hidrográfica do rio Paraopeba – Ano 2013. 106

Tabela 4.1: Nome, notação de referência, unidade, limite de detecção do método e valores máximos permitidos para cada classe de enquadramento dos parâmetros selecionados para análise na bacia hidrográfica do rio Paraopeba e represa de Três Marias. 124

Tabela 5.1: Nome, notação de referência, unidade e limites legais estabelecidos pela DN COPAM/CERH-MG nº 01/08 para a classe 1 de enquadramento dos parâmetros analisados nos reservatórios do Rio Manso, Serra Azul e Vargem das Flores. 164

Tabela 5.2: Percentual e área ocupada (km^2) pelas classes de uso e cobertura do solo na área de drenagem do reservatório de Vargem das Flores dos anos de 2003 a 2019. 169

Tabela 5.3: Percentual e área ocupada (km^2) pelas classes de uso e cobertura do solo na área de drenagem do reservatório do Rio Manso dos anos de 2003 a 2019. 170

Tabela 5.4: Percentual e área ocupada (km^2) pelas classes de uso e cobertura do solo na área de drenagem do reservatório de Serra Azul dos anos de 2003 a 2019. 171

Tabela 5.5: Carga fatorial dos 11 parâmetros de qualidade da água e 11 classes de uso e cobertura do solo nos dois primeiros componentes principais (CP), referentes aos grupos formados pela Análise de Agrupamento, nas sub-bacias dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul, no período de 2003 a 2019. 187

Tabela 5.6: Carga fatorial dos 11 parâmetros de qualidade da água e 11 classes de uso e cobertura do solo nos dois primeiros componentes principais (CP), referentes às estações isoladas na Análise de Agrupamento e, nas sub-bacias dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul, no período de 2003 a 2019. 188

Tabela 6.1: Descrição das estações de monitoramento de qualidade de água do Igam na bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 197

Tabela 6.2: Resultado da análise fatorial com as cargas obtidas para cada fator dos 26

parâmetros de qualidade da água avaliados na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, MG, no período de 2009 a 2020. 205

Tabela 6.3: Nome, notação de referência, unidade e valores máximos permitidos para as classes de enquadramento dos parâmetros selecionados para o cálculo do índice de qualidade da água. 205

Tabela 6.4: Nome, notação de referência, unidade e valores máximos permitidos para as classes de enquadramento dos parâmetros selecionados para o cálculo do índice de qualidade da água (Continuação). 206

Tabela 6.5: Índice CCME WQI por estação obtidos por biênio, aplicado ao banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 207

Tabela 6.6: Índice CCME WQI, por estação e período, aplicados ao banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 220

Tabela I.1: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP014 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba. 252

Tabela I.2: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP016 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba. 253

Tabela I.3: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP018 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba. 254

Tabela I.4: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP020 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba. 255

Tabela I.5: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP022 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba. 256

Tabela I.6: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP024 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba. 257

Tabela I.7: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP026 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba. 258

Tabela I.8: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP027 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba. 259

Tabela I.9: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP029 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba. 260

Tabela I.10: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP032 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba. 261

Tabela I.11: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP079 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba. 262

Tabela I.12: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP080 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba. 263

Tabela I.13: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP084 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba. 264

Tabela I.14: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da

BP036 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 265
Tabela I.15: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP066 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 266
Tabela I.16: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP068 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 267
Tabela I.17: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP069 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 268
Tabela I.18: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP070 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 269
Tabela I.19: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP071 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 270
Tabela I.20: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP072 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 271
Tabela I.21: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP073 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 272
Tabela I.22: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP074 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 273
Tabela I.23: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP075 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 274
Tabela I.24: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP076 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 275
Tabela I.25: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP081 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 276
Tabela I.26: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP082 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 277
Tabela I.27: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP085 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 278

Tabela I.28: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP086 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 279

Tabela I.29: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP088 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 280

Tabela I.30: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP090 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 281

Tabela I.31: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP092 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 282

Tabela I.32: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP094 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 283

Tabela I.33: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP096 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba. 284

Tabela I.34: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP078 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Baixo Paraopeba. 285

Tabela I.35: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP083 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Baixo Paraopeba. 286

Tabela I.36: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP098 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Baixo Paraopeba. 287

Tabela I.37: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP099 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Baixo Paraopeba. 288

Tabela II.1: Barragens de mineração localizadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba no ano de 2020. 290

Tabela III.1: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro alumínio dissolvido (mg/L Al). 295

Tabela III.2: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro arsênio total (mg/L As).....296

Tabela III.3: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro bário total (mg/L Ba). 297

Tabela III.4: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro boro total (mg/L B). 298

Tabela III.5: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica

do rio Paraopeba para o parâmetro cádmio total (mg/L).....299

Tabela III.6: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro cálcio total (mg/L Ca).....300

Tabela III.7: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro chumbo total (mg/L Pb). 301

Tabela III.8: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro cloreto total (mg/L Cl).....302

Tabela III.9: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro clorofila *a* (µg/L). 303

Tabela III.10: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro cobre dissolvido (mg/L Cu).....304

Tabela III.11: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro condutividade elétrica (µmho/cm). 305

Tabela III.12: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro cor verdadeira (UPt). 306

Tabela III.13: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro cromo total (mg/L Cr). 307

Tabela III.14: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro demanda bioquímica de oxigênio (mg/L O_2). 308

Tabela III.15: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro demanda química de oxigênio (mg/L O_2). 309

Tabela III.16: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro dureza total (mg/L $CaCO_3$).....310

Tabela III.17: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro feoftina a (µg/L). 311

Tabela III.18: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro ferro dissolvido (mg/L Fe). 312

Tabela III.19: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro ferro total (mg/L Fe).....313

Tabela III.20: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro fósforo total (mg/L P).....314

Tabela III.21: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro indicador de contaminação fecal (NMP/100 mL). 315

Tabela III.22: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro magnésio total (mg/L Mg).....316

Tabela III.23: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro manganês total (mg/L Mn). 317

Tabela III.24: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro mércurio total (mg/L Hg). 318

Tabela III.25: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro níquel total (mg/L Ni).....319

Tabela III.26: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro nitrato (mg/L N). 320

Tabela III.27: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro nitrito (mg/L N). 321

Tabela III.28: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro nitrogênio amoniacal total (mg/L N). 322

Tabela III.29: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro nitrogênio orgânico (mg/L N). 323

Tabela III.30: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro oxigênio dissolvido (mg/L O_2). 324

Tabela III.31: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro pH. 325

Tabela III.32: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro potássio dissolvido (mg/L K). 326

Tabela III.33: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro sódio dissolvido (mg/L Na). 327

Tabela III.34: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro sólidos dissolvidos totais (mg/L).....328

Tabela III.35: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro sólidos em suspensão totais (mg/L). 329

Tabela III.36: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro sólidos totais (mg/L).....330

Tabela III.37: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro substâncias tensoativas (mg/L LAS). 331

Tabela III.38: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro sulfato total (mg/L SO_4). 332

Tabela III.39: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro temperatura da água (ºC). 333

Tabela III.40: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro turbidez (UNT). 334

Tabela III.41: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro zinco total (mg/L Zn). 335

Tabela III.42: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Alto Paraopeba, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas). 336

Tabela III.43: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que

indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Brumadinho e Betim, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas).....345

Tabela III.44: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Betim e Esmeraldas, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas).....354

Tabela III.45: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Esmeraldas e Pompéu, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas).....361

Tabela III.46: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre os grupos formados na análise de agrupamentos no período antes do rompimento da barragem I, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas). 363

Tabela III.47: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre os grupos formados na análise de agrupamentos no período depois do rompimento da barragem I, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas). 364

Tabela IV.1: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro acidez total (mg/L).....367

Tabela IV.2: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro condutividade elétrica (µnho/cm).....368

Tabela IV.3: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro cor verdadeira (mg/L Pt).....369

Tabela IV.4: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro nitrogênio amoniacal total (mg/L N). 370

Tabela IV.5: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro oxigênio dissolvido (mg/L O_2). 371

Tabela IV.6: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro pH. 372

Tabela IV.7: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro fósforo total (mg/L P).....373

Tabela IV.8: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de

Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro sólidos dissolvidos totais (mg/L). 374

Tabela IV.9: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro sólidos em suspensão totais (mg/L). 375

Tabela IV.10: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro sólidos totais (mg/L). 376

Tabela IV.11: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro turbidez (UNT). 377

Tabela IV.12: Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados entre as profundidades Secchi e Fundo, ao nível de significância de 5% das estações localizadas nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso. 378

Tabela IV.13: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre os afluentes, ao nível de significância de 5%, das estações localizadas nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.). 379

Tabela IV.14: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro Acidez total (mg/L), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso. 381

Tabela IV.15: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro condutividade elétrica (µnho/cm), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso. 384

Tabela IV.16: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro cor verdadeira (mg/L Pt), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso. 385

Tabela IV.17: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro nitrogênio amoniacal total (mg/L N), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso. 386

Tabela IV.18: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro oxigênio dissolvido (mg/L O_2), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso. 387

Tabela IV.19: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro pH, entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio

Manso. 388

Tabela IV.20: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro fósforo total (mg/L P), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso..... 389

Tabela IV.21: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro sólidos dissolvidos totais (mg/L), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso. 390

Tabela IV.22: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro sólidos em suspensão totais (mg/L), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso. 391

Tabela IV.23: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro sólidos totais (mg/L), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso..... 392

Tabela IV.24: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro turbidez (UNT), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso. 393

Tabela IV.25: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, na profundidade Fundo, ao nível de significância de 5%, das estações localizadas nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas)..... 394

Tabela IV.26: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro Acidez total (mg/L), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Fundo. 396

Tabela IV.27: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro condutividade elétrica (µnho/cm), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Fundo. 397

Tabela IV.28: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro cor verdadeira (mg/L Pt), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Fundo. 398

Tabela IV.29: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro nitrogênio amoniacal total (mg/L N), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Fundo. 399

Tabela IV.30: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao

nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro oxigênio dissolvido (mg/L O_2), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Fundo. 400

Tabela IV.31: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro pH, entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Fundo. 401

Tabela IV.32: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro sólidos dissolvidos totais (mg/L), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Fundo. 402

Tabela IV.33: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro sólidos em suspensão totais (mg/L), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Fundo. 403

Tabela IV.34: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro sólidos totais (mg/L), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Fundo. 404

Tabela IV.35: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro turbidez (UNT), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Fundo. 405

Tabela IV.36: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, na profundidade Secchi, ao nível de significância de 5%, das estações localizadas nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso. 406

Tabela IV.37: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro Acidez total (mg/L), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Secchi. 407

Tabela IV.38: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro condutividade elétrica (µnho/cm), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Secchi. 408

Tabela IV.39: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro nitrogênio amoniacal total (mg/L N), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Secchi. 409

Tabela IV.40: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro oxigênio dissolvido (mg/L O_2), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Secchi. 410

Tabela IV.41: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro pH, entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Secchi. 411

Tabela IV.42: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro sólidos dissolvidos totais (mg/L), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Secchi. 412

Tabela IV.43: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro sólidos em suspensão totais (mg/L), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Secchi. 413

Tabela IV.44: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro sólidos totais (mg/L), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Secchi. 414

Tabela IV.45: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro turbidez (UNT), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade Secchi. 415

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Desastres em barragens de mineração em Minas Gerais.....49

Quadro 2.2: Trabalhos de avaliação dos dados de monitoramento da qualidade das águas, empregando técnicas estatísticas multivariadas. 56

Quadro 2.3: Trabalhos de avaliação da qualidade das águas, empregando o Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente - CCME WQI. 62

Quadro 3.1: Informações gerais sobre as fontes de dados utilizadas. 65

Quadro 3.2: Classes de uso e ocupação do solo identificadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba.....82

Quadro 3.3: Determinação da classe do empreendimento a partir do potencial poluidor/degradador da atividade e do porte. 91

Quadro 3.4: Destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) dos municípios da bacia hidrográfica do rio Paraopeba – 2018.....110

Quadro 3.5: Síntese dos principais resultados por região da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. 113

Quadro 4.1: Descrição das estações de monitoramento de qualidade de água do Igam na bacia hidrográfica do rio Paraopeba e na represa de Três Marias. 121

Quadro 5.1: Estações de monitoramento da qualidade da água no Reservatório Vargem das Flores. 161

Quadro 5.2: Estações de monitoramento da qualidade da água no Reservatório Rio Manso.162

Quadro 5.3: Estações de monitoramento da qualidade da água no Reservatório Serra Azul. 162

Quadro 5.4: Classes de uso e cobertura do solo identificadas nas sub-bacias dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul.....166

Quadro 5.5: Grupos formados pela Análise de Agrupamento das estações de monitoramento de qualidade da água dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul, no período de 2003 a 2019.....182

Quadro III.1: Parâmetros com concentrações significativamente diferentes quando comparados o período antes e após o rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão por estação de monitoramento.....365

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Análise de Agrupamentos
ACP	Análise de Componentes Principais
AD	Análise Discriminante
AF	Análise Fatorial
AIQ	Amplitude Interquartis
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANM	Agência Nacional de Mineração
APA	Área de Proteção Ambiental
APE	Área de Proteção Especial
CCME WQI	Índice de Qualidade da Água do *Canadian Council of Ministers of Environment*
CENAD	Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CH	Circunscrição Hidrográfica
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
Codemig	Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
DCE	Declaração de Condição de Estabilidade
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
ESEC	Estação Ecológica Estadual
FAC	Função de Autocorrelação
FLOE	Floresta Estadual
FLONA	Floresta Nacional
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - *IBGE*
IDE-Sisema	Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Igam	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IQA	Índice de Qualidade da Água
KW	Kruskal-Wallis
LDM	Limite de Detecção do Método
GPS	*Global Positioning System*
MAD	Desvio Absoluto Mediano
MK	Mann-Kendall
MONA	Monumento Natural
NSF-WQI	Índice da Fundação Nacional de Saneamento
O-WQI	Índice de Qualidade da Água do Oregon
PAR	Parque
PCD	Plataformas de coleta de dados
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
REBIO	Reserva Biológica
RBSE	Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço
RBMA	Reserva da Biosfera da Mata Atlântica
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
RNQA	Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SMM	Sazonal Mann-Kendall
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SRTM	*Shuttle Radar Topography Mission*

UF	Unidade da Federação
WFD	*Water Framework Directive*

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO 31

1.1 Contextualização e justificativa 32

1.2 Hipóteses 34

1.3 Objetivos 35

1.3.1 Objetivo Geral 35

1.3.2 Objetivos Específicos 35

2. CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 36

2.1 Gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas 37

2.1.1 Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos 37

2.1.2 Rede de monitoramento dos recursos hídricos 40

Rede de monitoramento da qualidade das águas no estado de Minas Gerais 42

2.2 Pressões antrópicas na qualidade das águas superficiais em bacias hidrográficas 43

2.2.1 Mineração e qualidade da água 45

2.3 Análise estatística na avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas 51

2.3.1 Testes de hipóteses não paramétricos 51

2.3.2 Técnicas estatísticas multivariadas 53

2.4 Índices de Qualidade da Água 59

2.4.1 Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente - CCME WQI 59

3. CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAOPEBA 63

3.1 Aspectos do clima, dados pluviométricos e fluviométricos da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba 67

3.2 Caracterização geológica, geomorfológica e pedológica da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba 75

3.3 Unidades de conservação da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba 78

3.4 Uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba 81

3.5 Atividades licenciadas e outorgas concedidas na Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba 91

3.6 Barragens de contenção de rejeitos na Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba 97

3.7 Caracterização socioeconômica da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba 100

3.7.1 Dados demográficos 100

3.7.2 Infraestrutura de saneamento 102

3.8 Gerenciamento dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba 111

3.9 Conclusões 114

4. CAPÍTULO 4: ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAOPEBA 116

4.1 Introdução 117

4.2 Metodologia 119

4.2.1 Dados de monitoramento da qualidade da água 119

4.2.2 Avaliação das violações aos limites preconizados pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 126
4.2.3 Avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Paraopeba 126
4.2.3.1 Avaliação da qualidade das águas superficiais dos afluentes do rio Paraopeba..... 127
4.2.3.2 Avaliação da qualidade das águas superficiais na calha do rio Paraopeba 128
4.2.4 Avaliação da qualidade das águas do ribeirão dos Gomes e da represa de Três Marias..... 130
4.3 Resultados..... 130
4.3.1 Avaliação da qualidade das águas superficiais dos afluentes do rio Paraopeba.. 130
4.3.1.1 Afluentes do rio Paraopeba na região do Alto Paraopeba 130
4.3.1.2 Afluentes do rio Paraopeba localizados na região entre Brumadinho e Betim.... 135
4.3.1.3 Afluentes do rio Paraopeba localizados na região entre Betim e Esmeraldas..... 138
4.3.1.4 Afluentes do rio Paraopeba localizados entre Esmeraldas e Pompéu, a montante da UHE Retiro Baixo 142
4.3.2 Avaliação da qualidade das águas superficiais na calha do rio Paraopeba 144
4.3.3 Avaliação da qualidade das águas do ribeirão dos Gomes e da represa de Três Marias..... 151
4.4 Conclusões..... 152

5. CAPÍTULO 5: IMPACTO DO USO E COBERTURA DO SOLO NA QUALIDADE DA ÁGUA DAS SUB-BACIAS DOS RESERVATÓRIOS DO SISTEMA PARAOPEBA..... 154
5.1 Introdução..... 155
5.2 Metodologia..... 158
5.2.1 Área de estudo..... 158
5.2.2 Dados de monitoramento de qualidade da água..... 161
5.2.3 Dados e análises de uso e cobertura do solo 164
5.3 Resultados e discussão..... 167
5.3.1 Dados e análises de uso e cobertura do solo 167
5.3.2 Análises estatísticas..... 174
5.3.3 Agrupamento hieráquico..... 182
5.3.4 Análise por Compontentes Principais 185
5.4 Conclusões..... 190

6. CAPÍTULO 6: AVALIAÇÃO DO ENQUADRAMENTO DOS CURSOS DE ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAOPEBA..... 192
6.1 Introdução..... 193
6.2 Metodologia..... 195
6.2.1 Área de estudo..... 195
6.2.2 Organização dos dados para aplicação do Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME WQI) associado à Análise Fatorial 198
6.2.3 Cálculo do Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME WQI)..... 200

6.3 Resultados e discussão *202*
6.3.1 Organização dos dados para o cálculo do CCME WQI 202
6.3.2 Cálculo do índice CCME WQI 207
6.3.3 Índice CCME WQI por regiões da bacia hidrográfica do rio Paraopeba 212
6.3.4 Avaliação do índice CCME WQI considerando o período climático 219
6.4 Conclusão *221*
7. CAPÍTULO 7: CONSIDERAÇÕES FINAIS **223**
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **226**
APÊNDICE I **251**
APÊNDICE II **289**
APÊNDICE III **294**
APÊNDICE IV **366**
ANEXO I **416**
ANEXO II **419**

APRESENTAÇÃO

A Tese foi dividida em sete capítulos denominados: Capítulo I - Introdução; Capítulo II - Fundamentação Teórica; Capítulo III – Caracterização da bacia hidrográfica do rio Paraopeba; Capítulo IV – Análise da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Paraopeba; Capítulo V - Impacto do uso e cobertura do solo na qualidade da água das sub-bacias dos reservatórios do Sistema Paraopeba; Capítulo VI - Aplicação do Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME WQI) para a avaliação do enquadramento dos cursos de água da bacia hidrográfica do rio Paraopeba e Capítulo VII – Considerações finais.

O Capítulo I visa contextualizar a tese, apresentando o problema da poluição dos cursos de água superficiais, principalmente na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, foco do estudo. Além disso, apresenta as hipóteses do trabalho, os objetivos e a relevância da pesquisa. O Capítulo II apresenta a Fundamentação Teórica sobre o gerenciamento de recursos hídricos e as principais pressões antrópicas na qualidade das águas superficiais em bacias hidrográficas, além de apresentar como a utilização de análises estatísticas e dos Índices de Qualidade da Água contribuem para a avaliação de dados de monitoramento da qualidade das águas. Os Capítulos III, IV, V e VI referem-se a cada objetivo específico apresentado na Tese.

O Capítulo III aborda a caracterização da bacia hidrográfica do rio Paraopeba em seus aspectos demográficos, geográficos, econômicos, sociais e ambientais. No Capítulo IV, é apresentada uma avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, identificando as principais pressões sofridas pelos corpos d´água e as áreas mais impactadas ao longo dos anos de monitoramento não somente pelo rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão, da empresa Vale, localizada em Brumadinho, mas também pelas demais atividades econômicas e pelo crescimento demográfico da região.

O Capítulo V apresenta uma caracterização das tendências espaciais da qualidade da água nos reservatórios Rio Manso, Vargem das Flores e Serra Azul, importantes para o armazenamento, captação, tratamento e distribuição de água para consumo na Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH. O Capítulo VI, por sua vez, apresenta uma aplicação do Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME WQI) para a avaliação do enquadramento dos cursos de água da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, a fim de detalhar as condições dos corpos d´água da bacia em relação ao enquadramento vigente e identificar os cursos de água que necessitam de maior controle. Finalmente, no Capítulo VII são apresentadas as considerações finais do estudo realizado.

CAPÍTULO 1:
INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e justificativa

A qualidade das águas superficiais pode ser alterada por fatores naturais ou antrópicos. A explosão demográfica e os conflitos relacionados ao uso do solo comprometem os recursos naturais, exigindo uma gestão integrada dos recursos hídricos, solo, cobertura vegetal, biodiversidade e saneamento.

As bacias hidrográficas localizadas em regiões metropolitanas estão submetidas a pressões antrópicas variadas que decorrem da complexidade social e da dinâmica de atividades econômicas, além disso as mudanças climáticas e as alterações de uso do solo e seus impactos sobre os recursos naturais são fatores agravantes. Essas bacias geralmente são dotadas de reservatórios que se constituem em mananciais estratégicos para o abastecimento de água das grandes cidades. Desta forma, torna-se imprescindível o conhecimento das características físicas, bióticas e sociais da bacia para realizar a análise e o planejamento ambiental.

A elaboração de um diagnóstico ambiental envolve caracterizar e interpretar a situação da bacia hidrográfica, a partir da interação e entendimento da dinâmica de seus componentes físicos, biológicos e socioeconômicos (FONTANELLA *et al*., 2009). Esse diagnóstico, pode ser utilizado no controle e conservação do meio ambiente, de modo a fornecer conhecimento suficiente para identificar e avaliar os impactos antrópicos.

Uma atividade de extrema importância para esses diagnósticos ambientais é o monitoramento da qualidade das águas superficiais, pois seus resultados possibilitam melhor conhecimento da situação da qualidade das águas e das principais alterações ocorridas ao longo do tempo (SANDERS, 1983). Para facilitar a interpretação de dados de monitoramento, técnicas estatísticas e índices de qualidade podem ser aplicados de modo a permitir uma melhor compreensão das variações temporais e espaciais da qualidade da água, contribuir para identificação de possíveis fontes (SIMEONOV *et al*., 2003; WUNDERLIN *et al*., 2001) e a facilitar a interpretação geral dos dados (CUDE, 2001).

A bacia hidrográfica do rio Paraopeba, foco da presente pesquisa, integra a região do Alto Rio São Francisco, sendo responsável pela movimentação de parte expressiva da economia do estado de Minas Gerais, destacam-se as atividades relacionadas com mineração e siderurgia (COBRAPE, 2018) e pelo abastecimento de 47% da população da região metropolitana de Belo Horizonte (ARSAE 2013). Devido à relevância da bacia hidrográfica é de extrema importância conhecer a dinâmica e as alterações ocorridas na bacia, visando efetuar uma análise

aprofundada da qualidade da água e de sua relação com o uso e ocupação do solo.

As atividades minerárias na bacia têm mostrado um risco muito elevado para o ecossistema em geral, uma vez que a presença de barragens de rejeito e o risco constante de rompimento podem gerar danos ao meio ambiente, além da perda de serviços essenciais, como o abastecimento e a pesca. Em 25 de janeiro de 2019, aconteceu o rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão, localizada em Brumadinho, na RMBH, pertencente à mineradora Vale S.A. Desde então, programas de monitoramento emergenciais e especiais têm sido efetuados por vários órgãos públicos e pela empresa responsável pelo empreendimento na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, a fim de analisar os impactos causados pelo rompimento e as alterações da qualidade das águas.

Uma vez que a qualidade da água varia de acordo com diversos fatores como localização, clima e presença de fontes de poluição, é fundamental compreender a relação entre o uso do solo e a qualidade da água superficial para garantir o fornecimento de água para os usos múltiplos nas bacias hidrográficas.

Portanto, é necessária a análise conjunta dos dados de monitoramento com a avaliação do uso e ocupação do solo e das características físicas, bióticas e sociais para realizar a identificação e avaliação das fontes poluidoras que podem ter impacto direto na qualidade das águas de uma bacia hidrográfica. Assim, obtém-se informações relevantes para o planejamento, monitoramento e gerenciamento dos recursos hídricos, para que as mudanças geradas pelas atividades antrópicas atendam à crescente demanda humana mas sem comprometer a qualidade da água (HUA, 2017).

Diante desse contexto, esta pesquisa colabora para o debate sobre o efeito da pressão das atividades econômicas em bacias hidrográficas situadas em regiões metropolitanas, como é o caso da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, e das consequências ambientais influenciadas pelas atividades antrópicas, podendo indicar as áreas mais contaminadas e que necessitam de maior atenção e ações de recuperação e conservação.

Neste trabalho foi realizado o levantamento das características físicas e socioeconômicas da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para compreender a situação da bacia e a interação entre seus componentes. A análise das concentrações de poluentes na bacia com posterior estudo de correlação com o uso e ocupação do solo foi realizada para verificar o impacto do uso e da ocupação do solo na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Paraopeba e nos

reservatórios de Serra Azul, Rio Manso e Vargem das Flores.

Finalmente, foi proposta a utilização de um índice a fim de aprofundar o entendimento dos problemas da qualidade da água. O Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente - CCME WQI tem boa flexibilidade na seleção de parâmetros de qualidade da água e mostra ampla adaptabilidade para avaliar a conformidade da qualidade da água com o enquadramento de rios, lagos e reservatórios. Foi desenvolvido para o acompanhamento da qualidade de água em relação às metas de enquadramento e, portanto, permite um acompanhamento da eficiência das ações implantadas na bacia.

Outra aplicação possível para a ACP é no auxílio na escolha dos parâmetros a serem incluídos nos cálculos do Índice de Qualidade da Água do *Canadian Council of Ministers of Environment* (CCME WQI) identificando quais foram realmente correlacionados e quais foram os responsáveis pela maior parte da variância observada nos dados da qualidade da água (MOSTAFAEI, 2014).

Sendo assim, a análise integrada de todas essas informações permite uma visão holística de toda a bacia hidrográfica do rio Paraopeba, resultando em uma importante ferramenta de gerenciamento das atividades desenvolvidas na bacia e seus reservatórios, subsidiando a tomada de decisões para a gestão dos recursos hídricos.

Todas os dados apresentados foram obtidos em plataformas de acesso à informação públicas e gratuitas, além disso todos os *softwares* utilizados nas análises também são gratuitos, possibilitando assim a replicabilidade do desenvolvimento da pesquisa para outras bacias.

1.2 Hipóteses

São hipóteses do presente estudo:

É necessário o aprofundamento das análises dos dados monitorados na bacia hidrográfica como forma de aprimoramento da gestão dos recursos hídricos.

A análise integrada dos dados de monitoramento de qualidade da água de todos os cursos d'água pertencentes a uma bacia hidrográfica juntamente com informações das atividades econômicas, uso e ocupação do solo e aspectos socioambientais fornece o conhecimento necessário para sua gestão.

O rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão, da empresa Vale, localizada em Brumadinho, é um fator agravante da qualidade da água em toda a bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

A utilização do índice CCME WQI é uma ferramenta de comunicação para os gestores públicos, que pode contribuir para a identificação dos locais onde as ações mais urgentes devem ser efetuadas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise integrada entre os dados de monitoramento de qualidade da água, uso e ocupação do solo, atividades econômicas e infraestrutura de saneamento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para identificar os diferentes impactos presentes e fornecer subsídios para a gestão dos recursos hídricos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a bacia hidrográfica do rio Paraopeba em seus aspectos demográficos, geográficos, econômicos, sociais e ambientais;

- Avaliar a qualidade da água superficial da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, determinando as estações de amostragem mais impactadas e os parâmetros mais relevantes;

- Aplicar o Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME WQI) para a bacia hidrográfica do rio Paraopeba e avaliar a qualidade da água pela variabilidade do índice de conformidade ao enquadramento por ano de monitoramento e nos períodos seco e chuvoso;

- Caracterizar as tendências espaciais dos parâmetros de qualidade de água monitorados nas sub-bacias dos reservatórios Rio Manso, Vargem das Flores e Serra Azul;

- Identificar as fontes de poluição nos reservatórios Rio Manso, Vargem das Flores e Serra Azul, relacionando as variáveis de qualidade de água com o uso e cobertura do solo.

CAPÍTULO 2:
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas

2.1.1 Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos

A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). O sistema de gestão de recursos hídricos brasileiro, definido pela PNRH, adota instrumentos de planejamento (plano nacional e planos estaduais de recursos hídricos, planos diretores de bacias e enquadramento dos corpos d'água segundo seus usos preponderantes), de regulação do uso dos recursos hídricos (outorga do direito de uso dos recursos hídricos), econômico (cobrança pelo uso), e de base de informação necessária à gestão, o sistema de informações sobre recursos hídricos.

Esses instrumentos referem-se essencialmente ao uso da água e buscam assegurar objetivos, segundo a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, relacionados à disponibilidade hídrica com padrões de qualidade compatíveis com seus usos atuais e futuros, ao uso racional dos recursos hídricos e a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos, notadamente as cheias e as secas prolongadas (BRASIL, 1997).

Os Planos de Recursos Hídricos visam fundamentar e orientar a implementação da PNRH e o gerenciamento dos recursos hídricos. São planos de longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos. Contemplam (i) diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos, (ii) análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo, (iii) balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais, (iv) metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis, (v) medidas a serem tomadas, programas a serem desenvolvidos e projetos a serem implantados, para o atendimento das metas previstas, (vi) prioridades para outorga de direitos de uso de recursos hídricos, (vii) diretrizes e critérios para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e (viii) propostas para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

O enquadramento visa assegurar a qualidade de água compatível com os usos mais exigentes e diminuir os custos de combate à poluição da água, mediante ações preventivas permanentes, segundo o Art. 9º da Lei Federal nº 9433/1997. Esse instrumento, deve estar baseado não somente na condição de qualidade atual das águas, mas nos níveis que essas deveriam possuir

para atender aos usos preponderantes da comunidade. Assim, representa uma visão prospectiva da bacia hidrográfica, permitindo traçar planos de ação escalonados, desde diretrizes e orientações de cunho amplo até ações específicas localizadas (BRASIL, 1997).

Deste modo, o enquadramento é uma valiosa ferramenta de planejamento que permite articular os aspectos de quantidade e qualidade dos recursos hídricos, pois ao se conhecer e/ou definir o uso preponderante da água, naturalmente estão sendo estabelecidas as respectivas condições e padrões de qualidade que darão sustentação a esse uso. O processo de enquadramento deve contar com a participação da comunidade da bacia hidrigráfica, por meio da realização de consultas públicas, encontros técnicos ou oficinas de trabalho (BRASIL, 2008).

A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e foi complementada pela Resolução CONAMA nº 430 de 13/05/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Na legislação, as águas doces são classificadas em cinco diferentes classes (classe especial, 1, 2, 3 e 4) para as quais são definidos usos múltiplos como abastecimento para consumo humano, preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas, preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário e secundário, irrigação, aquicultura e atividade de pesca, dessedentação de animais, navegação e harmonia paisagística (BRASIL, 2005, 2011).

No caso das águas doces superficiais de domínio do estado de Minas Gerais, a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como as condições e padrões para lançamento de efluentes, são estabelecidas pela Deliberação Normativa Conjunta do Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008 (MINAS GERAIS, 2008).

Os procedimentos para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos foram estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH nº 91, de 05 de novembro de 2008 (BRASIL, 2008). O processo de elaboração do enquadramento é dividido em quatro etapas principais: diagnóstico, prognóstico, propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento e programa para efetivação. O enquadramento deve ser entendido enquanto um processo cíclico no qual, periodicamente, as metas devem ser reavaliadas e ajustadas.

Há uma clara interação do enquadramento com os demais instrumentos da Política de Recursos Hídricos, no âmbito Federal e Estadual, majoritariamente com o Plano de Recursos Hídricos, Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e Cobrança pelo uso de recursos hídricos. No que se refere à vinculação com o Plano de Recursos Hídricos, o enquadramento é mencionado pela ANA (2007), como um processo que envolve um extenso diagnóstico da bacia hidrográfica para determinar os usos atuais e futuros associados à vocação e às características sócio-econômico-culturais da região, além de estudos hidrológicos envolvendo a quantidade e a qualidade da água. Portanto, é essencial que as propostas de enquadramento, quando possível, estejam incluídas na elaboração de todos os Planos de Bacia.

Segundo Rodrigues (2005), na gestão adequada dos processos de outorga e cobrança pelos usos da água, que indiscutivelmente deve focalizar a quantidade e a qualidade, é necessário considerar de forma articulada o enquadramento em classes de uso, o regime de vazão e a capacidade de autodepuração do corpo hídrico.

Do mesmo modo, é relevante enfatizar a ligação do enquadramento com o licenciamento ambiental. Os órgãos ambientais deverão definir a carga poluidora máxima para o lançamento, de forma que as metas progressivas definidas no enquadramento do corpo hídrico não fiquem comprometidas. Considera-se que para o alcance do enquadramento, é necessário um planejamento eficaz, pautado na definição de metas realizáveis, na correta priorização de ações e na otimização de investimentos. À tradicional abordagem do licenciamento ambiental focada exclusivamente no comando e controle, ou seja, verificação do atendimento ao padrão de lançamento e aplicação de penalidade e multa, deve-se incorporar os instrumentos da Política de Recursos Hídricos, especialmente o Enquadramento, Outorga e Cobrança, além de considerar a participação dos diversos atores sociais de cada unidade hidrográfica, tanto no processo inicial como no seu acompanhamento.

Essa visão contemporânea está explicitada na Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, relativa às diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, que dentre seus princípios fundamentais especifica a utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários, a adoção de soluções graduais e progressivas, e a integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos (BRASIL, 2007).

Num enfoque mais amplo verifica-se uma forte interconexão entre o enquadramento e o uso e a ocupação do solo, implicando automaticamente em interface com os planos diretores

municipais, planos de saneamento básico, planos de desenvolvimento e planos setoriais.

O Estado de Minas Gerais possui 36 Circunscrições Hidrográficas (CH) e sete bacias denominadas Rios do Leste, que são rios de domínio da União que não constituem CH no estado de Minas Gerais. Pode-se considerar a gestão dos recursos hídricos avançada em relação ao número de Planos Diretores de Recursos Hídricos elaborados para as bacias hidrográficas. Até 2021, encontram-se em vigor 33 Planos Diretores de Recursos Hídricos - PDRH concluídos e três em elaboração, contribuindo para o conhecimento e planejamento das ações a serem desenvolvidas nas bacias (IGAM, 2021).

Em relação ao Enquadramento dos Corpos d´água, apenas oito CHs possuíam Deliberação Normativa estabelecendo o enquadramento das bacias hidrográficas. Sendo que seis tiveram o enquadramento estabelecido na década de 90, anteriores à Resolução CNRH nº 91/2008, que determina que os corpos de água enquadrados antes da publicação da Resolução deverão ser objeto de adequação aos atuais procedimentos (BRASIL, 2008). Desta forma, é fundamental a atualização dos enquadramentos aprovados e a realização de estudos para a elaboração do enquadramento das demais bacias hidrográficas.

2.1.2 Rede de monitoramento dos recursos hídricos

O desenvolvimento econômico e o crescimento populacional acelerado geram situações de conflito e escassez dos recursos hídricos por todo o planeta. A água é um elemento vital para esse progresso, além de ser essencial à sobrevivência dos seres vivos. Conhecer a quantidade e a qualidade das águas é uma forma de definir estratégias que busquem a conservação, a recuperação e o uso racional dos recursos hídricos, reduzindo os conflitos e direcionando as atividades econômicas (BILGIN; KONANÇ, 2016; DA COSTA *et al.*, 2017; MAVUKKANDY; KARMAKAR; HARIKUMAR, 2014; SIMEONOV *et al.*, 2003; WANG *et al.*, 2017).

O monitoramento hidrológico é realizado para fornecer informações, ao longo do tempo, sobre a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos em todo o território nacional. Grande parte do monitoramento ocorre em estações pluviométricas e fluviométricas da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). De acordo com ANA (2020a), a RHN possuía em 2019 mais de 23 mil estações sob responsabilidade de várias entidades. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA gerencia diretamente 4.807 estações sendo 2.808 pluviométricas e 1.999 estações fluviométricas.

O acesso aos dados e informações do monitoramento ocorre pelo Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb), vinculado ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)(ANA, 2020a). Esta rede monitora parâmetros básicos de qualidade, por meio de sondas multiparamétricas, tais como pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), turbidez e condutividade elétrica *in loco*. Por sua vez, as redes de monitoramento mantidas pelas UFs operam de forma independente, e produzem informações essenciais com frequências de coletas e conjuntos de parâmetros próprios, que demandam análises laboratoriais. Estas redes estão sendo integradas a uma Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água (RNQA) por meio do programa Qualiágua, que apoia a implantação, operação e manutenção de pontos de monitoramento identificados como de interesse nacional (ANA, 2018).

De acordo com a ANA (2018), 19 das 27 UFs do Brasil realizam o monitoramento de suas águas superficiais, totalizando mais de 2.700 pontos de monitoramento ativos de avaliação da qualidade. Considerando todo território nacional, isto representa aproximadamente uma densidade de 0,32 ponto para cada 1.000 km². Outros países apresentam densidades maiores, como o Canadá, com densidade de 0,8/1.000 km^2 (ANA, 2012).No entanto, é importante destacar que nem todos os Estados brasileiros têm condições de monitorar a qualidade de suas águas, seja pelos elevados custos da logística envolvida, seja pela ausência de pessoal capacitado, sendo que a maior parte de pontos de monitoramento estão na Região Sudeste.

A qualidade da água superficial e subterrânea é condicionada por variáveis naturais ligadas, por exemplo, ao regime de chuvas, escoamento superficial, geologia e cobertura vegetal, e por impactos antrópicos, como o lançamento de efluentes, provenientes de fontes pontuais e fontes difusas, o manejo dos solos, entre outros (ANA, 2018). Estudos demonstram a importância de se considerar o uso do solo na avaliação da qualidade da água e, portanto, redes de monitoramento bem equipadas e gerenciadas são fundamentais para que as complexas relações entre fontes de poluição e parâmetros de qualidade da água sejam identificadas (DIAMANTINI *et al.*, 2018; MENESES *et al.*, 2015; TRAN *et al.*, 2010).

De acordo com Strobl e Robillard (2008), uma metodologia padronizada para o projeto de redes de monitoramento é essencial para garantir uma abordagem de gerenciamento baseada em ecossistemas que leve em consideração as atividades humanas, seus benefícios e seus possíveis impactos no contexto do ambiente biológico e físico. Além disso, o projeto de rede de monitoramento deve ser reavaliado periodicamente, sendo adaptado de acordo com as mudanças nas condições ambientais.

Rede de monitoramento da qualidade das águas no estado de Minas Gerais

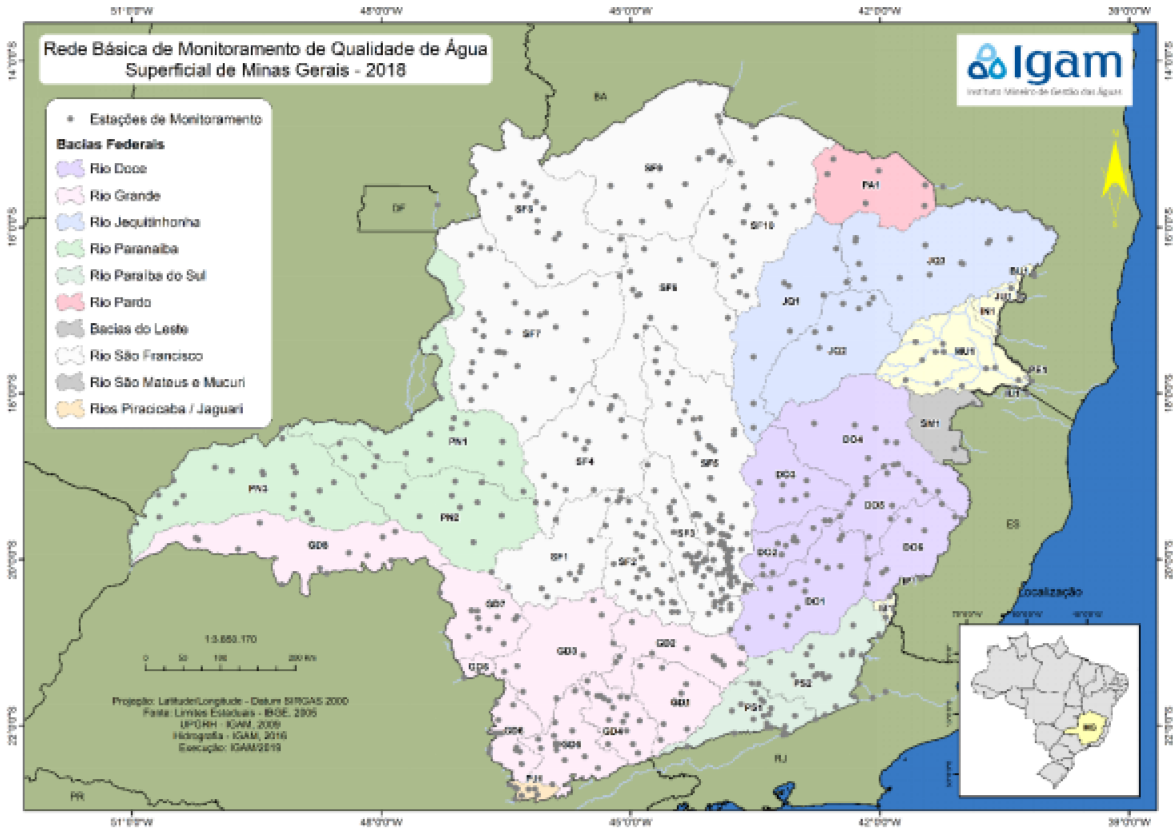
A importância do monitoramento está no fornecimento de informações básicas necessárias para a definição de estratégias, para a verificação da efetividade do Sistema de Controle Ambiental e para o planejamento e Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (IGAM, 2019a). O Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam) é o responsável pelo monitoramento das águas do estado de Minas Gerais desde 1997, por meio do Programa Águas de Minas, que vem gerando uma série histórica de dados indispensável ao gerenciamento dos recursos hídricos (IGAM, 2019a).

Os principais objetivos do Programa Águas de Minas são conhecer e avaliar as condições da qualidade das águas superficiais em Minas Gerais, além de divulgar a situação de qualidade das águas para os usuários e apoiar o estabelecimento de metas de qualidade, visando fornecer subsídios para o planejamento da gestão dos recursos hídricos, verificar a efetividade de ações de controle ambiental implementadas e propor prioridades de atuação (IGAM, 2019a).

Em 2018, a rede básica de monitoramento (macrorrede) do Programa Águas de Minas, contava com 620 estações de amostragem distribuídas nas bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Grande, Doce, Paranaíba, Paraíba do Sul, Mucuri, Jequitinhonha, Pardo, Buranhém, Itapemirim, Itabapoana, Itanhém, Itaúnas, Jucuruçu, Peruípe, São Mateus e Piracicaba/Jaguari, (Figura 2.1) (IGAM, 2019a). A densidade é de 1,06 ponto para cada 1.000 km², valor de acordo com a meta proposta pelo projeto da RNQA que propõe a densidade mínima de 1 ponto/1000 km2 (ANA, 2012).

No Programa Águas de Minas são realizados dois tipos de campanhas: as completas, no primeiro e terceiro trimestres do ano, nas quais são monitorados 51 parâmetros comuns ao conjunto de pontos de amostragem; e, as campanhas intermediárias, no segundo e quarto trimestres, onde são analisados 19 parâmetros genéricos em todos os pontos, além daqueles característicos das fontes poluidoras que contribuem para a área de drenagem da estação de coleta. Em algumas estações de monitoramento são analisados parâmetros específicos como nitrogênio orgânico, densidade de cianobactérias, cianotoxinas, ensaios de toxicidade crônica e macroinvertebrados bentônicos, sendo que para este último a frequência é anual (IGAM, 2019a).

Figura 2.1: Pontos de Monitoramento de Qualidade da Água Superficial da Rede Básica do Programa Águas de Minas em operação em 2018.



Fonte: IGAM, 2019a.

2.2 *Pressões antrópicas na qualidade das águas superficiais em bacias hidrográficas*

Para atender as necessidades da sociedade por água, comida e combustível, além da demanda global por *commodities* minerais, o uso e a cobertura do solo vêm sendo significativamente alterados (WARBURTON; SCHULZE; JEWITT, 2012). A manutenção da qualidade da água é um desafio, principalmente devido às fontes pontuais e não pontuais de poluição (KÄNDLER *et al.*, 2017; MENESES *et al.*, 2015; SHI *et al.*, 2017).

A qualidade da água varia com base na localização, tempo, clima e presença de fontes de poluição. As mudanças no uso e ocupação do solo interferem fortemente na qualidade das águas de uma bacia hidrográfica (GIRI e QIU, 2016; NAMUGIZE; JEWITT; GRAHAM, 2018), principalmente as cargas de águas residuárias industriais e domésticas, fontes pontuais que podem ser identificadas com relativa facilidade (WANG *et al.*, 2016b) e as fontes difusas, como a agricultura, o escoamento superficial e a deposição de poluentes atmosféricos (MUSTAPHA *et al.*, 2013; ONGLEY; XIAOLAN; TAO, 2010).

A maioria dessas pressões, associadas ao crescimento populacional, gera maior demanda por água para consumo humano e para as atividades de agricultura, energia e mineração (GIRI e QIU, 2016; HUA, 2017). Em relação a essa última atividade, um risco contínuo é a gestão da água em barragens de rejeitos. O volume e as características dos resíduos (água contaminada, rejeitos e, em alguns casos, produtos químicos) liberados por falhas de barragens podem criar uma ameaça física direta a jusante para vidas humanas e animais, bem como para os ecossistemas (ADIANSYAH *et al.*, 2015; KOSSOFF *et al.*, 2014). Portanto, compreender a relação entre o uso do solo e a qualidade das águas superficiais é extremamente relevante para o processo de planejamento da gestão das bacias hidrográficas (RODRIGUES *et al.*, 2018; TRAN *et al.*, 2010).

A influência da urbanização e da agricultura na qualidade da água foi avaliada no estudo de Tran *et al*. (2010) utilizando dados físicos, químicos, biológicos e do uso do solo e empregando a Análise por Componentes Principais (ACP) em córregos no estado de Nova York, nos Estados Unidos. Os resultados indicaram que as variáveis de uso do solo e qualidade da água estavam associadas a contaminantes não pontuais (por exemplo, nutrientes). Empregando o coeficiente de correlação de Spearman, os autores identificaram uma forte correlação entre a cobertura do solo e a qualidade da água, o que sugeriu que a presença de uma zona de proteção de riachos entre córregos e áreas agrícolas e urbanas é um fator significativo na redução da contaminação de cargas não pontuais (TRAN *et al.*, 2010).

Um estudo desenvolvido por Meneses *et al.* (2015) na bacia hidrográfica do Zêzere, em Portugal, indicou que o aumento do pH da água está relacionado à perda da área florestal de grande porte, enquanto o aumento de superfícies artificiais e pastagens leva, principalmente, ao aumento de sais solúveis e concentração de coliformes termotolerantes nos corpos d´água. Além disso, os resultados também apontam que as bacias com maior ocupação florestal levam a uma maior proteção da qualidade da água de seus corpos d´água.

Diamantini *et al.* (2018) empregaram testes de correlação de Spearman, Análise por Componentes Principais e tendências de Mann-Kendall para investigar as relações entre os parâmetros de qualidade da água e a porcentagem de uso da terra agrícola em três grandes bacias hidrográficas europeias (Adige, Ebro e Sava) com diferentes condições climáticas. Os principais resultados mostram que a agricultura pode afetar a concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e as tendências de elevação de fosfatos são afetadas pelo aumento do uso da terra agrícola, provavelmente pelo aumento do uso de fertilizantes; ao passo que as tendências de redução podem ser explicadas pelo uso reduzido de fertilizantes e

melhorias no tratamento de esgoto.

Também foi demonstrado que as atividades agrícolas afetam a concentração de cloretos e a condutividade elétrica *in loco*, cujas tendências de elevação provavelmente se devem ao aumento destas atividades. As tendências de elevação dos fosfatos também encontram-se correlacionadas com o aumento da população e, portanto, com a intensificação das atividades antrópicas (DIAMANTINI *et al.*, 2018).

Outros estudos também apontam para uma correlação positiva entre o uso do solo e a degradação da qualidade da água (DING *et al.*, 2016; LIN; ANAR; ZHENG, 2015; PRATT e CHANG, 2012; TU e XIA, 2008; VREBOS; BEAUCHARD; MEIRE, 2017; YU *et al.*, 2015), demonstrando a importância da caracterização dessa relação entre o uso e ocupação do solo e a qualidade da água (CAREY *et al.*, 2011; URIARTE *et al.*, 2011; WILSON e WENG, 2011), tendo como importantes fatores a serem considerados o uso urbano, a ocupação agrícola e as pastagens.

2.2.1 Mineração e qualidade da água

As atividades de mineração podem gerar diversos impactos como a alteração do relevo e da paisagem, destruição da vegetação e perda de água e solo; drenagem excessiva das águas subterrâneas, uso excessivo da terra para disposição de resíduos, alteração da qualidade do ar, alteração do nível de ruídos, alteração da dinâmica hídrica superficial e subterrânea e alteração da qualidade das águas subterrâneas e superficiais (WANG *et al.*, 2021; XU *et al.*, 2021).

As alterações da qualidade das águas superficiais podem ser decorrentes da geração de sedimentos, da remoção da cobertura vegetal, da geração de efluentes líquidos, oleosos e de resíduos. Esses aspectos são correlacionados às atividades de: terraplenagem, implantação de infraestrutura de apoio e obras civis, beneficiamento e transporte de minério, estocagem e abastecimento de óleo combustível, disposição de resíduos sólidos e armazenamento de materiais descartáveis e orgânicos (TEPAVITCHAROVA *et al.*, 2010).

As barragens de mineração são importantes para conter aquilo que não foi aproveitado no processo de tratamento do minério. As barragens de contenção de rejeitos são construídas com o próprio material proveniente da atividade minerária ou industrial. A partir de uma estrutura inicial de contenção denominada dique de partida os rejeitos são lançados para armazenamento, formando um depósito com uma zona denominada praia e outra denominada lagoa de decantação (ANA, 2021).

O descarte dos resíduos gerados na extração e processamento do minério advindos das atividades minerárias pode trazer prejuízos para os recursos hídricos, que pode ter a qualidade alterada pelo enriquecimento por nutrientes, metais e compostos orgânicos, diminuindo a qualidade da água e dos sedimentos, podendo ser intensificado no caso de desastres de grande escala, como rompimento de barragens de rejeitos (LONGHINI *et al.*, 2022)..

No que se refere às atividades de mineração no Brasil, compete à Agência Nacional de Mineração (ANM) fiscalizar a pesquisa e a lavra para o aproveitamento mineral, bem como as estruturas decorrentes destas atividades. Todavia com a promulgação da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 (posteriormente alterada pela Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020), que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), a ANM assumiu também a atribuição de fiscalizar a implementação dos Planos de Segurança das barragens de mineração a serem elaborados pelos empreendedores (BRASIL, 2010a, 2020).

No Brasil existiam, em fevereiro de 2019, 769 barragens de mineração, sendo que 425 estavam inseridas na PNSB (ANM, 2019a). De acordo com a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 (posteriormente alterada pela Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020), as barragens englobadas pela PNSB são as destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresente pelo menos uma das seguintes características: (i) altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros); (ii) capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos); (iii) reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis; (iv) classificação de Dano Potencial Associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas (ANA, 2021).

De acordo com a classificação por categoria de risco que é feita em função das características técnicas, dos métodos construtivos, do estado de conservação e da idade do empreendimento e do atendimento ao Plano de Segurança da Barragem, bem como de outros critérios definidos pelo órgão fiscalizador, duas barragens são de alto risco, 61 de médio risco e 362 de baixo risco. No entanto, em relação à classificação por categoria de dano potencial associado, que é feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem, 219 apresentam alto dano, 157 médio dano e

49 baixo dano (ANM, 2019b; BRASIL, 2010a, 2020).

As barragens de rejeitos de mineração são geralmente construídas em fases conforme o barramento é preenchido e o rejeito é disposto. Novas partes do aterro são construídas no topo da estrutura anterior com a nova crista da barragem, movendo-se a montante, a jusante ou seguindo uma linha. O método de construção de barragens que representa o maior número de incidentes está associado ao método a montante, representando 76% dos casos no mundo e 47% das falhas na Europa (RICO *et al.*, 2008). Das 425 barragens do Brasil inseridas no PNSB, 107 apresentam como método construtivo o de jusante, 84 o método de montante ou desconhecido e 30 o método de linha de centro. As demais 204 barragens possuem uma etapa única ou dique de partida como método construtivo (ANM, 2019a).

Uma série de características particulares das barragens de rejeitos faz com que estas sejam mais vulneráveis ao rompimento do que as barragens de armazenamento de água, devido a (i) aterros formados por enchimentos de origem local (solo, resíduos grosseiros, sobrecarga das operações de mineração e rejeitos); (ii) várias fases de elevação de barragem para lidar com o aumento do material sólido armazenado e do efluente (mais escoamento oriundo de precipitação) lançado; (iii) falta de regulamento sobre critérios específicos de projeto; (iv) estabilidade das barragens que exigem monitoramento e controle contínuos durante a implantação, construção e operação da barragem e (v) altos custos dos trabalhos de remediação após o fechamento das atividades de mineração (RICO *et al.*, 2008).

Por mais que as barragens forneçam uma maneira de limitar o dano ambiental causado por métodos de disposição inadequados, não são a solução ideal para os problemas da indústria de mineração, pois muitas falhas de barragens de rejeitos ocorreram nas últimas décadas com impactos socioambientais significativos (KOSSOFF *et al.*, 2014).

Pequenos e grandes derramamentos de barragens de rejeitos representam uma séria ameaça ambiental e social, portanto a ênfase deve ser colocada na prevenção, em vez de reagir após o fato. Antecipando possíveis considerações de risco, o impacto ambiental pode ser minimizado e os custos reais otimizados.

Na Europa, a causa mais comum de falha está relacionada à chuva incomum, enquanto há uma falta de ocorrências associadas à liquefação sísmica, que é a segunda causa de ruptura de barragens de rejeitos em outras partes do mundo. Além disso, mais de 90% das falhas ocorreram em minas ativas e apenas 10% referem-se a barragens abandonadas (RICO *et al.*, 2008).

É fundamental o acompanhamento da qualidade de água dos sistemas hídricos próximos às atividades minerárias e uma avaliação integrada da qualidade dos corpos de água e do transporte de contaminantes deve ser implantada imediatamente após um rompimento, a fim de avaliar o impacto, a composição e o comportamento do material liberado do local de disposição e determinar a extensão espacial e a forma dos contaminantes nos sedimentos a jusante do local do rompimento.

Diversos autores já fizeram avaliações nesse sentido utilizando dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais dos corpos de água principais e afluentes após rompimentos ao redor do mundo (HUDSON-EDWARDS *et al.*, 2003; MACKLIN *et al.*, 2003; MAYES *et al.*, 2011; PETTICREW *et al.*, 2015). Comumente são avaliadas as observações dos parâmetros físicos, químicos e biológicos no corpo d´água com os objetivos de documentar a resposta inicial do sistema aquático e identificar potenciais respostas físicas, químicas e biológicas de médio a longo prazo. O monitoramento também é fundamental para avaliar se os esforços de limpeza e mitigação dos impactos foram eficazes.

Além de amostras de águas superficiais, a análise dos sedimentos fluviais também é importante para verificar o destino a longo prazo e significado ambiental de metais contaminantes liberados pelas falhas em barragens de rejeitos (MACKLIN *et al.*, 2003).

A análise de dados históricos revela a existência de desastres com barragens no Brasil, conforme registro do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), alguns deles envolvendo barragens ou pilhas de rejeitos de mineração. Em Minas Gerais foram registrados diversos acidentes, cujas informações de alguns são apresentadas no Quadro 2.1.

O rompimento da barragem de rejeitos minerais de Fundão, situada em Mariana, e o galgamento da barragem de Santarém, em uma região de cabeceira da bacia hidrográfica do rio Doce, resultou em um desastre ambiental de grande magnitude e repercussão, provocou danos econômicos, sociais e ambientais graves e tirou a vida de 19 pessoas. No dia 5 de novembro de 2015, o rompimento da barragem liberou um volume estimado de 34 milhões de m³ de rejeitos de mineração, água e materiais utilizados em sua construção, causando diversos impactos socioeconômicos e ambientais na bacia hidrográfica do rio Doce (ANA, 2016).

Quadro 2.1: Desastres em barragens de mineração em Minas Gerais.

ANO	EMPRESA	MUNICÍPIO	BREVE DESCRIÇÃO
1986	Grupo Itaminas	Itabirito	Rompimento da barragem de rejeitos de minério de ferro da Mina Fernandinho que possuía um volume estimado de 350.000 m³, 40 metros e estava sendo alteada pelo método de montante. Entre os impactos decorrentes do acidente, são estimadas a morte de sete pessoas e destruição completa da vegetação local.
2001	Mineração Rio Verde	Nova Lima	Rompimento da barragem de rejeitos de minério de ferro da Mineradora Rio Verde, em São Sebastião das Águas Claras, Nova Lima – MG. A barragem liberou 600.000 m³ de rejeito que provocou a morte de 5 pessoas, assoreamento e contaminação do córrego Taquara e destruição de aproximadamente 80 hectares de Mata Atlântica, além de ocasionar o rompimento de uma adutora de água da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA.
2007	Mineradora Rio Pomba Cataguases	Miraí	Rompimento da barragem que armazenava rejeitos do beneficiamento de bauxita, produzida pela operação de deslamagem do minério. Em razão dos 2 milhões de m³ de rejeito derramados, houve a inundação dos municípios de Miraí e Muriaé, atingindo 1.200 casas, desalojando 4.000 pessoas e interrompendo o abastecimento de água. Além disso atingiu o ribeirão Fubá, o córrego Bom Jardim e o rio Muriaé, afluente do Paraíba do Sul, levando a mortandade de peixes.
2014	Herculano Mineração	Itabirito	Rompimento da barragem B1, que acumulava 3.200.000 m³ de rejeito de minério de ferro, provocou a inundação da área a jusante ocasionando impactos como: supressão de vegetação em APP, assoreamento e contaminação de córregos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas e dano à vida aquática. Em razão disto, houve paralisação de serviços públicos como água e energia elétrica em 300 residências. Foram registrados óbitos de três operários.
2015	Samarco Mineração	Mariana	Rompimento da barragem de Fundão que apresentava 100 metros de altura e volume do reservatório equivalente a 45.000.000 m³. O rompimento de Fundão provocou o galgamento da Barragem de Santarém que acumulava água. Desta forma, o rejeito da Barragem de Fundão se diluiu formando uma lama de maior velocidade e alcance. Dentre os impactos, pode-se citar: contaminação do Rio Gualaxo do Norte, Rio do Carmo e Rio Doce, tendo chegado ao Espírito Santo e atingido o Oceano Atlântico; 19 mortes (funcionários e moradores do distrito de Bento Rodrigues); e contaminação da fauna e flora.
2019	Vale S.A	Brumadinho	Rompimento da barragem I (B1) de rejeitos de minério de ferro da Mina de Córrego do Feijão, do Complexo Paraopeba II que resultou no carreamento de 12 milhões de metros cúbicos (Mm³) de rejeitos por toda a calha do ribeirão Ferro-Carvão e do rio do Paraopeba até a UHE Retiro Baixo, entre os municípios mineiros de Curvelo e Pompéu. Esse rompimento acarretou danos ao meio ambiente ao patrimônio público e privado, além de graves prejuízos socioeconômicos diretos e indiretos sobre a biodiversidade e aos recursos hídricos.

Fonte: Adaptado de ANA, 2016; FEAM, 2016; IGAM, 2020.

Diversos estudos vêm sendo realizados na área impactada com o objetivo de avaliar os fluxos e a distribuição espacial de elementos principais e traços ao longo dos 650 km entre a área da falha da barragem da Samarco e a pluma do rio Doce no Oceano Atlântico utilizando análises de componentes principais (ACP) (HATJE *et al.*, 2017). Aires *et al.* (2018) aplicaram uma

análise multicritério para a definição de áreas potenciais que podem ser utilizadas para a disposição de rejeitos de mineração resultantes da ruptura da barragem de Fundão, além disso, foi verificada a extensão da área afetada pelos rejeitos mediante comparação do uso e cobertura do solo antes e após o rompimento.

Guimarães (2018) também avaliou a qualidade das águas dos rios da bacia hidrográfica do rio Doce antes e após o rompimento da barragem de rejeitos de minério, utilizando técnicas estatísticas multivariadas e testes de tendências temporais das concentrações dos parâmetros de qualidade da água e concluiu que após o rompimento da barragem de rejeitos, nos rios diretamente impactados pela passagem da pluma de rejeitos, há uma tendência de recuperação da qualidade das águas superficiais com o passar do tempo.

No dia 25 de janeiro de 2019, a Barragem I de contenção de rejeitos da mina Córrego do Feijão, de propriedade da mineradora Vale S.A, localizada em Brumadinho, na Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG, rompeu. A ruptura da barragem provocou a liberação de cerca de 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos de produção mineral, além de causar a morte de 270 pessoas (IGAM, 2020a).

Para avaliar os impactos adversos de curto prazo da ruptura da barragem de rejeitos de mineração em Brumadinho ao meio ambiente, Thompson *et al.* (2020) realizaram análises biogeoquímicas, microbiológicas e ecotoxicológicas em 464 km do rio Paraopeba na semana seguinte ao desastre (1 de fevereiro de 2019) e quatro meses depois (27–29 Maio de 2019). Foram utilizados dados do Igam para comparar as condições no rio antes e depois da falha da barragem de rejeito e aplicada a análise de componentes principais (ACP) aos parâmetros físico-químicos. O estudo encontrou evidências de que as águas do rio Paraopeba apresentavam, nos períodos analisados, alta toxicidade, além de serem uma possível ameaça à saúde pública.

Os impactos causados por rupturas de barragem de rejeitos indicam a grande necessidade de maior vigilância e monitoramento de barragens. De acordo com Portaria do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM nº 70.389 de 17 de maio de 2017 (BRASIL, 2017), os empreendedores responsáveis por barragens de mineração atualmente inseridas na Política Nacional de Segurança de Barragens no país devem enviar semestralmente as Declarações de Condição de Estabilidade (DCE).

Em setembro de 2019, de 423 empreendimentos, 369 enviaram DCE atestando a estabilidade da estrutura, 21 entregaram declaração não atestando a estabilidade das estruturas e 33 não

enviaram as DCE, o que pressupõe não terem a estabilidade atestada da estrutura. No total, tem-se 54 barragens de mineração interditadas por não envio ou envio não atestando a estabilidade das barragens o que representa 13% do total de barragens de mineração inseridas na PNSB. Destas 54 barragens que não atestaram a estabilidade em setembro de 2019, 33 estão localizadas em Minas Gerais (ANM, 2019b).

O rompimento de uma barragem de rejeitos libera ondas de lama e de cheia que podem causar diversos impactos relacionados à água tais como interrupção do abastecimento de água da população, comprometimento dos demais usos e perda de biodiversidade na região afetada, dessa forma, foi criado o indicador de Segurança nas Barragens de Rejeitos, considerado na construção da Dimensão Ecossistêmica do Índice de Segurança Hídrica (ISH) visando incorporar os efeitos do eventual rompimento de barragens de rejeito de mineração sobre a segurança hídrica dos cursos d'água e ecossistemas a jusante desses barramentos (ANA, 2020a).

2.3 Análise estatística na avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas

Dados ambientais apresentam um comportamento diferenciado dos demais, apresentando usualmente características específicas, tais como: (i) Presença de *outliers*, (ii) dados censurados e faltantes, (iii) grande quantidade de dados com pequena quantidade de informação, (iv) grande quantidade de erros de análise, (v) variáveis importantes não medidas, (vi) distribuições não normais e (vii) correlação serial.

Devido a essas características a análise dos dados de qualidade de água requer o uso de técnicas estatísticas específicas e várias abordagens vêm sendo utilizadas nos últimos anos. Nos itens 2.3.1 e 2.3.2 serão apresentados, respectivamente, os testes de hipóteses não paramétricos e as técnicas estatísticas multivariadas que são comumente utilizados para analisar dados de qualidade da água. Nesses itens também foram descritas as aplicações dessas ferramentas em diversos estudos.

2.3.1 Testes de hipóteses não paramétricos

Em geral, dados ambientais não seguem distribuição normal (HELSEL e HIRSCH, 2002; TRINDADE *et al.*, 2017), apresentando assimetria à direita, isto é, algumas observações assumem valores muito maiores que a massa usual de dados. Como mencionado por Oliveira e von Sperling (2009), em presença de grandes assimetrias, a média geométrica será mais

indicada e a utilização de técnicas estatísticas clássicas para estimar parâmetros e testar hipóteses acerca de médias não será adequada. Outra observação evidenciada no estudo é que a mediana pode ser considerada uma boa medida alternativa de tendência central para dados assimétricos, uma vez que os valores calculados são geralmente muito próximos daqueles obtidos para a média geométrica.

Portanto, testes não paramétricos são os mais indicados para avaliar os dados de qualidade de água. Um teste não paramétrico usual para comparação entre medianas de duas populações, considerando amostras independentes é o teste U de Wilcoxon-Mann-Whitney, mais comumente chamado de teste U de Mann-Whitney, que foi desenvolvido primeiramente por Wilcoxon, em 1945, para comparar medianas de duas amostras independentes de tamanhos iguais (WILCOXON, 1945). Em 1947, Mann e Whitney generalizaram o teste para amostras de tamanhos diferentes (MANN e WHITNEY, 1947).

O teste de U de Mann-Whitney pode ser utilizado para investigar divergências entre as amostras de qualidade da água de dois reservatórios como foi feito por Boyacioglu (2014) e também para verificar se existem diferenças entre as concentrações de variáveis de qualidade da água entre a estação chuvosa e a seca (HANH *et al.*, 2010; WOLDEAB *et al.*, 2018).

O teste de Kruskal-Wallis é considerado uma extensão do teste de soma de classificações de Mann-Whitney para duas amostras independentes. O teste de Kruskal-Wallis é utilizado, frequentemente, para testar se grupos de amostras independentes foram extraídas de populações que têm medianas iguais (KRUSKAL e WALLIS, 1952). Para identificar diferenças significativas entre os grupos tomados dois a dois, pode-se usar procedimentos não paramétricos de comparações múltiplas, como o teste de Dunn (SIEGEL e CASTELLAN JR., 1988).

O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis foi utilizado por Soares *et al*. (2020) para avaliar a qualidade das águas superficiais e permitir identificar os corpos d'água mais degradados nas bacias do rio Piracicaba e do rio Paraopeba, duas importantes bacias hidrográficas do Brasil. O rio Peixe, em Nova Era, e o riacho Pedras, em Betim, foram considerados os corpos d'água mais impactados nas bacias dos rios Piracicaba e Paraopeba, respectivamente.

Com o objetivo de avaliar e comparar a qualidade das águas superficiais do rio Pará, localizadas na bacia hidrográfica do rio São Francisco, Minas Gerais, e avaliar o impacto da sazonalidade e o cumprimento dos limites da legislação estadual, Oliveira *et al.* (2019) utilizaram o banco de

dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais do Instituto Mineiro de Gestão das Água (Igam). Foram analisados 18 parâmetros de uma série histórica de 2008 a 2016 e aplicados os testes estatísticos não paramétricos de Kruskal-Wallis, seguidos pelo teste de comparação múltipla. Dessa forma, foi possível comparar a qualidade da água das sub-bacias nas estações chuvosa e seca e identificar quais parâmetros foram responsáveis pela maior degradação.

Bezerra *et al.* (2014) também utilizaram o teste de Kruskal-Wallis (KW) seguido pelo teste de Dunn para avaliar as diferenças físicas e químicas entre quatro locais de amostragem no reservatório de Sítios Novos, no semiárido nordestino, Brasil, comparando amostras coletadas em áreas de cultivo intensivo de tilápias com amostras de áreas não impactadas diretamente pela aquicultura.

2.3.2 Técnicas estatísticas multivariadas

A qualidade das águas superficiais pode ser alterada por diversos fatores, portanto, a avaliação e o gerenciamento da qualidade dos corpos d´água exigem um entendimento das variações espaciais e temporais nas características da água, incluindo parâmetros físicos, químicos e biológicos a longo prazo. Para isso, é necessário um programa de monitoramento que possa fornecer uma estimativa confiável dos parâmetros de qualidade da água. No entanto, esse programa exige que um grande número de parâmetros seja medido, analisado e interpretado (SHRESTHA e KAZAMA, 2007).

Nesse sentido, a aplicação de diferentes ferramentas estatísticas multivariadas, como análise de agrupamentos (AA), Análise por Componentes Principais (ACP), Análise Fatorial (AF) e Análise Discriminante (AD), contribui para o entendimento das principais fontes de poluição das águas superficiais, permitindo a identificação de possíveis fatores que influenciam a qualidade da água e oferece ferramentas valiosas para o gerenciamento dos recursos hídricos (MUSTAPHA e ARIS, 2012; OLSEN; CHAPPELL; LOFTIS, 2012; PALMA *et al.*, 2010; SIMEONOV *et al.*, 2003; SINGH *et al.*, 2004).

A Análise de Agrupamentos (AA), *cluster*, conglomerados ou classificação, é uma técnica que divide todos os dados em vários *clusters* com base nas distâncias ou semelhanças entre os valores observados para os grupos de pares, é dividido em métodos hierárquicos e não-hierárquicos (HAIR *et al.*, 2009). Quando aplicada a dados de monitoramento de qualidade das águas, a AA permite agrupar as estações de monitoramento por similaridade da qualidade da água (SINGH; MALIK; SINHA, 2005; WU *et al.*, 2016), verificar o efeito da sazonalidade sobre a qualidade das águas estudadas (ZHOU; LIU; GUO, 2007), além de permitir o

agrupamento dos parâmetros de qualidade da água, onde cada grupo formado é associado a uma fonte de poluição (BU *et al.*, 2010; GU *et al.*, 2016).

A ACP é uma técnica que fornece informações sobre os parâmetros mais significativos dentro de um conjunto de dados e resume a correlação estatística entre os componentes nas amostras de qualidade da água (AKIN *et al.*, 2011; SIMEONOV *et al.*, 2003).

A AF é uma técnica comum e eficaz usada para reduzir a dimensionalidade dos grandes conjuntos de dados sem perda de informação (SINGH *et al.*, 2004). Na prática, a AF segue a ACP, e o principal propósito da AF é reduzir a contribuição das variáveis menos importantes, a fim de simplificar ainda mais a estrutura de dados provenientes da ACP.

A AD é comumente aplicada ao conjunto de dados para confirmar os agrupamentos determinados por meio da AA com base na taxa de precisão das funções discriminantes (CHEN; LI; ZHANG, 2015). Além disso, muitos estudos têm aplicado a AD para destacar as variáveis mais significativas que resultam em variação espacial e temporal da qualidade da água e otimizar os programas de monitoramento, diminuindo o número de parâmetros monitorados (MUSTAPHA e ARIS, 2012; SINGH; MALIK; SINHA, 2005; ZHANG *et al.*, 2011).

Portanto, podem ser aplicadas diferentes técnicas estatísticas multivariadas com o objetivo de facilitar a interpretação de matrizes de dados complexos e permitir a identificação dos possíveis fatores que influenciam os sistemas de água, além de facilitar o gerenciamento confiável dos recursos hídricos. Sheela *et al.* (2012) utilizaram a AA e ACP/AF para a análise de dados de qualidade do Lago Akkulam-Veli em Kerala (Índia) e identificaram quais os fatores afetam o sistema lacustre como um todo. Zhao *et al.* (2012) avaliaram dados de qualidade da água e as fontes de poluição do lago Baiyangdian (China) utilizando ACP e AA na tentativa de discriminar as fontes de variação medidas nas amostras. A ACP foi usada para identificar um número reduzido de cinco componentes principais e a AA classificou estações semelhantes de qualidade da água em cinco *clusters* com base nas pontuações do ACP.

A AA e a ACP também foram aplicadas por Kazi *et al.* (2009) aos dados de qualidade da água do Lago Manchar no Paquistão, para avaliar e interpretar os conjuntos de dados da qualidade da água e fornecer informações sobre as fontes de poluição sobre a qualidade da água e auxiliar no projeto de uma rede de monitoramento.

Além disso, a aplicação de técnicas estatísticas multivariadas pode permitir, como por exemplo através da ACP e AF, a redução das variáveis analisadas e dos pontos de amostragem, o que

pode resultar em menor custo financeiro sem comprometer o monitoramento da qualidade das águas (LOPES *et al.*, 2014; NOORI *et al.*, 2010).

A utilização de vários métodos estatísticos multivariados, incluindo AA, AD, AF e ACP para explicar os padrões espaciais e temporais da poluição das águas superficiais também podem ser associados a gráficos *box plots* e mapas de uso e ocupação do solo para corroborar os resultados, como realizado por Yang *et al.* (2010).

Alexandre *et al.* (2010), realizaram um estudo no açude Serrote (barragem Edson Queiroz), localizado na bacia hidrográfica do rio Groaíras, no norte do estado do Ceará, Brasil, com objetivo de investigar a variabilidade espaço-temporal da qualidade da água e para isso utilizou AA e técnicas de geoprocessamento. Assim como destacam Menezes *et al.* (2016), o uso e a ocupação do solo alteram sensivelmente os processos físico-químicos e biológicos dos sistemas naturais. Dessa forma, é fundamental explorar a variabilidade temporal e espacial da qualidade da água e avaliar as possíveis relações entre os padrões de uso e ocupação do solo.

Sendo assim, a utilização de vários métodos estatísticos na avaliação e interpretação de dados de qualidade da água é comumente adotada para acompanhar a eficiência da gestão dos recursos hídricos. Os resultados fornecem uma interpretação mais direta dos dados, bem como as prioridades para as ações de melhoria da qualidade da água necessárias para o controle da poluição nas águas superficiais (JUNG *et al.*, 2016; MOHAMED *et al.*, 2015; VAROL *et al.*, 2012). O Quadro 2.2 apresenta a síntese de mais alguns trabalhos que aplicaram análises multivariadas, demostrando a versatilidade no número de pontos de monitoramento, parâmetros de qualidade de água e série histórica que podem ser utilizados para atingir os mais diferentes objetivos, além da associação de diferentes técnicas multivariadas em um mesmo estudo.

Quadro 2.2: Trabalhos de avaliação dos dados de monitoramento da qualidade das águas, empregando técnicas estatísticas multivariadas.

REFERÊNCIA	LOCAL DE ESTUDO	DADOS ANALISADOS	OBJETIVOS	FERRAMENTAS UTILIZADAS
Bu *et al.* (2010)	Rio Jinshui, China	12 pontos de amostragem 25 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: outubro de 2006 a agosto de 2008	Investigar as variações temporais e espaciais da qualidade da água e identificar os principais fatores de poluição e fontes.	AA, AF
Akin *et al.* (2011)	Represa Gokçekaya, Turquia	12 estações de monitoramento 22 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 2005-2008	Determinar as variações sazonais dos parâmetros químicos e biológicos da qualidade da água do lago da represa.	ACP, AA
Mustapha *et al.* (2013)	Três importantes afluentes da Bacia de Jakara, no noroeste da Nigéria	27 estações de monitoramento 13 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 2010	Avaliar os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da bacia hidrográfica de Jakara para identificar o status da poluição e as prováveis fontes de poluição.	ACP, AF
Wang *et al.* (2013)	Songhua River Harbin, China	6 estações de monitoramento 15 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 2005 a 2009	Avaliar variações temporais / espaciais da qualidade da água e identificar fontes latentes de poluição da água na região de Songhua River Harbin.	ACP, AF, AA
Chen; Li; Zhang (2015)	Bacia do Reservatório de Danjiangkou, na China Central	10 estações de monitoramento 11 índices de qualidade da água Período de monitoramento: 2012-2014	Avaliar o estado de poluição da água e analisar sua variação espaço-temporal	ACP, AF, AA, AD
	Cidade de Can Tho, no Delta do Mekong, área do Vietnã	38 estações de monitoramento 11 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 2008-2012	Avaliar as variações temporais / espaciais da qualidade das águas superficiais	ACP, AF, AA, AD
Barakat *et al.* (2016)	Rio Oum Er Rbia e seu principal afluente, o rio El Abid, Marrocos	14 estações de monitoramento 12 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 2000-2012	Avaliar a variação espacial e temporal da qualidade da água e determinar as principais fontes de contaminação.	ACP, AA
Smeti e Golfinopoulos (2016)	Lago Yliki, Atenas, Grécia	16 parâmetros de qualidade da água medidos mensalmente Período de monitoramento: 2003-2008	Interpretar a estrutura dos dados e avaliar variações temporais e espaciais na qualidade da água	ACP, AF, AA, AD
Xiao *et al.* (2016)	Rio Huaihe em Bengbu, China	7 estações de monitoramento 19 índices de qualidade da água Período de monitoramento: 2011-2012	Analisar conjuntos de dados de qualidade das águas superficiais do rio Huaihe	ACP, AF, AA
Wu *et al.* (2016)	Daya Bay, sul do mar da China	12 estações de monitoramento Coleta trimestral (janeiro, abril, agosto e novembro) 9 parâmetros de qualidade da água	Aplicar a abordagem de análise estatística multivariada, identificando as variações espaciais e temporais de qualidade da água em Daya Bay	ACP, AA

Quadro 2.2: Trabalhos de avaliação dos dados de monitoramento da qualidade das águas, empregando técnicas estatísticas multivariadas (Continuação).

REFERÊNCIA	LOCAL DE ESTUDO	DADOS ANALISADOS	OBJETIVOS	FERRAMENTAS UTILIZADAS
Christofaro *et al.* (2017)	Reservatório de Nova Ponte, Brasil	14 estações de monitoramento 14 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 1995-2011	Avaliar a dinâmica espacial e temporal da qualidade da água de um reservatório hidroelétrico neotropical (reservatório de Nova Ponte)	ACP, AA
Daou *et al.* (2018)	Rios Damour, Ibrahim, Kadisha, e Orontes, Líbano	5 estações de monitoramento 42 parâmetros de qualidade da água 12 campanhas de amostragem Período de monitoramento: 2010-2011	Avaliar a qualidade da água dos quatro principais rios libaneses localizados nos quatro cantos do Líbano: Damour, Ibrahim, Kadisha e Orontes. Monitorar as mudanças espaciais e sazonais na qualidade da água e determinar o impacto antropogênico no ecossistema	ACP
Calazans *et al.* (2018a)	Bacia hidrográfica do rio das Velhas, Brasil	18 estações de monitoramento 16 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 2009 a 2013.	Avaliar e propor uma adequação da rede de monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio das Velhas.	AA, ACP, AF
Calazans *et al.*, (2018b)	Bacia hidrográfica do rio Paraopeba, Brasil	30 estações de monitoramento 19 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 2008 a 2013.	Avaliar e propor uma adequação da rede de monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Paraopeba.	AA, ACP, AF
Alves *et al.* (2018)	Bacia hidrográfica do rio Sergipe, Brasil	12 estações de monitoramento 23 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 2013 a 2015.	Avaliar a eficiência da rede de monitoramento da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Sergipe.	ACP, AA
Wei *et al.* (2018)	Rio Chonglingjiang, China	9 estações de monitoramento 14 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: março, junho, setembro e dezembro, que geralmente representam a primavera, verão, outono e inverno no país.	Investigar as variações dos parâmetros de qualidade da água e explorar diferenças e semelhanças nos locais de amostragem.	AA
Pinto *et al*. (2019)	Bacia hidrográfica do rio das Velhas, Brasil	65 estações de monitoramento 16 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 2008 a 2013.	Identificar semelhanças ou dissimilaridades entre os locais de amostragem, identificar parâmetros de qualidade da água que explicam a estrutura do conjunto de dados e determinar a influência de fatores naturais e antropogênicos na bacia do rio Velhas.	AA

Quadro 2.2: Trabalhos de avaliação dos dados de monitoramento da qualidade das águas, empregando técnicas estatísticas multivariadas (Continuação).

REFERÊNCIA	LOCAL DE ESTUDO	DADOS ANALISADOS	OBJETIVOS	FERRAMENTAS UTILIZADAS
Lee e Shin (2021)	Bacia hidrográfica de Anyang, Coreia do Sul	19 estações de monitoramento 23 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: de janeiro a dezembro de 2019.	Avaliar as características da qualidade da água dos afluentes e principais fontes poluentes.	AA, ACP

Obs.: AA - Análise de Agrupamentos; ACP - Análise de Componentes Principais; AD – Análise Discriminante; AF - Análise Fatorial

2.4 Índices de Qualidade da Água

Os índices de qualidade da água buscam representar o estado geral de qualidade da água em um único número. Sendo assim, os índices retratam a influência de diferentes parâmetros de qualidade da água e trazem informações da qualidade da água para os tomadores de decisão. Vários índices foram desenvolvidos internacionalmente para avaliar a qualidade da água em áreas específicas. No entanto, eles apresentam muitas variações e limitações e ainda não existe um índice globalmente aceito (GAO *et al.*, 2016; LUMB; SHARMA; BIBEAULT, 2011; TYAGI *et al.*, 2013).

O objetivo dos índices é melhorar a compreensão sobre a qualidade da água, integrando dados complexos e gerando uma pontuação que descreve e avalia as tendências dos parâmetros monitorados. Embora algumas informações sejam perdidas durante a integração de múltiplas variáveis, essa perda pode ser compensada pelo ganho de entendimento dos problemas da qualidade da água por parte dos formuladores de políticas públicas e da população em geral (CUDE, 2001).

Os índices podem também ser úteis para indicar o progresso das práticas de gestão de qualidade da água. Sendo assim, o índice melhora a compreensão das questões da qualidade da água em geral, comunica o status da qualidade da água e ilustra a necessidade e a eficácia de práticas de proteção (CUDE, 2001).

Nesse sentido, Sutadian *et al.* (2016) revisaram 30 índices e identificaram como os mais importantes, com base na popularidade de seu uso, o Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME-WQI), o índice da Fundação Nacional de Saneamento (NSF-WQI) dos Estados Unidos, o Índice de Qualidade da Água do Oregon (O-WQI), desenvolvido pelo Departamento de Qualidade Ambiental de Oregon – Estados Unidos, o índice de Bascarón, o índice de House e os índices baseados em Fuzzy.

2.4.1 Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente - CCME WQI

O Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente - CCME WQI tem boa flexibilidade na seleção de parâmetros de qualidade da água e mostra ampla adaptabilidade para acompanhar a qualidade da água de rios, lagos e reservatórios em relação às metas de enquadramento (ALEXAKIS *et al.*, 2016; HURLEY; SADIQ; MAZUMDER, 2012; XIA *et al.*, 2018; YAN *et al.*, 2016). A definição do CCME WQI está baseada na comparação dos valores

das variáveis de qualidade da água conseguidos nos monitoramentos com os padrões de qualidade da água instituídos pela legislação ou com os critérios de qualidade da água fundamentados cientificamente.

O CCME WQI foi desenvolvido pelo *Canadian Council of Ministers of Environment* para o acompanhamento da qualidade de água em relação às metas de enquadramento (CCME - CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT, 2006) e é um índice que compara os valores observados dos parâmetros de qualidade da água com valores de diretrizes ou padrões (HURLEY; SADIQ; MAZUMDER, 2012). Sendo assim, o CCME WQI avalia a distância entre a qualidade da água atual e a meta estabelecida pelo enquadramento de um corpo de água.

Os resultados obtidos por Amaro (2009) na bacia hidrográfica do Piracicaba, Capivari e Jundiaí, no estado de São Paulo, Brasil, foram satisfatórios e o CCME WQI foi capaz de indicar se o enquadramento estabelecido está sendo atendido ou não. O processo de acompanhamento de efetivação do enquadramento de um corpo hídrico pode ser melhor desenvolvido se existir informação objetiva sobre a qualidade da água, sendo a quantidade de variáveis a serem monitoradas relativamente alta, a existência do CCME WQI facilitará este acompanhamento.

Lumb *et al.* (2011), avaliaram os dados de qualidade da água de 30 estações de monitoramento da província de Ontário, Canadá, para o período de 5 anos para a comparação dos modelos de IQAs desenvolvidos pela NSF e CCME. O estudo indicou que o modelo desenvolvido pelo CCME (pontuação e o sistema de classificação relacionado) tendeu a ser o modelo mais rigoroso para classificar a qualidade das águas superficiais para os usos da água em comparação com os modelos desenvolvidos pela NSF.

O CCME WQI fornece um modelo de índice flexível, adaptável às especificidades da bacia hidrográfica, e permite que os cientistas selecionem diretrizes apropriadas como requisitos da água para suas necessidades (CCME, 2017; HURLEY; SADIQ; MAZUMDER, 2012). Devido a essa flexibilidade ele foi aplicado por Zhao *et al.* (2016) para entender os efeitos da operação do Reservatório de Três Gargantas no período de 2010 a 2013 enquanto os níveis de água variaram entre 145 e 175 m. O estudo mostrou que o CCME WQI pode ser usado com facilidade para avaliar qualitativamente se os objetivos de qualidade da água especificadas pela legislação estão sendo atendidos.

Dede *et al.* (2013) aplicaram cinco modelos de IQAs diferentes para 10 estações de amostragem e 44 parâmetros durante um ano de monitoramento na bacia de Kirmir, Turquia, e concluíram que o CCME WQI e o IQA desenvolvido em Oregon proporcionaram os melhores resultados. Uma das vantagens apontadas é que o CCME WQI é o único método que permite a utilização de todos os parâmetros disponíveis no cálculo do valor geral do índice.

O CCME WQI também foi selecionado por Terrado *et al.* (2010) devido à sua flexibilidade para selecionar parâmetros, bem como na possibilidade de modificar os objetivos a serem alcançados por cada variável de acordo com o uso final específico da água. Os autores apontam como vantagens do CCME WQI a flexibilidade na seleção de parâmetros e objetivos de entrada, adaptabilidade a diferentes requisitos legais e diferentes usos da água, simplificação estatística de dados complexos multivariados, diagnóstico claro e inteligível para gestores e público em geral e ferramenta adequada para avaliação da qualidade da água em um local específico. Além disso, ele é fácil de calcular, apresenta tolerância a dados perdidos, é adequado para análise de dados provenientes de amostragem automatizada e considera a amplitude (diferença entre o valor observado e o valor desejado de acordo com o objetivo de qualidade da água).

Como desvantagens os autores citam (i) a falta de diretrizes sobre as variáveis a serem usadas no cálculo do índice, (ii) a falta de orientações sobre os objetivos específicos de cada local e uso particular de água, (iii) por ser fácil de manipular pode ser tendencioso, (iv) é dada a mesma importância a todas as variáveis, e (v) apesar de ser adequado para definir a qualidade da água, o CCME WQI é especialmente projetado como uma ferramenta de suporte a ser usada com outras ferramentas de interpretação de dados (TERRADO *et al.*, 2010).

O CCME WQI pode ser utilizado não apenas para acompanhar a evolução da condição hídrica em relação à sua situação de enquadramento, mas pode servir também para verificar a conformidade em relação aos usos preponderantes, caso sejam utilizados subconjuntos de variáveis relacionadas a usos específicos. Com este índice, os órgãos gestores de recursos hídricos e os órgãos ambientais competentes podem, de forma mais adequada, monitorar, controlar e fiscalizar as condições dos corpos de água, para avaliar se as metas do enquadramento estão sendo cumpridas (AMARO, 2009).

Apesar de ser adequado para definir a qualidade da água, o CCME WQI é particularmente projetado como uma ferramenta de apoio a ser usada com outras ferramentas de interpretação de dados, por isso não é incentivado seu uso isolado (TERRADO *et al.*, 2010).

No Brasil, o CCME WQI, também citado como Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), foi calculado considerando o enquadramento dos cursos d'água e utilizando os parâmetros do IQA que possuem limites preconizados pela Resolução Conama nº 357/2005: pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, turbidez e coliformes termotolerantes para os pontos que apresentaram ao menos quatro coletas em 2010 (ANA, 2012, 2013).

O Quadro 2.3 apresenta alguns estudos que utilizaram o Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente - CCME WQI para avaliar a qualidade das águas superficiais para usos diversificados utilizando diferentes parâmetros para atingir os objetivos previstos.

Quadro 2.3: Trabalhos de avaliação da qualidade das águas, empregando o Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente - CCME WQI.

REFERÊNCIA	LOCAL DE ESTUDO	PARÂMETROS ANALISADOS	OBJETIVOS
Ferreira *et al.* (2011)	Santa Catarina, Brasil	18 parâmetros (temperatura, pH, OD, salinidade, turbidez, dureza, alcalinidade, Ca, Mg, nitrogênio amoniacal, NO_3^-, NO_2^-, fosfato, sílica, clorofila-*a*, coliformes fecais, *Vibrio* e contagem de bactérias).	Demonstrar a importância da implementação de um Índice de Qualidade da Água (WQI) como uma ferramenta para gerenciar fazendas de camarão e os ambientes naturais circundantes, além de entender os principais fatores que afetam a qualidade da água para prevenir surtos de doenças.
Damo e Icka (2013)	Pogradec, Albânia	11 parâmetros (sabor, odor, temperatura, pH, condutividade, turbidez, NO_3, NO_2, NH^+, Cl^- e carga microbiana).	Determinar a qualidade da água potável na cidade de Pogradec.
Menezes *et al.* (2013)	Aquíferos do estado do Rio de Janeiro, Brasil	7 parâmetros (Na^+, Fe, Al, SO_4^{2-}, Mn, NO_3^- e Cl^-).	Avaliar a qualidade das águas subterrâneas de dezesseis municípios do Rio de Janeiro.
Mostafaei (2014)	Rio Kashkan, Irã	10 parâmetros (condutividade elétrica, carbonato, bicarbonato, Cl^-, sulfato, Ca, Mg, Na, K e pH).	Avaliar as variações espaciais e temporais da qualidade das águas superficiais do rio Kashkan com base em íons químicos.
Ogbozige *et al.* (2017)	Rio Kaduna, Nigéria	12 parâmetros (turbidez, SDT, pH, Cl^-, CE, OD, DBO_5, DQO, nitrogênio total, fósforo total, Fe e Mn).	Classificar a qualidade geral da água do rio Kaduna.
Abdel-Satar *et al.* (2017)	Rio Nilo, Egito	17 parâmetros (pH, NH_3^-, NO_3^-, NO_2^-, Cl, SO_4^{2-}, Na, Ca, Mg, dureza total, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb e Cd).	Avaliar a adequação da água para fins aquáticos e de consumo de água.
Silva (2017)	Rio das Velhas, Minas Gerais, Brasil	9 parâmetros (DBO, *E. coli*/coliformes termotolerantes, Fe, fósforo total, Mn, OD, turbidez, arsênio total e sólidos em suspensão totais).	Verificar o atendimento ao enquadramento proposto para a calha do rio das Velhas.

Desta forma, a análise do CCME WQI pode ser uma ferramenta estratégica no acompanhamento do atendimento das metas do enquadramento e permitir a avaliação da efetividade de ações de saneamento e controle da poluição de atividades industriais, minerárias e agrícolas a serem desenvolvidas, auxiliando no processo de gestão dos recursos hídricos (ANA, 2013).

CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAOPEBA

A bacia hidrográfica do rio São Francisco, abrange uma área de 638.324 km² que corresponde a 8% do território nacional, apresentando importância por transportar um grande volume de água em uma região semiárida, pelo potencial hídrico passível de aproveitamento e por sua contribuição histórica e econômica para o país. Com uma extensão de 2.914 km, o rio São Francisco estende-se desde Minas Gerais, onde o rio nasce, na Serra da Canastra, até o Oceano Atlântico, onde deságua, na divisa dos estados de Alagoas e de Sergipe. Devido à sua extensão e aos diferentes ambientes percorridos, a bacia hidrográfica está dividida em quatro regiões: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco (ANA, 2020a; CASTRO; PEREIRA, 2017; LEE *et al.*, 2014).

No Alto São Francisco os rios Pará, Paraopeba, das Velhas e Jequitaí apresentam problemas na qualidade da água. As principais pressões estão relacionadas ao lançamento de esgotos domésticos e industriais, à disposição inadequada de resíduos sólidos, atividades de mineração e agropecuárias. De acordo com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF, 2016), as bacias hidrográficas do rio Paraopeba, rio das Velhas e rio Verde Grande apresentam um estado global de qualidade da água insatisfatório, apesar de melhorias recentes no tratamento de esgotos domésticos.

Este trabalho tem como foco a bacia hidrográfica do rio Paraopeba e buscou aprofundar na caracterização ambiental da bacia, incluindo os atributos físicos, clima, hidrologia, infraestrutura e uso da água, suas condições socioeconômicas e suas atividades econômicas, a fim de fornecer embasamento para a discussão dos principais problemas de qualidade da água existentes nos cursos d'água e reservatórios e apontar ações urgentes e necessárias para implantação a fim de garantir água de qualidade para a população.

Na bacia hidrográfica do rio Paraopeba foram construídos três reservatórios nas últimas décadas, Vargem das Flores em 1972, Serra Azul em 1981 e Rio Manso em 1991, pertencentes ao Sistema Paraopeba, e responsáveis pelo abastecimento de 47% da Região Metropolitana de Belo Horizonte (COPASA, 2020).

A deterioração da qualidade dos recursos hídricos de um reservatório pode levar à eutrofização, acarretando florações do fitoplâncton, diminuição do oxigênio da água, com hipolímnio mais anóxico, mortandade de peixes, mau cheiro e crescimento acelerado de macrófitas aquáticas (VON SPERLING; FERREIRA; GOMES, 2008). Dessa forma, também é fundamental a avaliação da qualidade da água dos reservatórios para identificação das fontes de poluição e

informar aos gestores de recursos hídricos e formuladores de políticas públicas as ações mais urgentes e prioritárias.

O Quadro 3.1 apresenta as informações gerais sobre os dados e as fontes utilizadas.

Quadro 3.1: Informações gerais sobre as fontes de dados utilizadas.

Dados	Fonte	Informações gerais
Limites municipais e regionais, hidrografia, massa d´água	IDE-Sisema Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos	• Plataforma criada pelo Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Minas Gerais (Sisema); • Permite o download gratuito nos formatos *kml* e *shapefile*; • Abrangência: estado de Minas Gerais; • Acesso: http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/
Subdivisão da bacia hidrográfica do rio Paraopeba	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba (PDRH Paraopeba) disponibilizado no Portal InfoHidro	• Ferramenta integrante do Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos (InfoHidro). • Disponibiliza dados e informações técnicas que são produzidas pelo Igam e por seus parceiros, tais como Comitês de Bacia, Agências de Bacias, Universidades, entre outros. • Dados sobre outorgas, informações sobre a cobrança pelo uso de recursos hídricos, séries históricas de monitoramento da qualidade da água, mapas e relatórios de qualidade da água, além de bases cartográficas dos recursos hídricos do estado de Minas Gerais. • Acesso: http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/
Série histórica de dados pluviométricos e fluviométricos	Portal HidroWeb	• Ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH); • Oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos; • Acesso: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas
Geologia	Portal da Geologia de Minas Gerais	• Portal criado pela Codemig - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais para agilizar o acesso e a busca de informações geológicas disponíveis no banco de dados georreferenciados do Estado de Minas Gerais • Acesso: http://www.portalgeologia.com.br/
Regiões Geomorfológicas	Mapa de Unidades de Relevo do Brasil elaborado pela Diretoria de Geociências (IBGE/DGC) e Embrapa - Solos	• Acesso: http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/
Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais	Universidades Federais de Viçosa, Lavras e Ouro Preto, além da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais e Fundação Estadual do Meio Ambiente	• Elaborado pela parceria entre as Universidades Federais de Viçosa, Lavras e Ouro Preto, além da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais e Fundação Estadual do Meio Ambiente • Acesso: http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/
Biomas	Mapa de Biomas do Brasil - IBGE e Ministério do Meio Ambiente	• Acesso: http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/

Quadro 3.1: Informações gerais sobre as fontes de dados utilizadas (Continuação).

Dados	Fonte	Informações gerais
Mapas de uso e cobertura do solo de 2008 a 2019	MapBiomas Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil	• Processamento em nuvem; • Classificadores automatizados desenvolvidos e operados na plataforma Google Earth Engine; • Mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil; • Rede colaborativa com especialistas de diversas áreas; • Acesso: http://plataforma.mapbiomas.org/ • Período de dados disponível: 1985 a 2019 • Período utilizado no trabalho: 2008 a 2019
Atividades licenciadas e outorgas	IDE-Sisema Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos	• Acesso: http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/
Barragens de contenção de rejeitos	SIGBM - Sistema de Gestão de Segurança de Barragem de Mineração	• A Agência Nacional de Mineração disponibiliza o acesso público ao Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, visando prover, aos cidadãos, maior transparência e interação com os dados da ANM relacionados a segurança de barragens de mineração. • Acesso: https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/ClassificacaoNacionalDaBarragem
População e densidade demográfica dos municípios	IBGE Cidades	• O IBGE Cidades é o sistema agregador de informações do IBGE sobre os municípios e estados do Brasil. • Acesso: https://cidades.ibge.gov.br/
Informações gerais sobre índices de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto e destinação de resíduos sólidos	Panoramas Municipais sobre a prestação dos serviços de água e de esgoto da Arsae-MG Atlas Esgotos - ANA Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos no estado de Minas Gerais - FEAM	• Relatórios de panoramas sobre a prestação dos serviços de água e de esgoto com objetivo de informar usuários, prefeituras e o público geral sobre situação do abastecimento de água e do esgotamento sanitário e destacar a importância desses serviços. Cada relatório abrange dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e informações recebidas periodicamente dos cinco prestadores de água e esgoto regulados pela Arsae-MG. • Acesso: https://estatisticocastro.shinyapps.io/panoramamunicipal/ • O Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas apresenta um trabalho de diagnóstico da situação quanto ao esgotamento sanitário de todas as sedes municipais do país e suas implicações na qualidade dos respectivos corpos d'água receptores. • Acesso: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos • O Panorama da Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos do Estado de Minas Gerais apresenta a evolução desse cenário, entre 2001 e 2018, traz detalhe da situação quanto à destinação dos RSU, além de informações quanto aos aspectos vinculados à gestão, registradas até dezembro de 2018. • Acesso: http://www.feam.br/images/stories/2019/MINAS_SEM_LIXOES/Relat%C3%B3rio_de_Progresso_2019_-_PANORAMA_RSU_Ano_base_2018_v_1912.pdf

A bacia hidrográfica do rio Paraopeba situa-se na região central do estado de Minas Gerais e abrange uma área de 12.054 km² correspondendo à CH SF3: Rio Paraopeba (IGAM, 2013). O

rio Paraopeba percorre 550 km da sua nascente no extremo sul da Serra do Espinhaço, município de Cristiano Otoni, até sua foz na Represa de Três Marias, entre os municípios de Pompéu e Felixlândia. Seus principais afluentes da margem direita são: rio Maranhão, rio Pequeri, ribeirão Casa Branca, ribeirão Grande, ribeirão Sarzedo, ribeirão Betim, ribeirão Macacos, ribeirão Cedro, ribeirão São João e na margem esquerda são o rio Brumado, o rio da Prata, o rio Macaúbas, o rio Manso, o ribeirão Serra Azul e o rio Pardo (COBRAPE, 2018; IGAM, 2013).

A subdivisão da bacia hidrográfica do rio Paraopeba em Alto, Médio e Baixo apresentada no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba (COBRAPE, 2018), também foi adotada nesse trabalho para a caracterização geral e análise das informações físicas, bióticas e socioeconômicas da bacia. O Alto Paraopeba possui uma área de aproximadamente 3.600 km^2, o Médio Paraopeba representa aproximadamente 5154 km^2 do território e a área do Baixo Paraopeba corresponde à aproximadamente 3300 km^2. Essa subdivisão é apresentada na Figura 3.1 e considera atributos técnicos principalmente no que diz respeito às particularidades locais, atividades desenvolvidas e às áreas de drenagem ou contribuição (COBRAPE, 2018).

3.1 Aspectos do clima, dados pluviométricos e fluviométricos da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba

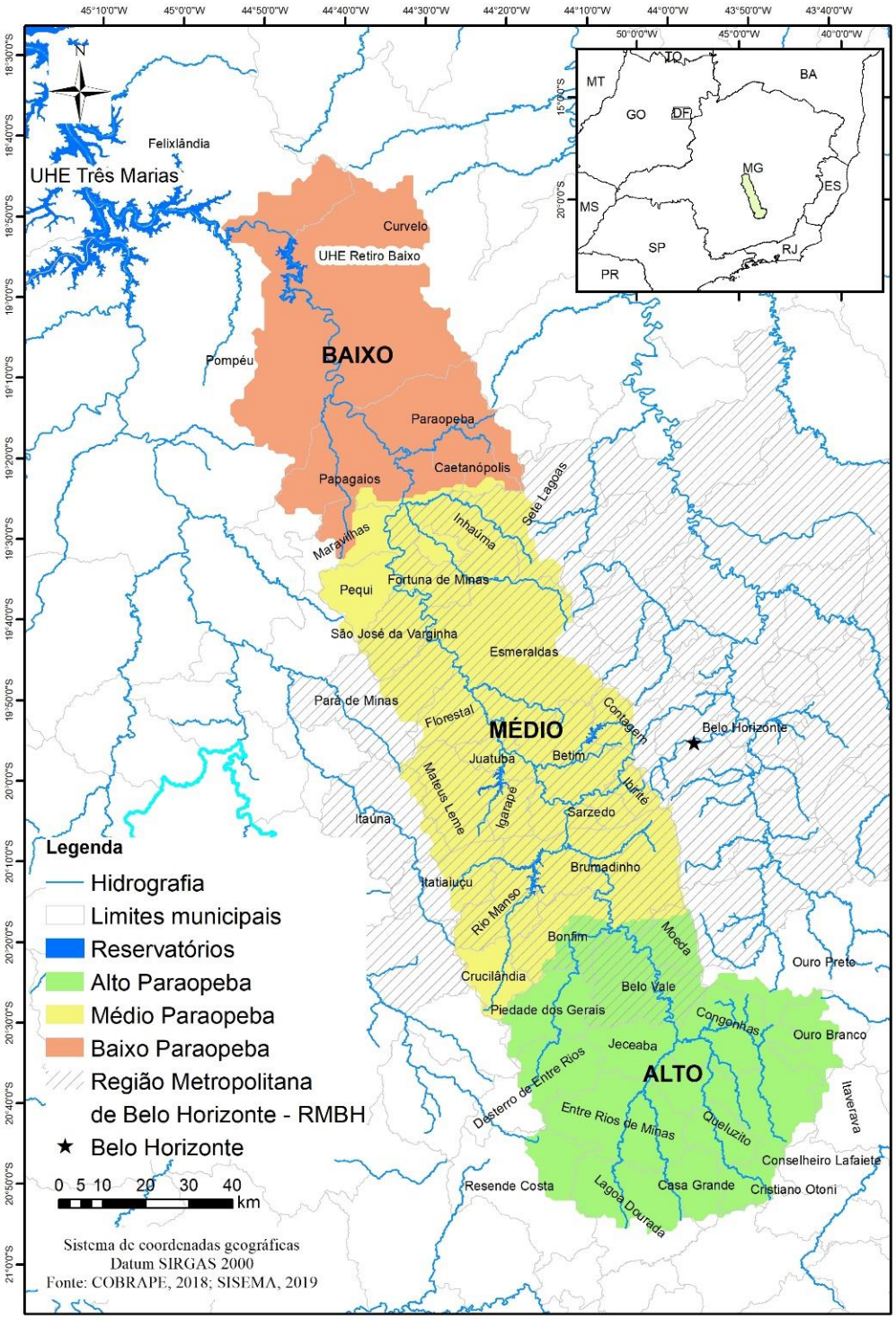
Alterações no ciclo da água impõem desafios à gestão dos recursos hídricos durante períodos de escassez. Essas alterações podem decorrer tanto de mudanças no clima como do aumento contínuo das demandas (ANA, 2018). Além de prejudicar o atendimento em quantidade de água, a escassez hídrica pode agravar os problemas de qualidade da água, uma vez que altera a dinâmica e a integridade dos corpos d'água (lóticos e lênticos) em relação às condições físicas, químicas e biológicas quando há redução da vazão e do volume.

A bacia hidrográfica do rio Paraopeba encontra-se em dois subtipos climáticos, conforme a classificação de Köppen: Cwa e Cwb (ALVARES *et al.*, 2013). Cwa corresponde ao Clima subtropical de inverno seco (com temperaturas inferiores a 18ºC) e verão quente (com temperaturas superiores a 22ºC) e Cwb ao Clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno. A temperatura média do mês mais quente é inferior a 22ºC. Durante os ciclos hidrológicos 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015, na região sudeste do Brasil, foram registrados os menores valores de precipitações da série histórica (CPRM, 2017), resultando na

redução de vazões nos mananciais e dos volumes disponíveis nos reservatórios (NOBRE *et al.*, 2016), sendo o ano de 2014 o mais crítico.

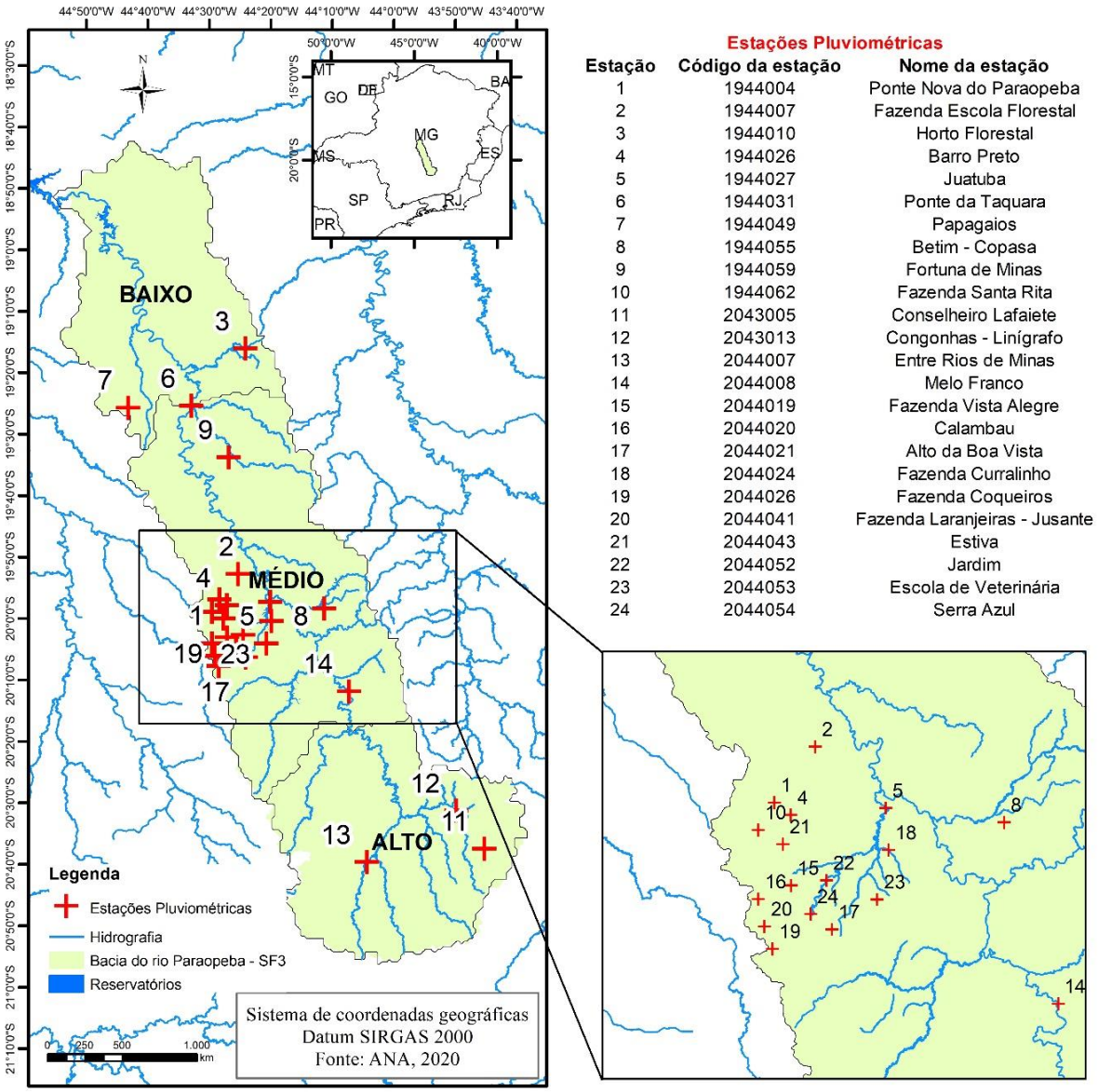
Sendo assim, foi realizado um levantamento dos dados fluviométricos e pluviométricos junto à Rede Hidrometeorológica Nacional da ANA, a partir do seu portal Hidroweb (ANA, 2020b).

Figura 3.1: Subdivisão da bacia hidrográfica do rio Paraopeba em sub-bacias.



Analisando os dados da série histórica de 2008 a 2019, das 24 estações pluviométricas localizadas na bacia (Figura 3.2), tem-se que a precipitação média anual variou entre 1000 mm e 1350 mm (ANA, 2020b), sendo a estação 10 - Fazenda Santa Rita (1944062) com a menor média e a estação 24 - Serra Azul (2044054) a maior média pluviométrica, ambas estações estão localizadas no Médio Paraopeba.

Figura 3.2: Estações pluviométricas inseridas na Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba.



Estações Pluviométricas

Estação	Código da estação	Nome da estação
1	1944004	Ponte Nova do Paraopeba
2	1944007	Fazenda Escola Florestal
3	1944010	Horto Florestal
4	1944026	Barro Preto
5	1944027	Juatuba
6	1944031	Ponte da Taquara
7	1944049	Papagaios
8	1944055	Betim - Copasa
9	1944059	Fortuna de Minas
10	1944062	Fazenda Santa Rita
11	2043005	Conselheiro Lafaiete
12	2043013	Congonhas - Linígrafo
13	2044007	Entre Rios de Minas
14	2044008	Melo Franco
15	2044019	Fazenda Vista Alegre
16	2044020	Calambau
17	2044021	Alto da Boa Vista
18	2044024	Fazenda Curralinho
19	2044026	Fazenda Coqueiros
20	2044041	Fazenda Laranjeiras - Jusante
21	2044043	Estiva
22	2044052	Jardim
23	2044053	Escola de Veterinária
24	2044054	Serra Azul

A Tabela 3.1 apresenta os valores acumulados anuais de precipitação (mm) nas estações pluviométricas da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. É possível observar que nos anos de 2014 e 2017 a maioria das estações apresentaram os menores valores acumulados, podendo relacionar o menor volume de chuvas à crise hídrica decorrida no Estado já mencionada (CPRM, 2017).

Tabela 3.1: Acumulados anuais de precipitação (mm) nas estações pluviométricas da bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Sub-bacia	Estação	Código	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Alto	11	2043005	1841	2077	1222	1547	1058	1340	831	1409	1379	1049	1117	755
Alto	12	2043013	1669	1320	732	1225	521	1198	623	1344	1624	1012	1473	1136
Alto	13	2044007	1742	1835	1445	1445	1259	1344	751	1269	1324	905	1282	792
Médio	1	1944004	1671	1785	1275	1661	1225	1143	846	1220	1756	917	1186	1278
Médio	2	1944007	1704	1764	1382	1771	1152	1178	990	1248	1378	1031	1140	1313
Médio	4	1944026	1688	1341	1240	1402	1011	1162	745	1079	1246	698	1321	876
Médio	5	1944027	1714	1710	1287	1824	1289	1146	765	1261	1490	935	1239	1253
Médio	8	1944055	1612	1553	1400	1837	1044	1261	282	951	1391	954	1070	949
Médio	9	1944059	1517	1337	1333	1509	1089	1162	688	1273	1088	908	1160	1342
Médio	10	1944062	1880	1269	576	-	531	1114	767	892	1304	858	1192	819
Médio	14	2044008	1660	1837	1216	886	1160	1167	750	1148	1323	1081	1327	852
Médio	15	2044019	1903	1624	1400	1651	1123	1485	729	1086	1250	960	960	1219
Médio	16	2044020	1710	1645	1294	1691	1151	1034	282	1102	1247	629	1029	1218
Médio	17	2044021	1834	1747	1153	1535	798	1445	713	1156	1515	1013	1401	563
Médio	18	2044024	1693	1692	1343	1812	1311	1262	682	1048	1324	1020	1541	1217
Médio	19	2044026	1704	1664	1061	1613	892	1006	506	858	1432	937	993	1319
Médio	20	2044041	1693	1803	1275	1735	1080	1430	694	1063	878	1023	1204	1359
Médio	21	2044043	1816	1710	1347	1930	1312	1330	866	1181	1327	1004	909	1199
Médio	22	2044052	1829	1712	1292	1419	1268	1299	832	994	1331	956	1152	1390
Médio	23	2044053	1694	1795	1484	1755	1330	1334	706	1003	1292	952	1282	614
Médio	24	2044054	1777	1707	1422	1771	1235	1385	717	1062	1445	970	1431	1294
Baixo	3	1944010	1478	1417	1350	1185	1003	1351	844	1104	1447	771	1163	1164
Baixo	6	1944031	1516	1608	1362	1578	1158	1307	1002	1261	1356	731	1165	964
Baixo	7	1944049	1611	1308	1403	1473	1026	1155	686	1237	1361	564	1144	635

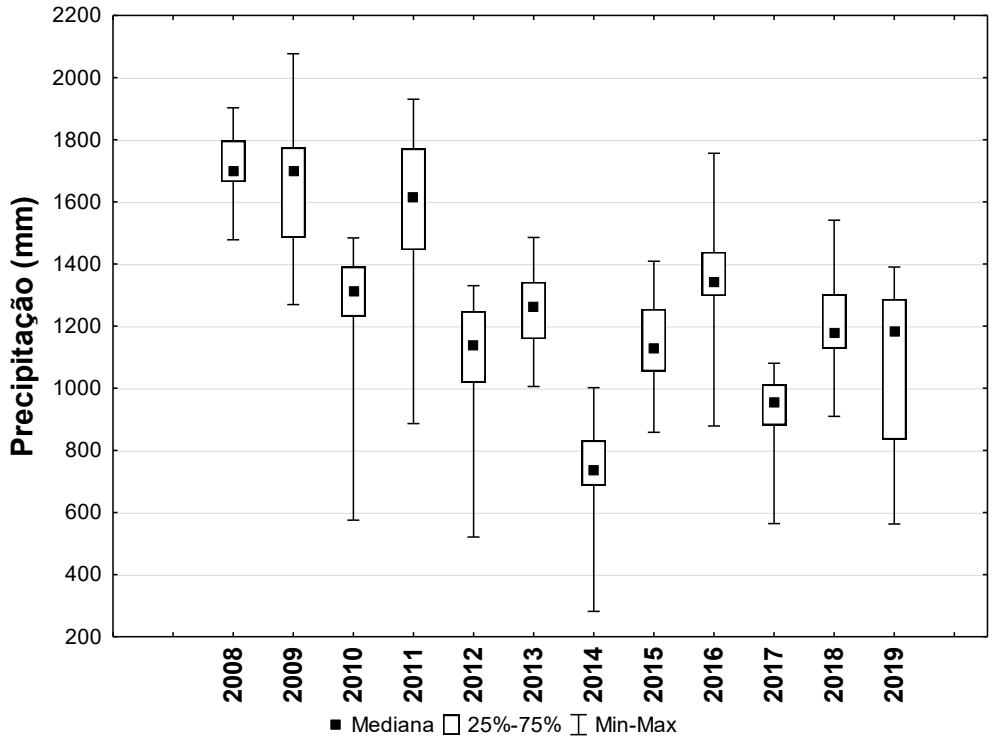
Fonte: ANA, 2020.

As estações localizadas no Alto Paraopeba apresentaram médias acumuladas entre 735 mm no ano de 2014 e 1751 mm em 2008 e registraram maiores quantidades de chuva que as demais regiões, o que é fundamental para a manutenção da quantidade de água dos mananciais em toda a bacia. No Médio Paraopeba, onde estão localizados os reservatórios de abastecimento humano, as estações apresentaram médias abaixo desses valores variando de 398 mm em 2014 e 1728 mm em 2008 e as estações no Baixo Paraopeba, apresentaram médias de 689 mm em 2017 e 1535 mm em 2008.

A Figura 3.3 apresenta os valores de precipitação acumulada para as estações da bacia hidrográfica do rio Paraopeba ao longo dos anos e a mediana para o ano 2014 é a menor no período analisado. Esse ano foi marcado por poucas chuvas em toda região sudeste agravando a diminuição da vazão dos corpos d´água, prejudicando diversos usos, principalmente o abastecimento da população (ANA, 2018). Esses dados reforçam a existência do cenário de escassez hídrica ocorrido no ano de 2014 que causou diminuição do volume dos cursos d´água e principalmente nos reservatórios existentes no Médio Paraopeba (MELO *et al.*, 2017; SAMPAIO; PINTO, 2020).

No presente estudo, os dados pluviométricos também foram utilizados para a definição dos períodos seco e chuvoso. Utilizando-se os dados de 2008 a 2019, os acumulados mensais de precipitação e os respectivos valores médios foram calculados e analisados para todas as estações.

Figura 3.3: Valores de precipitação acumulada (mm) por ano nas estações na bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

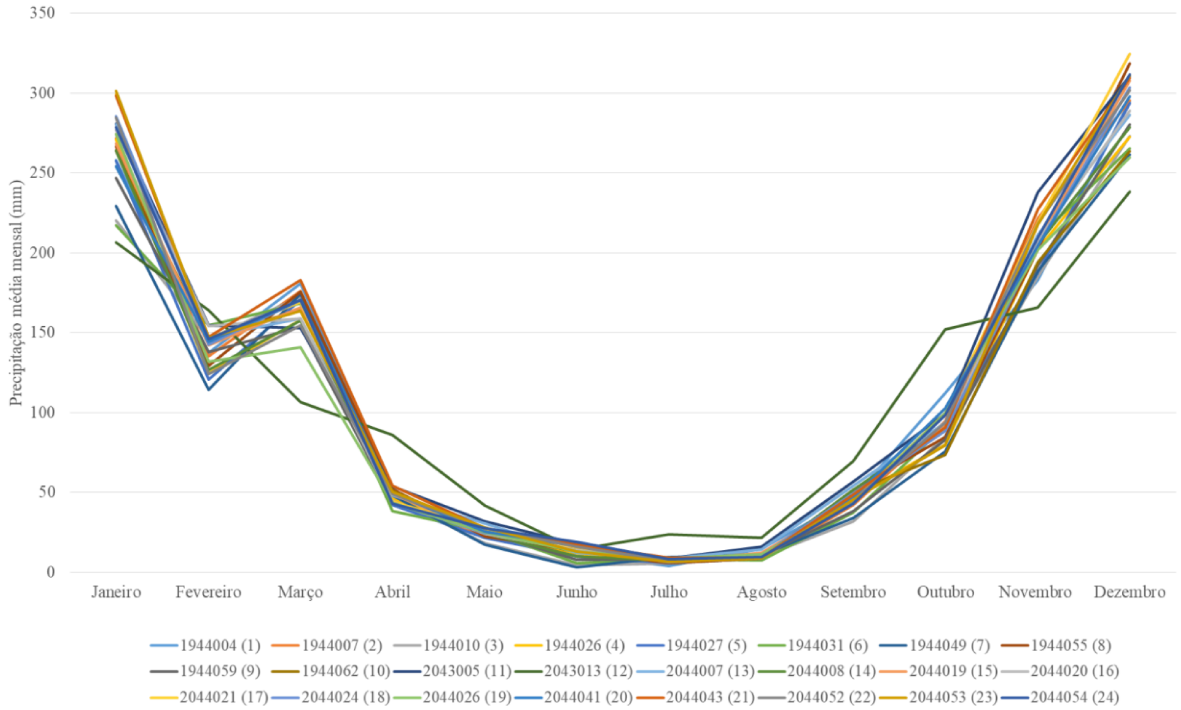


Fonte: ANA, 2020.

A Figura 3.4 apresenta a precipitação média mensal para as estações pluviométricas da ANA localizadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba. Observa-se que o regime pluviométrico entre as estações é muito semelhante e que o período chuvoso se inicia no mês de outubro e segue até o mês de março, com poucas chuvas ocorrendo nos meses de abril e setembro.

Para confirmar os resultados, também foi aplicado o teste não paramétrico U de Mann-Whitney, ao nível de significância (α) de 5%, para comparação entre dois grupos. O teste apresentou diferenças significativas (valor-p<0,05) para os acumulados de chuvas no período analisado em todas as estações. Portanto, considera-se o período de chuva de outubro a março e o período seco de abril a setembro. Resultados semelhantes foram também obtidos por Ferreira *et al.*, 2020.

Figura 3.4: Precipitação média mensal (em mm), na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, de 2008 a 2019.

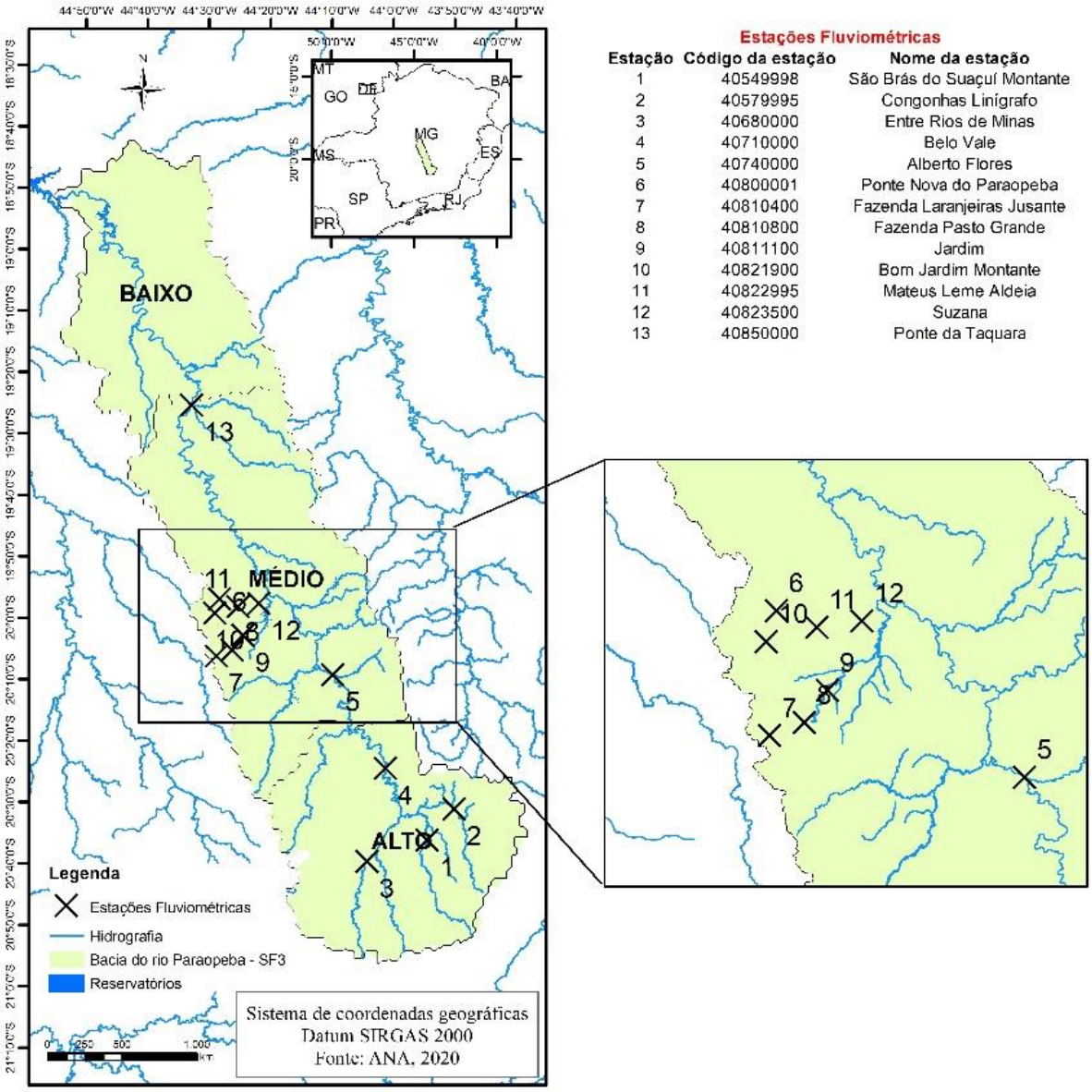


Nota: Os números entre parênteses se referem a numeração apresentada na Figura 3.2.

Fonte: ANA, 2020.

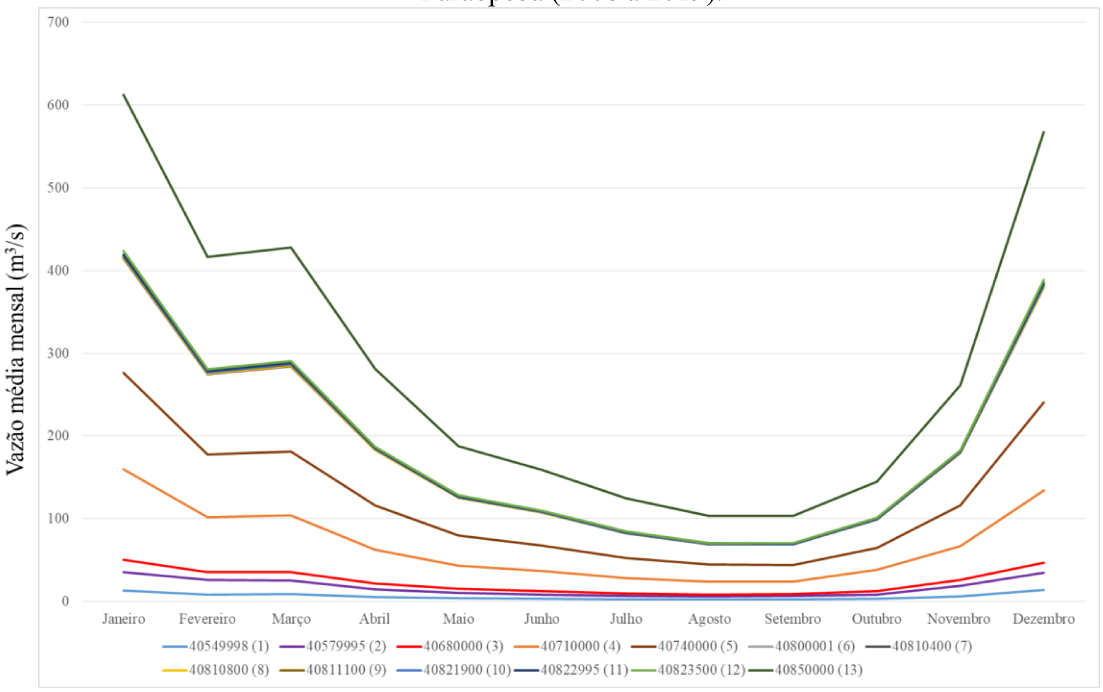
Os dados fluviométricos, durante a série histórica de 2008 a 2019, de 13 estações fluviométricas localizadas nos trechos alto e médio da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, também foram analisados (Figura 3.5), não sendo constatadas estações no Baixo Paraopeba. Destaca-se que a localização das estações fluviométricas quase sempre não coincide com a localização das estações de monitoramento da qualidade da água na bacia, dificultando a avaliação da qualidade e quantidade da água de forma conjunta, que contribuiria mais assertivamente para o gerenciamento dos recursos hídricos, uma vez que as variações sazonais na precipitação, escoamento superficial e fluxo de águas subterrâneas têm efeitos sobre a vazão do rio e, consequentemente, sobre a qualidade dos ambientes aquáticos (VEGA *et al.*, 1998).

Figura 3.5: Estações fluviométricas inseridas na Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba.



A Figura 3.6 apresenta o gráfico com as vazões médias mensais das estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Paraopeba (2008 a 2019).

Figura 3.6: Vazões médias mensais das estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Paraopeba (2008 a 2019).



Nota: Os números entre parênteses se referem a numeração apresentada na Figura 3.5.

Fonte: ANA, 2020.

A estação fluviométrica 40850000 (Ponte da Taquara) apresenta os maiores valores de vazão e está localizada no rio Paraopeba na divisa do Médio e Baixo Paraopeba. As estações fluviométricas com as menores vazões estão localizadas no Alto Paraopeba. Geralmente, a região de cabeceira de uma bacia possui rios estreitos e com menores vazões. À medida que recebe a contribuição dos rios tributários, acontece o aumento da vazão do rio principal, o que justifica que a estação mais a jusante da bacia (40850000 - Ponte da Taquara) apresente a maior vazão.

É possível observar que todas as estações fluviométricas seguem o mesmo comportamento, sendo vazões crescendo no período chuvoso (outubro a março) e decrescendo no período seco (abril a setembro).

Considerando que a bacia hidrográfica do rio Paraopeba é uma importante fonte de abastecimento para a população da RMBH e uma vez que a crescente pressão sobre os mananciais e as limitações da disponibilidade hídrica são os principais fatores que motivam a busca por novas fontes hídricas, o Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil de 2018 (ANA, 2018) recomendou o investimento em infraestrutura com foco na segurança hídrica, de forma a garantir maior capacidade de reservação e de acesso à água.

3.2 Caracterização geológica, geomorfológica e pedológica da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba

A geologia e o uso e ocupação da terra estão intimamente relacionados e têm um impacto importante na qualidade da água dos corpos d´água, dessa forma, apresenta-se uma descrição resumida destes aspectos na bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Inserida na porção meridional do Cráton do São Francisco (CARVALHO, 2014), a bacia hidrográfica do rio Paraopeba apresenta o substrato litológico composto de diferentes litologias associadas a três compartimentos geológicos (CODEMIG, 2019): Embasamento Cristalino e Quadrilátero Ferrífero (alto e médio curso), que apresentam evidências para a extração dos minérios metálicos e Bacia Intracratônica do São Francisco – Grupo Bambuí (baixo curso), que apresenta rochas calcárias e metapelíticas, litotipos facilmente intemperizáveis, o que pode facilitar o assoreamento da calha (VIGLIO, 2018).

As regiões geomorfológicas representam compartimentos inseridos nos conjuntos litomorfoestruturais que, sob a ação dos fatores climáticos pretéritos e atuais, lhes conferem características genéticas comuns, agrupando feições semelhantes, associadas às formações superficiais e às fitofisionomias (IBGE, 2009). As seguintes regiões geomorfológicas estão presentes na bacia hidrográfica do rio Paraopeba (SISEMA, 2021): Depressão do São Francisco; Planalto Centro-Sul Mineiro; Planaltos do Leste de Minas; e Quadrilátero Ferrífero.

A região Depressão do São Francisco é predominante no Baixo Paraopeba. Na área do Planalto Atlântico, é possível distinguir formas de relevo bem definidas e numerosas subdivisões, entre elas o Planalto Centro-Sul Mineiro, que é mais representativo no Médio Paraopeba, mas também está presente no Alto Paraopeba junto aos Planaltos do Leste de Minas. De forma localizada, nos planaltos, podem ocorrer processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas) (BAPTISTA *et al.*, 2010).

Na região do Quadrilátero Ferrífero ocorrem jazidas de ferro (Fe), manganês (Mn), ouro (Au), bauxita e pedras preciosas, como topázio e esmeralda. Desta forma, as minas de ferro e de manganês servem à indústria siderúrgica, a bauxita à produção de alumínio, o calcário representa a base da indústria de cimento, e rochas fosfáticas têm seu uso em fertilizantes (ROESER e ROESER, 2013). Na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, essa região geomorfológica ocorre na porção leste do Alto Paraopeba e segue no sentido oeste para o Médio

Paraopeba, sendo possível identificar a atividade minerária nesses locais.

Os tipos de solo estão associados à geologia e à geomorfologia da região e irão definir qual técnica de manejo é mais adequada de acordo com seus atributos, que determinam suas potencialidades e limitações. O mapa de solos do Estado de Minas Gerais elaborado pela parceria entre as Universidades Federais de Viçosa, Lavras e Ouro Preto, além da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais e Fundação Estadual do Meio Ambiente (UFV *et al.*, 2010) foi utilizado para obter as informações sobre as classes de solo existentes na bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

As classes de solo mais presentes na área da bacia hidrográfica do rio Paraopeba são o Cambissolo Háplico distrófico e o Latossolo vermelho-amarelo distrófico. A Tabela 3.2 apresenta as classes e distribuição de solos identificados na área de estudo, enquanto a Figura 3.7 apresenta a espacialização e suas respectivas abrangências na bacia.

Tabela 3.2: Classes de solos encontradas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Classe de solo	Área (km^2)	Porcentagem
Cambissolo háplico Tb distrófico	3963,69	32,9%
Latossolo vermelho-amarelo distrófico	2964,37	24,6%
Argissolo vermelho-amarelo distrófico	1863,39	15,5%
Latossolo vermelho distrófico	1815,17	15,1%
Neossolo litólico distrófico	1146,6	9,5%
Área urbanizada - Nenhum solo natural	108,85	0,9%
Argissolo vermelho-amarelo eutrófico	69,63	0,6%
Latossolo amarelo distrófico	69,32	0,6%
Cambissolo háplico Tb eutrófico	48,82	0,4%
Neossolo litólico eutrófico	5,63	0,0%
Água	1,47	0,0%
Argissolo vermelho distrófico	1,06	0,0%

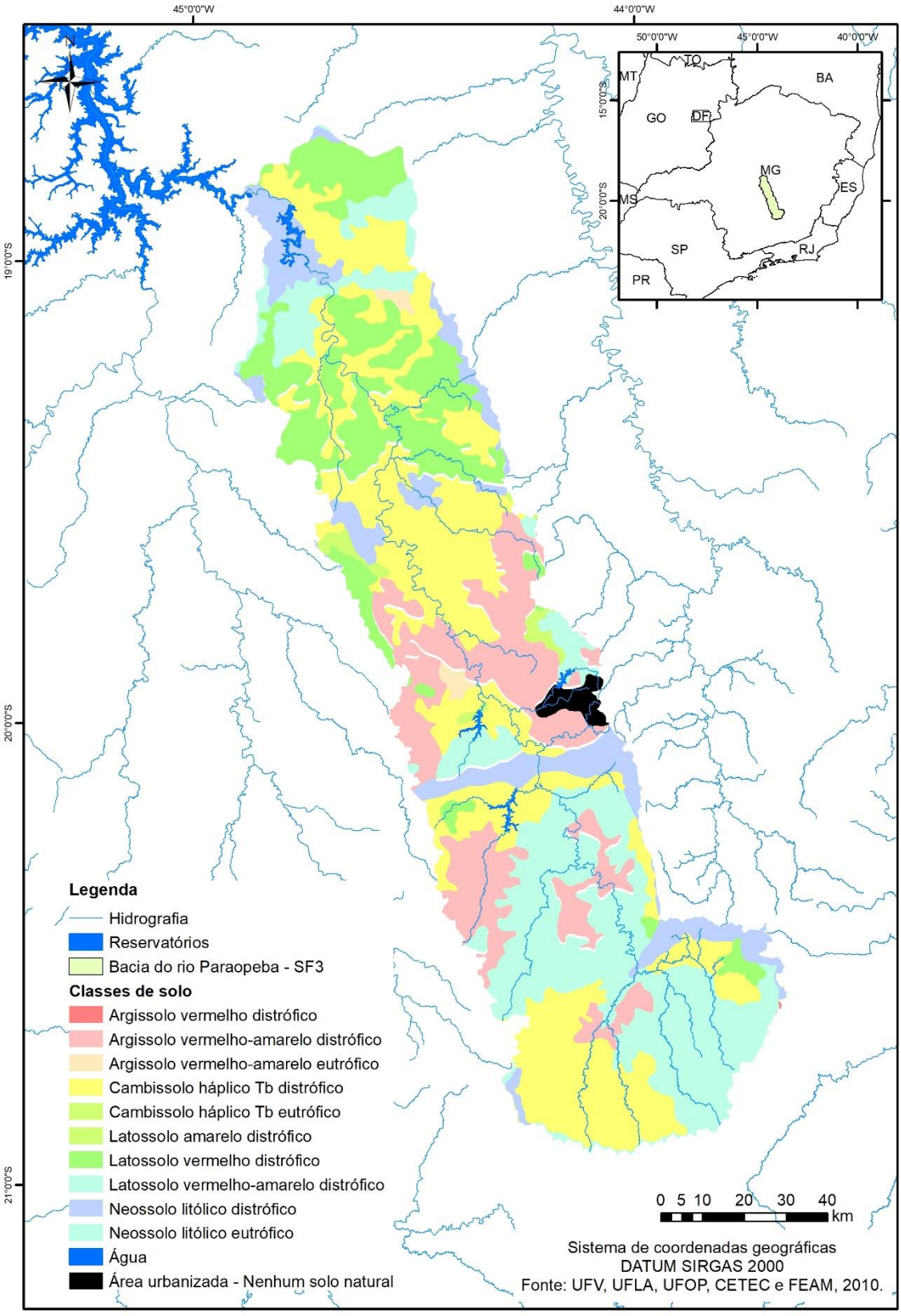
Fonte: SISEMA, 2021.

Os cambissolos háplicos distróficos e os latossolos vermelho-amarelo distróficos são predominantes no Alto Paraopeba. Os cambissolos apresentam baixa fertilidade, pequena profundidade e a ocorrência de pedras na massa do solo, enquanto os latossolos são solos profundos e bem drenados e os principais impedimentos ao seu pleno aproveitamento são a baixa fertilidade e a presença de alumínio tóxico para as plantas (AMARAL *et al.*, 2004).

No Médio Paraopeba também se destacam os cambissolos háplicos distróficos, além dos argissolos vermelho-amarelo distróficos. Os argissolos são solos que apresentam uma mistura dos óxidos de ferro. As principais restrições para seu uso estão relacionadas à fertilidade, em

alguns casos, e susceptibilidade à erosão (AMARAL *et al.*, 2004).

Figura 3.7: Classes de solo da Bacia hidrográfica do rio Paraopeba.



Por fim, no Baixo Paraopeba também predominam os cambissolos háplicos distróficos e os Latossolos vermelho distróficos, ambos solos de baixa fertilidade, portanto, necessitam de adubação fosfatada, devido a limitação do fósforo (AMARAL *et al*., 2004).

Diversos impactos antrópicos podem alterar as características hidropedológicas e a qualidade dos solos como a compactação, a erosão e a poluição, seja por agrotóxicos, efluentes industriais, hidrocarbonetos e lixões (SAHRAWAT *et al*., 2010). Como visto, na bacia hidrográfica do rio Paraopeba os solos predominantes geralmente apresentam problemas de fertilidade que podem demandar a complementação da adubação no caso de atividade agrícola, além de serem mais susceptíveis à erosão. Além disso, alguns tipos de solo encontrados na bacia apresentam uma mistura de recursos minerais que podem incentivar a indústria extrativista. Dessa forma, são necessárias práticas de gestão de recursos naturais que conservem os solos e as águas superficiais da Bacia e o manejo cuidadoso, a fim de contribuir para manter a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

3.3 Unidades de conservação da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba

A bacia hidrográfica do rio Paraopeba está inserida em áreas de transição entre Cerrado e Mata Atlântica, sendo o predomínio do bioma Cerrado (54%). O Alto Paraopeba está totalmente inserido no bioma Mata Atlântica, o Médio Paraopeba, assim como o Baixo Paraopeba possuem regiões na faixa de transição entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado (IBGE, 2019a).

As florestas e demais ecossistemas que compõem a Mata Atlântica são responsáveis pela produção, regulação e pelo abastecimento de água; regulação e equilíbrio climáticos; proteção de encostas e atenuação de desastres; fertilidade e proteção do solo; produção de alimentos, madeira, fibras, óleos e remédios; além de proporcionar paisagens cênicas e preservar um patrimônio histórico e cultural imenso (MMA, 2020a).

Depois da Mata Atlântica, o Cerrado é o bioma brasileiro que mais sofreu alterações com a ocupação humana. Com a crescente pressão para a abertura de novas áreas, visando incrementar a produção de carne e grãos para exportação, tem havido um progressivo esgotamento dos recursos naturais da região. Nas três últimas décadas, o Cerrado vem sendo degradado pela expansão da fronteira agrícola brasileira. Além disso, o bioma Cerrado é palco de uma exploração extremamente predatória de seu material lenhoso para produção de carvão (MMA, 2020a).

Em função das atividades antrópicas desenvolvidas na bacia hidrográfica, a área de cobertura vegetal nativa vem sendo gradativamente reduzida em ambos os biomas (COBRAPE, 2018). Neste contexto, a conservação dos remanescentes de Mata Atlântica e a recuperação da sua vegetação nativa, além da conservação do Cerrado tornam-se fundamentais, destacando-se para isso áreas protegidas, como Unidades de Conservação (SNUC – Lei nº 9.985/2000).

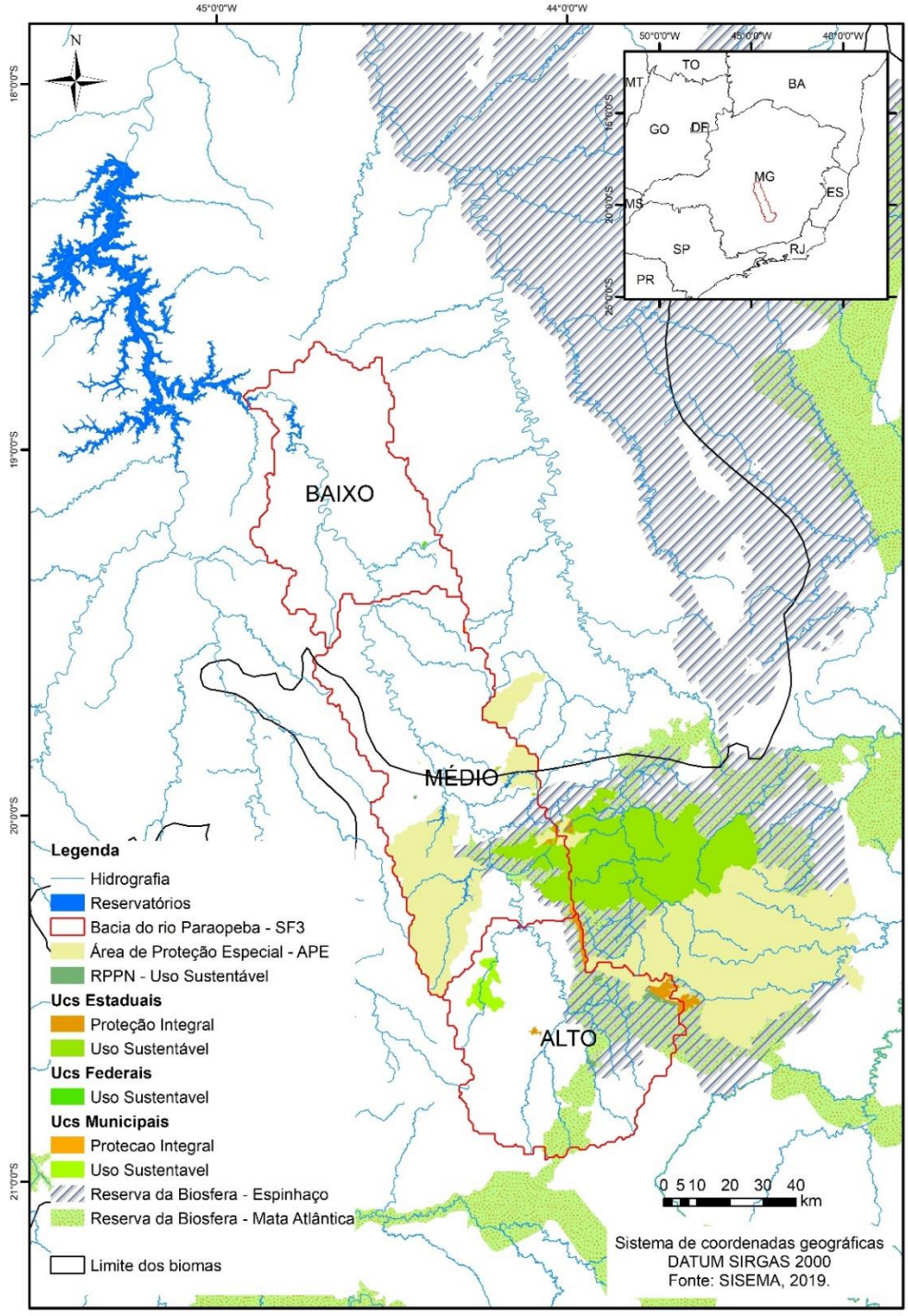
A Lei Federal nº 9.985 estabelece dois grupos de Unidades de Conservação (UC), conforme o tipo de manejo: (i) proteção integral, na qual prevê a manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana, admitido apenas o uso indireto dos seus atributos naturais e (ii) uso sustentável que prevê a exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável (BRASIL, 2000).

No grupo das Unidades de Proteção Integral existentes na bacia hidrográfica do rio Paraopeba é possível destacar: 2 Reservas Biológicas (REBIO), 3 Parques (PAR) e 5 Monumentos Naturais (MONAs). No grupo das Unidades de Uso Sustentável destacam-se: 6 Áreas de Proteção Ambiental (APAs), uma Floresta Nacional (FLONA), uma Floresta Estadual (FLOE) e 18 Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs). Também existem na bacia 12 Áreas de Proteção Especial (APEs) e a Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço e a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. As unidades de conservação inseridas na Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba são apresentadas na Figura 3.8.

A maior parte das unidades de conservação encontram-se no bioma da Mata Atlântica. Apesar do reconhecimento de sua importância biológica, a região do Cerrado apresenta menor quantidade de áreas protegidas. De acordo com MMA (2020b), as áreas protegidas englobam as UCs, mosaicos e corredores ecológicos, espaços considerados essenciais, do ponto de vista econômico, por conservarem a sociobiodiversidade, além de serem provedores de serviços ambientais e geradores de oportunidades de negócios.

Considerando que a bacia hidrográfica do rio Paraopeba possui 12.054 km^2, pode-se dizer que a bacia possui um baixo percentual de áreas protegidas, uma vez que a área de unidades de conservação dentro do limite da bacia é de apenas 1.843 km^2, ou seja, aproximadamente 15%.

Figura 3.8: Unidades de conservação inseridas na Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba.



A maioria das unidades de conservação está localizada nas cabeceiras dos cursos d´água e no entorno dos reservatórios de abastecimento humano, uma vez que a manutenção da vegetação nativa favorece a recarga de aquíferos e garante a qualidade da água. Mesmo assim, é importante ressaltar que as áreas protegidas podem desempenhar papéis muito maiores que apenas garantir a qualidade e quantidade de água e, portanto, precisam ser incorporadas nos planos de gestão da bacia.

3.4 Uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba

Diversos problemas relacionados com a qualidade da água são causados pelo pelas alterações no uso do solo e ocupação intensiva por atividades antrópicas, como urbanização, atividades industriais e agrícolas (KANG *et al.*, 2010; MENEZES *et al.*, 2016; NGOYE; MACHIWA, 2004). Assim, compreender a relação entre o uso do solo e a qualidade das águas superficiais é extremamente relevante para o processo de planejamento da gestão das bacias hidrográficas (RODRIGUES *et al.*, 2018; TRAN *et al.*, 2010). Diversos estudos demonstram a importância de se considerar o uso do solo na avaliação da qualidade da água a fim de identificar as relações entre fontes de poluição e parâmetros de qualidade da água (DIAMANTINI *et al.*, 2018; MENESES *et al.*, 2015; TRAN *et al.*, 2010).

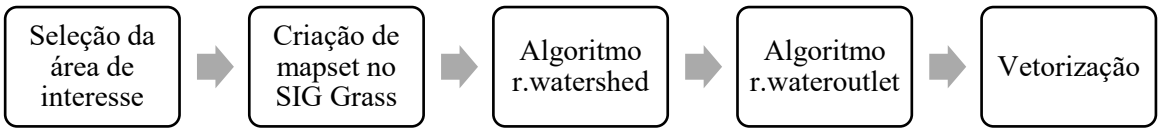
Dessa forma, a fim de facilitar o aprofundamento de questões da qualidade da água e do uso e ocupação do solo, primeiramente foram delimitadas as áreas de drenagem de cada estação de monitoramento da qualidade da água do Programa Águas de Minas do Igam, localizadas na Bacia hidrográfica do rio Paraopeba, utilizando ferramentas de geoprocessamento.

As ferramentas de geotecnologias (cartografia, sensoriamento remoto, GPS (*Global Positioning System*) e SIG - Sistema de Informação Geográfica) permitem delimitar e avaliar os divisores de bacias hidrográficas obtidas a partir de dados de elevação, dentre os mais utilizados os da missão *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM (FARR *et al.*, 2007).

A delimitação das áreas de drenagem, ou microbacias, foi realizada a partir dos Modelos Digitais de Elevação do Terreno (MDTs) das imagens da SRTM 1. As imagens que compõem a bacia hidrográfica do rio Paraopeba foram recortadas e mosaicadas e o processo da delimitação automática foi efetuado utilizando o pacote de algoritmos de modelamento hidrológico do GRASS, instalado no QGIS 3.4.12 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2019).

A Figura 3.9 apresenta a sequência das rotinas executadas para modelagem hidrológica que consistiu na elaboração dos segmentos de fluxo, direções de drenagem e a respectiva área de drenagem, tendo como exutório a localização geográfica de cada uma das estações de monitoramento da qualidade da água, permitindo assim o cálculo de área.

Figura 3.9: Sequência das rotinas executadas para delimitação das áreas de drenagem inseridas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba utilizando o QGis 3.4.12.



Em seguida, foram utilizados os mapas da Coleção 5 da plataforma do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomas), publicados em agosto de 2020. As imagens classificadas no Mapbiomas, referentes a cada ano a ser avaliado (2008 a 2019) para o Estado de Minas Gerais (MAPBIOMAS, 2020a), foram baixadas e recortadas em ambiente SIG, com o auxílio do *software* QGIS 3.4.12. De posse da imagem classificada, foi feita a extração das informações contidas na tabela de atributos da imagem para a contabilização das áreas relativas a cada classe de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Os mapas de uso e cobertura do solo disponíveis na plataforma MapBiomas possuem várias classes. Para este trabalho, algumas dessas classes foram agrupadas em classes semelhantes, para melhor avaliação das informações. O Quadro 3.2 apresenta as classes de uso e cobertura do solo identificadas inicialmente pela plataforma para a bacia hidrográfica do rio Paraopeba e as 12 classes finais utilizadas nesse trabalho. No Quadro 3.2 é apresentada a descrição detalhada de cada classe para os biomas Mata Atlântica e Cerrado que são os encontrados na bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Quadro 3.2: Classes de uso e ocupação do solo identificadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Classes da legenda na Coleção 5 do MapBiomas	**Classes de uso do solo utilizadas nesse trabalho**
Formação florestal	Formação florestal
Formação savânica	Formação savânica
Floresta plantada	Floresta plantada
Formação campestre	Formação campestre
Pastagem	Pastagem
Cana Soja Outras Lavouras Temporárias Lavoura Perene	Agricultura
Mosaico de agricultura e pastagem	Mosaico de agricultura e pastagem
Infraestrutura urbana	Infraestrutura urbana
Outras áreas não vegetadas	Outras áreas não vegetadas
Afloramento rochoso	Afloramento rochoso
Mineração	Mineração
Rio, Lago e Oceano	Água

Fonte: MAPBIOMAS, 2020b.

As características das áreas de drenagem e o valor das áreas incrementais relativas a cada estação de monitoramento são apresentadas na Tabela 3.3, em destaque as estações localizadas na calha do rio Paraopeba. Entende-se como área de drenagem incremental a diferença entre a área de drenagem da estação de monitoramento analisada e o somatório das áreas de drenagem das estações de monitoramento localizadas a montante.

Conforme a Tabela 3.3, verifica-se que as estações de monitoramento apresentaram grande variação no que diz respeito à área incremental. Enquanto a maior área correspondeu a 13,82% da bacia hidrográfica (BP099), a menor área incremental abrangeu 0,09% (BP022), ambas estações localizadas na calha do rio Paraopeba.

Tabela 3.3: Áreas de drenagem e áreas incrementais de cada estação de monitoramento da qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Paraopeba no âmbito do Programa "Águas de Minas" (estações em cinza estão localizadas no rio Paraopeba).

Estação	Descrição	Sub-bacia	Área de drenagem (km^2)	% bacia	Área incremental (km^2)	% bacia
BP014	Ribeirão Soledade a jusante do distrito de Lobo Leite. Após a junção com os ribeirões Gurita e da Passagem	Alto	85,430	0,71%	85,43	0,71%
BP016	Rio Preto à jusante do bairro Pires em Congonhas.	Alto	22,40	0,19%	22,40	0,19%
BP018	Córrego Mãe-D'água à montante do córrego Santo Antônio	Alto	31,45	0,26%	31,45	0,26%
BP020	Córrego Maria-José a jusante da Mina FERROUS - Viga	Alto	11,04	0,09%	11,04	0,09%
BP022	Rio Paraopeba a montante de Cristiano Otoni, próximo de sua nascente	Alto	10,60	0,09%	10,60	0,09%
BP024	Rio Brumado a montante de sua foz no rio Camapuã, a jusante de Entre Rios de Minas	Alto	490,38	4,07%	490,38	4,07%
BP026	Rio Camapuã na cidade de Jeceaba	Alto	1.104,92	9,17%	614,54	5,10%
BP027	Rio Paraopeba a jusante da cidade de Jeceaba, logo após a foz do Rio Camapuã	Alto	2.478,64	20,56%	230,92	1,92%
BP029	Rio Paraopeba na cidade de Belo Vale	Alto	2.741,54	22,74%	262,90	2,18%
BP032	Rio Macaúbas a jusante de Bonfim, a montante de sua foz no rio Paraopeba	Alto	468,73	3,89%	468,73	3,89%
BP079	Rio Paraopeba a montante da foz do Rio Pequeri, em São Braz do Suaçuí	Alto	461,62	3,83%	451,02	3,74%
BP080	Rio Maranhão próximo de sua foz no Rio Paraopeba, a jusante da cidade de Congonhas	Alto	681,19	5,65%	442,54	3,67%
BP084	Rio Maranhão na localidade de Gagé próximo a Conselheiro Lafaiete	Alto	99,36	0,82%	99,36	0,82%
BP036	Rio Paraopeba na localidade de Melo Franco	Médio	3.816,05	31,66%	605,79	5,03%
BP066	Rio Veloso a jusante de Itatiaiuçu	Médio	68,81	0,57%	68,81	0,57%
BP068	Rio Paraopeba no local denominado Fecho do Funil	Médio	4.995,63	41,44%	357,69	2,97%
BP069	Ribeirão Serra Azul em Juatuba	Médio	436,15	3,62%	436,15	3,62%
BP070	Rio Paraopeba a jusante da foz do Ribeirão Sarzedo, próximo à cidade de São Joaquim de Bicas	Médio	5.308,16	44,04%	121,66	1,01%

Tabela 3.3: Áreas de drenagem e áreas incrementais de cada estação de monitoramento da qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Paraopeba no âmbito do Programa "Águas de Minas" (estações em cinza estão localizadas no rio Paraopeba) (Continuação).

Estação	Descrição	Sub-bacia	Área de drenagem (km^2)	% bacia	Área incremental (km^2)	% bacia
BP071	Rio Betim próximo de sua foz no Rio Paraopeba, em Betim	Médio	243,75	2,02%	104,94	0,87%
BP072	Rio Paraopeba a jusante da foz do Rio Betim, na divisa dos municípios de Betim e Juatuba	Médio	5.705,81	47,34%	153,90	1,28%
BP073	Riacho das Pedras ou Ribeirão das Areias em Betim, a montante de sua foz no rio Betim	Médio	138,81	1,15%	19,52	0,16%
BP074	Ribeirão Macacos na cidade de Cachoeira da Prata a montante de sua foz no rio Paraopeba	Médio	407,88	3,38%	407,88	3,38%
BP075	Córrego Pintado a jusante da REGAP.	Médio	20,67	0,17%	20,67	0,17%
BP076	Ribeirão São João próximo de sua foz no Rio Paraopeba, na cidade de Paraopeba	Médio	325,77	2,70%	325,77	2,70%
BP081	Ribeirão Ibirité a jusante do município de Ibirité.	Médio	48,58	0,40%	48,58	0,40%
BP082	Rio Paraopeba na localidade de São José, em Esmeraldas	Médio	7.295,37	60,52%	761,34	6,32%
BP085	Ribeirão Ibirité a jusante da Represa de Ibirité.	Médio	90,51	0,75%	21,26	0,18%
BP086	Ribeirão Sarzedo próximo de sua foz no Rio Paraopeba em Mário Campos	Médio	190,88	1,58%	100,37	0,83%
BP088	Rio Betim a jusante do Reservatório de Vargem das Flores em Betim	Médio	119,29	0,99%	119,29	0,99%
BP090	Ribeirão Grande a montante de sua foz no rio Paraopeba em Esmeraldas	Médio	392,08	3,25%	392,08	3,25%
BP092	Ribeirão Casa Branca à montante da confluência com o Ribeirão Catarina em Casa Branca (Brumadinho)	Médio	56,81	0,47%	19,76	0,16%
BP094	Ribeirão Catarina à montante da confluência com o Ribeirão Casa Branca em Casa Branca (Brumadinho)	Médio	37,05	0,31%	37,05	0,31%
BP096	Rio Manso próximo de sua confluência com o rio Paraopeba em Brumadinho	Médio	765,08	6,35%	696,27	5,78%
BP078	Rio Paraopeba a jusante da foz do Rio Pardo em Pompéu	Baixo	10.146,92	84,18%	1248,07	10,35%
BP083	Rio Paraopeba logo após a foz do Ribeirão São João em Paraopeba	Baixo	8.712,15	72,28%	683,13	5,67%
BP098	Ribeirão do Cedro próximo de sua foz no rio Paraopeba em Caetanópolis	Baixo	186,71	1,55%	186,71	1,55%
BP099	Rio Paraopeba a montante de sua foz na barragem de Três Marias	Baixo	11.813,39	98,00%	1666,46	13,82%

A Tabela 3.4 apresenta o percentual e a área em km^2 das tipologias de uso e ocupação do solo identificadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019. Utilizou-se o ano de 2008 como ano inicial para coincidir com o período a ser utilizado para as análises dos parâmetros de qualidade da água do Capítulo 4. No Apêndice I, são apresentadas as tabelas para cada área de drenagem da bacia hidrográfica do rio Paraopeba (Tabela I.1 à Tabela I.37 – Apêndice I).

Pela análise da Tabela 3.4, entre os anos de 2008 e 2019, pode-se observar o crescimento das classes de formação florestal (7%), floresta plantada (65%), agricultura (390%), mosaico de agricultura e pastagem (6%), infraestrutura urbana (34%), outras áreas não vegetadas (15%), mineração (27%) e água (17%). As classes formação savânica (- 13%), formação campestre (- 13%), pastagem (- 9%) e afloramento rochoso (-5%) tiveram as áreas reduzidas.

Tabela 3.4: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	20,2%	2430,27	20,4%	2459,19	20,4%	2454,90	20,2%	2432,41	20,5%	2466,21	20,8%	2504,68
Formação Savânica	8,8%	1064,64	8,9%	1077,18	8,9%	1074,64	9,0%	1084,24	9,0%	1079,79	8,9%	1068,97
Floresta Plantada	3,0%	359,08	3,3%	398,19	3,6%	433,48	3,8%	462,73	4,2%	505,86	4,4%	527,28
Formação Campestre	1,9%	234,02	1,9%	234,28	1,9%	230,05	1,9%	225,68	1,8%	215,35	1,7%	208,18
Pastagem	51,9%	6254,04	51,7%	6223,96	51,1%	6155,91	50,1%	6034,25	49,3%	5940,74	48,8%	5880,95
Agricultura	0,4%	44,84	0,4%	51,40	0,5%	61,73	0,6%	68,98	0,7%	79,63	0,8%	91,78
Mosaico de Agricultura e Pastagem	9,8%	1180,90	9,2%	1105,72	9,2%	1106,73	10,0%	1199,20	10,0%	1208,72	10,0%	1204,18
Infraestrutura Urbana	2,1%	251,72	2,2%	266,56	2,3%	275,26	2,4%	285,59	2,4%	291,69	2,6%	309,59
Outras Áreas não Vegetadas	0,4%	42,40	0,4%	43,70	0,4%	47,49	0,4%	45,54	0,4%	46,10	0,4%	42,26
Afloramento Rochoso	0,6%	70,47	0,6%	71,31	0,6%	74,85	0,6%	77,03	0,7%	79,57	0,6%	76,75
Mineração	0,4%	45,43	0,4%	44,44	0,4%	43,18	0,4%	42,94	0,4%	43,40	0,4%	43,20
Água	0,6%	68,42	0,6%	70,32	0,7%	88,03	0,7%	87,66	0,7%	89,20	0,7%	88,42
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	21,1%	2540,13	21,5%	2590,52	21,7%	2611,12	21,5%	2595,43	21,5%	2588,38	21,5%	2591,46
Formação Savânica	8,8%	1059,69	8,7%	1044,34	8,6%	1039,36	8,5%	1020,73	8,3%	997,13	7,7%	928,39
Floresta Plantada	4,5%	543,64	4,7%	561,32	4,8%	574,86	4,8%	582,05	4,8%	582,11	4,9%	591,40
Formação Campestre	1,7%	205,56	1,7%	209,83	1,8%	217,52	1,8%	216,06	1,7%	208,48	1,7%	203,27
Pastagem	47,9%	5770,53	47,3%	5693,17	47,0%	5659,95	46,6%	5619,46	46,6%	5610,57	47,0%	5665,76
Agricultura	0,9%	107,14	1,0%	125,27	1,2%	145,07	1,6%	195,79	1,7%	206,63	1,8%	219,87
Mosaico de Agricultura e Pastagem	10,4%	1256,94	10,4%	1255,63	10,2%	1226,57	10,3%	1242,78	10,5%	1261,08	10,4%	1254,91
Infraestrutura Urbana	2,6%	317,60	2,7%	322,83	2,7%	324,28	2,7%	324,19	2,8%	337,08	2,8%	338,23
Outras Áreas não Vegetadas	0,4%	43,77	0,3%	39,51	0,3%	36,46	0,3%	37,00	0,3%	40,90	0,4%	48,56
Afloramento Rochoso	0,6%	74,10	0,6%	74,84	0,6%	72,86	0,6%	74,31	0,6%	74,44	0,6%	66,87
Mineração	0,4%	44,44	0,4%	47,21	0,5%	57,95	0,5%	58,43	0,5%	58,61	0,5%	57,66
Água	0,7%	82,71	0,7%	81,79	0,7%	80,25	0,7%	80,02	0,7%	80,82	0,7%	79,88

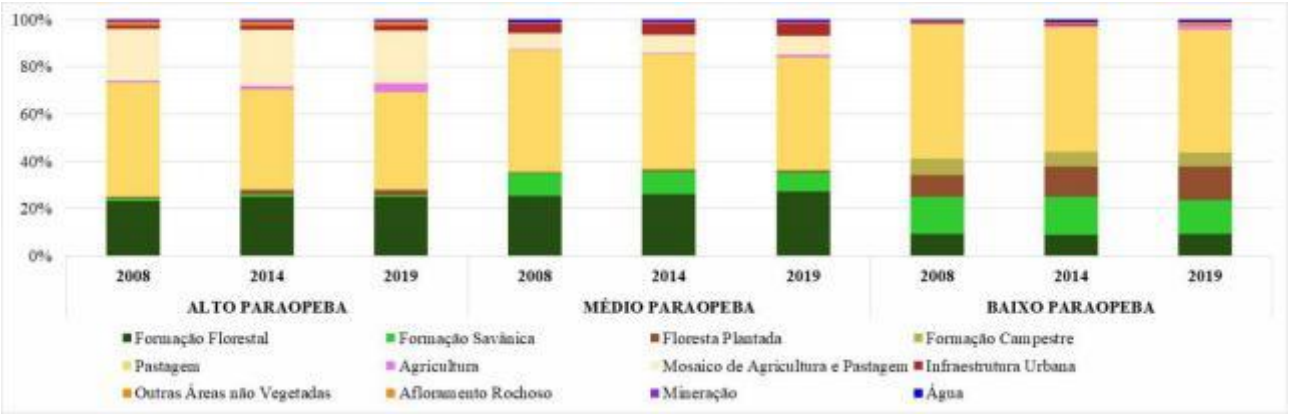
Fonte: MAPBIOMAS, 2020a.

As classes de agricultura, floresta plantada e infraestrutura urbana tiveram os maiores percentuais de aumento de área. Esse aumento era esperado devido ao constante crescimento das áreas urbanas e também devido à produção de eucalipto para siderúrgicas na região do Baixo Paraopeba (COBRAPE, 2018). A classe de água que também aumentou, pode ser justificada por fatores climáticos e também pela construção do reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Retiro Baixo (FURNAS, 2020).

A área de formação florestal apresentou crescimento de apenas 7%, provavelmente por causa da criação de unidades de conservação que permitiram a recuperação e conservação dessas áreas. As áreas de formações savânica e campestre e de pastagem tiveram reduções, devido principalmente ao crescimento urbano e consequente desmatamento e antropização dos ambientes e o aumento das áreas classificadas como agricultura e outras áreas não vegetadas. As áreas classificadas como afloramento rochoso tiveram redução de 5% e as áreas de mineração aumentaram em 27%, revelando o potencial da região para a atividade minerária.

A Figura 3.10 mostra a evolução das classes de uso e ocupação do solo para o Alto, Médio e Baixo rio Paraopeba para os anos de 2008, 2014 e 2019 de acordo com os dados do Mapbiomas (2020a).

Figura 3.10: Evolução das classes de uso e ocupação do solo para o Alto, Médio e Baixo rio Paraopeba para os anos de 2008, 2014 e 2019.



Fonte: MAPBIOMAS, 2020a.

No Alto Paraopeba, no ano de 2019, a maior parte do território é composto por pastagem (41,6%), seguida pela área coberta por formação florestal (25%). Ao longo dos anos de 2008 até 2019 houve um aumento das áreas de agricultura (377%), floresta plantada (115%), infraestrutura urbana (40%) e mineração (32%), principalmente, diminuindo as áreas cobertas pela formação savânica (-32%), pastagem (-13%) e afloramento rochoso (-5%). O aumento das

áreas de formação florestal, apesar de pequeno (70,3 km^2), pode estar relacionado à recuperação e manutenção das áreas de unidades de conservação.

No Médio Paraopeba as maiores coberturas do solo também são pastagem (47,8%) e formação florestal (27,1%). As áreas de formação savânica e campestre vêm diminuindo e dando lugar às classes de floresta plantada, agricultura, infraestrutura urbana e mineração. Para a classe água, houve uma redução de 14% da área entre os anos de 2008 e 2019, possivelmente resultado da crise hídrica sofrida na região onde estão localizados os reservatórios de abastecimento humano da bacia hidrográfica. Também é importante destacar o crescimento da classe mineração nessa região, onde se encontra a maior quantidade dos empreendimentos minerários da bacia hidrográfica do rio Paraopeba (SISEMA, 2021).

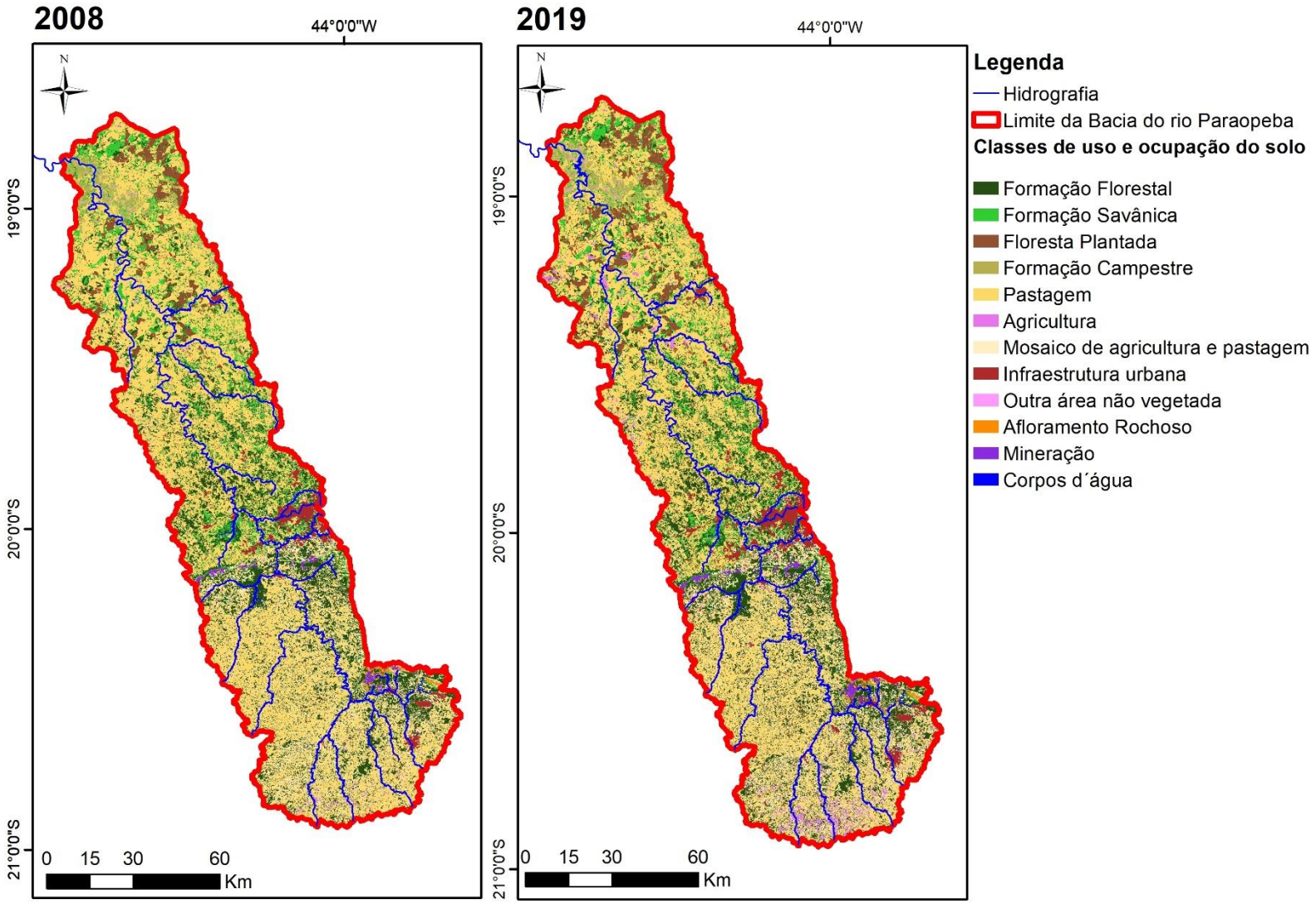
Por fim, no Baixo Paraopeba as maiores coberturas do solo são pastagem (51,8%), seguido pela formação savânica (14,4%) e floresta plantada (14,2%). Entre os anos de 2008 e 2019 houve um aumento de 43 km^2 das áreas de agricultura e 16 km^2 de água, essa última em decorrência do reservatório da UHE Retiro Baixo que vem operando comercialmente desde março de 2010 (FURNAS, 2020).

Os mapas de uso e ocupação do solo apresentados na Figura 3.11 mostram a dimensão das alterações no ano inicial de estudo, 2008 e no ano final de 2019. Na análise visual, as mudanças mais perceptíveis são acerca das classes infraestrutura urbana no Médio Paraopeba, agricultura no Alto Paraopeba, floresta plantada no Baixo Paraopeba, e pastagem em toda a área da bacia hidrográfica. As demais, embora também tenham sofrido alteração, não são perceptíveis.

Na análise individual das áreas de drenagem de cada estação, destaca-se que no Alto Paraopeba todas sofreram a diminuição da classe de formação savânica. As áreas de drenagem das estações BP014, BP024, BP026, BP027, BP029, BP032, BP079, BP080 e BP084 apresentaram um aumento da classe de agricultura ao longo dos anos (2008 a 2019).

A área de drenagem da estação BP016 (Alto Paraopeba) sofreu um aumento da classe de mineração, essa estação está localizada no município de Ouro Preto, onde se encontram pilhas de rejeitos/estéril de empreendimentos minerários. As áreas de drenagem das estações BP018 e BP020 (Alto Paraopeba), localizadas nos municípios de Congonhas e Belo Vale, também apresentaram aumento da classe de mineração, nessa região existem diversos empreendimentos minerários licenciados (SISEMA, 2021).

Figura 3.11: Evolução do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Paraopeba em 2008 (à esquerda) e em 2019 (à direita).



Sistema de coordenadas geográficas DATUM WGS 1984 Fonte: Mapbiomas, 2021.

Em relação às áreas de drenagem das estações localizadas na calha do rio Paraopeba (BP022, BP027, BP029 e BP079) e que, portanto, acabam refletindo as características gerais do Alto Paraopeba, existe o predomínio da pastagem. Foi possível perceber o crescimento das classes de floresta plantada, agricultura e infraestrutura urbana, enquanto houve a diminuição das áreas de afloramento rochoso, formação savânica e pastagem ao longo dos anos.

Cabe ressaltar o aumento para as classes de infraestrutura urbana e mineração nas áreas de drenagem das estações BP027 e BP029 (Alto Paraopeba), estações localizadas a jusante dos municípios de Congonhas e Belo Vale e que, portanto, vêm apresentando crescimento das atividades econômicas nos últimos anos.

No Médio Paraopeba quase todas as áreas de drenagem das estações sofreram a substituição das classes de pastagem e formação savânica pela classe de formação florestal, exceto para as estações da sub-bacia do ribeirão Sarzedo (BP075, BP081, BP085 e BP086), que apresentaram a diminuição da classe de formação florestal e aumento das classes de infraestrutura urbana e mineração.

Em relação às áreas de drenagem das estações localizadas na calha do rio Paraopeba no Médio Paraopeba (BP036, BP068, BP070, BP072 e BP082) é possível perceber o acréscimo das classes de formação florestal, que podem ser associadas à criação e manutenção das áreas de proteção no entorno dos reservatórios de abastecimento humano e unidades de conservação (Figura 3.8). Também houve acréscimo nas classes de floresta plantada, agricultura, mineração e infraestrutura urbana, uma vez que nessa região estão localizados os municípios da RMBH e concentra a maior parte de atividades econômicas.

No Baixo Paraopeba existem apenas quatro estações de monitoramento, sendo que três estão localizadas na calha do rio Paraopeba. A área de drenagem da estação de monitoramento BP099, no Baixo Paraopeba, por estar localizada no ponto mais a jusante da bacia, representa praticamente toda a área da bacia, predominando, portanto, a classe de uso de pastagem apesar da redução dessas áreas ao longo dos anos (- 590 km^2). A classe de infraestrutura urbana apresentou crescimento ao longo dos anos (85,3 km^2), o que é esperado, uma vez que a urbanização é crescente na região. Outras classes que apresentaram crescimento na área de drenagem da BP099 foram floresta plantada (225,2 km^2), agricultura (173,8 km^2) e a mineração (12,17 km^2), principais atividades econômicas da bacia.

É necessário destacar que o uso dos mapas gerados na plataforma MapBiomas deve ser ponderado e sempre associado a outras fontes de informações, como por exemplo, aos empreendimentos licenciados na região que serão apresentados a seguir.

3.5 Atividades licenciadas e outorgas concedidas na Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba

De acordo com a Lei Estadual nº 21.972, de 21 de janeiro de 2016, o licenciamento ambiental é o procedimento administrativo destinado a licenciar atividades ou empreendimentos utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental (MINAS GERAIS, 2016).

As modalidades de licenciamento são estabelecidas por meio da matriz de conjugação de classe por porte do empreendimento e o potencial poluidor/degradador do meio ambiente e critérios locacionais de enquadramento, conforme é definido pela DN COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017 (MINAS GERAIS, 2017). Sendo assim, os empreendimentos podem ser classificados da Classe 1 à Classe 6, conforme apresentado no Quadro 3.3.

Quadro 3.3: Determinação da classe do empreendimento a partir do potencial poluidor/degradador da atividade e do porte.

		Potencial poluidor/degradador geral da atividade		
		Pequeno	**Médio**	**Grande**
Porte do empreendimento	**Pequeno**	1	2	4
	Médio	1	3	5
	Grande	1	4	6

Fonte: MINAS GERAIS, 2017.

A Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema), tem como objetivo promover a adequada organização dos processos de geração, armazenamento, acesso, compartilhamento, disseminação e uso dos dados geoespaciais oriundos das atividades, programas e projetos ambientais e de recursos hídricos desenvolvidos pelo Sisema (SISEMA, 2021).

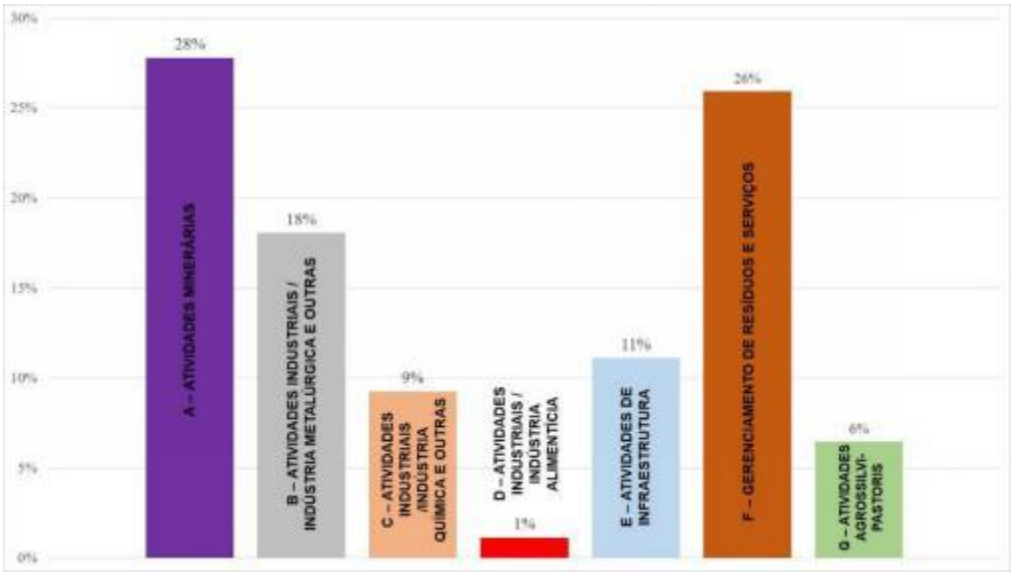
A série histórica de dados de licenciamento foi obtida mediante acesso ao IDE-SISEMA. Para este trabalho, foram considerados os empreendimentos de classe 3 a 6, entre os anos de 2013 e 2019, uma vez que exigem pelo menos a apresentação de um relatório contendo a descrição da atividade ou do empreendimento e as respectivas medidas de controle ambiental, visto que o objetivo do estudo é relacionar a ocupação do solo ao impacto na qualidade das águas

superficiais da região (SISEMA, 2021).

A partir desses dados, os empreendimentos foram agrupados de acordo com a sua tipologia (A- Atividades minerárias, B - Atividades industriais/indústria metalúrgica e outras, C - Atividades industriais/indústria química e outras, D - Atividades industriais/indústria alimentícia, E - Atividades de infraestrutura, F - Gerenciamento de resíduos e serviços e G - Atividades agrossilvipastoris), como definido pela DN COPAM nº 217/2017 (MINAS GERAIS, 2017).

A maior parte das licenças ambientais se refere às atividades industriais da listagem A que inclui as atividades minerárias (28%), seguido pela listagem F (26%) que inclui o gerenciamento de resíduos e serviços e da listagem B (18%) que inclui a indústria de produtos minerais não metálicos, a siderurgia e a metalurgia, conforme pode ser visualizado na Figura 3.12.

Figura 3.12: Porcentagem de licenças ambientais vigentes de acordo com a tipologia da atividade na bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

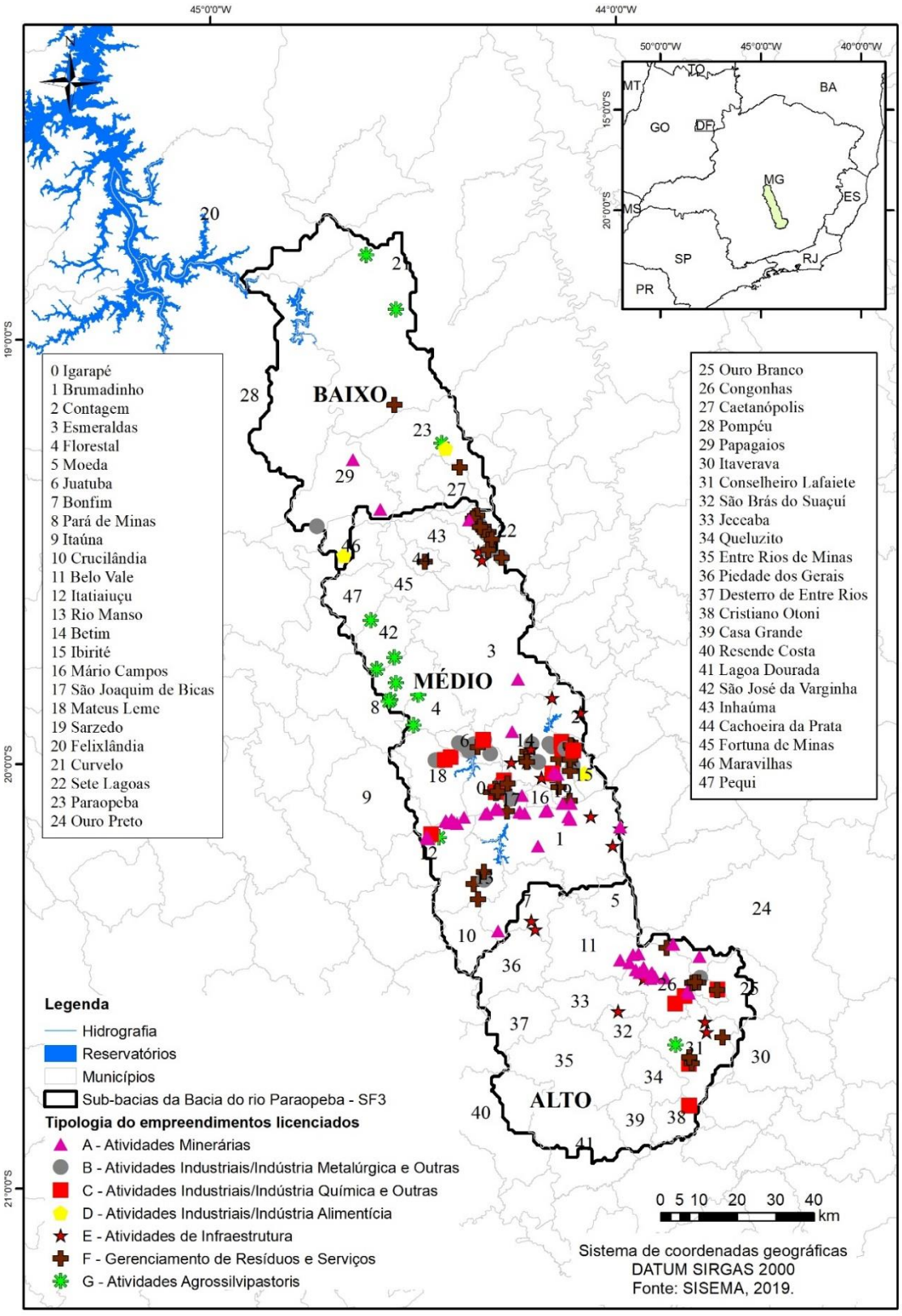


Fonte: SISEMA, 2021.

As operações de mineração e a indústria de processamento de minério levam ao aumento da poluição por metais nas águas e nos solos, no entanto, devido à eficiência das operações de mineração, a perda de metais para o meio ambiente pode ser baixa. Apesar disso, os impactos localizados podem ser visíveis na atmosfera, nos corpos d´água, em solos e sedimentos como poluentes difusos (SALOMONS, 1995; TEPAVITCHAROVA *et al.*, 2010).

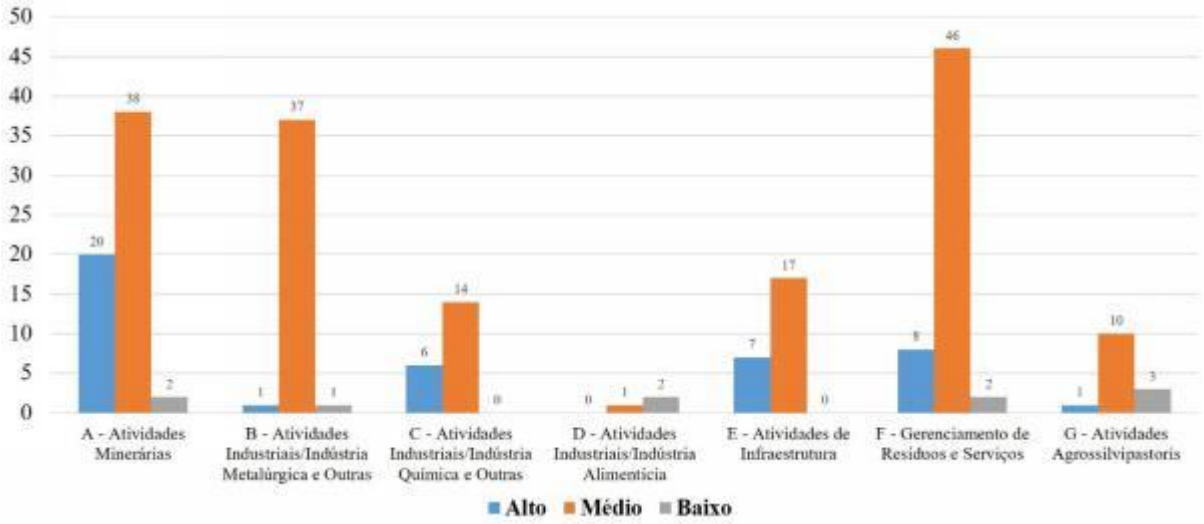
A Figura 3.13 apresenta o mapa com a localização geográfica dos empreendimentos licenciados.

Figura 3.13: Localização dos empreendimentos licenciados na Bacia hidrográfica do rio Paraopeba.



A Figura 3.14 apresenta o gráfico com o número de licenças concedidas por tipologia em cada região da Bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Figura 3.14: Número de licenças concedidas por tipologia em cada região da bacia hidrográfica do rio Paraopeba.



No Alto Paraopeba, as atividades relacionadas com mineração são as mais expressivas. Algumas áreas dessa região estão inseridas no Quadrilátero Ferrífero, com jazidas de minerais, sobretudo o ferro. Na região do Baixo Paraopeba, as atividades econômicas se relacionam com a extração de água mineral em Papagaios e produção de carvão vegetal para siderúrgicas.

Na região do Médio Paraopeba, onde estão localizados vários municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte, existe uma rica diversidade industrial e é onde estão instalados a maior parte dos empreendimentos, com destaque para grandes indústrias dos ramos metalúrgico, automobilístico e petroquímico. A mineração de ferro também está presente nessa região, sobretudo nas serras de Itatiaiuçu, Serra Azul e Farofas, que ainda pertencem ao Quadrilátero Ferrífero. Há expressivas minerações na região de Itatiaiuçu e Brumadinho. No município de Sete Lagoas destacam-se indústrias produtoras de cimento e o coprocessamento de resíduos em forno de clínquer.

Por ser a região mais povoada, o Médio Paraopeba também apresenta diversos empreendimentos do setor de infraestrutura, como por exemplo empreendimentos para a produção de energia elétrica, loteamentos, estações de tratamento de esgoto, canais para drenagem e aterros sanitários. As atividades agrossilvipastoris ocorrem nos municípios de São José da Varginha, Florestal e Pará de Minas.

Foi obtida na Plataforma IDE-Sisema, uma série histórica de outorgas dos direitos de uso de

recursos hídricos concedidas dentro da bacia hidrográfica do rio Paraopeba entre os anos de 1989 a 2019 (SISEMA, 2021). A outorga de direito de uso de recursos hídricos é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos definida no inciso III, do art. 5º da Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Esse instrumento tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

As outorgas concedidas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, assim como as licenças concedidas, contribuem com a análise do uso do solo da região. São passíveis de outorga todos os usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um curso de água, excetuando-se as captações, lançamentos e acumulações considerados insignificantes.

A Deliberação Normativa CERH-MG nº 09, de 16 de junho de 2004, define os usos considerados como insignificantes para os corpos de água de domínio do Estado de Minas Gerais, que são dispensados de outorga, mas não de cadastro pelo Igam. Para a bacia hidrográfica do rio Paraopeba, são considerados usos insignificantes as captações e derivações de águas superficiais menores ou iguais a 1 litro/segundo e acumulações de volume máximo igual a 5.000 m³ e captações subterrâneas citadas com volume menor ou igual a 10 m^3/dia (MINAS GERAIS, 2004).

Foram utilizados os dados disponíveis na Plataforma IDE-Sisema e a classificação apresentada no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba: SF3 (COBRAPE, 2018). As finalidades descritas no manual de outorga são as seguintes: geração de energia, saneamento, agropecuária e silvicultura, criação e dessedentação de animais, irrigação de culturas, indústrias, mineração e aquicultura (IGAM, 2010). No entanto, na plataforma do IDE- Sisema as finalidades apresentadas são as que realmente são publicadas nas portarias de outorga. Nesse sentido, a consolidação do cadastro de outorgas realizado por Cobrape (2018), compatibilizou as finalidades dispostas em cada uma das entradas do cadastro de outorgas em setores usuários, de acordo com o nome do empreendimento e com a respectiva portaria de outorga, resultando em 12 tipologias de usos, assim como disposto na Tabela 3.5.

É possível observar que o maior número de outorgas cadastradas é para abastecimento público, seguido pela irrigação e dessedentação animal. A região do Médio Paraopeba concentra o maior número de outorgas cadastradas conforme pode ser observado na Figura 3.15. Destacam-se os reservatórios para abastecimento público existentes na região do Médio Paraopeba (Serra Azul,

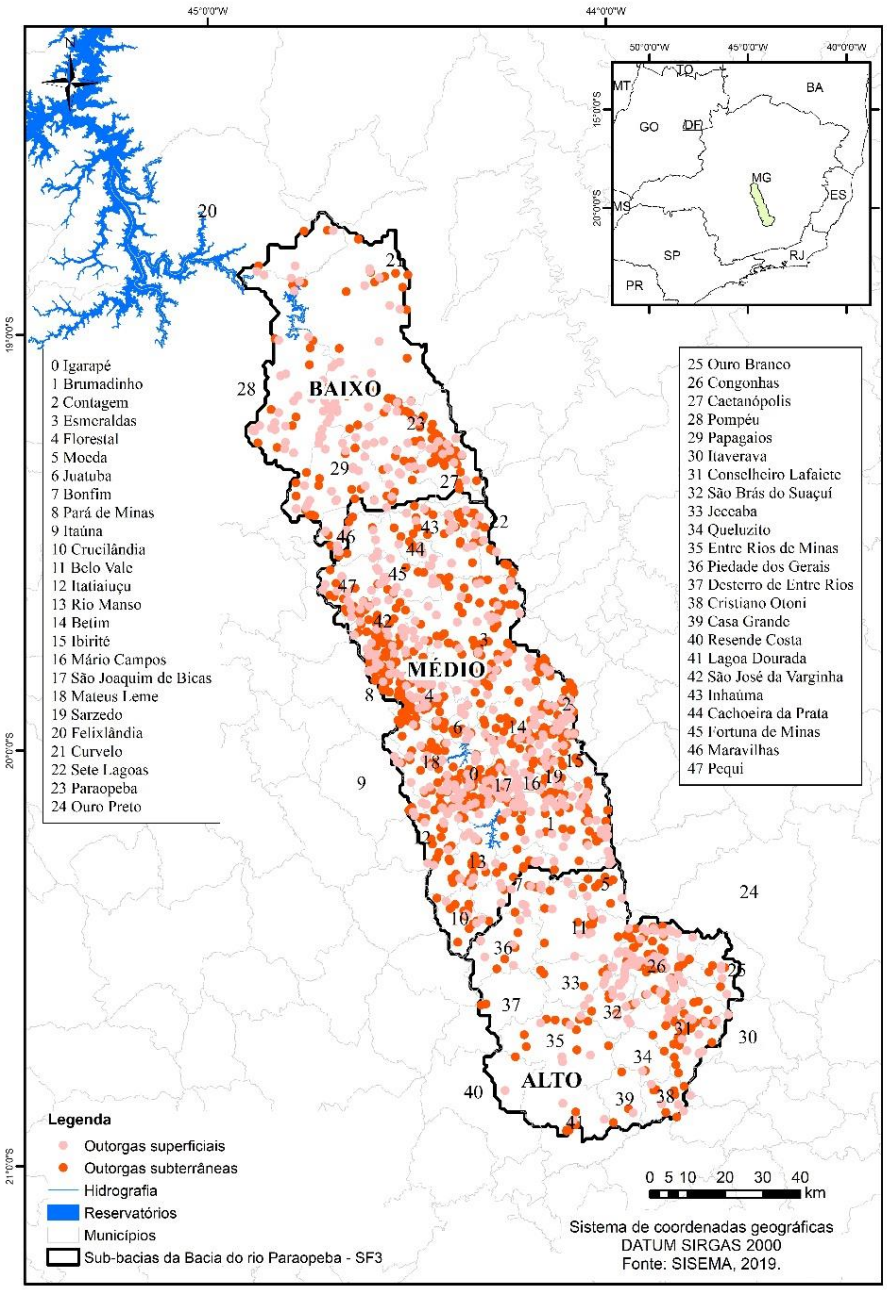
Vargem das Flores e Rio Manso).

Tabela 3.5: Consolidação do Cadastro de Outorgas.

Finalidade ajustada	Outorgas cadastradas	Finalidade ajustada	Outorgas cadastradas
Abastecimento público	2.413	Aquicultura	276
Irrigação	840	Uso agroindustrial	95
Dessedentação de animais	726	Urbanização	64
Uso industrial	549	Recreação	38
Paisagismo	540	Geração de energia	3
Extração mineral	464	Lançamento de efluentes	1
Total de outorgas cadastradas		**6.009**	

Fonte: COBRAPE, 2018.

Figura 3.15: Outorgas superficiais e subterrâneas cadastradas na Bacia hidrográfica do rio Paraopeba.



Em resumo, a maior parte dos empreendimentos licenciados encontram-se no Médio Paraopeba, assim como a maior parte das outorgas cadastradas, desta forma, essa região que também abrange parte da RMBH, representa uma maior pressão sobre os recursos hídricos, tanto em termos de qualidade como de quantidade. Desta forma, ressalta-se a importância do monitoramento ambiental das atividades desenvolvidas a fim de assegurar a compatibilização entre o desenvolvimento econômico e o uso dos recursos naturais, assegurando a sustentabilidade do meio ambiente, nos seus aspectos físicos, socioculturais e econômicos.

3.6 Barragens de contenção de rejeitos na Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba

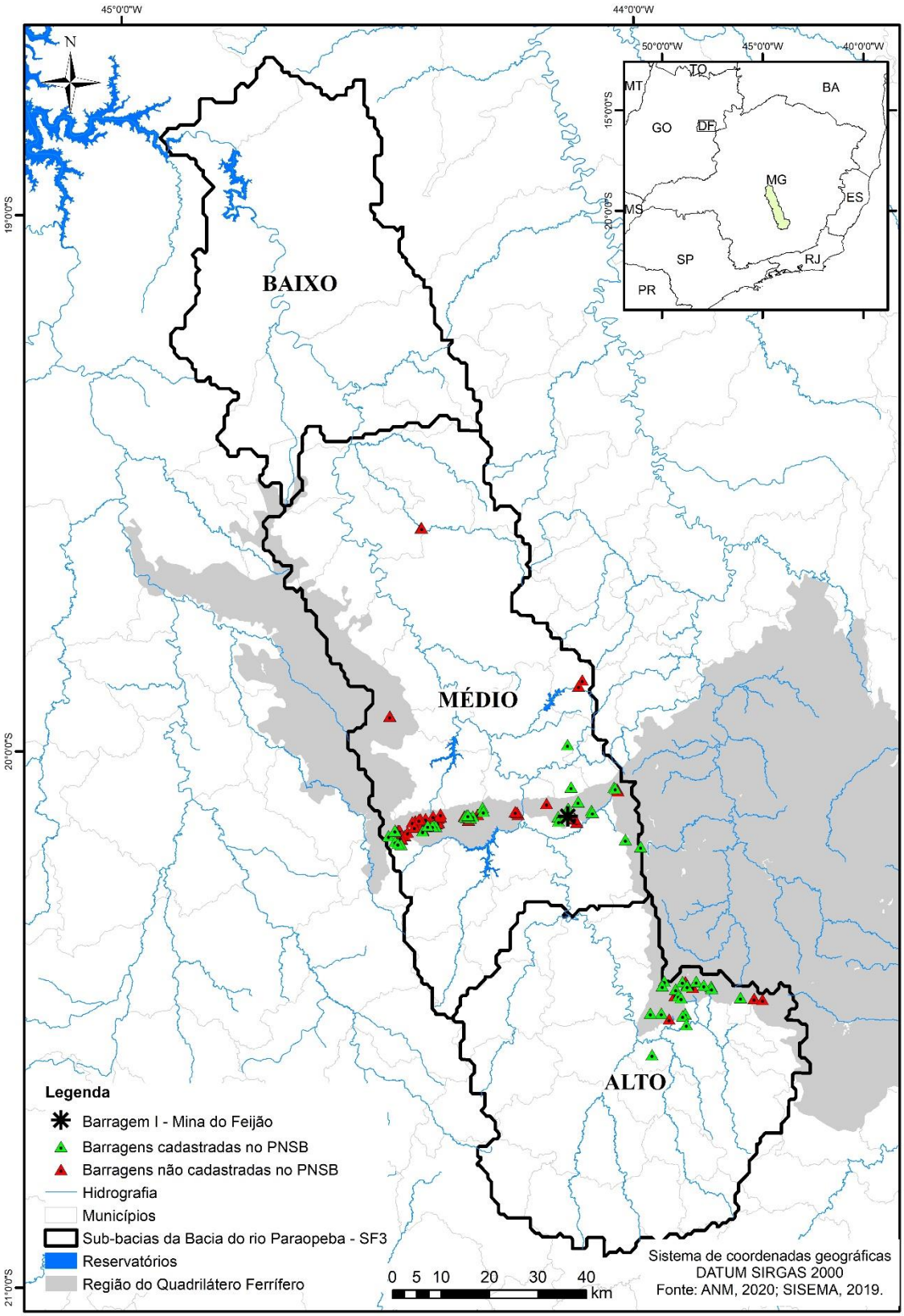
De acordo com Cobrape (2018), o setor extrativo mineral e siderúrgico continuará a se expandir com muito vigor enquanto o mercado internacional mantiver suas compras e as reservas existentes não se extinguirem, uma vez que representa um dos maiores componentes da parte positiva do balanço comercial do Brasil, uma das principais receitas do estado de Minas Gerais e dos municípios da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, sob a forma da CFEM – Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais e é responsável por grande parte da movimentação comercial das cidades na região.

Em função da intensa atividade minerária na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, há uma grande quantidade de barragens de contenção de rejeitos, localizadas em diferentes municípios. A Figura 3.16 apresenta a localização das barragens, todas no Alto e Médio Paraopeba, sendo a maioria na região do Quadrilátero Ferrífero. De acordo com o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração da ANM, em setembro de 2020, existiam 108 barragens na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, sendo que 52 barragens estavam cadastradas no Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e 56 não estavam cadastradas, pois não apresentam nenhuma das características previstas na Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 (posteriormente alterada pela Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020) (ANM, 2020).

A Lei nº 12.334/2010 estabelece, em seu art. 7º, que as barragens são classificadas por Dano Potencial Associado - DPA, (alto, médio ou baixo), em função do potencial de perdas de vidas humanas e impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes de eventual ruptura da barragem; Categoria de Risco - CRI (alto, médio ou baixo), em função de características técnicas, estado de conservação do empreendimento e atendimento ao plano de segurança da barragem; e Volume do reservatório (a graduação do volume do reservatório está ligada ao dano

potencial associado).

Figura 3.16: Barragens de contenção de rejeitos localizadas na da bacia hidrográfica do rio Paraopeba.



As barragens de mineração que apresentam anomalias capazes de colocar em risco sua segurança, ou que não possuem estabilidade declarada, deverão ter seu nível de emergência acionado, que a depender da gravidade da situação são classificados em nível 1 que indica que foi detectada alguma anomalia que resulte no potencial comprometimento de segurança da estrutura, já o nível 2 é quando o resultado das ações adotadas na anomalia referida no nível 1 for classificado como "não extinto" e o nível 3 acontece quando a ruptura é iminente ou está ocorrendo.

Das barragens localizadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba cadastradas no PNSB, 17 estão localizadas no Alto Paraopeba e 35 no Médio Paraopeba, já das barragens não cadastradas, nove estão localizadas no Alto Paraopeba e 47 no Médio Paraopeba (ANM, 2020). Das 52 barragens cadastradas no PNSB, 29 apresentam dano potencial alto, 18 dano potencial médio e 5 dano potencial baixo (ANM, 2020). Destas barragens, dez estão classificadas na categoria de risco alto, sendo que nove são classificadas no nível 1 de emergência e uma barragem no nível 2 (Barragem de rejeitos da Arcelor Mittal Brasil S.A, localizada no município de Itatiaiuçu), apresentando, portanto, potencial que possa comprometer a segurança da barragem (ANM, 2020; BRASIL, 2017).

A Tabela II.1 no Apêndice II apresenta a listagem das barragens de mineração localizadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba e suas características como minério principal, altura, volume, método construtivo, categoria de risco, dano potencial associado, classe, se está inserida na PNSB e o nível de emergência.

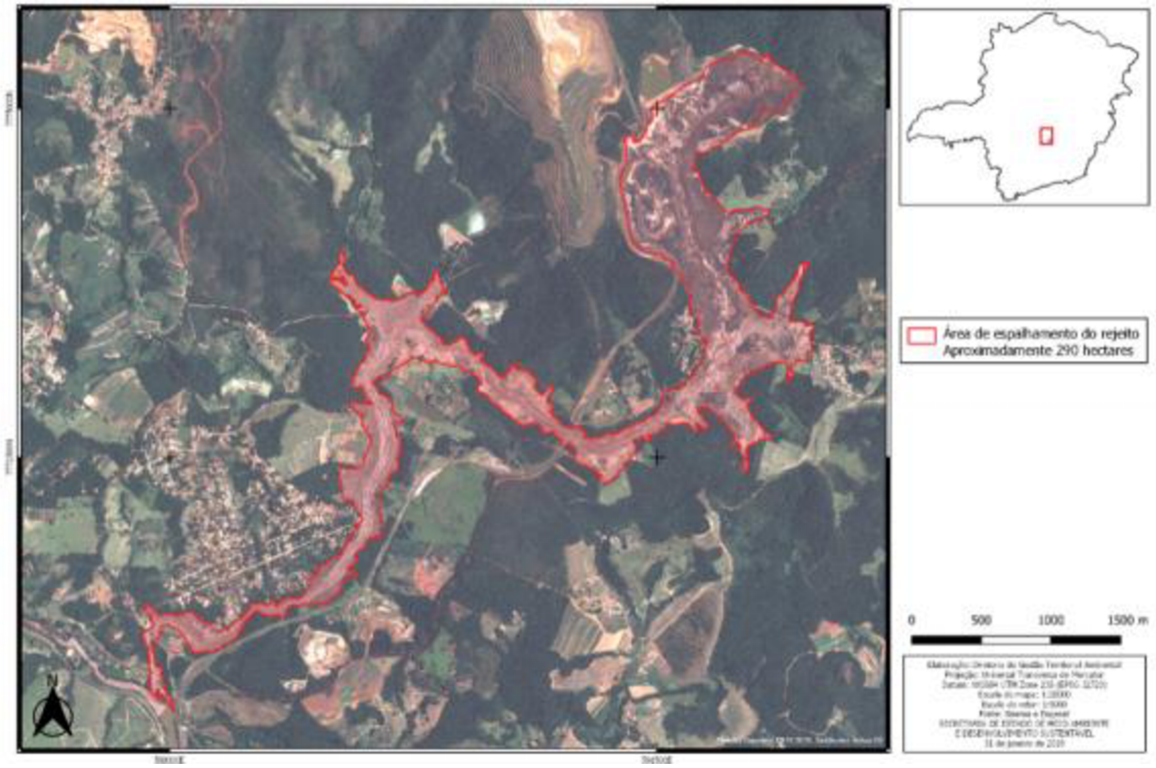
Uma das barragens que estava contida no PNSB, era a Barragem I – Mina do Feijão da Mineradora Vale S.A., em Brumadinho, que se rompeu no dia 25 de janeiro de 2019. Era uma barragem de porte médio, que não apresentava pendências documentais. Em termos de segurança operacional, de acordo com a ANM (2019b) a barragem estava classificada na categoria de risco baixo e de dano potencial associado alto (em função de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais).

A barragem foi construída em 1976, pela Ferteco Mineração (adquirida pela Vale em 27 de abril de 2001), pelo método de alteamento a montante. A altura da barragem era de 86 metros, o comprimento da crista de 720 metros. Os rejeitos dispostos ocupavam uma área de 249,5 mil m^2 e o volume disposto era de 11,7 milhões de m^3 (IGAM, 2019b). Após o rompimento, os rejeitos verteram pelos cursos hídricos mais próximos, atingindo o rio Paraopeba. O material

afetou a qualidade da água não só por seus contaminantes associados, mas também por materiais e produtos que foram carreados pela força da onda de rejeito (SOUZA *et al.*, 2021; THOMPSON *et al.*, 2020; DOS SANTOS VERGILIO *et al.*, 2020).

A Figura 3.17 apresenta um mapa com o espalhamento do rejeito até a confluência com o rio Paraopeba disponibilizado pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD. Grande parte da porção danificada pelo rompimento da barragem abrangia áreas descritas na legislação como de preservação permanente de cursos d'água, uma vez que toda a calha do ribeirão Ferro-Carvão foi sobreposta pelo material.

Figura 3.17: Espalhamento do rejeito até a confluência com o rio Paraopeba – 29/01/2019 – Brumadinho - MG.



Fonte: SEMAD, 2019.

3.7 Caracterização socioeconômica da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba

3.7.1 Dados demográficos

A bacia hidrográfica do rio Paraopeba abrange áreas totais ou parciais de 48 municípios do estado de Minas Gerais, sendo 35 municípios com sede na bacia. A Tabela 3.6 apresenta as áreas, em km^2, dos municípios pertencentes à bacia hidrográfica do rio Paraopeba, além das áreas dos municípios inseridas dentro da bacia.

Tabela 3.6: Áreas dos municípios pertencentes à bacia hidrográfica do rio Paraopeba e participação desses municípios na bacia.

Município	Inserido totalmente na bacia?	Tem sede na bacia?	Área (km^2)	Área dentro da bacia (km^2)	População no censo 2010 (hab.)	Densidade demográfica [2010] (hab./km^2)	População estimada [2019] (hab.)
Belo Vale	Não	Sim	365,93	365,29	7536	20,59	7715
Betim	Não	Sim	343,86	343,48	378089	1099,56	439340
Bonfim	Sim	Sim	301,87	301,87	6818	22,59	6868
Brumadinho	Não	Sim	639,44	635,76	33973	53,13	40103
Cachoeira da Prata	Sim	Sim	61,38	61,38	3654	59,53	3603
Caetanópolis	Sim	Sim	156,04	156,04	10218	65,48	11624
Casa Grande	Não	Sim	157,73	145,39	2244	14,23	2257
Congonhas	Não	Sim	304,07	303,22	48519	159,57	54762
Conselheiro Lafaiete	Não	Sim	370,25	359,17	116.512	314,69	128.589
Contagem	Não	Não	195,05	110,15	603442	3093,86	663855
Cristiano Otoni	Não	Sim	132,87	122,6	5007	37,68	5150
Crucilândia	Não	Sim	167,17	166,86	4757	28,46	5034
Curvelo	Não	Não	3296,22	1210,95	74219	22,52	80129
Desterro de Entre Rios	Não	Não	377,17	204,17	7002	18,56	7253
Entre Rios de Minas	Não	Sim	456,80	456,41	14242	31,18	15298
Esmeraldas	Não	Sim	909,68	841,25	60271	66,26	70552
Felixlândia	Não	Não	1554,63	211,96	14121	9,08	15336
Florestal	Não	Sim	194,24	185,89	6600	33,98	7561
Fortuna de Minas	Sim	Sim	198,71	198,71	2705	13,61	2947
Ibirité	Não	Sim	72,57	71,6	158954	2190,26	180204
Igarapé	Sim	Sim	110,94	110,94	34851	314,14	43045
Inhaúma	Sim	Sim	245,00	245	5760	23,51	6271
Itatiaiuçu	Não	Sim	295,15	153,64	9928	33,64	11146
Itaúna	Não	Não	495,77	58,74	85463	172,38	93214
Itaverava	Não	Não	284,22	16,97	5799	20,40	5419
Jeceaba	Sim	Sim	236,25	236,25	5395	22,84	4912
Juatuba	Sim	Sim	97,17	97,17	22202	228,48	26946
Lagoa Dourada	Não	Não	476,70	293,54	12256	25,71	13009
Maravilhas	Não	Sim	261,60	179,22	7163	27,38	7976
Mário Campos	Sim	Sim	35,20	35,2	13192	374,82	15416
Mateus Leme	Não	Sim	301,38	301,18	27856	92,43	31086
Moeda	Não	Sim	155,11	151,81	4869	31,39	4919
Ouro Branco	Não	Sim	258,73	150,14	35268	136,31	39500
Ouro Preto	Não	Não	1245,87	63,7	70281	56,41	74281
Papagaios	Não	Não	553,58	442,7	14175	25,61	15674
Pará de Minas	Não	Não	551,25	172,98	84215	152,77	93969
Paraopeba	Não	Sim	625,63	540,91	22563	36,06	24540
Pequi	Não	Sim	203,99	203,07	4076	19,98	4406
Piedade dos Gerais	Não	Sim	259,64	259,39	4640	17,87	4982
Pompéu	Não	Não	2551,09	714,96	29105	11,41	31812
Queluzito	Sim	Sim	153,56	153,56	1861	12,12	1939

Tabela 3.6: Áreas dos municípios pertencentes à bacia hidrográfica do rio Paraopeba e participação desses municípios na bacia (Continuação).

Município	Inserido totalmente na bacia?	Tem sede na bacia?	Área (km^2)	Área dentro da bacia (km^2)	População no censo 2010 (hab.)	Densidade demográfica [2010] (hab./km^2)	População estimada [2019] (hab.)
Resende Costa	Não	Não	618,32	131,01	10913	17,65	11500
Rio Manso	Não	Sim	231,54	231,42	5276	22,79	5832
São Brás do Suaçuí	Sim	Sim	110,02	110,02	3513	31,93	3738
São Joaquim de Bicas	Sim	Sim	71,76	71,76	25537	355,88	31578
São José da Varginha	Não	Sim	205,50	205,33	4198	20,43	5004
Sarzedo	Sim	Sim	62,13	62,13	25814	415,46	32752
Sete Lagoas	Não	Não	536,65	176,96	214152	399,05	239639

Fonte: Adaptado de COBRAPE, 2018; IBGE, 2019b.

A partir da análise da Tabela 3.6, é possível observar que a bacia hidrográfica do rio Paraopeba apresenta 21 municípios de pequeno porte (até 10.000 habitantes), 17 municípios de médio porte (entre 10.001 a 50.000 habitantes) e 10 municípios de grande porte (acima de 50.001 habitantes), revelando uma grande diversidade entre as regiões. No entanto, somente quatro dos municípios de grande porte possuem sua sede localizada dentro da bacia hidrográfica (Betim, Conselheiro Lafaiete, Esmeraldas e Ibirité).

A Figura 3.18 apresenta a densidade demográfica (hab/km^2) dos municípios pertencentes à bacia hidrográfica do rio Paraopeba. Com base na figura, pode-se concluir que os municípios com maior densidade demográfica estão localizados próximos ao reservatório de Vargem das Flores (Betim, Contagem e Ibirité), na região do Médio Paraopeba, onde já foi identificado um grande número de atividades de infraestrutura licenciadas. A maior parte dos municípios apresentam densidade demográfica abaixo de 100 hab/km^2.

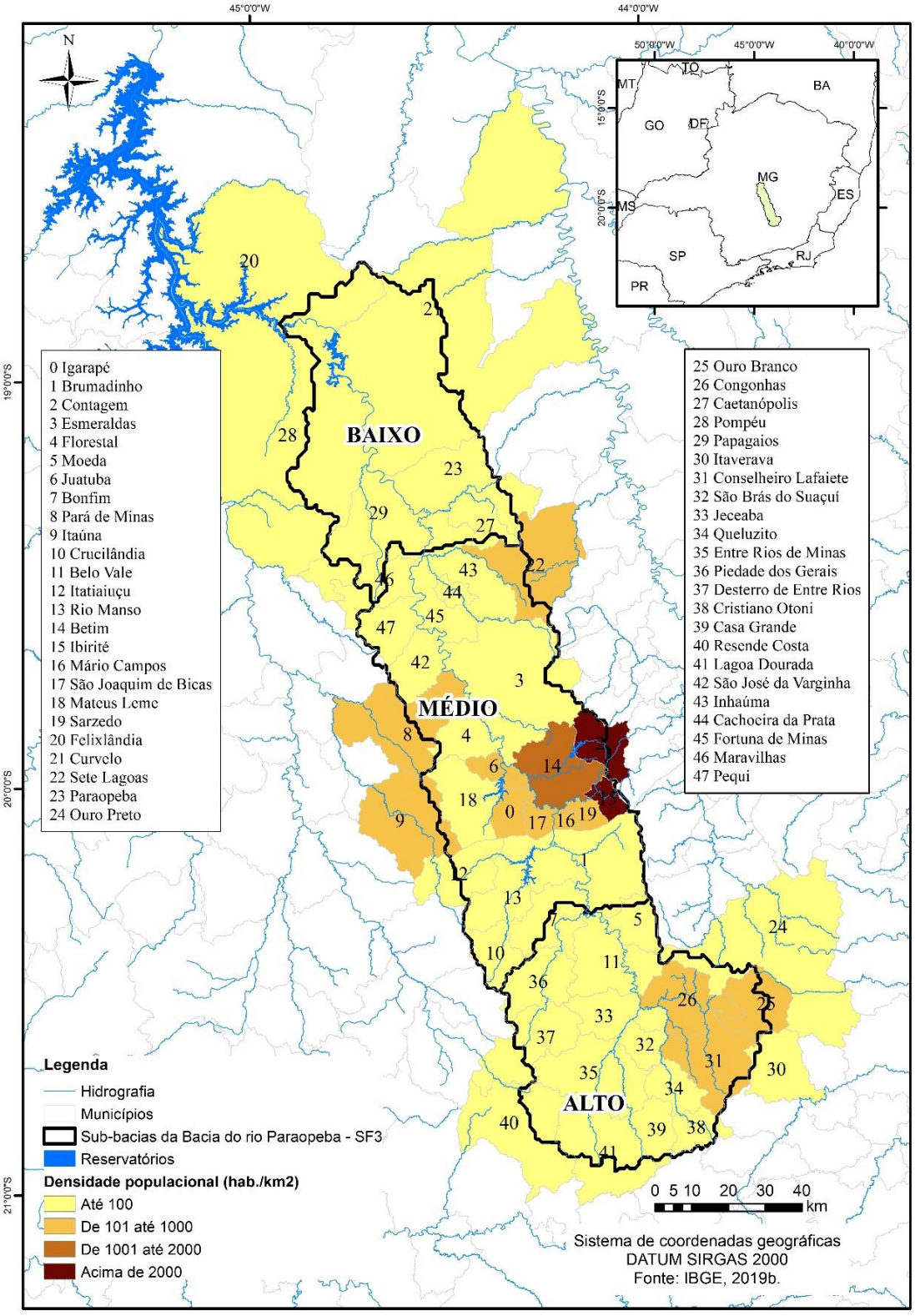
3.7.2 Infraestrutura de saneamento

O saneamento básico consiste na atividade de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e drenagem urbana. O intuito principal foi, portanto, diagnosticar a condição da infraestrutura de saneamento existente nos municípios que fazem parte da bacia.

Os dados de abastecimento de água foram obtidos no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (SNIS, 2019) e nos Panoramas Municipais sobre a prestação dos serviços

de água e de esgoto da Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais - ARSAE-MG (ARSAE, 2020).

Figura 3.18: Densidade demográfica (hab/km^2) para os municípios da bacia hidrográfica do rio Paraopeba com base em dados do ano de 2010.



A Tabela 3.7 apresenta o prestador de serviço e índice urbano de atendimento à água nos municípios da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. Pode-se observar que todos os munícipios têm mais de 80% de abastecimento de água para a população urbana. Esmeraldas, município localizado no Médio Paraopeba apresentou o maior percentual de população com abastecimento de água (80,9%).

Tabela 3.7: Dados do prestador de serviço e índice urbano de atendimento à água dos municípios da bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Município	Ano Referência	Prestador de serviço	% População com abastecimento de água
Belo Vale	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	94,2
Betim	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	89,2
Bonfim	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	91,3
Brumadinho	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	92,6
Cachoeira da Prata	2019	Prefeitura Municipal de Cachoeira da Prata - PMCP	95,1
Caetanópolis	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	93,3
Casa Grande	2012	Prefeitura Municipal de Casa Grande - PMCG	100
Congonhas	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	91,3
Conselheiro Lafaiete	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	90,1
Contagem	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	87,6
Cristiano Otoni	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	94
Crucilândia	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	92,6
Curvelo	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	92,2
Desterro de Entre Rios	2019	Prefeitura Municipal de Desterro de Entre Rios - PMDER	99,5
Entre Rios de Minas	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	92,1
Esmeraldas	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	80,9
Felixlândia	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	91,3
Florestal	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	89,1
Fortuna de Minas	2019	Prefeitura Municipal de Fortuna de Minas - PMFM	100
Ibirité	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	84,5
Igarapé	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	86,2
Inhaúma	2017	Prefeitura Municipal de Inhaúma - PMI	98,5
Itatiaiuçu	2019	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	90,1
Itaúna	2019	Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAAE	100
Itaverava	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	93,6
Jeceaba	2019	Prefeitura Municipal de Jeceaba - PMJ	100
Juatuba	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	85,1

Tabela 3.7: Dados do prestador de serviço e índice urbano de atendimento à água dos municípios da bacia hidrográfica do rio Paraopeba (Continuação).

Município	Ano Referência	Prestador de serviço	% População com abastecimento de água
Lagoa Dourada	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	92,5
Maravilhas	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	92,8
Mário Campos	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	90,9
Mateus Leme	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	83,7
Moeda	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	89,5
Ouro Branco	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	92,6
Ouro Preto	2018	Serviço Municipal de Água e Esgoto de Ouro Preto - SEMAE	95,8
Papagaios	2019	Prefeitura Municipal de Papagaios - PMP	100
Pará de Minas	2019	Águas de Pará de Minas S. A. - CAPAM	99,8
Paraopeba	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	93,7
Pequi	2019	Prefeitura Municipal de Pequi - PMP	99,4
Piedade dos Gerais	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	88,8
Pompéu	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	89,4
Queluzito	2019	Prefeitura Municipal de Queluzito - PMQ	99,7
Resende Costa	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	93,4
Rio Manso	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	90,5
São Brás do Suaçuí	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	89,4
São Joaquim de Bicas	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	83,8
São José da Varginha	2019	Prefeitura Municipal de São José da Varginha - PMSJV	98,5
Sarzedo	2020	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	88,8
Sete Lagoas	2019	Serviço Autônomo de Água, Esgoto e Saneamento Urbano - SAAE	100

Fonte: ARSAE, 2020; SNIS, 2019.

Em relação aos índices de coleta e tratamento de esgotos foram utilizados os dados do Atlas Esgotos (ANA, 2017a). A Tabela 3.8 apresenta os percentuais de coleta e de tratamento de esgoto para os municípios da bacia hidrográfica do rio Paraopeba no ano base de 2013. Dos municípios com maior densidade populacional na bacia hidrográfica do rio Paraopeba (acima de 1000 hab/km^2), Contagem e Betim apresentam índices de coleta e tratamento de esgotos maiores que 75%, no entanto a situação é crítica em Ibirité, pois não existe o tratamento do esgoto.

Tabela 3.8: Dados do prestador de serviço e índice de atendimento à coleta e tratamento de esgotos nos municípios da bacia hidrográfica do rio Paraopeba – Ano 2013.

Município	Prestador de Serviço	Índice de Atendimento por Solução Individual	Índice sem atendimento - sem Coleta e sem Tratamento	Índice de Atendimento com Coleta e sem Tratamento	Índice de Atendimento com Coleta e com Tratamento
Belo Vale	Prefeitura Municipal de Belo Vale	2,8%	13,2%	84,0%	0,0%
Betim	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	1,6%	23,1%	0,0%	75,3%
Bonfim	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	7,1%	25,2%	67,7%	0,0%
Brumadinho	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	6,8%	10,1%	58,8%	24,3%
Cachoeira da Prata	Prefeitura Municipal de Cachoeira da Prata	0,5%	3,2%	67,4%	28,9%
Caetanópolis	Prefeitura Municipal de Caetanópolis	2,1%	14,5%	83,4%	0,0%
Casa Grande	Prefeitura Municipal de Casa Grande	1,7%	10,2%	88,2%	0,0%
Congonhas	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	1,6%	19,0%	79,5%	0,0%
Conselheiro Lafaiete	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	2,6%	5,3%	54,6%	37,6%
Contagem	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	4,1%	10,0%	5,9%	80,0%
Cristiano Otoni	Prefeitura Municipal de Cristiano Otoni	0,5%	16,3%	83,2%	0,0%
Crucilândia	Prefeitura Municipal de Crucilândia	2,0%	5,8%	92,2%	0,0%
Curvelo	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	14,2%	0,0%	0,0%	85,8%
Desterro de Entre Rios	Prefeitura Municipal de Desterro de Entre Rios	0,2%	9,3%	90,6%	0,0%

Tabela 3.8: Dados do prestador de serviço e índice de atendimento à coleta e tratamento de esgotos nos municípios da bacia hidrográfica do rio Paraopeba – Ano 2013 (Continuação).

Município	Prestador de Serviço	Índice de Atendimento por Solução Individual	Índice sem atendimento - sem Coleta e sem Tratamento	Índice de Atendimento com Coleta e sem Tratamento	Índice de Atendimento com Coleta e com Tratamento
Entre Rios de Minas	Prefeitura Municipal de Entre Rios de Minas	3,3%	9,4%	87,3%	0,0%
Esmeraldas	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	5,0%	73,1%	11,3%	10,6%
Felixlândia	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	0,6%	99,4%	0,0%	0,0%
Florestal	Prefeitura Municipal de Florestal	0,7%	0,3%	0,0%	99,0%
Fortuna de Minas	Prefeitura Municipal de Fortuna de Minas	1,0%	43,7%	55,3%	0,0%
Ibirité	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	3,9%	16,3%	79,7%	0,0%
Igarapé	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	50.744	33,0%	3,1%	63,9%
Inhaúma	Prefeitura Municipal de Inhaúma	9,3%	0,0%	0,0%	90,7%
Itatiaiuçu	Prefeitura Municipal de Itatiaiuçu	2,5%	6,1%	91,3%	0,0%
Itaúna	SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto	0,3%	0,6%	99,1%	0,0%
Itaverava	Prefeitura Municipal de Itaverava	2,9%	39,9%	57,2%	0,0%
Jeceaba	Prefeitura Municipal de Jeceaba	1,7%	27,1%	71,2%	0,0%
Juatuba	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	5,6%	55,5%	30,1%	8,9%
Lagoa Dourada	Prefeitura Municipal de Lagoa Dourada	0,4%	9,6%	90,0%	0,0%

Tabela 3.8: Dados do prestador de serviço e índice de atendimento à coleta e tratamento de esgotos nos municípios da bacia hidrográfica do rio Paraopeba – Ano 2013 (Continuação).

Município	Prestador de Serviço	Índice de Atendimento por Solução Individual	Índice sem atendimento - sem Coleta e sem Tratamento	Índice de Atendimento com Coleta e sem Tratamento	Índice de Atendimento com Coleta e com Tratamento
Maravilhas	Prefeitura Municipal de Maravilhas	0,6%	7,7%	91,7%	0,0%
Mário Campos	Prefeitura Municipal de Mário Campos	1,9%	54,2%	43,9%	0,0%
Mateus Leme	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	6,5%	33,1%	60,4%	0,0%
Moeda	Prefeitura Municipal de Moeda	0,8%	34,8%	64,5%	0,0%
Ouro Branco	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	1,1%	6,5%	22,3%	70,1%
Ouro Preto	Serviço Municipal de Água e Esgoto	1,7%	18,3%	80,0%	0,0%
Papagaios	Prefeitura Municipal de Papagaios	3,0%	64,3%	0,0%	32,6%
Pará de Minas	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	0,7%	4,6%	0,0%	94,7%
Paraopeba	Prefeitura Municipal de Paraopeba	5,1%	11,6%	83,4%	0,0%
Pequi	Prefeitura Municipal de Pequi	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Piedade dos Gerais	Prefeitura Municipal de Piedade dos Gerais	3,0%	94,7%	2,3%	0,0%
Pompéu	Prefeitura Municipal de Pompéu	2,7%	19,1%	78,3%	0,0%
Queluzito	Prefeitura Municipal de Queluzito	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Resende Costa	Prefeitura Municipal de Resende Costa	27,9%	61,4%	10,7%	0,0%
Rio Manso	Prefeitura Municipal de Rio Manso	2,1%	95,2%	2,7%	0,0%

Tabela 3.8: Dados do prestador de serviço e índice de atendimento à coleta e tratamento de esgotos nos municípios da bacia hidrográfica do rio Paraopeba – Ano 2013 (Continuação).

Município	Prestador de Serviço	Índice de Atendimento por Solução Individual	Índice sem atendimento - sem Coleta e sem Tratamento	Índice de Atendimento com Coleta e sem Tratamento	Índice de Atendimento com Coleta e com Tratamento
São Brás do Suaçuí	Prefeitura Municipal de São Brás do Suaçuí	49,1%	49,1%	1,8%	0,0%
São Joaquim de Bicas	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	15,8%	45,7%	37,1%	1,5%
São José da Varginha	Prefeitura Municipal de São José da Varginha	16,5%	51,1%	32,4%	0,0%
Sarzedo	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	3,1%	15,3%	75,2%	6,4%
Sete Lagoas	SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto	0,6%	9,4%	87,3%	2,7%

Fonte: ANA, 2017.

Analisando os índices de coleta e tratamento de esgotos para os municípios com sede no Alto Paraopeba, somente Conselheiro Lafaiete, Ouro Branco e Queluzito apresentam algum percentual de atendimento, os demais municípios, entre eles Congonhas, que tem densidade populacional de 159 hab/km^2, não apresentam nenhum tipo de tratamento de esgotos.

No Médio Paraopeba, os municípios de Bonfim, Crucilândia, Fortuna de Minas, Ibirité, Itatiaiuçu, Mário Campos, Mateus Leme, Rio Manso e São José da Varginha, não apresentam nenhum tipo de tratamento de esgotos, ao passo que somente Betim, Florestal, Inhaúma e Pequi apresentam índices acima de 75% de atendimento com coleta e com tratamento de esgotos. No Baixo Paraopeba, nenhum dos três municípios com sede na bacia (Caetanopólis, Maravilhas e Paraopeba) apresenta tratamento de esgotos.

O aumento de áreas urbanas é um dos maiores contribuintes para o aumento de nutrientes e sedimentos em ecossistemas aquáticos (URIARTE *et al.*, 2011; VIGLIO, 2018), além do lançamento de efluentes domésticos ser responsável por incrementar os níveis de matéria orgânica, nutrientes e patógenos (XIA *et al.*, 2018). Dessa forma, o lançamento dos esgotos sem um tratamento adequado, que esteja de acordo com as condições do corpo d'água receptor,

compromete a qualidade das águas nas áreas urbanas e impacta também a região à jusante, além de ser uma ameaça à saúde da população.

Em relação à destinação de resíduos sólidos urbanos (RSU) o Quadro 3.4 apresenta o resumo das informações obtidas no Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos no estado de Minas Gerais em 2018 (FEAM, 2018).

Quadro 3.4: Destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) dos municípios da bacia hidrográfica do rio Paraopeba – 2018.

Município	Tipologia	Município	Tipologia
Belo Vale	AS Regularizado	Itaverava	AS Regularizado
Betim	AS Regularizado	Jeceaba	UTC Não Regularizada
Bonfim	AS Regularizado	Juatuba	AS Regularizado
Brumadinho	AS Regularizado	Lagoa Dourada	AS Regularizado
Cachoeira da Prata	AS Regularizado	Maravilhas	Lixão
Caetanópolis	Lixão	Mário Campos	AS Regularizado
Casa Grande	UTC regularizada	Mateus Leme	Aterro Controlado
Congonhas	AS Não Regularizado	Moeda	AS Regularizado
Conselheiro Lafaiete	AS Regularizado	Ouro Branco	AS Regularizado
Contagem	AS Regularizado	Ouro Preto	Lixão
Cristiano Otoni	UTC regularizada	Papagaios	UTC regularizada
Crucilândia	UTC regularizada	Pará de Minas	AS Regularizado
Curvelo	AS Regularizado	Paraopeba	Lixão
Desterro de Entre Rios	UTC regularizada	Pequi	UTC não regularizada
Entre Rios de Minas	UTC regularizada	Piedade dos Gerais	UTC regularizada
Esmeraldas	Lixão	Pompéu	Lixão
Felixlândia	Lixão	Queluzito	UTC regularizada
Florestal	UTC regularizada	Resende Costa	AS Regularizado
Fortuna de Minas	Lixão	Rio Manso	AS Regularizado
Ibirité	AS Regularizado	São Brás do Suaçuí	UTC regularizada
Igarapé	AS Regularizado	São Joaquim de Bicas	AS+UTC Regularizados
Inhaúma	Lixão	São José da Varginha	UTC regularizada
Itatiaiuçu	AS Regularizado	Sarzedo	AS Regularizado
Itaúna	AS Não Regularizado	Sete Lagoas	AS Regularizado

AS: Aterro Sanitário UTC: Unidade de Triagem e Compostagem
Fonte: FEAM, 2018.

A Lei nº 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos estabeleceu prazo até agosto de 2014 para que os municípios realizassem a disposição final ambientalmente adequada dos seus rejeitos (BRASIL, 2010b), no entanto essa meta foi prorrogada para 2023.

Como visto no Quadro 3.4, 14 municípios ainda não estão totalmente regularizados, sendo que nove deles ainda fazem a disposição de seus resíduos em lixões, sendo Esmeraldas e Ouro Preto municípios com mais de 50.000 habitantes. O lixiviado, gerado nessas áreas de disposição de resíduos sólidos, pode gerar a contaminação do solo, bem como das águas superficiais e subterrâneas, pelo seu escoamento superficial ou pela percolação (OLIVEIRA *et al.*, 2016; PINHEIRO; LOBÓN; SCALIZE, 2018).

Dos municípios com sede no Alto Paraopeba, Congonhas e Jeceaba dispõem seus resíduos em um aterro sanitário não regularizado e em uma unidade de triagem e compostagem também não regularizada, respectivamente. No Médio Paraopeba, os municípios de Esmeraldas, Inhaúma e Mateus Leme dispõem seus resíduos em lixões, assim como Caetanopólis e Paraopeba no Baixo Paraopeba.

3.8 Gerenciamento dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba

Os instrumentos de gestão são definidos pela Política Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais, estabelecida pela Lei nº 13.199 de 29 de janeiro de 1999. O Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba, instrumento de gestão que deve ser utilizado pelo Comitê como ferramenta para promover o uso sustentável dos recursos hídricos da bacia foi concluído em 2019 e tem como ano de alcance de 2019 a 2039 (COBRAPE, 2019).

O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo seus usos preponderantes é outro instrumento e a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento são definidas por meio da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 1 de 05 de maio de 2008. Na Bacia do rio Paraopeba o enquadramento vigente foi promulgado pela Deliberação Normativa COPAM nº 14 de 28 de dezembro de 1995, no entanto não foi definido de imediato um Programa para Efetivação do Enquadramento, fator que pode ter dificultado o atendimento às classes propostas. No ano de 2021 iniciou-se o processo de atualização do enquadramento da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba, o estudo está previsto para ser finalizado em outubro de 2022.

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos já está implementada na bacia, no entanto ainda não existe a cobrança pelo uso de recursos hídricos, mas no dia 26 de julho de 2021 foi criado o Grupo de Trabalho Cobrança, com o objetivo de apoiar a implementação da cobrança

pelo uso dos recursos hídricos. O Sistema de Informações em Recursos Hídricos também já se encontra em implementação.

O papel do Comitê é fundamental para o acompanhamento da implementação do Plano de Ações do PDRH-Paraopeba por meio da avaliação dos indicadores e acompanhamento das metas traçadas para cada Programa, durante o horizonte de planejamento de 20 anos. O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba foi criado pelo Decreto nº 40.398 de 28/05/1999 e possui 72 conselheiros, dentre titulares e suplentes.

A seguir, o Quadro 3.5 apresenta uma síntese dos principais resultados obtidos nesse capítulo por região.

Quadro 3.5: Síntese dos principais resultados por região da bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Alto Paraopeba	Médio Paraopeba	Baixo Paraopeba
Médias pluviométricas acumuladas entre 735 mm no ano de 2014 e 1751 mm em 2008; Cursos d´água com menores vazões; Região geomorfológica do Quadrilátero Ferrífero; Cambissolos háplicos distróficos e os latossolos vermelho-amarelo distróficos (baixa fertilidade, sendo indicada a adubação fosfatada, para sua utilização na agricultura); Totalmente inserido no bioma Mata Atlântica; Uso e ocupação predominante: pastagem (41,6%), Formação florestal (25%); Predomínio das atividades minerárias; 17 barragens de contenção de rejeitos cadastradas no PNSB, 9 barragens não cadastradas; Municípios com densidade demográfica acima de 100 hab/km^2 com sede na bacia: Congonhas, Conselheiro Lafaiete e Ouro Branco; Municípios sem nenhum tipo de tratamento de esgotos com sede na bacia: Belo Vale, Casa Grande, Congonhas, Cristiano Otoni, Entre Rios de Minas, Jeceaba, Moeda, Piedade dos Gerais e São Brás do Suaçuí; Municípios com sede na bacia que não possuem disposição adequada dos resíduos: Congonhas e Jeceaba.	Médias pluviométricas acumuladas de 398 mm em 2014 e 1728 mm em 2008; Região geomorfológica do Quadrilátero Ferrífero; Cambissolos háplicos distróficos e argissolos vermelho-amarelo distróficos (óxidos de ferro, baixa fertilidade, sendo indicada a adubação fosfatada, para sua utilização na agricultura, susceptibilidade à erosão); Área de transição dos biomas Mata Atlântica e Cerrado; Uso e ocupação predominante: pastagem (47,8%), Formação florestal (27,1%); Predomínio de atividades de gerenciamento de resíduos e serviços e atividades minerárias; 35 barragens de contenção de rejeitos cadastradas no PNSB, 47 barragens não cadastradas; Maior número de outorgas cadastradas, sendo a maior parte para abastecimento público, irrigação e dessedentação animal; Uso para abastecimento público - Reservatórios que formam o Sistema Paraopeba e desempenham papel importante no abastecimento de água potável da RMBH; Municípios com densidade demográfica acima de 100 hab/km^2 com sede na bacia: Betim, Contagem, Ibirité, Igarapé, Juatuba, Mário Campos, São Joaquim de Bicas e Sarzedo; Municípios sem nenhum tipo de tratamento de esgotos com sede na bacia: Bonfim, Fortuna de Minas, Ibirité, Itatiaiuçu, Mário Campos, Mateus Leme, Rio Manso e São José da Varginha; Municípios com sede na bacia que não possuem disposição adequada dos resíduos: Esmeraldas, Inhaúma e Mateus Leme.	Médias pluviométricas acumuladas de 689 mm em 2017 e 1535 mm em 2008; Não possui monitoramento fluviométrico; Cambissolos háplicos distróficos e Latossolos vermelho-amarelo distróficos (baixa fertilidade, sendo indicada a adubação fosfatada, para sua utilização na agricultura); Área de transição dos biomas Mata Atlântica e Cerrado; Uso e ocupação predominante: pastagem (51,8%), formação savânica (14,4%) e floresta plantada (14,2%); Predomínio de atividades agrossilvipastoris; Municípios sem nenhum tipo de tratamento de esgotos com sede na bacia: Caetanopólis, Maravilhas e Paraopeba; Municípios com sede na bacia que não possuem disposição adequada dos resíduos: Caetanopólis e Paraopeba.

3.9 Conclusões

A elaboração da caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Paraopeba permitiu a descrição de seus aspectos demográficos, geográficos, econômicos, sociais e ambientais. Essas informações podem fornecer conhecimento suficiente para identificar e avaliar os impactos antrópicos na qualidade da água.

O uso e ocupação do solo predominante na bacia é a pastagem, seguido pela formação florestal. No entanto, ao longo dos anos de 2008 a 2019 foi observado o crescimento da agricultura, da infraestrutura urbana e da mineração. Diversos problemas na qualidade da água podem ser relacionados a esses tipos de uso do solo, reforçando a importância da gestão dos recursos hídricos.

Como visto, a atividade de agricultura vem crescendo na bacia e os solos predominantes na região, por apresentarem baixa fertilidade, podem exigir a adubação fosfatada, para sua utilização, indicando mais uma preocupação quanto ao manejo adequado do solo.

Em relação à dinâmica socioeconômica, a bacia hidrográfica do rio Paraopeba é composta por 21 municípios de pequeno porte (até 10.000 habitantes), 17 municípios de médio porte (entre 10.001 a 50.000 habitantes) e 10 municípios de grande porte (acima de 50.001 habitantes), sendo que os municípios com maior densidade demográfica estão localizados próximos ao reservatório de Vargem das Flores (Betim, Contagem e Ibirité) e na região do Médio Paraopeba.

Uma vez que a maioria dos municípios não apresentam infraestrutura de saneamento suficiente para toda a população, a qualidade da água dos cursos d´água da bacia hidrográfica do rio Paraopeba pode ser alterada pelos lançamentos de esgotos domésticos sem tratamento nos cursos d´água, além das alterações que podem decorrer das atividades econômicas desenvolvidas na bacia.

Os empreendimentos minerários ocorrem tanto no Alto como no Médio Paraopeba, localizados na região geomorfológica do Quadrilátero Ferrífero, e estão relacionados à grande quantidade de barragens de contenção de rejeitos presentes nessas regiões, sendo importante o monitoramento das estruturas e avaliações de seus estados de conservação, a fim de evitar novos desastres ambientais. Além da mineração, no Médio Paraopeba destacam-se também atividades da indústria metalúrgica e do gerenciamento de resíduos e serviços. Ao passo que no Baixo

Paraopeba o predomínio é das atividades agrossilvipastoris.

As áreas de preservação contribuem para a conservação da qualidade da água, portanto é importante destacar que a bacia hidrográfica do rio Paraopeba possui poucas áreas de preservação ambiental. A maior parte das unidades de conservação da bacia estão localizadas no bioma da Mata Atlântica, mesmo o bioma predominante sendo o Cerrado, ressaltando assim a importância de criação de áreas de preservação também nesse bioma visando a conservação da biodiversidade da bacia.

A região do Médio Paraopeba se mostrou mais desenvolvida em termos de atividades econômicas e dinâmica populacional, possivelmente em função da proximidade da capital do Estado e por ter diversos municípios pertencentes à RMBH. Desta forma, esta região apresenta a maior possibilidade de impactar a qualidade da água do rio Paraopeba.

Nessa região está o maior número de outorgas cadastradas, sendo a maior parte para abastecimento público, irrigação e dessedentação animal. Destaca-se o uso para abastecimento público com a presença dos três reservatórios que formam o Sistema Paraopeba, que desempenha um papel importante no abastecimento de água potável da RMBH.

CAPÍTULO 4: ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAOPEBA

4.1 Introdução

As bacias hidrográficas localizadas em regiões metropolitanas estão submetidas a pressões antrópicas variadas que decorrem do crescimento populacional e da dinâmica de atividades econômicas, que tornam-se fatores agravantes quando associadas às mudanças climáticas, às alterações de uso de solo e seus impactos sobre os recursos naturais (BARAKAT *et al.*, 2016; BU *et al.*, 2010; FRAGA *et al.*, 2021).

No Brasil, uma das bacias sujeita às pressões ambientais descritas é a bacia hidrográfica do rio Paraopeba, localizada no estado de Minas Gerais e que integra a região do Alto Rio São Francisco. O rio Paraopeba percorre 550 km da sua nascente no extremo sul da Serra do Espinhaço, município de Cristiano Otoni, até sua foz na Represa de Três Marias, entre os municípios de Pompéu e Felixlândia, em Minas Gerais (IGAM, 2013). A bacia hidrográfica do rio Paraopeba abrange uma área de 12.054 km², 48 municípios (sendo 35 sedes municipais) e tem uma população aproximada de 2.349.024 habitantes (COBRAPE, 2018).

Destacam-se na bacia hidrográfica do rio Paraopeba as atividades minerárias e indústrias dos ramos metalúrgico, automobilístico e petroquímico. O potencial industrial está ligado à proximidade com a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e as atividades industriais destacam-se nos municípios de Conselheiro Lafaiete, Ouro Branco, Congonhas, Sarzedo, Ibirité e, principalmente, em Contagem e Betim, onde reside a maior parte da população da bacia (IBGE, 2019b; SISEMA, 2021).

Em função da intensa atividade minerária na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, há uma grande quantidade de barragens de contenção de rejeitos, localizadas em diferentes municípios, que apresentam um risco contínuo de falhas. Uma dessas falhas ocorreu na Barragem I de rejeitos de minério de ferro, da mina Córrego do Feijão, da Mineradora Vale S.A., em Brumadinho (Minas Gerais, Brasil), que se rompeu em 25 de janeiro de 2019. O desastre causou a perda de 270 vidas humanas, danos ao meio ambiente e ao patrimônio público e privado, além de prejuízos socioeconômicos, se tornando preocupação não só na bacia hidrográfica do rio Paraopeba como também em toda a bacia do rio São Francisco (IGAM, 2020b).

O volume estimado de 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério de ferro foram liberados por toda a calha do ribeirão Ferro-Carvão e atingiram o rio Paraopeba (IGAM, 2020b), que historicamente já apresenta a qualidade da água alterada pelo lançamento de esgotos

domésticos não tratados e por diferentes atividades industriais (CALAZANS *et al.*, 2018b; DE VILHENA *et al.*, 2008; SOARES; PINTO; OLIVEIRA, 2020).

Desta forma, para melhor conhecimento da situação da qualidade das águas e as principais alterações ocorridas ao longo do tempo torna-se necessário o monitoramento da qualidade das águas superficiais (SANDERS, 1983). A partir da obtenção de dados monitorados, geralmente são utilizadas técnicas estatísticas para melhor compreensão das variações temporais e espaciais da qualidade da água e a identificação de possíveis fatores que influenciam os corpos d´água, de modo a contribuir para a gestão dos recursos hídricos (ALBERTO *et al.*, 2001; SIMEONOV *et al.*, 2003).

Diversos estudos de avaliações da qualidade das águas em bacias hidrográficas no Brasil e no mundo já utilizaram essas técnicas (DA COSTA *et al.*, 2017; DING *et al.*, 2016; GIAO; CONG; NHIEN, 2021; PINTO; CALAZANS; OLIVEIRA, 2019; TRINDADE *et al.*, 2017; XU *et al.*, 2020). Métodos estatísticos multivariados foram utilizados por Calazans *et al.* (2018a) para analisar a qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. Os autores identificaram o lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais como as principais fontes de poluição responsáveis pela degradação dos corpos d'água.

A utilização de testes não paramétricos e o cálculo da violação aos limites recomendados pela legislação ambiental permitiu que Soares, Pinto e Oliveira (2020) identificassem o riacho das Pedras ou ribeirão das Areias como o corpo d'água com piores condições de qualidade da água dentro da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. As principais fontes de poluição na bacia foram associadas ao lançamento de esgotos domésticos, à exploração do minério de ferro e do manganês que ocorre na área do Quadrilátero Ferrífero, bem como às atividades metalúrgicas em Betim.

Em decorrência do rompimento, monitoramentos especiais têm sido efetuados por vários órgãos públicos e pela empresa responsável pelo empreendimento (IGAM, 2019c), a fim de aprimorar o acompanhamento da qualidade da água do rio Paraopeba. Da Souza *et al.* (2021) avaliaram o potencial toxicogenético da água e sedimento do rio Paraopeba, cinco dias após o rompimento da barragem de rejeitos da mineração pelo teste *Allium cepa* e os resultados demonstraram o potencial dos rejeitos em causar efeitos citogenotóxicos devido às maiores concentrações de metais liberados na coluna d'água e nos sedimentos.

Parente *et al.* (2021) avaliaram a contaminação por elementos traço em amostras de sedimentos, peixes e macrófitas aquáticas, a montante e a jusante do local do rompimento da barragem, nas estações seca e chuvosa, e foi observada uma variação sazonal significativa com o aumento das concentrações de arsênio na estação seca e chumbo na estação chuvosa em amostras de peixes, com a mesma tendência ocorrendo em macrófitas. A fim de investigar a especiação e mobilidade de metais no rio Paraopeba, após a estabilização dos rejeitos no sistema fluvial, Teramoto *et al.* (2021) realizaram experimentos utilizando a técnica de gradiente difusivo em filmes finos (DGT), experimentos de dessorção e cálculos de especiação química. Os resultados indicaram que as concentrações totais e dissolvidas de metais aumentaram durante a estação chuvosa, enquanto as formas lábeis foram maiores durante a estação seca.

Os primeiros estudos realizados sobre os impactos do rompimento reforçam a importância do monitoramento da qualidade da água e do avanço da pluma de rejeitos ao longo do rio Paraopeba (SOUZA *et al.*, 2021; THOMPSON *et al.*, 2020; DOS SANTOS VERGILIO *et al.*, 2020).

O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, no estado de Minas Gerais (Brasil), no período de janeiro de 2008 a abril de 2021, identificando as principais pressões sofridas pelos corpos d´água e as áreas mais impactadas ao longo dos anos de monitoramento não somente pelo rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão, da empresa Vale, localizada em Brumadinho, mas também pelas demais atividades econômicas e pelo crescimento demográfico da região.

4.2 Metodologia

4.2.1 Dados de monitoramento da qualidade da água

Para a avaliação da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, foram utilizados os dados fornecidos pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas - Igam, referentes ao Monitoramento Básico do Programa Águas de Minas, realizado desde 1997, e ao Monitoramento Especial do rio Paraopeba, implantado na bacia logo após o rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão, em 25 de janeiro de 2019.

Os dados do Monitoramento Básico possuem frequências trimestrais ou semestrais a depender do parâmetro. O ano de implementação e desativação das estações, as falhas de dados existentes e a frequência de monitoramento foram analisadas para definição do período do 1º trimestre de

2008 ao 4º trimestre de 2020. Os dados do Monitoramento Especial possuem frequências variadas (diária, semanal, quinzenal e mensal) e abrangem o período do dia 26 de janeiro de 2019 até 15 de abril de 2021.

O Monitoramento Básico possui 44 pontos de monitoramento instalados até o ano de 2020, sendo 10 pontos em comum com o Monitoramento Especial da qualidade da água do rio Paraopeba, que possui 16 pontos, abrangendo a bacia hidrográfica do rio Paraopeba e a represa de Três Marias (IGAM, 2020a). O Quadro 4.1 apresenta a descrição das estações de monitoramento da qualidade da água do Igam localizadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba e na represa de Três Marias.

Para melhor discussão dos resultados, os cursos d´água monitorados na bacia hidrográfica do rio Paraopeba foram agrupados em trechos, utilizando como referência os principais cursos d´água afluentes ao rio Paraopeba, os municípios e os trechos propostos por Igam (2020b) que levam em consideração a distância da foz do ribeirão Ferro Carvão no rio Paraopeba até as estações de monitoramento da qualidade da água.

A Figura 4.1 apresenta a localização da bacia hidrográfica do rio Paraopeba e a delimitação dos trechos que serão utilizados para discussão da avaliação da qualidade da água, o local do rompimento da barragem de rejeitos e as estações de monitoramento da qualidade da água do Igam. Em vermelho estão as estações que apresentam dados tanto do monitoramento básico como do especial, as estações representadas em rosa possuem dados apenas no monitoramento básico e aquelas representadas pela cor preta são as estações que possuem dados apenas do monitoramento especial.

Quadro 4.1: Descrição das estações de monitoramento de qualidade de água do Igam na bacia hidrográfica do rio Paraopeba e na represa de Três Marias.

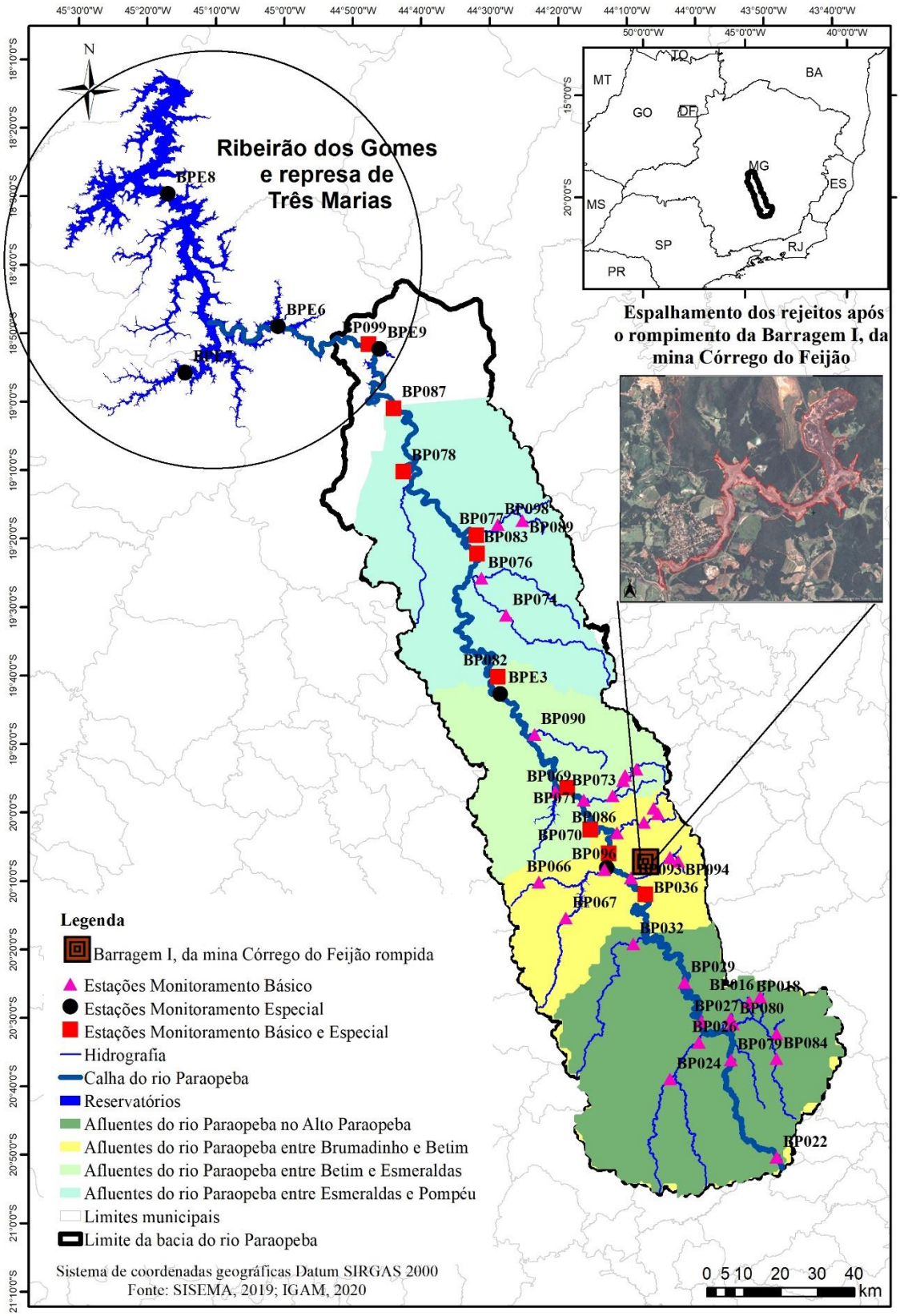
Estação	Região	Município	Latitude	Longitude	Monitoramento	Data de Estabelecimento	Curso D'água	Classe de Enquadramento
BP014	Alto	Congonhas	-20,54	-43,80	Básico	20/07/2015	Ribeirão Soledade	Classe 3
BP016	Alto	Congonhas	-20,45	-43,84	Básico	20/07/2015	Rio Preto	Classe 1
BP018	Alto	Congonhas	-20,46	-43,87	Básico	20/07/2015	Córrego Mãe-D'água	Classe 2
BP020	Alto	Congonhas	-20,50	-43,91	Básico	20/07/2015	Córrego Maria-José	Classe 2
BP022	Alto	Cristiano Otoni	-20,84	-43,80	Básico	18/04/2007	Rio Paraopeba	Classe 2
BP024	Alto	Entre Rios de Minas	-20,65	-44,06	Básico	18/04/2007	Rio Brumado	Classe 1
BP026	Alto	Jeceaba	-20,56	-43,99	Básico	01/10/1977	Rio Camapuã	Classe 1
BP027	Alto	Congonhas, Jeceaba	-20,51	-43,98	Básico	01/10/1977	Rio Paraopeba	Classe 2
BP029	Alto	Belo Vale	-20,41	-44,03	Básico	01/05/1978	Rio Paraopeba	Classe 2
BP032	Alto	Bonfim	-20,32	-44,15	Básico	17/04/2007	Rio Macaúbas	Classe 1
BP036	Médio	Brumadinho	-20,20	-44,12	Básico e Especial	01/05/1978	Rio Paraopeba	Classe 2
BP063	Médio	Betim	-19,91	-44,17	Básico	30/01/2020	Rio Betim	Classe 1
BP064	Médio	Contagem	-19,89	-44,14	Básico	30/01/2020	Rio Betim	Classe 1
BP066	Médio	Itatiaiuçu	-20,17	-44,38	Básico	17/04/2007	Rio Veloso	Classe 2
BP067	Médio	Rio Manso	-20,26	-44,31	Básico	31/01/2020	Rio Manso	Classe 1
BP068	Médio	São Joaquim de Bicas	-20,10	-44,21	Básico e Especial	01/05/1978	Rio Paraopeba	Classe 2
BP069	Médio	Juatuba	-19,95	-44,34	Básico	16/04/2007	Ribeirão Serra Azul	Classe 1
BP070	Médio	Betim, São Joaquim de Bicas	-20,04	-44,25	Básico e Especial	01/05/1978	Rio Paraopeba	Classe 2
BP071	Médio	Betim, Juatuba	-19,97	-44,27	Básico	01/07/1985	Rio Betim	Classe 3
BP072	Médio	Betim	-19,94	-44,31	Básico e Especial	01/07/1985	Rio Paraopeba	Classe 2
BP073	Médio	Betim	-19,96	-44,20	Básico	16/04/2007	Ribeirão das Areias ou Riacho das Pedras	Classe 2
BP074	Médio	Cachoeira da Prata	-19,52	-44,46	Básico	16/04/2007	Ribeirão dos Macacos	Classe 1
BP075	Médio	Ibirité	-19,99	-44,10	Básico	23/10/2012	Córrego Pintado	Classe 2
BP076	Médio	Inhaúma, Paraopeba	-19,43	-44,52	Básico	01/07/1985	Ribeirão São João	Classe 2
BP077	Baixo	Papagaios, Paraopeba	-19,33	-44,53	Básico e Especial	07/11/2019	Rio Paraopeba	Classe 2
BP078	Baixo	Curvelo, Pompéu	-19,17	-44,71	Básico e Especial	01/07/1985	Rio Paraopeba	Classe 2
BP079	Alto	Congonhas, Conselheiro Lafaiete, São Brás do Suaçuí	-20,60	-43,91	Básico	01/05/1992	Rio Paraopeba	Classe 1
BP080	Alto	Congonhas	-20,52	-43,91	Básico	01/05/1992	Rio Maranhão	Classe 2

Quadro 4.1: Descrição das estações de monitoramento de qualidade de água do Igam na bacia hidrográfica do rio Paraopeba e na represa de Três Marias (Continuação).

Estação	Região	Município	Latitude	Longitude	Monitoramento	Data de Estabelecimento	Curso D'água	Classe de Enquadramento
BP081	Médio	Ibirité	-20,00	-44,09	Básico	23/10/2012	Ribeirão Ibirité	Classe 2
BP082	Médio	Esmeraldas, São José da Varginha	-19,67	-44,48	Básico e Especial	01/05/1992	Rio Paraopeba	Classe 2
BP083	Baixo	Papagaios, Paraopeba	-19,37	-44,53	Básico e Especial	01/05/1992	Rio Paraopeba	Classe 2
BP084	Alto	Conselheiro Lafaiete	-20,60	-43,80	Básico	02/02/2000	Rio Maranhão	Classe 2
BP085	Médio	Ibirité	-20,02	-44,12	Básico	25/01/2013	Ribeirão Ibirité	Classe 2
BP086	Médio	Betim, Mário Campos	-20,05	-44,19	Básico	02/02/2000	Ribeirão Sarzedo	Classe 2
BP087	Baixo	Curvelo, Pompéu	-19,02	-44,73	Básico e Especial	06/11/2019	Rio Paraopeba	Classe 2
BP088	Médio	Betim	-19,92	-44,17	Básico	03/02/2000	Rio Betim	Classe 1
BP089	Baixo	Caetanópolis, Paraopeba	-19,29	-44,42	Básico	07/11/2019	Ribeirão do Cedro	Classe 2
BP090	Médio	Esmeraldas	-19,81	-44,39	Básico	02/02/2000	Ribeirão Grande	Classe 2
BP092	Médio	Brumadinho	-20,11	-44,06	Básico	03/01/2003	Ribeirão Casa Branca	Classe 1
BP093	Médio	Brumadinho	-20,16	-44,15	Básico	10/07/2019	Ribeirão Casa Branca	Classe 2
BP094	Médio	Brumadinho	-20,12	-44,04	Básico	03/01/2003	Ribeirão Catarina	Classe 1
BP096	Médio	Brumadinho	-20,14	-44,22	Básico	08/08/2005	Rio Manso	Classe 2
BP098	Baixo	Caetanópolis, Paraopeba	-19,30	-44,48	Básico	08/08/2005	Ribeirão do Cedro	Classe 2
BP099	Baixo	Felixlândia	-18,86	-44,79	Básico e Especial	16/04/2007	Rio Paraopeba	Classe 2
BPE2	Médio	Brumadinho	-20,14	-44,21	Especial	26/01/2019	Rio Paraopeba	Classe 2
BPE3	Médio	Esmeraldas	-19,71	-44,47	Especial	12/02/2019	Rio Paraopeba	Classe 2
BPE6	Represa de Três Marias	Felixlândia	-18,82	-45,02	Especial	02/03/2019	Represa de Três Marias	Classe 2
BPE7	Represa de Três Marias	Abaeté	-18,93	-45,24	Especial	02/03/2019	Represa de Três Marias	Classe 2
BPE8	Represa Três Marias	Três Marias	-18,49	-45,28	Especial	02/03/2019	Represa de Três Marias	Classe 2
BPE9	Baixo	Felixlândia	-18,87	-44,77	Especial	27/03/2019	Ribeirão dos Gomes	Classe 2

Fonte: IGAM, 2020a.

Figura 4.1: Localização das estações de monitoramento, local do rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão e delimitação dos trechos na bacia hidrográfica do rio Paraopeba e represa de Três Marias.



O banco de dados utilizado foi disponibilizado pelo Igam (IGAM, 2021), apresentando amostras de 41 parâmetros de qualidade da água que foram coletadas de 2008 a 2021. Para a determinação dos parâmetros analisados foram calculadas as porcentagens de dados faltantes (valores não computados quando da realização de uma coleta) e foram excluídos aqueles que não apresentaram ao menos uma amostra por ano. Os valores censurados foram substituídos pelo próprio valor do limite de detecção, que já caracteriza o pior cenário possível.

Os dados de monitoramento do parâmetro coliformes termotolerantes medidos até o ano de 2013 foram analisados juntamente com os dados de *E. coli* medidos a partir do ano de 2013, compondo o parâmetro denominado indicador de contaminação fecal. Isso foi adotado pois o parâmetro *Escherichia coli* passou a ser avaliado pelo Igam em substituição aos coliformes termotolerantes, a partir da primeira campanha de 2013. Essa modificação decorreu uma vez que estudos vêm mostrando a espécie *E. coli* como sendo a única indicadora inequívoca de contaminação fecal, humana ou animal (HACHICH *et al.*, 2012; IGAM, 2019a).

A Tabela 4.1 apresenta a notação de referência, unidade, limites de detecção do método de amostragem e valores máximos permitidos para cada classe de enquadramento dos 41 parâmetros selecionados para análise na bacia hidrográfica do rio Paraopeba e represa de Três Marias. Os valores máximos permitidos estabelecidos na DN COPAM/CERH 01/2008 para Classe 4 não foram apresentados uma vez que nenhum curso d´água da bacia hidrográfica do rio Paraopeba está enquadrado nessa classe.

Tabela 4.1: Nome, notação de referência, unidade, limite de detecção do método e valores máximos permitidos para cada classe de enquadramento dos parâmetros selecionados para análise na bacia hidrográfica do rio Paraopeba e represa de Três Marias.

Parâmetro	**Notação de referência**	**Unidade**	**Limite de detecção do método**	**Valores máximos permitidos DN COPAM/CERH 01/2008**		
				Classe 1	**Classe 2**	**Classe 3**
Alumínio dissolvido	Al_{diss}	mg/L Al	0,1	0,1	0,1	0,2
Arsênio total	As_T	mg/L As	Até 2013: 0,0003 A partir de 2014: 0,001	0,01	0,01	0,033
Bário total	Ba_T	mg/L Ba	0,005	0,7	0,7	1
Boro total	BT	mg/L B	0,07	0,5	0,5	0,75
Cádmio total	Cd_T	mg/L Cd	0,0005	0,001	0,001	0,01
Cálcio total	Ca_T	mg/L Ca	-	-	-	-
Chumbo total	Pb_T	mg/L Pb	0,005	0,01	0,01	0,033
Cloreto total	Cl-T	mg/L Cl	Até 2009: 0,3 A partir de 2010: 0,5	250	250	250
Clorofila *a*	Cl-*a*	µg/L	Até 2016: 0,006 A partir de 2017: 0,8	10	30	60
Cobre dissolvido	Cu_{diss}	mg/L Cu	0,004	0,009	0,009	0,013
Condutividade elétrica *in loco*	CE	µmho/cm	-	-	-	-
Cor verdadeira	Cor	UPt	10	-	75	75
Cromo total	Cr_T	mg/L Cr	0,04	0,05	0,05	0,05

Tabela 4.1: Nome, notação de referência, unidade, limite de detecção do método e valores máximos permitidos para cada classe de enquadramento dos parâmetros selecionados para análise na bacia hidrográfica do rio Paraopeba e represa de Três Marias (Continuação).

Parâmetro	Notação de referência	Unidade	Limite de detecção do método	Valores máximos permitidos DN COPAM/CERH 01/2008		
				Classe 1	Classe 2	Classe 3
Demanda bioquímica de oxigênio	DBO	mg/L O_2	2	3	5	10
Demanda química de oxigênio	DQO	mg/L O_2	5	-	-	-
Dureza total	DurT	mg/L $CaCO_3$	-	-	-	-
Feoftina	Feof-a	µg/L	Até 2016: 0,006 A partir de 2017: 1 A partir de 2020: 2	-	-	-
Ferro dissolvido	Fe_{diss}	mg/L Fe	0,03	0,3	0,3	5
Ferro total*	Fe_T	mg/L Fe	0,03	-	-	-
Fósforo total	P_T	mg/L P	Até 2010: 0,01 A partir de 2011: 0,02	0,1	0,1	0,15
Indicador de contaminação fecal**	ICF	NMP/100 mL	Até 2014: 160.000 A partir de 2015: 241.960	200	1000	4000
Magnésio total	Mg_T	mg/L Mg	0,2	-	-	-
Manganês total	Mn_T	mg/L Mn	0,003	0,1	0,1	0,5
Mercúrio total	Hg_T	mg/L Hg	0,02	0,0002	0,0002	0,002
Níquel total	Ni_T	mg/L Ni	0,004	0,025	0,025	0,025
Nitrato	$N\text{-}NO_3^-$	mg/L N	Até 2010: 0,01 A partir de 2011: 0,1	10	10	10
Nitrito	$N\text{-}NO_2^-$	mg/L N	0,001	1	1	1
Nitrogênio amoniacal total	$N\text{-}NH_4^+$	mg/L N	0,1	3,7: pH ≤ 7,5 2,0: 7,5<pH≤8,0 1,0: 8,0<pH≤8,5 0,5: pH > 8,5	3,7: pH ≤ 7,5 2,0: 7,5<pH≤8,0 1,0: 8,0<pH≤8,5 0,5: pH > 8,5	13,3: pH ≤ 7,5 5,6: 7,5<pH≤8,0 2,2: 8,0<pH≤8,5 1,0: pH > 8,5
Nitrogênio orgânico	NO_2	mg/L N	0,1	-	-	-
Oxigênio dissolvido	OD	mg/L O_2	0,5	>6	>5	>4
pH *in loco*	pH	-	-	6 – 9	6 – 9	6 – 9
Potássio dissolvido	K_{diss}	mg/L K	-	-	-	-
Sódio dissolvido	Na_{diss}	mg/L Na	-	-	-	-
Sólidos dissolvidos totais	SDT	mg/L	-	500	500	500
Sólidos em suspensão totais	SST	mg/L	Até 2010: 2 A partir de 2011: 1	-	-	-
Sólidos totais	ST	mg/L	-	-	-	-
Substâncias tensoativas	MBAS	mg/L LAS	Até 2010: 0,05 A partir de 2011: 0,1	0,5	0,5	0,5
Sulfato total	SO_4	mg/L SO_4	Até 2011: 1 A partir de 2012: 5	250	250	250
Temperatura da água	Temp.	ºC	-	-	-	-
Turbidez	Turb.	UNT	0,5	40	100	100
Zinco total	Zn_T	mg/L Zn	0,02	0,18	0,18	5

* Monitoramento realizado a partir de 16 de fevereiro de 2019

** Corresponde aos dados de monitoramento do parâmetro coliformes termotolerantes medidos até o ano de 2012 e de *E. coli* medidos a partir do ano de 2013.

Todos os *outliers* foram calculados pelo método exploratório da amplitude interquartis (AIQ), que é dada pela diferença entre o terceiro quartil (Q3 ou percentil 75%) e primeiro quartil (Q1

ou percentil 25%). Assim, foi considerado *outlier* superior todo dado maior que (Q3+1,5AIQ) e *outlier* inferior todo valor menor que (Q1-1,5AIQ) (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Os *outliers* identificados foram analisados individualmente e nenhum dado foi excluído por terem sido considerados como passíveis de ocorrer e não como erros de mensuração.

Considerando o banco de dados completo (Monitoramento Especial e Básico), no período de janeiro de 2008 a abril de 2021, foi realizada a estatística descritiva, que consistiu em apresentar os valores mínimo e máximo, a média, o desvio-padrão e os percentis (25, 50 – mediana e 75), para cada parâmetro de qualidade da água selecionado e para todas as estações de monitoramento.

4.2.2 Avaliação das violações aos limites preconizados pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008

A análise de violações considerou os limites preconizados pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008. Para o cálculo foi utilizado o banco de dados completo (Monitoramento Especial e Básico), no período de janeiro de 2008 a abril de 2021, para todas as estações de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, levando em consideração as classes de enquadramento dos corpos d'água. Os limites legais estabelecidos pela DN COPAM/CERH-MG nº 01/08 para os parâmetros analisados, por classe de enquadramento, estão apresentados na Tabela II.1 no Anexo II (MINAS GERAIS, 2008).

A DN COPAM/CERH-MG nº 01/2008 divide os corpos d'água em cinco classes de enquadramento. Cada classe possui valores-alvo para os parâmetros de qualidade da água que devem ser alcançados para manter a qualidade desses corpos d'água compatível com os usos de água predominantes localmente (como consumo humano, irrigação ou navegação). O enquadramento das águas da Bacia hidrográfica do rio Paraopeba foi definido pela Deliberação Normativa COPAM nº 14, de 28 de dezembro de 1995 (MINAS GERAIS, 1995).

4.2.3 Avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Paraopeba

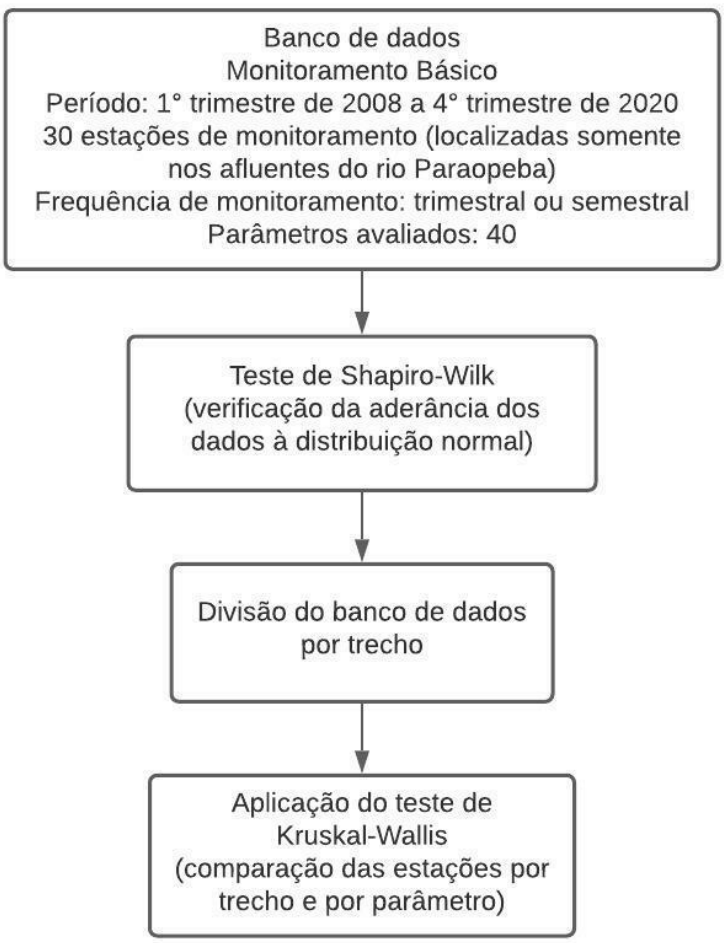
Após a organização do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, as seguintes análises foram realizadas: avaliação espacial da qualidade da água, por meio de testes não paramétricos, para as estações localizadas nos afluentes do rio Paraopeba; avaliação espacial da qualidade da água das estações de monitoramento localizadas na calha do rio Paraopeba, considerando o período antes e após o rompimento utilizando, testes não paramétricos e análise multivariada; e, por fim, avaliação dos dados de monitoramento das estações localizadas no Ribeirão do Gomes e na represa de Três Marias que tiveram o

monitoramento iniciado em 2019, por meio da análise dos percentuais de violações aos limites legais.

4.2.3.1 Avaliação da qualidade das águas superficiais dos afluentes do rio Paraopeba

A partir do banco de dados do Monitoramento Básico foi realizada a avaliação da qualidade das águas dos afluentes do rio Paraopeba. Essas estações foram divididas por região (Alto, Médio e Baixo Paraopeba). A Figura 4.2 apresenta um resumo do banco de dados e das análises realizadas.

Figura 4.2: Sequência metodológica da avaliação da qualidade das águas superficiais das estações localizadas nos afluentes do rio Paraopeba.



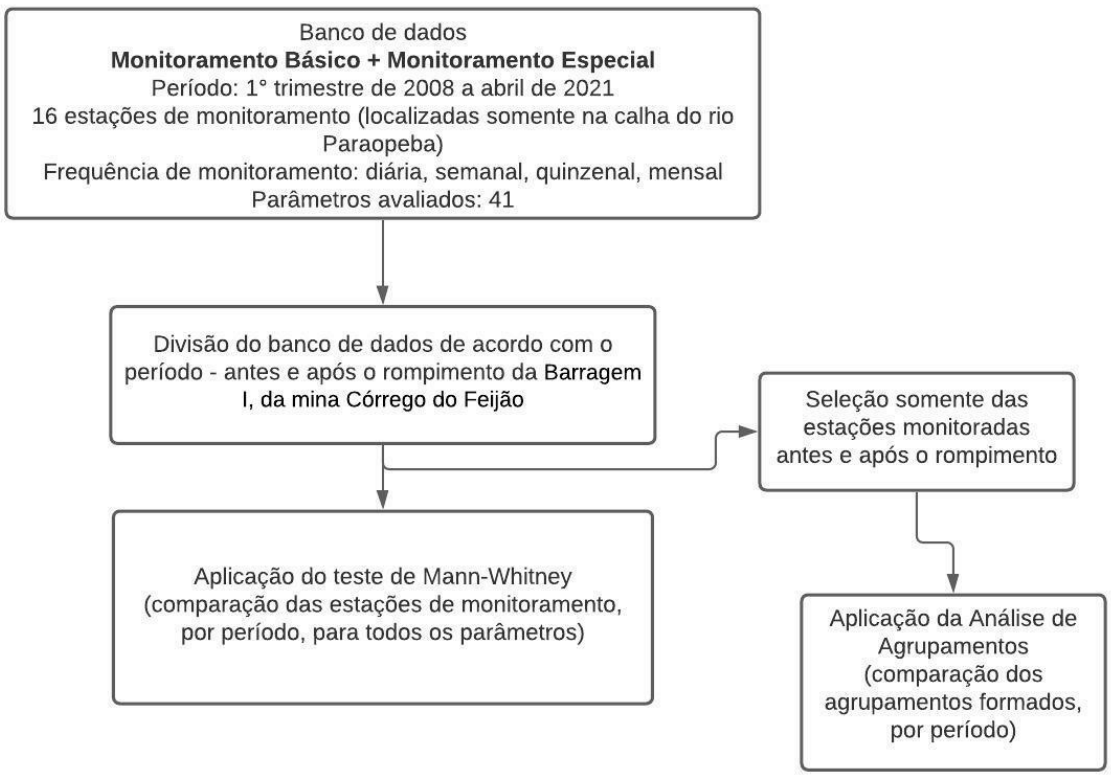
Os testes de normalidade de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) foram aplicados para cada parâmetro de qualidade da água e confirmaram a não aderência à distribuição normal, ao nível de significância (α) de 5%, indicando a aplicação de testes não paramétricos. Sendo assim, testes estatísticos não paramétricos de Kruskal-Wallis (KRUSKAL; WALLIS, 1952), seguido do teste de comparações múltiplas de Dunn (SIEGEL; CASTELLAN JR., 1988), quando aplicável, foram utilizados para identificar diferenças significativas entre as concentrações dos

parâmetros de qualidade da água entre as estações de monitoramento, por trecho, ao nível de significância (α) de 5%.

4.2.3.2 Avaliação da qualidade das águas superficiais na calha do rio Paraopeba

Para efetuar a comparação espacial entre as estações de monitoramento localizadas no rio Paraopeba, considerando os períodos antes e após o rompimento, foi empregada a análise exploratória dos dados, por meio da aplicação do teste não paramétrico de Mann-Whitney e técnica estatística multivariada – a Análise de Agrupamentos. Nessa análise foram utilizados os dados tanto do Monitoramento Básico quanto do Monitoramento Especial, considerando os 41 parâmetros selecionados (Tabela 4.1). Na Figura 4.3 é apresentado o resumo da metodologia utilizada nessa etapa.

Figura 4.3: Sequência metodológica da avaliação da qualidade das águas das estações localizadas na calha do rio Paraopeba.



Para a análise comparativa da qualidade das águas superficiais de cada estação entre o período antes e após o rompimento foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Whitney (MANN; WHITNEY, 1947), ao nível de significância (α) de 5%. Para realizar a comparação entre os dois períodos, foram analisadas apenas as estações de monitoramento comuns aos dois períodos: BP036 a montante do rompimento da barragem e BP068, BP070, BP072, BP078, BP082, BP083 e BP099 todas a jusante do rompimento. Gráficos *box plots* foram gerados para

melhor visualização dos resultados.

Para a realização de análises multivariadas, uma condição necessária é a padronização dos dados em escala Z, ou seja, as observações foram padronizadas pela subtração da média e divisão pelo desvio-padrão de cada variável ($Z = (X-\mu)/\sigma$), o que resulta em variáveis com média 0 e desvio-padrão 1, com a mesma escala. A padronização dos dados na escala Z, é importante para evitar classificações erradas devido às diferenças na dimensão dos dados, eliminando a possível influência de diferentes unidades de medida, tornando os dados adimensionais (REIMANN *et al.*, 2008; SIMEONOV *et al.*, 2003; SINGH *et al.*, 2004; ZHANG *et al.*, 2011).

A Análise de Agrupamento (AA) é uma ferramenta de análise de dados exploratória, que permite elucidar o comportamento multivariado de um conjunto de dados. Nesse trabalho ela foi empregada com o objetivo de comparar a similaridade das estações de monitoramento da calha do rio Paraopeba em função dos valores dos parâmetros de qualidade da água mensurados no período antes e depois do rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão, o parâmetro ferro total não foi considerado na análise de agrupamento por possuir dados somente no período pós rompimento. Ressalta-se que foram utilizadas somente as estações de monitoramento existentes antes e após o rompimento, quais sejam: BP036, BP068, BP070, BP072, BP078, BP082, BP083 e BP099.

Para determinar as associações de grupo, a maioria dos métodos de agrupamento usam uma medida de similaridade entre as medidas, que geralmente é expressa por distâncias entre as observações no espaço de dados multivariado (REIMANN *et al.*, 2008). Antes da definição do agrupamento foi utilizado o coeficiente de correlação cofenética (SOKAL; ROHLF, 1962) para comparar várias medidas de distância com diferentes versões de agrupamento hierárquico aglomerativo. O coeficiente permite verificar a relação entre os valores da matriz inicial de similaridade e a matriz resultante da simplificação proporcionada pelos métodos de agrupamento, sendo assim, quanto mais próximos de 1 for o coeficiente, melhor o agrupamento (KUMAR; TOSHNIWAL, 2016; ROHLF, 1970). Todas as análises estatísticas foram realizadas no RStudio® (RSTUDIO TEAM, 2020) e no Microsoft Excel (2019).

4.2.4 Avaliação da qualidade das águas do ribeirão dos Gomes e da represa de Três Marias

A partir do banco de dados do Monitoramento Especial também foi realizada a avaliação da qualidade das águas do ribeirão dos Gomes e de três pontos de monitoramento na represa de Três Marias utilizando as informações obtidas na estatística descritiva e na análise das violações aos limites preconizados pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008.

4.3 Resultados

A estatistica descritiva e o percentual de violações aos limites preconizados pela DN COPAM/CERH n.º 01/2008 para cada um dos parâmetros em cada estação de monitoramento é apresentada da Tabela III.1 até a Tabela III.41 do Apêndice III. A análise estatística descritiva dos dados de qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Paraopeba permitiu observar uma grande amplitude para a maioria dos parâmetros, essa variação pode ser resultado dos impactos gerados pelo rompimento da barragem de rejeitos e reforça a importância da análise espacial dos valores medidos desses parâmetros na bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

4.3.1 Avaliação da qualidade das águas superficiais dos afluentes do rio Paraopeba

4.3.1.1 Afluentes do rio Paraopeba na região do Alto Paraopeba

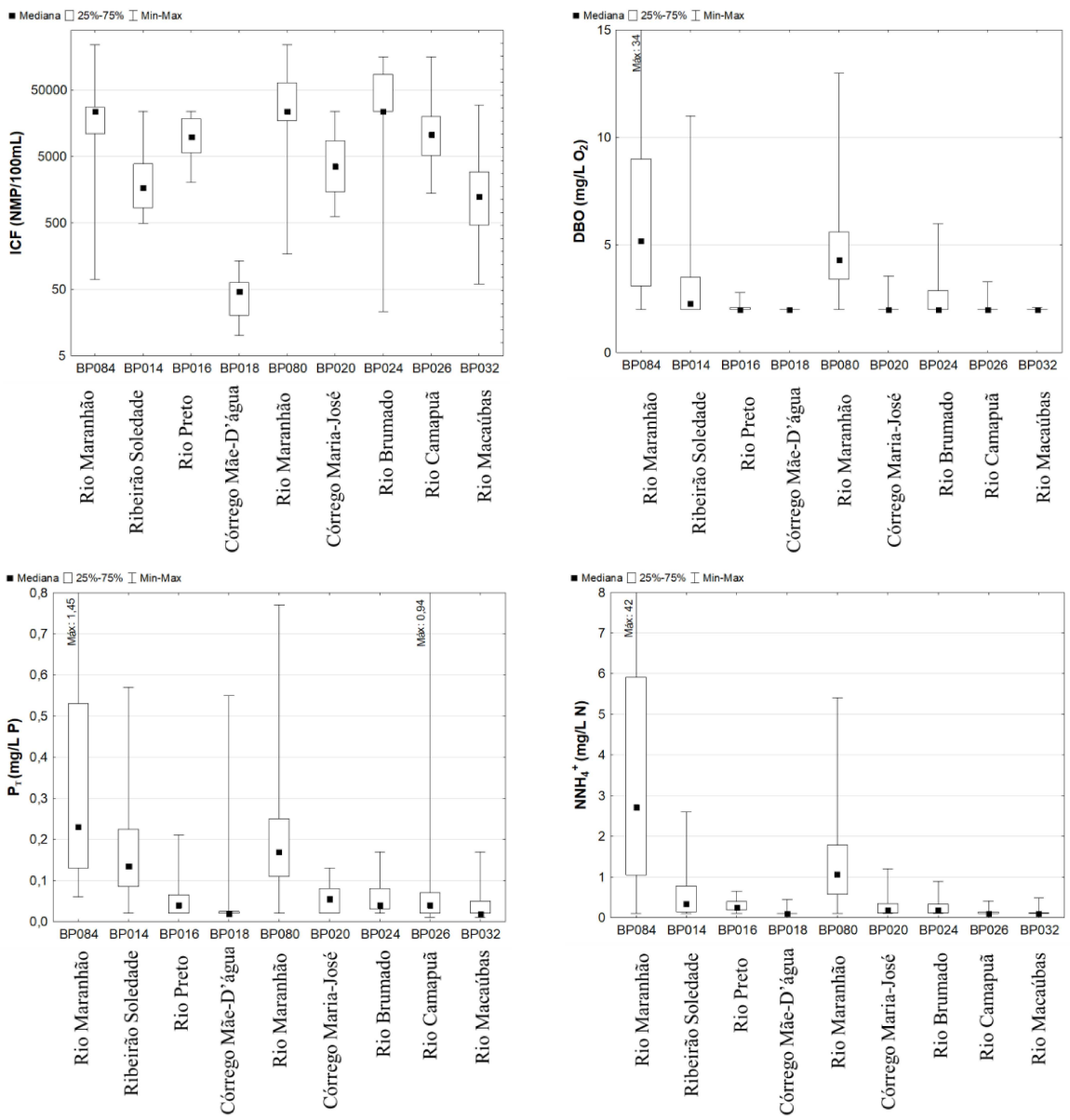
O Alto Paraopeba está situado a montante do local do rompimento da Barragem I de rejeitos de minério de ferro, da mina Córrego do Feijão, da Mineradora Vale S.A., em Brumadinho, não apresentando variações na qualidade da água que podem ser associadas ao desastre. No entanto, por estar localizado na região geomorfológica do Quadrilátero Ferrífero, encontra-se sob influência de atividades minerárias.Nesse trecho foram analisados os dados de qualidade da água para os seguintes afluentes do rio Paraopeba monitorados pelo Igam: rio Maranhão (enquadramento: classe 2), rio Camapuã (enquadramento: classe 1) e rio Macaúbas (enquadramento: classe 1).

Totalmente inserido no bioma Mata Atlântica, tem como uso e ocupação do solo predominante a pastagem (42%) (MAPBIOMAS, 2020a). Os municípios de Congonhas e Conselheiro Lafaiete que possuem densidade demográfica acima de 100 hab/km^2, além de Belo Vale, Casa Grande, Cristiano Otoni, Entre Rios de Minas, Jeceaba, Moeda, Piedade dos Gerais, Queluzito e São Brás do Suaçuí estão completamente inseridos nesse trecho, que tem a população de aproximadamente 355 mil habitantes (IBGE, 2019b).

Os resultados dos testes de comparações múltiplas para os parâmetros que apresentaram diferenças significativas no teste de Kruskal-Wallis (p-valor<0,05) são apresentados na Tabela III.42 do Apêndice III.

A Figura 4.4 ilustra a variabilidade dos parâmetros indicador de contaminação fecal (ICF), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total (P_T) e nitrogênio amoniacal total ($N\text{-}NH_4^+$), que são indicativos da contaminação fecal e do enriquecimento orgânico dos cursos d´água. As estações estão representadas de montante para jusante, sendo que o rio Maranhã possui dois pontos de monitoramento (BP084 e BP080).

Figura 4.4: Variabilidade dos parâmetros **indicador de contaminação fecal (ICF), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total (P_T) e nitrogênio amoniacal total (NNH_4^+)** nas estações de qualidade da água dos afluentes do rio Paraopeba no Alto Paraopeba de montante para jusante.



Os maiores valores observados para o indicador de contaminação fecal (Tabela III.21 – Apêndice III), no rio Maranhão (BP084 e BP080) e seus afluentes ribeirão Soledade (BP014), rio Preto (BP016) e córrego Maria José (BP020), indicam a possível contaminação por esgotos domésticos dos municípios de Conselheiro Lafaiete e Congonhas que não possuem nenhum tipo de tratamento, lançando-os diretamente nos cursos d´água (ANA, 2017).

Também na Figura 4.4 é possível observar que o rio Maranhão, na localidade de Gagé, próximo ao município de Conselheiro Lafaiete (BP084), apresenta as maiores concentrações de DBO, fósforo total e nitrogênio amoniacal total (Tabela III.14, Tabela III.20 e Tabela III.28 – Apêndice III). Esse ponto de monitoramento (BP084) não apresentou diferenças significativas para o outro ponto de monitoramento localizado no rio Maranhão (BP080) e para o ponto do ribeirão Soledade (BP014), indicando também a degradação desse curso d´água em relação à matéria orgânica.

Outro afluente do rio Paraopeba, o rio Camapuã, também apresentou altas concentrações do ICF que já foram identificadas anteriormente (IGAM, 2019a; SOARES; PINTO; OLIVEIRA, 2020) e podem ser associadas aos lançamentos de esgotos domésticos sem tratamento de Entre Rios de Minas no seu afluente rio Brumado e de Jeceaba no próprio rio Camapuã (ANA, 2017).

Na margem direita do rio Paraopeba, onde se encontra o rio Maranhão e seus afluentes, entre os municípios de Conselheiro Lafaiete e Congonhas, ocorreu o aumento da Infraestrutura Urbana e do Mosaico de Agricultura e Pastagem ao longo dos anos (Tabela I.12 - Apêndice I), além de ser onde se concentram as atividades econômicas do Alto Paraopeba, com destaque para os empreendimentos minerários, indústrias químicas e metalúrgicas (SISEMA, 2021).

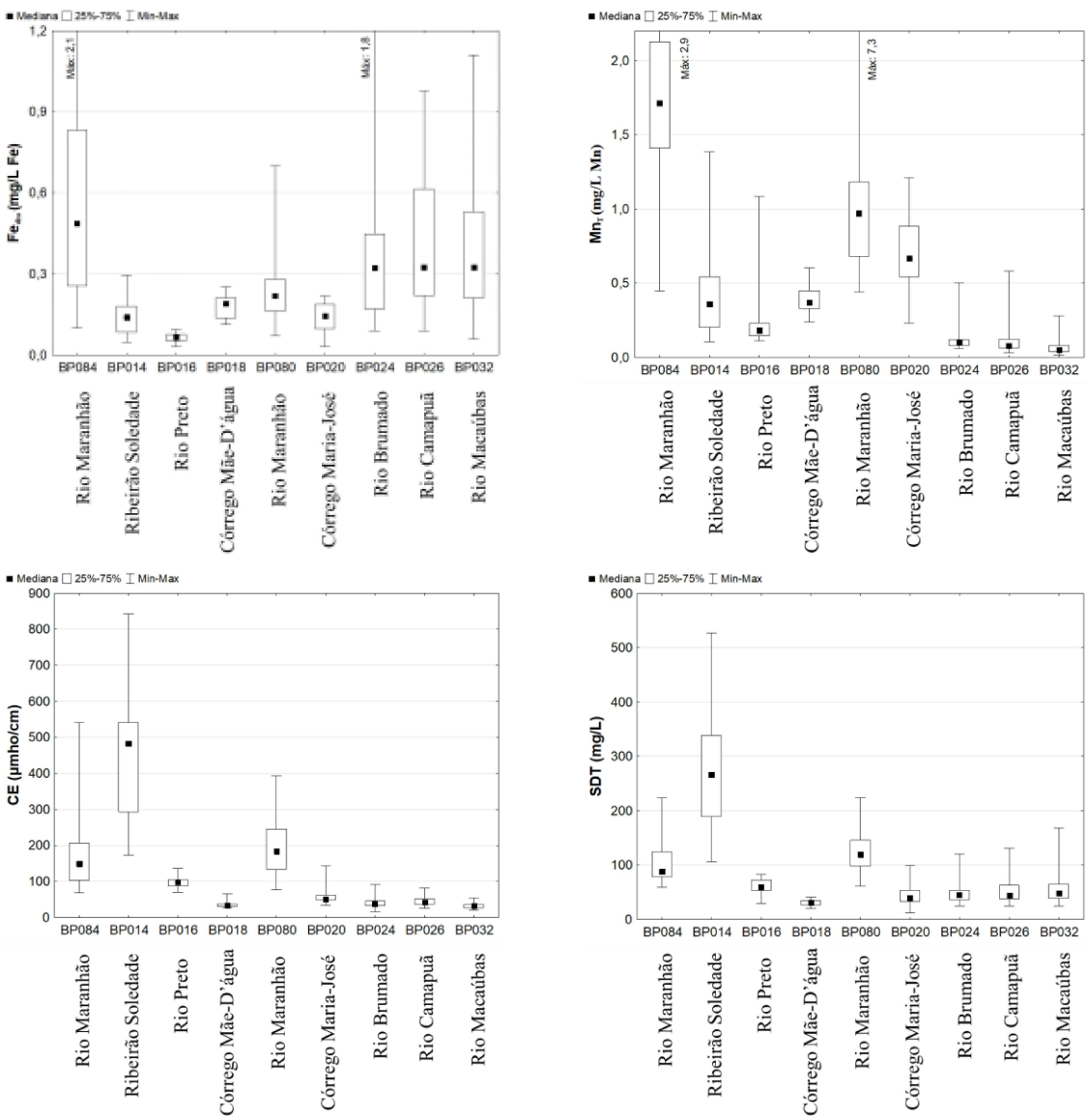
Desta forma, quando comparada a qualidade da água do rio Maranhão e seus afluentes aos rios Brumado, Camapuã e Macaúbas foi possível observar diferenças significativas para a maioria dos parâmetros de qualidade da água. A Figura 4.5 ilustra a variabilidade dos parâmetros ferro dissolvido (Fe_{diss}), manganês total (Mn_T), condutividade elétrica *in loco* (CE) e sólidos dissolvidos totais (SDT), que confirmam que as medianas desses parâmetros são maiores no rio Maranhão e seu afluente, o ribeirão Soledade.

As alterações devido à maior urbanização e às atividades econômicas desenvolvidas na sub-bacia do rio Maranhão podem estar causando impactos nos cursos d´água, onde os maiores valores de medianas para os parâmetros Ba_T (0,08 mg/L Ba), DBO (5,2 mg/L O_2, como visto na Figura 4.4), DQO (24 mg/L O_2), P_T (0,23 mg/L P, como visto na Figura 4.4), Mn_T (1,7 mg/L

Mn, como visto na Figura 4.5), N-NO_2^- (0,3 mg/L N), NNH_4^+ (2,7 mg/L N, como visto na Figura 4.4), N_2 (0,7 mg/L N) e menores valores de medianas para OD (2,8 mg/L O_2) são identificadas no rio Maranhão.

O uso e ocupação do solo predominante de pastagem pode também ser associado com as maiores medianas encontradas para os parâmetros Ca_T (20 mg/L Ca), Cl_T (20 mg/L Cl), Clo-*a* (4 mg/L Pt), CE (484 µmho/cm, como visto na Figura 4.5), DurT (65 mg/L $CaCO_3$), Mg_T (4,2 mg/L), N-NO_3^- (4 mg/L N), K_{diss} (6,7 mg/L K), Na_{diss} (41 mg/L Na), SDT (267 mg/L, como visto na Figura 4.5), ST (320 mg/L), SO_4 (44 mg/L S) e Zn_T (0,04 mg/L Zn) no ribeirão Soledade, uma vez que escoamento superficial pode ser intensificado pela redução da vegetação.

Figura 4.5: Variabilidade dos parâmetros **ferro dissolvido (Fe_{diss}), manganês total (Mn_T), condutividade elétrica *in loco* (CE)** e **sólidos dissolvidos totais (SDT)** nas estações de qualidade da água dos afluentes do rio Paraopeba no Alto Paraopeba de montante para jusante.



O ribeirão Soledade apresentou um valor de mediana para CE (Tabela III.11 – Apêndice III) quase 5 vezes maior que o valor de referência (Figura 4.5). O aumento da condutividade pode estar relacionada a elementos como o cálcio, dureza, magnésio e sulfato, e em geral, níveis superiores a 100 µmho/cm indicam ambientes impactados (CETESB, 2018).

Como também pode ser observado na Figura 4.5, o rio Maranhão se destaca por apresentar a maior mediana (1,7 mg/L Mn na BP084) e o maior valor máximo (7,3 mg/L Mn na BP080) para manganês total entre as estações no Alto Paraopeba. Destaca-se que todos os afluentes do rio Maranhão monitorados também apresentaram valores acima do limite estabelecido pela legislação para Classe 2 (0,1 mg/L Mn).

Uma vez que no Alto Paraopeba, existem diversos empreendimentos minerários licenciados (SISEMA, 2021), além dos níveis de ferro e manganês serem naturalmente altos no solo da região do Quadrilátero Ferrífero (DA COSTA *et al.*, 2017), os valores encontrados nos pontos de monitoramento do Alto Paraopeba podem ser associados tanto às atividades minerárias como à lixiviação para os corpos d'água. Em relação ao ferro dissolvido (Figura 4.5), o rio Maranhão, em Conselheiro Lafaiete, apresenta mediana (0,5 mg/L Fe) acima do limite estabelecido pela legislação (0,3 mg/L Fe), assim como os rios Brumado, Camapuã e Macaúbas.

No rio Maranhão próximo a sua foz no rio Paraopeba, a jusante do município de Congonhas, também foram identificados valores acima dos limites estabelecidos pela legislação ambiental para os metais tóxicos arsênio total, chumbo total, cromo total, mercúrio total, níquel total, cobre dissolvido e zinco total (Tabela III.2, Tabela III.7, Tabela III.13, Tabela III.24, Tabela III.25, Tabela III.10 e Tabela III.41 – Apêndice III), podendo ser associados às atividades minerárias e da indústria siderúrgica existentes no município.

Assim, entre os afluentes do rio Paraopeba monitorados no Alto Paraopeba o rio Maranhão, apresenta-se com a pior qualidade da água, o que pode ser associada aos lançamentos de esgotos domésticos dos municípios de Congonhas e Conselheiro Lafaiete, além das atividades minerárias e metalúrgicas. Os parâmetros que apresentaram maiores valores e podem ser associados às essas fontes de poluição foram o indicador de contaminação fecal, DBO, nutrientes, ferro dissolvido, manganês total e metais tóxicos. Destaca-se também a degradação da qualidade da água do rio Brumado, podendo ser relacionada ao lançamento dos esgotos domésticos dos municípios de Entre Rios de Minas e Jeceaba.

4.3.1.2 Afluentes do rio Paraopeba localizados na região entre Brumadinho e Betim

No Médio Paraopeba, entre os municípios de Brumadinho e Betim, está situado o local do rompimento da Barragem I de rejeitos de minério de ferro, da mina Córrego do Feijão, da Mineradora Vale S.A e o reservatório do Rio Manso, importante fonte de abastecimento humano da Região Metropolitana de Belo Horizonte, a terceira maior aglomeração urbana do Brasil (IBGE, 2019b). O reservatório do Rio Manso, juntamente com o reservatório Serra Azul e Vargem das Flores e uma captação a fio d´água no rio Paraopeba, que foi suspensa após o rompimento da barragem, compõem o Sistema Paraopeba, responsável pelo abastecimento de aproximadamente 3 milhões de habitantes (COPASA, 2020; IBGE, 2019b).

As atividades que predominam no trecho são os usos minerários, da indústria metalúrgica e química, além de usos agropecuários e da indústria alimentícia. Totalmente inserido no bioma Mata Atlântica, tem como uso e ocupação predominante a pastagem (34%) e a formação florestal (32%) (MAPBIOMAS, 2020a). Os municípios completamente inseridos nesse trecho, que, em conjunto, tem a população de aproximadamente 282 mil habitantes (IBGE, 2019b), são Brumadinho, Crucilândia, Ibirité, Mário Campos, Rio Manso e Sarzedo.

Os afluentes do rio Paraopeba monitorados pelo Igam são o rio Manso (enquadramento: classe 1, das nascentes até o barramento do reservatório Rio Manso e classe 2, do barramento até a confluência com o rio Paraopeba), o ribeirão Sarzedo (enquadramento: classe 2) e o ribeirão Casa Branca (enquadramento: classe 1, até a confluência com o ribeirão Catarina e classe 2, da confluência com o ribeirão Catarina até a foz no rio Paraopeba). Ressalta-se que nenhum desses cursos d´água foi diretamente impactado pelo rompimento da barragem, que afetou principalmente a calha do rio Paraopeba.

Os resultados dos testes de comparações múltiplas para os parâmetros que apresentaram diferenças significativas no teste de Kruskal-Wallis (p-valor<0,05) são apresentados na Tabela III.43 do Apêndice III.

O ribeirão Casa Branca (BP092 e BP093) e seu afluente o ribeirão Catarina (BP094), em Brumadinho, destacam-se por apresentarem melhores condições de qualidade da água, uma vez que apresentam os menores valores dos parâmetros analisados na maior parte do tempo e maiores valores de oxigênio dissolvido.

A área de drenagem do ribeirão Casa Branca abrange áreas das seguintes unidades de conservação: APE Estadual Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Catarina, APA Estadual Sul

RMBH, RPPN Ville Casa Branca e Parque Estadual da Serra do Rola Moça (Figura 3.8). Sendo assim, a boa qualidade das águas desses cursos d´águas pode ser justificada pela proteção que a vegetação natural promove contra a erosão do solo, a sedimentação e a lixiviação excessiva de nutrientes (ARCOVA; CICCO, 1999).

O rio Manso tem a qualidade da sua água monitorada em dois pontos. A montante do Reservatório Rio Manso (BP067), o monitoramento foi implantado no ano de 2020. Os parâmetros ferro dissolvido e o indicador de contaminação fecal tiveram 100% das amostras acima dos limites estabelecidos pela legislação ambiental (0,3 mg/L Fe e 1000 NMP/mL), podendo impactar a qualidade da água do reservatório que tem como principal uso o abastecimento público.

O Reservatório Rio Manso também recebe o rio Veloso, que a jusante do município de Itatiaiuçu (BP066), tem a qualidade da água fortemente influenciada pelos parâmetros indicador de contaminação fecal (90% das amostras apresentaram medições maiores que 1000 NMP/mL), ferro dissolvido (59% das amostras apresentaram concentrações maiores que 0,3 mg/L Fe) e manganês total (41% das amostras apresentaram concentrações maiores que 0,1 mg/L Mn).

A contaminação fecal do rio Veloso pode estar associada ao lançamento sem tratamento dos esgotos sanitários de Itatiaiuçu, bem como às atividades de suinocultura existentes no município (ANA, 2017; SISEMA, 2021). As maiores concentrações de ferro dissolvido e manganês total (Tabela III.18 e Tabela III.23 – Apêndice III) podem ser associadas às atividades minerárias presentes na região, com pilhas de estéril e barragens de contenção de rejeitos da mineração de ferro licenciadas junto ao órgão ambiental (SISEMA, 2021).

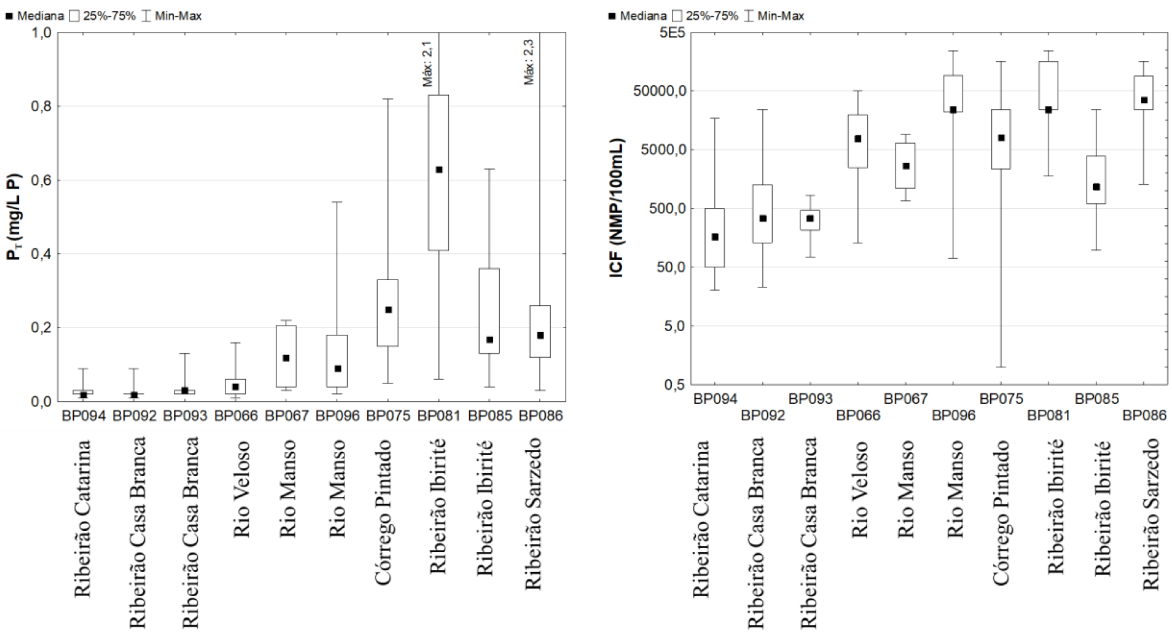
Além disso, os maiores valores de concentrações para os metais arsênio total, cromo total, cobre dissolvido e níquel total (Tabela III.2, Tabela III.13, Tabela III.10 e Tabela III.25 – Apêndice III) ocorreram no rio Veloso. Embora não tão recorrentes, são metais que podem ser tóxicos à saúde humana e merecem atenção já que se trata de um afluente de um reservatório com fins de abastecimento público.

Na Figura 4.6 é possível observar maiores medianas para o ICF no ribeirão Sarzedo, próximo de sua foz no Rio Paraopeba em Mário Campos (BP086), no rio Manso, próximo de sua confluência com o rio Paraopeba em Brumadinho (BP096) e no ribeirão Ibirité, a jusante do município de Ibirité (BP081). Esses valores podem ser associados ao fato desses cursos d´água receberem os esgotos domésticos tratados e não tratados dos municípios de Sarzedo, Mário

Campos, Rio Manso, Brumadinho, Betim e Ibirité (ANA, 2017).

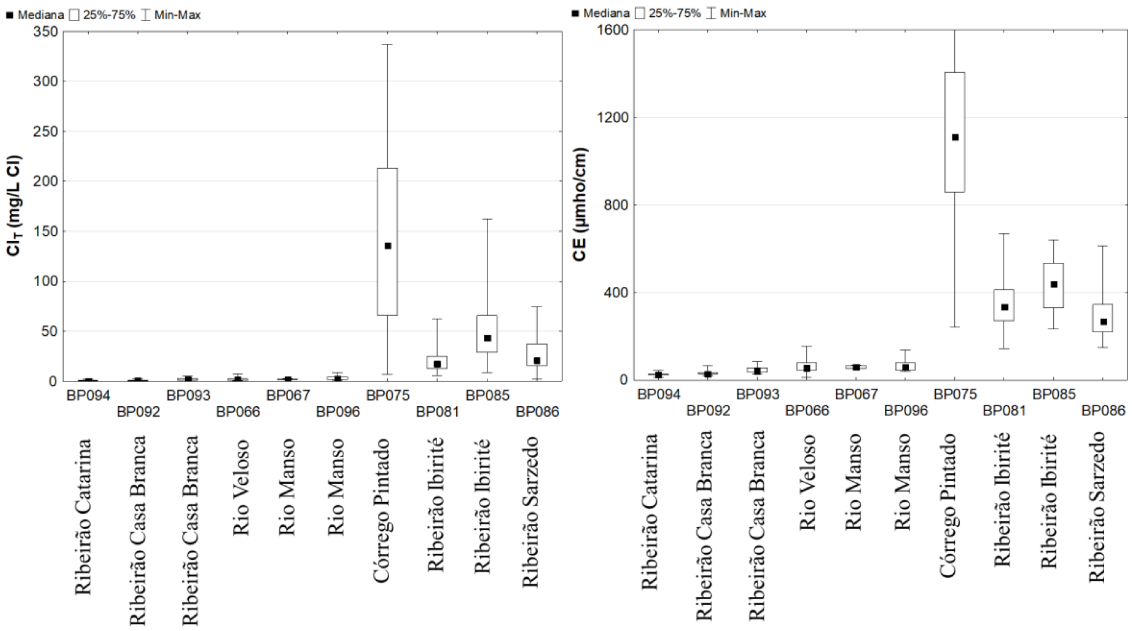
Em relação ao fósforo total (Figura 4.6), se destaca o ribeirão Ibirité com a maior mediana, assim como para DBO e nitrogênio amoniacal total (Tabela III.14 e Tabela III.28 – Apêndice III), indicando o enriquecimento orgânico nesse curso d´água. Essa degradação pode estar associada ao recebimento dos esgotos domésticos sem tratamento de Ibirité e também dos efluentes de uma indústria de abate de bovinos existente no município, uma vez que os efluentes desse tipo de indústria caracterizam-se, principalmente, por alta carga orgânica, alto conteúdo de gordura, flutuações de pH, altos conteúdos de nitrogênio, fósforo e sal e flutuações de temperatura (PACHECO; YAMANAKA, 2006).

Figura 4.6: Variabilidade dos parâmetros **fósforo total (P_T)** e **indicador de contaminação fecal (ICF)** nas estações de qualidade da água dos afluentes do rio Paraopeba entre Brumadinho e Betim de montante para jusante.



Analisando a Figura 4.7 e considerando que a presença de cloreto nas águas superficiais pode estar relacionada às descargas de esgotos sanitários e de efluentes industriais que apresentam concentrações de cloreto elevadas como os da indústria do petróleo, algumas indústrias farmacêuticas, curtumes, etc. e que níveis superiores a 100 µmho/cm de condutividade elétrica indicam ambientes impactados (CETESB, 2018), o córrego Pintado e o ribeirão Ibirité/Sarzedo apresentam a qualidade da água mais prejudicada pelas ações antrópicas da região, também indicado em um estudo anterior (SOARES; PINTO; OLIVEIRA, 2020).

Figura 4.7: Variabilidade dos parâmetros **cloreto total (Cl_T)** e **condutividade elétrica *in loco* (CE)** nas estações de qualidade da água dos afluentes do rio Paraopeba entre Brumadinho e Betim de montante para jusante.



Assim, entre os municípios de Brumadinho e Betim, destaca-se a melhor qualidade da água do ribeirão Casa Branca, podendo ser associada às áreas de proteção existentes no município de Brumadinho. Em contrapartida, o ribeirão Ibirité/Sarzedo e seu afluente córrego Pintado apresentaram águas com pior qualidade de água e a contaminação dos cursos d´água pode ser associada aos lançamentos de esgotos domésticos, sobretudo dos municípios de Betim, Ibirité, Sarzedo e Mário Campos. Além disso, destaca-se as concentrações de metais que podem ser tóxicos à saúde humana encontradas no rio Veloso, afluente do rio Manso, decorrentes das atividades de mineração e da indústria química em Itatiaiuçu.

4.3.1.3 Afluentes do rio Paraopeba localizados na região entre Betim e Esmeraldas

Neste trecho estão situados os reservatórios de Serra Azul e Vargem das Flores, que como abordado anteriormente representam uma importante fonte de abastecimento humano da RMBH. Inserido na transição entre os biomas de Mata Atlântica e Cerrado, tem como uso e ocupação predominante a pastagem (49%) (MAPBIOMAS, 2020a).

Os municípios completamente inseridos nesse trecho que, em conjunto, tem a população de aproximadamente 110 mil habitantes (IBGE, 2019b), são Florestal, Igarapé, Juatuba e Mateus Leme. Além disso, a mancha urbana dos municípios com maior população da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, Betim e Contagem (444.784 e 668.949 habitantes, respectivamente), representa parte deste trecho que tem a maior diversidade de atividades econômicas da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, com destaque para a indústria metalúrgica e química, além de atividades minerárias e agrossilvipastoris (IBGE, 2019b; SISEMA, 2021).

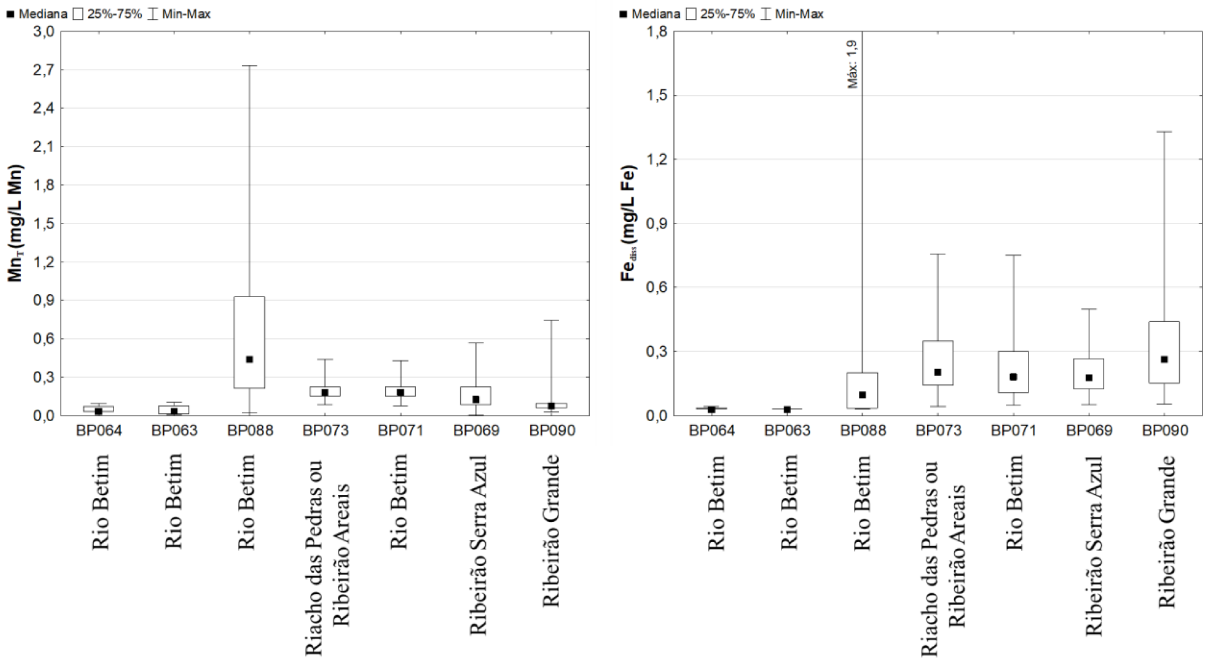
Nesse trecho, os afluentes do rio Paraopeba monitorados pelo Igam são: rio Betim (enquadramento: classe 1, das nascentes até o limite do Parque Municipal de Ingá, classe 2, do limite jusante do Parque Municipal do Ingá até a confluência com o córrego do Baú e classe 3, da confluência com o córrego Baú, até a confluência com o rio Paraopeba), ribeirão Serra Azul (enquadramento: classe 1) e ribeirão Grande (enquadramento: classe 2).

Os resultados dos testes de comparações múltiplas para os parâmetros que apresentaram diferenças significativas no teste de Kruskal-Wallis (p-valor<0,05) são apresentados na Tabela III.44 do Apêndice III.

O rio Betim, a montante (BP064) e a jusante (BP063) do reservatório de Vargem das Flores, entre os munícios de Contagem e Betim, teve o monitoramento iniciado no ano de 2020, e ocorreram medições acima dos valores máximo permitidos pela legislação ambiental para os parâmetros clorofila *a* nos dois pontos (Tabela III.9 – Apêndice III); para fósforo total a montante (Tabela III.20 – Apêndice III); e manganês total e substâncias tensoativas a jusante (Tabela III.23 e Tabela III.37 – Apêndice III). A qualidade da água dos afluentes do reservatório de Vargem das Flores vem sendo degradada em decorrência de mudanças no uso do solo na bacia hidrográfica (SOARES *et al.*, 2021), ao longo dos anos foi identificado o crescimento da Infraestrutura urbana na área de drenagem do rio Betim até o exutório do Reservatório Vargem das Flores (Tabela I.29 – Apêndice I), mesmo estando inteiramente dentro dos limites da APA Estadual de Vargem das Flores.

Como pode ser visto na Figura 4.8, o rio Betim (BP088), no exutório do Reservatório Vargem das Flores, apresentou 90% das amostras medidas acima do valor máximo permitido pela legislação ambiental (0,01 mg/L) para o parâmetro manganês total (Tabela III.23 – Apêndice III), sendo que um valor 27 vezes maior que o limite foi atingido nesse ponto. Para o ferro dissolvido (Tabela III.18 – Apêndice III) o valor máximo medido também ocorreu nesse ponto. Esses parâmetros sofrem influência das condições naturais da bacia, uma vez que o solo da região possui na sua composição química o manganês e o ferro (VIGLIO, 2018), desta forma, o transporte para as águas superficiais pode ter sido potencializado pela ação antrópica.

Figura 4.8: Variabilidade dos parâmetros **manganês total (Mn_T)** e **ferro dissolvido (Fe_{diss})** nas estações de qualidade da água dos afluentes do rio Paraopeba entre Betim e Esmeraldas de montante para jusante.



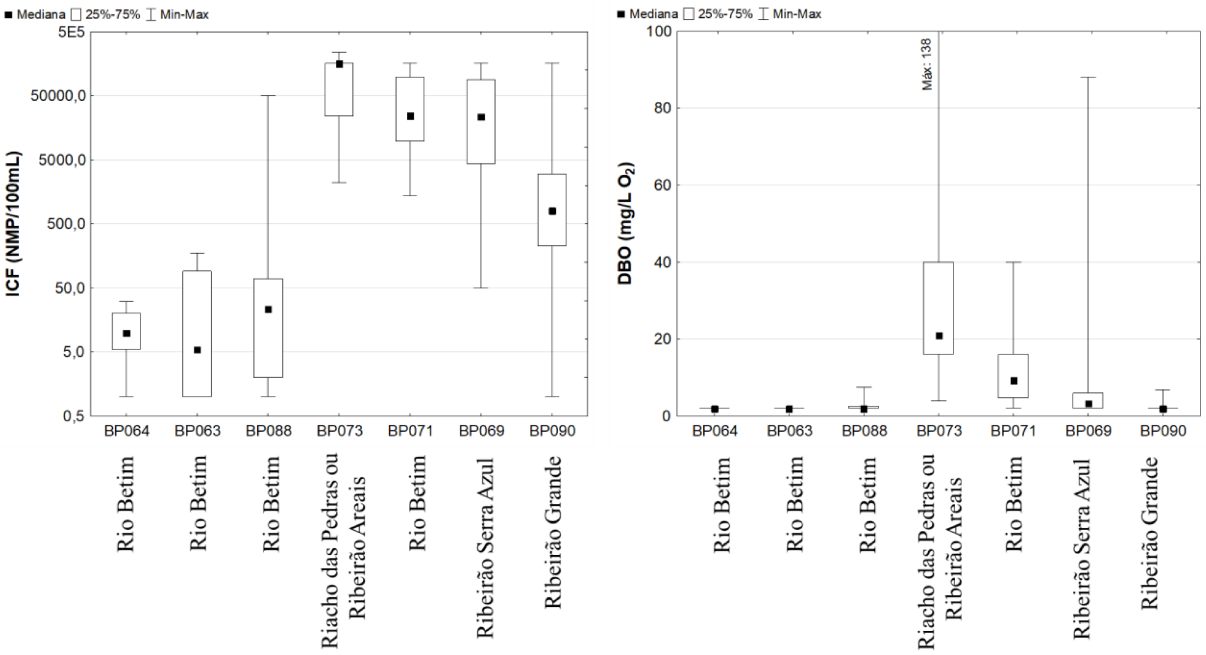
Logo após o exutório do Reservatório Vargem das Flores, o rio Betim recebe o afluente riacho das Pedras ou ribeirão das Areias (BP073), que fica a jusante da sede urbana do município de Betim e apresenta a maior parte do solo (30,1%) ocupado pela Infraestrutura Urbana (Tabela I.21 – Apêndice I), que tem a densidade demográfica de 1.102,80 hab/km² (IBGE, 2019b).

O riacho das Pedras ou ribeirão das Areias se mostrou bastante degradado em relação à maioria dos parâmetros analisados, com destaque para o indicador de contaminação fecal que apresentou todas as amostras acima do limite máximo da legislação ambiental (1000 NMP/mL) e pode ser associado ao lançamento de esgotos domésticos, assim como os parâmetros DBO (98% das amostras acima de 5 mg/L O_2), P_T (100% das amostras acima de 0,1 mg/L P) e N-NH_4^+ (88% das amostras acima de 3,7 mg/L N), que são indicativos de enriquecimento orgânico.

A Figura 4.9 apresenta a variabilidade dos valores medidos para os parâmetros DBO e ICF. Como pode-se observar nesse trecho, destacaram-se o ponto situado no rio Betim (BP071) e o ponto situado no riacho das Pedras ou ribeirão das Areias (BP073), apresentando medianas significativamente superiores que as demais estações para DBO e ICF. O valor da mediana na estação BP073 está muito superior ao limite da legislação para cursos d´água enquadrados na Classe 2 que é de até 5 mg/L O_2. Desta forma, mesmo os municípios de Betim e Contagem apresentando 75 % e 80% de esgoto coletado e com tratamento, respectivamente (ANA, 2017), a qualidade dos cursos d´água próximos podem estar sendo fortemente impactados, seja pela

não universalização do tratamento, seja pelo tratamento insuficiente das ETEs do município.

Figura 4.9: Variabilidade dos parâmetros **indicador de contaminação fecal (ICF)** e **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)** considerando as estações de qualidade da água dos afluentes do rio Paraopeba entre Betim e Esmeraldas de montante para jusante.



As desconformidades para os parâmetros ICF e DBO já são apontadas em outros estudos como indicadores de que o lançamento de esgoto doméstico sem tratamento adequado é a principal fonte de poluição que afeta a qualidade das águas superficiais de bacias localizadas próximas à Região Metropolitana de Belo Horizonte (DA COSTA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2019; PINTO; CALAZANS; OLIVEIRA, 2019; SALIM DANTAS *et al.*, 2020).

Tanto o ribeirão Serra Azul em Juatuba (BP069), a jusante do reservatório de Serra Azul, como o ribeirão Grande, a montante de sua foz no rio Paraopeba em Esmeraldas (BP090), apresentaram concentrações de SDT acima de 500 mg/L (Tabela III.34 – Apêndice III), que é o valor máximo estabelecido pela legislação ambiental para Classe 2. O parâmetro sólidos dissolvidos totais pode ter origem em diferentes fontes de poluição pontual como o lançamento de esgotos domésticos, mas também origem na poluição difusa. Nas áreas de drenagem de ambos os cursos d´água ocorre a predominância de pastagem tornando o solo mais susceptível ao carreamento de sólidos (Tabela I.17 e Tabela I.30 – Apêndice I). Além disso, somente 8,9% dos esgotos domésticos do município de Juatuba são tratados, sendo que o restante é lançado sem tratamento no ribeirão Serra Azul (ANA, 2017).

Assim, verifica-se que o rio Betim próximo de sua foz no rio Paraopeba e seu afluente riacho das Pedras ou ribeirão das Areias apresentaram a qualidade de água mais degradada. Os maiores

valores para a maioria dos parâmetros monitorados foram medidos nesses cursos d´água com destaque para o indicador de contaminação fecal, matéria orgânica e nutrientes. A possível contaminação dos cursos d´água pode ser associada aos lançamentos de esgotos domésticos dos municípios de Betim e Contagem.

4.3.1.4 Afluentes do rio Paraopeba localizados entre Esmeraldas e Pompéu, a montante da UHE Retiro Baixo

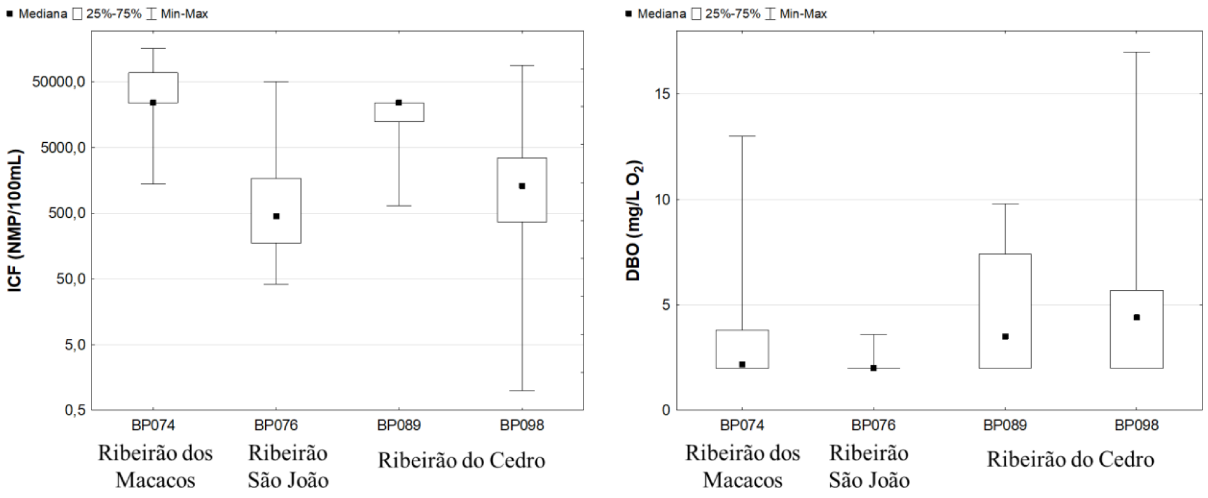
Localizado entre os municípios de Esmeraldas e Pompéu, no Médio e Baixo Paraopeba, a montante da UHE Retiro Baixo, neste trecho os afluentes do rio Paraopeba monitorados pelo Igam são o ribeirão São João (enquadramento: classe 2) e seu afluente ribeirão dos Macacos (enquadramento: classe 1) e o ribeirão do Cedro (enquadramento: classe 2), em dois pontos. Totalmente inserido no bioma Cerrado, tem como uso e ocupação predominante a pastagem (60%) (MAPBIOMAS, 2020a).

Os municípios completamente inseridos nesse trecho são Cachoeira da Prata, Caetanópolis, Fortuna de Minas, Inhaúma e Pequi, em conjunto, possuem a população de aproximadamente 30 mil habitantes (IBGE, 2019b). As principais atividades econômicas nesse trecho ocorrem no município de Sete Lagoas, onde destacam-se indústrias produtoras de cimento e também o coprocessamento de resíduos em forno de clínquer (SISEMA, 2021).

Os resultados dos testes de comparações múltiplas para os parâmetros que apresentaram diferenças significativas no teste de Kruskal-Wallis (p-valor<0,05) são apresentados na Tabela III.45 do Apêndice III.

O ribeirão dos Macacos (BP074), em Cachoeira da Prata, como pode ser visto na Figura 4.10 e Tabela III.21 do Apêndice III, apresentou a maior parte das concentrações para o parâmetro ICF acima do limite estabelecido na legislação para cursos d´água de Classe 2, que é de 1000 NMP/mL, tendo a qualidade da água degradada possivelmente pelo lançamento dos esgotos domésticos sem tratamento dos municípios de Cachoeira da Prata e Fortuna de Minas (ANA, 2017). O estudo desenvolvido por Soares; Pinto; Oliveira (2020), também já havia identificado essa estação como crítica, por estar entre as estações da bacia hidrográfica do rio Paraopeba que apresentaram as maiores medianas para o parâmetro indicador de contaminação fecal ao longo da série histórica de 2008 a 2015.

Figura 4.10: Variabilidade dos parâmetros **indicador de contaminação fecal (ICF) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)** considerando as estações de qualidade da água dos afluentes do rio Paraopeba entre Esmeraldas e Pompéu, a montante da UHE Retiro Baixo de montante para jusante.



O ribeirão do Cedro, entre os municípios de Paraopeba e Caetanópolis (BP089 e BP098), recebe os esgotos domésticos tratados e não tratados desses municípios (ANA, 2017), o que pode estar contribuindo com a degradação da qualidade da água no ribeirão, uma vez que apresentou as maiores medianas para os parâmetros fósforo total (Tabela III.20 – Apêndice III), Demanda Bioquímica de Oxigênio (Figura 4.10 e Tabela III.14 – Apêndice III), nitrato (Tabela III.26 – Apêndice III) e nitrogênio amoniacal total (Tabela III.28 – Apêndice III), que indicam a contaminação por matéria orgânica e nutrientes. Além disso, foram identificadas atividades de abate de animais e agrossilvipastoris na região (SISEMA, 2021).

Na área de drenagem do ribeirão São João, na cidade de Paraopeba (BP076), estão concentrados empreendimentos da indústria metalúrgica, atividades minerárias e de gerenciamento de resíduos desse trecho (SISEMA, 2021) e, portanto, os valores máximos encontrados para os metais Al_{diss} (0,5 mg/L Al), As_T (0,007 mg/L As), Cr_T (0,049 mg/L Cr), Pb_T (0,029 mg/L Pb) e Zn_T (0,352 mg/L Zn), podem ser relacionados a essas atividades, uma vez que esses elementos podem atingir o curso d´água por meio da lixiviação do solo ou dos efluentes industriais (CETESB, 2018). Para os metais tóxicos chumbo total (Tabela III.7 – Apêndice III) e zinco total (Tabela III.41 – Apêndice III) foram identificadas amostras acima do limite máximo permitido pela legislação ambiental, sendo indicado seu controle a fim de evitar danos à saúde humana e para a preservação das comunidades aquáticas.

A qualidade da água do ribeirão dos Macacos apresentou indicativo de contaminação fecal que pode ser associado aos lançamentos de esgotos domésticos dos municípios de Cachoeira da Prata e Fortuna de Minas. Já o ribeirão do Cedro apresentou os maiores valores para parâmetros

indicativos de enriquecimento orgânico (DBO, P_T, N-NO_3^- e N-NH_4^+), sendo impactado pelo lançamento de esgotos domésticos dos municípios de Paraopeba e Caetanópolis, além das atividades de abate de animais e agrossilvipastoris na região. Já o ribeirão São João apresentou indicativos de contaminação por metais tóxicos.

4.3.2 Avaliação da qualidade das águas superficiais na calha do rio Paraopeba

Neste item foi analisada e discutida a qualidade das águas superficiais da calha do rio Paraopeba, de montante para jusante, considerando dados do monitoramento básico e especial. Todo o rio Paraopeba é enquadrado como Classe 2, exceto no ponto de monitoramento a montante da foz do rio Pequeri (Classe 1), em São Brás do Suaçuí, apresentando então limites mais restritivos para os parâmetros de qualidade da água.

Próximo de sua nascente (BP022), em Cristiano Otoni, o rio Paraopeba apresentou 96% das amostras analisadas com valores acima de 1000 NMP/mL para o indicador de contaminação fecal, provavelmente em decorrência do lançamento dos esgotos sanitários sem tratamento do município de Cristiano Otoni que tem uma população de aproximadamente 5 mil habitantes.

Em seguida, no ponto de monitoramento em São Brás do Suaçuí (BP079), onde rio Paraopeba é enquadrado como Classe 1, o rio Paraopeba recebe os esgotos sanitários tratados do município de Queluzito, que opera com um sistema de reatores anaeróbios (ANA, 2017). O parâmetro fósforo total apresentou 8% das amostras acima do limite da legislação ambiental que é 0,1 mg/L P, ao passo que para ICF foram 94% das amostras acima do limite de 200 NMP/mL, indicando a necessidade de aprimoramento do tratamento para garantir a remoção do indicador de contaminação fecal, que pode estar associado a microrganismos prejudiciais à saúde humana. Ressalta-se que mesmo se enquadrado em Classe 2, esse ponto continuaria a apresentar desconformidades para o indicador de contaminação fecal.

A jusante da cidade de Jeceaba, logo após a foz dos rios Maranhão e Camapuã, o rio Paraopeba (BP027) continua a apresentar valores acima dos permitidos pela legislação para o indicador de contaminação fecal, sendo que 96% das amostras se encontravam em desconformidade com o limite estabelecido pela legislação ambiental para Classe 2. Além disso, 94% das amostras também estavam acima do limite da legislação para o parâmetro manganês total. Uma vez que esse local está a jusante das confluências dos rios Maranhão e Camapuã, no Alto Paraopeba, já era esperado que ocorressem desconformidades para os parâmetros que podem ser relacionados aos lançamentos de esgotos domésticos e atividades minerárias.

Após a foz do rio Macaúbas no rio Paraopeba, na localidade de Melo Franco, em Brumadinho (BP036), os parâmetros alumínio dissolvido, cor verdadeira, ferro dissolvido, fósforo total, apresentaram maiores medianas no período após o rompimento (2019-2021) quando comparados os dados do período 2008-2018 e do período 2019-2021 (Tabela III.42 – Apêndice III). Como a estação está situada 10 km a montante do local do rompimento da barragem, essa diferença pode estar associada à presença das atividades minerárias existentes no Alto Paraopeba.

No mês de maio de 2019, ocorreram as maiores medições de alumínio dissolvido no ponto instalado no rio Paraopeba na captação da COPASA em Brumadinho (BPE2), situado a 19,7 km do rompimento da barragem, tendo no período monitorado 77% das amostras apresentado valores acima do limite estabelecido pela legislação ambiental. O valor máximo na calha do rio Paraopeba para arsênio total (0,024 mg/L As) que ocorreu no período chuvoso (janeiro/2020) no mesmo ponto, pode ser consequência da lixiviação do solo, uma vez que o elemento arsênio também pode ser encontrado em grandes quantidade nos solos da região do Quadrilátero Ferrífero (VIGLIO, 2018).

Também no ponto BPE2, 40% das amostras de chumbo total se encontraram em desconformidade com o limite da legislação para o chumbo total, indicando a contaminação do curso d´água após o rompimento. O registro máximo de chumbo total em toda a série de monitoramento analisada foi de 0,147 mg/L Pb e ocorreu no dia 26/01/2019, um dia após o rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão no local denominado Fecho do Funil, entre os municípios de Mário Campos e São Joaquim de Bicas, a jusante da confluência do rio Manso (BP068), localizado a 24,8 km do rompimento.

No mesmo dia e local, ocorreu o valor máximo de 13688 mg/L para o parâmetro sólidos em suspensão totais, assim como o máximo para sólidos totais de 13792 mg/L e turbidez (34500 UNT), indicando o impacto do rompimento da barragem nos primeiros quilômetros a jusante da confluência do ribeirão Ferro-Carvão.

A jusante da foz do rio Betim, na divisa dos municípios de Betim e Juatuba, 59 km após o local do rompimento da barragem (BP072) foram observadas desconformidades com os limites estabelecidos pela legislação ambiental para parâmetros que podem ser associados aos impactos do rompimento da barragem, bem como do recebimento do rio Betim, que apresentou degradação da qualidade da água possivelmente em decorrência do recebimento de esgotos domésticos e efluentes industriais.

De maneira geral, quando comparados os dados do período antes (2008-2018) e depois (2019-2021) do rompimento da barragem foi possível identificar maiores medianas para os parâmetros alumínio dissolvido, bário total, cor verdadeira, ferro dissolvido, manganês total, níquel total, sólidos em suspensão totais, sólidos totais e turbidez no período após o rompimento (Tabela III.42 – Apêndice III), refletindo o impacto causado na qualidade da água.

Apesar do aumento da mediana das concentrações para o bário total, não foram identificadas desconformidades ao limite estabelecido pela legislação ambiental. Em relação ao parâmetro cor verdadeira, altas concentrações podem gerar um efeito repulsivo na população, no entanto, em geral, não causa danos à saúde (CETESB, 2018). A maior mediana para cor verdadeira (73 UPt) foi observada justamente a montante da captação de água de Pará de Minas (BPE3), 112 km do local do rompimento. As desconformidades para cor verdadeira podem estar relacionadas aos rejeitos lançados no rio Paraopeba após o rompimento da barragem I, da Mina do Córrego do Feijão, mas também à presença de sólidos dissolvidos que podem ter origem em diferentes fontes de poluição pontual como o lançamento de esgotos domésticos como de poluição difusa.

Conforme pode ser visto na Figura 4.11, as medianas para o ferro dissolvido estiveram acima do limite legal no período após rompimento (26 de janeiro de 2019 a 15 de abril de 2021), refletindo também em desconformidades aos limites máximos estabelecidos pela legislação ambiental ao longo do rio Paraopeba (0,3 mg/L Fe para Classe 2).

A partir da divisa dos municípios de Betim e Juatuba (BP072), a 59 km do local do rompimento da barragem, observa-se uma redução dos valores de ferro total, conforme pode ser visto na Figura 4.12. Esse comportamento diferente do ferro dissolvido, que não apresentou diferenças significativas entre os pontos, pode ocorrer devido à sedimentação do ferro adsorto a partículas sólidas, que avança em velocidade muito inferior à de matéria dissolvida, esta que se dissemina na mesma velocidade da água (IGAM, 2020a).

Figura 4.11: Variabilidade do parâmetro **ferro dissolvido (Fe_{diss})** considerando as estações de qualidade da água da calha do rio Paraopeba que possuem monitoramento no período antes (2008-2018) e após (2019- 2021) o rompimento da Barragem I de montante para jusante.

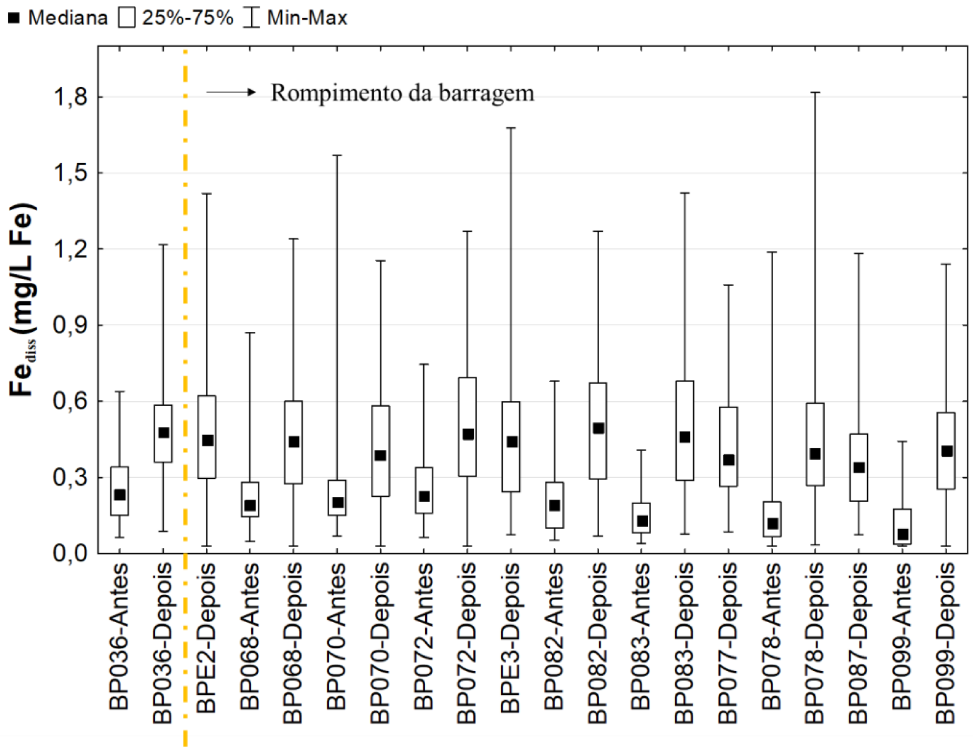
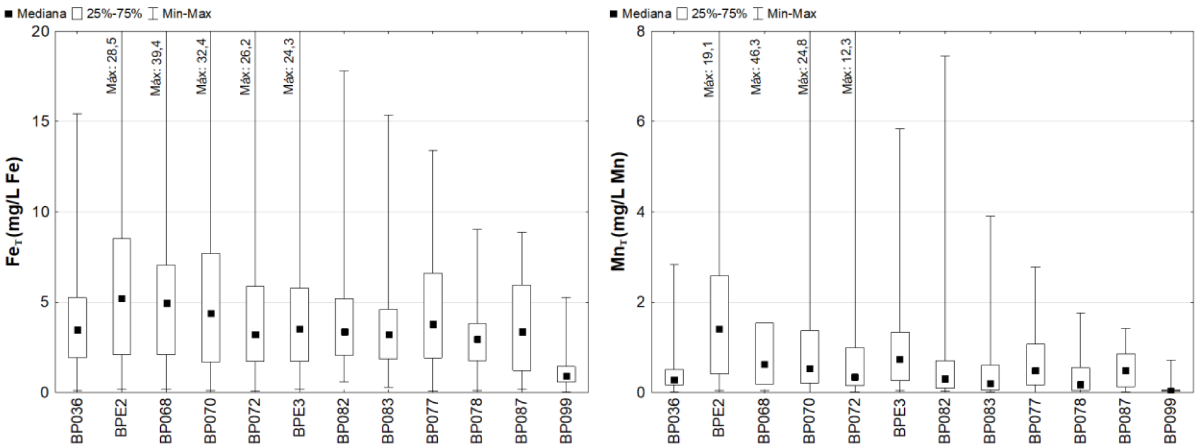


Figura 4.12: Variabilidade dos parâmetros **ferro total (Fe_T)** e **manganês total (MnT)** considerando as estações de qualidade da água da calha do rio Paraopeba no período de 2019 a 2021 de montante para jusante.



O parâmetro manganês total (Mn_T) violou o limite da legislação (0,1 mg/L Mn) em todas as estações da calha do rio Paraopeba após o rompimento da barragem, e atingiu valores máximos nas mesmas estações que o ferro total, seguindo o mesmo comportamento de redução da concentração ao longo do rio Paraopeba (Figura 4.12).

Mais a jusante o rio Paraopeba, na localidade de São José, em Esmeraldas (BP082), 123 km do local do rompimento, verificou-se o aumento da mediana das concentrações para o arsênio total,

no entanto não foram identificadas desconformidades ao limite máximo estabelecido pela legislação ambiental.

A qualidade da água do rio Paraopeba logo após a foz do ribeirão São João no município de Paraopeba (BP083), a 192 km do local do rompimento da barragem, foram identificados valores acima do limite máximo estabelecido na legislação ambiental para Cu_{diss} e Hg_T após o rompimento da barragem, sendo que no período anterior não haviam ocorrido. Além disso, uma concentração de alumínio dissolvido 20 vezes maior ao limite estabelecido na legislação foi medida em janeiro de 2021, podendo estar associado com o período de chuvas e ser consequência da lixiviação dos solos.

No ponto de monitoramento na captação da COPASA, entre os municípios de Paraopeba e Papagaios (BP077), 203 km do rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão e no ponto localizado a jusante da foz do rio Pardo em Pompéu (BP078), a 250 km do local do rompimento, o rio Paraopeba continuou a apresentar medianas significativamente superiores para o período depois do rompimento para alumínio dissolvido, arsênio total, cor verdadeira, ferro dissolvido, manganês total e turbidez, indicando a movimentação da pluma de rejeitos ao longo do curso d´água.

A montante da UHE Retiro baixo (BP087), entre os municípios de Curvelo e Pompéu, a 279km de distância do local do rompimento, foram verificados valores acima dos limites estabelecidos pela legislação ambiental em 75% das amostras de Al_{diss}, 25% das amostras de Pb_T, 39% das amostras de cor, 59% das amostras de Fe_{diss}, 47% das amostras de P_T, 24% das amostras de ICF, 78% das amostras de Mn_T, 55% das amostras de SST e 85% das amostras de Turb. Esses parâmetros podem sugerir a contaminação da água em consequência do rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão, mas também do lançamento de esgotos domésticos e das atividades minerárias na área da bacia.

A jusante da UHE Retiro Baixo (BP099), a 320 km de distância do local do rompimento, o rio Paraopeba apresentou medianas significativamente maiores para os parâmetros alumínio dissolvido, arsênio total, cor verdadeira e ferro dissolvido para o período depois do rompimento.

As maiores medições do parâmetro alumínio dissolvido ocorreram no mês de maio de 2019, tanto nas estações próximas ao rompimento (BPE2 e BP072) como na mais a jusante (BP099), ou seja, quatro meses após o rompimento o rio Paraopeba ainda apresentava consequências na qualidade da água. Os locais amostrados em maio de 2019 por Thompson *et al.* (2020),

formaram um grupo fortemente separado na análise de componentes principais, sugerindo a migração do rejeito de minério pelo rio ao longo do tempo.

No período de maio a outubro de 2020 (período seco), observou-se a redução dos valores de turbidez nas estações analisadas, devido à diminuição do escoamento superficial e da vazão do rio. Em contrapartida, um grande volume de chuvas na região pode refletir em impactos na qualidade da água, uma vez que o material extravasado proveniente da barragem e a remobilização dos sedimentos do rio Paraopeba podem apresentar desconformidades aos limites estabelecidos pela legislação, evidenciando a importância da implementação de frentes de contenção, remoção e destinação do rejeito, e dragagem da área mais impactada do rio Paraopeba.

Com base nos dados do Monitoramento Especial do rio Paraopeba realizado pelo Igam após o rompimento da barragem, no período de janeiro de 2019 a abril de 2021, é possível afirmar que o rompimento da barragem causou impactos na qualidade hídrica em diferentes graus de intensidade. Os principais parâmetros que confirmam a mudança da qualidade da água foram alumínio dissolvido, chumbo total, cor verdadeira, ferro dissolvido, ferro total, manganês total, sólidos em suspensão totais e turbidez. Resultados semelhantes também foram reportados por Thompson *et al.* (2020) e Dos Santos Vergilio *et al.* (2020).

Avaliação da qualidade das águas superficiais da calha do rio Paraopeba utilizando a análise de agrupamento

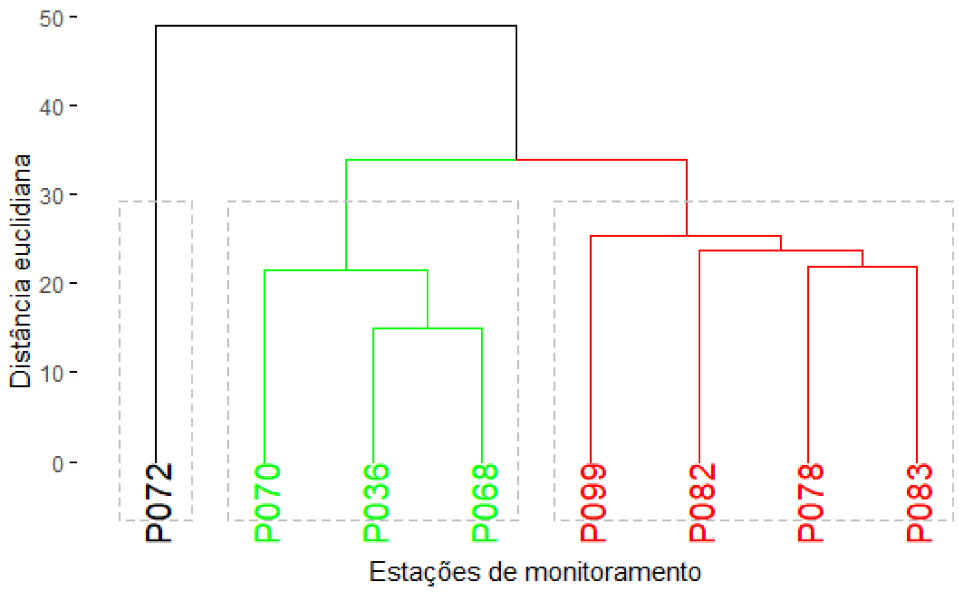
A fim de avaliar como os pontos de monitoramento se agruparam no período antes (2008 a 2018) e após o rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão (2019 a 2021), foi realizada a Análise de Agrupamento (AA) no software R (pacote *factoextra*). Foi utilizado o método de Ward, que obteve como o coeficiente de correlação cofenética de r=0,92 (antes do rompimento) e r=0,91 (depois do rompimento). O pacote *NbClust*, que fornece 30 índices, foi utilizado para determinar o número de clusters (CHARRAD *et al*., 2014). Dessa forma, foram definidos 3 como o número ideal de clusters para o período antes do rompimento e 4 para o período pós rompimento.

O dendrograma formado pela análise é apresentado na Figura 4.13 (a) se refere ao período antes do rompimento e o dendograma mostrado na Figura 4.13 (b) se refere ao período após rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão. Os resultados indicam que no período antes do rompimento, os pontos de monitoramento localizados a jusante do município de

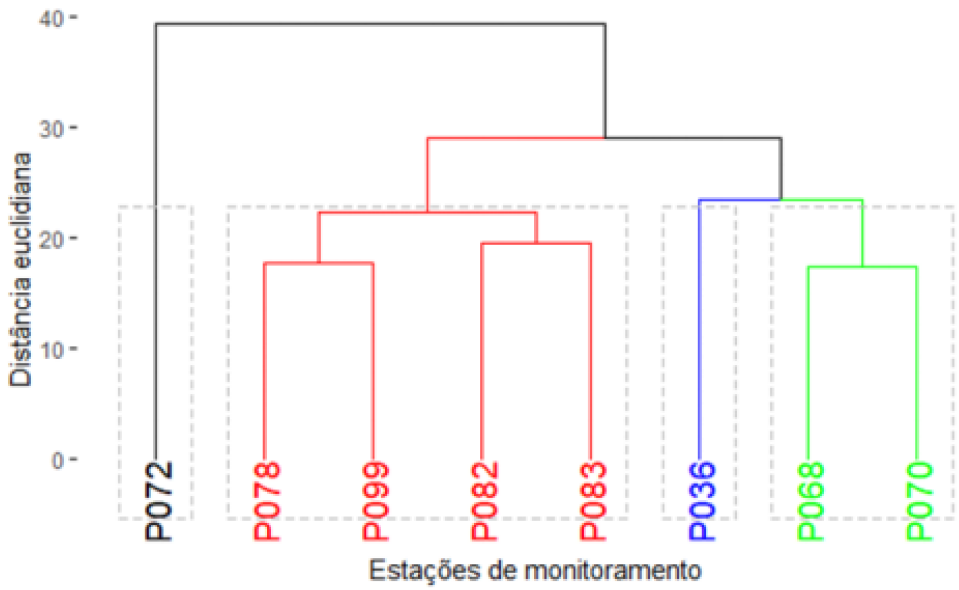
Esmeraldas no Médio e Baixo Paraopeba (BP082, BP083, BP078 e BP099) se aglomeraram, assim como as estações entre Brumadinho e Betim (BP036, BP068 e BP070). A estação de monitoramento BP072, localizada no município de Betim, ficou isolada no dendograma, sugerindo que a qualidade das águas nesse ponto apresenta grande dissimilaridade das demais.

Figura 4.13: Dendogramas da Análise de Agrupamento referentes ao período antes do rompimento (a) e após rompimento (b) da Barragem I, da mina Córrego do Feijão – 8 pontos de monitoramento e 40 parâmetros.

(a)



(b)



Após a aplicação do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (resultados apresentados na Tabela III.46 e Tabela III.47 – Apêndice III) por grupo formado na análise de arupamento,

foram identificadas medianas significativamente superiores para os parâmetros DBO, P_T, NNO_2^- e NNH_4^+ na estação de monitoramento BP072 quando comparada aos grupos formados pelas demais estações. Isso pode ser relacionado ao enriquecimento orgânico do corpo d´água associado aos lançamentos de esgotos domésticos, uma vez que esse ponto está localizado a jusante da foz do rio Betim, que também apresentou a qualidade da água degradada.

Quanto ao período após o rompimento, foi mantido o agrupamento dos pontos de monitoramento localizados a jusante do município de Esmeraldas no Médio Paraopeba (BP082, BP083, BP078 e BP099) e o isolamento da estação BP072. No entanto, as estações entre Brumadinho e Betim (BP036, BP068 e BP070) se separaram, fazendo com que a estação BP036 também ficasse isolada no dendrograma. A estação de monitoramento BP036 se localiza a montante do local do rompimento da barragem, e, portanto, não foi impactada pelos rejeitos que atingiram o rio Paraopeba.

Quando comparadas as estações BP036 e BP072 com os grupos de estações agrupadas tem-se que as medianas dos parâmetros alumínio dissolvido, chumbo total, níquel total, sólidos totais e turbidez apresentaram diferenças significativas que não existiam antes do rompimento da barragem de rejeitos e que, portanto, podem ser relacionados aos impactos gerados pelo desastre.

4.3.3 Avaliação da qualidade das águas do ribeirão dos Gomes e da represa de Três Marias

Localizado no Baixo Paraopeba, a jusante da UHE Retiro Baixo, este trecho compreende o afluente do rio Paraopeba, ribeirão dos Gomes, em Felixlândia e a represa de Três Marias, que não está mais nos limites da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, abrangendo parte dos municípios de Felixlândia, Morada Nova de Minas e Três Marias.

O ribeirão dos Gomes, no município de Felixlândia, situado a 318,3 km de distância do rompimento da barragem, não foi diretamente afetado pelo rompimento da barragem de rejeitos, no entanto, é importante monitorar o curso d´água uma vez que pode afetar a qualidade do rio Paraopeba a jusante de Retiro Baixo (BP099, a 320 km).

De todas as amostras analisadas para o ribeirão dos Gomes, 76% apresentaram valores em desconformidade com a legislação ambiental para o parâmetro alumínio dissolvido, 86% para o ferro dissolvido, 30% para cor verdadeira, 26% para manganês total e 19% para turbidez. As desconformidades encontradas para esses parâmetros podem ser relacionadas ao escoamento

superficial intensificado pela redução da vegetação, já que o uso e ocupação do solo predominante na região é a pastagem (MAPBIOMAS, 2020a).

Nas estações BPE6, BPE7 e BPE8, localizadas na represa de Três Marias, as amostras foram coletadas na superfície e mesmo não sendo esperadas alterações por causa do rompimento, os parâmetros alumínio dissolvido, chumbo total (BPE8), cor verdadeira (BPE6), manganês total (BPE8) e oxigênio dissolvido apresentaram valores em desconformidade com os limites da legislação ambiental (Tabela III.1, Tabela III.7, Tabela III.12, Tabela III.23 e Tabela III.30 - Apêndice III).

As medições acima dos valores máximos permitidos pela legislação ambiental na chegada do rio Paraopeba ao reservatório de Três Marias (BPE6) podem estar associadas ao fato desse local receber diretamente a contribuição toda a carga de sólidos dissolvidos da bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

4.4 Conclusões

A contaminação da bacia hidrográfica do rio Paraopeba se deve a uma série de fatores, incluindo processos naturais e atividades antrópicas, como a alta suscetibilidade da bacia à erosão; contaminação por metais pesados, que estão associados às atividades econômicas e aos solos da região; e lançamento de esgotos domésticos não tratados ou insuficientemente tratados nos corpos d'água da bacia. As desconformidades em relação aos limites estabelecidos pela legislação ambiental para os parâmetros indicador de contaminação fecal e fósforo total revelam condições sanitárias inadequadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, enquanto as concentrações encontradas para os parâmetros manganês total e ferro dissolvido são potencializados pelas atividades econômicas da bacia.

O rompimento da Barragem I – Mina do Córrego do Feijão, da mineradora Vale, alterou a qualidade da água da calha do rio Paraopeba a partir da confluência com o ribeirão Ferro Carvão, em Brumadinho, resultado evidenciado pela análise exploratória dos dados antes e após o rompimento. Os parâmetros que confirmam essa mudança da qualidade da água foram alumínio dissolvido, chumbo total, cor verdadeira, ferro dissolvido, ferro total, manganês total, sólidos em suspensão totais e turbidez.

Os parâmetros alumínio dissolvido, cor verdadeira e ferro dissolvido apresentaram um padrão similar de comportamento ao longo do rio Paraopeba, com valores elevados ao longo de todo o curso, enquanto os parâmetros manganês total, sólidos em suspensão totais, sólidos totais e

turbidez apresentaram maior variação dos valores medidos nos pontos de monitoramento mais próximos ao local do rompimento da barragem (até 42 km) com diminuição gradativa ao longo do percurso do rio. Ressalta-se que foram identificadas medições acima dos valores máximos permitidos pela legislação ambiental na chegada do rio Paraopeba ao reservatório de Três Marias que podem estar associadas ao fato desse local receber diretamente a contribuição toda a carga de sólidos dissolvidos da bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Além dos impactos causados na calha do rio Paraopeba pelo rompimento, também se destacam os impactos gerados pelo lançamento de esgotos domésticos não tratados ou insuficientemente tratados dos municípios de Congonhas, Conselheiro Lafaiete, Entre Rios de Minas, Jeceaba, Queluzito, Betim, Juatuba, Ibirité, Itatiaiuçu e Rio Manso. Os afluentes da margem direita do Paraopeba, rio Maranhão em Congonhas e riacho das Pedras e rio Betim, em Betim, apresentaram a maior degradação da qualidade da água, podendo ser relacionado à proximidade da RMBH.

Também foi observado que para alguns parâmetros de qualidade da água houve pouca ou nenhuma desconformidade aos limites estabelecidos pela legislação ambiental, isso pode ter acontecido em função de uma frequência de monitoramento insuficiente para possibilitar a identificação de cargas de poluição que variam ao longo do ano. Desta forma, conclui-se que a qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Paraopeba é fortemente alterada pelo lançamento de esgotos domésticos, efluentes industriais, atividades de mineração, áreas de agricultura e pastagens. No entanto, a contaminação por esgoto doméstico foi fortemente evidenciada pelas análises, por isso, são recomendadas ações mais efetivas em saneamento básico e melhoria na eficiência do tratamento dos efluentes domésticos e industriais.

CAPÍTULO 5: IMPACTO DO USO E COBERTURA DO SOLO NA QUALIDADE DA ÁGUA DAS SUB-BACIAS DOS RESERVATÓRIOS DO SISTEMA PARAOPEBA

5.1 Introdução

Para atender à crescente demanda da sociedade por recursos hídricos, comida e combustível, o uso e a cobertura do solo vêm sendo significativamente alterados devido ao rápido desenvolvimento das economias e sociedades (WANG *et al.*, 2016a; WARBURTON; SCHULZE; JEWITT, 2012). Desta forma, a manutenção da qualidade da água é um desafio, principalmente, devido ao impacto das mudanças climáticas e das atividades humanas (KÄNDLER *et al.*, 2017; MENESES *et al.*, 2015; SHI *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2016a). Portanto, são necessárias ações que visem garantir a segurança hídrica dos corpos d´água.

A segurança hídrica é definida como a condição que visa garantir quantidade e qualidade aceitável de água para abastecimento, alimentação, preservação de ecossistemas e demais usos, associados a um nível aceitável de riscos relacionados com a água para as pessoas, economias e meio ambiente (ANA, 2015).

Além dos cursos de água, os lagos também representam uma importante fonte de água para as regiões onde estão inseridos, podendo ser utilizados para abastecimento público, irrigação, geração de energia, regulação de vazão em períodos de chuva, dessedentação animal, pesca, navegação, lazer, dentre outros (ATIQUE; AN, 2019; PALMA *et al.*, 2010). A possibilidade de aproveitamento desses sistemas para múltiplos usos e a necessidade crescente de recursos hídricos abundantes próximos aos grandes centros urbanos têm incentivado a criação de lagos artificiais, também chamados de reservatórios.

Para possibilitar um melhor conhecimento da situação da qualidade das águas e as principais alterações ocorridas ao longo do tempo é de extrema importância o monitoramento da qualidade das águas (SANDERS *et al.*, 1983). Para facilitar a interpretação de dados, a aplicação de diferentes técnicas estatísticas é recomendada, permitindo uma melhor compreensão das variações temporais e espaciais da qualidade da água e a identificação de possíveis fatores que influenciam os corpos d´água, de modo a contribuir para a gestão dos recursos hídricos (ALBERTO *et al.*, 2001; SIMEONOV *et al.*, 2003).

As análises exploratórias multivariadas são uma ferramenta importante, que auxiliam na caracterização e avaliação da qualidade da água de rios e lagos (CHRISTOFARO *et al.*, 2017). Diferentes técnicas estatísticas podem ser aplicadas com o objetivo de facilitar a interpretação de matrizes de dados complexos e permitir a identificação dos possíveis fatores que influenciam

os sistemas de água, além de facilitar o gerenciamento dos ambientes aquáticos.

A aplicação de testes não paramétricos podem auxiliar na avaliação de diferenças físicas e químicas em corpos d'água entre os locais de amostragem (BEZERRA *et al.*, 2014; SOARES *et al.*, 2021; SOARES; PINTO; OLIVEIRA, 2020). Quando aplicada a dados de monitoramento de qualidade das águas, a Análise de Agrupamento (AA) permite agrupar as estações de monitoramento por similaridade da qualidade da água (PINTO; CALAZANS; OLIVEIRA, 2019; SINGH; MALIK; SINHA, 2005; WU *et al.*, 2016), verificar o efeito da sazonalidade sobre a qualidade das águas estudadas (ZHOU; LIU; GUO, 2007), além de permitir o agrupamento dos parâmetros de qualidade da água, onde cada grupo formado é associado a uma fonte de poluição (BU *et al.*, 2010; GU *et al.*, 2016).

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica que fornece informações sobre os parâmetros mais significativos dentro de um conjunto de dados e resume a correlação estatística entre os componentes nas amostras de qualidade da água (AKIN *et al.*, 2011; SIMEONOV *et al.*, 2003). Sheela *et al.* (2012) utilizaram a AA e ACP para a análise de dados de qualidade do Lago Akkulam-Veli em Kerala, Índia, e identificaram quais os fatores afetam o sistema lacustre como um todo. Zhao *et al.* (2012) avaliaram dados de qualidade da água e as fontes de poluição do lago Baiyangdian (China) utilizando ACP e AA na tentativa de discriminar as fontes de variação medidas nas amostras. A ACP foi usada para identificar um número reduzido de cinco componentes principais e a AA classificou estações semelhantes de qualidade da água em 5 *clusters* com base nas pontuações do ACP.

Estudos também demostram a importância de uma abordagem conjunta entre técnicas estatísticas e a avaliação do uso e cobertura do solo, uma vez que pôde-se observar uma correlação positiva entre o uso do solo e a degradação da qualidade da água (DING *et al.*, 2016; LIN; ANAR; ZHENG, 2015; PRATT; CHANG, 2012; TU; XIA, 2008; VREBOS; BEAUCHARD; MEIRE, 2017; YU *et al.*, 2015), demonstrando a importância do gerenciamento do uso e cobertura do solo na qualidade da água (CAREY *et al.*, 2011; URIARTE *et al.*, 2011; WILSON; WENG, 2011), tendo como importantes fatores a serem considerados o uso urbano, a cobertura agrícola e as pastagens.

Nesse contexto, torna-se fundamental a elaboração de estudos que permitam extrair informações dos bancos de dados de monitoramento de qualidade de água e que possam ser relacionados com os dados de uso e cobertura do solo. A presente pesquisa, utilizou os dados

de monitoramento de qualidade de água de três reservatórios que foram construídos na bacia hidrográfica do rio Paraopeba nas últimas décadas, Vargem das Flores em 1972, Serra Azul em 1981 e Rio Manso em 1991, formando o Sistema Paraopeba, que é responsável pelo abastecimento de 47% da Região Metropolitana de Belo Horizonte (COPASA, 2020).

O reservatório de Vargem das Flores é um ecossistema sob contínua interferência antrópica (SANTOS, 2012). Estudos afirmam que o mesmo está sujeito a problemas de poluição, mais especificamente relacionadas à eutrofização, com a floração de cianobactérias que pode prejudicar gravemente a qualidade da água (GOMES *et al.*, 2012; LOPES *et al.*, 2017; VON SPERLING; FERREIRA; GOMES, 2008).

Em relação ao reservatório de Serra Azul, o estudo desenvolvido por Fernandes (2012), diagnosticou alguns focos de início do processo de eutrofização no braço do reservatório onde entra o principal tributário. O aumento no grau de trofia foi atribuído tanto ao aporte externo, quanto a própria conformação do reservatório, já que em águas rasas o ambiente torna-se mais produtivo.

Estudos nos reservatórios de Serra Azul e Vargem das Flores já relataram a diminuição da qualidade da água em decorrência da redução da cobertura da vegetação terrestre e a complexidade de habitats físicos na região litorânea dos reservatórios (LIMA, 2018; MOLOZZI *et al.*, 2011).

Os principais usos da água na bacia de contribuição do reservatório do rio Manso identificados por Salis *et al.* (2017) foram: irrigação, consumo humano, dessedentação de animais, aquicultura, mineração e lavagem de veículos. Mesmo que somente 1% da área de contribuição do reservatório de Rio Manso seja constituída pela classe Infraestrutura Urbana (RAMOS *et al.*, 2020), atenção deve ser dada aos possíveis impactos provenientes da atividade agrícola, como o carreamento de materiais particulados, assoreamento e contaminação dos cursos d'água (SALIS *et al.*, 2017).

Em uma avaliação dos reservatórios do Sistema Paraopeba realizada por Melo *et al.* (2017), destaca-se que o Sistema Rio Manso apresentou menor percentual de fragmentos florestais em sua área de contribuição e a maior demanda pelo uso da água a montante, o reservatório de Vargem das Flores apresentou o maior percentual de violações dos parâmetros da qualidade da água e o reservatório de Serra Azul foi o mais comprometido no período de escassez hídrica

observado nos anos 2013 a 2015.

Tendo em vista as fragilidades identificadas e a importância desses corpos d'água para o abastecimento humano da RMBH, é essencial o aprofundamento da avaliação da qualidade da água dos reservatórios Rio Manso, Vargem das Flores e Serra Azul e seus afluentes para contribuir com a identificação das fontes de poluição e informar aos gestores de recursos hídricos e formuladores de políticas públicas as ações mais urgentes e prioritárias. Desta forma, o presente estudo procurou caracterizar as tendências espaciais dos parâmetros de qualidade de água monitorados nas sub-bacias dos reservatórios Rio Manso, Vargem das Flores e Serra Azul e identificar as fontes de poluição nos reservatórios Rio Manso, Vargem das Flores e Serra Azul, relacionando as variáveis de qualidade de água com o uso e cobertura do solo nas sub-bacias de cada reservatório.

5.2 Metodologia

5.2.1 Área de estudo

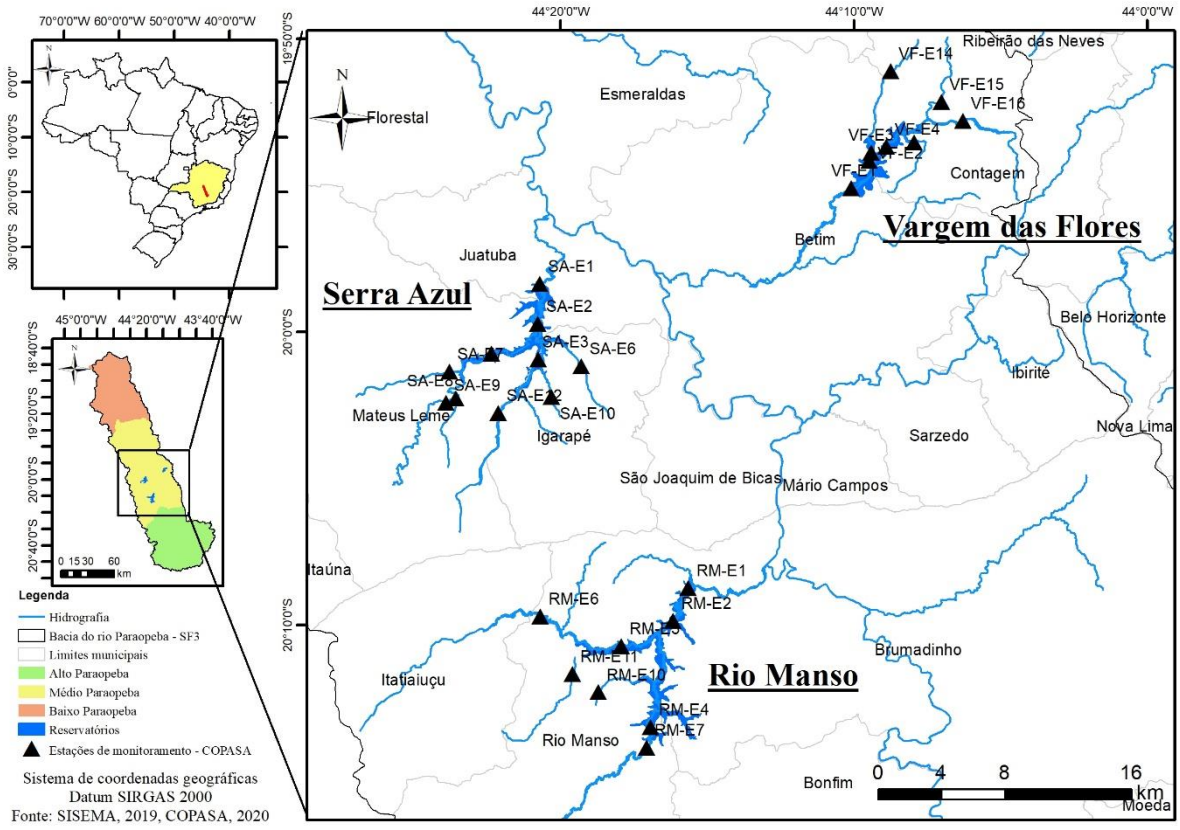
A bacia hidrográfica do rio Paraopeba situa-se na região central do estado de Minas Gerais, na bacia do rio São Francisco, e abrange uma área de 12.054 km², equivalente a 2,5% da área total de Minas Gerais (IGAM, 2013). Os reservatórios de Serra Azul, Rio Manso e Vargem das Flores estão localizados na região denominada Médio Paraopeba (COBRAPE, 2018). A Figura 5.1 apresenta a localização geográfica dos reservatórios de Serra Azul (à esquerda), Rio Manso (ao centro) e Vargem das Flores.

O enquadramento das águas da bacia hidrográfica do rio Paraopeba classifica os reservatórios e os principais cursos d´água que os abastecem (ribeirão Serra Azul, ribeirão Água Suja e rio Manso) como Classe 1. Essa classificação pressupõe um modelo de ocupação de baixo impacto e restrição de usos de forma a garantir a qualidade das águas. Dos corpos d´água analisados nesse trabalho, somente o rio Veloso, afluente do reservatório do Rio Manso, é enquadrado como Classe 2 (MINAS GERAIS, 1995).

A sub-bacia do Serra Azul está localizada na porção oeste da RMBH, abrangendo parcialmente os municípios de Mateus Leme (50% da área do município), Igarapé (64% da área do município) e Juatuba (5% da área do município). A região da bacia hidrográfica contribuinte ao reservatório de Serra Azul é de aproximadamente 263 km², sendo que o reservatório ocupa uma área de 8,9 km^2, com produção máxima de água de 2,7 m^3/s e média de 2,2 m^3/s (ARSAE,

2013; UFMG, 2014).

Figura 5.1: Localização geográfica do Reservatório de Serra Azul (à esquerda), Reservatório do Rio Manso (ao centro) e Reservatório de Vargem das Flores (à direita) e das estações de monitoramento da qualidade da água.



O reservatório está inserido na Área de Proteção Especial (APE) Serra Azul, criada pelo Decreto nº 20.792, de 08 de julho de 1980, abrangendo 25.600ha, sendo 3.200ha de responsabilidade da COPASA, que adquiriu a área para proteger o reservatório e seu entorno, a fim de evitar o desenvolvimento da ocupação ilegal e atividades de lazer ao longo da orla do reservatório (FERNANDES, 2012; NASCIMENTO *et al.*, 2019). A presença dessa área de preservação no entorno do reservatório Serra Azul, atuando como mata ciliar, é de grande importância, uma vez que ela atua como barreira física, regulando os processos de trocas entre os ecossistemas terrestres e aquáticos, desenvolvendo condições favoráveis à infiltração e reduzindo a possibilidade de contaminação do reservatório pelo carreamento de sedimentos, nutrientes e defensivos agrícolas por meio do escoamento superficial da água.

Aproximadamente 87% da área da sub-bacia foi classificada como uma zona de interesse metropolitano dentro do Plano Metropolitano - Macrozoneamento da RMBH (UFMG, 2014), tendo sido esse enquadramento justificado devido às pressões em termos de uso e cobertura do

solo e sua importância prioritária para fins de abastecimento de água para a RMBH.

A sub-bacia de Vargem das Flores se insere na porção centro-oeste da RMBH em área de manancial e proteção ambiental de alcance metropolitano de 121 km^2 (GOMES *et al.*, 2012). O reservatório de Vargem das Flores está localizado entre os municípios de Betim e Contagem com 13% e 87% de sua área inseridos em cada um deles, respectivamente. O reservatório ocupa uma área de 5,1 km^2, com produção máxima de 1,45 m^3/s e média de 0,95 m^3/s (ARSAE, 2013; GOMES *et al.*, 2012).

A área da APE Vargem das Flores, criada pelo Decreto 20.793, de 08/09/1980, coincide com a área da Área de Proteção Ambiental (APA) Vargem das Flores, unidade de conservação criada pela Lei nº 16.197 de 26 de junho de 2006 (JUNIOR; COTA; LEMOS, 2016). A área abrangida pela APA/APE é de uma superfície total de 12.263 ha. Os objetivos são favorecer a manutenção da diversidade biológica, proteger e conservar os corpos d'água, especialmente o reservatório formado pela barragem de Vargem das Flores e os córregos e áreas de drenagem que para ele afluem, como forma de garantir a qualidade dos recursos hídricos existentes na APA para o abastecimento público de água da RMBH. Da mesma forma, a APA/APE vem contribuir para a ordenação do uso e da ocupação do solo, considerando a necessidade de preservação do ambiente e recuperação de áreas degradadas (MINAS GERAIS, 2006).

O reservatório de Vargem das Flores destina-se a múltiplos usos (RAMOS *et al.*, 2020; SOARES *et al.*, 2021), os principais conflitos ambientais estão relacionados ao turismo, ao desrespeito aos limites das áreas de preservação permanente, incluindo os limites do corpo d'água, à ocupação de áreas de risco de inundação e ao processo de contaminação da água por diferentes fontes de poluentes (lançamento de esgotos *in natura* nos cursos d'água, processos erosivos, poluição difusa proveniente de áreas urbanizadas). Sua área está totalmente inserida na RMBH.

A sub-bacia do rio Manso se insere na porção oeste da RMBH, ultrapassando os limites da região metropolitana. Possui área de drenagem de 660 km^2, abrangendo cinco municípios: Bonfim, Brumadinho, Crucilândia, Itatiaiuçu e Rio Manso. O reservatório do Rio Manso é formado principalmente pelo Córrego Veloso e Rio Manso e possui um espelho d'água de 19,4 km^2, com produção máxima de 10,32 m^3/s e média de 4,125 m^3/s (ARSAE, 2013).

A APE Rio Manso foi criada pelo decreto 27.928, de 15/03/1988 (MINAS GERAIS, 1988), abrangendo os municípios de Rio Manso, Crucilândia, Brumadinho, Bonfim e Itatiaiuçu, para fins de preservação de mananciais. A APE Rio Manso compreende uma área de 67.000 ha, sendo a COPASA responsável pela área de 9.000 ha correspondente ao reservatório e seu entorno.

Dentro da sub-bacia predominam usos agropecuários, minerários e alguns condomínios. O entorno da represa é pressionado pela expansão urbana.

5.2.2 Dados de monitoramento de qualidade da água

Para avaliação dos parâmetros físicos e químicos nas estações de amostragem dos reservatórios de Serra Azul, Vargem das Flores e Rio Manso, foram utilizados os dados disponibilizados pela COPASA. Os parâmetros foram amostrados em oito estações de monitoramento na bacia do reservatório Vargem das Flores (Quadro 5.1), oito na bacia do reservatório do Rio Manso (Quadro 5.2) e 10 estações na bacia do reservatório Serra Azul (Quadro 5.3), em condições lóticas e lênticas e em duas profundidades diferentes, sendo uma na zona fótica (Secchi) e a outra a um metro do fundo (Fundo – 1m). A Figura 5.2 apresenta a localização das estações nas sub-bacias dos reservatórios.

Quadro 5.1: Estações de monitoramento da qualidade da água no Reservatório Vargem das Flores.

Descrição da estação	Município	Profundidades de coleta	Notação
Estação 1 no reservatório Vargem das Flores - 200m da torre de tomada	Betim	Secchi	VF-E1-Sec
		Fundo -1m	VF-E1-Fun
Estação 2 no reservatório Vargem das Flores - Encontro dos braços principais	Betim	Secchi	VF-E2-Sec
		Fundo -1m	VF-E2-Fun
Estação 3 no reservatório Vargem das Flores - Braço do córrego Água Suja	Betim	Secchi	VF-E3-Sec
		Fundo -1m	VF-E3-Fun
Estação 4 no reservatório Vargem das Flores - Braço do Ribeirão Betim	Contagem	Secchi	VF-E4-Sec
		Fundo -1m	VF-E4-Fun
Córrego Água Suja	Contagem	Superfície	VF-E14
Córrego Morro Redondo	Contagem	Superfície	VF-E15
Ribeirão Betim	Contagem	Superfície	VF-E16
Córrego Bela Vista	Contagem	Superfície	VF-E17

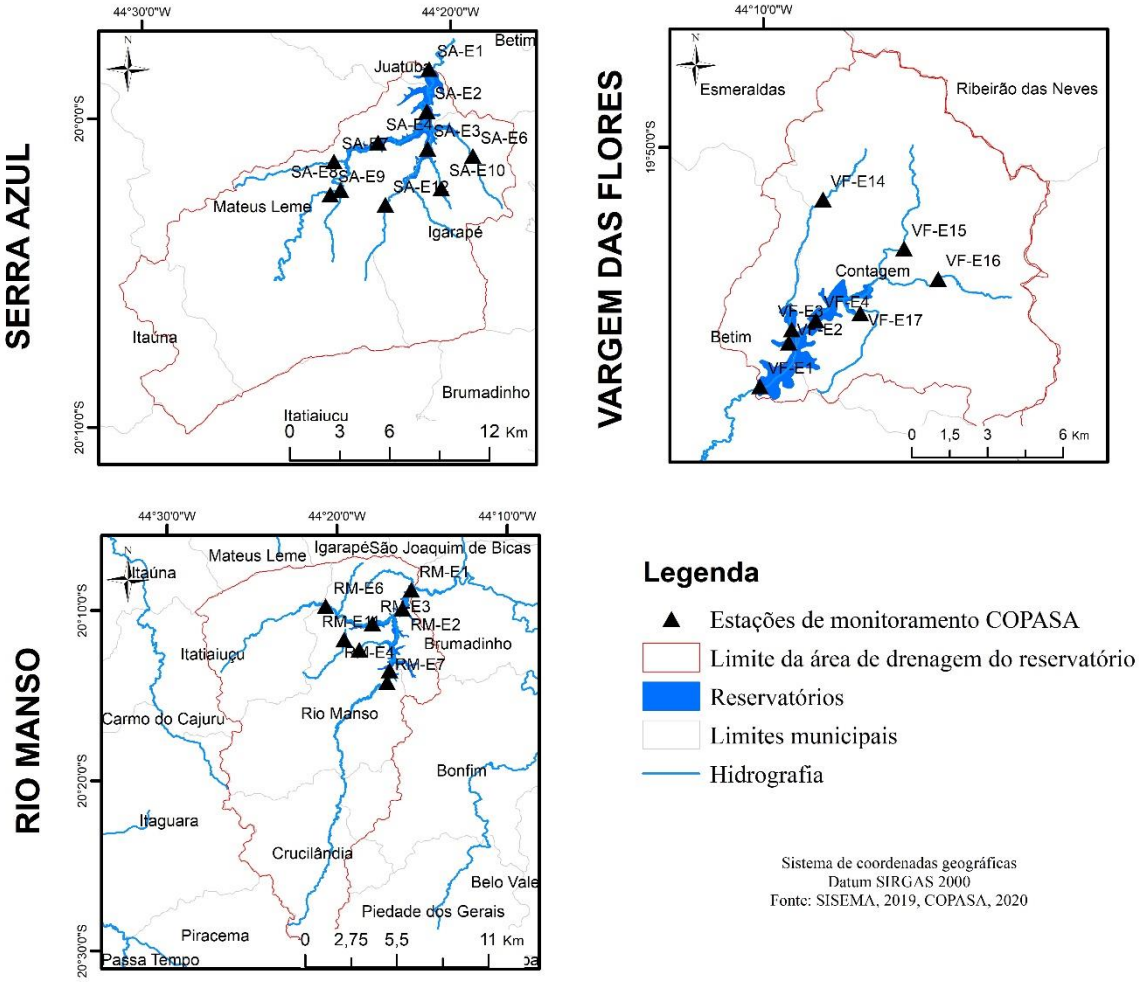
Quadro 5.2: Estações de monitoramento da qualidade da água no Reservatório Rio Manso.

Descrição da estação	Município	Profundidades de coleta	Notação
Estação 1 no reservatório Rio Manso - 200m da torre de tomada	Rio Manso	Secchi	RM-E1-Sec
		Fundo -1m	RM-E1-Fun
Estação 2 no reservatório Rio Manso – Encontro braço Veloso e Manso	Rio Manso	Secchi	RM-E2-Sec
		Fundo -1m	RM-E2-Fun
Estação 3 no reservatório Rio Manso - Braço rio Veloso	Rio Manso	Secchi	RM-E3-Sec
		Fundo -1m	RM-E3-Fun
Estação 4 no reservatório Rio Manso - Braço Rio Manso	Rio Manso	Secchi	RM-E4-Sec
		Fundo -1m	RM-E4-Fun
Rio Veloso jusante BR381	Rio Manso	Superfície	RM-E6
Rio Manso montante do reservatório	Rio Manso	Superfície	RM-E7
Córrego Lamas montante reservatório	Rio Manso	Superfície	RM-E10
Córrego Grande montante reservatório	Rio Manso	Superfície	RM-E11

Quadro 5.3: Estações de monitoramento da qualidade da água no Reservatório Serra Azul.

Descrição da estação	Município	Profundidades de coleta	Notação
Estação 1 no reservatório Serra Azul - 200m da torre de tomada	Juatuba	Secchi	SA-E1-Sec
		Fundo -1m	SA-E1-Fun
Estação 2 no reservatório Serra Azul - Corpo lago sob linha CEMIG	Mateus Leme	Secchi	SA-E2-Sec
		Fundo -1m	SA-E2-Fun
Estação 3 no reservatório Serra Azul - Braço córrego Diogo e Potreiro	Mateus Leme	Secchi	SA-E3-Sec
		Fundo -1m	SA-E3-Fun
Estação 4 no reservatório Serra Azul - Braço Ribeirão Serra Azul	Mateus Leme	Secchi	SA-E4-Sec
		Fundo -1m	SA-E4-Fun
Córrego Curralinho	Igarapé	Superfície	SA-E6
Córrego Jacú	Mateus Leme	Superfície	SA-E7
Córrego Pedreira	Mateus Leme	Superfície	SA-E8
Ribeirão Serra Azul	Mateus Leme	Superfície	SA-E9
Córrego Potreiro	Igarapé	Superfície	SA-E10
Ribeirão do Diogo	Mateus Leme	Superfície	SA-E12

Figura 5.2: Localização das estações de monitoramento de qualidade das águas da COPASA nos reservatórios de Serra Azul, Rio Manso e Vargem das Flores.



Os dados possuem frequência quadrimestral e foram analisados para o período de 2003 a 2019. Os 11 parâmetros de qualidade da água analisados estão listados com suas respectivas notações de referência, unidades e limites legais estabelecidos pela DN COPAM/CERH-MG nº 01/08 (MINAS GERAIS, 2008) para as classes de enquadramento, na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Nome, notação de referência, unidade e limites legais estabelecidos pela DN COPAM/CERH-MG nº 01/08 para a classe 1 de enquadramento dos parâmetros analisados nos reservatórios do Rio Manso, Serra Azul e Vargem das Flores.

Parâmetro	Notação	Unidade	Limites legais DN COPAM/CERH-MG nº 01/08	
			Classe 1	Classe 2
Acidez total	Acid.	mg/L $CaCo_3$	-	-
Condutividade elétrica	CE	µS/cm	-	-
Cor verdadeira	Cor	mg/L Pt	-	75
Fósforo total (ambiente lêntico)	PT	mg/L P	0,02	0,03
Fósforo total (tributários diretos de ambiente lêntico)	PT	mg/L P	0,025	0,05
Nitrogênio amoniacal total	$N\text{-}NH_4^+$	mg/L N	3,7: pH ≤ 7,5 2,0: 7,5<pH≤8,0 1,0: 8,0<pH≤8,5 0,5: pH > 8,5	3,7: pH ≤ 7,5 2,0: 7,5<pH≤8,0 1,0: 8,0<pH≤8,5 0,5: pH > 8,5
Oxigênio dissolvido	OD	mg/L O_2	>6	>5
pH *in loco*	pH		6 – 9	6 - 9
Sólidos dissolvidos totais	SDT	mg/L	500	500
Sólidos em suspensão totais	SST	mg/L	50	100
Sólidos totais	ST	mg/L	-	-
Turbidez	Turb.	UNT	40	100

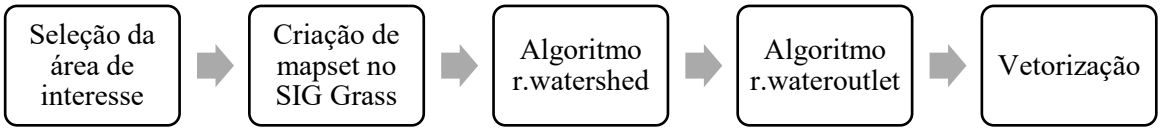
Fonte: Minas Gerais, 2008.

5.2.3 Dados e análises de uso e cobertura do solo

Para compreender a dinâmica do uso e cobertura do solo nas sub-bacias dos reservatórios, inicialmente foi realizada a delimitação das áreas de drenagem de cada reservatório a partir dos Modelos Digitais de Elevação do Terreno (MDTs) das imagens da SRTM 1. As imagens que compõem as sub-bacias dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul foram recortadas e mosaicadas e o processo da delimitação automática foi efetuado no QGIS 3.4.12 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2019).

A Figura 5.3 apresenta a sequência das rotinas executadas para modelagem hidrológica que consistiu na elaboração dos segmentos de fluxo, direções de drenagem e a respectiva área de drenagem, considerando a localização geográfica do exutório de cada reservatório, permitindo assim o cálculo de área.

Figura 5.3: Sequência das rotinas executadas para delimitação das áreas de drenagem das sub-bacias dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul utilizando o QGis 3.4.12.



Em seguida, foram utilizados os mapas da Coleção 5 da plataforma do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomas), publicados em agosto de 2020. O MapBiomas produz mapas anuais de cobertura e uso do solo com o objetivo de contribuir para o entendimento da dinâmica do uso do solo no Brasil e em outros países tropicais, tendo como base o desenvolvimento e implementação de uma metodologia rápida, confiável e de baixo custo para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo a partir de 1985 (MAPBIOMAS, 2020a).

As imagens classificadas no Mapbiomas, referentes a cada ano a ser avaliado (2003 a 2019) para o Estado de Minas Gerais (MAPBIOMAS, 2020a), foram baixadas e recortadas em ambiente SIG, com o auxílio do *software* QGIS 3.4.12. De posse da imagem classificada, foi feita a extração das informações contidas na tabela de atributos da imagem para a contabilização das áreas relativas a cada classe de uso e cobertura do solo nas sub-bacias dos reservatórios.

Os mapas de uso e cobertura do solo disponíveis na plataforma MapBiomas possuem várias classes, para este trabalho, algumas dessas classes foram agrupadas em classes semelhantes, para melhor avaliação das informações. O Quadro 5.4 apresenta as classes de uso e cobertura do solo identificados inicialmente pela plataforma para as sub-bacias dos reservatórios e as 11 classes finais utilizadas nesse trabalho.

Quadro 5.4: Classes de uso e cobertura do solo identificadas nas sub-bacias dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul.

Classes da legenda na Coleção 5 do MapBiomas	Classes de uso do solo utilizadas nesse trabalho	Notação
Formação florestal	Formação florestal	ForFlo
Formação savânica	Formação savânica	ForSav
Formação campestre		
Floresta plantada	Floresta plantada	FloPla
Pastagem	Pastagem	Past
Cana	Agricultura	Agricul
Soja		
Outras Lavouras Temporárias		
Lavoura Perene		
Mosaico de agricultura e pastagem	Mosaico de agricultura e pastagem	MosAgriPas
Infraestrutura urbana	Infraestrutura urbana	Urbano
Outras áreas não vegetadas	Outras áreas não vegetadas	NaoVeg
Afloramento rochoso	Afloramento rochoso	AfloRoc
Mineração	Mineração	Mine
Rio, Lago e Oceano	Água	Agua

Fonte: MAPBIOMAS, 2020b.

Em sequência, a estatística descritiva foi calculada para os dados de cada parâmetro de qualidade da água para as estações de monitoramento em suas diferentes profundidades. A estatística descritiva consiste em apresentar os valores mínimo e máximo, a média, o desvio-padrão e os percentis (25, 50 – mediana e 75). Foram calculados os percentuais de violações aos limites preconizados pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 para os parâmetros que possuem limite legal (MINAS GERAIS, 2008).

Para a verificação da distribuição dos dados, os testes de normalidade de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) foram aplicados para cada parâmetro de qualidade e nenhum deles apresentou aderência à distribuição normal, ao nível de significância (α) de 5%. Uma vez que os dados não apresentam normalidade, foram aplicados os testes estatísticos não paramétricos. O teste de Mann-Whitney (MANN; WHITNEY, 1947) foi utilizado para comparar a qualidade da água nas profundidades Secchi e Fundo em cada estação dentro do reservatório. O teste de Kruskal-Wallis (KRUSKAL; WALLIS, 1952), seguido do teste de comparações múltiplas de Dunn (SIEGEL; CASTELLAN JR., 1988), quando aplicável, foi usado para comparar a qualidade da água entre as estações de cada reservatório e entre as estações dos três reservatórios, ao nível de significância (α) de 5%.

A análise multivariada de agrupamento (AA) foi usada para avaliar as semelhanças dos locais de monitoramento em função das medições dos parâmetros de qualidade da água e as classes de uso e cobertura do solo medidos. Para evitar interferências nos resultados das análises multivariadas devido às diferentes unidades de medida das variáveis é muito comum e indicado realizar a padronização dos dados em escala Z (média 0 e desvio padrão 1). Dessa forma, os dados tornam-se adimensionais (SIMEONOV *et al.*, 2003; SINGH; MALIK; SINHA, 2005; ZHANG *et al.*, 2011).

Foram utilizados os dados de qualidade da água das profundidades Secchi e fundo das estações existentes nos reservatórios e nos respectivos afluentes e os valores anuais das classes de uso e cobertura do solo foram repetidos para amostras quadrimestrais, uma vez que o uso e cobertura do solo apresentam pouca variação anual (CHENG *et al.*, 2018).

A Análise por Componentes Principais (ACP), outra análise multivariada, é uma ferramenta que pode ser utilizada para reconhecer padrões e detectar correlações (ou covariâncias) entre um conjunto de variáveis ou amostras. A ACP irá gerar tantos componentes quantas forem as variáveis, no entanto, a maioria das informações inerentes ao conjunto de dados geralmente é incluída nos primeiros componentes, resultando em uma redução considerável da dimensão do conjunto de dados (REIMANN *et al.*, 2008). Dessa forma, foi possível identificar os parâmetros responsáveis por explicar a maior variabilidade da qualidade da água e as possíveis fontes causadoras de impactos negativos em cada sub-bacia dos três reservatórios.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando a linguagem de programação R (https://rstudio.com/), e foi utilizado também o Microsoft Excel (2019).

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Dados e análises de uso e cobertura do solo

A Tabela 5.2, Tabela 5.3 e Tabela 5.4 apresentam os percentuais e as áreas (km^2) das tipologias de uso e cobertura do solo identificadas nas áreas de drenagem dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul dos anos de 2003 a 2019, respectivamente.

Pela análise da Tabela 5.2, entre os anos de 2003 e 2019, pode-se observar a predominância da classe formação florestal em relação às demais classes (30% em 2003 e 29,7% em 2019) para a área de drenagem do reservatório de Vargem das Flores. Enquanto para as áreas de drenagem

dos reservatórios do Rio Manso (Tabela 5.3) e Serra Azul (Tabela 5.4) a predominância é da classe Pastagem (44,1% em 2003 e 42,1% em 2019 para Rio Manso e 46,4% em 2003 e 43,2% em 2019 para Serra Azul).

No entanto, Vargem das Flores é a única área de manancial integrante do Sistema Paraopeba que não houve incremento de cobertura vegetal, havendo a diminuição de 4,62 km^2 das classes de formação florestal e formação savânica. A área de drenagem do reservatório do Rio Manso teve um aumento de aproximadamente 19 km^2 de formação florestal e savânica de 2003 a 2019, enquanto a área de drenagem do reservatório de Serra Azul apresentou incremento de aproximadamente 1 km^2 para as mesmas classes.

O avanço da classe de Infraestrutura urbana acontece em todas as sub-bacias, sendo maior na sub-bacia do reservatório de Vargem das Flores, representando um crescimento de 7% entre os anos de 2003 e 2019. Essa região está inserida num contexto de expansão urbana que pode trazer consequências para a qualidade da água do reservatório caso não haja um maior controle das atividades de parcelamento de solo. O estudo desenvolvido por Junior; Cota; Lemos (2016), mostrou que de 1984 a 2014 a sub-bacia de Vargem das Flores teve perdas florestais e alterações antrópicas mais intensas que outras áreas próximas, demostrando que o processo de intensa urbanização já ocorre na sub-bacia há vários anos.

Para a área de drenagem do reservatório Rio Manso (Tabela 5.3), também pode-se observar as seguintes modificações entre o ano de 2003 e 2019: floresta plantada (aumento de 0,8%), agricultura (aumento de 0,7%), infraestrutura urbana (aumento de 0,4%), outras áreas não vegetadas (aumento de 0,1%), mineração (aumento de 0,3%), pastagem (diminuição de 2%), mosaico de agricultura e pastagem (diminuição de 3,1%), afloramento rochoso e água (diminuição de 0,1% em cada classe).

Tabela 5.2: Percentual e área ocupada (km^2) pelas classes de uso e cobertura do solo na área de drenagem do reservatório de Vargem das Flores dos anos de 2003 a 2019.

Classes de uso e cobertura do solo	2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	30,0%	37,02	29,1%	35,84	29,3%	36,05	29,5%	36,29	29,0%	35,70	29,2%	35,93	28,9%	35,58	29,3%	36,04	28,9%	35,64
Formação Savânica	14,7%	18,12	15,8%	19,48	15,7%	19,37	16,4%	20,23	16,8%	20,76	16,6%	20,52	17,0%	21,03	16,3%	20,09	16,2%	20,00
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	29,6%	36,41	29,1%	35,86	28,8%	35,52	27,8%	34,26	26,9%	33,13	26,8%	33,07	25,7%	31,71	25,2%	31,07	24,8%	30,58
Agricultura	0,1%	0,10	0,1%	0,12	0,1%	0,11	0,1%	0,09	0,1%	0,14	0,1%	0,12	0,1%	0,10	0,0%	0,06	0,0%	0,05
Mosaico de Agricultura e Pastagem	2,5%	3,09	2,9%	3,52	3,1%	3,84	2,8%	3,39	2,9%	3,58	3,0%	3,64	2,9%	3,60	2,8%	3,39	2,8%	3,47
Infraestrutura Urbana	18,8%	23,19	18,8%	23,18	18,8%	23,17	19,4%	23,87	20,1%	24,75	20,1%	24,75	21,1%	26,04	22,2%	27,36	23,0%	28,38
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	0,36	0,3%	0,38	0,3%	0,33	0,2%	0,28	0,3%	0,32	0,3%	0,38	0,3%	0,32	0,2%	0,30	0,2%	0,26
Afloramento Rochoso	0,0%	0,03	0,0%	0,03	0,0%	0,03	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,01
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	3,9%	4,86	3,9%	4,76	3,9%	4,76	3,9%	4,76	3,9%	4,78	3,9%	4,76	3,9%	4,79	3,9%	4,86	3,9%	4,81

Classes de uso e cobertura do solo	2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	28,8%	35,45	28,2%	34,75	29,4%	36,23	30,0%	36,93	29,8%	36,70	30,0%	36,96	29,4%	36,17	29,7%	36,63
Formação Savânica	16,6%	20,47	16,4%	20,26	15,1%	18,67	14,7%	18,18	13,9%	17,15	13,4%	16,54	12,5%	15,40	11,2%	13,89
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,02
Pastagem	24,2%	29,85	24,2%	29,81	24,5%	30,16	24,5%	30,17	24,8%	30,52	24,7%	30,47	25,6%	31,49	26,2%	32,28
Agricultura	0,0%	0,03	0,1%	0,08	0,1%	0,07	0,0%	0,05	0,0%	0,05	0,1%	0,11	0,1%	0,09	0,1%	0,09
Mosaico de Agricultura e Pastagem	2,8%	3,42	2,8%	3,43	2,7%	3,28	2,7%	3,37	3,2%	3,94	3,5%	4,25	3,6%	4,40	3,6%	4,40
Infraestrutura Urbana	23,4%	28,85	24,4%	30,12	24,8%	30,61	25,0%	30,80	25,3%	31,16	25,3%	31,17	25,9%	31,91	25,9%	31,90
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	0,29	0,2%	0,29	0,3%	0,33	0,1%	0,16	0,1%	0,15	0,1%	0,15	0,1%	0,17	0,2%	0,19
Afloramento Rochoso	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,02	0,0%	0,02
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	3,9%	4,84	3,6%	4,44	3,1%	3,83	2,9%	3,52	2,8%	3,51	2,8%	3,51	2,9%	3,54	3,1%	3,76

Tabela 5.3: Percentual e área ocupada (km²) pelas classes de uso e cobertura do solo na área de drenagem do reservatório do Rio Manso dos anos de 2003 a 2019.

Classes de uso e cobertura do solo	2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	28,6%	188,08	29,2%	191,49	29,5%	193,97	29,2%	191,77	28,4%	186,41	28,6%	187,59	29,1%	191,22	28,9%	189,95	28,8%	189,13
Formação Savânica	1,2%	8,02	1,2%	7,59	1,2%	7,72	1,2%	8,13	1,4%	8,92	1,5%	9,72	1,4%	9,35	1,4%	9,43	1,4%	9,49
Floresta Plantada	0,1%	0,35	0,1%	0,44	0,1%	0,59	0,1%	0,89	0,2%	1,22	0,2%	1,59	0,4%	2,47	0,5%	2,96	0,5%	3,52
Pastagem	44,1%	289,28	43,7%	287,10	44,3%	290,63	45,1%	295,81	46,3%	304,09	47,5%	311,79	47,9%	314,59	47,9%	314,51	46,2%	303,59
Agricultura	0,2%	1,10	0,2%	1,05	0,1%	0,96	0,2%	1,00	0,2%	1,02	0,2%	1,03	0,2%	1,31	0,2%	1,48	0,3%	1,66
Mosaico de Agricultura e Pastagem	21,7%	142,34	21,6%	141,61	20,6%	134,95	19,9%	130,97	19,3%	126,54	17,7%	116,19	16,5%	108,24	16,5%	108,30	18,0%	118,39
Infraestrutura Urbana	0,5%	3,38	0,5%	3,45	0,5%	3,55	0,6%	3,64	0,6%	3,77	0,6%	3,79	0,7%	4,36	0,7%	4,52	0,7%	4,81
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,47	0,1%	0,60	0,1%	0,81	0,1%	0,80	0,1%	0,93	0,1%	0,98	0,2%	1,11	0,2%	1,26	0,2%	1,55
Afloramento Rochoso	0,3%	1,87	0,2%	1,58	0,3%	1,73	0,3%	1,87	0,3%	1,91	0,3%	2,09	0,3%	2,11	0,4%	2,35	0,4%	2,73
Mineração	1,7%	11,30	1,7%	11,29	1,7%	11,28	1,7%	11,33	1,7%	11,39	1,7%	11,41	1,7%	11,35	1,7%	11,36	1,7%	11,31
Água	1,6%	10,31	1,6%	10,28	1,6%	10,30	1,6%	10,28	1,6%	10,31	1,6%	10,32	1,6%	10,38	1,6%	10,36	1,6%	10,31

Classes de uso e cobertura do solo	2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	29,7%	195,21	30,7%	201,51	31,1%	204,41	31,7%	208,18	32,5%	213,35	32,0%	210,27	31,8%	208,45	31,7%	208,02
Formação Savânica	1,5%	9,58	1,4%	8,93	1,2%	8,01	1,2%	7,58	1,1%	7,54	1,2%	7,63	1,1%	7,10	1,0%	6,55
Floresta Plantada	0,6%	3,98	0,6%	4,25	0,7%	4,86	0,8%	5,19	0,8%	5,36	0,8%	5,56	0,9%	5,62	0,9%	5,73
Pastagem	45,1%	295,81	43,8%	287,30	42,8%	280,78	41,8%	274,35	42,1%	276,07	42,0%	275,47	41,8%	274,11	42,1%	276,52
Agricultura	0,4%	2,61	0,5%	3,05	0,5%	3,05	0,6%	3,96	0,7%	4,29	0,9%	6,14	0,9%	6,15	0,9%	6,19
Mosaico de Agricultura e Pastagem	18,0%	117,88	18,3%	119,95	19,0%	124,64	19,2%	126,34	18,1%	119,03	18,3%	120,12	18,7%	122,87	18,6%	121,95
Infraestrutura Urbana	0,8%	5,05	0,8%	5,40	0,9%	5,72	0,9%	5,81	0,8%	5,51	0,8%	5,51	0,9%	5,92	0,9%	5,96
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	1,42	0,2%	1,62	0,2%	1,34	0,2%	1,11	0,1%	0,95	0,1%	0,93	0,2%	1,08	0,2%	1,14
Afloramento Rochoso	0,5%	3,37	0,4%	2,76	0,3%	2,19	0,3%	2,23	0,2%	1,63	0,3%	1,75	0,3%	1,69	0,2%	1,54
Mineração	1,7%	11,31	1,7%	11,27	1,7%	11,49	1,8%	11,81	2,0%	13,32	2,0%	13,31	2,0%	13,34	2,0%	13,22
Água	1,6%	10,27	1,6%	10,43	1,5%	10,01	1,5%	9,92	1,4%	9,45	1,5%	9,79	1,5%	10,15	1,5%	9,67

Tabela 5.4: Percentual e área ocupada (km²) pelas classes de uso e cobertura do solo na área de drenagem do reservatório de Serra Azul dos anos de 2003 a 2019.

Classes de uso e cobertura do solo	2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	27,3%	71,57	27,4%	71,76	27,9%	73,23	28,0%	73,41	27,8%	72,83	28,1%	73,71	28,5%	74,64	28,4%	74,52	28,1%	73,74
Formação Savânica	17,8%	46,83	18,1%	47,54	17,7%	46,62	17,9%	47,27	18,4%	48,46	18,1%	47,63	18,2%	48,02	18,3%	48,28	18,6%	48,99
Floresta Plantada	0,1%	0,14	0,1%	0,26	0,1%	0,30	0,1%	0,36	0,2%	0,41	0,2%	0,52	0,4%	1,06	0,4%	1,12	0,4%	1,15
Pastagem	46,4%	121,76	46,1%	120,94	45,9%	120,40	45,7%	119,70	45,4%	119,02	45,6%	119,62	44,8%	117,34	44,7%	117,09	44,1%	115,72
Agricultura	0,0%	0,05	0,0%	0,08	0,0%	0,06	0,0%	0,07	0,0%	0,07	0,0%	0,06	0,0%	0,09	0,1%	0,17	0,1%	0,19
Mosaico de Agricultura e Pastagem	3,5%	9,22	3,4%	8,82	3,3%	8,71	3,2%	8,48	3,3%	8,54	3,0%	7,78	2,9%	7,65	2,9%	7,48	3,1%	8,16
Infraestrutura Urbana	0,9%	2,37	1,0%	2,57	1,0%	2,60	1,0%	2,67	1,0%	2,69	1,0%	2,71	1,2%	3,20	1,2%	3,25	1,5%	3,91
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,13	0,1%	0,15	0,1%	0,17	0,1%	0,17	0,1%	0,18	0,1%	0,18	0,1%	0,17	0,1%	0,27	0,1%	0,31
Afloramento Rochoso	0,1%	0,27	0,1%	0,29	0,1%	0,31	0,1%	0,31	0,1%	0,30	0,1%	0,36	0,2%	0,40	0,2%	0,42	0,2%	0,45
Mineração	1,1%	2,82	1,1%	2,82	1,1%	2,82	1,1%	2,84	1,1%	2,82	1,1%	2,80	1,0%	2,75	1,0%	2,71	1,0%	2,67
Água	2,7%	6,98	2,6%	6,91	2,6%	6,91	2,6%	6,86	2,6%	6,80	2,6%	6,77	2,6%	6,82	2,6%	6,83	2,6%	6,83

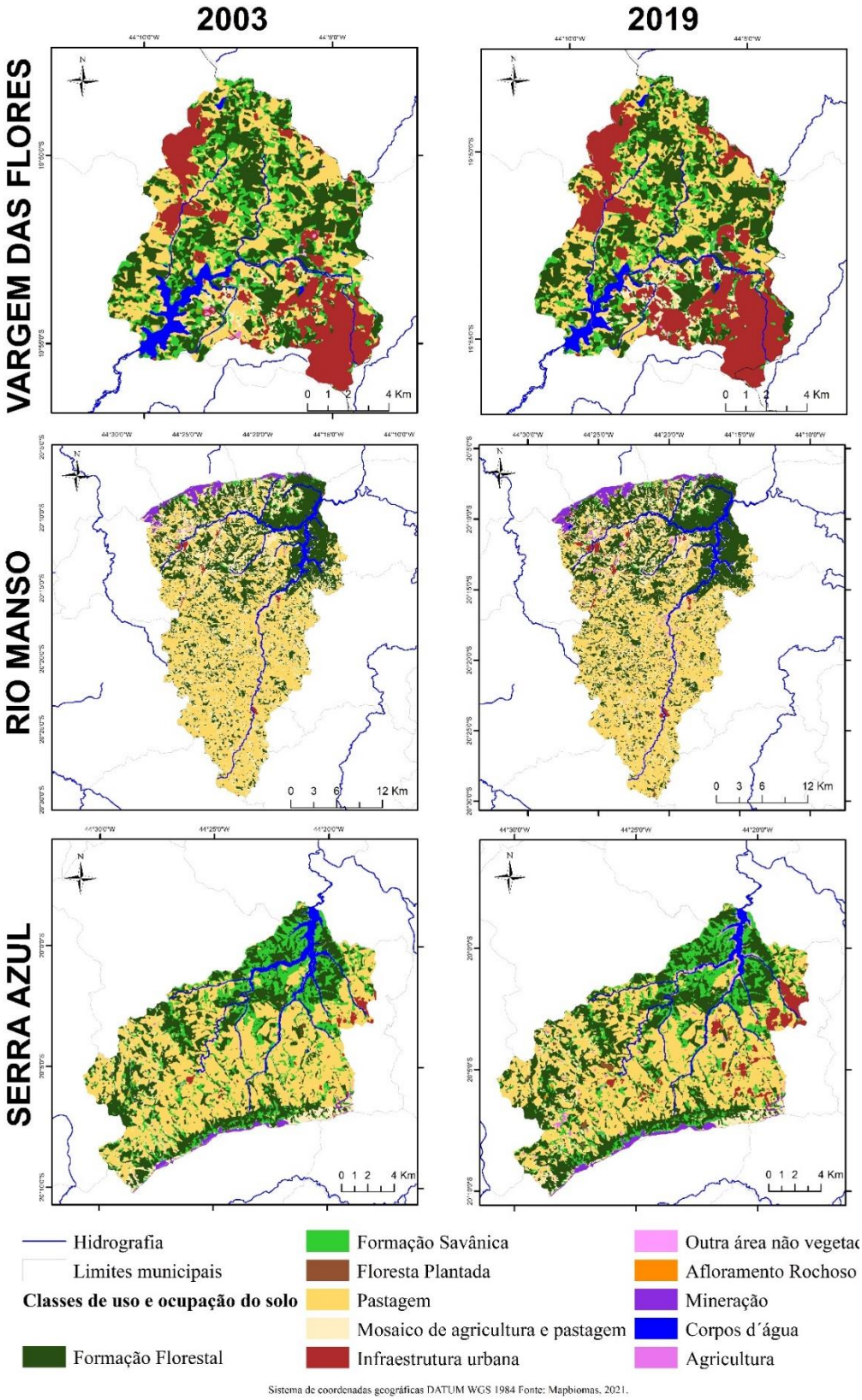
Classes de uso e cobertura do solo	2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	28,3%	74,19	28,4%	74,37	28,6%	75,01	29,2%	76,60	29,5%	77,35	29,4%	77,11	29,2%	76,59	30,1%	78,88
Formação Savânica	18,6%	49,00	18,7%	49,26	18,7%	49,51	18,4%	48,88	17,7%	47,14	17,3%	45,84	16,8%	44,43	15,4%	40,72
Floresta Plantada	0,5%	1,19	0,5%	1,26	0,5%	1,35	0,5%	1,42	0,6%	1,47	0,6%	1,48	0,6%	1,46	0,6%	1,47
Pastagem	43,6%	114,36	43,0%	112,64	42,5%	111,42	42,0%	110,15	42,4%	111,19	42,5%	111,39	42,7%	112,06	43,2%	113,18
Agricultura	0,1%	0,31	0,1%	0,37	0,1%	0,39	0,2%	0,49	0,2%	0,60	0,4%	0,97	0,4%	1,03	0,5%	1,26
Mosaico de Agricultura e Pastagem	3,2%	8,26	3,2%	8,47	3,3%	8,60	3,3%	8,57	3,2%	8,27	3,6%	9,43	3,8%	9,94	3,8%	9,89
Infraestrutura Urbana	1,6%	4,30	2,2%	5,85	2,5%	6,65	2,7%	7,18	2,8%	7,30	2,8%	7,31	3,1%	8,26	3,2%	8,27
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	0,40	0,2%	0,56	1,0%	2,60	0,8%	2,19	0,7%	1,76	0,6%	1,62	0,5%	1,38	0,6%	1,55
Afloramento Rochoso	0,2%	0,53	0,2%	0,48	0,2%	0,49	0,2%	0,51	0,1%	0,31	0,1%	0,33	0,1%	0,29	0,1%	0,24
Mineração	1,0%	2,62	1,0%	2,56	1,0%	2,57	1,0%	2,64	1,2%	3,25	1,2%	3,23	1,2%	3,26	1,2%	3,22
Água	2,7%	6,98	2,4%	6,31	1,4%	3,54	1,3%	3,48	1,3%	3,50	1,3%	3,43	1,3%	3,43	1,3%	3,44

Para a área de drenagem do reservatório Serra Azul, houve diminuição de 3,2% das áreas de pastagem e de 1,4% da classe água. Quanto às atividades produtivas, houve um aumento da área ocupada pela floresta plantada (0,5%), agricultura (0,5%) e mineração (0,1%). Também houve o aumento da classe de infraestrutura urbana de 2,3%. Junior; Cota; Lemos (2016) também observaram a expansão da área antropizada e das atividades minerárias nas zonas de cabeceira que abastecem o reservatório no estudo desenvolvido entre os anos de 1984 e 2016, evidenciando o processo de intensificação das pressões humanas na sub-bacia. Desta forma, esses resultados corroboram a recomendação de Rodrigues *et al.* (2017) para maior atenção à ocupação urbana e às atividades de mineração nessa sub-bacia, uma vez que podem influenciar na qualidade e disponibilidade hídrica do reservatório.

As áreas de proteção especial (APEs) para proteção de mananciais possuem um aparato normativo próprio, sendo geridas pelo Estado (por meio do órgão ambiental estadual) e com forte participação da COPASA (JUNIOR; COTA; LEMOS, 2016). Os aumentos observados nas classes florestais nas sub-bacias dos reservatórios do Rio Manso e Serra Azul podem ser associados às áreas de proteção da COPASA próximas aos reservatórios, que promovem o monitoramento, fiscalização e a proteção das áreas dos mananciais superficiais e subterrâneos (COPASA, 2021).

Os mapas de uso e cobertura do solo apresentados na Figura 5.4 mostram a dimensão das alterações no ano inicial de estudo (2003) e no ano final de 2019. Na análise visual, é possível ver mudanças perceptíveis das classes de infraestrutura urbana (Vargem das Flores apresentou crescimento de 8,71 km^2 e Serra Azul de 5,91 km^2), formação florestal (Rio Manso apresentou crescimento de 19,95 km^2) e água (Serra Azul teve diminuição de 3,54 km^2). Pela Figura 5.4 também é possível perceber como os reservatórios Serra Azul e Rio Manso apresentam o entorno mais preservado com áreas de formação florestal e savânica.

Figura 5.4: Evolução do uso e cobertura do solo nas áreas de drenagem dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul, no ano inicial do estudo, 2003, e no final, 2019.



Para todas as áreas foi observada a diminuição da classe água, com maior relevância a partir do ano de 2015, principalmente na área de drenagem do reservatório de Serra Azul. Este

reservatório passou por uma intensa seca durante seis anos consecutivos, de 2012/13 a 2017/18, a baixa precipitação colaborou para a grande redução do volume de água armazenada no reservatório (SAMPAIO; PINTO, 2018, 2020).

Rocha *et al.* (2017) avaliaram a severidade da estiagem ocorrida na bacia hidrográfica do rio Paraopeba durante os anos de 2014/2015 em uma estação fluviométrica a montante dos reservatórios. O risco de que uma estiagem com o déficit acumulado igual ao de 2012/2013 a 2015/2016 ocorra em 30 anos é de 2,10%, com duração de 4 anos. No entanto, constatou-se que o risco de se ter nova seca com um déficit maior ou igual ao de 2012/2013 a 2015/2016 e duração igual ou maior que 4 anos é de quase 45%, o que evidencia a excepcionalidade do evento 2012-2016, com elevado déficit distribuído ao longo de uma curta duração.

No PDRH Paraopeba foram aplicados índices de criticidade para determinação das áreas críticas no balanço hídrico e na região do Médio Paraopeba, onde estão situados os reservatórios, ocorre uma sobreposição de áreas críticas, referentes ao balanço hídrico quantitativo e qualitativo, provenientes das altas demandas de indústria ou mineração. Nessa região quase todos os trechos apresentam criticidade, o que evidencia uma região com alto conflito, englobando os municípios de Contagem, Ibirité, Betim, Sarzedo, Mário Campos e Mateus Leme (COBRAPE, 2018). Além disso, no prognóstico realizado no PDRH Paraopeba, mesmo para os cenários alternativos, o risco de não se atender às demandas futuras na Bacia hidrográfica do rio Paraopeba é muito alto.

Dessa forma, considerando que os reservatórios representam uma importante fonte de abastecimento para a população da RMBH e uma vez que a crescente pressão sobre os mananciais e as limitações da disponibilidade hídrica são os principais fatores que motivam a busca por novas fontes hídricas, o Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil de 2018 (ANA, 2018) recomenda o investimento em infraestrutura com foco na segurança hídrica, de forma a garantir maior capacidade de reservação e de acesso à água.

5.3.2 Análises estatísticas

Após a exclusão dos parâmetros com mais de 50% de dados faltantes e substituição dos dados censurados pelo próprio limite de detecção do método, foram identificados os *outliers* e apenas uma observação foi excluída do banco de dados. A exclusão do registro de cor (50.000 mg/L Pt) ocorreu com base na avaliação dos outros parâmetros de qualidade da água relacionados à cor (série de sólidos e turbidez), sendo esta medição considerada um erro de registro. As demais

medições foram mantidas uma vez que são passíveis de ocorrência e indicativos de condições críticas da qualidade da água.

Com o banco de dados definido e consistido, prosseguiu-se com o cálculo da estatística descritiva e dos percentuais de violação aos limites estabelecidos pela legislação. Os resultados estão apresentados por parâmetro da Tabela IV.1 até Tabela IV.11 no Apêndice IV. Foram comparadas as profundidades de cada estação de cada reservatório, utilizando o teste de Mann-Whitney, considerando o nível de significância (α) de 5%, para identificar diferenças significativas entre as profundidades Secchi e Fundo (Tabela IV.12 do Apêndice IV).

Em seguida, foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis, ao nível de significância (α) de 5%, seguido pelo teste de comparações múltiplas, quando identificada diferença significativa. O teste foi aplicado para as estações de cada reservatório separadamente e em seguida foi aplicado para a comparação entre as estações dos três reservatórios considerando os afluentes e as profundidades Secchi e Fundo.

Por fim, aplicou-se a Análise de Agrupamentos, com o intuito de evidenciar os grupos de pontos similares, considerando os dados de qualidade da água e uso e cobertura do solo de todas as estações, e a análise de componentes principais, com o intuito de identificar os principais fatores de pressão de cada reservatório.

Análise das estações de amostragem nos afluentes dos reservatórios

Na análise individual das estações localizadas nos afluentes do reservatório Vargem das Flores, foram encontradas diferenças significativas entre as estações para todos os parâmetros, exceto cor verdadeira (Tabela IV.13 – Apêndice IV). Em todas as estações foram calculados mais de 90% de violação ao limite estabelecido pela legislação (75 mg/L Pt) para o parâmetro (Tabela IV.3. – Apêndice IV). A cor de uma amostra de água está associada à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico, podendo citar de origem orgânica os ácidos húmicos e fúlvicos, os esgotos domésticos, além de diversos efluentes industriais; e de origem inorgânica os óxidos de ferro e manganês, que são abundantes nos solos da bacia hidrográfica do rio Paraopeba (VIGLIO, 2018). Desta forma, os elevados valores de cor nos afluentes do reservatório de Vargem das Flores podem estar relacionados aos lançamentos dos efluentes dos municípios de Contagem e Betim e também às concentrações de ferro e manganês (ANA, 2017; VIANA, 2009).

Com o lançamento de efluentes domésticos não tratados ou tratados insuficientemente, os nutrientes, com destaque para nitrogênio e fósforo total, podem contribuir para a eutrofização do corpo d´água. Os dados do parâmetro fósforo total apresentaram 87% de violação na estação VF-E14 e 96% na estação VF-E16 (Tabela IV.7 – Apêndice IV). Estas estações estão localizas nos afluentes da sub-bacia do reservatório de Vargem das Flores, Córrego Água Suja e Ribeirão Betim, enquadrados como corpos d'água classe 1, e que recebem os efluentes tratados e não tratados dos municípios de Contagem e Betim (ANA, 2017), respectivamente.

As estações VF-E14 e VF-E16 também se destacam por apresentarem as maiores medianas e percentuais de desconformidade com a legislação (para os parâmetros com limites estabelecidos) para acidez total, condutividade elétrica, cor, nitrogênio amoniacal total, fósforo total, sólidos dissolvidos totais, sólidos em suspensão totais, sólidos totais e turbidez; além das menores medianas para oxigênio dissolvido (Tabela IV.1, Tabela IV.2, Tabela IV.3, Tabela IV.4, Tabela IV.7, Tabela IV.8, Tabela IV.9, Tabela IV.10 e Tabela IV.11 – Apêndice IV).

Para os afluentes do reservatório do Rio Manso, a estação RM-E10, localizada no córrego Lamas apresentou o maior percentual de violação para cor (52%) e SST (22%) (Tabela IV.3 e Tabela IV.9 – Apêndice IV). A estação RM-E7, localizada no rio Manso, apresentou as maiores medianas para cor e turbidez (100 mg/L Pt e 29 UNT), se diferenciando significativamente das demais estações (Tabela IV.13 – Apêndice IV), e o maior percentual de violação para fósforo total (17%) e oxigênio dissolvido (38%). A estação RM-E6, localizada no rio Veloso, classificado como Classe 2, apresentou 13% de violações para fósforo total, indicando também uma qualidade de água deteriorada.

Por fim, para os afluentes do reservatório de Serra Azul, a estação SA-E9, localizada no ribeirão Serra Azul, apresentou a maior mediana para SDT (45 mg/L), se diferenciando significativamente das demais estações (Tabela IV.13), e maior mediana para ST (50 mg/L). A estação SA-E9 também apresentou o maior percentual de violação para fósforo total (9%).

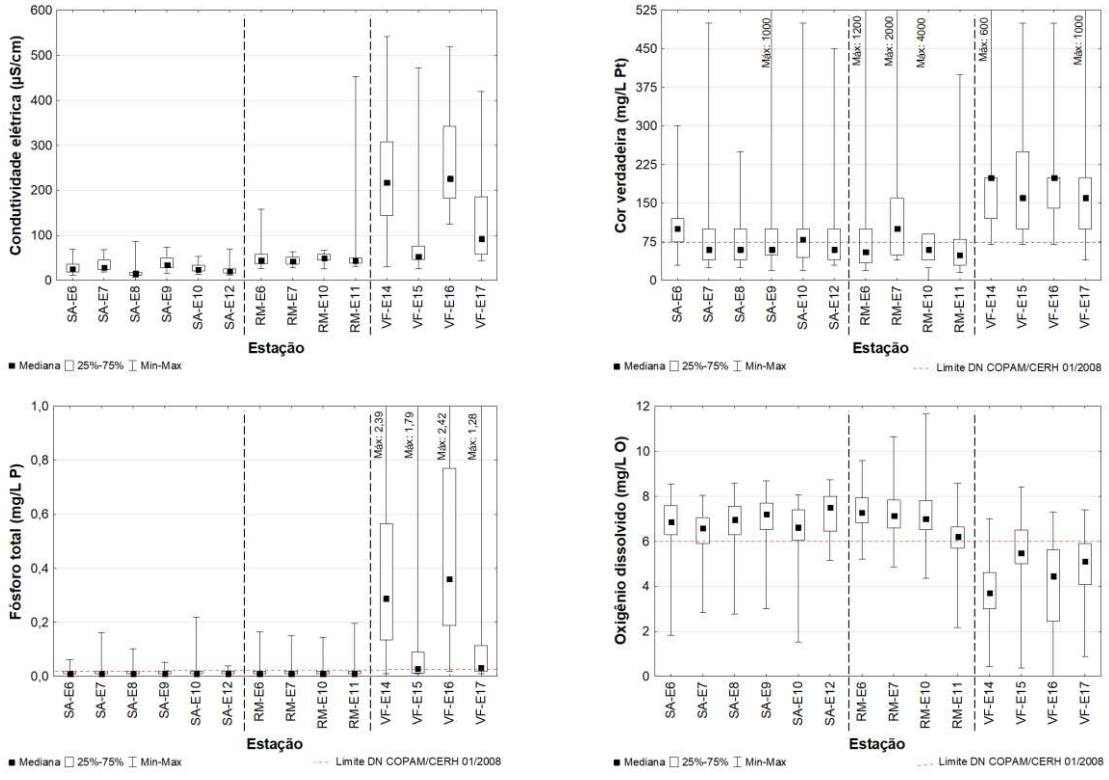
A estação SA-E7, localizada no córrego Jacu, destaca-se por apresentar 62% de violações para o parâmetro cor, 28% para oxigênio dissolvido, 31% para SST e 38% para turbidez. Esta estação está localizada a jusante de um bairro Recanto do Lago no município de Mateus Leme. Ao longo dos anos foi verificado o crescimento da ocupação urbana nesse local e a urbanização pode ser associada ao aumento das superfícies impermeáveis que resulta em um aumento no escoamento (WILSON; WENG, 2011).

Dessa forma, o transporte de sólidos pode estar prejudicando a qualidade da água nesse curso d´água. A cor na água é, em geral, um problema estético, no entanto pode causar um efeito repulsivo na população e por se tratar de um curso d´água afluente de um reservatório, utilizado para abastecimento humano, isso pode refletir em maiores gastos no tratamento.

Quando comparadas as estações dos afluentes dos três reservatórios, foram encontradas diferenças significativas para todos os parâmetros entre as estações, principalmente em relação às estações dos afluentes do reservatório de Vargem das Flores em relação às estações dos afluentes dos reservatórios Serra Azul e Rio Manso. Os resultados são apresentados da Tabela IV.13 até a Tabela IV.24 no Apêndice IV.

A Figura 5.5 apresenta os gráficos *box plo*ts dos valores dos parâmetros condutividade elétrica (CE), cor, fósforo total (PT) e oxigênio dissolvido (OD) para as estações nos afluentes dos reservatórios Rio Manso, Vargem das Flores e Serra Azul. É possível observar que em relação ao parâmetro cor, todas estação nos afluentes de Vargem das Flores, além das estações SA-E6, SA-E10 e RM-E7 apresentam medianas acima do limite estabelecido pela legislação (75 mg/L Pt).

Figura 5.5: *Box plots* dos valores dos parâmetros **condutividade elétrica (CE), cor, fósforo total (PT) e oxigênio dissolvido (OD)** para as estações nos afluentes dos reservatórios Rio Manso, Vargem das Flores e Serra Azul.



Para o parâmetro fósforo total, as estações nos afluentes do reservatório de Vargem das Flores apresentam medianas acima do limite estabelecido pela legislação (0,025 mg/L P) e apesar de não existir limite na legislação para a condutividade elétrica, estas estações são significativamente diferentes das demais (Tabela IV.7 e Tabela IV.2 - Apêndice IV). Estudos mostram que maiores valores desses parâmetros podem estar associados ao aumento das atividades agrícolas e à intensificação das atividades antrópicas (DIAMANTINI *et al.*, 2018; TRAN *et al.*, 2010). Como visto anteriormente, a sub-bacia do reservatório de Vargem das Flores apresentou incremento das áreas de infraestrutura urbana e os municípios de Betim e Contagem, onde estão localizadas as estações citadas, não tratam completamente seus efluentes domésticos, o que pode estar influenciando na qualidade da água.

Com o aumento da carga de matéria orgânica no corpo de água, gerada principalmente pelo lançamento de efluentes domésticos, tem-se também como consequência a diminuição da quantidade de oxigênio na água, o que compromete a vida aquática e a qualidade da água (BRAGA *et al.*, 2005). Para o parâmetro oxigênio dissolvido, conforme pode ser visto na Figura 5.5, todas as estações dos afluentes do reservatório de Vargem das Flores apresentam medianas em desconformidade com a legislação que tem como padrão para a classe 1 valores de OD acima de 6 mg/L O_2, caracterizando uma qualidade de água mais deteriorada nesses locais. As estações VF-E14, VF-E16 e VF-E17 apresentaram percentuais de violações acima de 80% e a estação VF-E15 teve 58% das amostras violadas para OD no período monitorado (Tabela IV.5. - Apêndice IV).

Análises das estações de amostragem inseridas nos reservatórios

Na análise individual das estações inseridas no reservatório do Rio Manso, a mediana do parâmetro oxigênio dissolvido na profundidade de extinção do disco de Secchi da estação RM-E4 (7,16 mg/L) foi significativamente superior (valor-p = 0,047) à da estação RM-E2 (6,73 mg/L) - Tabela IV.36 – Apêndice IV.

Águas que frequentemente estão supersaturadas com OD normalmente apresentam níveis elevados dos nutrientes fósforo e/ou nitrogênio, carreados de fontes não naturais (SISTE *et al.*, 2011). Essa condição foi observada nas estações do reservatório do Rio Manso nos anos de 2015 a 2017, onde observou-se violações a legislação para o parâmetro fósforo total (limite da legislação para P_T: 0,025 mg/L P) - Tabela IV.7 (Apêndice IV) - e concentrações de OD em geral acima do % de saturação. A análise conjunta com outros parâmetros poderia indicar que

o corpo d´água apresenta produção primária elevada. O reservatório do Rio Manso, assim como a maioria de reservatórios de acumulação, possui características morfométricas que favorecem sua elevada susceptibilidade a sofrer os impactos da eutrofização precoce (COPASA, 2013).

As medianas dos valores de turbidez do fundo das estações RM-E3 (mediana = 13,20 UNT) e RM-E4 (mediana = 13,85 UNT) foram significativamente superiores às medianas medidas no fundo das estações RM-E1 (mediana = 12 UNT) e RM-E2 (mediana = 8 UNT). As estações RM-E3 e RM-E4 estão localizadas nos braços do reservatório do Rio Manso, são menos profundas e, portanto, podem sofrer maior influência dos afluentes (Tabela IV.36 – Apêndice IV).

Para as estações inseridas no reservatório de Vargem das Flores, foram identificadas diferenças significativas (valor-p=0,013) para o parâmetro turbidez entre as estações VF-E1 e VF-E3 na profundidade do Secchi, sendo a última com maior mediana (6,54 mg/L) e a única que apresentou violações (4%) – ver Tabela IV.11 e Tabela IV.36 – Apêndice IV. Esta estação é a menos profunda do reservatório e por estar localizada no braço do reservatório que recebe o ribeirão Água Suja (VF-E14), curso d´água que apresentou 89% de violação para o parâmetro turbidez (Tabela IV.11 – Apêndice IV), pode sofrer influência direta da má qualidade da água desse afluente nessa profundidade.

Assim, como o reservatório do Rio Manso, no reservatório de Vargem das Flores também foi observada nos anos de 2015 a 2017 concentrações de OD em geral acima do % de saturação. A proliferação do fitoplâncton é utilizada como indicadora do processo de eutrofização e os valores de OD acima do percentual de saturação, na profundidade do Secchi, podem ser um indício de elevada atividade fotossintética, fato que pode ser relacionado ao histórico de problemas de eutrofização no reservatório (GOMES *et al.*, 2012; SANTOS, 2012; VON SPERLING; FERREIRA; GOMES, 2008).

Para o parâmetro oxigênio dissolvido, foram identificadas diferenças significativas (valor-p< 0,05) para as estações dos três reservatórios na profundidade fundo (Tabela IV.30 – Apêndice IV). As estações mais profundas nos reservatórios (RM-E1 e RM-E2, em Rio Manso; VF-E1 e VF-E2, em Vargem das Flores e SA-E1 e SA-E2, em Serra Azul), apresentaram medianas significativamente menores que as estações de menor profundidade (RM-E3 e RM-E4, VF-E3 e VF-E4 e SA-E3 e SA-E4). Esse resultado reflete a diferença de profundidade entre as estações e o comportamento provavelmente é devido à dinâmica dos períodos de estratificação e

circulação da coluna d'água em regiões do reservatório com profundidades diferentes e que pode levar à maior estabilidade da estratificação no período chuvoso (verão).

A Figura 5.6 apresenta os gráficos *box plots* dos valores dos parâmetros condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio amoniacal total ($N\text{-}NH_4^+$) e sólidos dissolvidos totais (SDT) para as estações nos reservatórios Rio Manso, Vargem das Flores e Serra Azul nas profundidades Secchi e Fundo.

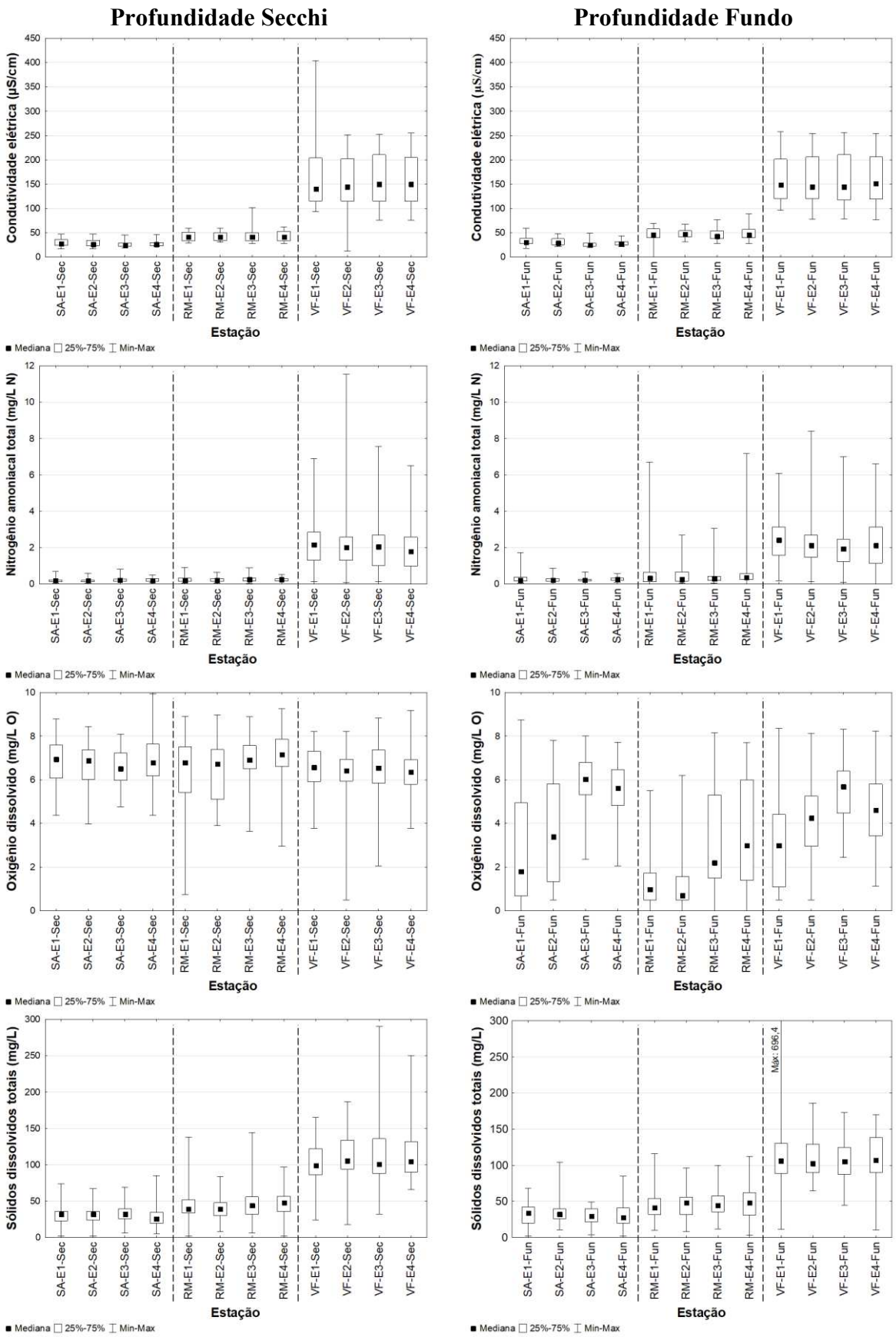
Pela análise da Figura 5.6 é possível observar que a qualidade da água das estações do reservatório de Vargem das Flores é mais degradada, uma vez que apresenta valores significativamente superiores às demais estações dos outros reservatórios para os parâmetros condutividade elétrica, nitrogênio amoniacal total e sólidos dissolvidos totais. Isso já era esperado uma vez que as estações localizadas nos afluentes do reservatório de Vargem das Flores também apresentaram os piores resultados para a qualidade da água.

O aumento de áreas agrícolas e urbanas são descritos como um dos maiores contribuintes para o aumento de nutrientes e sedimentos em ecossistemas aquáticos (URIARTE *et al.*, 2011; VIGLIO, 2018), além do lançamento de efluentes domésticos e industriais ser responsável por incrementar os níveis de matéria orgânica, nutrientes, patógenos e contaminantes emergentes (XIA *et al.*, 2018).

Desta forma, mesmo a sub-bacia do reservatório de Vargem das Flores apresentando o maior percentual de cobertura florestal quando comparada aos outros reservatórios, Vargem das Flores está mais susceptível às variações de qualidade da água que os reservatórios do Rio Manso e Serra Azul. O impacto do lançamento de efluentes não tratados nos afluentes do reservatório, do maior adensamento urbano e não apresentar o entorno do reservatório protegido, podem ser razões para justificar a pior qualidade da água em Vargem das Flores.

Quando comparadas as estações dos três reservatórios, não foram encontradas diferenças significativas para o parâmetro fósforo total nas profundidades Secchi e fundo e para cor na profundidade Secchi. No entanto, somente a profundidade do Secchi da estação SA-E3 não apresentou violações aos limites estabelecidos na legislação para esses parâmetros, indicando que as demais estações apresentam problemas de qualidade da água relacionados aos parâmetros cor e fósforo total (Tabela IV.3 e Tabela IV.7 – Apêndice IV).

Figura 5.6: *Box plots* dos valores dos parâmetros **condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio amoniacal total ($N\text{-}NH_4^+$) e sólidos dissolvidos totais (SST)** para as estações nos reservatórios Rio Manso, Vargem das Flores e Serra Azul nas profundidades Secchi e fundo.



Lagos e reservatórios podem apresentar estratificação térmica e química da coluna d'água, onde o epilímnio encontra-se com maior concentração de oxigênio, devido à atividade fotossintética, e o hipolímnio torna-se pobre em oxigênio, devido à atividade de decomposição da matéria orgânica presente no fundo. A ausência de oxigênio no hipolímnio pode estar relacionada ao acúmulo de matéria orgânica no sedimento, à temperatura da água (ambientes tropicais apresentam temperaturas de fundo mais elevadas, assim maior metabolismo e menores concentrações de OD), além da duração (persistência) do período de estratificação (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

Dessa forma, as menores concentrações de OD encontradas na profundidade do fundo das estações mais profundas (Tabela IV.5 – Apêndice IV), podem estar relacionadas à estratificação da coluna d'água. Além dos efeitos diretos sobre os organismos aeróbios, a anoxia pode levar ao aumento da liberação de fósforo dos sedimentos, que com a circulação da coluna d'água torna-se disponível para a comunidade fitoplanctônica, fator que poderá levar ao processo de eutrofização.

5.3.3 Agrupamento hieráquico

O método Ward foi escolhido para realizar a análise de agrupamento, apresentando correlação cofenética de r=0,85. O pacote *NbClust* foi utilizado para determinar o número de *clusters*, uma vez que oferece ao usuário o melhor esquema de agrupamentos de diferentes resultados permitindo que sejam avaliados simultaneamente vários esquemas de agrupamento enquanto varia o número de *clusters*, para ajudar a determinar o número mais apropriado de *clusters* para o conjunto de dados de interesse (CHARRAD *et al.*, 2014). Desta forma, foram definidos 13 *clusters* para este trabalho. O dendrograma formado pela análise é apresentado na Figura 5.7 e o Quadro 5.5 apresenta os agrupamentos formados.

Quadro 5.5: Grupos formados pela Análise de Agrupamento das estações de monitoramento de qualidade da água dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul, no período de 2003 a 2019.

Grupos	Estações
Isoladas	VF-E14 (preto), VF-E16 (preto), SA-E3-Fun (verde escuro), VF-E1-Fun (preto), SA-E9 (verde escuro), VF-E15 (preto) e VF-E17 (preto)
Grupo 1 (vermelho)	VF-E2-Fun, VF-E4-Fun, VF-E1-Sec, VF-E2-Sec, VF-E3-Fun, VF-E3-Sec e VF-E4-Sec
Grupo 2 (rosa)	RM-E1-Sec, RM-E2-Sec, RM-E3-Sec, RM-E4-Sec, SA-E1-Sec, SA-E2-Sec, SA-E4-Fun, SA-E3-Sec e SA-E4-Sec
Grupo 3 (verde claro)	SA-E12, SA-E10, SA-E7, SA-E6 e SA-E8

Quadro 5.5: Grupos formados pela Análise de Agrupamento das estações de monitoramento de qualidade da água dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul, no período de 2003 a 2019 (Continuação).

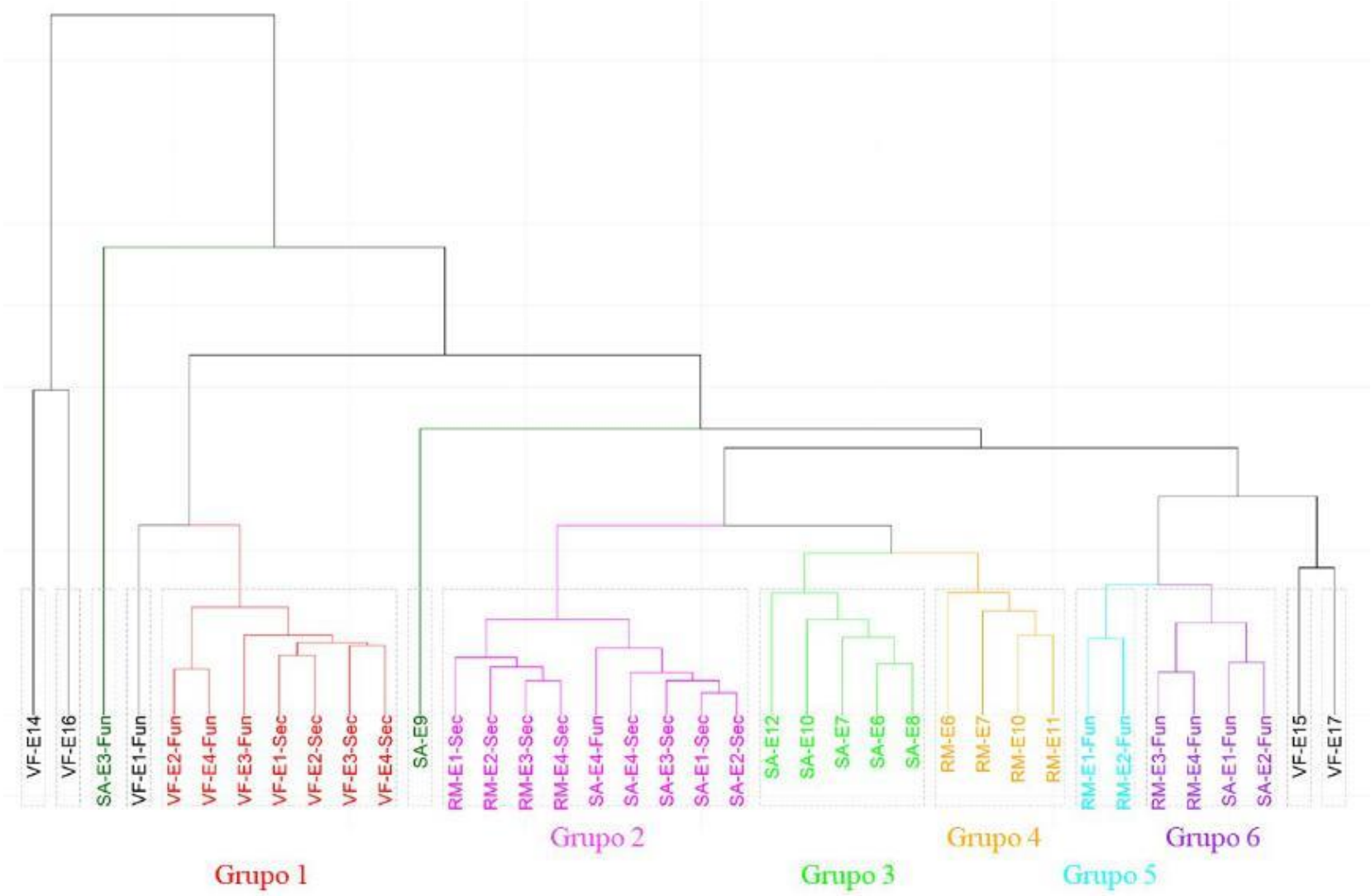
Grupo 4 (laranja)	RM-E6, RM-E7, RM-E10 e RM-E11
Grupo 5 (azul claro)	RM-E1-Fun e RM-E2-Fun
Grupo 6 (roxo)	RM-E3-Fun, RM-E4-Fun, SA-E1-Fun e SA-E2-Fun

Os resultados encontrados na análise de agrupamento são condizentes com o que foi observado na análise dos resultados anteriores, uma vez que as estações na sub-bacia do reservatório de Vargem das Flores apresentaram semelhança em relação à qualidade da água e se distinguiram das estações dos reservatórios do Rio Manso e Serra Azul.

As estações dos afluentes do reservatório de Vargem das Flores e a estação VF-E1-Fun ficaram isoladas no dendrograma e no Grupo 1. As estações marcadas em vermelho, estão localizadas no reservatório de Vargem das Flores, nas duas profundidades analisadas, exceto a estação VF-E1-Fun. No fundo da estação E1 foram identificadas as maiores medianas para nitrogênio amoniacal e sólidos totais e a menor mediana para oxigênio dissolvido entre as estações do reservatório de Vargem das Flores. Por se tratar da estação mais funda do reservatório, provavelmente, a estratificação se mantém por mais tempo e assim, a anoxia do fundo é mais pronunciada. É importante mencionar que o fato das estações do reservatório de Vargem das Flores terem se agrupado em grupos diferentes das estações dos outros reservatórios, reforça o impacto que o mesmo vem sofrendo ao longo dos anos devido à intensificação das atividades antrópicas na região (JUNIOR; COTA; LEMOS, 2016; MELO *et al.*, 2017; MOLOZZI *et al.*, 2011; SOARES *et al.*, 2021).

No Grupo 2 (estações em rosa), foram agrupadas todas as estações dos reservatórios Rio Manso e Serra Azul na profundidade Secchi e a estação SA-E4-Fun. Durante um cenário de estiagem que ocorreu entre 2013 e 2015, o reservatório de Serra Azul foi o mais impactado, chegando ao volume mínimo de 5,7% em dezembro de 2015 (COPASA, 2021). O braço do ribeirão Serra Azul, onde a estação SA-E4-Fun está localizada, foi um dos mais impactados e devido a menor profundidade, pode ter ocorrido maior incidência de luz em toda a coluna d'água, contribuindo para que a estação E4 ficasse agrupada com estações na profundidade Secchi.

Figura 5.7: Dendrograma da Análise de Agrupamento para o banco de dados dos reservatórios do Rio Manso (RM), Vargem das Flores (VF) e Serra Azul (SA), referente ao período de 2003 a 2019 para 11 parâmetros de qualidade de água e 11 classes de uso e cobertura do solo de 38 estações de monitoramento.



A estação SA-E3-Fun, que ficou isolada no dendrograma, está localizada no braço do reservatório que recebe o córrego do Potreiro (SA-E10) e o ribeirão do Diogo (SA-E12), e está a jusante de uma área ocupada por pastagem e infraestrutura urbana do município de Igarapé. Como visto anteriormente, para o parâmetro cor, a estação SA-E10 apresentou mediana acima do limite estabelecido pela legislação (75 mg/L Pt) e pode ser associada aos sólidos dissolvidos presentes nos esgotos domésticos. O córrego Estiva, recebe os efluentes não tratados do município de Igarapé e deságua no ribeirão do Diogo a montante do reservatório e, portanto, pode estar contribuindo para a degradação da qualidade da água na estação SA-E3 (ANA, 2017).

No Grupo 3, estações marcadas em verde claro, foram agrupadas as estações dos afluentes do reservatório de Serra Azul, exceto a estação SA-E9 (em verde escuro). Esta estação já tinha se destacado por apresentar maiores medianas para CE, SDT e ST, além dos maiores percentuais de violação para OD e PT. Essa estação está localizada no ribeirão Serra Azul, que recebe parte dos efluentes domésticos não tradados dos municípios de Mateus Leme e Igarapé (ANA, 2017).

No Grupo 4, estações marcadas em laranja, foram agrupadas todas as estações dos afluentes do reservatório do Rio Manso, portanto, com qualidade de água semelhante entre as estações. A maior parte das violações nessas estações aconteceram para o parâmetro cor, no entanto, isso pode acontecer devido ao solo da região que apresenta óxidos de ferro e manganês, que podem conferir cor ao corpo d´água (VIANA, 2009). As estações RM-E10 e RM-E11 apresentaram os percentuais mais altos de violação para o parâmetro cor, 52% e 40%, respectivamente. Essas estações estão localizadas em uma região de predominância de pastagem e, portanto, com o solo também mais susceptível ao carreamento de sólidos.

As estações do Grupo 5 (em azul claro) e do Grupo 6 (em roxo) correspondem às profundidades de monitoramento no fundo das estações dos reservatórios do Rio Manso e Serra Azul (exceto SA-E3-Fun e SA-E4-Fun).

5.3.4 Análise por Compontentes Principais

A Análise por Componentes Principais (ACP) foi aplicada aos dados padronizados dos parâmetros de qualidade de água e das classes de uso e cobertura do solo aos grupos formados na análise de agrupamentos. As componentes principais (CP) foram extraídos pela diagonalização da matriz de correlação e a Tabela 5.5 e Tabela 5.6 apresentam os resultados,

incluindo os carregamentos (correlação de cada variável com o componente principal) e os autovalores (eigenvalues) dos dois primeiros componentes principais de cada grupo. Em negrito e marcado em vermelho estão indicadas as correlações mais fortes (maiores que 0,75) e marcado em cinza estão os valores de correlação moderada, entre 0,50 e 0,75, em módulo, de acordo com o critério proposto por Liu *et al*. (2003), por serem consideradas as mais importantes para a variância encontrada nos dados, auxiliando na identificação das principais fontes de poluição que atuam sobre a qualidade da água monitorada.

Tabela 5.5: Carga fatorial dos 11 parâmetros de qualidade da água e 11 classes de uso e cobertura do solo nos dois primeiros componentes principais (CP), referentes aos **grupos formados** pela Análise de Agrupamento, nas sub-bacias dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul, no período de 2003 a 2019.

	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4		Grupo 5		Grupo 6	
	CP 1	**CP 2**	**CP 1**	**CP 2**	**CP 1**	**CP 2**	**CP 1**	**CP 2**	**CP 1**	**CP 2**	**CP 1**	**CP 2**
Acid.	-0,07	0,24	0,13	0,09	0,13	0,20	0,37	-0,24	0,40	-0,02	0,37	0,14
CE	**0,89**	-0,09	**0,90**	0,29	0,67	0,21	0,23	0,26	**0,81**	0,08	**0,83**	0,30
Cor	0,28	0,10	0,09	-0,26	-0,05	0,69	0,09	-0,05	0,55	-0,33	0,50	-0,01
PT	0,18	0,41	0,23	0,02	0,29	0,40	0,56	-0,39	0,52	-0,48	0,43	0,23
N-NH_4^+	0,26	-0,34	0,11	-0,02	0,03	0,51	-0,08	0,28	0,35	0,16	0,45	0,20
OD	0,27	0,17	0,15	0,16	0,01	-0,18	0,20	0,10	-0,29	0,38	-0,05	0,18
pH	0,06	0,23	0,50	0,06	0,47	-0,09	0,23	-0,12	-0,10	-0,08	0,26	-0,01
SDT	0,51	0,31	0,36	-0,36	-0,02	0,48	0,14	-0,27	0,09	-0,15	0,48	-0,18
SST	0,13	0,24	-0,09	-0,16	-0,27	**0,81**	0,17	-0,35	0,26	-0,45	0,38	-0,25
ST	0,50	0,39	0,32	-0,22	-0,21	**0,85**	0,19	-0,39	0,33	-0,37	0,54	-0,20
Turb.	0,18	0,23	-0,03	-0,29	-0,27	**0,82**	0,21	-0,25	0,41	-0,40	0,52	-0,20
ForFlo	0,30	0,69	**0,90**	0,27	**0,91**	0,03	**0,94**	0,16	**0,92**	0,23	**0,85**	0,32
ForSav	-0,64	-0,54	**-0,87**	0,42	-0,55	-0,14	-0,69	0,55	**-0,75**	0,37	**-0,83**	0,44
FloPla	0,73	0,39	0,65	0,55	**0,76**	-0,03	**0,78**	0,60	**0,80**	0,57	0,58	0,63
Past	-0,71	0,65	-0,40	-0,73	**-0,83**	0,02	**-0,84**	0,20	**-0,82**	0,08	-0,33	**-0,77**
Agricul	-0,54	0,46	**0,86**	0,35	**0,95**	0,09	**0,94**	0,23	**0,91**	0,31	**0,82**	0,41
MosAgriPas	0,24	0,52	**0,85**	-0,43	0,63	0,10	0,01	**-0,76**	-0,02	-0,68	**0,80**	-0,45
Urbano	**0,87**	-0,45	-0,29	**0,85**	**0,96**	0,04	**0,76**	0,60	**0,78**	0,59	-0,30	**0,85**
NaoVeg	**-0,84**	0,00	0,09	0,69	**0,82**	-0,01	0,05	**0,87**	0,09	**0,85**	0,02	0,73
AfloRoc	-0,68	0,66	0,73	-0,39	-0,04	-0,17	-0,28	**0,77**	-0,40	0,71	0,65	-0,41
Mine	0,00	0,00	**0,93**	-0,28	0,58	0,21	**0,90**	-0,05	**0,90**	0,04	**0,90**	-0,28
Água	**-0,88**	-0,20	**-0,81**	-0,16	**-0,94**	-0,05	**-0,82**	0,02	**-0,86**	0,08	-0,73	-0,24
Autovalores	6,19	3,31	7,19	3,32	7,49	3,63	6,45	3,86	7,84	3,73	7,49	3,63
% de variância explicada	28%	15%	33%	15%	34%	16%	29%	18%	36%	17%	34%	16%
% cumulativo de variância	28%	43%	33%	48%	34%	51%	29%	47%	36%	53%	34%	51%

Negrito e preenchimento vermelho - Correlações fortes (valor absoluto maior que 0,75).
Preenchimento cinza - Correlações moderadas (valor absoluto entre 0,50 - 0,75).

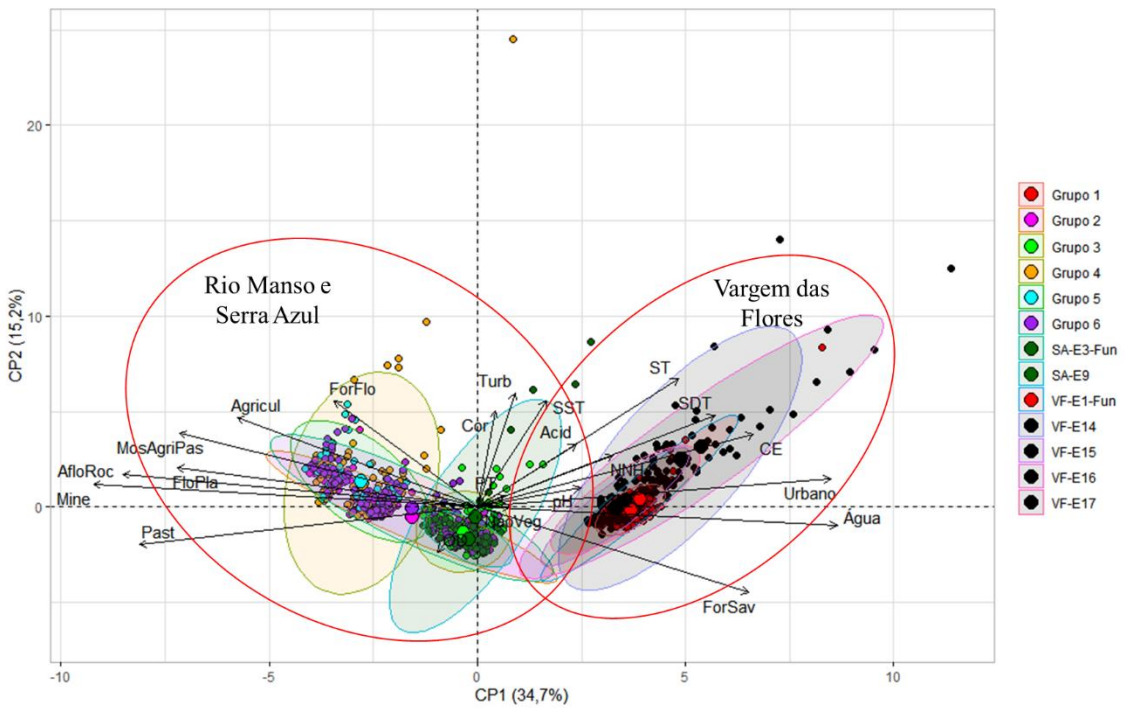
Tabela 5.6: Carga fatorial dos 11 parâmetros de qualidade da água e 11 classes de uso e cobertura do solo nos dois primeiros componentes principais (CP), referentes às **estações isoladas** na Análise de Agrupamento e, nas sub-bacias dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul, no período de 2003 a 2019.

	VF-E1-Fun		VF-E14		VF-E15		VF-E16		VF-E17		SA-E3-Fun		SA-E9	
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2
Acid.	0,14	0,40	0,03	-0,02	0,00	0,30	-0,16	0,37	0,53	0,31	0,67	-0,25	-0,03	0,24
CE	0,68	-0,53	-0,70	0,14	**0,92**	0,19	**-0,88**	0,26	**0,92**	0,17	**0,96**	-0,04	0,37	0,15
Cor	0,22	0,44	0,40	**0,80**	-0,01	0,39	-0,42	0,46	-0,02	0,42	0,19	0,63	-0,45	**0,81**
PT	-0,13	0,16	-0,53	0,32	**0,86**	0,29	-0,65	0,48	0,64	0,60	0,06	0,10	0,40	0,24
$N\text{-}NH_4^+$	0,39	0,07	-0,51	0,17	**0,87**	0,24	-0,57	0,11	0,67	0,48	0,17	0,58	-0,35	0,47
OD	0,03	-0,66	0,38	-0,18	-0,45	-0,31	0,64	-0,55	-0,48	-0,13	-0,29	0,23	0,35	-0,39
pH	0,05	-0,57	0,10	-0,70	0,18	0,38	0,59	0,48	0,01	0,39	-0,26	-0,05	0,39	-0,32
SDT	0,50	0,37	-0,21	0,31	0,54	0,38	-0,33	0,57	0,66	0,62	-0,07	0,07	-0,49	0,68
SST	0,51	0,54	0,54	0,66	0,29	0,42	0,21	0,23	0,06	**0,81**	0,03	0,64	-0,55	**0,77**
ST	0,57	0,51	0,35	0,73	0,56	0,46	-0,20	0,67	0,49	**0,81**	0,15	0,09	-0,56	**0,78**
Turb.	0,53	0,67	0,41	**0,81**	0,25	0,56	-0,20	0,38	-0,03	0,74	0,01	0,70	-0,51	**0,78**
ForFlo	-0,27	-0,58	0,33	-0,42	0,29	0,63	0,29	0,39	-0,15	0,43	**0,91**	0,02	**0,87**	0,25
ForSav	-0,18	0,70	0,13	0,43	-0,48	-0,34	0,17	-0,41	-0,18	-0,16	-0,61	0,65	-0,57	-0,15
FloPla	0,33	-0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,77**	0,40	0,71	0,28
Past	**-0,89**	-0,01	**0,86**	-0,33	-0,46	**0,81**	**0,83**	0,48	-0,68	0,63	**-0,80**	-0,43	**-0,76**	-0,34
Agricul	-0,74	0,05	0,64	-0,10	-0,55	0,56	0,62	0,43	-0,68	0,35	**0,97**	-0,17	**0,88**	0,38
MosAgriPas	-0,27	-0,16	0,58	0,16	-0,43	0,37	0,57	-0,05	-0,54	0,11	0,62	-0,41	0,58	0,36
Urbano	**0,94**	-0,20	**-0,93**	0,20	0,59	-0,75	**-0,91**	-0,32	0,75	-0,60	**0,95**	0,13	**0,89**	0,39
NaoVeg	-0,69	0,38	0,54	-0,18	-0,72	0,35	0,58	0,21	-0,47	0,39	**0,78**	0,35	**0,79**	0,26
AfloRoc	**-0,88**	-0,11	**0,89**	-0,19	-0,37	**0,85**	**0,83**	0,39	-0,71	0,57	0,04	**0,83**	-0,06	-0,03
Mine	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	-0,74	0,57	0,17
Água	-0,56	0,66	0,58	0,12	-0,70	0,09	0,63	-0,24	-0,45	0,26	**-0,92**	-0,07	**-0,89**	-0,31
Autovalores	5,88	4,36	5,88	3,67	5,84	4,56	6,45	3,27	5,68	4,93	7,93	4,12	7,82	4,43
% de variância explicada	27%	20%	28%	17%	27%	21%	29%	15%	27%	23%	36%	19%	36%	20%
% cumulativo de variância	27%	47%	28%	45%	27%	47%	29%	44%	27%	51%	36%	55%	36%	56%

Negrito e preenchimento vermelho - Correlações fortes (valor absoluto maior que 0,75).
Preenchimento cinza - Correlações moderadas (valor absoluto entre 0,50 - 0,75).

Com o objetivo de permitir uma avaliação visual da estrutura dos dados foi construído o gráfico biplot, apresentado na Figura 5.8 para as componentes CP1 e CP2 do conjunto de dados. Os pontos representam as observações projetadas no novo sistema de referência (CP1-CP2) e cada amostra foi colorida com base no agrupamento ao qual foi associada na análise de agrupamentos. As duas primeiras CPs respondem por 34,7% e 15,2%, respectivamente, da variação total no conjunto de dados, representando 49,9% da variação total. As elipses de concentração (ou elipses de dados) delimitam a região de confiança de 95% em torno do valor central dos pontos analisados por grupo.

Figura 5.8: *Biplot* para as componentes CP1 e CP2 considerando os grupos formados na Análise de Agrupamento



Nota: As elipses de concentração (ou elipses de dados) delimitam a região de confiança de 95% em torno do valor central dos pontos analisados.

Embora haja uma sobreposição dos agrupamentos, o gráfico da Figura 5.8 destaca uma tendência potencial de separação das estações do reservatório de Vargem das Flores (Grupo 1) e seus afluentes dos demais grupos. Com o auxílio da Tabela 5.5 e da Tabela 5.6 é possível observar que as amostras coletadas nas estações de Vargem das Flores possuem maior influência (cargas fortes) dos parâmetros CE, Cor, PT, N-NH4+ e Turb. que estão diretamente relacionados à intensificação das atividades antrópicas e aos lançamentos dos efluentes não tratados ou tratados insuficientemente dos municípios de Contagem e Betim, conforme mencionado anteriormente. Em relação às classes de uso e cobertura do solo com cargas fortes

destaca-se a classe de infraestrutura urbana, que apresentou crescimento na sub-bacia do reservatório de Vargem das Flores. Em contrapartida, as classes pastagem, afloramento rochoso e água, apresentaram diminuição de suas áreas.

Para as estações do reservatório de Serra Azul que ficaram isoladas no dendrograma (SA-E9 e SA-E3-Fun) e para o Grupo 3, dos afluentes do reservatório, os parâmetros CE, Cor, SST, ST e Turb. apresentaram maior influência e podem ser relacionados à classe de uso e cobertura do solo predominante na sub-bacia do reservatório de Serra Azul, que é a pastagem. Também se destacam as classes de infraestrutura urbana, agricultura, floresta plantada e formação florestal, que apresentaram crescimento no período analisado, e a classe água que apresentou redução da área ocupada.

Para os grupos com estações do reservatório do Rio Manso, somente o parâmetro condutividade elétrica apresentou carga forte, esse parâmetro pode estar associado ao aumento das atividades agrícolas e à intensificação das atividades antrópicas na sub-bacia. Assim como para a sub-bacia do reservatório de Serra Azul, a classe predominante na sub-bacia do reservatório do Rio Manso é a pastagem e no período monitorado foi verificado o aumento dessa classe, assim como para as classes de infraestrutura urbana, formação florestal, floresta plantada, agricultura, áreas não vegetadas e afloramento rochoso.

A classe de mineração apresentou cargas fortes em estações das sub-bacias dos reservatórios de Serra Azul e Rio Manso e é preciso destacar essa atividade produtiva que ocorre nas sub-bacias e que pode trazer prejuízos para a qualidade da água quando não controlada.

5.4 Conclusões

A sub-bacia do reservatório de Vargem das Flores vêm sofrendo com o intenso crescimento da urbanização e apresentou a qualidade da água mais degradada em comparação às outras sub-bacias. As análises multivariadas indicaram a influência das classes de infraestrutura urbana e mineração na qualidade da água e reforça a influência que essas ações antrópicas possuem nas sub-bacias.

Os parâmetros físicos e químicos da água amostrada nas estações do reservatório de Vargem das Flores apresentam características bastante diferentes das estações dos reservatórios de Serra Azul e Rio Manso, quase sempre indicando pior qualidade. Os parâmetros analisados com maiores percentuais de violações foram cor, oxigênio dissolvido, fósforo total e nitrogênio amoniacal total. Vale citar que os dois últimos apresentaram fortes correlações na Análise por

Componentes Principais, principalmente nas estações do reservatório de Vargem das Flores, assim indicando uma maior relevância para esse reservatório.

Esses parâmetros podem estar relacionados ao processo de degradação do ambiente, devido ao lançamento de esgotos não tratados ou tratados de maneira insuficiente, reforçando a necessidade de melhorias no sistema de esgotamento sanitário dos municípios de Betim e Contagem (Vargem das Flores) e com a implantação do tratamento nos municípios de Igarapé e Mateus Leme (Serra Azul).

Uma vez que os corpos d´água analisados são de fundamental importância para o abastecimento humano da RMBH, são necessárias ações de recuperação das áreas degradadas, bem como a ordenação do uso e cobertura do solo, a fim de garantir a qualidade da água nos afluentes e, consequentemente, dos reservatórios. A gestão dos reservatórios contando apenas com a legislação de proteção ambiental (áreas de proteção especial e ambiental) não tem sido suficiente, uma vez que, principalmente em torno do reservatório de Vargem das Flores, existem ocupações ilegais e turismo descontrolado que tem contribuído para a degradação da qualidade da água dos corpos d´água. Para a manutenção com qualidade dos usos específicos das águas dos reservatórios é necessária atenção à qualidade da água dos tributários que apresentaram valores acima do permitido para diversos parâmetros monitorados.

A aplicação de técnicas multivariadas exploratórias, como análise de agrupamento e análise de componentes principais, permitiu explorar os resultados e compreender melhor os principais parâmetros responsáveis pela variabilidade da qualidade da água e as diferentes fontes de poluição atuantes em cada sub-bacia. No entanto, maiores aprofundamentos não foram possíveis em função da limitação da frequência de amostragem e dos parâmetros amostrados. Recomenda-se, portanto, que o programa de monitoramento tenha a frequência aumentada, além de incluir parâmetros biológicos, a fim de permitir não só uma análise espacial, mas também temporal dos impactos na qualidade da água nos reservatórios.

CAPÍTULO 6: AVALIAÇÃO DO ENQUADRAMENTO DOS CURSOS DE ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAOPEBA

6.1 Introdução

Os dados gerados a partir dos programas de monitoramento de qualidade de água superficial podem ser apresentados de forma simples e consolidada para o público em geral por meio da aplicação de índices de qualidade da água (SUTADIAN *et al.*, 2016). A utilização de índices busca melhorar a compreensão sobre a qualidade da água, integrando dados complexos e gerando uma pontuação que descreve e avalia as tendências dos parâmetros monitorados (CUDE, 2001).

O Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente - CCME WQI foi desenvolvido pelo *Canadian Council of Ministers of Environment* para o acompanhamento da qualidade de água em relação às metas de enquadramento (CCME - CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT, 2006) e compara os valores observados dos parâmetros de qualidade da água com valores de diretrizes ou padrões (HURLEY; SADIQ; MAZUMDER, 2012).

Sutadian *et al.* (2016) revisaram 30 índices e identificaram o CCME-WQI como um dos mais importantes com base na popularidade de seu uso, sendo aplicado em diversos países por apresentar boa flexibilidade na seleção de parâmetros de qualidade da água e mostrar ampla adaptabilidade para acompanhar a qualidade da água de rios, lagos e reservatórios em relação às metas de enquadramento (ALEXAKIS *et al.*, 2016; HURLEY; SADIQ; MAZUMDER, 2012; XIA *et al.*, 2018; YAN *et al.*, 2016).

Na Nigéria, doze parâmetros de qualidade da água foram utilizados para aplicar o CCME WQI em 15 pontos de monitoramento no rio Kaduna, durante os anos de 2016 a 2017. Com base nos resultados obtidos foi possível orientar as agências reguladoras sobre os locais prioritários para verificação das atividades antrópicas que podem estar contribuindo para o não atendimento aos padrões de qualidade da água (OGBOZIGE *et al.*, 2017).

Dados de qualidade da água de doze parâmetros em quatro locais diferentes, ao longo dos anos de 2011 e 2014, do rio Coruh, localizado na Turquia, foram avaliados utilizando o CCME WQI. Os valores obtidos mostraram que a qualidade geral da água da bacia do rio Coruh não está próxima aos níveis naturais ou desejados e associado à técnica multivariada da Análise Discriminante foi possível identificar as principais fontes de poluição que afetam a qualidade da água do rio (BILGIN, 2018).

No Brasil, o CCME WQI é também citado como Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) e foi aplicado por Silva (2017) aos cursos d'água na calha do rio das Velhas, localizado em Minas Gerais. Foram analisados os dados de 2009 a 2015, de onze parâmetros que tiveram o maior percentual de violação aos limites estabelecidos na legislação ambiental. Os resultados obtidos indicaram uma situação de afastamento do enquadramento vigente para a calha do rio das Velhas, apesar de demonstrar melhora gradual no período analisado.

Também na bacia do rio das Velhas, o ICE foi aplicado por Pinto *et al.* (2016) em seis estações de monitoramento localizadas na calha do rio das Velhas. A seleção dos parâmetros utilizados foi realizada utilizando-se Análise Fatorial (AF). Os resultados mostraram que todas as estações de monitoramento analisadas se encontram afastadas dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental para o enquadramento vigente.

O CCME WQI foi aplicado por Amaro e Porto (2009) para avaliação da conformidade ao enquadramento da bacia dos rios Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ), localizada no estado de São Paulo, Brasil, utilizando os dados de qualidade da água provenientes das estações de monitoramento mantidas pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo). O índice foi capaz de indicar se determinado trecho do rio está de acordo com o enquadramento estabelecido. No entanto, assim como na bacia do rio das Velhas, verificou-se que a bacia do PCJ como um todo apresenta sérias dificuldades em se adequar aos enquadramentos estabelecidos para os diversos trechos hídricos que a compõem.

A partir das aplicações apresentadas conclui-se que a análise do CCME WQI permite auxiliar no acompanhamento do comportamento dos parâmetros de qualidade da água dos cursos d´água em relação aos padrões desejados para a utilização da água, além de identificar os pontos que precisam de ações para a melhoria da qualidade da água.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo aplicar o Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME WQI) para a bacia hidrográfica do rio Paraopeba e avaliar a qualidade da água pela variabilidade do índice de conformidade ao enquadramento por ano de monitoramento e por período climático (períodos seco e chuvoso).

6.2 Metodologia

6.2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Paraopeba situa-se na região central do estado de Minas Gerais, na bacia do rio São Francisco, e abrange uma área de 12.054 km², equivalente a 2,5% da área total de Minas Gerais e corresponde à Circunscrição Hidrográfica (CH) – CH SF3: Rio Paraopeba (COBRAPE, 2018; IGAM, 2013).

O rio Paraopeba percorre 550 km da sua nascente no extremo sul da Serra do Espinhaço, município de Cristiano Otoni, até sua foz na Represa de Três Marias, entre os municípios de Pompéu e Felixlândia. Seus principais afluentes da margem direita são: rio Maranhão, rio Pequeri, ribeirão Casa Branca, ribeirão Grande, ribeirão Sarzedo, ribeirão Betim, ribeirão Macacos, ribeirão Cedro, ribeirão São João e na margem esquerda são o rio Brumado, o rio da Prata, o rio Macaúbas, o rio Manso, o ribeirão Serra Azul e o rio Pardo (COBRAPE, 2018; IGAM, 2013).

A bacia é subdividida em Alto, Médio e Baixo Paraopeba (COBRAPE, 2018). Quarenta e oito municípios compõem a bacia, sendo 21 municípios de pequeno porte (até 10.000 habitantes), 17 municípios de médio porte (entre 10.001 a 50.000 habitantes) e 10 municípios de grande porte (acima de 50.001 habitantes). Os municípios com maior densidade demográfica são Betim, Contagem e Ibirité, na região do Médio Paraopeba (IBGE, 2019b).

A região do Alto Paraopeba está totalmente inserido no bioma Mata Atlântica, o Médio Paraopeba, assim como o Baixo Paraopeba, possui regiões na faixa de transição entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado (SISEMA, 2021). Em relação ao uso e cobertura do solo, no Alto e Médio Paraopeba a maior parte do território é composto por pastagem e formação florestal. Enquanto no Baixo Paraopeba as maiores coberturas do solo são pastagem, seguido pela formação savânica e floresta plantada (MAPBIOMAS, 2020a).

As atividades relacionadas com mineração são as mais expressivas no Alto Paraopeba. Enquanto no Médio Paraopeba, há uma rica diversidade industrial e a maior parte dos empreendimentos, com destaque para grandes indústrias dos ramos metalúrgico, automobilístico e petroquímico. Na região do Baixo Paraopeba, as atividades econômicas se relacionam com a extração de água mineral em Papagaios e produção de carvão vegetal para siderúrgicas (SISEMA, 2021).

A Figura 6.1 apresenta a localização da bacia, a subdivisão em Alto, Médio e Baixo Paraopeba e a localização da rede de monitoramento da qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, que conta com 44 (quarenta e quatro) estações que estão descritas na Tabela 6.1.

Figura 6.1: Localização das estações de monitoramento de qualidade de água do Igam na bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

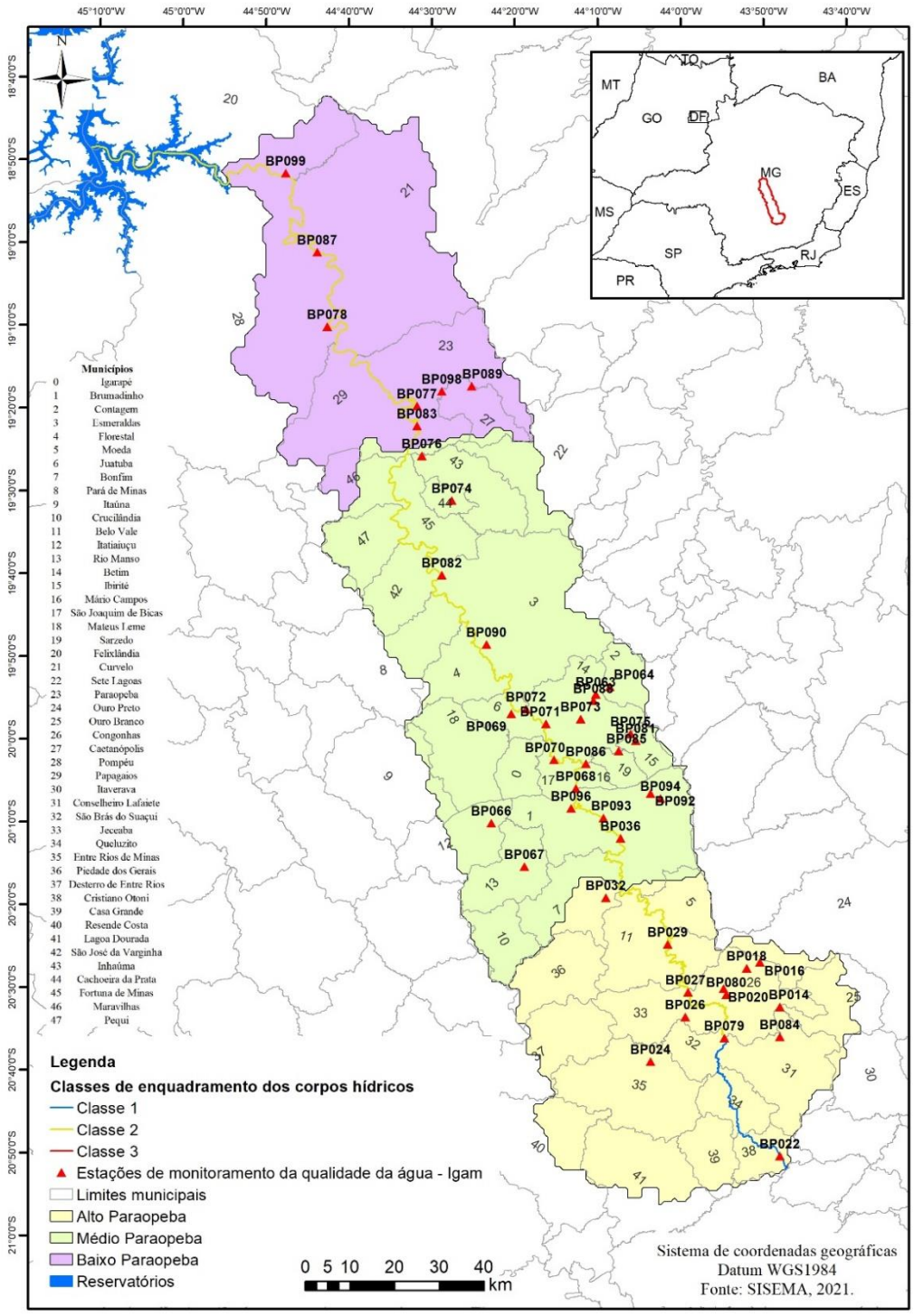


Tabela 6.1: Descrição das estações de monitoramento de qualidade de água do Igam na bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Estação	Município	Curso D'água	Data de Estabelecimento	Classe de Enquadramento
BP014	Congonhas	Ribeirão Soledade	20/07/2015	Classe 3
BP016	Congonhas	Rio Preto	20/07/2015	Classe 1
BP018	Congonhas	Córrego Mãe-D'água	20/07/2015	Classe 2
BP020	Congonhas	Córrego Maria-José	20/07/2015	Classe 2
BP022	Cristiano Otoni	Rio Paraopeba	18/04/2007	Classe 2
BP024	Entre Rios de Minas	Rio Brumado	18/04/2007	Classe 1
BP026	Jeceaba	Rio Camapuã	01/10/1977	Classe 1
BP027	Congonhas, Jeceaba	Rio Paraopeba	01/10/1977	Classe 2
BP029	Belo Vale	Rio Paraopeba	01/05/1978	Classe 2
BP032	Bonfim	Rio Macaúbas	17/04/2007	Classe 1
BP036	Brumadinho	Rio Paraopeba	01/05/1978	Classe 2
BP063	Betim	Rio Betim	30/01/2020	Classe 1
BP064	Contagem	Rio Betim	30/01/2020	Classe 1
BP066	Itatiaiuçu	Rio Veloso	17/04/2007	Classe 2
BP067	Rio Manso	Rio Manso	31/01/2020	Classe 1
BP068	Mário Campos, São Joaquim de Bicas	Rio Paraopeba	01/05/1978	Classe 2
BP069	Juatuba	Ribeirão Serra Azul	16/04/2007	Classe 1
BP070	Betim, São Joaquim de Bicas	Rio Paraopeba	01/05/1978	Classe 2
BP071	Betim, Juatuba	Rio Betim	01/07/1985	Classe 3
BP072	Betim	Rio Paraopeba	01/07/1985	Classe 2
BP073	Betim	Ribeirão das Areias ou Riacho das Pedras	16/04/2007	Classe 2
BP074	Cachoeira da Prata	Ribeirão dos Macacos	16/04/2007	Classe 1
BP075	Ibirité	Córrego Pintado	23/10/2012	Classe 2
BP076	Inhaúma, Paraopeba	Ribeirão São João	01/07/1985	Classe 2
BP077	Papagaios, Paraopeba	Rio Paraopeba	07/11/2019	Classe 2
BP078	Curvelo, Pompéu	Rio Paraopeba	01/07/1985	Classe 2
BP079	Congonhas, Conselheiro Lafaiete, São Brás do Suaçuí	Rio Paraopeba	01/05/1992	Classe 1
BP080	Congonhas	Rio Maranhão	01/05/1992	Classe 2
BP081	Ibirité	Ribeirão Ibirité	23/10/2012	Classe 2
BP082	Esmeraldas, São José da Varginha	Rio Paraopeba	01/05/1992	Classe 2
BP083	Papagaios, Paraopeba	Rio Paraopeba	01/05/1992	Classe 2
BP084	Conselheiro Lafaiete	Rio Maranhão	02/02/2000	Classe 2
BP085	Ibirité	Ribeirão Ibirité	25/01/2013	Classe 2
BP086	Betim, Mário Campos	Ribeirão Sarzedo	02/02/2000	Classe 2
BP087	Curvelo, Pompéu	Rio Paraopeba	06/11/2019	Classe 2
BP088	Betim	Rio Betim	03/02/2000	Classe 1
BP089	Caetanópolis, Paraopeba	Ribeirão do Cedro	07/11/2019	Classe 2
BP090	Esmeraldas	Ribeirão Grande	02/02/2000	Classe 2
BP092	Brumadinho	Ribeirão Casa Branca	03/01/2003	Classe 1
BP093	Brumadinho	Ribeirão Casa Branca	10/07/2019	Classe 2
BP094	Brumadinho	Ribeirão Catarina	03/01/2003	Classe 1
BP096	Brumadinho	Rio Manso	08/08/2005	Classe 2
BP098	Caetanópolis, Paraopeba	Ribeirão do Cedro	08/08/2005	Classe 2
BP099	Felixlândia, Pompéu	Rio Paraopeba	16/04/2007	Classe 2

6.2.2 Organização dos dados para aplicação do Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME WQI) associado à Análise Fatorial

Para que os resultados sejam considerados relevantes para o processo decisório de gestão, é necessária a padronização do cálculo do CCME WQI, com a seleção das variáveis de qualidade da água, da extensão da série de dados, do número mínimo de variáveis e do período da amostragem (influência da sazonalidade nas variáveis), apropriados para o local estudado (CCME, 2017).

Uma vez que é necessário ter no mínimo quatro resultados para cada parâmetro, foram agrupados os dados de monitoramento registrados a cada dois anos (biênios) para a análise ao longo dos anos por estação, em função dos parâmetros com frequência semestral de monitoramento. O uso de amostras maiores melhoram a exatidão e a precisão dos resultados da análise do índice (KHAN; HUSAIN; LUMB, 2003).

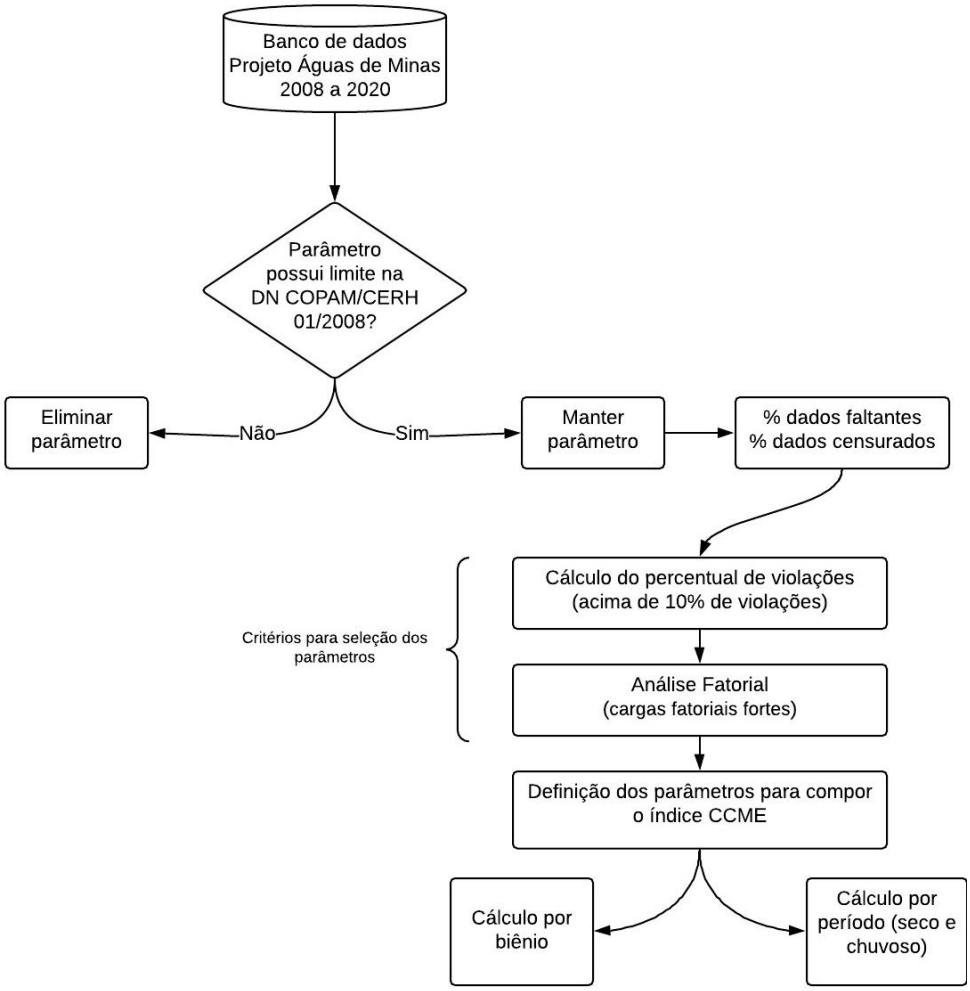
Dessa forma, para a seleção dos parâmetros a serem utilizados foram obtidos os dados do monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Paraopeba junto ao Igam, referente ao Programa Águas de Minas, para o período de 2009 a 2020. O banco de dados é composto por 65 parâmetros físicos, químicos e biológicos, analisados trimestralmente ou semestralmente, em 44 estações de monitoramento instaladas até o ano de 2020 na bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

A Figura 6.2 apresenta a sequência metodológica para a definição dos parâmetros utilizados para o cálculo do índice CCME WQI.

Inicialmente foram excluídos os parâmetros que não possuem limite na legislação ambiental do estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2008). Em seguida, foram eliminados os parâmetros com mais de 50% de dados faltantes, uma vez que as limitações de dados impactam significativamente a análise do índice e geralmente são indicados pelo menos 4 amostras de cada parâmetro para o cálculo (CCME, 2017; KHAN; HUSAIN; LUMB, 2003).

Também foram eliminados os parâmetros que apresentaram mais de 90% de dados censurados (OLSEN; CHAPPELL; LOFTIS, 2012). Os dados censurados são considerados como as observações que apresentam valores acima ou abaixo do Limite de Detecção (LD) do método analítico e quase todos os tipos de análises estatísticas sofrem interferência desse tipo de dado (CHRISTOFARO; LEÃO, 2014).

Figura 6.2: Sequência metodológica para a definição dos parâmetros para compor o índice CCME.



Dessa forma, foi calculado o percentual de violações de cada parâmetro para toda a bacia hidrográfica do rio Paraopeba e aplicada a Análise Fatorial (DEBELS *et al.*, 2005; GAZZAZ *et al.*, 2012; KOÇER; SEVGILI, 2014) com o objetivo de reduzir o número de parâmetros, uma vez que são indicados no mínimo oito e no máximo 20 parâmetros para a aplicação do índice (CCME, 2017).

Para garantir que os diferentes parâmetros tenham pesos iguais na análise os dados foram padronizados por meio de transformação de escala Z para uma média de 0,0 e variância de 1,0 (KOWALKOWSKI *et al.*, 2006). Assim, a análise fatorial foi aplicada a uma matriz de correlação utilizando o método de extração de fatores da análise de componentes principais e o método de rotação *varimax*.

Para especificar o número de fatores a serem extraídos foi utilizado o critério proposto por Kaiser (1960) de reter as componentes com autovalores maiores do que 1 (um). Em seguida, a

partir das cargas (*loadings*), foram identificados os principais parâmetros para compor o índice. Foi utilizada a definição de Liu; Lin e Kuo (2003) para a seleção das cargas significativas, sendo consideradas cargas fortes as maiores que 0,75, moderadas entre 0,75-0,50, e fracas entre 0,50-0,30. Dessa forma, os parâmetros com cargas fatoriais fortes foram selecionados para o cálculo do índice.

Também foram selecionados os parâmetros que apresentam relação com as atividades econômicas predominantes na bacia, como mineração e siderurgia, para compor o índice, como os metais tóxicos arsênio total, chumbo total, cobre dissolvido, mercúrio total, níquel total e zinco total.

Selecionadas as variáveis de qualidade da água e o período da amostragem, procedeu-se efetivamente o cálculo do CCME WQI utilizando o programa MS Excel®. As planilhas foram padronizadas obedecendo-se aos enquadramentos (Classes Especial, 1, 2, 3 ou 4) determinados pela Deliberação Normativa COPAM nº 14, de 28 de dezembro de 1995 (MINAS GERAIS, 1995) que dispõe sobre o enquadramento dos corpos d'água na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, respeitando os limites para as variáveis de qualidade da água estipulados pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, em 05 de maio de 2008 (MINAS GERAIS, 2008).

6.2.3 Cálculo do Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME WQI)

O índice CCME WQI traduz a combinação de três fatores que representam a desconformidade dos parâmetros monitorados em relação aos limites de classe previstos nas legislações ambientais. Os fatores que compõem o CCME WQI são (LEE, 2006):

Fator 1 - Abrangência/Espaço: representa a abrangência das desconformidades, isto é, o número de variáveis de qualidade da água que violaram os limites desejáveis pelo menos uma vez no período de observação.

Fator 2 - Frequência: representa a porcentagem de vezes que as variáveis de qualidade da água estiveram em desconformidade em relação ao número de observações, isto é, aos testes para comparar o valor observado com o padrão (critério) estabelecido.

Fator 3 - Amplitude: representa a quantidade pela qual o valor testado falhou, isto é, a diferença entre o valor observado e o valor desejado de acordo com o padrão de qualidade da água. O

fator F3 é calculado, para cada parâmetro de qualidade, em três etapas:

1) O número de vezes em que a concentração individual é maior que (ou menor que, quando o objetivo é um mínimo), ou seja, quando o valor do teste não deve exceder o objetivo.

2) A reunião dos testes individuais que estão fora da conformidade é calculada somando todas as variações individuais que não atenderam aos objetivos e dividindo pelo número total de testes. Esta variável denominada como a soma normalizada das variações, ou *snv* é calculada da seguinte maneira:

$$snv = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta vi}{Número total de testes}$$

3) O valor de F3 é calculado pela soma normalizada das variações dos objetivos (snv), sendo que estas foram reduzidas a uma variável entre 0 e 100.

$$F3 = \left(\frac{snv}{0{,}01 \times snv \times 0{,}01}\right)$$

O CCME WQI é calculado da seguinte forma:

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1{,}732}\right)$$

O fator de 1,732 é utilizado, pois cada um dos três fatores individuais pode chegar até 100. Isto significa que o comprimento do vetor pode alcançar:

$$\sqrt{\mathrm{F1}^2 + \mathrm{F2}^2 + \mathrm{F3}^2} = \sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = \sqrt{30000} = 173{,}2$$

Logo, a divisão por 1,732 faz com que o comprimento do vetor não exceda a 100 e a segunda parcela do CCME WQI fique limitado ao valor 100:

$$\left(\frac{\sqrt{\mathrm{F1}^2 + \mathrm{F2}^2 + \mathrm{F3}^2}}{1{,}732}\right) = \frac{173{,}2}{1{,}732} = 100$$

Os resultados do índice são divididos em cinco categorias de qualidade da água e são apresentadas da seguinte forma (CCME, 2017):

Ótimo: (95 ≤ CCME WQI ≤ 100) – A qualidade de água está protegida com virtual ausência de impactos. A qualidade da água está muito próxima da condição natural.

Bom: (80 ≤ CCME WQI ≤ 94) – A qualidade da água está protegida, apresentando apenas um pequeno grau de impacto. A qualidade da água raramente se desvia da condição natural ou dos padrões estabelecidos pelo enquadramento.

Regular: (65 ≤ CCME WQI ≤ 79) - A qualidade da água está protegida, mas ocasionalmente ocorrem impactos. A qualidade da água se desvia dos padrões estabelecidos pelo enquadramento.

Ruim: (45 ≤ CCME WQI ≤ 64) - A qualidade da água é frequentemente afetada. Com frequência os parâmetros de qualidade de água não atendem os padrões estabelecidos pelo enquadramento.

Péssimo: (0 ≤ CCME WQI ≤ 44) - A qualidade da água quase sempre está alterada. Os parâmetros de qualidade frequentemente não atendem os padrões estabelecidos pelo enquadramento.

O índice CCME WQI também foi calculado por estação, seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março), para analisar a influência da sazonalidade na qualidade da água. Os resultados são apresentados em forma de gráficos, obtidos com a utilização de planilhas para o cálculo do CCME WQI, permitindo a visualização da evolução temporal do índice de conformidade por ponto de monitoramento da bacia, o comportamento do rio em relação à classe enquadrada e a verificação dos pontos da bacia que precisam de maior controle para atender aos padrões estabelecidos.

A partir da evolução temporal do índice de conformidade para os diversos pontos de monitoramento presentes na bacia foi possível identificar a localização dos pontos da bacia que precisam de maior controle para atender aos padrões estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, em 05 de maio de 2008.

6.3 Resultados e discussão

6.3.1 Organização dos dados para o cálculo do CCME WQI

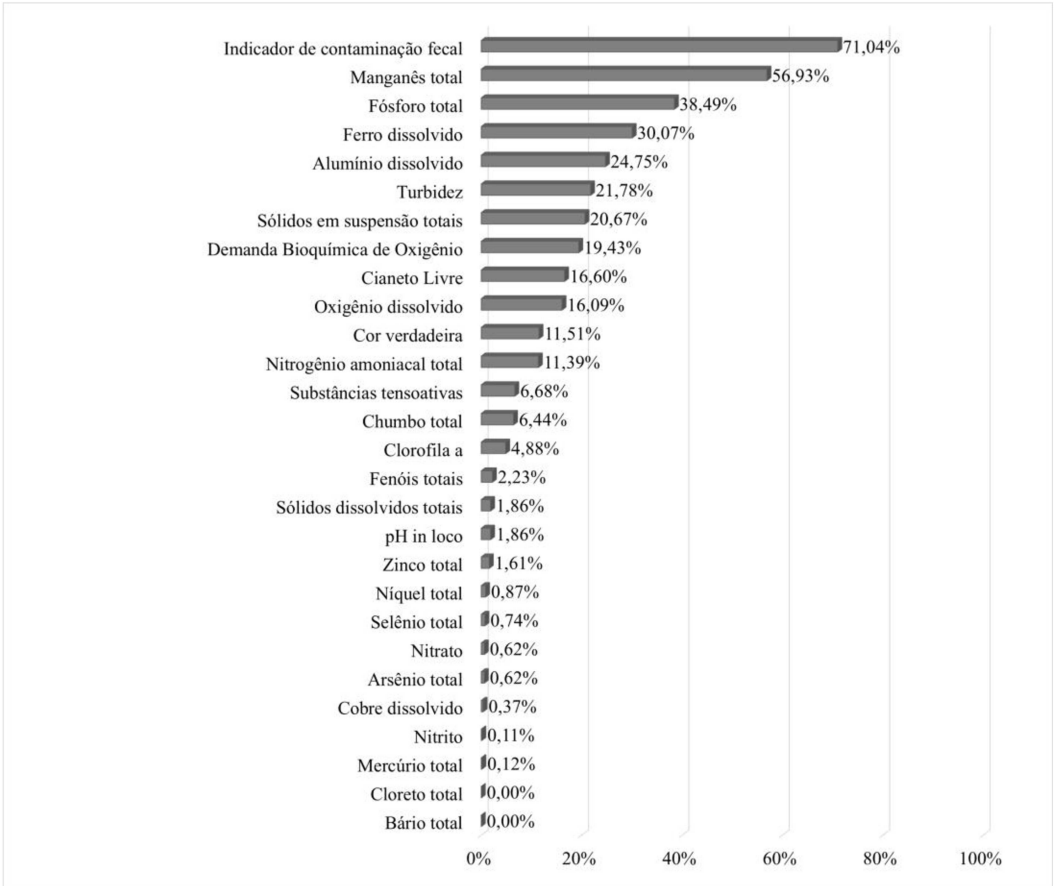
Para a bacia hidrográfica do rio Paraopeba, dos 64 parâmetros de qualidade da água amostrados,

48 possuem limite na legislação. Desses parâmetros foram eliminados 17 que apresentaram mais de 50% de dados faltantes e os parâmetros cádmio total e cromo total por apresentarem 100% e 91% de dados censurados, respectivamente.

O parâmetro sulfeto não foi considerado nas análises por ter o limite de detecção (0,5 mg/L S até o ano de 2011 e 0,01 mg/L S a partir de 2012) acima do limite estabelecido na legislação (0,002 mg/L S para Classe 2). Uma vez que, para o cálculo do índice CCME WQI, utiliza-se a diferença entre o valor observado e o valor desejado de acordo com o objetivo de qualidade da água, o valor da amplitude da violação poderia ser demasiado grande, não representando efetivamente a realidade do curso d´água, comprometendo o resultado do índice.

Dessa forma, restaram 28 parâmetros para compor o índice. O percentual de violação aos limites legais dos parâmetros de qualidade água da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, considerando os dados no período de 2009 a 2020 é apresentado na Figura 6.3. Os parâmetros bário total e cloreto total apresentaram 0% de violações (Figura 6.3) e foram eliminados da análise por não representarem um problema para a qualidade da água.

Figura 6.3: Percentual de violação aos limites legais dos parâmetros de qualidade água da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, considerando os dados no período de 2009 a 2020.



A Análise Fatorial foi aplicada ao conjunto de observações dos parâmetros restantes com o objetivo de reduzir o número de parâmetros preservando o máximo possível da variação geral. Após a padronização dos dados, foi feita a extração e rotação dos eixos de fatores e quatro fatores conseguiram explicar apenas 39,3% da variabilidade total da qualidade da água das estações de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. Apesar da baixa variabilidade explicada pela análise, os parâmetros com correlações mais fortes são fundamentais para a análise da qualidade da água em uma bacia antropizada.

A Tabela 6.2 apresenta os resultados da Análise Fatorial, incluindo os valores das cargas fatoriais de cada parâmetro para cada fator e a variabilidade da qualidade da água explicada por cada fator. Em negrito estão indicadas as correlações mais fortes (maiores que 0,75), em módulo, de acordo com o critério proposto por Liu; Lin e Kuo (2003), por serem consideradas as mais importantes para a variância encontrada nos dados e já sendo selecionadas para compor o índice CCME WQI.

Os parâmetros que apresentaram correlações fortes foram cor verdadeira, nitrogênio amoniacal total, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos totais, sólidos em suspensão totais, substâncias tensoativas e turbidez, sendo selecionados para compor o índice.

Também foram selecionados os parâmetros que apresentaram percentuais de violação acima de 10%: indicador de contaminação fecal, manganês total, fósforo total, ferro dissolvido, alumínio dissolvido, cianeto livre, demanda bioquímica de oxigênio. Na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, destacam-se as atividades relacionadas com mineração e siderurgia uma vez que parte desta está inserida no Quadrilátero Ferrífero (COBRAPE, 2018), portanto também foram incluídos os metais tóxicos arsênio total, chumbo total, cobre dissolvido, mercúrio total, níquel total e zinco total no cálculo do índice.

Tabela 6.2: Resultado da análise fatorial com as cargas obtidas para cada fator dos 26 parâmetros de qualidade da água avaliados na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, MG, no período de 2009 a 2020.

Parâmetros	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Alumínio dissolvido	-0,03	0,51	0,09	0,21
Arsênio total	-0,04	0,52	0,21	0,01
Chumbo total	0,09	0,42	0,11	0,04
Cianeto Livre	0,22	-0,02	0,07	0,24
Clorofila *a*	0,19	-0,01	0,13	0,11
Cobre dissolvido	0,04	0,05	0,00	0,01
Indicador de contaminação fecal	0,51	0,13	-0,05	-0,10
Cor verdadeira	0,06	0,26	0,00	**0,81**
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,71	0,03	0,20	0,01
Fenóis totais	0,21	0,03	0,03	-0,21
Ferro dissolvido	0,22	0,19	-0,11	0,17
Fósforo total	0,72	0,02	0,18	0,06
Manganês total	0,18	0,70	-0,04	-0,04
Mercúrio total	0,05	0,46	-0,08	-0,12
Níquel total	0,04	0,35	0,11	0,20
Nitrato	0,04	0,01	0,74	-0,06
Nitrito	0,12	0,02	0,65	-0,02
Nitrogênio amoniacal total	**0,79**	-0,04	0,27	0,09
Oxigênio dissolvido	**-0,75**	-0,08	-0,12	-0,17
pH *in loco*	0,11	0,00	0,31	0,05
Selênio total	-0,09	0,27	0,66	-0,13
Sólidos dissolvidos totais	0,29	0,09	**0,79**	0,15
Sólidos em suspensão totais	-0,01	**0,90**	0,03	-0,01
Substâncias tensoativas	**0,80**	0,01	0,05	-0,03
Turbidez	-0,06	**0,83**	0,03	0,10
Zinco total	0,17	0,07	0,22	0,13
Autovalores	3,5	3,3	2,5	1,0
Variabilidade (%)	134	12,5	9,5	3,9
% acumulada	13,4	25,9	35,4	39,3

Negrito - Correlações fortes (valor absoluto maior que 0,75)

Sendo assim, a Tabela 6.3 apresenta os 20 parâmetros selecionados, suas respectivas notações de referência, unidades e valores máximos permitidos para as classes de enquadramento para o cálculo do índice de qualidade da água CCME WQI.

Tabela 6.3: Nome, notação de referência, unidade e valores máximos permitidos para as classes de enquadramento dos parâmetros selecionados para o cálculo do índice de qualidade da água.

Parâmetro	Notação de referência	Unidade	Valores máximos permitidos		
			Classe 1	Classe 2	Classe 3
Alumínio dissolvido	Al_{diss}	mg/L Al	0,1	0,1	0,2
Arsênio total	As_T	mg/L As	0,01	0,01	0,033
Chumbo total	Pb_T	mg/L Pb	0,01	0,01	0,033
Cianeto livre	CN^-	mg/L CN	0,005	0,005	0,022

Tabela 6.4: Nome, notação de referência, unidade e valores máximos permitidos para as classes de enquadramento dos parâmetros selecionados para o cálculo do índice de qualidade da água (Continuação).

Parâmetro	Notação de referência	Unidade	Valores máximos permitidos		
			Classe 1	Classe 2	Classe 3
Cobre dissolvido	Cu_{diss}	mg/L Cu	0,009	0,009	0,013
Cor verdadeira	Cor	UPt	-	75	75
Demanda bioquímica de oxigênio	DBO	mg/L O_2	3	5	10
Ferro dissolvido	Fe_{diss}	mg/L Fe	0,3	0,3	5
Fósforo total	P_T	mg/L P	0,1	0,1	0,15
Indicador de contaminação fecal	ICF	NMP/100 mL	200	1000	4000
Manganês total	Mn_T	mg/L Mn	0,1	0,1	0,5
Mercúrio total	Hg_T	µg/L Hg	0, 2	0,2	2
Níquel total	Ni_T	mg/L Ni	0,025	0,025	0,025
Nitrogênio amoniacal total	$N\text{-}NH_4^+$	mg/L N	3,7: pH ≤ 7,5 2,0: 7,5<pH≤8,0 1,0: 8,0<pH≤8,5 0,5: pH > 8,5	3,7: pH ≤ 7,5 2,0: 7,5<pH≤8,0 1,0: 8,0<pH≤8,5 0,5: pH > 8,5	13,3: pH ≤ 7,5 5,6: 7,5<pH≤8,0 2,2: 8,0<pH≤8,5 1,0: pH > 8,5
Oxigênio dissolvido	OD	mg/L O_2	>6	>5	>4
Sólidos dissolvidos totais	SDT	mg/L	500	500	500
Sólidos em suspensão totais	SST	mg/L	50	100	100
Substâncias tensoativas	MBAS	mg/L LAS	0,5	0,5	0,5
Turbidez	Turb.	NTU	40	100	100
Zinco total	Zn_T	mg/L Zn	0,18	0,18	5

Fonte: Minas Gerais (2008).

Como os parâmetros alumínio dissolvido, arsênio total, chumbo total, cianeto livre, mercúrio total, níquel total, substâncias tensoativas e zinco total são amostrados semestralmente na maioria das estações avaliadas, o cálculo do índice foi realizado para biênios, para garantir as 4 amostras mínimas de cada parâmetro, sendo assim só foram analisadas as amostras do primeiro e terceiro trimestre (CCME, 2017; IGAM, 2014).

Para as estações BP063, BP064, BP067, BP077, BP087, BP089 e BP093 não foi possível calcular o índice pois não havia dados suficientes, uma vez que as estações foram instaladas recentemente (2019 e 2020).

6.3.2 Cálculo do índice CCME WQI

Inicialmente, o índice CCME WQI foi calculado para os biênios 2009-2010, 2011-2012, 2013-2014, 2015-2016, 2017-2018 e 2019-2020 para as estações de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, de acordo com o período de dados disponível para cada estação. A Tabela 6.5 contém os resultados do índice CCME WQI obtidos. Os valores do CCME WQI nos biênios variaram entre 29,40 na estação BP073 (Médio Paraopeba) e 97,02 na estação BP092 (Médio Paraopeba), ambas situações no biênio 2013-2014.

Tabela 6.5: Índice CCME WQI por estação obtidos por biênio, aplicado ao banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Estação	Classe de enquadramento	2009-2010	2011-2012	2013-2014	2015-2016	2017-2018	2019-2020
BP014	Classe 3					71,40	87,79
BP016	Classe 1					55,21	55,24
BP018	Classe 2					90,21	92,62
BP020	Classe 2					84,70	72,42
BP022	Classe 2	65,10	56,81	71,99	67,15	68,39	67,44
BP024	Classe 1	45,73	41,80	41,99	40,27	47,39	47,81
BP026	Classe 1	49,43	48,98	54,05	44,91	48,92	48,83
BP027	Classe 2	58,94	52,92	68,37	60,11	59,87	65,25
BP029	Classe 2	59,87	66,78	78,08	64,36	76,68	71,81
BP032	Classe 1	71,17	56,01	72,74	52,77	79,19	71,10
BP036	Classe 2	59,62	76,11	78,05	69,79	77,02	76,89
BP066	Classe 2	71,78	70,83	74,72	68,82	68,28	57,56
BP068	Classe 2	73,16	74,26	76,27	63,59	80,79	62,97
BP069	Classe 1	41,83	40,01	39,58	47,82	52,77	51,91
BP070	Classe 2	62,13	69,36	75,94	59,67	65,07	57,83
BP071	Classe 3	43,84	66,90	60,73	68,82	59,76	60,83
BP072	Classe 2	48,23	61,28	62,13	63,96	59,03	50,62
BP073	Classe 2	31,58	33,38	29,40	36,64	45,87	46,46
BP074	Classe 1	44,16	44,56	37,04	37,20	39,41	43,01
BP075	Classe 2			48,16	57,18	51,84	51,30
BP076	Classe 2	54,93	83,29	97,00	80,95	74,54	84,21
BP078	Classe 2	64,54	78,68	76,62	79,76	70,59	74,71
BP079	Classe 1	72,77	75,87	63,43	50,67	84,08	51,68
BP080	Classe 2	46,63	48,07	48,70	34,94	54,68	45,72
BP081	Classe 2			36,58	41,56	44,45	36,51
BP082	Classe 2	68,25	84,71	90,47	71,39	67,27	71,53
BP083	Classe 2	63,64	81,49	90,77	66,24	74,28	76,76
BP084	Classe 2	44,36	43,77	38,07	42,58	44,34	44,10
BP085	Classe 2			59,63	70,46	73,48	68,97
BP086	Classe 2	50,96	44,89	53,29	42,37	51,49	42,23
BP088	Classe 1	78,68	78,74	85,26	71,09	71,34	75,84
BP090	Classe 2	61,69	49,78	77,60	75,08	67,79	69,31
BP092	Classe 1	95,08	88,35	97,02	94,03	89,44	88,08
BP094	Classe 1	92,32	89,26	96,28	86,30	92,07	88,04
BP096	Classe 2	63,67	52,40	51,97	46,27	57,73	59,91
BP098	Classe 2	51,65	61,18	56,89	62,62	57,24	49,46
BP099	Classe 2	64,59	94,74	93,88	94,00	84,86	83,12

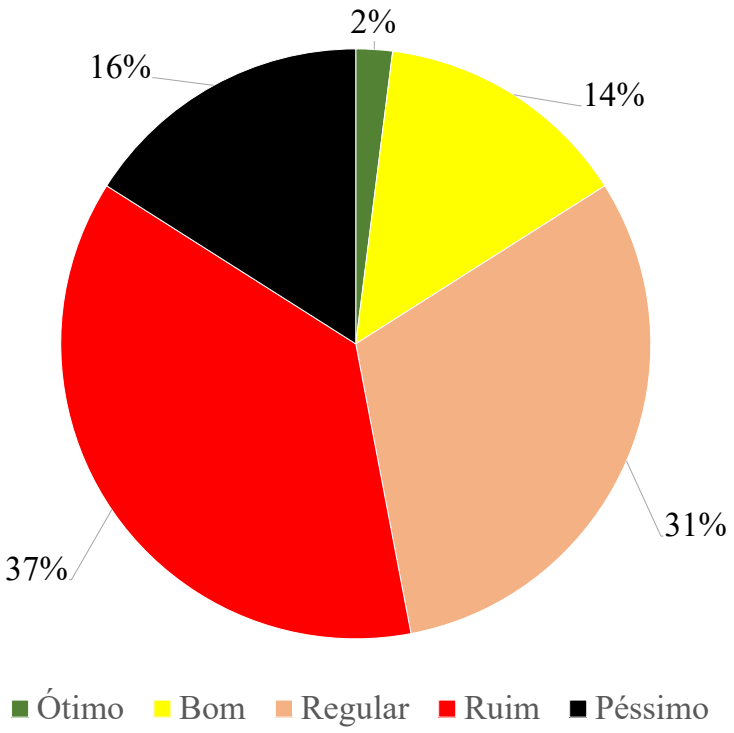
Classes do CCME WQI:

- Ótimo: (95 ≤ CCME WQI ≤ 100)
- Bom: (80 ≤ CCME WQI ≤ 94)
- Regular: (65 ≤ CCME WQI ≤ 79)
- Ruim: (45 ≤ CCME WQI ≤ 64)
- Péssimo: (0 ≤ CCME WQI ≤ 44)

Dos 200 valores do índice calculados, três estações de monitoramento, no biênio 2013-2014 (BP076, BP092 e BP094 - Médio Paraopeba), foram classificadas com CCME WQI Ótimo, sendo que a estação BP092 também apresentou o CCME WQI Ótimo no biênio 2009-2010.

Na Figura 6.4 é possível observar a frequência de ocorrência do CCME WQI na bacia para os biênios analisados. Apenas 2% dos valores do índice calculados foram classificados como Ótimo. Como Bom foram classificados 14% dos valores do índice, indicando que a qualidade da água raramente se desviou da condição natural ou dos padrões estabelecidos pelo enquadramento. No entanto, as classes Regular e Ruim apresentaram 31% e 37%, respectivamente, dos valores do índice calculados, indicando que a qualidade da água se desvia dos padrões estabelecidos pelo enquadramento, às vezes com muita frequência.

Figura 6.4: Frequência de ocorrência do CCME WQI Na bacia hidrográfica do rio Paraopeba para os biênios analisados.



Por fim, 16% dos valores do índice foram classificados como Péssimo, frequentemente não atendendo os padrões estabelecidos pelo enquadramento. Essa situação demonstra a qualidade degradada da bacia hidrográfica do rio Paraopeba quando comparados os parâmetros de qualidade da água com os níveis de qualidade exigidos pelo enquadramento, uma vez que mais da metade dos valores do índice calculados estão nas classes Ruim e Péssimo.

As estações BP092 (Ribeirão Casa Branca - Brumadinho) e BP094 (Ribeirão Catarina - Brumadinho), ambas no Médio Paraopeba, podem ser consideradas com melhor qualidade da água, já que apresentaram valores do índice variando de Ótimo a Bom (Tabela 6.2) e como são enquadradas na Classe 1, apresentam requisitos de qualidade da água ainda mais exigentes que as demais estações. Ambas estações já foram apontadas como as menos impactadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba (CALAZANS *et al.*, 2018b; SOARES, 2017; SOARES; PINTO; OLIVEIRA, 2020).

As estações BP092 e BP094 estão localizadas no Médio Paraopeba, no município de Brumadinho, e nas áreas de drenagem das estações estão localizadas diferentes unidades de conservação de uso sustentável, como a Área de Proteção Ambiental (APA) Estadual Sul RMBH (Região Metropolitana de Belo Horizonte) e a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Ville Casa Branca, e de proteção integral, como o Parque Estadual da Serra do Rola Moça. Parte do território abrangido pela área de drenagem das estações também é protegido pela Área de Proteção Especial (APE) Estadual Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Catarina, Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço e Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (SISEMA, 2021). Portanto, a melhor conservação dos recursos hídricos nessas estações pode ser justificada pela presença dessas áreas de proteção e conservação dos recursos naturais.

Em contrapartida, a estação BP074 (Ribeirão dos Macacos - Cachoeira da Prata), no Médio Paraopeba, também enquadrada como Classe 1, apresentou valores do índice na classe Péssimo em todos os biênios, revelando que os parâmetros de qualidade frequentemente não atendem aos padrões estabelecidos pelo enquadramento. Na área de drenagem dessa estação de monitoramento, localizada no Médio Paraopeba, não existe nenhuma área de proteção ambiental e os dados do Mapbiomas revelam que no ano de 2019 a maior parte do território era ocupado pela classe de uso e ocupação da terra de Pastagem (MAPBIOMAS, 2020a; SISEMA, 2021).

Além disso, os esgotos domésticos dos municípios de Cachoeira da Prata e Fortuna de Minas são lançados no ribeirão Macacos sem tratamento, representando uma carga de DBO de aproximadamente 242,5 kg/dia (ANA, 2017). As concentrações de DBO amostradas na estação BP074 variaram entre 2 e 6,5 ml/L, indicando que o curso d´água nem sempre apresenta capacidade de autodepuração suficiente para que não ocorram violações aos limites preconizados pela legislação para o parâmetro (3mg/L). O estudo desenvolvido por Soares;

Pinto; Oliveira (2020) já havia identificado essa estação como crítica, por estar entre as estações que apresentaram as maiores medianas para o parâmetro indicador de contaminação fecal ao longo da série histórica de 2008 a 2015. Dessa forma, algumas medidas que podem ser importantes para a melhoria da qualidade da água no trecho seriam o tratamento eficiente dos esgotos domésticos dos municípios de Cachoeira da Prata e Fortuna de Minas, além da criação de áreas de proteção, para recuperar as condições desejadas para o curso d´água e atender ao enquadramento.

Outra estação que apresentou a classe Péssimo para os valores do índice em todos os biênios avaliados foi a BP084 (Rio Maranhão – Conselheiro Lafaiete), no Alto Paraopeba, enquadrada na Classe 2, no Alto Paraopeba. O rio Maranhão recebe parte dos efluentes não tratados do município de Conselheiro Lafaiete, e tem como afluente o ribeirão Bananeiras, que recebe os efluentes tratados na ETE Bananeiras e outra parcela de efluentes não tratados do município de Conselheiro Lafaiete (ANA, 2017). A estação BP084 também já foi identificada como uma das estações mais impactadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba (SOARES, 2017).

Além disso, na área de drenagem da estação BP084, destacam-se as atividades industriais dos ramos têxtil e químico, a se destacar a fabricação de tintas (SISEMA, 2021). Os efluentes dessas atividades geralmente apresentam alta coloração, turbidez, sólidos em suspensão, forte odor e contêm altas cargas de substâncias químicas orgânicas e tóxicas (ABOULHASSAN *et al.*, 2014; DA SILVA *et al.*, 2016; VERMA; DASH; BHUNIA, 2012). Dessa forma, o lançamento desses efluentes diretamente nos corpos de água pode gerar impactos graves para a vida aquática, uma vez que a alta coloração impede a penetração da luz, prejudicando o processo de fotossíntese, além de conter substâncias tóxicas para os seres vivos (ABOULHASSAN *et al.*, 2014).

Todas as amostras analisadas para o parâmetro oxigênio dissolvido na estação BP084 apresentaram concentrações em desconformidade com a legislação, ou seja, estavam abaixo de 5 mg/L. Também foram identificadas violações para o parâmetro cianeto em 25% das amostras (valores acima de 0,005 mg/L), esse parâmetro é altamente tóxico e concentrações maiores que 0,005 mg/L podem causar impactos negativos para o uso na recreação de contato primário, irrigação de hortaliças e na reprodução de peixes (RAMZY, 2014).

Assim, a implantação de um tratamento eficiente dos esgotos domésticos do município de Conselheiro Lafaiete, pode ser importante para a melhoria da qualidade da água no trecho.

Destaca-se que mesmo o rio Maranhão sendo um dos principais afluentes do rio Paraopeba, situado na região do Alto Paraopeba, não existe nenhuma unidade de conservação nessa região.

A estação de monitoramento BP081, localizada no ribeirão Ibirité, no município de mesmo nome, no Médio Paraopeba, também apresentou valores do índice CCME WQI na classe Péssimo em todos os biênios avaliados (monitoramento iniciado em 2013). A estação está enquadrada na Classe 2 e no Médio Paraopeba. Dos 20 parâmetros analisados, 14 apresentaram violações, com destaque para ICF, DBO, P_T e NNH_4^+, que apresentaram mais de 80% de violações no período analisado, e estão associados ao lançamento de esgotos domésticos sem tratamento e aos impactos da criação de animais.

A classe de uso e ocupação da terra Infraestrutura Urbana predomina em mais de 30% do território da área de drenagem dessa estação e como pode ser visto na Figura 6.5, o ribeirão Ibirité apresenta ocupação humana próxima de suas margens, não respeitando o limite da APP, importante para a preservação dos recursos hídricos e proteção do solo aos efeitos erosivos.

Figura 6.5: Registro fotográfico das regiões (a) a montante e (b) a jusante da estação de monitoramento BP081 no município de Ibirité.

(a) Montante **(b) Jusante**

Fonte: Igam, 2020.

Também existe na área de drenagem da estação uma indústria de abate de bovinos. Os efluentes desse tipo de indústria caracterizam-se, principalmente, por alta carga orgânica, alto conteúdo de gordura, flutuações de pH, altos conteúdos de nitrogênio, fósforo e sal e flutuações de temperatura (PACHECO; YAMANAKA, 2006). Como citado anteriormente os parâmetros DBO, P_T e NNH_4^+ apresentaram violações no ponto de monitoramento que também podem estar associados aos efluentes lançados por essa indústria.

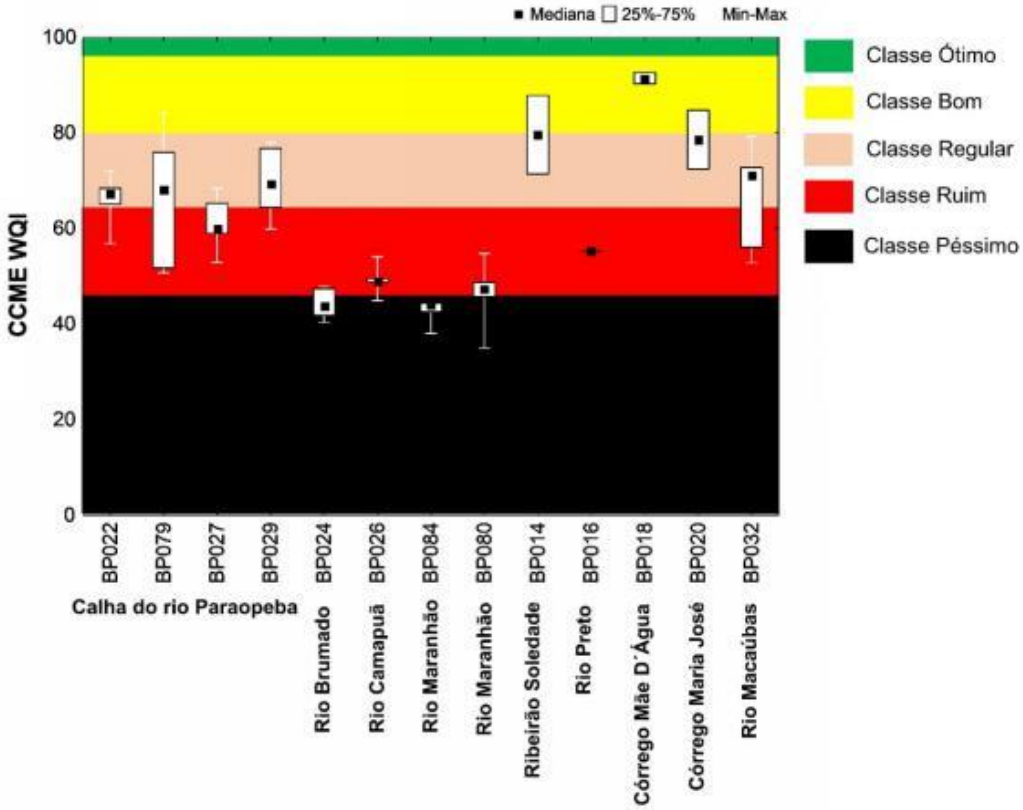
Desta forma, algumas medidas que podem ser importantes para a melhoria da qualidade da água no trecho seriam o tratamento dos esgotos domésticos do município de Ibirité, o controle dos efluentes industriais lançados no ribeirão Ibirité, bem como a recuperação das margens do curso d´água.

6.3.3 Índice CCME WQI por regiões da bacia hidrográfica do rio Paraopeba

Alto Paraopeba

Como pode ser visto na Figura 6.6, no Alto Paraopeba, as estações com parâmetros de qualidade que frequentemente não atendem aos padrões estabelecidos pelo enquadramento (menores medianas do CCME WQI) se encontram nos rios Brumado (BP024 - Classe 1) e Maranhão (BP084 - Classe 2). Ambas as estações estão próximas às cabeceiras dos cursos d´água e apresentam vazões menores que as demais, dessa forma, a menor capacidade de autodepuração pode estar influenciando na qualidade dos corpos d´água. Segundo Rodrigues (2005), para a gestão adequada dos recursos hídricos, é necessário considerar de forma articulada o enquadramento em classes de uso, o regime de vazão e a capacidade de autodepuração do corpo hídrico.

Figura 6.6: Índice CCME WQI, por estação do Alto Paraopeba no período de 2009 a 2020.



A estação BP084 se destacou não só no Alto Paraopeba como em toda a bacia hidrográfica, como citado anteriormente. Essa estação tem a qualidade da sua água afetada pelos lançamentos dos efluentes sanitários e industriais do município de Conselheiro Lafaiete.

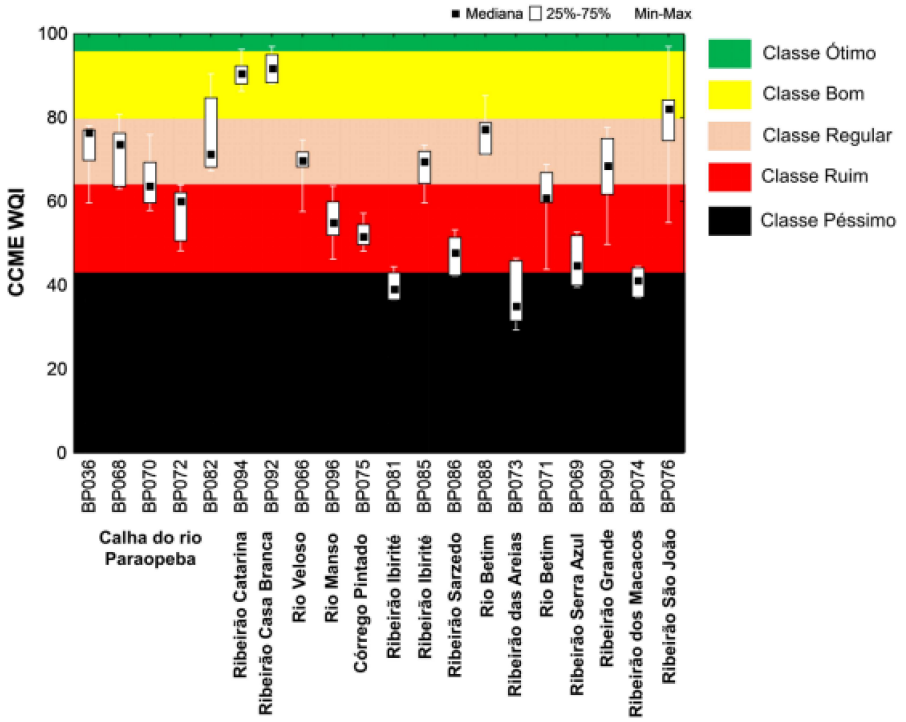
A estação BP024, está localizada a jusante do município de Entre Rios de Minas que lança seus efluentes domésticos sem tratamento no rio Brumado (ANA, 2017), o que prejudica a qualidade da água, principalmente, em relação ao parâmetro ICF, que teve 96% de violações no período analisado, problema já identificado anteriormente (IGAM, 2019a; SOARES; PINTO; OLIVEIRA, 2020).

Das estações localizadas na calha do rio Paraopeba, a BP027 foi a que apresentou menores valores do índice com maior frequência. Essa estação está localizada a jusante da foz dos rios Brumado e Maranhão, dessa forma a qualidade do rio sofre influência desses afluentes.

Médio Paraopeba

No Médio Paraopeba, como pode ser visto na Figura 6.7, as estações em que os parâmetros de qualidade frequentemente não atenderam aos padrões estabelecidos pelo enquadramento se encontram nos ribeirões Ibirité (BP081 - Classe 2), Areias (BP073 – Classe 2) e dos Macacos (BP074 - Classe 1).

Figura 6.7: Índice CCME WQI, por estação do Médio Paraopeba no período de 2009 a 2020.



Como citado anteriormente, a qualidade da água da estação de monitoramento BP081 pode estar sendo influenciada pelo tratamento dos efluentes sanitários e industriais do município de Ibirité. Enquanto a estação BP074 recebe os esgotos domésticos sem tratamento dos municípios de Cachoeira da Prata e Fortuna de Minas.

A estação de monitoramento BP073, já foi identificada como uma das mais impactadas da bacia hidrográfica do rio Paraopeba em trabalhos anteriores (CALAZANS *et al.*, 2018b; SOARES; PINTO; OLIVEIRA, 2020). Dos 20 parâmetros que compõem o índice, 14 apresentaram violações, sendo que ICF, DBO e P_T tiveram 100% de violações, $N\text{-}NH_4^+$ apresentou 88% de violações e 83% das amostras de OD estavam em desconformidade com a legislação. Mesmo apresentando 75,3% de esgoto coletado e com tratamento (ANA, 2017), a qualidade dos cursos d´água próximos ao município de Betim são fortemente impactados, seja pela não universalização do tratamento, seja pelo tratamento insuficiente das ETEs do municípios.

Além disso, a estação BP073 está localizada a jusante da sede urbana do município de Betim e apresenta a maior parte do solo (41,83%) ocupado pela tipologia Infraestrutura Urbana (MAPBIOMAS, 2020a), apresentando alta densidade populacional (IBGE, 2019b).

A qualidade da água nessa estação também é negativamente influenciada pelos lançamentos de efluentes industriais dos ramos alimentício e têxtil do município de Betim (IGAM, 2019a). No período analisado, os parâmetros chumbo total e zinco total apresentaram 17% de violação, alumínio dissolvido 21% e cianeto livre 38% de violação, indicando a possível contaminação das águas pelos efluentes industriais.

Cabe destacar que a estação BP071, localizada a jusante da estação BP073, apresentou valores do índice nas classes Ruim e Regular, no entanto, esta estação está enquadrada como Classe 3, portanto apresenta limites mais permissíveis para os parâmetros analisados. Os mesmos estudos que apontam a estação BP073 como uma das mais impactadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, também discutem a péssima qualidade da água degradada no rio Betim (CALAZANS *et al.*, 2018b; SOARES; PINTO; OLIVEIRA, 2020).

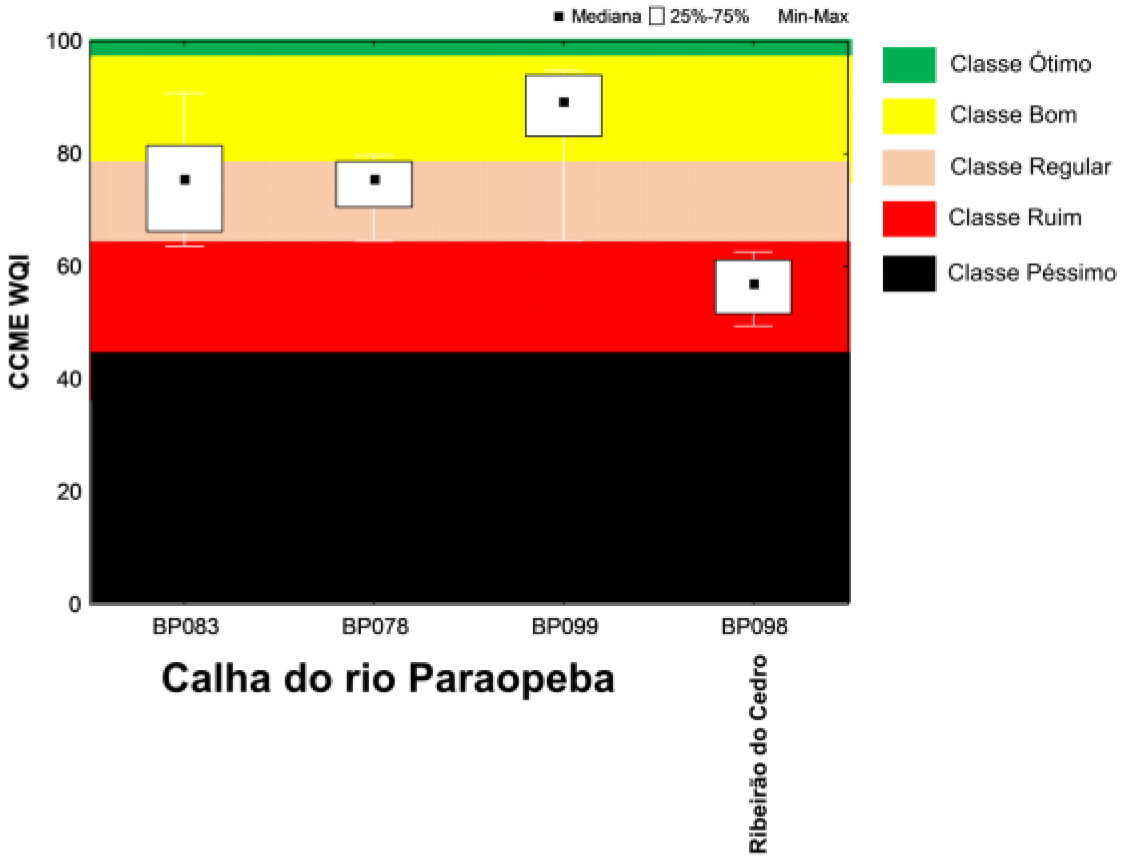
Das estações localizadas na calha do rio Paraopeba, a BP072 foi a que apresentou os menores valores do índice com maior frequência. Essa estação está localizada a jusante da foz do rio Betim, que como visto apresentou qualidade da água com elevados níveis de deterioração e em desconformidade com os limites estabelecidos pela legislação para as classes de

enquadramento.

Baixo Paraopeba

No Baixo Paraopeba (Figura 6.8), a única estação em um afluente no rio Paraopeba, localizada no ribeirão do Cedro (BP098 - Classe 2) foi a única que apresentou os menores valores do índice. Assim como identificado nas outras regiões, geralmente os afluentes apresentam piores condições de qualidade de água, seja pela menor vazão, logo menor capacidade de autodepuração, seja pelo recebimento direto dos efluentes dos municípios que cortam.

Figura 6.8: Índice CCME WQI, por estação do Baixo Paraopeba no período de 2009 a 2020.



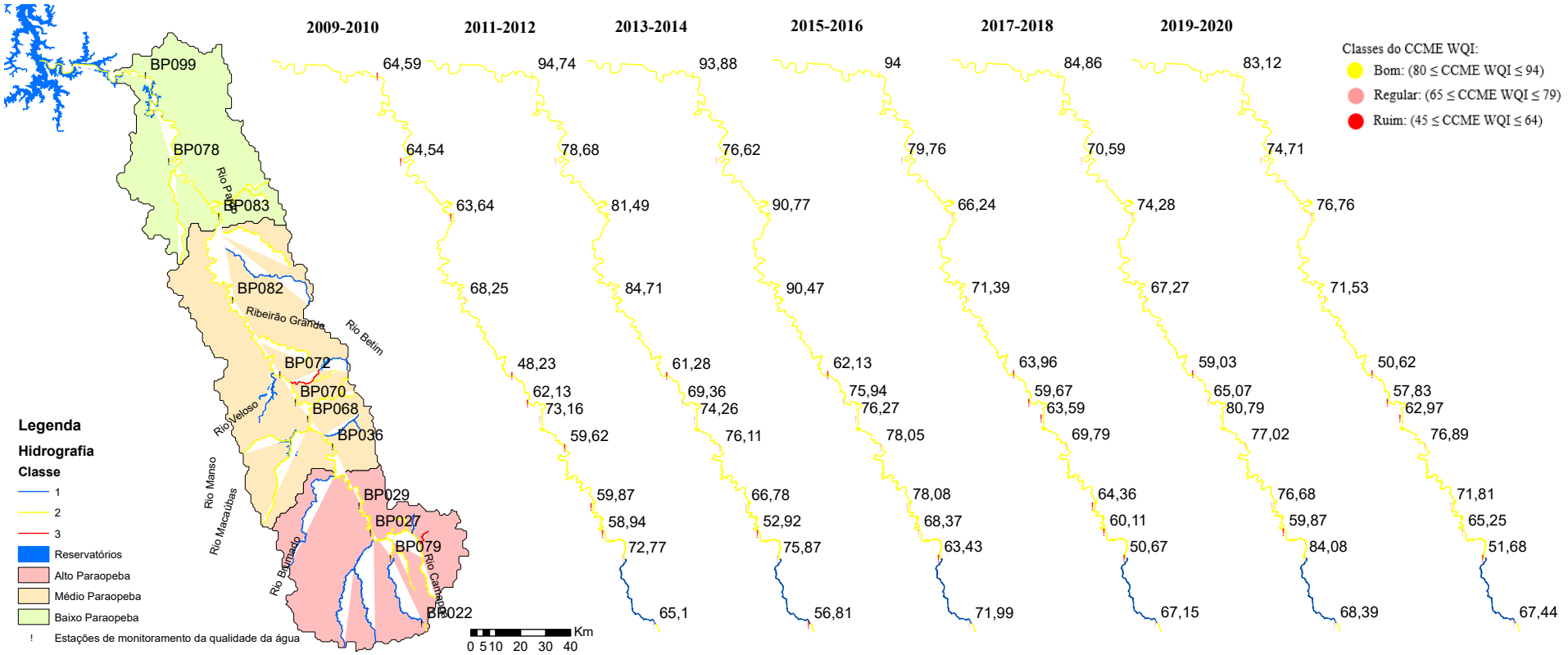
A estação BP098 está localizada na foz do ribeirão do Cedro no rio Paraopeba, em Caetanópolis, no Baixo Paraopeba. O ribeirão do Cedro recebe os efluentes tratados e não tratados dos municípios de Caetanópolis e Paraopeba (ANA, 2017), o que pode contribuir com a degradação da qualidade da água no ribeirão. Além disso, foram identificadas atividades de abate de animais e agrossilvipastoris na região (SISEMA, 2021). Os parâmetros com maiores violações nessa estação foram PT (96%), OD (83%), MnT (67%), NNH4+ (42%), ICF (42%) e DBO (42%).

Calha do rio Paraopeba

De uma forma geral, os resultados do CCME WQI para a calha do rio Paraopeba, que refletem uma situação global de toda a bacia, indicam uma condição de afastamento do enquadramento vigente, apesar do indicativo de melhora em alguns períodos. Metade dos resultados revelam que a qualidade da água está protegida, mas ocasionalmente ocorrem impactos, com desvios aos padrões estabelecidos pelo enquadramento.

A Figura 6.9 permite acompanhar a evolução espaço-temporal dos resultados obtidos do índice CCME WQI nos pontos localizados na calha do rio Paraopeba.

Figura 6.9: Evolução temporal do CCME WQI na calha do rio Paraopeba.



Os resultados considerados “bons” foram observados nas estações BP079, BP082, BP083 e BP099, sendo que somente nesta última estação a qualidade da água raramente se desviou dos padrões estabelecidos pelo enquadramento na maior parte do tempo analisado.

A estação BP099 está localizada a montante da foz do rio Paraopeba no reservatório de Três Marias e a jusante do reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Retiro Baixo, que vem operando comercialmente desde março de 2010 e possui um reservatório com área inundada de 22,58 km² (FURNAS, 2020). A melhoria da qualidade da água na estação BP099 pode ser observada justamente após o início das operações da UHE, com o CCME WQI passando da Classe Ruim (64,59) no biênio 2009-2010 para a Classe Bom (94,74) no biênio 2011-2012. No entanto, é necessário ressaltar que no restante do período analisado, mesmo mantendo-se na Classe Bom, os valores do índice diminuíram, alertando para a degradação da qualidade ao longo dos anos.

A estação BP079, localizada no Alto Paraopeba, está enquadrada na Classe 1, e apresentou o índice na classe Bom no biênio 2017-2018, no entanto, a qualidade da água nos outros anos avaliados se mostrou Regular ou Ruim. Nesse trecho, o rio Paraopeba recebe os efluentes tratados do município de Queluzito, que opera com um sistema de reatores anaeróbios (ANA, 2017). O parâmetro fósforo total apresentou apenas 8% de violações no período analisado, no entanto para ICF foram 92% de violações, indicando a necessidade de aprimoramento do tratamento para garantir a remoção do indicador de contaminação fecal, que pode estar associado a microrganismos que causam danos à saúde humana. Apesar dos parâmetros Fe_{diss} e Mn_T apresentaram mais de 60% de violações no período analisado, essas violações podem ocorrer porque os níveis desses minerais são naturalmente altos no solo da região do Quadrilátero Ferrífero e podem ser lixiviados para os corpos d'água (DA COSTA *et al.*, 2017).

A estação BP072 apresentou valores do índice em todos os biênios na classe Ruim e está localizada no rio Paraopeba a jusante da foz do rio Betim, na divisa dos municípios de Betim e Juatuba. Como visto anteriormente, o rio Betim também apresentou valores do índice CCME WQI nas classes Ruim e Péssimo, o que influencia a qualidade da água na estação que recebe esses afluentes.

Comparando os biênios 2017-2018 e 2019-2020 é possível ver uma piora da qualidade da água nas estações BP068, BP070 e BP072 (Médio Paraopeba). Isso ocorreu, principalmente, em função dos parâmetros alumínio dissolvido, manganês total e ferro dissolvido que apresentaram violações com amplitudes elevadas e estão diretamente associados ao rompimento da barragem de rejeitos da mineradora Vale em Brumadinho que ocorreu em 2019. Estas estações estão a

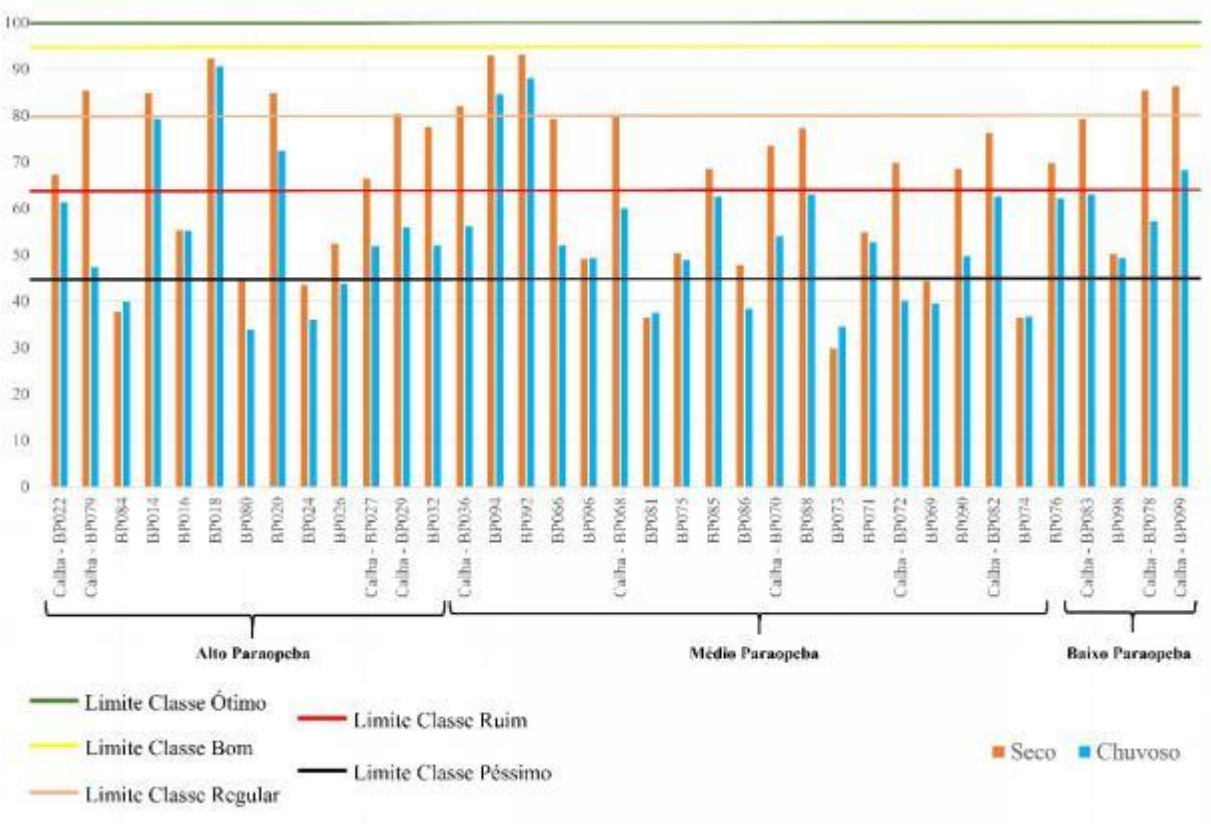
jusante e mais próximas do local revelando os efeitos negativos do rompimento na qualidade da água (IGAM, 2020a).

6.3.4 Avaliação do índice CCME WQI considerando o período climático

O índice CCME WQI também foi calculado para o período seco (abril a setembro) e chuvoso (outubro a março).

Na Figura 6.10 é possível observar como a sazonalidade influencia os valores do índice CCME WQI. Com exceção das estações BP073 e BP081, localizadas no Médio Paraopeba e BP084 no Alto Paraopeba, os valores do índice calculados para o período chuvoso apresentaram menores valores quando comparados àqueles obtidos no período seco, indicando uma maior deterioração da qualidade da água na estação chuvosa, com todos os parâmetros analisados apresentando violações. A pior condição observada na estação chuvosa sugere um predomínio de fontes de poluição difusa e a influência de carreamento superficial. Situação semelhante também foi encontrada em outros estudos que avaliaram a sazonalidade do CCME WQI e também observaram valores menores do índice na estação chuvosa (BARBOSA; SANTOS; MICHELAN, 2019; DE OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Figura 6.10: Gráfico comparativo entre os valores de índice CCME WQI obtidos nos períodos seco e chuvoso nas estações de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba.



Em relação à faixa do índice, a Tabela 6.6 mostra que 59% das estações apresentaram uma piora do índice no período chuvoso. Esses resultados sugerem, no geral, uma origem difusa da poluição, com os contaminantes sendo carreados para o leito dos cursos d´água pela água pluvial.

Pode-se notar também, por meio da Tabela 6.6, que as estações de monitoramento BP016 (Alto Paraopeba), BP096 (Médio Paraopeba), BP074 (Médio Paraopeba) e BP098 (Baixo Paraopeba) sofreram menor influência da sazonalidade, apresentando valores bem próximos e mantendo-se dentro do mesmo limite de faixa do CCME WQI para ambos os períodos analisados.

Tabela 6.6: Índice CCME WQI, por estação e período, aplicados ao banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Região	Estação	Seco	Chuvoso
Alto Paraopeba	Calha - BP022	67,33	61,37
	Calha - BP079	85,34	47,38
	BP084	37,71	39,83
	BP014	84,82	79,28
	BP016	55,27	55,17
	BP018	92,29	90,53
	BP080	44,85	33,88
	BP020	84,81	72,34
	BP024	43,50	36,06
	BP026	52,40	43,74
	Calha - BP027	66,47	51,89
	Calha - BP029	80,28	55,84
	BP032	77,57	51,99
Médio Paraopeba	Calha - BP036	82,09	56,23
	BP094	92,86	84,55
	BP092	93,11	88,00
	BP066	79,29	52,05
	BP096	49,18	49,37
	Calha - BP068	79,76	59,97
	BP081	36,41	37,55
	BP075	50,40	48,81
	BP085	68,48	62,56
	BP086	47,83	38,44
	Calha - BP070	73,51	53,99
	BP088	77,36	63,03
	BP073	29,75	34,53
	BP071	54,91	52,64
	Calha - BP072	69,83	40,15
	BP069	44,32	39,53
	BP090	68,56	49,73
	Calha - BP082	76,27	62,47
	BP074	36,54	36,69
	BP076	69,72	62,19
Baixo Paraopeba	Calha - BP083	79,32	63,06
	BP098	50,25	49,31
	Calha - BP078	85,35	57,27
	Calha - BP099	86,32	68,24

6.4 Conclusão

A partir dos resultados obtidos da aplicação do índice CCME WQI verificou-se a importância de acompanhar o comportamento dos parâmetros de qualidade da água do rio Paraopeba e seus afluentes em relação ao enquadramento, permitindo assim a identificação dos aspectos que precisam de ações para a melhoria da qualidade da água.

Os parâmetros de qualidade que mais violaram os limites legais foram: indicador de contaminação fecal, manganês total e fósforo total. Considerando os menores valores encontrados para o índice, identificaram-se os municípios que mais contribuem para a má qualidade dos corpos d'água da bacia hidrográfica do rio Paraopeba e que merecem mais atenção para a proposição de ações de recuperação, sendo eles: Cachoeira da Prata, Fortuna de Minas, Conselheiro Lafaiete, Ibirité, Betim, Entre Rios de Minas e Caetanópolis. No entanto, é preciso ressaltar que mesmo tendo valores maiores do índice, os demais municípios precisam buscar ações efetivas para garantia da qualidade dos corpos d'água. Principalmente, em relação ao saneamento básico, como a melhoria na eficiência do tratamento dos efluentes domésticos e industriais.

Somente os ribeirões Casa Branca e Catarina, localizados no município de Brumadinho, apresentaram valores do índice que se adequam à classe do enquadramento (Classe 1) que representa boa qualidade da água. Uma vez que estão localizados em áreas de preservação, indicam a eficiência dessas áreas para a proteção e manutenção da qualidade ambiental.

Destaca-se que o índice CCME WQI calculado para o biênio 2019-2020 nas estações BP068, BP070 e BP072 revelou o impacto sofrido pelo rio Paraopeba pelo rompimento da barragem de rejeitos da empresa Vale, em Brumadinho, que ocorreu em 2019, mostrando-se sensível a grandes eventos de contaminação da água.

Ainda que os resultados do CCME WQI nesse estudo apontem características já conhecidas do rio Paraopeba, foi possível mostrar, para a maioria das estações de monitoramento analisadas, que o enquadramento não vem sendo atendido, portanto, uma vez que a manutenção da qualidade ambiental da bacia é primordial, assim como os usos da água pela população, será importante tomar medidas para a redução dos impactos para que o enquadramento proposto seja respeitado.

Ressalta-se que, apesar do cuidado que se deve ter em seu cálculo e interpretação, como acontece com qualquer índice, o CCME WQI se mostra uma valiosa ferramenta de

comunicação para os gestores públicos, identificando diretamente os locais onde as ações devem ser efetuadas.

CAPÍTULO 7:
CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração da caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Paraopeba permitiu a descrição de seus componentes físicos e socioeconômicos. Essas informações forneceram conhecimento suficiente para identificar e avaliar os principais impactos antrópicos na qualidade das águas.

A partir dos levantamentos realizados, verificou-se que, no que diz respeito ao uso e ocupação do solo, as classes de pastagem e formação florestal são predominantes na bacia e as classes da agricultura, da infraestrutura urbana e da mineração apresentaram crescimento ao longo dos anos de 2008 a 2019. Considerando o levantamento das atividades existentes na bacia, destacam-se os empreendimentos minerários, as atividades da indústria metalúrgica e do gerenciamento de resíduos e serviços e as atividades agrossilvipastoris. Em relação à infraestrutura sanitária, a maioria dos municípios não oferece serviços de tratamento dos esgotos e disposição de resíduos sólidos adequados para toda a população.

Tendo em vista a intensa atividade minerária na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, há uma grande quantidade de barragens de contenção de rejeitos, localizadas em diferentes municípios. Dessa forma, a bacia fica sujeita a desastres ambientais devido ao rompimento de barragens, como o ocorrido em janeiro de 2019. O rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão, da mineradora Vale S.A., localizada em Brumadinho, alterou a qualidade da água da calha rio Paraopeba a partir da confluência com o ribeirão Ferro Carvão, resultado evidenciado pela análise exploratória dos dados antes e após o rompimento.

Uma vez que a presença de metais tóxicos foi identificada no curso d´água nas estações de monitoramento mais próximas ao rompimento da barragem e após eventos chuvosos, são necessários estudos que contribuam para o esclarecimento do aporte desses metais no rio Paraopeba, com a avaliação da presença desses compostos não apenas na água superficial, como também nos sedimentos. A contaminação da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, no entanto, deve-se também a uma série de fatores, incluindo processos naturais e atividades antrópicas, como a alta suscetibilidade da bacia à erosão; contaminação por metais pesados, que estão associados às atividades econômicas e aos solos da região; e lançamento de esgotos domésticos não tratados ou insuficientemente tratados nos corpos d'água da bacia.

Destaca-se que como responsável pelo Complexo Minerário Paraopeba II – Mina Córrego do Feijão, situado no município de Brumadinho, a Vale possui a responsabilidade pela reparação integral de todos os danos decorrentes do rompimento da Barragem I, da Mina Córrego do Feijão, que provocou danos a interesses públicos e provados, difusos, coletivos e individuais,

já reconhecida em sentença judicial proferida no dia 9 de julho de 2019. O acordo judicial para reparação integral relativa ao rompimento foi firmado entre o Ministério Público do Estado de Minas Gerais e a Vale no dia 04 de fevereiro de 2021. No acordo ficam definidas as obrigações de fazer e de pagar da Vale, visando a reparação integral dos danos, impactos negativos e prejuízos socioambientais causados em decorrência do rompimento, e seus desdobramentos, conforme a solução e adequação técnicas definidas para cada situação (MINAS GERAIS, 2021).

Em relação às tendências espaciais da qualidade da água e das fontes de poluição nos reservatórios do Rio Manso, Vargem das Flores e Serra Azul, pode-se concluir que a sub-bacia do reservatório de Vargem das Flores vem sofrendo com o intenso crescimento da urbanização e apresentou a qualidade da água mais deteriorada, mesmo dispondo de maior percentual de área de formação florestal que os outros reservatórios. O fato de não ter o entorno do reservatório protegido como Serra Azul e Rio Manso, pode contribuir para a pior qualidade da água em Vargem das Flores.

Por fim, a aplicação do Índice do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME WQI) para a bacia hidrográfica do rio Paraopeba, além de apontar características já conhecidas do rio Paraopeba, possibilitou mostrar, para a maioria das estações de monitoramento analisadas, que o enquadramento não vem sendo atendido. Os parâmetros de qualidade que mais violaram os limites legais foram: indicador de contaminação fecal, manganês total e fósforo total. A partir dos resultados foi possível verificar, também, a influência da sazonalidade nos valores do índice CCME WQI. Os valores do índice calculados para o período chuvoso foram menores quando comparados àqueles obtidos no período seco, indicando assim uma maior deterioração da qualidade da água na estação chuvosa. Dessa forma, faz-se necessária a implantação de medidas de conservação ambiental e de um programa para efetivação do enquadramento para que este seja respeitado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-SATAR, A. M.; ALI, M. H.; GOHER, M. E. Indices of water quality and metal pollution of Nile River, Egypt. **Egyptian Journal of Aquatic Research**, v. 43, n. 1, p. 21–29, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ejar.2016.12.006

ABOULHASSAN, M. A.; SOUABI, S.; YAACOUBI, A.; BAUDU, M. Treatment of Paint Manufacturing Wastewater by the combination of Chemical and Biological Processes. **International Journal of Science, Environment and Technology**, v. 3, n. 5, p. 1747–1758, 2014.

ADIANSYAH, J. S.; ROSANO, M.; VINK, S.; KEIR, G. A framework for a sustainable approach to mine tailings management: Disposal strategies. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, p. 1050–1062, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.139

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual**. Brasília: 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual**. Brasília: 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013**. Brasília: 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce Rompimento da Barragem em Mariana/MG.** Brasília, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004. Acesso em: 21 maio. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília: 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Portal HidroWeb**. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas. Acesso em: 4 fev. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Relatório de segurança de barragens 2020**. Brasília: 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA.**Atlas Esgotos - Despoluição de bacias hidrográficas**. 2017a. Disponível em: http://atlasesgotos.ana.gov.br/.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA.**Atlas esgotos: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil.** 2020 c.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA.**Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012**. Brasília: 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM. **Classificação de Barragens de Mineração - Data base Fev/2019**. 2019a. Disponível em: http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/pasta-classificacao-de-barragens-de-mineracao/plano-de-seguranca-de-barragens. Acesso em: 6 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM. **Resumo Campanha Entrega DCE setembro 2019**. 2019b. Disponível em: http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/resumo-campanha-entrega-dce-setembro-2019/view. Acesso em: 6 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM. **Classificação Nacional de Barragens de Mineração**. 2020. Disponível em: https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/ClassificacaoNacionalDaBarragem. Acesso em: 17 set. 2020.

AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE MINAS GERAIS - ARSAE. **Panoramas Municipais sobre a prestação dos serviços de água e de esgoto**. 2020. Disponível em: https://estatisticocastro.shinyapps.io/panoramamunicipal/.

AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE MINAS GERAIS - ARSAE. **Relatório de fiscalização - Sistema Integrado de Abastecimento de Água da RMBH - Bacia Paraopeba**. Belo Horizonte: 2013.

AIRES, U. R. V.; SANTOS, B. S. M.; COELHO, C. D.; DA SILVA, D. D.; CALIJURI, M. L. Changes in land use and land cover as a result of the failure of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. **Land Use Policy**, v. 70, n. April 2017, p. 63–70, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.10.026

AKIN, B. S.; ATICI, T.; KATIRCIOGLU, H.; KESKIN, F. Investigation of water quality on Gökçekaya dam lake using multivariate statistical analysis, in Eskişehir, Turkey. **Environmental Earth Sciences**, v. 63, n. 6, p. 1251–1261, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s12665-010-0798-6

ALBERTO, W. D.; DEL PILAR, D. M.; VALERIA, A. M.; FABIANA, P. S.; CECILIA, H. A.; DE LOS ÁNGELES, B. M. Pattern Recognition Techniques for the Evaluation of Spatial and Temporal Variations in Water Quality. A Case Study: **Water Research**, v. 35, n. 12, p. 2881–2894, 2001. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00592-3

ALEXAKIS, D.; TSIHRINTZIS, V. A.; TSAKIRIS, G.; GIKAS, G. D. Suitability of Water Quality Indices for Application in Lakes in the Mediterranean. **Water Resources Management**, v. 30, n. 5, p. 1621–1633, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11269-016-1240-y

ALEXANDRE, D. M. B.; ANDRADE, E. M. D.; LOPES, F. B.; PALÁCIO, H. A. Q.; FERREIRA, A. C. D. S.The water quality investigation using GIS and multivariable analysis in a semiarid region reservoir. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 554–561, 2010.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507

ALVES, J. D. P. H.; FONSECA, L. C.; CHIELLE, R. D. S. A.; MACEDO, L. C. B. Monitoring water quality of the sergipe river basin: An evaluation using multivariate data analysis. **Revista Brasileira de Recursos Hidricos**, v. 23, p. 1–12, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1590/2318-0331.231820170124

AMARAL, F. C. S.; DOS SANTOS, H. G.; ÁGLIO, M. L. D.; DUARTE, M. N.; PEREIRA, N. R.; DE OLIVEIRA, R. P.; CARVALHO JUNIOR, W. D. **Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais - Embrapa Solos - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: 2004.

AMARO, C. A. **Proposta De Um Índice Para Avaliaçào Da Qualidade Dos Corpos Hídricos Ao Enquadramento**. 2009. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

AMARO, C. A., PORTO, M. F. Proposta De Um Índice Para Avaliaçào Da Qualidade Dos Corpos Hídricos Ao Enquadramento. *In*: 2009, Campo Grande - MS. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Campo Grande - MS: 2009. p. 224.

ARCOVA, F. C. S.; DE CICCO, V. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo Water quality in small watersheds with different land. **Scientia florestals**, v. 56, p. 125–134, 1999.

ATIQUE, U.; AN, K. G. Reservoir Water Quality Assessment Based on Chemical Parameters and the Chlorophyll Dynamics in Relation to Nutrient Regime. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 28, n. 3, p. 1043–1061, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.15244/pjoes/85675

BAPTISTA, M. C.; SILVA, S. F.; DANTAS, M. E.; DUARTE, K. S.; ALMEIDA, B. F.; MURICY-FILHO, A. F.; PEDROSA, L. **Aspectos Gerais do Meio Físico do Estado de Minas Gerais - Geodiversidade do estado de Minas Gerais**. v. 1, 2010.

BARAKAT, A.; EL BAGHDADI, M.; RAIS, J.; AGHEZZAF, B.; SLASSI, M. Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using multivariate statistical techniques. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 4, n. 4, p. 284–292, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.11.002

BARBOSA, A. G.; SANTOS, K. M. S.; MICHELAN, D. C. D. G. S. Avaliação da Sazonalidade da Qualidade da Água do Açude da Macela em Itabaiana/SE. **Scientia cum Industria**, v. 7, n. 2, p. 24–31, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.18226/23185279.v7iss3p24

BEZERRA, L. A. V.; PAULINO, W. D.; GARCEZ, D. S.; BECKER, H.; SÁNCHEZ-BOTERO, J. I. Limnological characteristics of a reservoir in semiarid Northeastern Brazil subject to intensive tilapia farming (Orechromis niloticus Linnaeus, 1758). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 1, p. 47–59, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S2179-975X2014000100007

BILGIN, A. Evaluation of surface water quality by using Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) method and discriminant analysis

method: a case study Coruh River Basin. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 9, p. 554, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-018-6927-5

BILGIN, A.; KONANÇ, M. U. Evaluation of surface water quality and heavy metal pollution of Coruh River Basin (Turkey) by multivariate statistical methods. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 12, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s12665-016-5821-0

BOYACIOGLU, H. Spatial differentiation of water quality between reservoirs under anthropogenic and natural factors based on statistical approach. **Archives of Environmental Protection**, v. 40, n. 1, p. 41–50, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.2478/aep-2014-0002

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; DE BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.;EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2 ed. ed. São Paulo: Pearson Pretice Hall, 2005.

BRASIL. **Lei nº 11.455, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.p. 20.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasil: 2010 b.

BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. p. 8.

BRASIL. **Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020**. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). p. 13.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. p. 13.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. p. 1–14.

BRASIL. **Portaria do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) nº 70.389, de 17 de maio de 2017**. Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-70-389-de-2017. Acesso em: 15 abr. 2019.

BRASIL. **Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011**. Complementa e altera a Resolução nº 357/2005. Dispõe sobre as condições e padrões de lança- mento de efluentes, complementa e altera a Reso- lução no lho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. p. 9.

BRASIL. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. p. 27.

BRASIL. **Resolução nº 91, de 05 de novembro de 2008**. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.p. 5.

BU, H.; TAN, X.; LI, S.; ZHANG, Q. Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 73, n. 5, p. 907–913, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.11.007

CALAZANS, G. M.; PINTO, C. C.; DA COSTA, E. P.; PERINI, A. F.; OLIVEIRA, S. C. The use of multivariate statistical methods for optimization of the surface water quality network monitoring in the Paraopeba river basin, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 8, 2018 b. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-018-6873-2

CALAZANS, G. M.; PINTO, C. C.; DA COSTA, E. P.; PERINI, A. F.; OLIVEIRA, S. C. Using multivariate techniques as a strategy to guide optimization projects for the surface water quality network monitoring in the Velhas river basin, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 12, 2018 a. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-018-7099-z

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT - CCME. **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index, User's Manual – 2017 Update.** 2017.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT - CCME. **A sensitivity analysis of Canadian Water Quality Index**. Ontario: 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1109/COMPSAC.2011.4.

CAREY, R. O.; MIGLIACCIO, K. W.; LI, Y.; SCHAFFER, B.; KIKER, G. A.; BROWN, M. T. Land use disturbance indicators and water quality variability in the Biscayne Bay Watershed, Florida. **Ecological Indicators**, v. 11, n. 5, p. 1093–1104, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.12.009

CARVALHO, A. de. **Processos morfogenéticos e condicionantes associados aos eventos de entulhamento dos fundos de Vales de afluentes do médio/baixo rio Paraopeba/MG**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: 2014.

CASTRO, C. N. D.; PEREIRA, C. N. Revitalização do Rio São Francisco. Boletim Regional, Urbano e Ambiental (IPEA). p. 69–76, 2017.

CHARRAD, M.; GHAZZALI, N.; BOITEAU, V.; NIKNAFS, A. NbClust : An R Package for Determining the Relevant Number of Clusters in a Data Set. **Journal of Statistical Software**, v. 61, n. 6, p. 1–36, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.18637/jss.v061.i06

CHEN, P., LI, L.; ZHANG, H. Spatio-temporal variations and source apportionment of water pollution in Danjiangkou Reservoir Basin, Central China. **Water (Switzerland)**, v. 7, n. 6, p. 2591–2611, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.3390/w7062591

CHENG, P.; MENG, F.; WANG, Y.; ZHANG, L.; YANG, Q.; JIANG, M. The Impacts of Land Use Patterns on Water Quality in a Trans-Boundary River Basin in Northeast China Based on Eco-Functional Regionalization. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 9, p. 1872, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph15091872

CHRISTOFARO, C.; DINIZ LEÃO, M. M.; OLIVEIRA, S. M.; VIANA, D. T.; AMORIM, C. C.; CARVALHO, M. D. Spatio-temporal variations of water quality in Nova Ponte Reservoir, Araguari River Basin, Brazil. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 17, n. 6, p. 1507–1514, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.2166/ws.2017.055

CHRISTOFARO, C.; LEÃO, M. D. Tratamento de dados censurados em estudos ambientais. **Química Nova,** v. 37, n. 1, p. 104-110, 2014.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO - CBHSF. **Resumo Executivo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025**. p. 300, 2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo – Apêndice E - Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf

COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS - COBRAPE. **Plano de ação e diretrizes e critérios para aplicação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba**. 2020. Disponível em: https://www.pdrhparaopeba.com/. Acesso em: 15 abr. 2021.

COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS - COBRAPE. **Relatório do Diagnóstico da Bacia do Rio Paraopeba**. 2018. Disponível em: https://www.pdrhparaopeba.com/. Acesso em: 15 abr. 2020.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS - CODEMIG. **Portal da Geologia**.2019. Disponível em: www.portalgeologia.com.br. Acesso em: 25 jul. 2019.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS - COPASA. **Release de Resultados 1T20**. Belo Horizonte: 2020.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS - COPASA. **Áreas de Proteção - COPASA**. Belo Horizonte: 2021. Disponível em: copasa.com.br/wps/portal/internet/meio-ambiente/areas. Acesso em: 25 mar. 2021.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS - COPASA. **Estudos morfométricos e batimétricos no reservatório do Rio Manso - COPASA**. Belo Horizonte: 2013.

CONTAGEM. **Lei complementar nº 248, de 11 de janeiro de 2018**. Institui o Plano Diretor do Município de Contagem e dá outras providências.

CUDE, C. G. Oregon Water Quality Index a Tool for Evaluating Water Quality Management Effectiveness. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 37, n. 1, p. 125–137, 2001.

DA COSTA, E. P.; PINTO, C. C.; SOARES, A. L. C.; MELO, L. D. V.; OLIVEIRA, S. M. A. C. Evaluation of violations in water quality standards in the monitoring network of São Francisco River basin, the third largest in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189, n. 11, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-017-6266-y

DA SILVA SOUZA, T.; BARONE, L. D. S. F.; LACERDA, D.; DOS SANTOS VERGILIO, C.; DE OLIVEIRA, B. C. V.; DE ALMEIDA, M. G.; DE REZENDE, C. E. Cytogenotoxicity of the water and sediment of the Paraopeba River immediately after the iron ore mining dam disaster (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). **Science of The Total Environment**, v. 775, p. 145193, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145193

DA SILVA, L. F.; BARBOSA, A. D.; DE PAULA, H. M.; ROMUALDO, L. L.; ANDRADE, L. S. Treatment of paint manufacturing wastewater by coagulation/electrochemical methods: Proposals for disposal and/or reuse of treated water. **Water Research**, v. 101, p. 467–475, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.05.006

DAMO, R.; ICKA, P. Evaluation of water quality index for drinking water. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 22, n. 4, p. 1045–1051, 2013.

DAOU, C.; SALLOUM, M.; LEGUBE, B.; KASSOUF, A.; OUAINI, N. Characterization of spatial and temporal patterns in surface water quality: a case study of four major Lebanese rivers. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 8, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-018-6843-8

DE OLIVEIRA, K. L.; RAMOS, R. L.; OLIVEIRA, S. C.; CHRISTOFARO, C. Water quality index and spatio-temporal perspective of a large Brazilian water reservoir. **Water Supply**, p. 1–12, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.2166/ws.2020.374

DE VILHENA, C.; DE ABREU, J. F.; LOBATO, W.; SCHAYER, G.; NONATO, E. A. S. Análise de alguns aspectos da qualidade da água da Bacia do Rio Paraopeba utilizando estatística multivariada. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 6–18, 2008.

DEBELS, P.; FIGUEROA, R.; URRUTIA, R.; BARRA, R.; NIELL, X. Evaluation of water quality in the Chillán River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified Water Quality Index. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 110, n. 1–3, p. 301–322, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-005-8064-1

DEDE, O. T.; TELCI, I. T.; ARAL, M. M. The Use of Water Quality Index Models for the Evaluation of Surface Water Quality: A Case Study for Kirmir Basin, Ankara, Turkey. **Water Quality, Exposure and Health**, v. 5, n. 1, p. 41–56, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s12403-013-0085-3

DIAMANTINI, E.; LUTZ, S. R.; MALLUCCI, S.; MAJONE, B.; MERZ, R.; BELLIN, A. Driver detection of water quality trends in three large European river basins. **Science of The Total Environment**, v. 612, p. 49–62, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.172

DING, J.; JIANG, Y.; LIU, Q.; HOU, Z.; LIAO, J.; FU, L.; PENG, Q. Influences of the land use pattern on water quality in low-order streams of the Dongjiang River basin, China: A multi-scale analysis. **Science of The Total Environment**, v. 551–552, n. 19, p. 205–216, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.162

DOS SANTOS VERGILIO, C.; LACERDA, D.; DE OLIVEIRA, B. C. V.; SARTORI, E.; CAMPOS, G. M.; DE SOUZA PEREIRA, A. L.; DE REZENDE, C. E. Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1–12, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-020-62700-w

FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; ALSDORF, D. The Shuttle Radar Topography Mission. **Rev. Geophys.**, v. 45, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1029/2005RG000183.1.INTRODUCTION

FERNANDES, D. P. **Indícios de Degradação Ambiental em um Reservatório Oligotrófico (Reservatório De Serra Azul, MG – Brasil): Avaliação Limnológica, morfometria, batimetria e modelagem hidrodinâmica**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2012.

FERREIRA, D. B; BARROSO, G. R.; CORDOVA, J. E.; DANTAS, M. S.; OLIVEIRA, S. M.M A. C. Análise de séries temporais pluviométricas na porção mineira da bacia hidrográfica do rio São Francisco. **III Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. Belo Horizonte: 2020.

FERREIRA, N. C.; BONETTI, C.; SEIFFERT, W. Q. Hydrological and Water Quality Indices as management tools in marine shrimp culture. **Aquaculture**, v. 318, n. 3–4, p. 425–433, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.05.045

FRAGA, M. S.; DA SILVA, D. D.; REIS, G. B.; GUEDES, H. A. S.; ELESBON, A. A. A. Temporal and spatial trend analysis of surface water quality in the Doce River basin, Minas Gerais, Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, n. 0123456789, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10668-020-01160-8

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Inventário de barragem do Estado de Minas Gerais - 2015**. Belo Horizonte: 2016.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais em 2018**. Belo Horizonte: 2018.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S/A. **Sistema FURNAS - Usina Retiro Baixo**. 2020. Disponível em: https://www.furnas.com.br/subsecao/131/usina-retiro-baixo---82-mw?culture=pt. Acesso em: 11 set. 2020.

GAO, Q.; LI, Y.; CHENG, Q.; YU, M.; HU, B.; WANG, Z.; YU, Z. Analysis and assessment of the nutrients, biochemical indexes and heavy metals in the Three Gorges Reservoir, China, from 2008 to 2013. **Water Research**, v. 92, p. 262–274, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.12.055

GAZZAZ, N. M.; YUSOFF, M. K.; ARIS, A. Z.; JUAHIR, H.; RAMLI, M. F. Artificial neural network modeling of the water quality index for Kinta River (Malaysia) using water quality variables as predictors. **Marine Pollution Bulletin**, v. 64, n. 11, p. 2409–2420, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.08.005

GIAO, N. T.; CONG, N. VAN; NHIEN, H. T. H. Using Remote Sensing and Multivariate Statistics in Analyzing the Relationship between Land Use Pattern and Water Quality in Tien Giang Province, Vietnam. **Water**, v. 13, n. 8, p. 1093, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/w13081093

GIRI, S.; QIU, Z. Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 173, p. 41–48, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.029

GOMES, L. N. L.; OLIVEIRA, S. M. A. C.; GIANI, A.; VON SPERLING, E. Association between biotic and abiotic parameters and the occurrence of cyanobacteria in a Brazilian reservoir. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 8, p. 4635–4645, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-011-2291-4

GU, Q.; ZHANG, Y.; MA, L.; LI, J.; WANG, K.; ZHENG, K.; SHENG, L. Assessment of Reservoir Water Quality Using Multivariate Statistical Techniques: A Case Study of Qiandao Lake, China. **Sustainability**, v. 8, n. 3, p. 243, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su8030243

GUIMARÃES, J. I. **Impacto do rompimento de uma barragem de rejeitos de minério de ferro sobre a qualidade das águas superficiais. Estudo de caso: Bacia do rio Doce**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: 2018.

HACHICH, E. M.; DI BARI, M.; CHRIST, A. P. G.; LAMPARELLI, C. C.; RAMOS, S. S.; SATO, M. I. Z. Comparison of thermotolerant coliforms and Escherichia coli densities in freshwater bodies. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 43, n. 2, p. 675–681, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1517-83822012000200032

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de dados**. 6th ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HANH, P. T. M.; STHIANNOPKAO, S.; KIM, K. W.; HUNG, N. Q. Anthropogenic influence on surface water quality of the Nhue and Day sub-river systems in Vietnam. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 32, n. 3, p. 227–236, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10653-009-9279-9

HATJE, V.; PEDREIRA, R. M.; DE REZENDE, C. E.; SCHETTINI, C. A. F.; DE SOUZA, G. C.; MARIN, D. C.; HACKSPACHER, P. C. The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–13, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-017-11143-x

HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. **Statistical methods in water resources**. Elsevier, 2002.

HUA, A. K. Land Use Land Cover Changes in Detection of Water Quality: A Study Based on Remote Sensing and Multivariate Statistics. **Journal of Environmental and Public Health**, v. 2017, p. 5–7, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2017/7515130

HUDSON-EDWARDS, K. A.; MACKLIN, M. G.; JAMIESON, H. E.; BREWER, P. A.; COULTHARD, T. J.; HOWARD, A. J.; TURNER, J. N. The impact of tailings dam spills and clean-up operations on sediment and water quality in river systems: The Ríos Agrio-Guadiamar, Aznalcóllar, Spain. **Applied Geochemistry**, v. 18, n. 2, p. 221–239, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00122-1

HURLEY, T.; SADIQ, R.; MAZUMDER, A. Adaptation and evaluation of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for use as an effective tool to characterize drinking source water quality. **Water Research**, v. 46, n. 11, p. 3544–3552, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.061

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000**. Rio de Janeiro: 2019 a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. 2nd. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **IBGE Cidades**. Rio de Janeiro: 2019b. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/. Acesso em: 8 fev. 2020.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais de Minas Gerais em 2018: Resumo Executivo Anual**. Belo Horizonte: 2019 a.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Identificação de municípios com condição crítica para a qualidade de água na bacia do rio Paraopeba**. Belo Horizonte: 2013.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Informativo da qualidade das águas do rio Paraopeba, após o desastre na barragem B1 da mineradora Vale/SA no município de Brumadinho – Minas Gerais**. Belo Horizonte: 2020 b.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Informativo dos parâmetros de qualidade das águas nos locais monitorados ao longo do Rio Paraopeba antes do desastre na barragem B1 no complexo da Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale/SA no município de Brumadinho – Minas Gerais**. Belo Horizonte: 2019 b.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2013: Resumo Executivo**. Belo Horizonte: 2014.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Avaliação da qualidade da águas e sedimentos do Rio Paraopeba: acompanhamento da qualidade das águas do Rio Paraopeba após 1 ano do rompimento da barragem da Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale/SA – Brumadinho/MG**. Belo Horizonte: 2020 a. Disponível em: https://doi.org/10.14393/rcg186418.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Manual técnico e administrativo de outorga de direito de uso de recursos hídricos no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: 2010.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Planejamento em Recursos Hídricos**. Belo Horizonte: 2021. Disponível em: http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/planejamento-de-recursos-hidricos. Acesso em: 12 jul. 2021.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Plano de Monitoramento Emergencial Rio Paraopeba – Rompimento barragem córrego Feijão em Brumadinho**. Belo Horizonte: 2019 c. Disponível em: https://doi.org/10.1109/MTAS.2004.1371634.

JUNG, K. Y.; LEE, K. L.; IM, T. H.; LEE, I. J.; KIM, S.; HAN, K. Y.; AHN, J. M. Evaluation of water quality for the Nakdong River watershed using multivariate analysis. **Environmental Technology and Innovation**, v. 5, p. 67–82, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.eti.2015.12.001

JUNIOR, A. P. M.; COTA, G. E. M.; LEMOS, R. S. Contradições e desafios para a proteção de mananciais hídricos em Minas Gerais – Os casos das Áreas de Proteção Especial de Vargem das Flores e Serra Azul – Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 60, p. 89–104, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.14393/RCG176007

KAISER, H. F. The Application of Electronic Computers to Factor Analysis. **Educational and Psychological Measurement**, v. 20, n. 1, p. 141–151, 1960.

KÄNDLER, M.; BLECHINGER, K.; SEIDLER, C.; PAVLŮ, V.; ŠANDA, M.; DOSTÁL, T.; ŠTICH, M. Impact of land use on water quality in the upper Nisa catchment in the Czech Republic and in Germany. **Science of the Total Environment**, v. 586, p. 1316–1325, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.221

KANG, J. H.; LEE, S. W.; CHO, K. H.; KI, S. J.; CHA, S. M.; KIM, J. H. Linking land-use type and stream water quality using spatial data of fecal indicator bacteria and heavy metals in the Yeongsan river basin. **Water Research**, v. 44, n. 14, p. 4143–4157, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.05.009

KAZI, T. G.; ARAIN, M. B.; JAMALI, M. K.; JALBANI, N.; AFRIDI, H. I.; SARFRAZ, R. A.; SHAH, A. Q. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, n. 2, p. 301–309, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.02.024

KHAN, F.; HUSAIN, T.; LUMB, A. Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the atlantic region of Canada. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 88, n. 1–3, p. 221–248, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1023/A:1025573108513

KOÇER, M. A. T.; SEVGILI, H. Parameters selection for water quality index in the assessment of the environmental impacts of land-based trout farms. **Ecological Indicators**, v. 36, p. 672–681, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.09.034

KOSSOFF, D.; DUBBIN, W. E.; ALFREDSSON, M.; EDWARDS, S. J.; MACKLIN, M. G.; HUDSON-EDWARDS, K. A. Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. **Applied Geochemistry**, v. 51, p. 229–245, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.09.010

KOWALKOWSKI, T.; ZBYTNIEWSKI, R.; SZPEJNA, J.; BUSZEWSKI, B. Application of chemometrics in river water classification. **Water Research**, v. 40, n. 4, p. 744–752, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.11.042

KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. **Journal of the American Statistical Association**, v. 47, n. 260, p. 583–621, 1952.

KUMAR, S.; TOSHNIWAL, D. Analysis of hourly road accident counts using hierarchical clustering and cophenetic correlation coefficient (CPCC). **Journal of Big Data**, v. 3, n. 1, p. 1–11, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s40537-016-0046-3

LEE, H.; CHAN, Z.; GRAYLEE, K.; KAJENTHIRA, A.; MARTÍNEZ, D.; ROMAN, A. Challenge and response in the São Francisco River Basin. **Water Policy**, v. 16, n. S1, p. 153–200, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.2166/wp.2014.007

LEE, H.; SHIN, H. Evaluation of pollutants characteristics and effect of dissolved and particulate contaminants in tributaries of an urban watershed. **Science of the Total Environment**, v. 785, p. 147259, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147259

LIMA, A. O. **Dinâmica do uso e cobertura do solo sobre a Área de Proteção Ambiental Vargem das Flores e alterações na qualidade da água do reservatório**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, 2018.

LIN, Z.; ANAR, M. J.; ZHENG, H. Hydrologic and water-quality impacts of agricultural land use changes incurred from bioenergy policies. **Journal of Hydrology**, v. 525, p. 429–440, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.001

LIU, C. W.; LIN, K. H.; KUO, Y. M. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. **Science of The Total Environment**, v. 313, n. 1–3, p. 77–89, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00683-6

LONGHINI, C. M.;RODRIGUES, S. K.; COSTA, E. S.; DA SILVA, C. A.; CAGNIN, R. C.; GRIPP, M.; SÁ, F. Environmental quality assessment in a marine coastal area impacted by mining tailing using a geochemical multi-index and physical approach. **Science of The Total**

Environment, v. 803, p. 149883, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149883

LOPES, A. M. M. B.; GOMES, L. N. L.; MARTINS, F. D. C.; CERQUEIRA, D. A.; MOTA, C. R.; SPERLING, E. V.; PÁDUA, V. L. D. Dinâmica de protozoários patogênicos e cianobactérias em um reservatório de abastecimento público de água no sudeste do Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 25–43, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s1413-41522016143529

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M. D.; MEIRELES, A.; BECKER, H.; BATISTA, A. A. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 437–445, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000400012

LUMB, A.; SHARMA, T. C.; BIBEAULT, J. F.; KLAWUNN, P. A Comparative Study of USA and Canadian Water Quality Index Models. **Water Quality, Exposure and Health**, v. 3, n. 3–4, p. 203–216, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s12403-011-0056-5

LUMB, A.; SHARMA, T. C.; BIBEAULT, J.-F. A Review of Genesis and Evolution of Water Quality Index (WQI) and Some Future Directions. **Water Quality, Exposure and Health**, v. 3, n. 1, p. 11–24, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s12403-011-0040-0

MACKLIN, M. G.; BREWER, P. A.; BALTEANU, D.; COULTHARD, T. J.; DRIGA, B.; HOWARD, A. J.; ZAHARIA, S. The long term fate and environmental significance of contaminant metals released by the January and March 2000 mining tailings dam failures in Maramureş County, upper Tisa Basin, Romania. **Applied Geochemistry**, v. 18, n. 2, p. 241–257, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00123-3

MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 18, n. 1, p. 50–60, 1947. Disponível em: https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491

MAPBIOMAS. **Códigos da legenda para os valores de pixel na Coleção 2 do MapBiomas**. 2020b. Disponível em: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/_PT-BR__Códigos_da_legenda_Coleção_5.pdf. Acesso em: 10 set. 2020.

MAPBIOMAS. **Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomas)**. 2020a. Disponível em: https://mapbiomas.org/. Acesso em: 4 set. 2020.

MAVUKKANDY, M. O.; KARMAKAR, S.; HARIKUMAR, P. S. Assessment and rationalization of water quality monitoring network: A multivariate statistical approach to the Kabbini River (India). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, n. 17, p. 10045–10066, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11356-014-3000-y

MAYES, W. M.; JARVIS, A. P.; BURKE, I. T.; WALTON, M.; FEIGL, V.; KLEBERCZ, O.; GRUIZ, K. Dispersal and attenuation of trace contaminants downstream of the ajka bauxite residue (Red Mud) depository failure, Hungary. **Environmental Science and Technology**, v. 45, n. 12, p. 5147–5155, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1021/es200850y

MELO, M. C.; JOHNSSON, R. M. F.; DE AZEVEDO, J. P. S.; NASCIMENTO, N. O.; AQUINO, F.; MENDES, R. S.; MACHADO, F. L. V.; RÍMULO, B.; BAETA, D. S. M. B. Avaliação da segurança hídrica associada aos mananciais de abastecimento: Sistema Paraopeba – MG. **Anais do XXII SBRH**. Florianópolis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2017.

MENESES, B. M.; REIS, R.; VALE, M. J.; SARAIVA, R. Land use and land cover changes in Zêzere watershed (Portugal) — Water quality implications. **Science of The Total Environment**, v. 527–528, p. 439–447, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.092

MENEZES, J. M.; CARDOSO, G.; PRADO, R. B. Índice de qualidade de água (IQACCME) aplicado à avaliação de aquíferos do estado do Rio de Janeiro. **Águas Subterrâneas**, v. 27, n. 2, p. 79–92, 2013.

MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. D. S.; BELLO, I. P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. D. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 519–534, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1413-41522016145405

MINAS GERAIS. **Acordo Judicial para reparação integral relativa ao rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA/Córrego do Feijão.** p. 139.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 27.928, de 15 de março de 1988**. Define área de proteção especial, situada nos municípios de Rio Manso, Crucilândia, Brumadinho, Bonfim e Itatiaiuçu, para fins de preservação de mananciais.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa CERH-MG nº 09, de 16 de junho de 2004**. Define os usos de água considerados como insignificantes em Minas Gerais, que são dispensados de outorga, mas obrigados ao cadastro de usos insignificantes.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH - MG nº 01, de 05 de maio de 2008**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. p. 30.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 14, de 28 de dezembro de 1995**. Dispõe sobre o enquadramento das águas da Bacia do rio Paraopeba.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Copam nº 217 , de 06 de dezembro de 2017**. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locacionais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências.

MINAS GERAIS. **Lei 16197, de 26/06/2006**. Cria a Área de Proteção Ambiental de Vargem das Flores, situada nos Municípios de Betim e Contagem, e dá outras providências.

MINAS GERAIS. **Lei 21972, de 21 de janeiro de 2016**. Dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Sisema – e dá outras providências.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Áreas Protegidas**. Brasil: 2020b. Disponível em: https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/sistema-nacional-de-ucs-snuc. Acesso em: 22 set. 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Biomas**. Brasil: 2020a. Disponível em: https://www.mma.gov.br/biomas.html. Acesso em: 3 jun. 2020.

MOHAMED, I.; OTHMAN, F.; IBRAHIM, A. I.; ALAA-ELDIN, M. E.; YUNUS, R. M. Assessment of water quality parameters using multivariate analysis for Klang River basin, Malaysia. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 1, p. 4182, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-014-4182-y

MOLOZZI, J.; FRANÇA, J. S.; ARAUJO, T. L.; VIANA, T. H.; HUGHES, R. M.; CALLISTO, M. Diversidade de habitats físicos e sua relação com macroinvertebrados bentônicos em reservatórios urbanos em Minas Gerais. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 101, n. 3, p. 191–199, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0073-47212011000200006

MOSTAFAEI, A. Application of multivariate statistical methods and water-quality index to evaluation of water quality in the Kashkan River. **Environmental Management**, v. 53, n. 4, p. 865–881, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00267-014-0238-6

MUSTAPHA, A.; ARIS, A. Z. Multivariate statistical analysis and environmental modeling of heavy metals pollution by industries. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 21, n. 5, p. 1359–1367, 2012.

MUSTAPHA, A.; ARIS, A. Z.; JUAHIR, H.; RAMLI, M. F. Surface water quality contamination source apportionment and physicochemical characterization at the upper section of the Jakara Basin, Nigeria. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 6, n. 12, p. 4903–4915, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s12517-012-0731-2

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: 2007.

NAMUGIZE, J. N.; JEWITT, G.; GRAHAM, M. Effects of land use and land cover changes on water quality in the uMngeni river catchment, South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 105, n. April 2017, p. 247–264, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.03.013

NASCIMENTO, N.; ELEUTÉRIO, J.; COSTA, H.; VINÇON-LEITE, B.; MOURÃO, A.; FARIA, D.; MONTE-MOR, R. Sustainable urban development through a blue and green network approach focusing the protection of water resources: the case of the Belo Horizonte Metropolitan Region, in Brazil. **International Journal of Water**, v. 13, n. 4, p. 311, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1504/IJW.2019.106045

NGOYE, E.; MACHIWA, J. F. The influence of land-use patterns in the Ruvu river watershed on water quality in the river system. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 29, n. 15–18, p. 1161–1166, 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.pce.2004.09.002

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, L. A.; ALVES, L. M. Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil

during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, n. 2, p. 252-262, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.82022

NOORI, R.; SABAHI, M. S.; KARBASSI, A. R.; BAGHVAND, A.; ZADEH, H. T. Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set. **Desalination**, v. 260, n. 1–3, p. 129–136, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.04.053

OGBOZIGE, F. J.; ADIE, D. B.; IGBORO, S. B.; GIWA, A. Evaluation of the Water Quality of River Kaduna, Nigeria Using Water Quality Index. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, v. 21, n. 6, p. 1119, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.4314/jasem.v21i6.21

OLIVEIRA, B. O. S. D.; TUCCI, C. A. F.; NEVES, A. F.; SANTOS, A. D. A. Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 593–601, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1413-41522016133274

OLIVEIRA, B. O. S. D.; TUCCI, C. A. F.; NEVES, A. F.; SANTOS, A. D. A. Spatial-temporal analysis of the surface water quality of the Pará River Basin through statistical techniques. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 14, n. 1, p. 1, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2322

OLIVEIRA, S. C.; VON SPERLING, M. Medida de tendência central mais adequada para dados de monitoramento de estações de tratamento de esgotos. **25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro: 2015. p. 6.

OLSEN, R. L.; CHAPPELL, R. W.; LOFTIS, J. C. Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis - literature review and Illinois River watershed case study. **Water Research**, v. 46, n. 9, p. 3110–3122, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.028

ONGLEY, E. D.; XIAOLAN, Z.; TAO, Y. Current status of agricultural and rural non-point source Pollution assessment in China. **Environmental Pollution**, v. 158, n. 5, p. 1159–1168, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.10.047

PACHECO, J. W.; YAMANAKA, H. T. **Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno)**. São Paulo: 2008.

PALMA, P.; ALVARENGA, P.; PALMA, V. L.; FERNANDES, R. M.; SOARES, A. M.; BARBOSA, I. R. Assessment of anthropogenic sources of water pollution using multivariate statistical techniques: a case study of the Alqueva's reservoir, Portugal. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 165, n. 1–4, p. 539–552, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-009-0965-y

PARENTE, C. E.; LINO, A. S.; CARVALHO, G. O.; PIZZOCHERO, A. C.; AZEVEDO-SILVA, C. E.; FREITAS, M. O.; MALM, O. First year after the Brumadinho tailings' dam collapse: Spatial and seasonal variation of trace elements in sediments, fishes and macrophytes

from the Paraopeba River, Brazil. **Environmental Research**, v. 193, n. September 2020, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110526

PETTICREW, E. L.; ALBERS, S. J.; BALDWIN, S. A.; CARMACK, E. C.; DÉRY, S. J.; GANTNER, N.; VAGLE, S. The impact of a catastrophic mine tailings impoundment spill into one of North America's largest fjord lakes: Quesnel Lake, British Columbia, Canada. **Geophysical Research Letters**, v. 42, n. 9, p. 3347–3355, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1002/2015GL063345

PINHEIRO, R. V. N.; LOBÓN, G. S.; SCALIZE, P. S. Contamination risk due to the presence of an urban solid waste disposal site within the surface water catchment basins. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 5, p. 871–880, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s1413-41522018174184

PINTO, C. C.; CALAZANS, G. M.; OLIVEIRA, S. C. Assessment of spatial variations in the surface water quality of the Velhas River Basin, Brazil, using multivariate statistical analysis and nonparametric statistics. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 3, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-019-7281-y

PINTO, C. C.; SOARES, A. L. C.; MELO, L. D. V.; OLIVEIRA, S. M. A. C. Análise dos valores do Índice de Conformidade ao Enquadramento no baixo do Rio das Velhas, situado na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. **I Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.** Petrolina: 2016. p. 1–8, 2016.

PRATT, B.; CHANG, H. Effects of land cover, topography, and built structure on seasonal water quality at multiple spatial scales. **Journal of Hazardous Materials**, v. 209–210, p. 48–58, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.12.068

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS**. Sistema de Informações Geográficas do QGIS. Projeto Código Aberto Geospatial Foundation., 2019.

RAMOS, M. P.; SOARES, A. L. C.; DE ALBUQUERQUE NOBREGA, R. A.; DE PAULO RAMOS, M.; NAIME, A. L. F.; SIQUEIRA, L. N. Geotecnologias e qualidade da água: estudos em reservatórios de abastecimento público. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 7, p. 722–739, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0055

RAMZY, E. M. Toxicity and stability of sodium cyanide in fresh water fish Nile tilapia. **Water Science**, v. 28, n. 1, p. 42–50, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.wsj.2014.09.002

REIMANN, C.; FILZMOSER, P.; GARRETT, R.; DUTTER, R. **Statistical Data Analysis Explained**. John Wiley & Sons, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1002/9780470987605

RICO, M.; BENITO, G.; SALGUEIRO, A. R.; DÍEZ-HERRERO, A.; PEREIRA, H. G. Reported tailings dam failures. A review of the European incidents in the worldwide context.

Journal of Hazardous Materials, v. 152, n. 2, p. 846–852, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.050

ROCHA, V. B. P.; MOTA, T. U.; CAMPELLO, B. S. C.; JOSÉ, E. Análise da severidade da recente estiagem na bacia do médio rio Paraopeba , em Minas Gerais , e do risco de ocorrência de um novo evento nos próximos 30 anos: Parte II – Aplicação. **Anais do XXII SBRH**. Florianópolis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2017.

RODRIGUES, N. C.; ELEUTÉRIO, J. C.; SILVA, T. F. G.; NASCIMENTO, N. O.Adequabilidade Quanto Ao Uso Do Solo Na Área De Drenagem Do Reservatório Serra Azul – MG. **Anais do XXII SBRH**. Florianópolis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2017.

RODRIGUES, R. B. **SSD RB - Sistema de Suporte a Decisão Proposto para a Gestão Quali-Quantitatica dos Processos de Outorga e Cobrança Pelo Uso da Água**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: 2005.

RODRIGUES, V.; ESTRANY, J.; RANZINI, M.; DE CICCO, V.; MARTÍN-BENITO, J. M. T.; HEDO, J.; LUCAS-BORJA, M. E. Effects of land use and seasonality on stream water quality in a small tropical catchment: The headwater of Córrego Água Limpa, São Paulo (Brazil). **Science of the Total Environment**, v. 622–623, p. 1553–1561, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.028

ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. O Quadrilátero Ferrífero - Mg, Brasil: Aspectos Sobre Sua História, Seus Recursos Minerais E Problemas Ambientais Relacionados. **Geonomos**, v. 18, n. 1, p. 33–37, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.18285/geonomos.v18i1.67

ROHLF, F. J. Adaptive Hierarchical Clustering Schemes. **Systematic Biology**, v. 19, n. 1, p. 58–82, 1970. Disponível em: https://doi.org/10.1093/sysbio/19.1.58

RSTUDIO TEAM. **RStudio: Integrated Development for R.** Boston, MA: PBC, 2020.

SAHRAWAT, K. L.; WANI, S. P.; PATHAK, P.; REGO, T. J. Managing natural resources of watersheds in the semi-arid tropics for improved soil and water quality: A review. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 3, p. 375–381, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.10.012

SALIM DANTAS, M.; CORDOVA DE OLIVEIRA, J.; CRISTIANE PINTO, C.; CORRÊA OLIVEIRA, S. Impact of fecal contamination on surface water quality in the São Francisco River hydrographic basin in Minas Gerais, Brazil. **Journal of Water and Health**, v. 18, n. 1, p. 48–59, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.2166/wh.2019.153

SALIS, H. H. C.; EVANGELISTA, L. P.; DA COSTA, A. M.; HORTA, I. D. M. F. Diagnóstico da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Rio Manso - MG. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 64, p. 91–102, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.14393/rcg186408

SALOMONS, W. Environmental impact of metals derived from mining activities: Processes, predictions, prevention. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 52, n. 1–2, p. 5–23, 1995. Disponível em: https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)00039-E

SAMPAIO, J. C. L.; PINTO, E. J. A. Análise da estiagem de um dos principais reservatórios da Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Anais do XIV Simpósio de Recursos Hidrícos do Nordeste - SRHNE**. Maceió: 2018.

SAMPAIO, J. C. L.; PINTO, E. J. A. Análise da seca na bacia hidrográfica do ribeirão Serra Azul. **Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos SBRH**. Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2020.

SANDERS, T. G.; WARD, R. C.; LOFTIS, J. C.; STEELE, T. D.; ADRIAN, D. D.; YEVJEVICH, V. M. **Design of Networks for Monitoring Water Quality**. 1. ed. Littleton: Water Resources Publication LLC, 1983.

SANTOS, S. P. **Morfometria, compartimentação e hidrodinâmica de um reservatório periurbano tropical: prognósticos sobre o tempo de vida útil do reservatório de Vargem das Flores, Minas Gerais – Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2012.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - SEMAD. **Mapas de Espalhamento do Rejeito**. 2019. Disponível em: http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2019/DESASTRE_BARRAGEM_B1/mapa_espalhamento_rejeitos/MAPA_ESPALHAMENTO_DO_REJEITO_-_29_DE_JANEIRO.jpeg. Acesso em: 6 jan. 2020.

SHAPIRO, A. S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples) Published by : Biometrika Trust Stable URL: http://www.jstor.org/stable/2333709. **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965.

SHEELA, A. M.; LETHA, J.; JOSEPH, S.; CHACKO, M.; SANAL KUMAR, S. P.; THOMAS, J. Water quality assessment of a tropical coastal lake system using multivariate cluster, principal component and factor analysis. **Lakes & Reservoirs: Research & Management**, v. 17, n. 2, p. 143–159, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1440-1770.2012.00506.x

SHI, P.; ZHANG, Y.; LI, Z.; LI, P.; XU, G. Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. **Catena**, v. 151, p. 182–190, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.12.017

SHRESTHA, S.; KAZAMA, F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. **Environmental Modelling and Software**, v. 22, n. 4, p. 464–475, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001

SIEGEL, S.; CASTELLAN JR., N. J. **Nonparametric statistics for the behavioral sciences**. 2nd. ed. New York: McGraw-Hill, 1988.

SILVA, M. T. L. **Adaptação e aplicação do índice de conformidade ao enquadramento (ICE) de cursos d'água**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2017.

SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A.; SAMARA, C.; ZACHARIADIS, G.; VOUTSA, D.; ANTHEMIDIS, A.; KOUIMTZIS, T. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. **Water Research**, v. 37, n. 17, p. 4119–4124, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00398-1

SINGH, K. P.; MALIK, A.; MOHAN, D.; SINHA, S. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) - A case study. **Water Research**, v. 38, n. 18, p. 3980–3992, 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.06.011

SINGH, K. P.; MALIK, A.; SINHA, S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques—a case study. **Analytica Chimica Acta**, v. 538, n. 1–2, p. 355–374, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.02.006

SISTE, C.; GIRAO, E.; DUNCAN, B. **Manual para formação e capacitação de grupos comunitários em metodologias participativas de monitoramento de qualidade da água – módulo III: avaliação físico-química**. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza: 2011.

SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE DE MINAS GERAIS - SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. 2021. Disponível em: idesisema.meioambiente.mg.gov.br. Acesso em: 11 jan. 2021.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2019**. 2019. Disponível em: http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/.

SMETI, E. M.; GOLFINOPOULOS, S. K. Characterization of the Quality of a Surface Water Resource by Multivariate Statistical Analysis. **Analytical Letters**, v. 49, n. 7, p. 1032–1039, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1080/00032719.2015.1045585

SOARES, A. L. C. **Identificação dos corpos d'água mais impactados das bacias dos rios Piracicaba e Paraopeba e cálculo do risco relativo de violação aos limites preconizados pela legislação ambiental**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2017.

SOARES, A. L. C.; PINTO, C. C.; CORDOVA, J. E.; GOMES, L. N. L.; OLIVEIRA, S. M. A. C. Water quality assessment of a multiple-use reservoir in southeastern Brazil: case study of the Vargem das Flores reservoir. **Environmental Earth Sciences**, v. 80, n. 5, p. 210, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s12665-021-09474-0

SOARES, A. L. C.; PINTO, C. C.; OLIVEIRA, S. C. Impacts of anthropogenic activities and calculation of the relative risk of violating surface water quality standards established by environmental legislation: a case study from the Piracicaba and Paraopeba river basins, Brazil.

Environmental Science and Pollution Research, v. 27, n. 12, p. 14085–14099, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11356-020-07647-1

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The Comparison of Dendrograms by Objective Methods. **Taxon**, v. 53, n. 9, p. 33–40, 1962.

STROBL, R. O.; ROBILLARD, P. D. Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 87, n. 4, p. 639–648, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.001

SUTADIAN, A. D.; MUTTIL, N.; YILMAZ, A. G.; PERERA, B. J. C. Development of river water quality indices—a review. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, n. 1, p. 1–29, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-015-5050-0

TEPAVITCHAROVA, S.; TODOROV, T.; DASSENAKIS, M.; PARASKEVOPOULOU, V. Chemical speciation in waters influenced by lead-zinc metallurgical industry. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 169, n. 1–4, p. 27–36, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-009-1147-7

TERAMOTO, E. H.; GEMEINER, H.; ZANATTA, M. B.; MENEGÁRIO, A. A.; CHANG, H. K. Metal speciation of the Paraopeba river after the Brumadinho dam failure. **Science of The Total Environment**, v. 757, p. 143917, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143917

TERRADO, M.; BARCELÓ, D.; TAULER, R.; BORRELL, E.; DE CAMPOS, S. Surface-water-quality indices for the analysis of data generated by automated sampling networks. **TrAC - Trends in Analytical Chemistry**, v. 29, n. 1, p. 40–52, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.10.001

THOMPSON, F.; DE OLIVEIRA, B. C.; CORDEIRO, M. C.; MASI, B. P.; RANGEL, T. P.; PAZ, P.; DE REZENDE, C. E. Severe impacts of the Brumadinho dam failure (Minas Gerais, Brazil) on the water quality of the Paraopeba River. **Science of the Total Environment**, v. 705, p. 135914, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135914

TRAN, C. P.; BODE, R. W.; SMITH, A. J.; KLEPPEL, G. S. Land-use proximity as a basis for assessing stream water quality in New York State (USA). **Ecological Indicators**, v. 10, n. 3, p. 727–733, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.12.002

TRINDADE, A. L. C.; ALMEIDA, K. C. D. B.; BARBOSA, P. E.; OLIVEIRA, S. M. A. C. Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 13–24, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s1413-41522016131457

TU, J.; XIA, Z. Examining spatially varying relationships between land use and water quality using geographically weighted regression I: Model design and evaluation. **Science of The Total Environment**, v. 407, n. 1, p. 358–378, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.09.031

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

TYAGI, S.; SHARMA, B.; SINGH, P.; DOBHAL, R. Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index. **American Journal of Water Resources**, v. 1, n. 3, p. 34–38, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.12691/ajwr-1-3-3

UFV-CETEC-UFLA-FEAM. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais**. 2010. Disponível em: http://www.dps.ufv.br/?page_id=742.

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. **Plano Metropolitano - Macrozoneamento RMBH - Produto 04**. Belo Horizonte: 2014.

URIARTE, M.; YACKULIC, C. B.; LIM, Y.; ARCE-NAZARIO, J. A. Influence of land use on water quality in a tropical landscape: a multi-scale analysis. **Landscape Ecology**, v. 26, n. 8, p. 1151–1164, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10980-011-9642-y

VAROL, M.; GÖKOT, B.; BEKLEYEN, A.; ŞEN, B. Spatial and temporal variations in surface water quality of the dam reservoirs in the Tigris River basin, Turkey. **Catena**, v. 92, n. May, p. 11–21, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.11.013

VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBÁN, L. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. **Water Research**, v. 32, n. 12, p. 3581–3592, 1998. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00138-9

VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Journal of Environmental Management**, v. 93, n. 1, p. 154–168, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.09.012

VIANA, T. H. **Estudo do conteúdo de calor e suas influências sobre variáveis limnológicas em reservatórios de abastecimento de água**. 2009. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2009.

VIGLIO, E. P. **Atlas geoquímico da bacia do rio São Francisco**. Belo Horizonte: 2018.

VON SPERLING, E.; FERREIRA, A. C. da S.; GOMES, L. N. L. Comparative eutrophication development in two Brazilian water supply reservoirs with respect to nutrient concentrations and bacteria growth. **Desalination**, v. 226, n. 1–3, p. 169–174, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.105

VREBOS, D.; BEAUCHARD, O.; MEIRE, P. The impact of land use and spatial mediated processes on the water quality in a river system. **Science of The Total Environment**, v. 601–602, p. 365–373, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.217

WANG, J.; HOU, B.; JIANG, D.; XIAO, W.; WU, Y.; ZHAO, Y.; WANG, G. Optimal Allocation of Water Resources Based on Water Supply Security. **Water**, v. 8, n. 6, p. 237, 2016 a. Disponível em: https://doi.org/10.3390/w8060237

WANG, J.; LIU, G.; LIU, H.; LAM, P. K. Multivariate statistical evaluation of dissolved trace elements and a water quality assessment in the middle reaches of Huaihe River, Anhui, China.

Science of the Total Environment, v. 583, p. 421–431, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.088

WANG, W.; LIU, X.; WANG, Y.; GUO, X.; LU, S. Analysis of point source pollution and water environmental quality variation trends in the Nansi Lake basin from 2002 to 2012. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 5, p. 4886–4897, 2016 b. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11356-015-5625-x

WANG, Y.; WANG, P.; BAI, Y.; TIAN, Z.; LI, J.; SHAO, X.; LI, B. L. Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: A case study of the Songhua River Harbin region, China. **Journal of Hydro-Environment Research**, v. 7, n. 1, p. 30–40, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jher.2012.10.003

WANG, Y.; WU, X.; HE, S.; NIU, R. Eco-environmental assessment model of the mining area in Gongyi, China. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 17549, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-021-96625-9

WARBURTON, M. L.; SCHULZE, R. E.; JEWITT, G. P. W. Hydrological impacts of land use change in three diverse South African catchments. **Journal of Hydrology**, v. 414–415, p. 118–135, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.028

WEI, H.; YU, H.; ZHANG, G.; PAN, H.; LV, C.; MENG, F. Revealing the correlations between heavy metals and water quality, with insight into the potential factors and variations through canonical correlation analysis in an upstream tributary. **Ecological Indicators**, v. 90, n. September 2017, p. 485–493, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.037

WILCOXON, F. Individual Comparisons by Ranking Methods. **Biometrics Bulletin**, v. 1, n. 6, p. 80–83, 1945. Disponível em: https://doi.org/10.2307/3001968

WILSON, C. O.; WENG, Q. Simulating the impacts of future land use and climate changes on surface water quality in the Des Plaines River watershed, Chicago Metropolitan Statistical Area, Illinois. **Science of The Total Environment**, v. 409, n. 20, p. 4387–4405, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.07.001

WOLDEAB, B.; BEYENE, A.; AMBELU, A.; BUFFAM, I.; MERETA, S. T. Seasonal and spatial variation of reservoir water quality in the southwest of Ethiopia. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 3, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-018-6527-4

WU, M. L.; WANG, Y. S.; WANG, Y. T.; SUN, F. L.; SUN, C. C.; CHENG, H.; DONG, J. D. Seasonal and spatial variations of water quality and trophic status in Daya Bay, South China Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 112, n. 1–2, p. 341–348, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.07.042

XIA, J.; XU, G.; GUO, P.; PENG, H.; ZHANG, X.; WANG, Y.; ZHANG, W. Tempo-Spatial Analysis of Water Quality in the Three Gorges Reservoir, China, after its 175-m Experimental Impoundment. **Water Resources Management**, v. 32, n. 9, p. 2937–2954, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11269-018-1918-4

XIAO, M.; BAO, F.; WANG, S.; CUI, F. Water quality assessment of the Huaihe River segment of Bengbu (China) using multivariate statistical techniques. **Water Resources**, v. 43, n. 1, p. 166–176, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1134/S0097807816010115

XU, S.; LI, S. L.; ZHONG, J.; LI, C. Spatial scale effects of the variable relationships between landscape pattern and water quality: Example from an agricultural karst river basin, Southwestern China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 300, n. February, p. 106999, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106999

XU, W.; WANG, J.; ZHANG, M.; LI, S. Construction of landscape ecological network based on landscape ecological risk assessment in a large-scale opencast coal mine area. **Journal of Cleaner Production**, v. 286, p. 125523, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125523

YAN, F.; QIAO, D.; QIAN, B.; MA, L.; XING, X.; ZHANG, Y.; WANG, X. Improvement of CCME WQI using grey relational method. **Journal of Hydrology**, v. 543, p. 316–323, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.10.007

YANG, Y. H.; ZHOU, F.; GUO, H. C.; SHENG, H.; LIU, H.; DAO, X.; HE, C. J. Analysis of spatial and temporal water pollution patterns in Lake Dianchi using multivariate statistical methods. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 170, n. 1–4, p. 407–416, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-009-1242-9

YU, S.; XU, Z.; WU, W.; ZUO, D. Effect of land use on the seasonal variation of streamwater quality in the Wei River basin, China. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences**, v. 368, n. August 2014, p. 454–459, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.5194/piahs-368-454-2015

ZHANG, X.; WANG, Q.; LIU, Y.; WU, J.; YU, M. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the Southwest New Territories and Kowloon, Hong Kong. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 173, n. 1–4, p. 17–27, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-010-1366-y

ZHAO, Y.; QIN, Y.; ZHANG, L.; ZHENG, B.; MA, Y. Water quality analysis for the Three Gorges Reservoir, China, from 2010 to 2013. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 17, p. 1–12, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s12665-016-5954-1

ZHAO, Y.; XIA, X. H.; YANG, Z. F.; WANG, F. Assessment of water quality in Baiyangdian Lake using multivariate statistical techniques. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, n. 2011, p. 1213–1226, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.115

ZHOU, F.; LIU, Y.; GUO, H. Application of multivariate statistical methods to water quality assessment of the watercourses in Northwestern New Territories, Hong Kong. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 132, n. 1–3, p. 1–13, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-006-9497-x

APÊNDICE I

Tabelas com o percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo nas áreas de drenagem das estações de monitoramento de água da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019.

Tabela I.1: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP014 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	39,0%	33,330	38,9%	33,261	38,1%	32,531	38,2%	32,606	39,0%	33,350	40,0%	34,172
Formação Savânica	1,7%	1,448	1,8%	1,519	1,9%	1,636	2,0%	1,691	1,9%	1,585	1,7%	1,470
Floresta Plantada	1,7%	1,429	1,8%	1,496	1,7%	1,471	1,8%	1,502	1,9%	1,639	2,0%	1,732
Formação Campestre	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000
Pastagem	28,1%	24,010	28,7%	24,504	28,3%	24,141	26,4%	22,522	25,1%	21,481	24,6%	20,986
Agricultura	0,4%	0,328	0,4%	0,339	0,6%	0,483	0,6%	0,535	0,8%	0,684	0,9%	0,753
Mosaico de Agricultura e Pastagem	23,7%	20,263	23,2%	19,794	24,0%	20,506	25,5%	21,751	25,6%	21,860	25,2%	21,487
Infraestrutura Urbana	3,3%	2,812	3,3%	2,820	3,3%	2,833	3,3%	2,845	3,3%	2,840	3,3%	2,853
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	0,296	0,3%	0,275	0,3%	0,247	0,2%	0,209	0,2%	0,146	0,3%	0,224
Afloramento Rochoso	1,7%	1,456	1,6%	1,346	1,8%	1,507	2,0%	1,697	2,1%	1,778	1,9%	1,642
Mineração	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000
Água	0,1%	0,058	0,1%	0,076	0,1%	0,073	0,1%	0,071	0,1%	0,068	0,1%	0,111
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	40,6%	34,645	41,1%	35,070	40,7%	34,761	40,7%	34,773	41,0%	35,015	39,7%	33,934
Formação Savânica	1,7%	1,419	1,6%	1,409	1,8%	1,557	1,7%	1,414	1,4%	1,227	1,2%	1,017
Floresta Plantada	2,2%	1,889	2,3%	1,940	2,3%	1,960	2,4%	2,021	2,4%	2,029	2,5%	2,101
Formação Campestre	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000
Pastagem	22,9%	19,604	22,6%	19,341	22,8%	19,498	22,0%	18,829	21,6%	18,471	22,4%	19,139
Agricultura	1,1%	0,903	1,4%	1,167	1,5%	1,314	2,8%	2,422	2,9%	2,442	2,9%	2,471
Mosaico de Agricultura e Pastagem	26,0%	22,235	25,4%	21,678	25,0%	21,355	24,6%	20,974	24,9%	21,287	25,7%	21,959
Infraestrutura Urbana	3,3%	2,849	3,3%	2,853	3,3%	2,858	3,3%	2,853	3,4%	2,879	3,4%	2,879
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	0,292	0,3%	0,261	0,3%	0,287	0,4%	0,358	0,4%	0,355	0,5%	0,386
Afloramento Rochoso	1,7%	1,484	1,9%	1,589	2,0%	1,713	1,9%	1,652	1,8%	1,576	1,7%	1,435
Mineração	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000	0,0%	0,000
Água	0,1%	0,109	0,1%	0,121	0,1%	0,127	0,2%	0,133	0,2%	0,148	0,1%	0,108

Tabela I.2: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP016 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	19,2%	4,30	18,8%	4,22	18,0%	4,04	18,0%	4,02	17,7%	3,97	18,2%	4,08
Formação Savânica	6,4%	1,42	6,3%	1,41	6,4%	1,43	6,3%	1,41	7,3%	1,63	7,4%	1,66
Floresta Plantada	0,1%	0,02	0,1%	0,02	0,1%	0,01	0,1%	0,01	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	5,0%	1,13	4,8%	1,06	3,6%	0,82	2,4%	0,54	1,7%	0,37	1,5%	0,34
Agricultura	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mosaico de Agricultura e Pastagem	27,9%	6,25	27,8%	6,22	28,5%	6,38	28,2%	6,33	28,1%	6,29	28,2%	6,31
Infraestrutura Urbana	4,3%	0,95	5,3%	1,19	6,0%	1,34	6,4%	1,44	6,7%	1,51	10,0%	2,24
Outras Áreas não Vegetadas	4,4%	0,99	5,2%	1,16	6,0%	1,34	6,0%	1,34	5,6%	1,25	3,5%	0,79
Afloramento Rochoso	19,8%	4,43	19,9%	4,45	20,5%	4,58	22,0%	4,94	22,0%	4,92	19,7%	4,41
Mineração	12,7%	2,86	11,6%	2,61	10,7%	2,39	10,3%	2,31	10,7%	2,39	11,0%	2,46
Água	0,2%	0,05	0,3%	0,06	0,3%	0,08	0,3%	0,07	0,3%	0,07	0,5%	0,10
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	19,3%	4,32	18,1%	4,05	17,5%	3,93	17,3%	3,88	18,4%	4,12	19,7%	4,41
Formação Savânica	7,5%	1,67	6,8%	1,51	6,4%	1,43	6,7%	1,50	7,0%	1,56	5,8%	1,30
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,01
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0
Pastagem	1,7%	0,38	2,2%	0,50	2,8%	0,64	3,6%	0,82	4,2%	0,94	4,8%	1,08
Agricultura	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mosaico de Agricultura e Pastagem	28,1%	6,29	28,0%	6,26	26,7%	5,98	25,7%	5,75	24,1%	5,40	26,8%	6,00
Infraestrutura Urbana	9,5%	2,12	9,4%	2,11	7,7%	1,73	7,6%	1,71	8,9%	1,99	9,3%	2,09
Outras Áreas não Vegetadas	2,2%	0,50	2,0%	0,44	0,8%	0,19	0,7%	0,16	0,5%	0,11	0,6%	0,14
Afloramento Rochoso	19,1%	4,27	19,2%	4,30	19,4%	4,34	19,4%	4,34	18,0%	4,03	14,4%	3,22
Mineração	12,2%	2,73	14,0%	3,13	18,3%	4,10	18,6%	4,16	18,6%	4,16	18,2%	4,08
Água	0,5%	0,11	0,4%	0,08	0,3%	0,06	0,3%	0,07	0,3%	0,07	0,3%	0,07

Tabela I.3: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP018 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	35,9%	11,29	35,4%	11,15	34,3%	10,78	33,5%	10,54	34,7%	10,91	36,1%	11,36
Formação Savânica	4,4%	1,37	4,3%	1,35	4,2%	1,33	4,9%	1,53	5,1%	1,61	4,9%	1,54
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	0,1%	0,04	0,1%	0,02	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,01
Agricultura	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mosaico de Agricultura e Pastagem	7,2%	2,27	7,8%	2,44	7,7%	2,42	7,6%	2,38	7,2%	2,26	7,2%	2,27
Infraestrutura Urbana	0,6%	0,20	1,0%	0,32	1,3%	0,41	1,6%	0,51	1,7%	0,52	2,2%	0,69
Outras Áreas não Vegetadas	2,5%	0,79	2,8%	0,87	3,6%	1,14	3,8%	1,21	3,0%	0,96	2,2%	0,68
Afloramento Rochoso	31,7%	9,97	31,4%	9,86	31,9%	10,04	31,4%	9,89	30,4%	9,55	29,1%	9,15
Mineração	17,2%	5,41	16,9%	5,32	16,5%	5,20	16,8%	5,28	17,6%	5,53	18,0%	5,65
Água	0,4%	0,12	0,4%	0,13	0,4%	0,12	0,4%	0,11	0,3%	0,10	0,3%	0,10
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	36,2%	11,37	36,7%	11,53	36,7%	11,53	36,7%	11,53	36,6%	11,52	37,7%	11,84
Formação Savânica	5,2%	1,63	4,6%	1,44	4,6%	1,44	4,4%	1,37	4,2%	1,31	3,4%	1,08
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	0,1%	0,02	0,1%	0,03	0,1%	0,03	0,2%	0,05	0,3%	0,08	0,6%	0,18
Agricultura	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mosaico de Agricultura e Pastagem	7,5%	2,37	7,5%	2,36	7,5%	2,36	7,7%	2,42	6,8%	2,13	8,8%	2,76
Infraestrutura Urbana	2,2%	0,68	2,1%	0,66	2,1%	0,66	1,4%	0,46	2,6%	0,81	2,7%	0,86
Outras Áreas não Vegetadas	1,3%	0,40	1,1%	0,36	1,1%	0,36	0,8%	0,24	0,8%	0,27	1,2%	0,38
Afloramento Rochoso	28,8%	9,05	28,4%	8,92	28,4%	8,92	27,2%	8,55	26,9%	8,47	24,0%	7,54
Mineração	18,5%	5,82	19,2%	6,05	19,2%	6,05	21,4%	6,73	21,5%	6,76	21,3%	6,70
Água	0,4%	0,11	0,3%	0,11	0,3%	0,11	0,3%	0,11	0,3%	0,10	0,3%	0,10

Tabela I.4: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP020 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	30,0%	3,32	28,9%	3,19	27,6%	3,05	25,6%	2,83	24,3%	2,68	25,1%	2,78
Formação Savânica	3,4%	0,37	3,2%	0,35	3,2%	0,35	3,6%	0,40	4,7%	0,52	3,4%	0,38
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	0,8%	0,09	0,7%	0,08	0,6%	0,07	0,4%	0,05	0,3%	0,03	0,1%	0,01
Agricultura	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mosaico de Agricultura e Pastagem	9,7%	1,07	9,1%	1,00	9,5%	1,05	8,9%	0,99	7,4%	0,82	7,1%	0,78
Infraestrutura Urbana	3,4%	0,37	5,0%	0,55	5,9%	0,65	7,3%	0,80	7,5%	0,83	10,2%	1,12
Outras Áreas não Vegetadas	2,5%	0,28	2,4%	0,27	3,2%	0,35	3,5%	0,38	3,1%	0,34	2,4%	0,27
Afloramento Rochoso	9,3%	1,02	9,2%	1,01	9,0%	1,00	8,4%	0,93	8,1%	0,90	6,4%	0,71
Mineração	40,9%	4,51	41,5%	4,58	41,1%	4,53	42,1%	4,65	44,5%	4,91	45,0%	4,97
Água	0,1%	0,01	0,1%	0,01	0,0%	0,00	0,1%	0,01	0,1%	0,01	0,2%	0,03
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	24,2%	2,67	24,3%	2,68	24,2%	2,67	23,0%	2,54	22,8%	2,52	23,5%	2,59
Formação Savânica	3,2%	0,35	2,8%	0,31	2,5%	0,27	2,4%	0,27	2,5%	0,27	1,5%	0,17
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	0,2%	0,03	0,2%	0,02	0,4%	0,04	0,5%	0,06	0,8%	0,09	0,8%	0,09
Agricultura	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,2%	0,02	0,1%	0,01	0,1%	0,01
Mosaico de Agricultura e Pastagem	7,5%	0,82	6,8%	0,75	6,8%	0,75	6,1%	0,67	4,7%	0,52	5,2%	0,57
Infraestrutura Urbana	10,5%	1,16	10,1%	1,11	7,3%	0,81	7,2%	0,80	9,9%	1,10	10,2%	1,12
Outras Áreas não Vegetadas	1,9%	0,21	1,7%	0,19	1,1%	0,12	2,1%	0,23	0,8%	0,09	0,9%	0,10
Afloramento Rochoso	6,3%	0,70	6,0%	0,66	5,2%	0,58	5,6%	0,62	5,5%	0,60	5,1%	0,56
Mineração	46,0%	5,07	47,9%	5,28	52,4%	5,79	52,8%	5,83	52,9%	5,84	52,8%	5,83
Água	0,3%	0,03	0,2%	0,03	0,1%	0,02	0,2%	0,02	0,1%	0,01	0,0%	0,00

Tabela I.5: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP022 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	22,3%	2,37	22,9%	2,42	22,9%	2,43	23,0%	2,43	23,2%	2,45	23,6%	2,50
Formação Savânica	0,6%	0,06	0,6%	0,07	0,7%	0,07	0,8%	0,09	0,5%	0,05	0,4%	0,04
Floresta Plantada	0,1%	0,01	0,1%	0,01	0,2%	0,02	0,2%	0,02	0,2%	0,03	0,3%	0,03
Formação Campestre	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Pastagem	51,3%	5,43	51,9%	5,50	52,0%	5,51	50,6%	5,37	51,5%	5,46	50,7%	5,37
Agricultura	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mosaico de Agricultura e Pastagem	24,8%	2,63	23,7%	2,51	23,4%	2,47	24,4%	2,58	23,6%	2,50	23,8%	2,52
Infraestrutura Urbana	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Outras Áreas não Vegetadas	0,8%	0,08	0,8%	0,08	0,9%	0,09	1,0%	0,11	1,0%	0,11	1,2%	0,13
Afloramento Rochoso	0,1%	0,01	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	24,0%	2,54	24,8%	2,63	25,2%	2,67	24,6%	2,60	24,4%	2,58	24,7%	2,62
Formação Savânica	0,3%	0,03	0,3%	0,04	0,4%	0,04	0,4%	0,04	0,1%	0,01	0,1%	0,01
Floresta Plantada	0,3%	0,03	0,3%	0,03	0,3%	0,03	0,3%	0,04	0,3%	0,04	0,4%	0,04
Formação Campestre	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Pastagem	48,2%	5,11	47,6%	5,04	47,3%	5,01	48,0%	5,09	49,1%	5,20	50,0%	5,30
Agricultura	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,2%	0,02	0,3%	0,03	0,3%	0,03	0,3%	0,03
Mosaico de Agricultura e Pastagem	26,1%	2,76	25,8%	2,73	25,5%	2,70	25,3%	2,69	24,6%	2,60	23,2%	2,46
Infraestrutura Urbana	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Outras Áreas não Vegetadas	1,2%	0,12	1,2%	0,12	1,1%	0,12	1,0%	0,11	1,2%	0,13	1,3%	0,13
Afloramento Rochoso	0,0%	0	0,0%	0,00	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00

Tabela I.6: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP024 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	21,2%	103,84	22,0%	107,84	21,6%	106,12	21,5%	105,39	22,3%	109,31	23,7%	116,22
Formação Savânica	0,1%	0,67	0,1%	0,58	0,1%	0,59	0,2%	0,75	0,1%	0,65	0,1%	0,73
Floresta Plantada	1,5%	7,18	2,1%	10,53	2,6%	12,97	3,0%	14,70	3,5%	17,28	3,7%	17,91
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	47,5%	233,03	47,8%	234,42	47,0%	230,28	44,8%	219,90	43,2%	211,79	41,5%	203,30
Agricultura	1,5%	7,21	1,6%	7,68	1,9%	9,20	2,0%	10,01	2,4%	11,88	2,7%	13,30
Mosaico de Agricultura e Pastagem	27,6%	135,33	25,7%	126,24	26,1%	127,94	27,7%	136,04	27,7%	135,72	27,6%	135,24
Infraestrutura Urbana	0,3%	1,49	0,3%	1,64	0,3%	1,71	0,4%	1,79	0,4%	1,80	0,4%	1,88
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,44	0,1%	0,38	0,1%	0,41	0,1%	0,47	0,1%	0,38	0,1%	0,42
Afloramento Rochoso	0,2%	1,12	0,2%	0,95	0,2%	1,00	0,2%	1,18	0,3%	1,41	0,2%	1,21
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,0%	0,07	0,0%	0,11	0,0%	0,16	0,0%	0,16	0,0%	0,17	0,0%	0,17
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	24,3%	118,95	24,8%	121,59	24,3%	119,10	23,6%	115,60	23,6%	115,88	22,9%	112,36
Formação Savânica	0,1%	0,69	0,1%	0,68	0,2%	0,75	0,1%	0,65	0,1%	0,57	0,1%	0,35
Floresta Plantada	3,8%	18,84	3,9%	19,35	3,9%	19,35	4,1%	19,99	4,1%	20,19	4,2%	20,39
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	39,2%	192,19	38,4%	188,25	39,0%	191,13	38,8%	190,31	39,0%	191,32	39,7%	194,53
Agricultura	3,3%	16,07	3,8%	18,64	4,4%	21,40	5,9%	29,01	6,0%	29,38	6,1%	29,94
Mosaico de Agricultura e Pastagem	28,5%	139,89	28,1%	138,04	27,4%	134,49	26,6%	130,50	26,3%	128,92	26,3%	129,11
Infraestrutura Urbana	0,4%	1,96	0,4%	2,00	0,4%	2,02	0,4%	2,02	0,5%	2,21	0,5%	2,22
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,48	0,1%	0,44	0,1%	0,54	0,1%	0,62	0,1%	0,43	0,1%	0,52
Afloramento Rochoso	0,2%	1,12	0,2%	1,22	0,3%	1,43	0,3%	1,49	0,3%	1,28	0,2%	0,77
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,0%	0,18	0,0%	0,18	0,0%	0,19	0,0%	0,19	0,0%	0,20	0,0%	0,19

Tabela I.7: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP026 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	19,8%	218,71	20,6%	227,74	20,4%	225,82	20,2%	223,10	21,1%	232,67	22,4%	247,56
Formação Savânica	0,3%	3,06	0,2%	2,58	0,2%	2,70	0,3%	2,98	0,2%	2,59	0,2%	2,48
Floresta Plantada	1,2%	13,58	1,7%	19,09	2,1%	23,34	2,3%	25,92	2,7%	29,89	2,8%	30,83
Formação Campestre	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Pastagem	51,6%	570,56	52,2%	576,99	51,6%	570,13	49,2%	543,65	47,8%	527,62	46,4%	512,68
Agricultura	1,4%	15,95	1,6%	18,16	2,0%	22,39	2,2%	24,05	2,4%	26,73	2,7%	30,30
Mosaico de Agricultura e Pastagem	25,2%	278,15	23,0%	254,53	23,0%	254,39	25,2%	278,62	25,2%	278,60	24,8%	274,32
Infraestrutura Urbana	0,2%	2,24	0,3%	3,19	0,3%	3,51	0,3%	3,64	0,3%	3,68	0,3%	3,83
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,71	0,1%	0,79	0,1%	0,65	0,1%	0,74	0,1%	0,59	0,1%	0,67
Afloramento Rochoso	0,1%	1,59	0,1%	1,43	0,1%	1,51	0,2%	1,74	0,2%	2,08	0,2%	1,78
Mineração	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Água	0,0%	0,37	0,0%	0,41	0,0%	0,46	0,0%	0,46	0,0%	0,46	0,0%	0,47

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	22,8%	251,61	23,1%	255,70	22,9%	252,68	22,3%	246,48	22,4%	246,98	21,9%	242,35
Formação Savânica	0,2%	2,27	0,2%	2,13	0,2%	2,12	0,2%	1,89	0,1%	1,60	0,1%	1,18
Floresta Plantada	2,9%	32,03	3,0%	32,92	3,0%	32,92	3,1%	33,99	3,1%	34,29	3,1%	34,72
Formação Campestre	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Pastagem	43,7%	483,16	43,0%	475,17	43,4%	479,71	42,8%	472,37	42,5%	469,99	43,3%	478,04
Agricultura	3,4%	37,84	3,9%	43,42	4,6%	51,05	6,1%	67,91	6,3%	69,68	6,4%	70,81
Mosaico de Agricultura e Pastagem	26,3%	291,12	26,1%	288,53	25,2%	278,96	24,9%	274,57	24,9%	274,82	24,5%	270,81
Infraestrutura Urbana	0,4%	3,96	0,4%	3,99	0,4%	4,03	0,4%	4,03	0,4%	4,27	0,4%	4,28
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,75	0,1%	0,80	0,1%	0,97	0,1%	1,09	0,1%	0,87	0,1%	1,01
Afloramento Rochoso	0,2%	1,70	0,2%	1,79	0,2%	1,99	0,2%	2,09	0,2%	1,88	0,1%	1,18
Mineração	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Água	0,0%	0,48	0,0%	0,48	0,0%	0,49	0,0%	0,49	0,0%	0,53	0,0%	0,51

Tabela I.8: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP027 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	24,0%	594,55	24,5%	607,21	24,1%	596,56	23,7%	588,32	24,5%	607,05	25,6%	635,23
Formação Savânica	1,0%	25,25	1,0%	24,93	1,1%	26,70	1,1%	27,90	1,0%	26,03	1,0%	25,42
Floresta Plantada	1,1%	27,38	1,4%	34,98	1,6%	40,19	1,8%	43,45	2,0%	48,92	2,0%	50,69
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	44,7%	1.107,10	45,2%	1.119,87	44,5%	1.102,34	42,4%	1.050,65	41,1%	1.019,12	39,9%	988,42
Agricultura	1,0%	24,49	1,1%	27,78	1,4%	33,93	1,5%	36,74	1,7%	41,04	1,9%	47,25
Mosaico de Agricultura e Pastagem	23,4%	579,20	21,7%	536,71	22,1%	547,35	24,1%	596,68	24,2%	598,75	23,9%	592,21
Infraestrutura Urbana	2,0%	49,47	2,2%	54,90	2,3%	57,52	2,4%	59,08	2,4%	60,33	2,6%	64,22
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	7,66	0,3%	8,53	0,4%	9,38	0,4%	10,01	0,4%	9,10	0,3%	8,46
Afloramento Rochoso	1,6%	39,18	1,6%	39,52	1,7%	41,19	1,7%	42,30	1,8%	43,89	1,7%	41,80
Mineração	0,7%	18,35	0,7%	17,90	0,7%	17,05	0,7%	17,08	0,7%	17,84	0,7%	18,18
Água	0,2%	6,00	0,3%	6,31	0,3%	6,42	0,3%	6,44	0,3%	6,57	0,3%	6,78
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	26,0%	643,87	26,4%	655,17	26,2%	650,54	25,8%	640,56	25,9%	643,17	25,7%	636,43
Formação Savânica	1,0%	24,28	0,9%	22,44	0,9%	22,43	0,9%	21,63	0,8%	20,24	0,7%	17,05
Floresta Plantada	2,1%	53,02	2,2%	54,47	2,2%	54,83	2,3%	56,38	2,3%	56,81	2,3%	57,80
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	37,6%	931,75	37,1%	920,37	37,2%	923,03	36,7%	910,37	36,5%	904,01	37,2%	921,35
Agricultura	2,4%	59,79	2,8%	69,68	3,3%	82,07	4,5%	112,07	4,6%	114,50	4,7%	116,04
Mosaico de Agricultura e Pastagem	25,3%	626,88	24,8%	615,18	24,3%	601,86	23,9%	592,27	23,9%	592,58	23,7%	586,31
Infraestrutura Urbana	2,6%	65,38	2,7%	66,03	2,6%	65,39	2,6%	65,27	2,8%	68,19	2,8%	68,90
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	7,82	0,3%	7,34	0,3%	7,14	0,3%	7,95	0,3%	7,48	0,3%	8,53
Afloramento Rochoso	1,6%	40,01	1,6%	40,60	1,6%	40,78	1,7%	41,16	1,6%	40,34	1,4%	35,44
Mineração	0,8%	19,01	0,8%	20,32	1,0%	23,84	1,0%	24,27	1,0%	24,36	1,0%	24,02
Água	0,3%	6,82	0,3%	7,04	0,3%	6,73	0,3%	6,73	0,3%	6,95	0,3%	6,77

Tabela I.9: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP029 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	23,8%	651,13	24,3%	665,04	23,9%	654,68	23,6%	646,28	24,3%	667,32	25,5%	698,78
Formação Savânica	1,0%	28,51	1,0%	28,16	1,1%	30,05	1,1%	31,23	1,1%	28,88	1,0%	28,00
Floresta Plantada	1,1%	31,11	1,4%	39,44	1,7%	45,33	1,8%	48,84	2,0%	54,85	2,1%	56,93
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	45,4%	1.245,11	46,0%	1.260,47	45,4%	1.243,32	43,3%	1.186,73	42,0%	1.152,28	40,9%	1.120,32
Agricultura	0,9%	24,90	1,0%	28,16	1,3%	34,40	1,4%	37,13	1,5%	41,42	1,7%	47,58
Mosaico de Agricultura e Pastagem	23,1%	634,37	21,4%	587,16	21,7%	596,11	23,7%	650,21	23,8%	652,85	23,5%	644,39
Infraestrutura Urbana	1,8%	49,51	2,0%	54,94	2,1%	57,57	2,2%	59,15	2,2%	60,44	2,3%	64,35
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	7,92	0,3%	8,90	0,4%	9,84	0,4%	10,51	0,3%	9,58	0,3%	8,87
Afloramento Rochoso	1,6%	42,59	1,6%	43,02	1,6%	44,77	1,7%	46,00	1,7%	47,50	1,7%	45,28
Mineração	0,7%	19,36	0,7%	18,86	0,7%	17,96	0,7%	17,96	0,7%	18,76	0,7%	19,15
Água	0,3%	7,02	0,3%	7,39	0,3%	7,52	0,3%	7,51	0,3%	7,66	0,3%	7,89
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	25,8%	707,87	26,3%	720,91	26,2%	718,85	25,8%	708,33	25,9%	709,19	25,6%	702,25
Formação Savânica	1,0%	26,67	0,9%	24,74	0,9%	24,62	0,9%	23,64	0,8%	22,17	0,7%	18,79
Floresta Plantada	2,2%	59,29	2,2%	60,96	2,2%	61,37	2,3%	63,17	2,3%	63,62	2,4%	64,76
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	38,6%	1.059,53	38,2%	1.046,47	38,3%	1.049,51	37,8%	1.035,65	37,5%	1.028,56	38,2%	1.047,06
Agricultura	2,2%	60,07	2,6%	70,05	3,0%	82,56	4,1%	113,58	4,2%	115,99	4,3%	117,53
Mosaico de Agricultura e Pastagem	24,9%	682,95	24,5%	670,83	23,9%	654,51	23,5%	645,26	23,6%	647,36	23,4%	640,60
Infraestrutura Urbana	2,4%	65,54	2,4%	66,20	2,4%	65,55	2,4%	65,43	2,5%	68,52	2,5%	69,24
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	8,14	0,3%	7,55	0,3%	7,31	0,3%	8,15	0,3%	7,83	0,3%	8,90
Afloramento Rochoso	1,6%	43,47	1,6%	44,09	1,6%	44,12	1,6%	44,71	1,6%	44,33	1,4%	39,00
Mineração	0,7%	20,10	0,8%	21,59	0,9%	25,34	0,9%	25,80	0,9%	25,92	0,9%	25,58
Água	0,3%	7,91	0,3%	8,14	0,3%	7,80	0,3%	7,80	0,3%	8,03	0,3%	7,83

Tabela I.10: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP032 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	15,6%	73,27	15,8%	74,08	15,8%	73,84	16,0%	74,88	16,9%	79,25	17,8%	83,49
Formação Savânica	0,4%	1,77	0,4%	1,85	0,4%	1,94	0,4%	1,80	0,3%	1,63	0,3%	1,59
Floresta Plantada	0,5%	2,11	0,8%	3,75	1,1%	5,04	1,2%	5,63	1,4%	6,39	1,4%	6,67
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	67,6%	317,08	68,5%	321,00	69,3%	324,69	67,6%	316,78	66,2%	310,42	65,2%	305,49
Agricultura	0,0%	0,18	0,1%	0,28	0,1%	0,31	0,1%	0,26	0,1%	0,34	0,1%	0,30
Mosaico de Agricultura e Pastagem	15,7%	73,53	14,3%	66,81	13,2%	61,98	14,6%	68,45	14,9%	69,65	15,0%	70,17
Infraestrutura Urbana	0,1%	0,32	0,1%	0,38	0,1%	0,43	0,1%	0,45	0,1%	0,45	0,1%	0,48
Outras Áreas não Vegetadas	0,0%	0,08	0,0%	0,21	0,0%	0,13	0,0%	0,09	0,0%	0,09	0,0%	0,09
Afloramento Rochoso	0,1%	0,37	0,1%	0,37	0,1%	0,38	0,1%	0,39	0,1%	0,48	0,1%	0,43
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,02	0,0%	0,01
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	18,2%	85,51	18,4%	86,36	18,9%	88,60	18,8%	88,19	18,7%	87,44	18,1%	84,92
Formação Savânica	0,3%	1,24	0,2%	1,16	0,3%	1,20	0,3%	1,21	0,2%	0,97	0,2%	0,90
Floresta Plantada	1,4%	6,57	1,4%	6,71	1,5%	6,84	1,5%	7,12	1,5%	7,19	1,6%	7,28
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	63,7%	298,67	62,2%	291,44	62,8%	294,13	62,6%	293,46	62,2%	291,43	62,3%	292,05
Agricultura	0,1%	0,25	0,1%	0,34	0,1%	0,51	0,4%	1,73	0,4%	1,75	0,4%	1,75
Mosaico de Agricultura e Pastagem	16,1%	75,46	17,4%	81,63	16,3%	76,25	16,2%	75,75	16,8%	78,54	17,2%	80,44
Infraestrutura Urbana	0,1%	0,49	0,1%	0,51	0,1%	0,55	0,1%	0,55	0,1%	0,59	0,1%	0,62
Outras Áreas não Vegetadas	0,0%	0,10	0,0%	0,12	0,0%	0,10	0,0%	0,12	0,0%	0,11	0,0%	0,10
Afloramento Rochoso	0,1%	0,38	0,1%	0,38	0,1%	0,45	0,1%	0,48	0,1%	0,56	0,1%	0,54
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,0%	0,06	0,0%	0,08	0,0%	0,10	0,0%	0,11	0,0%	0,15	0,0%	0,14

Tabela I.11: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP079 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	20,3%	93,57	21,0%	96,88	20,9%	96,32	20,6%	94,98	21,1%	97,30	21,7%	100,32
Formação Savânica	0,4%	1,74	0,3%	1,61	0,4%	1,74	0,4%	1,98	0,3%	1,43	0,3%	1,40
Floresta Plantada	1,5%	7,06	1,9%	8,61	2,1%	9,55	2,2%	9,97	2,4%	10,99	2,5%	11,40
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	56,6%	261,30	57,3%	264,68	56,4%	260,13	53,9%	248,74	52,6%	242,64	50,7%	234,11
Agricultura	1,4%	6,47	1,5%	7,04	1,8%	8,45	2,1%	9,50	2,3%	10,46	2,8%	12,99
Mosaico de Agricultura e Pastagem	19,4%	89,42	17,5%	80,66	18,0%	83,16	20,4%	94,05	20,9%	96,30	21,4%	98,62
Infraestrutura Urbana	0,3%	1,20	0,3%	1,31	0,3%	1,35	0,3%	1,44	0,3%	1,53	0,4%	1,66
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,40	0,1%	0,42	0,1%	0,48	0,1%	0,50	0,1%	0,46	0,1%	0,59
Afloramento Rochoso	0,1%	0,24	0,0%	0,19	0,0%	0,22	0,0%	0,23	0,1%	0,27	0,1%	0,29
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,0%	0,22	0,1%	0,24	0,1%	0,24	0,1%	0,23	0,0%	0,23	0,1%	0,24
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	21,9%	101,12	22,4%	103,39	22,2%	102,63	21,8%	100,56	21,8%	100,59	21,7%	100,05
Formação Savânica	0,3%	1,32	0,3%	1,19	0,3%	1,22	0,3%	1,23	0,2%	0,82	0,1%	0,60
Floresta Plantada	2,6%	12,08	2,7%	12,37	2,7%	12,48	2,7%	12,67	2,8%	12,73	2,8%	13,02
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	47,6%	219,84	47,0%	216,86	46,5%	214,46	45,3%	208,97	44,6%	205,83	45,5%	210,00
Agricultura	3,7%	17,26	4,5%	20,76	5,3%	24,40	6,9%	31,63	7,0%	32,17	7,0%	32,54
Mosaico de Agricultura e Pastagem	23,2%	107,12	22,5%	103,92	22,4%	103,32	22,4%	103,29	23,0%	106,04	22,1%	102,01
Infraestrutura Urbana	0,4%	1,82	0,4%	1,91	0,4%	1,94	0,4%	1,95	0,5%	2,12	0,5%	2,14
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,55	0,2%	0,70	0,2%	0,70	0,2%	0,74	0,2%	0,74	0,2%	0,75
Afloramento Rochoso	0,1%	0,25	0,1%	0,24	0,0%	0,22	0,1%	0,32	0,1%	0,28	0,0%	0,22
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,1%	0,25	0,1%	0,27	0,1%	0,26	0,1%	0,27	0,1%	0,31	0,1%	0,29

Tabela I.12: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP080 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	31,6%	215,05	31,5%	214,39	30,7%	209,14	30,6%	208,31	31,3%	213,22	32,2%	219,42
Formação Savânica	2,5%	16,83	2,5%	17,33	2,7%	18,52	2,7%	18,60	2,6%	17,99	2,6%	17,83
Floresta Plantada	0,8%	5,49	0,9%	5,98	0,9%	6,06	0,9%	6,37	1,0%	6,81	1,0%	7,12
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	27,3%	186,29	27,5%	187,24	26,7%	181,59	25,1%	171,18	24,1%	164,28	23,4%	159,31
Agricultura	0,3%	1,74	0,3%	2,28	0,4%	2,77	0,4%	2,94	0,5%	3,50	0,5%	3,68
Mosaico de Agricultura e Pastagem	22,7%	154,82	22,0%	149,78	22,9%	155,93	24,1%	164,47	24,1%	164,37	23,7%	161,70
Infraestrutura Urbana	6,6%	44,88	6,9%	47,26	7,2%	48,99	7,3%	50,01	7,5%	51,09	8,0%	54,21
Outras Áreas não Vegetadas	0,9%	5,84	0,9%	6,44	1,1%	7,24	1,1%	7,55	1,0%	6,71	0,9%	5,88
Afloramento Rochoso	4,8%	32,84	4,9%	33,38	5,1%	34,54	5,2%	35,43	5,3%	36,39	5,1%	34,92
Mineração	1,8%	12,21	1,7%	11,65	1,6%	10,89	1,6%	10,80	1,6%	11,19	1,7%	11,33
Água	0,8%	5,19	0,8%	5,46	0,8%	5,51	0,8%	5,54	0,8%	5,63	0,8%	5,78

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	32,8%	223,28	33,4%	227,19	33,2%	226,22	33,0%	224,90	33,2%	226,22	32,8%	223,72
Formação Savânica	2,5%	17,16	2,3%	15,99	2,4%	16,15	2,3%	15,66	2,2%	15,15	2,0%	13,45
Floresta Plantada	1,1%	7,51	1,1%	7,80	1,2%	8,05	1,2%	8,28	1,2%	8,34	1,3%	8,55
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	22,1%	150,21	21,9%	149,17	21,9%	149,20	21,9%	149,30	21,9%	149,10	22,4%	152,73
Agricultura	0,6%	4,43	0,8%	5,16	0,9%	5,96	1,5%	10,42	1,5%	10,51	1,6%	10,57
Mosaico de Agricultura e Pastagem	24,6%	167,33	24,0%	163,39	23,6%	161,09	23,1%	157,45	22,8%	155,31	23,3%	158,43
Infraestrutura Urbana	8,1%	54,92	8,1%	55,49	8,1%	55,19	8,1%	55,09	8,4%	57,17	8,5%	57,82
Outras Áreas não Vegetadas	0,8%	5,12	0,7%	4,44	0,6%	4,14	0,6%	4,41	0,6%	4,32	0,8%	5,16
Afloramento Rochoso	4,9%	33,57	5,0%	33,98	5,0%	34,20	5,0%	34,32	4,9%	33,64	4,4%	29,90
Mineração	1,7%	11,84	1,9%	12,67	2,3%	15,37	2,3%	15,75	2,3%	15,82	2,3%	15,48
Água	0,9%	5,81	0,9%	5,92	0,8%	5,63	0,8%	5,61	0,8%	5,60	0,8%	5,39

Tabela I.13: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP084 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Alto Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	14,9%	14,78	15,1%	15,02	14,8%	14,73	14,7%	14,64	15,0%	14,94	15,9%	15,84
Formação Savânica	0,3%	0,34	0,4%	0,40	0,4%	0,41	0,5%	0,45	0,4%	0,39	0,4%	0,37
Floresta Plantada	0,4%	0,42	0,6%	0,55	0,6%	0,63	0,7%	0,70	0,8%	0,78	0,8%	0,83
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	51,9%	51,59	52,0%	51,65	50,4%	50,10	48,5%	48,19	47,8%	47,48	46,6%	46,34
Agricultura	0,2%	0,16	0,2%	0,16	0,2%	0,15	0,1%	0,13	0,2%	0,15	0,2%	0,18
Mosaico de Agricultura e Pastagem	21,7%	21,59	20,8%	20,65	22,2%	22,06	23,9%	23,72	24,2%	24,09	24,2%	24,01
Infraestrutura Urbana	9,9%	9,86	10,3%	10,28	10,8%	10,71	11,0%	10,88	11,0%	10,95	11,1%	11,06
Outras Áreas não Vegetadas	0,4%	0,43	0,5%	0,45	0,4%	0,37	0,4%	0,40	0,4%	0,36	0,5%	0,49
Afloramento Rochoso	0,1%	0,14	0,1%	0,15	0,1%	0,14	0,2%	0,19	0,2%	0,16	0,2%	0,18
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,1%	0,05	0,1%	0,06	0,1%	0,06	0,1%	0,06	0,1%	0,06	0,1%	0,06

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	16,6%	16,50	17,0%	16,86	17,0%	16,91	16,7%	16,61	17,0%	16,86	16,7%	16,58
Formação Savânica	0,4%	0,38	0,3%	0,35	0,4%	0,42	0,4%	0,37	0,3%	0,26	0,2%	0,20
Floresta Plantada	0,9%	0,86	0,9%	0,89	0,9%	0,90	1,0%	0,95	1,0%	0,97	1,0%	0,99
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	44,2%	43,89	43,6%	43,36	43,1%	42,80	42,9%	42,67	42,3%	42,05	43,1%	42,83
Agricultura	0,2%	0,19	0,3%	0,26	0,4%	0,43	1,1%	1,05	1,1%	1,05	1,1%	1,05
Mosaico de Agricultura e Pastagem	25,8%	25,63	25,7%	25,57	25,7%	25,53	25,6%	25,39	25,7%	25,58	25,2%	25,07
Infraestrutura Urbana	11,3%	11,24	11,5%	11,41	11,7%	11,65	11,7%	11,65	11,9%	11,85	12,0%	11,96
Outras Áreas não Vegetadas	0,4%	0,44	0,4%	0,43	0,5%	0,51	0,5%	0,48	0,5%	0,52	0,5%	0,50
Afloramento Rochoso	0,2%	0,15	0,2%	0,16	0,1%	0,13	0,1%	0,12	0,1%	0,15	0,1%	0,11
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,1%	0,07	0,1%	0,07	0,1%	0,07	0,1%	0,07	0,1%	0,08	0,1%	0,07

Tabela I.14: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP036 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	23,4%	893,04	23,9%	911,88	23,6%	899,86	23,3%	887,55	23,9%	913,70	25,0%	953,97
Formação Savânica	1,1%	43,66	1,1%	42,66	1,2%	44,75	1,2%	46,21	1,1%	43,35	1,1%	42,10
Floresta Plantada	0,9%	35,58	1,2%	45,94	1,4%	53,42	1,5%	57,72	1,7%	64,73	1,8%	67,24
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	48,1%	1.834,23	48,7%	1.860,20	48,5%	1.850,74	46,7%	1.780,61	45,6%	1.738,51	44,5%	1.698,69
Agricultura	0,7%	25,96	0,8%	29,47	0,9%	35,87	1,0%	38,64	1,1%	43,11	1,3%	49,36
Mosaico de Agricultura e Pastagem	22,1%	843,89	20,4%	778,84	20,4%	779,16	22,3%	849,28	22,4%	853,90	22,1%	844,03
Infraestrutura Urbana	1,3%	50,70	1,5%	56,27	1,5%	58,96	1,6%	60,62	1,6%	61,96	1,7%	65,91
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	8,23	0,2%	9,27	0,3%	10,17	0,3%	10,74	0,3%	9,83	0,2%	9,18
Afloramento Rochoso	1,4%	51,56	1,4%	52,31	1,4%	54,67	1,5%	56,27	1,5%	57,54	1,5%	55,53
Mineração	0,5%	19,35	0,5%	18,87	0,5%	17,98	0,5%	17,99	0,5%	18,80	0,5%	19,18
Água	0,3%	9,86	0,3%	10,36	0,3%	10,47	0,3%	10,42	0,3%	10,61	0,3%	10,87
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	25,3%	966,10	25,8%	983,63	25,9%	989,22	25,5%	973,15	25,5%	973,95	25,3%	964,11
Formação Savânica	1,0%	39,76	1,0%	37,63	1,0%	37,40	0,9%	36,25	0,9%	34,23	0,8%	30,27
Floresta Plantada	1,8%	69,36	1,9%	71,29	1,9%	71,93	1,9%	74,11	2,0%	74,59	2,0%	75,90
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	42,6%	1.625,88	41,9%	1.600,45	42,0%	1.604,34	41,5%	1.583,78	41,2%	1.572,32	41,8%	1.594,40
Agricultura	1,6%	61,68	1,9%	72,53	2,2%	85,66	3,2%	120,58	3,2%	122,94	3,3%	124,51
Mosaico de Agricultura e Pastagem	23,4%	892,88	23,3%	887,99	22,6%	862,68	22,6%	861,09	22,7%	867,12	22,6%	861,08
Infraestrutura Urbana	1,8%	67,14	1,8%	67,82	1,8%	67,22	1,8%	67,09	1,8%	70,26	1,9%	71,01
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	8,48	0,2%	7,84	0,2%	7,50	0,2%	8,40	0,2%	8,10	0,2%	9,16
Afloramento Rochoso	1,4%	53,72	1,4%	54,07	1,4%	53,88	1,4%	54,89	1,5%	55,35	1,3%	49,12
Mineração	0,5%	20,12	0,6%	21,59	0,7%	25,35	0,7%	25,82	0,7%	25,96	0,7%	25,60
Água	0,3%	10,93	0,3%	11,21	0,3%	10,87	0,3%	10,88	0,3%	11,23	0,3%	10,90

Tabela I.15: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP066 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	30,8%	21,16	31,3%	21,53	30,9%	21,27	30,6%	21,05	31,5%	21,67	32,6%	22,44
Formação Savânica	2,0%	1,34	1,7%	1,20	1,7%	1,19	1,8%	1,26	1,9%	1,31	1,7%	1,18
Floresta Plantada	0,6%	0,43	0,9%	0,62	1,0%	0,70	1,4%	0,94	1,6%	1,09	1,7%	1,15
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	32,2%	22,17	32,1%	22,06	31,4%	21,57	29,2%	20,07	27,2%	18,70	25,9%	17,79
Agricultura	0,6%	0,41	0,8%	0,53	0,8%	0,55	0,8%	0,57	1,1%	0,77	1,2%	0,84
Mosaico de Agricultura e Pastagem	25,8%	17,77	25,0%	17,20	25,8%	17,73	27,4%	18,83	27,4%	18,88	27,2%	18,69
Infraestrutura Urbana	2,1%	1,43	2,4%	1,67	2,4%	1,68	2,6%	1,81	2,8%	1,92	3,1%	2,13
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,06	0,1%	0,08	0,1%	0,07	0,2%	0,12	0,2%	0,13	0,3%	0,18
Afloramento Rochoso	0,5%	0,37	0,4%	0,29	0,5%	0,32	0,6%	0,41	0,8%	0,55	0,9%	0,59
Mineração	5,3%	3,63	5,2%	3,60	5,4%	3,70	5,4%	3,71	5,5%	3,76	5,4%	3,71
Água	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,1%	0,09

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	33,7%	23,20	34,2%	23,53	35,5%	24,40	35,2%	24,22	33,8%	23,24	33,7%	23,19
Formação Savânica	1,5%	1,03	1,4%	0,97	1,4%	0,95	1,4%	0,99	1,6%	1,11	1,4%	1,00
Floresta Plantada	1,8%	1,21	1,8%	1,24	1,8%	1,27	1,9%	1,29	1,9%	1,30	1,9%	1,32
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	25,3%	17,42	24,8%	17,03	25,3%	17,38	25,6%	17,61	25,3%	17,42	25,4%	17,51
Agricultura	1,3%	0,87	1,6%	1,11	1,7%	1,18	2,0%	1,37	2,0%	1,37	2,0%	1,37
Mosaico de Agricultura e Pastagem	26,7%	18,37	26,3%	18,11	24,2%	16,62	23,6%	16,24	24,7%	16,99	24,9%	17,11
Infraestrutura Urbana	3,2%	2,19	3,2%	2,19	2,9%	1,99	2,9%	2,00	3,2%	2,19	3,2%	2,21
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	0,17	0,2%	0,14	0,1%	0,09	0,1%	0,10	0,2%	0,11	0,2%	0,11
Afloramento Rochoso	0,6%	0,42	0,6%	0,42	0,5%	0,32	0,6%	0,38	0,6%	0,45	0,6%	0,40
Mineração	5,5%	3,77	5,7%	3,91	6,5%	4,45	6,4%	4,44	6,5%	4,44	6,3%	4,36
Água	0,2%	0,15	0,2%	0,15	0,2%	0,15	0,2%	0,17	0,3%	0,20	0,3%	0,22

Tabela I.16: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP068 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	25,1%	1.256,36	25,6%	1.280,59	25,3%	1.265,15	25,0%	1.250,49	25,7%	1.282,32	26,7%	1.331,74
Formação Savânica	1,5%	73,54	1,4%	71,75	1,5%	74,69	1,5%	76,66	1,5%	74,21	1,5%	73,14
Floresta Plantada	0,7%	37,23	1,0%	48,62	1,1%	56,74	1,2%	61,71	1,4%	69,34	1,4%	72,21
Formação Campestre	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Pastagem	46,9%	2.342,23	47,5%	2.371,55	47,3%	2.362,34	45,6%	2.275,77	44,5%	2.223,44	43,5%	2.171,82
Agricultura	0,6%	28,04	0,6%	31,92	0,8%	39,18	0,8%	42,15	1,0%	48,01	1,1%	54,95
Mosaico de Agricultura e Pastagem	21,3%	1.062,77	19,8%	987,24	19,8%	987,42	21,5%	1.073,82	21,6%	1.079,32	21,4%	1.070,84
Infraestrutura Urbana	1,2%	59,79	1,3%	66,35	1,4%	69,46	1,4%	71,84	1,5%	73,70	1,6%	79,10
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	10,60	0,2%	12,00	0,3%	13,14	0,3%	14,17	0,3%	13,64	0,3%	12,75
Afloramento Rochoso	1,3%	66,01	1,3%	66,88	1,4%	69,89	1,4%	71,80	1,5%	73,76	1,4%	70,84
Mineração	0,7%	37,22	0,7%	36,32	0,7%	35,06	0,7%	34,78	0,7%	35,28	0,7%	35,19
Água	0,4%	21,83	0,4%	22,42	0,5%	22,56	0,4%	22,44	0,5%	22,61	0,5%	23,05
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	27,0%	1.350,67	27,5%	1.374,92	27,8%	1.388,92	27,3%	1.366,30	27,3%	1.365,35	27,1%	1.354,40
Formação Savânica	1,4%	68,91	1,3%	65,06	1,3%	63,82	1,3%	62,81	1,2%	60,22	1,1%	54,89
Floresta Plantada	1,5%	74,90	1,5%	77,17	1,6%	77,97	1,6%	80,39	1,6%	80,95	1,6%	82,30
Formação Campestre	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Pastagem	41,9%	2.090,69	41,1%	2.053,49	41,2%	2.056,70	40,6%	2.028,93	40,3%	2.012,88	40,8%	2038,955
Agricultura	1,3%	66,79	1,6%	79,77	1,9%	93,61	2,7%	134,54	2,7%	136,92	2,8%	138,53
Mosaico de Agricultura e Pastagem	22,5%	1.124,05	22,5%	1.123,02	21,8%	1.089,05	21,9%	1.093,88	22,1%	1.105,46	22,0%	1099,164
Infraestrutura Urbana	1,6%	80,83	1,6%	81,60	1,6%	79,79	1,6%	79,66	1,7%	83,46	1,7%	84,36012
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	11,59	0,2%	10,42	0,2%	9,18	0,2%	10,17	0,2%	10,61	0,2%	11,85
Afloramento Rochoso	1,4%	68,27	1,4%	68,74	1,4%	67,49	1,4%	69,00	1,4%	68,92	1,2%	62,07
Mineração	0,7%	36,23	0,8%	38,62	0,9%	47,19	1,0%	47,69	1,0%	47,86	0,9%	47,08
Água	0,5%	22,68	0,5%	22,83	0,4%	21,92	0,4%	22,24	0,5%	22,99	0,4%	22,03

Tabela I.17: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP069 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	28,1%	122,54	28,4%	123,96	28,6%	124,80	28,3%	123,37	28,3%	123,60	28,4%	123,84
Formação Savânica	18,0%	78,67	18,0%	78,52	17,9%	77,95	18,2%	79,30	18,4%	80,12	18,4%	80,16
Floresta Plantada	0,2%	0,88	0,4%	1,56	0,4%	1,87	0,5%	2,04	0,5%	2,12	0,5%	2,22
Formação Campestre	0,3%	1,42	0,3%	1,38	0,3%	1,37	0,3%	1,37	0,3%	1,35	0,3%	1,37
Pastagem	45,5%	198,44	44,8%	195,60	44,6%	194,66	44,0%	191,70	43,3%	188,71	42,6%	185,87
Agricultura	0,0%	0,18	0,1%	0,26	0,1%	0,40	0,1%	0,48	0,2%	0,69	0,2%	0,81
Mosaico de Agricultura e Pastagem	2,9%	12,50	2,7%	11,91	2,7%	11,57	3,1%	13,34	3,2%	14,01	3,3%	14,46
Infraestrutura Urbana	2,4%	10,53	2,8%	12,01	2,8%	12,40	3,1%	13,44	3,2%	14,13	3,8%	16,59
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,45	0,1%	0,37	0,1%	0,56	0,1%	0,51	0,1%	0,61	0,2%	0,82
Afloramento Rochoso	0,1%	0,33	0,1%	0,35	0,1%	0,36	0,1%	0,40	0,1%	0,48	0,1%	0,43
Mineração	0,8%	3,27	0,7%	3,24	0,7%	3,21	0,7%	3,18	0,7%	3,14	0,7%	3,07
Água	1,6%	6,94	1,6%	6,98	1,6%	7,02	1,6%	7,03	1,6%	7,18	1,5%	6,50

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	28,5%	124,31	28,8%	125,61	29,0%	126,49	28,9%	125,97	28,6%	124,79	29,8%	129,79
Formação Savânica	18,3%	79,92	18,3%	79,67	17,5%	76,35	17,1%	74,72	16,7%	72,86	15,1%	66,00
Floresta Plantada	0,5%	2,32	0,6%	2,40	0,6%	2,66	0,6%	2,69	0,6%	2,66	0,6%	2,75
Formação Campestre	0,4%	1,62	0,4%	1,69	0,4%	1,65	0,3%	1,51	0,3%	1,33	0,3%	1,12
Pastagem	42,2%	183,88	41,5%	181,16	42,0%	183,30	42,0%	183,01	42,0%	183,09	42,5%	185,32
Agricultura	0,2%	0,79	0,2%	0,90	0,3%	1,17	0,4%	1,75	0,4%	1,83	0,5%	2,06
Mosaico de Agricultura e Pastagem	3,5%	15,15	3,5%	15,48	3,4%	15,03	3,9%	17,21	4,3%	18,60	4,1%	18,01
Infraestrutura Urbana	4,1%	18,06	4,5%	19,42	4,5%	19,71	4,5%	19,72	5,0%	21,69	5,0%	21,70
Outras Áreas não Vegetadas	0,7%	2,86	0,6%	2,51	0,5%	2,10	0,4%	1,95	0,4%	1,71	0,4%	1,85
Afloramento Rochoso	0,1%	0,41	0,1%	0,45	0,1%	0,27	0,1%	0,28	0,1%	0,23	0,0%	0,21
Mineração	0,7%	3,10	0,7%	3,16	0,9%	3,73	0,9%	3,71	0,9%	3,73	0,8%	3,69
Água	0,9%	3,74	0,8%	3,68	0,8%	3,69	0,8%	3,62	0,8%	3,64	0,8%	3,65

Tabela I.18: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP070 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	25,4%	1.346,61	25,8%	1.371,38	25,5%	1.355,80	25,3%	1.340,33	25,8%	1.370,28	26,7%	1.417,54
Formação Savânica	1,8%	97,92	1,8%	96,30	1,9%	98,52	1,9%	100,79	1,9%	98,42	1,8%	97,66
Floresta Plantada	0,7%	37,50	0,9%	48,98	1,1%	57,88	1,2%	63,25	1,3%	70,90	1,4%	73,70
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	45,2%	2.401,90	45,7%	2.427,62	45,5%	2.417,00	43,8%	2.327,38	42,8%	2.272,52	41,8%	2.218,29
Agricultura	0,5%	28,65	0,6%	32,57	0,8%	39,85	0,8%	42,78	0,9%	48,72	1,0%	55,72
Mosaico de Agricultura e Pastagem	21,3%	1.131,69	19,9%	1.057,70	19,9%	1.058,36	21,6%	1.145,58	21,7%	1.153,40	21,6%	1.145,80
Infraestrutura Urbana	2,2%	117,25	2,4%	125,14	2,4%	129,69	2,5%	134,54	2,6%	137,72	2,8%	146,27
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	12,15	0,3%	13,59	0,3%	14,73	0,3%	15,82	0,3%	15,41	0,3%	14,73
Afloramento Rochoso	1,3%	68,59	1,3%	69,33	1,4%	72,73	1,4%	74,88	1,5%	77,28	1,4%	74,52
Mineração	0,8%	40,41	0,7%	39,49	0,7%	38,25	0,7%	38,07	0,7%	38,61	0,7%	38,51
Água	0,5%	25,49	0,5%	26,05	0,5%	25,37	0,5%	24,76	0,5%	24,90	0,5%	25,43
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	27,1%	1.436,50	27,6%	1.462,60	27,8%	1.477,70	27,4%	1.454,11	27,4%	1.454,11	27,2%	1.441,20
Formação Savânica	1,7%	92,62	1,6%	87,57	1,6%	85,84	1,6%	84,61	1,6%	84,61	1,4%	75,64
Floresta Plantada	1,4%	76,53	1,5%	78,83	1,5%	79,71	1,5%	82,14	1,5%	82,14	1,6%	84,14
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	40,3%	2.137,93	39,6%	2.100,17	39,6%	2.101,42	39,0%	2.071,99	39,0%	2.071,99	39,2%	2.081,64
Agricultura	1,3%	67,67	1,5%	81,05	1,8%	94,82	2,6%	137,12	2,6%	137,12	2,7%	140,98
Mosaico de Agricultura e Pastagem	22,6%	1.197,18	22,5%	1.194,63	21,9%	1.161,24	22,0%	1.167,46	22,0%	1.167,46	22,1%	1.174,14
Infraestrutura Urbana	2,8%	149,58	2,8%	151,25	2,8%	149,79	2,8%	149,67	2,8%	149,67	2,9%	155,92
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	13,47	0,2%	11,94	0,2%	10,29	0,2%	11,54	0,2%	11,54	0,2%	13,07
Afloramento Rochoso	1,4%	71,99	1,4%	72,66	1,3%	70,97	1,4%	72,34	1,4%	72,34	1,2%	65,22
Mineração	0,7%	39,74	0,8%	42,40	1,0%	52,23	1,0%	52,74	1,0%	52,74	1,0%	52,04
Água	0,5%	24,96	0,5%	25,07	0,5%	24,15	0,5%	24,43	0,5%	24,43	0,5%	24,18

Tabela I.19: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP071 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	23,6%	57,53	23,6%	57,58	23,9%	58,17	23,6%	57,49	23,4%	57,03	22,8%	55,55
Formação Savânica	14,2%	34,63	14,3%	34,83	13,7%	33,47	13,7%	33,33	14,0%	34,18	14,1%	34,25
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Formação Campestre	0,0%	0,05	0,0%	0,05	0,0%	0,06	0,0%	0,05	0,0%	0,05	0,0%	0,05
Pastagem	25,4%	61,90	24,5%	59,77	24,2%	58,90	23,6%	57,64	23,0%	56,15	22,7%	55,36
Agricultura	0,1%	0,14	0,0%	0,12	0,0%	0,11	0,0%	0,10	0,0%	0,08	0,1%	0,18
Mosaico de Agricultura e Pastagem	3,6%	8,67	3,5%	8,64	3,4%	8,27	3,6%	8,74	3,7%	8,93	3,9%	9,44
Infraestrutura Urbana	30,8%	75,15	31,7%	77,19	32,4%	79,09	33,2%	80,81	33,5%	81,74	34,4%	83,81
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	0,72	0,2%	0,59	0,3%	0,68	0,3%	0,63	0,2%	0,59	0,2%	0,51
Afloramento Rochoso	0,0%	0,02	0,0%	0,03	0,0%	0,02	0,0%	0,01	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	2,0%	4,93	2,0%	4,95	2,0%	4,99	2,0%	4,96	2,0%	4,99	1,9%	4,60

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	23,4%	57,12	23,9%	58,18	23,8%	58,03	23,9%	58,29	23,6%	57,42	24,0%	58,45
Formação Savânica	13,3%	32,40	12,9%	31,49	12,1%	29,52	11,7%	28,44	11,1%	26,95	10,1%	24,55
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,01	0,0%	0,03	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,02
Formação Campestre	0,0%	0,06	0,0%	0,06	0,0%	0,07	0,0%	0,07	0,0%	0,07	0,0%	0,06
Pastagem	22,6%	55,10	22,4%	54,49	22,4%	54,54	22,2%	54,01	22,4%	54,61	22,9%	55,83
Agricultura	0,1%	0,27	0,2%	0,41	0,2%	0,46	0,3%	0,77	0,3%	0,73	0,3%	0,74
Mosaico de Agricultura e Pastagem	3,9%	9,39	4,0%	9,78	4,5%	11,03	4,8%	11,82	4,9%	12,05	4,9%	11,97
Infraestrutura Urbana	34,8%	84,80	35,0%	85,19	35,3%	86,01	35,3%	86,03	36,0%	87,67	36,0%	87,68
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	0,63	0,2%	0,38	0,1%	0,35	0,2%	0,57	0,2%	0,44	0,2%	0,48
Afloramento Rochoso	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,02
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	1,6%	3,98	1,5%	3,75	1,5%	3,69	1,5%	3,71	1,5%	3,76	1,6%	3,96

Tabela I.20: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP072 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	25,3%	1.445,23	25,8%	1.470,07	25,5%	1.455,17	25,2%	1.438,58	25,7%	1.468,18	26,5%	1.513,08
Formação Savânica	2,8%	160,30	2,8%	159,04	2,8%	159,25	2,8%	161,15	2,8%	159,20	2,8%	157,82
Floresta Plantada	0,7%	37,47	0,9%	48,93	1,0%	57,85	1,1%	63,24	1,2%	70,89	1,3%	73,76
Formação Campestre	0,0%	0,19	0,0%	0,18	0,0%	0,19	0,0%	0,19	0,0%	0,18	0,0%	0,17
Pastagem	44,2%	2.522,25	44,6%	2.544,73	44,4%	2.533,22	42,8%	2.441,44	41,8%	2.384,52	40,8%	2.328,96
Agricultura	0,5%	29,40	0,6%	33,37	0,7%	40,64	0,8%	43,52	0,9%	49,52	1,0%	56,68
Mosaico de Agricultura e Pastagem	20,1%	1.149,70	18,9%	1.075,65	18,9%	1.075,68	20,4%	1.163,83	20,5%	1.172,26	20,4%	1.165,27
Infraestrutura Urbana	3,6%	206,50	3,8%	217,31	3,9%	224,36	4,1%	232,01	4,1%	236,54	4,4%	248,82
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	13,07	0,3%	14,34	0,3%	15,65	0,3%	16,71	0,3%	16,20	0,3%	15,75
Afloramento Rochoso	1,2%	68,68	1,2%	69,48	1,3%	72,93	1,3%	75,10	1,4%	77,58	1,3%	74,75
Mineração	0,7%	41,59	0,7%	40,64	0,7%	39,43	0,7%	39,25	0,7%	39,76	0,7%	39,62
Água	0,6%	31,44	0,6%	32,06	0,6%	31,44	0,5%	30,78	0,5%	30,98	0,5%	31,11

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	26,9%	1.533,88	27,4%	1.562,07	27,6%	1.577,39	27,2%	1.553,90	27,2%	1.550,35	27,0%	1.541,69
Formação Savânica	2,6%	150,16	2,5%	143,18	2,4%	138,63	2,4%	136,18	2,3%	132,00	2,1%	121,51
Floresta Plantada	1,3%	76,63	1,4%	78,97	1,4%	79,89	1,4%	82,31	1,5%	82,89	1,5%	84,33
Formação Campestre	0,0%	0,16	0,0%	0,16	0,0%	0,17	0,0%	0,15	0,0%	0,13	0,0%	0,11
Pastagem	39,4%	2.247,68	38,7%	2.207,91	38,7%	2.208,43	38,2%	2.177,67	37,9%	2.160,25	38,4%	2.188,62
Agricultura	1,2%	68,70	1,4%	82,50	1,7%	96,40	2,4%	139,51	2,5%	141,69	2,5%	143,29
Mosaico de Agricultura e Pastagem	21,3%	1.216,67	21,3%	1.214,94	20,7%	1.183,44	20,9%	1.191,02	21,1%	1.203,78	21,0%	1.198,32
Infraestrutura Urbana	4,5%	254,18	4,5%	256,93	4,5%	256,83	4,5%	256,73	4,6%	264,89	4,7%	266,02
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	14,74	0,2%	12,91	0,2%	11,03	0,2%	12,59	0,2%	12,78	0,2%	14,03
Afloramento Rochoso	1,3%	72,10	1,3%	72,78	1,2%	70,99	1,3%	72,34	1,3%	72,56	1,1%	65,18
Mineração	0,7%	40,85	0,8%	43,53	0,9%	53,65	0,9%	54,16	1,0%	54,34	0,9%	53,42
Água	0,5%	30,07	0,5%	29,94	0,5%	28,95	0,5%	29,25	0,5%	30,13	0,5%	29,28

Tabela I.21: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP073 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	26,9%	37,30	26,7%	37,08	27,1%	37,55	26,8%	37,18	26,6%	36,94	26,1%	36,23
Formação Savânica	16,3%	22,69	16,7%	23,18	16,0%	22,23	15,9%	22,12	16,3%	22,65	16,1%	22,41
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Formação Campestre	0,0%	0,05	0,0%	0,05	0,0%	0,06	0,0%	0,05	0,0%	0,05	0,0%	0,06
Pastagem	25,5%	35,45	24,4%	33,86	23,9%	33,14	23,5%	32,59	22,9%	31,85	22,9%	31,78
Agricultura	0,1%	0,12	0,1%	0,10	0,0%	0,06	0,0%	0,05	0,0%	0,03	0,1%	0,09
Mosaico de Agricultura e Pastagem	2,9%	4,03	2,8%	3,93	2,7%	3,70	2,7%	3,75	2,6%	3,66	2,7%	3,73
Infraestrutura Urbana	24,5%	34,03	25,6%	35,51	26,6%	36,95	27,4%	38,04	27,8%	38,56	28,7%	39,78
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	0,31	0,2%	0,26	0,2%	0,23	0,1%	0,20	0,2%	0,23	0,2%	0,25
Afloramento Rochoso	0,0%	0,02	0,0%	0,03	0,0%	0,02	0,0%	0,01	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	3,5%	4,79	3,5%	4,81	3,5%	4,87	3,5%	4,82	3,5%	4,84	3,2%	4,48

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	27,2%	37,79	27,8%	38,57	27,6%	38,35	27,8%	38,64	27,2%	37,82	27,7%	38,39
Formação Savânica	14,9%	20,70	14,5%	20,18	13,7%	19,01	13,2%	18,39	12,5%	17,30	11,3%	15,65
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,01	0,0%	0,04	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,02
Formação Campestre	0,0%	0,06	0,0%	0,06	0,1%	0,07	0,1%	0,07	0,0%	0,07	0,0%	0,06
Pastagem	23,1%	32,04	23,0%	31,98	23,3%	32,40	23,3%	32,35	24,0%	33,27	24,6%	34,13
Agricultura	0,1%	0,08	0,0%	0,05	0,0%	0,05	0,1%	0,11	0,1%	0,09	0,1%	0,09
Mosaico de Agricultura e Pastagem	2,6%	3,58	2,6%	3,65	3,0%	4,20	3,3%	4,54	3,4%	4,69	3,4%	4,67
Infraestrutura Urbana	29,1%	40,39	29,3%	40,61	29,5%	41,01	29,5%	41,01	30,1%	41,83	30,1%	41,83
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	0,29	0,1%	0,12	0,1%	0,10	0,1%	0,11	0,1%	0,10	0,1%	0,15
Afloramento Rochoso	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,02	0,0%	0,02
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	2,8%	3,88	2,6%	3,59	2,6%	3,57	2,6%	3,56	2,6%	3,59	2,7%	3,80

Tabela I.22: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP074 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	23,4%	95,55	24,2%	98,62	24,2%	98,62	24,3%	99,16	24,3%	99,10	23,6%	96,16
Formação Savânica	14,8%	60,51	15,1%	61,56	15,1%	61,56	15,0%	61,30	15,3%	62,23	15,7%	63,95
Floresta Plantada	0,2%	0,83	0,3%	1,08	0,3%	1,08	0,3%	1,31	0,4%	1,80	0,5%	1,95
Formação Campestre	0,1%	0,35	0,1%	0,34	0,1%	0,34	0,1%	0,31	0,1%	0,29	0,1%	0,28
Pastagem	60,8%	248,02	59,7%	243,52	59,7%	243,52	59,6%	242,91	59,2%	241,48	59,4%	242,39
Agricultura	0,0%	0,00	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,15	0,0%	0,14	0,0%	0,08
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Infraestrutura Urbana	0,5%	1,88	0,5%	1,98	0,5%	1,98	0,5%	2,02	0,5%	2,07	0,5%	2,17
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,23	0,1%	0,25	0,1%	0,25	0,1%	0,21	0,1%	0,21	0,1%	0,34
Afloramento Rochoso	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,1%	0,51	0,1%	0,50	0,1%	0,50	0,1%	0,50	0,1%	0,56	0,1%	0,56

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	23,8%	97,16	24,5%	99,88	24,3%	99,31	24,8%	101,31	25,1%	102,28	25,8%	105,15
Formação Savânica	15,6%	63,50	15,6%	63,64	15,7%	64,03	15,6%	63,47	15,6%	63,66	14,2%	58,03
Floresta Plantada	0,6%	2,27	0,6%	2,38	0,6%	2,46	0,6%	2,58	0,6%	2,59	0,7%	2,82
Formação Campestre	0,1%	0,29	0,1%	0,26	0,1%	0,28	0,1%	0,29	0,1%	0,37	0,1%	0,34
Pastagem	59,2%	241,54	58,5%	238,54	58,5%	238,72	58,1%	237,07	57,8%	235,58	58,4%	238,07
Agricultura	0,0%	0,04	0,0%	0,05	0,0%	0,00	0,0%	0,09	0,0%	0,17	0,1%	0,22
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Infraestrutura Urbana	0,5%	2,19	0,5%	2,22	0,5%	2,24	0,5%	2,24	0,6%	2,30	0,6%	2,30
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,34	0,1%	0,36	0,1%	0,33	0,1%	0,33	0,1%	0,45	0,1%	0,36
Afloramento Rochoso	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,1%	0,56	0,1%	0,55	0,1%	0,52	0,1%	0,51	0,1%	0,49	0,1%	0,59

Tabela I.23: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP075 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	23,4%	4,84	23,5%	4,87	23,5%	4,87	22,9%	4,74	22,4%	4,64	21,0%	4,35
Formação Savânica	16,5%	3,42	16,6%	3,43	16,3%	3,37	16,5%	3,41	16,4%	3,39	16,0%	3,31
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	7,8%	1,61	7,1%	1,47	6,8%	1,40	6,2%	1,29	5,6%	1,16	5,0%	1,04
Agricultura	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mosaico de Agricultura e Pastagem	6,2%	1,29	6,0%	1,24	5,9%	1,21	6,5%	1,35	7,1%	1,46	7,9%	1,64
Infraestrutura Urbana	45,0%	9,31	46,1%	9,52	46,8%	9,67	47,1%	9,73	47,8%	9,89	49,3%	10,20
Outras Áreas não Vegetadas	0,5%	0,11	0,3%	0,06	0,3%	0,05	0,3%	0,06	0,2%	0,04	0,2%	0,03
Afloramento Rochoso	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,5%	0,10	0,5%	0,10	0,5%	0,10	0,5%	0,10	0,5%	0,10	0,5%	0,10

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	21,3%	4,41	21,5%	4,44	21,3%	4,41	21,0%	4,35	20,8%	4,30	20,8%	4,30
Formação Savânica	15,4%	3,17	15,0%	3,11	14,7%	3,04	14,9%	3,09	14,9%	3,09	14,9%	3,08
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	5,3%	1,09	5,4%	1,12	5,3%	1,10	5,6%	1,16	5,5%	1,13	5,6%	1,15
Agricultura	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mosaico de Agricultura e Pastagem	7,5%	1,56	6,9%	1,44	6,3%	1,31	6,1%	1,25	5,5%	1,14	5,5%	1,13
Infraestrutura Urbana	49,9%	10,32	50,5%	10,45	51,7%	10,69	51,7%	10,68	52,6%	10,88	52,6%	10,88
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,03	0,1%	0,02	0,2%	0,03	0,2%	0,04	0,2%	0,04	0,2%	0,04
Afloramento Rochoso	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,5%	0,10	0,5%	0,10	0,5%	0,10	0,5%	0,10	0,5%	0,10	0,5%	0,10

Tabela I.24: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP076 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	11,6%	37,91	11,6%	37,91	11,9%	38,64	11,7%	38,22	11,9%	38,73	11,7%	38,21
Formação Savânica	18,9%	61,44	19,0%	61,86	19,1%	62,22	19,5%	63,62	19,6%	63,81	19,4%	63,18
Floresta Plantada	2,4%	7,67	2,3%	7,62	2,3%	7,38	2,2%	7,15	2,1%	6,85	2,1%	6,88
Formação Campestre	1,7%	5,47	1,6%	5,28	1,4%	4,58	1,3%	4,10	1,1%	3,65	1,0%	3,15
Pastagem	62,6%	204,04	62,4%	203,21	61,8%	201,45	61,4%	199,97	61,1%	198,93	61,3%	199,71
Agricultura	0,4%	1,44	0,6%	1,79	0,9%	2,92	1,2%	3,86	1,5%	4,81	1,5%	4,90
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Infraestrutura Urbana	1,5%	5,05	1,8%	5,73	1,8%	5,93	1,9%	6,18	1,9%	6,26	2,1%	6,88
Outras Áreas não Vegetadas	0,4%	1,15	0,2%	0,65	0,2%	0,81	0,2%	0,78	0,2%	0,77	0,3%	0,90
Afloramento Rochoso	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,5%	1,59	0,5%	1,70	0,6%	1,83	0,6%	1,89	0,6%	1,95	0,6%	1,96

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	12,1%	39,39	12,7%	41,32	12,9%	42,03	13,3%	43,18	13,3%	43,23	14,2%	46,32
Formação Savânica	19,1%	62,07	18,7%	61,07	18,3%	59,69	17,8%	57,96	17,6%	57,19	15,8%	51,48
Floresta Plantada	2,2%	7,30	2,3%	7,35	2,5%	8,27	2,6%	8,40	2,6%	8,39	2,6%	8,56
Formação Campestre	0,8%	2,77	0,9%	2,98	1,0%	3,20	1,0%	3,34	1,1%	3,58	1,2%	3,83
Pastagem	61,3%	199,68	60,8%	197,96	60,6%	197,51	60,7%	197,63	60,6%	197,45	61,2%	199,40
Agricultura	1,5%	4,84	1,6%	5,26	1,6%	5,25	1,7%	5,53	1,8%	5,72	1,8%	5,89
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Infraestrutura Urbana	2,2%	7,07	2,2%	7,17	2,2%	7,26	2,2%	7,26	2,4%	7,67	2,4%	7,68
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	0,77	0,2%	0,79	0,2%	0,77	0,2%	0,75	0,3%	0,87	0,3%	0,92
Afloramento Rochoso	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,6%	1,88	0,6%	1,88	0,5%	1,78	0,5%	1,73	0,5%	1,67	0,5%	1,69

Tabela I.25: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP081 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	20,8%	10,10	20,8%	10,12	20,5%	9,95	20,5%	9,98	20,9%	10,14	20,4%	9,89
Formação Savânica	3,1%	1,52	2,9%	1,43	3,0%	1,44	2,9%	1,40	2,9%	1,43	3,2%	1,54
Floresta Plantada	0,2%	0,09	0,2%	0,09	0,2%	0,08	0,2%	0,08	0,2%	0,08	0,2%	0,09
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	7,2%	3,47	6,5%	3,16	6,5%	3,14	6,4%	3,10	6,2%	3,01	5,8%	2,80
Agricultura	0,1%	0,03	0,1%	0,04	0,1%	0,04	0,1%	0,06	0,1%	0,05	0,1%	0,07
Mosaico de Agricultura e Pastagem	32,0%	15,53	32,6%	15,84	32,7%	15,87	32,3%	15,68	31,9%	15,48	31,6%	15,33
Infraestrutura Urbana	33,0%	16,05	33,3%	16,17	33,5%	16,26	33,9%	16,48	34,3%	16,67	35,0%	17,01
Outras Áreas não Vegetadas	0,5%	0,25	0,6%	0,29	0,6%	0,28	0,6%	0,27	0,4%	0,20	0,4%	0,18
Afloramento Rochoso	2,9%	1,39	2,7%	1,30	2,9%	1,40	2,9%	1,41	2,9%	1,41	3,2%	1,54
Mineração	0,3%	0,14	0,3%	0,13	0,2%	0,12	0,2%	0,11	0,2%	0,11	0,2%	0,12
Água	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	20,5%	9,96	21,1%	10,24	21,3%	10,37	21,1%	10,25	20,7%	10,05	20,2%	9,82
Formação Savânica	3,2%	1,57	3,1%	1,48	3,0%	1,45	3,0%	1,43	2,7%	1,33	2,6%	1,25
Floresta Plantada	0,2%	0,10	0,2%	0,10	0,2%	0,12	0,3%	0,13	0,3%	0,13	0,3%	0,14
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	6,0%	2,90	5,9%	2,87	5,5%	2,67	5,2%	2,52	5,3%	2,55	5,3%	2,55
Agricultura	0,1%	0,07	0,1%	0,07	0,1%	0,07	0,4%	0,18	0,4%	0,18	0,4%	0,18
Mosaico de Agricultura e Pastagem	30,4%	14,77	29,4%	14,27	29,2%	14,20	29,9%	14,53	29,5%	14,35	30,4%	14,76
Infraestrutura Urbana	35,6%	17,28	35,8%	17,41	36,0%	17,51	36,0%	17,49	36,3%	17,62	36,3%	17,64
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	0,14	0,3%	0,13	0,1%	0,07	0,2%	0,10	0,2%	0,10	0,2%	0,10
Afloramento Rochoso	3,4%	1,64	3,8%	1,84	3,8%	1,86	3,4%	1,66	4,1%	1,98	3,8%	1,85
Mineração	0,3%	0,15	0,4%	0,17	0,5%	0,26	0,6%	0,29	0,6%	0,29	0,6%	0,29
Água	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00

Tabela I.26: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP082 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	25,7%	1.871,87	26,1%	1.901,59	26,0%	1.893,55	25,7%	1.874,87	26,1%	1.904,21	26,7%	1.945,04
Formação Savânica	4,8%	350,00	4,8%	350,77	4,8%	348,63	4,8%	352,73	4,8%	353,34	4,8%	352,36
Floresta Plantada	0,6%	42,35	0,8%	55,11	0,9%	64,95	1,0%	70,96	1,1%	79,20	1,1%	82,18
Formação Campestre	0,0%	2,60	0,0%	2,51	0,0%	2,41	0,0%	2,36	0,0%	2,33	0,0%	2,33
Pastagem	47,0%	3.428,94	47,2%	3.441,06	46,9%	3.423,12	45,6%	3.325,78	44,7%	3.263,21	43,9%	3.205,90
Agricultura	0,4%	31,65	0,5%	36,49	0,6%	43,67	0,6%	47,15	0,7%	53,15	0,8%	61,27
Mosaico de Agricultura e Pastagem	16,0%	1.165,82	15,0%	1.090,71	14,9%	1.090,43	16,2%	1.181,17	16,3%	1.190,70	16,2%	1.184,53
Infraestrutura Urbana	3,2%	230,38	3,3%	243,42	3,4%	251,53	3,6%	261,00	3,7%	266,71	3,9%	282,78
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	14,18	0,2%	15,25	0,2%	16,91	0,2%	17,90	0,2%	17,52	0,2%	17,40
Afloramento Rochoso	0,9%	68,87	1,0%	69,72	1,0%	73,22	1,0%	75,40	1,1%	77,97	1,0%	75,12
Mineração	0,6%	45,10	0,6%	44,13	0,6%	42,87	0,6%	42,63	0,6%	43,07	0,6%	42,85
Água	0,6%	43,61	0,6%	44,62	0,6%	44,10	0,6%	43,44	0,6%	43,97	0,6%	43,62
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	27,0%	1.971,51	27,5%	2.006,61	27,7%	2.022,79	27,5%	2.002,71	27,3%	1.995,27	27,4%	1.997,91
Formação Savânica	4,7%	340,54	4,6%	333,19	4,4%	323,70	4,4%	317,76	4,2%	308,60	3,8%	279,16
Floresta Plantada	1,2%	85,52	1,2%	88,15	1,2%	90,54	1,3%	93,24	1,3%	93,80	1,3%	95,92
Formação Campestre	0,0%	2,48	0,0%	2,55	0,0%	2,52	0,0%	2,37	0,0%	2,20	0,0%	1,91
Pastagem	42,8%	3.120,18	42,1%	3.071,67	42,1%	3.072,56	41,6%	3.036,95	41,4%	3.023,02	41,9%	3.058,75
Agricultura	1,0%	73,63	1,2%	87,56	1,4%	102,63	2,0%	146,86	2,0%	149,34	2,1%	151,59
Mosaico de Agricultura e Pastagem	16,9%	1.236,45	16,9%	1.235,11	16,5%	1.203,77	16,7%	1.214,93	16,9%	1.229,97	16,8%	1.223,72
Infraestrutura Urbana	4,0%	290,32	4,0%	294,91	4,1%	295,87	4,1%	295,77	4,2%	307,37	4,2%	308,51
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	18,50	0,2%	16,27	0,2%	13,94	0,2%	15,50	0,2%	15,31	0,2%	16,60
Afloramento Rochoso	1,0%	72,50	1,0%	73,16	1,0%	71,20	1,0%	72,60	1,0%	72,78	0,9%	65,37
Mineração	0,6%	44,06	0,6%	46,82	0,8%	57,55	0,8%	58,03	0,8%	58,21	0,8%	57,27
Água	0,5%	39,69	0,5%	39,37	0,5%	38,31	0,5%	38,64	0,5%	39,50	0,5%	38,66

Tabela I.27: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP085 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	23,1%	20,89	23,1%	20,89	22,9%	20,72	22,8%	20,64	22,8%	20,62	22,0%	19,91
Formação Savânica	5,6%	5,06	5,5%	4,98	5,5%	4,94	5,5%	4,95	5,5%	4,99	5,6%	5,02
Floresta Plantada	0,2%	0,16	0,2%	0,21	1,1%	1,00	1,6%	1,44	1,7%	1,50	1,6%	1,44
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	8,9%	8,04	8,2%	7,44	8,1%	7,36	7,9%	7,14	7,7%	6,96	7,3%	6,58
Agricultura	0,0%	0,03	0,1%	0,05	0,0%	0,04	0,1%	0,05	0,0%	0,04	0,1%	0,06
Mosaico de Agricultura e Pastagem	24,3%	22,00	24,7%	22,35	24,6%	22,27	24,5%	22,14	24,3%	22,00	24,4%	22,13
Infraestrutura Urbana	33,2%	30,02	33,7%	30,46	34,0%	30,78	34,5%	31,23	35,0%	31,67	35,9%	32,47
Outras Áreas não Vegetadas	0,5%	0,41	0,4%	0,41	0,4%	0,39	0,4%	0,40	0,3%	0,27	0,3%	0,24
Afloramento Rochoso	1,5%	1,38	1,4%	1,29	1,5%	1,40	1,5%	1,40	1,6%	1,40	1,7%	1,52
Mineração	0,2%	0,14	0,1%	0,13	0,1%	0,12	0,1%	0,11	0,1%	0,11	0,1%	0,12
Água	2,6%	2,37	2,6%	2,31	1,6%	1,49	1,1%	1,01	1,0%	0,95	1,1%	1,02

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	21,9%	19,81	22,5%	20,33	22,6%	20,46	22,4%	20,27	22,0%	19,91	21,7%	19,69
Formação Savânica	5,4%	4,86	5,2%	4,69	5,1%	4,59	5,1%	4,62	5,0%	4,53	4,9%	4,40
Floresta Plantada	1,7%	1,54	1,7%	1,57	1,8%	1,60	1,8%	1,63	1,8%	1,64	1,9%	1,68
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	7,4%	6,73	7,4%	6,66	7,0%	6,36	6,8%	6,19	6,9%	6,22	6,9%	6,26
Agricultura	0,1%	0,06	0,1%	0,06	0,1%	0,06	0,2%	0,18	0,2%	0,18	0,2%	0,18
Mosaico de Agricultura e Pastagem	23,5%	21,29	22,6%	20,45	22,4%	20,25	22,7%	20,59	22,5%	20,34	22,9%	20,73
Infraestrutura Urbana	36,8%	33,33	37,2%	33,66	37,6%	34,03	37,6%	34,00	38,0%	34,40	38,1%	34,44
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	0,20	0,2%	0,21	0,2%	0,16	0,2%	0,21	0,2%	0,17	0,2%	0,16
Afloramento Rochoso	1,8%	1,63	2,0%	1,82	2,0%	1,85	1,8%	1,65	2,2%	1,96	2,0%	1,84
Mineração	0,2%	0,15	0,2%	0,17	0,3%	0,26	0,3%	0,29	0,3%	0,29	0,3%	0,29
Água	1,0%	0,92	1,0%	0,90	1,0%	0,90	1,0%	0,88	1,0%	0,87	0,9%	0,84

Tabela I.28: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP086 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	29,2%	55,75	29,3%	55,90	29,1%	55,60	28,9%	55,14	28,1%	53,57	27,3%	52,05
Formação Savânica	6,1%	11,65	6,1%	11,64	6,1%	11,61	6,3%	12,00	6,5%	12,44	6,7%	12,80
Floresta Plantada	0,1%	0,24	0,1%	0,28	0,6%	1,08	0,8%	1,52	0,8%	1,57	0,8%	1,51
Formação Campestre	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Pastagem	13,0%	24,82	11,8%	22,57	11,3%	21,66	10,8%	20,63	10,4%	19,80	9,8%	18,76
Agricultura	0,1%	0,16	0,1%	0,16	0,1%	0,17	0,1%	0,12	0,1%	0,15	0,1%	0,18
Mosaico de Agricultura e Pastagem	25,9%	49,51	26,6%	50,80	26,7%	50,90	26,5%	50,59	26,8%	51,23	27,2%	51,91
Infraestrutura Urbana	20,7%	39,55	21,2%	40,46	21,6%	41,19	22,2%	42,34	22,6%	43,12	23,5%	44,78
Outras Áreas não Vegetadas	0,6%	1,09	0,6%	1,13	0,6%	1,21	0,7%	1,26	0,7%	1,33	0,6%	1,06
Afloramento Rochoso	1,3%	2,43	1,2%	2,30	1,4%	2,60	1,5%	2,81	1,7%	3,26	1,7%	3,28
Mineração	1,7%	3,17	1,7%	3,16	1,7%	3,20	1,7%	3,28	1,7%	3,28	1,7%	3,30
Água	1,3%	2,52	1,3%	2,48	0,9%	1,66	0,6%	1,19	0,6%	1,14	0,7%	1,24

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	27,3%	52,07	27,7%	52,94	28,1%	53,65	27,9%	53,18	27,4%	52,28	27,4%	52,23
Formação Savânica	6,4%	12,20	6,1%	11,58	5,8%	11,02	5,6%	10,65	5,5%	10,55	5,2%	9,91
Floresta Plantada	0,9%	1,64	0,9%	1,67	0,9%	1,72	0,9%	1,77	0,9%	1,80	1,0%	1,84
Formação Campestre	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Pastagem	10,3%	19,65	10,3%	19,70	10,0%	19,00	9,7%	18,60	9,6%	18,37	9,8%	18,66
Agricultura	0,1%	0,19	0,1%	0,23	0,1%	0,25	0,4%	0,71	0,4%	0,70	0,4%	0,70
Mosaico de Agricultura e Pastagem	26,4%	50,48	25,8%	49,33	25,7%	49,05	26,1%	49,73	26,1%	49,88	26,6%	50,82
Infraestrutura Urbana	24,0%	45,79	24,2%	46,26	24,3%	46,47	24,3%	46,46	24,8%	47,29	24,8%	47,39
Outras Áreas não Vegetadas	0,5%	0,89	0,3%	0,66	0,2%	0,45	0,3%	0,65	0,3%	0,57	0,3%	0,55
Afloramento Rochoso	1,8%	3,36	1,9%	3,68	1,7%	3,29	1,7%	3,16	1,8%	3,46	1,5%	2,93
Mineração	1,8%	3,49	2,0%	3,75	2,6%	4,90	2,6%	4,91	2,6%	4,91	2,5%	4,82
Água	0,6%	1,12	0,6%	1,08	0,6%	1,08	0,6%	1,05	0,6%	1,07	0,5%	1,03

Tabela I.29: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP088 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	29,0%	34,61	28,8%	34,34	29,2%	34,82	28,9%	34,43	28,7%	34,26	28,1%	33,56
Formação Savânica	17,0%	20,27	17,4%	20,73	16,6%	19,81	16,5%	19,73	16,9%	20,20	16,8%	20,07
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Formação Campestre	0,0%	0,05	0,0%	0,05	0,0%	0,05	0,0%	0,04	0,0%	0,05	0,0%	0,05
Pastagem	27,1%	32,34	26,0%	31,04	25,5%	30,40	25,1%	29,92	24,5%	29,22	24,5%	29,18
Agricultura	0,1%	0,13	0,1%	0,11	0,1%	0,06	0,0%	0,05	0,0%	0,04	0,1%	0,10
Mosaico de Agricultura e Pastagem	3,1%	3,75	3,1%	3,64	2,9%	3,44	2,9%	3,50	2,9%	3,46	2,9%	3,47
Infraestrutura Urbana	19,3%	23,05	20,4%	24,32	21,5%	25,62	22,3%	26,60	22,7%	27,02	23,6%	28,18
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	0,32	0,2%	0,25	0,2%	0,24	0,2%	0,21	0,2%	0,23	0,2%	0,24
Afloramento Rochoso	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,01	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	4,0%	4,77	4,0%	4,79	4,1%	4,84	4,0%	4,80	4,0%	4,83	3,7%	4,44

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	29,3%	34,96	29,9%	35,67	29,7%	35,49	30,0%	35,76	29,3%	35,01	29,7%	35,44
Formação Savânica	15,5%	18,54	15,1%	18,04	14,3%	17,01	13,8%	16,44	12,9%	15,37	11,7%	13,92
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,02	0,0%	0,02
Formação Campestre	0,0%	0,05	0,0%	0,05	0,1%	0,06	0,1%	0,06	0,0%	0,06	0,0%	0,05
Pastagem	24,8%	29,54	24,8%	29,55	25,0%	29,87	25,0%	29,79	25,7%	30,68	26,4%	31,47
Agricultura	0,1%	0,08	0,0%	0,05	0,0%	0,05	0,1%	0,11	0,1%	0,08	0,1%	0,08
Mosaico de Agricultura e Pastagem	2,8%	3,35	2,9%	3,43	3,3%	3,97	3,6%	4,30	3,7%	4,46	3,7%	4,44
Infraestrutura Urbana	24,0%	28,63	24,2%	28,81	24,5%	29,18	24,5%	29,19	25,1%	29,95	25,1%	29,94
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	0,29	0,1%	0,12	0,1%	0,10	0,1%	0,11	0,1%	0,10	0,1%	0,15
Afloramento Rochoso	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,02	0,0%	0,02
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	3,2%	3,84	3,0%	3,54	3,0%	3,52	2,9%	3,52	3,0%	3,54	3,1%	3,75

Tabela I.30: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP090 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	27,9%	109,32	28,2%	110,62	28,7%	112,50	28,6%	111,97	28,5%	111,65	27,6%	108,33
Formação Savânica	13,8%	54,17	14,1%	55,26	13,9%	54,44	13,9%	54,66	14,1%	55,37	14,4%	56,55
Floresta Plantada	0,1%	0,45	0,2%	0,59	0,2%	0,76	0,2%	0,84	0,2%	0,90	0,2%	0,89
Formação Campestre	0,1%	0,53	0,1%	0,50	0,1%	0,45	0,1%	0,37	0,1%	0,34	0,1%	0,32
Pastagem	55,2%	216,49	54,5%	213,75	54,1%	212,08	54,0%	211,87	53,9%	211,20	54,2%	212,43
Agricultura	0,0%	0,01	0,0%	0,01	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,01	0,0%	0,01
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Infraestrutura Urbana	2,5%	9,98	2,6%	10,21	2,7%	10,63	2,8%	11,14	2,9%	11,36	3,1%	12,27
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,24	0,0%	0,11	0,0%	0,19	0,0%	0,18	0,0%	0,17	0,1%	0,20
Afloramento Rochoso	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,2%	0,88	0,3%	1,03	0,3%	1,02	0,3%	1,04	0,3%	1,07	0,3%	1,07

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	28,2%	110,59	28,6%	112,12	28,5%	111,82	29,0%	113,80	29,1%	113,94	29,7%	116,48
Formação Savânica	13,9%	54,65	14,1%	55,21	13,9%	54,65	13,7%	53,80	13,0%	50,79	11,8%	46,23
Floresta Plantada	0,2%	0,95	0,3%	0,99	0,3%	1,07	0,3%	1,10	0,3%	1,10	0,3%	1,27
Formação Campestre	0,1%	0,25	0,1%	0,27	0,1%	0,29	0,1%	0,31	0,1%	0,32	0,1%	0,31
Pastagem	53,9%	211,46	53,3%	208,96	53,4%	209,39	53,1%	208,14	53,6%	210,28	54,1%	212,08
Agricultura	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,01
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Infraestrutura Urbana	3,3%	12,83	3,4%	13,20	3,5%	13,61	3,5%	13,60	3,6%	14,31	3,6%	14,31
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,27	0,1%	0,27	0,0%	0,20	0,0%	0,18	0,1%	0,25	0,0%	0,19
Afloramento Rochoso	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,3%	1,08	0,3%	1,05	0,3%	1,05	0,3%	1,13	0,3%	1,08	0,3%	1,19

Tabela I.31: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP092 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	30,8%	17,47	31,1%	17,65	30,2%	17,17	30,6%	17,40	31,1%	17,69	30,5%	17,31
Formação Savânica	18,1%	10,30	17,8%	10,09	18,0%	10,24	17,9%	10,19	17,8%	10,13	18,4%	10,44
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	3,9%	2,20	4,0%	2,25	3,9%	2,21	3,8%	2,17	3,6%	2,04	3,5%	1,99
Agricultura	0,0%	0,01	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mosaico de Agricultura e Pastagem	33,3%	18,91	33,2%	18,85	33,8%	19,22	33,8%	19,18	34,1%	19,35	34,3%	19,49
Infraestrutura Urbana	0,6%	0,33	0,7%	0,42	0,8%	0,45	0,8%	0,46	0,9%	0,53	1,0%	0,56
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	0,15	0,3%	0,17	0,3%	0,17	0,2%	0,12	0,1%	0,06	0,2%	0,11
Afloramento Rochoso	12,9%	7,30	12,8%	7,29	12,8%	7,26	12,7%	7,22	12,2%	6,92	12,0%	6,81
Mineração	0,2%	0,11	0,2%	0,10	0,2%	0,09	0,1%	0,08	0,1%	0,08	0,2%	0,09
Água	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	30,4%	17,24	31,2%	17,75	32,2%	18,31	31,9%	18,14	31,5%	17,88	31,2%	17,71
Formação Savânica	18,4%	10,46	17,8%	10,13	17,2%	9,78	17,3%	9,81	17,4%	9,88	16,6%	9,43
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	3,4%	1,93	3,3%	1,86	3,2%	1,83	3,0%	1,71	3,0%	1,71	3,0%	1,73
Agricultura	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,2%	0,12	0,2%	0,12	0,2%	0,12
Mosaico de Agricultura e Pastagem	34,4%	19,55	33,9%	19,25	33,2%	18,84	33,1%	18,79	33,4%	18,97	34,5%	19,59
Infraestrutura Urbana	1,0%	0,57	1,0%	0,57	1,0%	0,58	1,0%	0,58	1,0%	0,59	1,1%	0,60
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,06	0,0%	0,01	0,0%	0,00	0,0%	0,01	0,8%	0,46	0,8%	0,45
Afloramento Rochoso	12,1%	6,89	12,5%	7,10	12,8%	7,27	13,1%	7,44	12,3%	6,98	12,3%	6,96
Mineração	0,2%	0,10	0,2%	0,13	0,4%	0,21	0,4%	0,22	0,4%	0,22	0,4%	0,22
Água	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00

Tabela I.32: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP094 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	28,0%	10,37	28,2%	10,44	27,4%	10,16	27,8%	10,29	28,2%	10,45	27,4%	10,15
Formação Savânica	19,8%	7,34	19,5%	7,23	19,8%	7,34	19,7%	7,32	19,7%	7,31	20,6%	7,62
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	2,9%	1,08	3,0%	1,11	2,8%	1,05	2,8%	1,04	2,6%	0,95	2,5%	0,92
Agricultura	0,0%	0,01	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mosaico de Agricultura e Pastagem	30,4%	11,26	30,3%	11,24	31,0%	11,50	31,0%	11,48	31,7%	11,73	31,6%	11,72
Infraestrutura Urbana	0,6%	0,24	0,8%	0,31	0,9%	0,32	0,9%	0,32	0,9%	0,34	1,0%	0,36
Outras Áreas não Vegetadas	0,4%	0,14	0,4%	0,13	0,3%	0,13	0,3%	0,10	0,2%	0,06	0,3%	0,10
Afloramento Rochoso	17,6%	6,51	17,5%	6,50	17,4%	6,46	17,3%	6,43	16,6%	6,14	16,5%	6,11
Mineração	0,3%	0,11	0,2%	0,09	0,2%	0,08	0,2%	0,07	0,2%	0,08	0,2%	0,08
Água	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	27,1%	10,05	27,8%	10,31	28,5%	10,57	28,4%	10,53	28,1%	10,43	27,9%	10,33
Formação Savânica	20,8%	7,69	20,0%	7,42	19,3%	7,15	19,3%	7,15	19,5%	7,21	18,5%	6,84
Floresta Plantada	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	2,4%	0,89	2,3%	0,85	2,3%	0,84	2,2%	0,80	2,2%	0,80	2,2%	0,82
Agricultura	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,2%	0,08	0,2%	0,08	0,2%	0,08
Mosaico de Agricultura e Pastagem	31,8%	11,77	31,6%	11,70	31,0%	11,48	30,5%	11,32	30,8%	11,42	31,9%	11,81
Infraestrutura Urbana	1,0%	0,36	1,0%	0,36	1,0%	0,37	1,0%	0,36	1,0%	0,37	1,0%	0,38
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	0,05	0,0%	0,01	0,0%	0,00	0,0%	0,01	0,9%	0,33	0,9%	0,35
Afloramento Rochoso	16,6%	6,15	16,9%	6,27	17,4%	6,44	17,8%	6,59	16,7%	6,19	16,8%	6,24
Mineração	0,3%	0,10	0,3%	0,12	0,5%	0,20	0,6%	0,21	0,6%	0,21	0,6%	0,21
Água	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00

Tabela I.33: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP096 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Médio Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	27,8%	201,31	28,3%	205,10	28,1%	203,83	30,7%	222,95	28,9%	209,28	29,8%	215,89
Formação Savânica	1,4%	9,97	1,3%	9,64	1,3%	9,72	1,0%	7,29	1,4%	9,81	1,3%	9,21
Floresta Plantada	0,2%	1,60	0,4%	2,57	0,4%	3,08	0,8%	6,01	0,6%	4,31	0,6%	4,62
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	48,9%	354,85	49,3%	357,91	49,4%	357,98	43,2%	313,15	46,6%	337,75	45,3%	328,68
Agricultura	0,2%	41,00	0,2%	1,53	0,2%	1,21	1,0%	1,53	0,4%	1,72	0,5%	7,36
Mosaico de Agricultura e Pastagem	17,6%	127,69	16,4%	119,13	16,4%	118,93	18,8%	136,13	17,9%	129,58	18,2%	131,81
Infraestrutura Urbana	0,6%	4,10	0,6%	4,71	0,7%	4,91	0,9%	6,45	0,8%	5,46	0,8%	5,82
Outras Áreas não Vegetadas	0,1%	1,01	0,2%	1,14	0,2%	1,29	0,2%	1,14	0,2%	1,47	0,2%	1,65
Afloramento Rochoso	0,3%	2,19	0,3%	2,23	0,3%	2,50	0,2%	1,75	0,5%	3,54	0,4%	2,89
Mineração	1,5%	10,98	1,5%	10,90	1,5%	10,90	1,8%	12,87	1,5%	10,85	1,5%	10,80
Água	1,4%	10,38	1,4%	10,44	1,4%	10,44	1,4%	10,19	1,4%	10,34	1,4%	10,49

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	30,2%	219,24	30,8%	223,30	31,5%	228,50	31,0%	224,84	30,7%	222,95	30,7%	222,32
Formação Savânica	1,1%	8,27	1,1%	7,81	1,1%	7,72	1,1%	7,87	1,0%	7,29	0,9%	6,76
Floresta Plantada	0,7%	5,21	0,8%	5,55	0,8%	5,73	0,8%	5,94	0,8%	6,01	0,8%	6,12
Formação Campestre	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Pastagem	44,3%	321,57	43,3%	314,36	43,6%	315,92	43,4%	314,78	43,2%	313,15	43,5%	315,82
Agricultura	0,5%	2,92	0,6%	3,43	0,7%	3,42	1,0%	4,47	1,0%	4,84	1,0%	7,35
Mosaico de Agricultura e Pastagem	18,8%	136,64	19,1%	138,69	18,1%	131,47	18,3%	132,99	18,8%	136,13	18,6%	135,13
Infraestrutura Urbana	0,8%	6,16	0,9%	6,31	0,8%	6,01	0,8%	6,03	0,9%	6,45	0,9%	6,50
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	1,40	0,2%	1,16	0,1%	1,00	0,1%	0,97	0,2%	1,14	0,2%	1,19
Afloramento Rochoso	0,3%	2,32	0,3%	2,33	0,2%	1,73	0,3%	1,84	0,2%	1,75	0,2%	1,59
Mineração	1,5%	10,99	1,6%	11,34	1,8%	12,85	1,8%	12,84	1,8%	12,87	1,8%	12,74
Água	1,4%	10,06	1,4%	9,96	1,3%	9,51	1,4%	9,84	1,4%	10,19	1,3%	9,73

Tabela I.34: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP078 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Baixo Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	22,4%	2.273,25	22,7%	2.304,17	22,7%	2.304,48	22,5%	2.284,55	22,9%	2.318,66	23,2%	2.353,63
Formação Savânica	7,3%	737,83	7,3%	744,37	7,3%	744,88	7,4%	755,41	7,4%	755,52	7,4%	752,05
Floresta Plantada	1,6%	166,27	1,9%	193,37	2,1%	216,30	2,3%	232,96	2,6%	262,02	2,7%	271,68
Formação Campestre	0,3%	26,91	0,3%	26,79	0,3%	26,17	0,3%	26,75	0,2%	24,92	0,2%	23,48
Pastagem	52,1%	5.282,90	51,9%	5.271,14	51,5%	5.225,79	50,3%	5.108,42	49,5%	5.017,74	48,9%	4.957,32
Agricultura	0,4%	39,27	0,5%	45,86	0,5%	54,32	0,6%	59,54	0,7%	69,27	0,8%	80,71
Mosaico de Agricultura e Pastagem	11,6%	1.176,20	10,9%	1.101,34	10,9%	1.102,20	11,8%	1.194,14	11,9%	1.203,81	11,8%	1.198,98
Infraestrutura Urbana	2,5%	249,67	2,6%	264,38	2,7%	272,99	2,8%	283,25	2,9%	289,28	3,0%	306,96
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	22,52	0,2%	22,13	0,2%	24,46	0,2%	25,08	0,2%	24,44	0,2%	24,35
Afloramento Rochoso	0,7%	68,99	0,7%	69,82	0,7%	73,30	0,7%	75,51	0,8%	78,10	0,7%	75,33
Mineração	0,4%	44,86	0,4%	43,89	0,4%	42,63	0,4%	42,41	0,4%	42,89	0,4%	42,70
Água	0,6%	58,24	0,6%	59,66	0,6%	59,40	0,6%	58,91	0,6%	60,27	0,6%	59,73

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	23,5%	2.386,32	24,0%	2.433,43	24,2%	2.451,60	24,0%	2.434,53	23,9%	2.425,65	24,0%	2.435,91
Formação Savânica	7,3%	739,02	7,2%	725,65	7,0%	715,01	6,9%	700,32	6,7%	684,25	6,2%	625,39
Floresta Plantada	2,8%	280,81	2,9%	291,11	2,9%	298,97	3,0%	303,75	3,0%	303,96	3,0%	307,72
Formação Campestre	0,2%	23,07	0,2%	23,09	0,2%	23,34	0,2%	22,25	0,2%	21,98	0,2%	21,25
Pastagem	47,9%	4.859,75	47,2%	4.794,22	47,1%	4.784,10	46,8%	4.744,56	46,6%	4.727,17	47,1%	4.776,30
Agricultura	0,9%	94,93	1,1%	111,87	1,3%	128,95	1,7%	176,79	1,8%	186,33	1,9%	195,31
Mosaico de Agricultura e Pastagem	12,3%	1.251,28	12,3%	1.250,28	12,0%	1.221,53	12,2%	1.237,89	12,4%	1.256,34	12,3%	1.250,14
Infraestrutura Urbana	3,1%	314,92	3,2%	319,86	3,2%	321,20	3,2%	321,12	3,3%	333,79	3,3%	334,95
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	24,97	0,2%	22,13	0,2%	19,55	0,2%	21,12	0,2%	21,65	0,2%	23,36
Afloramento Rochoso	0,7%	72,68	0,7%	73,31	0,7%	71,31	0,7%	72,69	0,7%	72,93	0,6%	65,50
Mineração	0,4%	43,96	0,5%	46,73	0,6%	57,43	0,6%	57,90	0,6%	58,08	0,6%	57,13
Água	0,5%	55,22	0,5%	55,24	0,5%	53,92	0,5%	54,00	0,5%	54,75	0,5%	53,99

Tabela I.35: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP083 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Baixo Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	24,3%	2.118,68	24,7%	2.152,30	24,7%	2.150,27	24,5%	2.132,72	24,8%	2.163,92	25,3%	2.201,54
Formação Savânica	6,1%	533,48	6,1%	535,02	6,1%	534,74	6,2%	541,43	6,3%	544,80	6,3%	544,63
Floresta Plantada	0,7%	57,55	0,8%	71,32	0,9%	82,08	1,0%	88,89	1,1%	98,32	1,2%	101,77
Formação Campestre	0,1%	8,97	0,1%	8,65	0,1%	7,84	0,1%	7,28	0,1%	6,80	0,1%	6,30
Pastagem	50,1%	4.366,99	50,2%	4.372,45	49,9%	4.343,98	48,7%	4.239,75	47,9%	4.169,05	47,2%	4.110,37
Agricultura	0,4%	36,44	0,5%	41,95	0,6%	50,10	0,6%	55,17	0,7%	63,53	0,8%	73,72
Mosaico de Agricultura e Pastagem	13,4%	1.171,42	12,6%	1.096,36	12,6%	1.096,83	13,6%	1.188,43	13,7%	1.197,90	13,7%	1.192,45
Infraestrutura Urbana	2,7%	238,12	2,9%	251,94	3,0%	260,35	3,1%	270,18	3,2%	276,06	3,4%	292,88
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	15,76	0,2%	16,26	0,2%	18,17	0,2%	19,11	0,2%	18,64	0,2%	18,92
Afloramento Rochoso	0,8%	69,08	0,8%	69,94	0,8%	73,41	0,9%	75,60	0,9%	78,17	0,9%	75,33
Mineração	0,5%	44,92	0,5%	43,92	0,5%	42,66	0,5%	42,43	0,5%	42,90	0,5%	42,68
Água	0,6%	50,73	0,6%	52,05	0,6%	51,73	0,6%	51,16	0,6%	52,06	0,6%	51,56
Tipologia	**2014**		**2015**		**2016**		**2017**		**2018**		**2019**	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	25,6%	2.233,00	26,1%	2.277,10	26,3%	2.293,62	26,1%	2.277,00	26,1%	2.270,37	26,2%	2.279,24
Formação Savânica	6,1%	531,11	6,0%	522,07	5,9%	512,05	5,8%	503,11	5,7%	494,23	5,1%	448,23
Floresta Plantada	1,2%	106,30	1,3%	109,39	1,3%	113,16	1,3%	116,21	1,3%	116,78	1,4%	119,53
Formação Campestre	0,1%	6,10	0,1%	6,32	0,1%	6,54	0,1%	6,51	0,1%	6,64	0,1%	6,57
Pastagem	46,1%	4.019,46	45,5%	3.961,95	45,5%	3.959,70	45,0%	3.919,92	44,8%	3.900,95	45,3%	3.945,38
Agricultura	1,0%	87,12	1,2%	101,94	1,3%	117,47	1,9%	162,03	1,9%	165,65	1,9%	168,97
Mosaico de Agricultura e Pastagem	14,3%	1.244,43	14,3%	1.242,99	13,9%	1.213,03	14,1%	1.227,30	14,3%	1.244,08	14,2%	1.237,67
Infraestrutura Urbana	3,5%	300,64	3,5%	305,40	3,5%	306,52	3,5%	306,44	3,7%	318,49	3,7%	319,64
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	19,86	0,2%	17,71	0,2%	15,28	0,2%	16,82	0,2%	16,93	0,2%	18,21
Afloramento Rochoso	0,8%	72,67	0,8%	73,37	0,8%	71,44	0,8%	72,78	0,8%	73,01	0,8%	65,57
Mineração	0,5%	43,91	0,5%	46,67	0,7%	57,40	0,7%	57,87	0,7%	58,04	0,7%	57,10
Água	0,5%	47,56	0,5%	47,25	0,5%	45,95	0,5%	46,18	0,5%	46,95	0,5%	46,04

Tabela I.36: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP098 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Baixo Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	11,6%	21,61	11,4%	21,27	11,5%	21,55	11,1%	20,72	11,3%	21,15	11,6%	21,73
Formação Savânica	15,6%	29,21	16,1%	30,09	16,1%	30,05	16,3%	30,35	15,4%	28,82	14,9%	27,87
Floresta Plantada	5,5%	10,19	5,8%	10,85	6,1%	11,43	6,4%	11,87	6,6%	12,24	6,7%	12,59
Formação Campestre	1,3%	2,45	1,3%	2,47	1,2%	2,26	1,1%	2,11	1,0%	1,94	0,9%	1,67
Pastagem	61,0%	113,94	60,0%	112,11	59,5%	111,14	59,6%	111,20	60,0%	112,08	59,9%	111,91
Agricultura	0,0%	0,03	0,1%	0,10	0,1%	0,15	0,1%	0,10	0,1%	0,13	0,1%	0,14
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Infraestrutura Urbana	4,7%	8,75	5,0%	9,33	5,1%	9,48	5,2%	9,69	5,2%	9,80	5,5%	10,19
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	0,35	0,2%	0,33	0,3%	0,47	0,3%	0,49	0,2%	0,37	0,2%	0,44
Afloramento Rochoso	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,1%	0,17	0,1%	0,17	0,1%	0,17	0,1%	0,18	0,1%	0,18	0,1%	0,18

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	11,8%	21,97	12,1%	22,55	12,4%	23,06	12,8%	23,86	12,4%	23,22	12,6%	23,59
Formação Savânica	14,8%	27,62	14,4%	26,85	14,2%	26,58	13,5%	25,23	13,0%	24,25	11,7%	21,92
Floresta Plantada	6,9%	12,85	7,0%	12,99	7,3%	13,67	7,4%	13,87	7,4%	13,80	7,5%	14,09
Formação Campestre	0,8%	1,57	0,9%	1,67	0,9%	1,63	0,8%	1,46	0,8%	1,50	0,9%	1,67
Pastagem	59,8%	111,68	59,7%	111,40	59,1%	110,44	59,4%	110,94	60,0%	111,95	60,5%	113,03
Agricultura	0,1%	0,22	0,1%	0,24	0,1%	0,12	0,1%	0,13	0,2%	0,41	0,4%	0,80
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Infraestrutura Urbana	5,5%	10,23	5,6%	10,42	5,7%	10,55	5,6%	10,55	5,8%	10,92	5,8%	10,92
Outras Áreas não Vegetadas	0,2%	0,39	0,2%	0,41	0,3%	0,48	0,3%	0,48	0,3%	0,49	0,3%	0,51
Afloramento Rochoso	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Mineração	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00
Água	0,1%	0,18	0,1%	0,18	0,1%	0,18	0,1%	0,18	0,1%	0,18	0,1%	0,18

Tabela I.37: Percentual e área das tipologias de uso e ocupação do solo na área de drenagem da BP099 da bacia hidrográfica do rio Paraopeba dos anos de 2008 a 2019 – Baixo Paraopeba.

Tipologia	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	20,3%	2.400,50	20,6%	2.429,47	20,5%	2.425,06	20,3%	2.402,54	20,6%	2.436,37	20,9%	2.474,28
Formação Savânica	8,6%	1.016,04	8,7%	1.028,45	8,7%	1.026,79	8,8%	1.037,06	8,7%	1.032,78	8,7%	1.023,04
Floresta Plantada	3,0%	350,65	3,3%	388,61	3,6%	423,32	3,8%	451,41	4,2%	492,90	4,3%	513,53
Formação Campestre	1,7%	195,27	1,7%	195,88	1,6%	192,25	1,6%	188,15	1,5%	178,66	1,5%	173,25
Pastagem	52,1%	6.159,14	51,9%	6.129,99	51,3%	6.061,58	50,3%	5.940,33	49,5%	5.847,70	49,0%	5.787,06
Agricultura	0,4%	44,44	0,4%	50,88	0,5%	61,25	0,6%	68,50	0,7%	78,97	0,8%	91,09
Mosaico de Agricultura e Pastagem	10,0%	1.176,15	9,3%	1.101,30	9,3%	1.101,99	10,1%	1.194,00	10,2%	1.203,55	10,1%	1.198,94
Infraestrutura Urbana	2,1%	249,83	2,2%	264,59	2,3%	273,19	2,4%	283,41	2,5%	289,47	2,6%	307,01
Outras Áreas não Vegetadas	0,3%	41,27	0,4%	42,43	0,4%	45,76	0,4%	44,19	0,4%	44,61	0,3%	40,56
Afloramento Rochoso	0,6%	68,98	0,6%	69,78	0,6%	73,26	0,6%	75,47	0,7%	78,00	0,6%	75,16
Mineração	0,4%	45,01	0,4%	44,03	0,4%	42,80	0,4%	42,56	0,4%	43,01	0,4%	42,80
Água	0,6%	66,12	0,6%	67,98	0,7%	86,13	0,7%	85,77	0,7%	87,36	0,7%	86,68

Tipologia	2014		2015		2016		2017		2018		2019	
	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²
Formação Florestal	21,2%	2.510,00	21,7%	2.560,48	21,8%	2.581,07	21,7%	2.565,39	21,7%	2.557,72	21,7%	2.561,01
Formação Savânica	8,6%	1.013,83	8,5%	998,60	8,4%	992,83	8,3%	974,79	8,1%	951,85	7,5%	884,42
Floresta Plantada	4,5%	529,06	4,6%	546,19	4,7%	559,63	4,8%	566,63	4,8%	566,69	4,9%	575,78
Formação Campestre	1,5%	172,62	1,5%	178,05	1,6%	185,94	1,6%	185,46	1,5%	179,67	1,5%	174,62
Pastagem	48,1%	5.676,35	47,4%	5.598,66	47,1%	5.566,18	46,8%	5.524,61	46,7%	5.514,85	47,1%	5.568,88
Agricultura	0,9%	106,24	1,1%	124,33	1,2%	143,99	1,6%	194,25	1,7%	205,06	1,8%	218,24
Mosaico de Agricultura e Pastagem	10,6%	1.251,28	10,6%	1.249,88	10,3%	1.221,30	10,5%	1.237,67	10,6%	1.255,95	10,6%	1.249,76
Infraestrutura Urbana	2,7%	314,87	2,7%	319,89	2,7%	321,35	2,7%	321,25	2,8%	333,93	2,8%	335,09
Outras Áreas não Vegetadas	0,4%	41,60	0,3%	37,25	0,3%	33,91	0,3%	34,52	0,3%	37,66	0,4%	44,91
Afloramento Rochoso	0,6%	72,53	0,6%	73,20	0,6%	71,21	0,6%	72,62	0,6%	72,80	0,6%	65,40
Mineração	0,4%	44,03	0,4%	46,77	0,5%	57,48	0,5%	57,95	0,5%	58,13	0,5%	57,18
Água	0,7%	80,97	0,7%	80,08	0,7%	78,51	0,7%	78,25	0,7%	79,05	0,7%	78,09

APÊNDICE II

Barragens de mineração localizadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba no ano de 2020

Tabela II.1: Barragens de mineração localizadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba no ano de 2020.

Nome da Barragem	Nome do Empreendedor	Município	Minério Principal	Altura Atual (m)	Volume Atual (m³)	Método Construtivo	Categoria de Risco	Dano Potencial Associado	Classe	Inserida na PNSB?	Nível de Emergência
B1	Itaminas Comercio De Minérios SA	Sarzedo	Argila	19	266.433,10	0 - Etapa única	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
B4	Itaminas Comercio De Minérios SA	Sarzedo	Minério de Ferro	98	3.520.918,61	5 - Alteamento por linha de centro	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Baias da UTM II	Gerdau Açominas S.a.	Ouro Preto	Minério de Ferro	22	26.000,00	0 - Etapa única	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Baixo João Pereira	Vale S A Filial: Vale Itabiritos	Congonhas	Minério de Ferro	15,76	142.500,00	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	Baixo	Médio	C	Sim	Sem emergência
Barnabé	Vale S A Filial: Vale Itabiritos	Congonhas	Minério de Ferro	28	249.414,82	2 - Alteamento a jusante	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Barnabé 1	Vale S A Filial: Vale Itabiritos	Congonhas	Minério de Ferro	33	409.990,33	0 - Etapa única	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Barragem 01 - Jose Jaime	Minerita Minérios Itaúna Ltda.	Itatiaiuçu	Minério de Ferro	20	1.200.000,00	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Barragem 02 - Canindé	Minerita Minérios Itaúna Ltda.	Itatiaiuçu	Minério de Ferro	40	86.937,10	0 - Etapa única	Baixo	Médio	C	Sim	Sem emergência
Barragem 03 - Zé da Grota	Minerita Minérios Itaúna Ltda.	Itatiaiuçu	Minério de Ferro	32	3.200.000,00	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Barragem 7	Ferrous Resources do Brasil Sa	Jeceaba	Minério de Ferro	64	8.120.721,68	0 - Etapa única	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Barragem Auxiliar Do Vigia	Csn Mineração S.a.	Ouro Preto	Minério de Ferro	35	3.140.693,00	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Barragem B1	Mineração Geral do Brasil S A	Brumadinho	Minério de Ferro	47	515.000,00	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	Alto	Médio	B	Sim	Nível 1
Barragem B1 - Mina Ipê	Mineração Morro do Ipê S.a.	Brumadinho	Minério de Ferro	55	571.815,00	2 - Alteamento a jusante	Baixo	Médio	C	Sim	Sem emergência
Barragem B1- Auxiliar - Mina Tico-Tico	Mineração Morro do Ipê S.a.	Igarapé	Minério de Ferro	68	657.575,00	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Barragem B1A Ipê	Emicon Mineração e Terraplenagem LTDA.	Brumadinho	Minério de Ferro	37	22.460,00	5 - Alteamento por linha de centro	Alto	Alto	A	Sim	Nível 1

Tabela II.1: Barragens de mineração localizadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba no ano de 2020 (Continuação).

Nome da Barragem	Nome do Empreendedor	Município	Minério Principal	Altura Atual (m)	Volume Atual (m³)	Método Construtivo	Categoria de Risco	Dano Potencial Associado	Classe	Inserida na PNSB?	Nível de Emergência
Barragem B2	Mineração Geral do Brasil S A	Brumadinho	Minério de Ferro	27	530.000,00	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	Baixo	Médio	C	Sim	Sem emergência
Barragem B2 - Mina Tico-Tico	Mineração Morro do Ipê S.a.	Igarapé	Minério de Ferro	80	2.200.000,00	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Barragem B4	Csn Mineração S.a.	Congonhas	Minério de Ferro	65	13.001.821,00	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Barragem B5	Csn Mineração S.a.	Congonhas	Minério de Ferro	41	5.393.580,00	0 - Etapa única	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Barragem Casa De Pedra	Csn Mineração S.a.	Congonhas	Minério de Ferro	84	65.374.575,00	2 - Alteamento a jusante	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Barragem Central	Mineração Usiminas S A	Itatiaiuçu	Minério de Ferro	58	3.837.314,81	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Barragem de Contenção de Sedimentos do Josino	Ferro + Mineração S.A.	Ouro Preto	Minério de Ferro	9	36.625,00	2 - Alteamento a jusante	Baixo	Médio	C	Sim	Sem emergência
Barragem de Rejeito 1	Mbl Materiais Básicos Ltda.	Itaúna	Minério de Ferro	27,5	72.597,75	0 - Etapa única	Baixo	Baixo	E	Sim	Sem emergência
Barragem de Rejeitos	Arcelormittal Brasil S A	Itatiaiuçu	Minério de Ferro	89	5.250.000,00	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	Alto	Alto	A	Sim	Nível 2
Barragem Do Vigia	Csn Mineração S.a.	Ouro Preto	Minério de Ferro	30	812.901,00	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Barragem Mina Oeste (Somisa)	Mineração Usiminas S A	Itatiaiuçu	Minério de Ferro	80	12.535.000,00	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Barragem Samambaia 0 (Zero)	Mineração Usiminas S A	Itatiaiuçu	Minério de Ferro	46	7.176.810,00	2 - Alteamento a jusante	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Barragem Serrinha	Ferrous Resources do Brasil Sa	Brumadinho	Minério de Ferro	4	100.000,00	0 - Etapa única	Baixo	Médio	C	Sim	Sem emergência

Tabela II.1: Barragens de mineração localizadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba no ano de 2020 (Continuação).

Nome da Barragem	Nome do Empreendedor	Município	Minério Principal	Altura Atual (m)	Volume Atual (m³)	Método Construtivo	Categoria de Risco	Dano Potencial Associado	Classe	Inserida na PNSB?	Nível de Emergência
Capim Branco	Minerações Brasileiras Reunidas Sa Filial: MBR Paraopeba	Brumadinho	Minério de Ferro	27	450.325,00	2 - Alteamento a jusante	Alto	Alto	A	Sim	Nível 1
Dique 01	Mineração Comisa LTDA.	Brumadinho	Minério de Ferro	15	0.100,00	0 - Etapa única	Baixo	Médio	C	Sim	Sem emergência
Dique 02	Mineração Comisa LTDA.	Brumadinho	Minério de Ferro	20	0.400,00	0 - Etapa única	Baixo	Médio	C	Sim	Sem emergência
Dique B3 Ipê	Emicon Mineração e Terraplenagem LTDA.	Brumadinho	Minério de Ferro	23,5	10.010.305,00	2 - Alteamento a jusante	Alto	Médio	B	Sim	Nível 1
Dique B4 Ipê	Emicon Mineração e Terraplenagem LTDA.	Brumadinho	Minério de Ferro	25	6.053,00	2 - Alteamento a jusante	Alto	Baixo	C	Sim	Nível 1
Dique BIII-2	Mbl Materiais Básicos Ltda.	Itatiaiuçu	Minério de Ferro	9	19.765,55	0 - Etapa única	Médio	Médio	C	Sim	Sem emergência
Dique BIII-3	Mbl Materiais Básicos Ltda.	Itaúna	Minério de Ferro	17	24.103,39	0 - Etapa única	Médio	Médio	C	Sim	Sem emergência
Dique BIII-4	Mbl Materiais Básicos Ltda.	Itaúna	Minério de Ferro	6	0.006,00	0 - Etapa única	Médio	Médio	C	Sim	Sem emergência
Dique BIII-5	Mbl Materiais Básicos Ltda.	Itaúna	Minério de Ferro	4	0.011,00	0 - Etapa única	Médio	Médio	C	Sim	Sem emergência
Dique D	Brasmic Mineração Areia e Brita Ltda.	Betim	Areia e Cascalho	23	1.540.000,00	2 - Alteamento a jusante	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Dique Da Pilha Da Vila II	Csn Mineração S.a.	Congonhas	Cascalho	28	18.556,00	0 - Etapa única	Baixo	Baixo	E	Sim	Sem emergência
Dique De Concreto	MBR Paraopeba	Brumadinho		3,5	3.400,00	0 - Etapa única	Médio	Alto	B	Sim	Sem emergência
Dique Do Bichento Iiia	Csn Mineração S.a.	Congonhas	Cascalho	15,5	116.696,00	0 - Etapa única	Baixo	Baixo	E	Sim	Sem emergência
Dique Do Engenho	Csn Mineração S.a.	Congonhas	Cascalho	10	8.821,00	0 - Etapa única	Baixo	Médio	C	Sim	Sem emergência
Dique Do Esmeril IV	Csn Mineração S.a.	Congonhas	Cascalho	38,2	282.079,00	0 - Etapa única	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
Dique Oeste	Mineração Usiminas S A	Itatiaiuçu	Argila arenosa	16,7	85.000,00	0 - Etapa única	Baixo	Médio	C	Sim	Sem emergência
Freitas	Vale S A Filial: Vale Itabiritos	Ouro Preto	Minério de Ferro	7,5	45.000,00	0 - Etapa única	Baixo	Médio	C	Sim	Sem emergência
Marés I	Vale S A Filial: Vale Itabiritos	Belo Vale	Minério de Ferro	13,15	154.508,03	0 - Etapa única	Alto	Alto	A	Sim	Nível 1

Tabela II.1: Barragens de mineração localizadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba no ano de 2020 (Continuação).

Nome da Barragem	Nome do Empreendedor	Município	Minério Principal	Altura Atual (m)	Volume Atual (m³)	Método Construtivo	Categoria de Risco	Dano Potencial Associado	Classe	Inserida na PNSB?	Nível de Emergência
Marés II	Vale S A Filial: Vale Itabiritos	Belo Vale	Minério de Ferro	16,05	340.000,00	5 - Alteamento por linha de centro	Alto	Alto	A	Sim	Nível 1
Menezes I	Vale S A Filial: Vale Paraopeba	Brumadinho	Minério de Ferro	19,1	18.093,00	0 - Etapa única	Baixo	Baixo	E	Sim	Sem emergência
Menezes II	Vale S A Filial: Vale Paraopeba	Brumadinho	Minério de Ferro	21	325.556,00	0 - Etapa única	Alto	Alto	A	Sim	Nível 1
Santa Bárbara	Vallourec Tubos do Brasil Ltda.	Brumadinho	Areia e Cascalho	36	695.198,41	2 - Alteamento a jusante	Baixo	Alto	B	Sim	Sem emergência
VI	Vale S A Filial: Vale Paraopeba	Brumadinho	Minério de Ferro	40	502.671,00	0 - Etapa única	Alto	Alto	A	Sim	Nível 1
VII	Vale S A Filial: Vale Paraopeba	Brumadinho	Minério de Ferro	22,5	11.394,00	0 - Etapa única	Baixo	Médio	C	Sim	Sem emergência

Fonte: ANM, 2020.

APÊNDICE III

Tabelas e Quadro relacionadas ao Capítulo 4

Tabela III.1: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **alumínio dissolvido** (mg/L Al).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% violação
BP014	10	0,10	0,33	0,14	0,11	0,20	0,17	0,08	30%
BP016	10	0,02	0,10	0,04	0,03	0,09	0,05	0,03	0%
BP018	10	0,02	0,10	0,03	0,02	0,08	0,05	0,04	0%
BP020	9	0,02	0,10	0,04	0,03	0,10	0,05	0,04	0%
BP022	26	0,02	0,10	0,10	0,09	0,10	0,09	0,03	0%
BP024	26	0,03	0,15	0,10	0,09	0,10	0,09	0,02	8%
BP026	26	0,03	0,36	0,10	0,10	0,10	0,11	0,07	15%
BP027	26	0,03	1,31	0,10	0,10	0,11	0,16	0,24	27%
BP029	26	0,02	0,44	0,10	0,10	0,12	0,13	0,09	27%
BP032	26	0,04	1,35	0,10	0,10	0,13	0,17	0,25	31%
BP036	116	0,03	1,17	0,21	0,10	0,39	0,28	0,20	78%
BP063	3	0,02	0,05	0,04	0,03	0,05	0,04	0,02	0%
BP064	3	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,01	0%
BP066	26	0,03	1,07	0,10	0,10	0,10	0,14	0,20	19%
BP067	2	0,06	0,24	0,15	0,10	0,19	0,15	0,13	50%
BP068	117	0,02	0,63	0,15	0,10	0,28	0,20	0,14	64%
BP069	26	0,05	0,25	0,10	0,10	0,11	0,11	0,04	38%
BP070	116	0,02	0,77	0,15	0,10	0,27	0,20	0,16	64%
BP071	26	0,07	1,01	0,10	0,10	0,13	0,20	0,23	15%
BP072	118	0,02	3,16	0,21	0,12	0,40	0,32	0,40	76%
BP073	26	0,02	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,04	19%
BP074	26	0,02	0,42	0,10	0,10	0,13	0,13	0,09	27%
BP075	16	0,03	0,56	0,16	0,10	0,22	0,20	0,14	75%
BP076	26	0,02	0,52	0,10	0,10	0,10	0,14	0,13	23%
BP077	34	0,07	1,20	0,15	0,12	0,21	0,26	0,27	82%
BP078	117	0,06	3,16	0,25	0,12	0,45	0,36	0,38	80%
BP079	26	0,02	0,23	0,10	0,10	0,10	0,11	0,05	15%
BP080	26	0,06	0,42	0,10	0,10	0,12	0,13	0,07	31%
BP081	16	0,04	0,44	0,10	0,10	0,10	0,12	0,09	19%
BP082	123	0,06	3,08	0,23	0,13	0,43	0,35	0,40	82%
BP083	108	0,06	2,04	0,19	0,12	0,46	0,34	0,33	79%
BP084	26	0,02	0,33	0,10	0,10	0,12	0,12	0,06	31%
BP085	16	0,03	0,13	0,10	0,06	0,10	0,09	0,03	13%
BP086	26	0,02	0,49	0,10	0,10	0,10	0,12	0,09	19%
BP087	32	0,04	0,98	0,15	0,10	0,20	0,22	0,22	75%
BP088	26	0,02	0,27	0,11	0,10	0,13	0,12	0,05	54%
BP089	4	0,04	0,10	0,09	0,07	0,10	0,08	0,03	0%
BP090	26	0,04	0,68	0,12	0,10	0,22	0,18	0,15	54%
BP092	26	0,02	0,10	0,10	0,09	0,10	0,08	0,03	0%
BP093	17	0,02	0,10	0,04	0,03	0,08	0,05	0,03	12%
BP094	26	0,02	0,14	0,10	0,10	0,10	0,09	0,03	4%
BP096	26	0,03	0,24	0,10	0,10	0,10	0,10	0,04	15%
BP098	26	0,07	0,35	0,10	0,10	0,10	0,11	0,05	27%
BP099	170	0,02	3,32	0,29	0,13	0,49	0,50	0,71	80%
BPE2	109	0,02	3,12	0,21	0,11	0,34	0,29	0,41	77%
BPE3	67	0,06	0,96	0,22	0,16	0,39	0,30	0,21	90%
BPE6	35	0,02	0,19	0,07	0,05	0,11	0,08	0,05	34%
BPE7	34	0,02	0,14	0,05	0,03	0,07	0,05	0,03	6%
BPE8	34	0,02	0,13	0,05	0,03	0,07	0,05	0,03	12%
BPE9	88	0,03	3,56	0,18	0,11	0,42	0,59	0,95	76%

Tabela III.2: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **arsênio total** (mg/L As).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% violação
BP014	10	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP016	10	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP018	10	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP020	9	18	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP022	26	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP024	26	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP026	26	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP027	26	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP029	26	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	4%
BP032	26	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP036	116	94	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP063	3	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP064	3	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP066	26	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	4%
BP067	2	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP068	117	95	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1%
BP069	26	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP070	116	94	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP071	26	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP072	118	87	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	3%
BP073	26	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP074	26	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP075	16	16	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP076	26	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP077	34	34	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	3%
BP078	117	86	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1%
BP079	26	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP080	26	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	4%
BP081	16	16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP082	123	87	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP083	108	86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP084	26	51	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP085	16	16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP086	26	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP087	32	32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP088	26	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP089	4	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP090	26	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP092	26	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP093	17	15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP094	26	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP096	26	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP098	26	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP099	170	84	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE2	109	73	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1%
BPE3	67	46	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	2%
BPE6	35	33	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE7	34	32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE8	34	32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE9	88	40	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0%

Tabela III.3: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **bário total** (mg/L Ba).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	10	0,03	0,07	0,04	0,04	0,05	0,05	0,01	0%
BP016	10	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0%
BP018	10	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,00	0%
BP020	9	0,02	0,06	0,03	0,03	0,04	0,03	0,01	0%
BP022	26	0,02	0,07	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0%
BP024	26	0,02	0,10	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0%
BP026	26	0,02	0,10	0,03	0,02	0,05	0,04	0,02	0%
BP027	51	0,01	0,33	0,04	0,03	0,06	0,05	0,05	0%
BP029	26	0,02	0,15	0,04	0,03	0,06	0,04	0,03	0%
BP032	26	0,01	0,10	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0%
BP036	69	0,01	0,14	0,04	0,03	0,05	0,05	0,03	0%
BP063	4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0%
BP064	4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0%
BP066	26	0,01	0,08	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0%
BP067	2	0,02	0,06	0,04	0,03	0,05	0,04	0,03	0%
BP068	68	0,02	0,31	0,04	0,03	0,07	0,05	0,04	0%
BP069	26	0,01	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0%
BP070	68	0,02	0,26	0,04	0,03	0,08	0,06	0,05	0%
BP071	26	0,05	0,23	0,09	0,07	0,12	0,10	0,04	0%
BP072	61	0,02	0,38	0,04	0,03	0,07	0,07	0,06	0%
BP073	26	0,04	0,20	0,14	0,12	0,16	0,14	0,04	0%
BP074	26	0,05	0,15	0,06	0,05	0,09	0,08	0,03	0%
BP075	16	0,03	0,19	0,16	0,13	0,18	0,15	0,04	0%
BP076	26	0,04	0,14	0,06	0,05	0,10	0,08	0,03	0%
BP077	26	0,03	0,15	0,06	0,04	0,09	0,07	0,03	0%
BP078	60	0,02	0,11	0,05	0,03	0,07	0,05	0,03	0%
BP079	26	0,02	0,16	0,03	0,02	0,05	0,04	0,04	0%
BP080	51	0,04	0,37	0,06	0,05	0,07	0,07	0,05	0%
BP081	16	0,06	0,15	0,07	0,07	0,10	0,08	0,02	0%
BP082	61	0,03	0,18	0,05	0,03	0,07	0,06	0,03	0%
BP083	60	0,03	0,20	0,05	0,03	0,07	0,06	0,03	0%
BP084	27	0,04	0,12	0,08	0,07	0,09	0,08	0,02	0%
BP085	16	0,05	0,19	0,08	0,06	0,09	0,08	0,04	0%
BP086	26	0,04	0,18	0,07	0,05	0,09	0,08	0,03	0%
BP087	24	0,02	0,10	0,06	0,04	0,08	0,06	0,02	0%
BP088	26	0,04	0,14	0,08	0,07	0,09	0,08	0,02	0%
BP089	4	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0%
BP090	26	0,03	0,12	0,07	0,06	0,08	0,07	0,02	0%
BP092	26	0,01	0,07	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0%
BP093	3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP094	26	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP096	26	0,01	0,07	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0%
BP098	26	0,01	0,10	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03	0%
BP099	59	0,01	0,10	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02	0%
BPE2	46	0,02	0,31	0,06	0,03	0,10	0,07	0,06	0%
BPE3	32	0,03	0,21	0,07	0,04	0,09	0,07	0,05	0%
BPE6	22	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0%
BPE7	21	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BPE8	21	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0%
BPE9	30	0,01	0,07	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0%

Tabela III.4: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **boro total** (mg/L B).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP022	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP024	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP026	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP027	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP029	12	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP032	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP036	55	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP066	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP068	54	0,07	0,15	0,07	0,07	0,07	0,07	0,01	0%
BP069	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP070	55	0,07	0,13	0,07	0,07	0,07	0,07	0,01	0%
BP071	12	0,07	0,10	0,07	0,07	0,08	0,08	0,01	0%
BP072	47	0,07	0,15	0,07	0,07	0,07	0,07	0,02	0%
BP073	12	0,07	0,13	0,07	0,07	0,09	0,08	0,02	0%
BP074	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP075	2	0,08	0,20	0,14	0,11	0,17	0,14	0,09	0%
BP076	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP077	24	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP078	46	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP079	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP080	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP081	2	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP082	47	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP083	46	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP084	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP085	2	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP086	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP087	22	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP088	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP089	2	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP090	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP092	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP093	1	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	NA	0%
BP094	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP096	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP098	12	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BP099	45	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BPE2	43	0,07	0,15	0,07	0,07	0,07	0,07	0,01	0%
BPE3	29	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BPE6	18	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BPE7	17	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BPE8	17	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%
BPE9	27	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0%

Tabela III.5: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **cádmio total** (mg/L).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP016	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP018	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP020	18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP022	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP024	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP026	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP027	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP029	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP032	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP036	137	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP063	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP064	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP066	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2%
BP067	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP068	138	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1%
BP069	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP070	137	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1%
BP071	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP072	130	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP073	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2%
BP074	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP075	31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP076	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP077	34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP078	129	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP079	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP080	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP081	31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP082	135	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP083	129	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP084	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP085	31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP086	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP087	32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP088	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP089	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP090	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP092	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP093	17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP094	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP096	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP098	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP099	130	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE2	99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1%
BPE3	67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE6	34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE7	33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE8	33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE9	40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%

Tabela III.6: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **cálcio total** (mg/L Ca).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão
BP014	10	12,40	29,50	19,85	17,05	22,05	19,91	5,19
BP016	10	6,80	12,40	10,45	8,95	11,30	10,07	1,68
BP018	10	2,90	39,00	3,75	3,13	3,95	7,15	11,21
BP020	9	2,70	5,20	4,30	3,60	4,40	4,04	0,88
BP022	26	3,00	4,80	3,80	3,43	4,28	3,86	0,58
BP024	26	1,50	4,60	3,05	2,63	3,55	3,08	0,75
BP026	26	2,50	5,70	3,50	3,30	3,95	3,64	0,73
BP027	26	3,70	8,40	5,95	4,78	6,30	5,75	1,21
BP029	26	3,20	8,60	5,50	5,00	6,20	5,67	1,25
BP032	26	1,60	3,80	2,25	2,03	2,80	2,45	0,57
BP036	33	3,30	50,60	5,00	4,60	5,80	6,49	7,98
BP063	2	18,10	18,80	18,45	18,28	18,63	18,45	0,50
BP064	2	19,50	19,90	19,70	19,60	19,80	19,70	0,28
BP066	26	2,30	7,00	3,75	3,25	4,68	3,95	1,08
BP067	2	3,20	3,60	3,40	3,30	3,50	3,40	0,28
BP068	32	3,10	6,96	4,95	4,20	5,50	4,82	0,91
BP069	26	2,20	15,70	4,65	3,93	6,30	5,49	2,80
BP070	32	3,50	8,50	5,95	4,93	7,23	5,97	1,32
BP071	26	13,50	29,90	21,90	19,83	23,38	21,42	3,91
BP072	33	3,80	10,20	6,50	5,70	7,50	6,56	1,51
BP073	26	20,10	35,30	25,05	22,95	28,00	25,57	3,69
BP074	26	3,30	10,00	6,45	5,50	7,25	6,29	1,65
BP075	16	17,80	62,60	37,80	27,28	47,70	38,24	13,86
BP076	26	4,50	22,10	14,50	11,13	15,88	13,62	4,38
BP077	3	5,60	6,80	6,70	6,15	6,75	6,37	0,67
BP078	33	3,90	12,20	7,01	6,10	7,97	7,15	1,69
BP079	26	2,40	6,30	4,10	3,43	4,50	4,01	0,79
BP080	26	4,90	18,10	11,95	9,33	13,35	11,79	3,39
BP081	16	16,10	28,60	20,35	18,70	23,50	21,06	3,38
BP082	33	3,80	18,30	6,60	5,60	7,80	6,94	2,49
BP083	33	3,50	9,90	6,50	5,60	7,77	6,62	1,51
BP084	26	6,30	13,30	9,10	7,85	11,05	9,44	2,05
BP085	16	19,30	28,00	23,15	20,28	26,43	23,41	3,13
BP086	26	12,00	24,50	17,25	15,13	20,13	17,68	3,28
BP087	3	4,40	7,20	5,20	4,80	6,20	5,60	1,44
BP088	26	11,60	24,30	18,15	15,40	21,38	18,49	3,62
BP089	2	19,70	22,70	21,20	20,45	21,95	21,20	2,12
BP090	26	4,10	13,00	8,00	6,40	9,68	8,15	2,47
BP092	26	2,00	3,90	2,60	2,23	3,18	2,76	0,62
BP093	2	3,70	3,80	3,75	3,73	3,78	3,75	0,07
BP094	26	1,40	3,70	2,30	2,00	3,15	2,44	0,67
BP096	26	2,70	8,60	3,80	3,40	4,30	4,09	1,24
BP098	26	3,40	56,30	19,40	16,60	20,45	19,89	8,86
BP099	32	3,00	9,50	6,56	5,38	7,07	6,25	1,41
BPE2	10	4,00	7,06	5,47	4,72	6,08	5,47	0,95
BPE3	8	5,50	9,61	7,30	6,73	8,31	7,49	1,31
BPE6	4	5,60	6,90	6,50	5,98	6,90	6,38	0,64
BPE7	4	6,10	7,70	6,75	6,10	7,48	6,83	0,85
BPE8	4	5,50	7,60	6,20	5,73	6,85	6,38	0,94
BPE9	4	1,00	3,40	2,65	1,98	3,10	2,43	1,05

Tabela III.7: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **chumbo total** (mg/L Pb).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP016	20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP018	20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP020	18	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP022	26	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP024	51	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	6%
BP026	51	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	6%
BP027	51	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	6%
BP029	26	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	12%
BP032	26	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	12%
BP036	137	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	10%
BP063	4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP064	4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP066	26	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	8%
BP067	4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	25%
BP068	138	0,01	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	25%
BP069	51	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP070	137	0,01	0,09	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	22%
BP071	26	0,01	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	4%
BP072	138	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	17%
BP073	51	0,01	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	14%
BP074	51	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	6%
BP075	16	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	6%
BP076	51	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	10%
BP077	34	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	29%
BP078	138	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	10%
BP079	26	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	8%
BP080	51	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	12%
BP081	16	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	6%
BP082	144	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	16%
BP083	129	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	12%
BP084	51	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP085	16	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP086	51	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	8%
BP087	32	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	25%
BP088	26	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP089	5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP090	51	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	8%
BP092	26	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP093	17	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP094	26	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP096	26	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BP098	26	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	8%
BP099	189	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	3%
BPE2	108	0,01	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	40%
BPE3	67	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	25%
BPE6	34	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BPE7	33	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0%
BPE8	33	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	3%
BPE9	88	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	5%

Tabela III.8: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **cloreto total** (mg/L Cl).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	4,89	99,00	20,10	14,45	40,60	28,56	22,67	0%
BP016	20	0,79	2,72	1,47	1,18	1,96	1,57	0,55	0%
BP018	20	0,50	1,59	0,50	0,50	0,60	0,60	0,25	0%
BP020	18	0,62	6,38	1,20	0,88	1,82	1,66	1,38	0%
BP022	51	0,33	3,88	1,66	1,29	2,12	1,76	0,68	0%
BP024	51	0,30	2,30	1,07	0,80	1,53	1,17	0,55	0%
BP026	51	0,30	13,30	1,59	0,89	2,11	1,74	1,80	0%
BP027	51	1,15	18,20	4,79	3,42	6,66	5,21	2,93	0%
BP029	51	1,32	13,50	3,92	2,86	5,96	4,56	2,62	0%
BP032	51	0,30	3,83	1,07	0,72	1,43	1,19	0,67	0%
BP036	67	1,16	8,30	3,71	2,75	4,58	3,82	1,56	0%
BP063	4	4,91	8,45	7,13	6,41	7,63	6,91	1,48	0%
BP064	4	4,75	8,78	7,12	6,05	8,01	6,94	1,74	0%
BP066	51	0,54	7,16	1,81	1,10	2,50	2,19	1,52	0%
BP067	4	1,40	2,99	1,54	1,40	2,01	1,87	0,76	0%
BP068	66	1,03	9,32	3,51	2,56	4,36	3,69	1,67	0%
BP069	51	1,04	10,50	4,24	3,19	5,98	4,70	1,99	0%
BP070	67	1,60	10,50	4,79	3,18	6,43	5,05	2,17	0%
BP071	51	3,77	83,40	32,70	22,20	45,25	34,15	18,34	0%
BP072	67	2,07	14,60	5,23	3,99	7,60	6,06	2,76	0%
BP073	51	5,10	180,00	42,40	25,85	53,95	42,52	27,53	0%
BP074	51	1,13	13,80	2,77	2,01	4,00	3,32	2,12	0%
BP075	31	6,82	337,00	136,00	72,65	203,50	135,71	83,75	6%
BP076	51	1,84	14,10	3,77	2,73	4,88	4,49	2,74	0%
BP077	17	2,80	7,59	4,52	3,16	5,20	4,51	1,53	0%
BP078	67	1,89	20,20	5,35	3,82	7,50	5,89	2,92	0%
BP079	51	0,30	3,01	1,03	0,74	1,51	1,17	0,59	0%
BP080	51	1,98	38,70	11,30	7,43	16,75	13,21	8,08	0%
BP081	31	5,90	62,10	17,70	13,00	24,95	21,58	13,23	0%
BP082	67	0,91	16,10	5,46	3,49	6,70	5,56	2,92	0%
BP083	67	2,02	14,00	4,92	3,62	7,15	5,66	2,54	0%
BP084	51	2,14	28,70	5,97	4,30	9,60	8,13	6,02	0%
BP085	31	8,85	162,00	43,80	29,20	65,00	48,40	30,57	0%
BP086	51	2,30	74,63	21,30	15,95	36,30	27,07	15,88	0%
BP087	17	0,92	7,20	3,64	3,08	5,26	4,13	1,59	0%
BP088	51	4,55	65,00	9,54	7,88	13,60	11,83	8,88	0%
BP089	4	1,78	10,60	2,44	2,25	4,50	4,31	4,20	0%
BP090	51	1,90	20,20	4,52	3,45	8,48	6,23	4,26	0%
BP092	51	0,34	2,69	0,95	0,64	1,12	0,98	0,45	0%
BP093	17	0,71	4,82	1,88	1,05	2,89	2,25	1,36	0%
BP094	51	0,30	2,26	0,53	0,50	0,90	0,73	0,44	0%
BP096	51	1,06	8,63	2,51	1,84	4,20	3,22	2,04	0%
BP098	51	3,24	230,00	14,00	7,10	33,70	27,17	37,67	0%
BP099	65	1,76	8,51	4,19	3,17	5,41	4,36	1,59	0%
BPE2	22	1,99	7,81	3,14	2,53	4,62	3,72	1,51	0%
BPE3	21	2,98	15,00	6,00	3,67	7,00	6,30	2,95	0%
BPE6	22	2,30	6,36	3,70	3,07	4,28	3,74	0,93	0%
BPE7	22	0,83	2,60	2,00	1,77	2,22	1,97	0,39	0%
BPE8	22	1,08	2,95	2,35	2,23	2,49	2,36	0,39	0%
BPE9	20	0,50	3,23	0,83	0,56	1,15	1,05	0,71	0%

Tabela III.9: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **clorofila *a*** (μg/L).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	1,00	29,37	4,07	1,70	10,18	7,17	7,82	0%
BP016	20	0,40	2,94	0,93	0,77	1,14	1,14	0,72	0%
BP018	20	0,27	1,07	0,80	0,70	0,80	0,71	0,25	0%
BP020	18	0,01	11,21	0,80	0,80	1,07	1,54	2,55	0%
BP022	51	0,01	10,68	1,00	0,71	2,33	1,67	1,80	0%
BP024	51	0,01	16,02	1,00	0,71	1,72	1,57	2,32	2%
BP026	51	0,01	7,12	0,80	0,57	1,89	1,40	1,49	0%
BP027	51	0,01	12,39	1,60	0,80	4,12	2,64	2,54	0%
BP029	51	0,01	10,68	1,51	0,85	3,20	2,30	2,20	0%
BP032	51	0,01	8,01	0,80	0,44	1,34	1,08	1,25	0%
BP036	65	0,01	10,52	1,60	1,00	3,74	2,39	2,06	0%
BP063	4	4,73	11,57	8,63	5,99	11,03	8,39	3,34	50%
BP064	4	3,39	20,77	6,46	4,27	11,47	9,27	7,96	25%
BP066	51	0,01	18,69	0,89	0,62	1,60	1,54	2,68	0%
BP067	4	0,80	5,34	1,03	0,95	2,14	2,05	2,20	0%
BP068	65	0,01	16,46	1,78	1,00	3,14	2,65	2,71	0%
BP069	51	0,01	22,70	1,26	0,80	2,45	2,78	3,96	4%
BP070	65	0,01	15,20	1,99	1,00	2,97	2,78	2,87	0%
BP071	51	0,27	195,80	6,94	3,17	14,89	17,48	32,58	6%
BP072	67	0,01	18,69	1,41	1,00	2,60	2,70	3,52	0%
BP073	50	0,01	723,33	11,54	3,23	37,00	41,75	104,86	32%
BP074	51	0,01	16,02	1,94	0,80	6,12	3,90	4,29	12%
BP075	31	1,34	233,11	11,35	7,60	30,02	34,51	53,25	26%
BP076	51	0,01	37,38	1,34	0,73	5,34	3,58	5,78	2%
BP077	17	1,00	7,63	1,87	1,60	3,20	2,63	1,79	0%
BP078	66	0,01	231,67	2,45	1,20	5,27	10,46	31,00	8%
BP079	51	0,01	14,24	0,80	0,53	1,60	1,63	2,54	4%
BP080	51	0,53	50,94	3,01	1,23	6,37	6,00	9,23	4%
BP081	31	0,13	86,95	2,14	0,95	7,98	8,76	17,06	6%
BP082	67	0,01	165,12	2,40	1,27	3,65	6,12	20,78	3%
BP083	67	0,01	116,15	2,14	1,14	3,41	5,28	14,55	1%
BP084	51	0,01	32,39	2,23	1,06	4,67	4,17	6,05	2%
BP085	31	0,80	101,46	13,28	3,81	25,50	21,21	24,35	19%
BP086	49	0,40	153,34	9,08	3,34	14,24	16,82	27,72	14%
BP087	17	0,80	5,34	2,67	1,60	3,20	2,62	1,37	0%
BP088	50	0,01	48,95	5,03	1,66	8,81	7,83	9,58	24%
BP089	4	0,80	18,54	0,90	0,80	5,39	5,29	8,84	0%
BP090	51	0,01	30,26	2,54	1,01	4,56	4,18	5,59	2%
BP092	51	0,01	3,56	0,80	0,53	1,24	0,94	0,68	0%
BP093	17	0,80	2,14	1,00	0,80	1,07	1,04	0,33	0%
BP094	51	0,01	10,30	0,80	0,54	1,51	1,55	1,97	2%
BP096	49	0,01	82,33	1,48	0,80	2,35	4,44	12,46	4%
BP098	50	0,01	39,07	1,20	0,66	2,81	4,04	8,36	4%
BP099	65	0,01	308,96	1,60	0,93	3,74	9,67	38,87	8%
BPE2	22	0,80	8,90	2,18	1,78	2,99	3,09	2,39	0%
BPE3	21	0,80	8,90	1,78	1,34	2,97	2,50	1,94	0%
BPE6	22	2,67	7,34	4,14	3,21	5,07	4,28	1,26	0%
BPE7	22	1,38	6,41	3,92	2,60	5,27	4,00	1,46	0%
BPE8	22	1,16	8,45	3,60	2,67	5,01	3,88	1,87	0%
BPE9	20	0,80	8,45	1,00	0,90	1,65	1,84	2,00	0%

Tabela III.10: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **cobre dissolvido** (mg/L Cu).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP016	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP018	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP020	18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP022	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP024	51	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP026	51	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP027	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP029	51	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP032	51	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP036	115	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	3%
BP063	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP064	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP066	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP067	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP068	116	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1%
BP069	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP070	115	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP071	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP072	117	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1%
BP073	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP074	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP075	16	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP076	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP077	34	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	3%
BP078	138	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1%
BP079	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP080	51	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2%
BP081	16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP082	122	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2%
BP083	129	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1%
BP084	51	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	4%
BP085	16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP086	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP087	32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP088	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP089	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP090	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP092	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP093	17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP094	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP096	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP098	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP099	189	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	3%
BPE2	108	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2%
BPE3	67	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1%
BPE6	35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE7	34	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE8	34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE9	88	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%

Tabela III.11: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **condutividade elétrica** (μmho/cm).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão
BP014	19	174,00	842,00	484,00	300,50	540,00	439,63	169,53
BP016	19	70,40	136,00	98,40	88,05	105,00	97,14	15,11
BP018	19	27,10	65,90	34,70	31,80	36,95	36,67	9,38
BP020	17	34,30	143,00	51,10	48,60	61,40	63,15	28,50
BP022	51	34,80	72,80	47,60	41,80	52,20	48,78	8,37
BP024	51	16,10	91,80	38,10	33,40	45,00	41,00	13,54
BP026	51	26,30	81,40	42,50	36,45	50,75	44,60	10,92
BP027	51	49,20	196,00	88,60	70,80	116,00	95,27	33,88
BP029	51	45,80	194,00	77,10	63,00	104,50	88,29	34,22
BP032	51	19,30	54,20	32,70	27,90	36,00	33,21	8,22
BP036	137	42,80	169,00	73,80	63,10	87,10	77,77	22,27
BP063	4	165,00	219,00	180,00	166,50	199,50	186,00	25,43
BP064	4	170,00	227,00	195,50	173,00	219,50	197,00	29,20
BP066	50	11,30	154,00	56,50	43,88	77,43	62,70	26,78
BP067	4	51,40	68,90	58,50	52,83	65,00	59,33	8,37
BP068	139	41,60	179,00	70,40	59,75	87,05	75,30	22,61
BP069	51	36,30	755,00	229,00	148,50	289,00	243,35	128,06
BP070	136	40,10	224,00	84,40	70,35	104,25	89,41	27,90
BP071	51	93,70	700,00	430,00	379,50	518,00	424,62	143,94
BP072	138	11,00	192,00	95,45	78,93	117,00	99,58	28,59
BP073	51	180,00	685,00	490,00	431,50	546,50	470,59	110,86
BP074	50	40,20	236,00	86,55	71,90	112,25	96,88	39,35
BP075	30	241,00	2400,00	1110,00	876,00	1403,50	1147,63	530,96
BP076	50	56,00	211,00	128,50	117,25	147,75	130,62	32,43
BP077	34	59,40	126,00	87,45	76,18	104,50	89,82	18,80
BP078	136	52,70	188,00	98,40	84,38	114,00	100,58	23,26
BP079	51	25,90	105,00	49,10	42,20	53,70	49,94	13,45
BP080	51	77,20	393,00	183,00	134,50	243,00	198,66	83,38
BP081	30	143,00	669,00	334,50	273,00	407,25	345,57	103,50
BP082	143	39,40	187,00	94,00	81,00	111,50	96,63	25,33
BP083	128	56,40	165,00	96,95	82,35	115,00	99,94	23,82
BP084	51	68,20	541,00	150,00	105,00	204,50	178,27	103,22
BP085	30	234,00	638,00	436,50	340,50	527,75	445,70	119,07
BP086	50	149,00	611,00	268,50	220,25	340,75	294,64	106,23
BP087	33	56,40	124,00	88,90	75,90	99,00	88,18	17,76
BP088	51	110,00	271,00	173,00	145,00	222,00	185,06	45,46
BP089	5	131,00	344,00	157,00	134,00	216,10	196,42	89,30
BP090	50	50,70	231,00	110,50	86,53	170,75	127,40	51,85
BP092	51	20,40	66,70	30,10	27,40	34,20	31,69	7,45
BP093	17	28,90	83,90	38,10	35,60	54,60	46,81	17,09
BP094	50	13,50	44,00	24,75	21,43	26,95	24,77	4,90
BP096	51	38,10	138,00	60,00	44,95	78,95	65,09	25,03
BP098	50	58,10	1913,00	327,50	204,25	673,25	493,62	425,87
BP099	188	24,70	134,00	86,55	79,63	95,18	85,93	18,69
BPE2	109	2,10	156,00	71,70	62,30	86,00	74,73	20,24
BPE3	65	66,30	155,00	95,00	84,70	108,00	97,66	19,83
BPE6	34	67,20	148,00	83,45	74,75	90,08	85,12	17,10
BPE7	33	59,60	141,00	73,70	68,90	75,60	74,26	12,97
BPE8	33	52,50	142,00	74,40	71,40	77,20	77,22	17,19
BPE9	86	6,30	231,90	37,25	31,68	40,48	39,71	28,23

Tabela III.12: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **cor verdadeira** (UPt).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	11,00	94,00	22,00	15,75	27,25	26,00	18,43	5%
BP016	20	10,00	47,00	13,00	10,00	17,25	15,80	8,66	0%
BP018	20	10,00	25,00	12,00	10,00	14,75	13,35	4,28	0%
BP020	18	10,00	49,00	14,50	10,00	24,50	20,44	12,67	0%
BP022	51	10,00	65,00	28,00	16,00	40,50	29,92	15,91	0%
BP024	51	10,00	427,00	33,00	16,00	55,50	54,78	75,54	18%
BP026	51	10,00	676,00	34,00	19,00	69,50	66,12	102,37	22%
BP027	51	10,00	503,00	32,00	17,00	56,00	58,47	87,15	16%
BP029	51	10,00	429,00	25,00	16,00	56,50	56,53	85,78	18%
BP032	51	5,00	906,00	32,00	17,00	68,00	79,18	150,85	22%
BP036	130	10,00	766,00	46,50	26,00	64,75	61,16	81,80	18%
BP063	4	10,00	18,00	14,00	11,50	16,50	14,00	3,65	0%
BP064	4	10,00	20,00	15,50	11,50	19,25	15,25	4,99	0%
BP066	51	10,00	428,00	27,00	18,00	52,50	53,65	80,26	14%
BP067	4	22,00	122,00	30,50	25,75	56,00	51,25	47,42	25%
BP068	131	10,00	466,00	48,00	24,00	76,00	64,25	68,76	25%
BP069	51	10,00	938,00	28,00	23,00	46,50	53,02	129,07	6%
BP070	130	10,00	628,00	47,00	26,00	80,00	64,85	70,51	28%
BP071	51	10,00	1536,00	41,00	32,00	80,50	101,90	222,50	29%
BP072	131	10,00	818,00	57,00	31,00	91,00	77,05	91,71	35%
BP073	51	10,00	936,00	35,00	26,50	53,50	64,33	129,42	14%
BP074	51	7,00	1704,00	41,00	24,50	114,50	113,59	248,20	31%
BP075	31	14,00	69,00	28,00	23,00	32,00	30,45	12,31	0%
BP076	51	10,00	1244,00	26,00	19,50	74,00	118,53	220,31	25%
BP077	34	11,00	196,00	59,50	37,75	83,75	71,09	51,14	26%
BP078	130	10,00	481,00	50,50	27,00	83,75	72,42	79,63	28%
BP079	51	10,00	267,00	33,00	19,00	52,50	49,69	54,09	16%
BP080	51	10,00	456,00	23,00	15,50	48,00	64,88	106,45	16%
BP081	31	13,00	157,00	33,00	21,50	52,00	44,68	33,19	13%
BP082	136	6,00	1086,00	53,00	27,75	94,25	80,17	110,54	34%
BP083	130	7,00	1052,00	52,50	25,25	84,00	78,30	109,44	32%
BP084	51	10,00	315,00	36,00	24,50	66,50	59,24	59,31	24%
BP085	31	16,00	161,00	42,00	26,00	47,50	43,19	26,21	3%
BP086	51	10,00	514,00	33,00	21,00	45,00	48,31	71,89	10%
BP087	33	10,00	406,00	70,00	34,00	93,00	87,58	86,72	39%
BP088	51	5,00	411,00	11,00	10,00	23,00	33,10	73,35	6%
BP089	5	10,00	38,00	34,00	31,00	38,00	30,20	11,67	0%
BP090	51	8,00	938,00	33,00	23,00	93,00	95,14	154,90	33%
BP092	51	5,00	138,00	11,00	10,00	17,00	18,73	21,04	2%
BP093	17	10,00	44,00	21,00	10,00	28,00	21,29	11,16	0%
BP094	51	5,00	63,00	12,00	10,00	18,50	16,71	11,68	0%
BP096	51	10,00	100,00	26,00	13,00	52,50	34,37	23,65	4%
BP098	51	10,00	728,00	49,00	26,00	83,50	89,69	133,44	31%
BP099	131	6,00	842,00	42,00	19,50	72,50	61,96	91,54	24%
BPE2	92	10,00	281,00	62,00	37,75	89,25	69,95	49,07	33%
BPE3	67	10,00	295,00	73,00	37,50	109,50	85,03	62,64	45%
BPE6	35	10,00	84,00	17,00	13,00	33,00	24,80	16,96	3%
BPE7	34	10,00	34,00	15,50	12,00	20,75	17,65	7,39	0%
BPE8	34	10,00	37,00	14,50	10,00	18,75	16,65	7,24	0%
BPE9	40	19,00	498,00	49,50	33,75	83,50	75,78	80,46	30%

Tabela III.13: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **cromo total** (mg/L Cr).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP016	20	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP018	20	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP020	18	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP022	40	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP024	40	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP026	40	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP027	51	0,04	0,09	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	4%
BP029	40	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	3%
BP032	40	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP036	106	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	1%
BP063	4	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP064	4	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP066	40	0,04	0,14	0,04	0,04	0,04	0,05	0,02	10%
BP067	4	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP068	107	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	1%
BP069	40	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP070	106	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP071	51	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP072	99	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	1%
BP073	51	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP074	51	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP075	31	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP076	40	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP077	34	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP078	98	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP079	40	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP080	51	0,04	0,11	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	4%
BP081	31	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP082	99	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP083	98	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP084	51	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP085	31	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP086	40	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP087	32	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP088	51	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	2%
BP089	5	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP090	40	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP092	51	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP093	17	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP094	51	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP096	40	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP098	40	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BP099	95	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BPE2	74	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BPE3	47	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BPE6	35	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BPE7	34	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BPE8	34	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%
BPE9	40	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0%

Tabela III.14: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **demanda bioquímica de oxigênio** (mg/L O_2).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	2,00	11,00	2,30	2,00	3,50	3,71	2,85	10%
BP016	20	2,00	2,80	2,00	2,00	2,05	2,14	0,27	0%
BP018	20	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0%
BP020	18	2,00	3,56	2,00	2,00	2,00	2,09	0,37	0%
BP022	51	2,00	3,50	2,00	2,00	2,00	2,10	0,30	0%
BP024	51	2,00	6,00	2,00	2,00	2,90	2,54	0,97	20%
BP026	51	2,00	3,30	2,00	2,00	2,00	2,06	0,23	2%
BP027	51	2,00	14,00	2,00	2,00	2,90	2,89	2,16	8%
BP029	51	2,00	3,40	2,00	2,00	2,00	2,10	0,31	0%
BP032	51	2,00	2,10	2,00	2,00	2,00	2,00	0,01	0%
BP036	74	2,00	3,70	2,00	2,00	2,00	2,07	0,30	0%
BP063	4	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0%
BP064	4	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0%
BP066	51	2,00	4,20	2,00	2,00	2,00	2,10	0,38	0%
BP067	4	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0%
BP068	73	2,00	3,20	2,00	2,00	2,00	2,04	0,18	0%
BP069	51	2,00	88,00	3,28	2,00	6,00	7,27	14,09	55%
BP070	74	2,00	3,20	2,00	2,00	2,00	2,13	0,33	0%
BP071	51	2,00	40,00	9,20	4,85	16,00	11,94	9,23	39%
BP072	74	2,00	7,70	2,00	2,00	2,70	2,48	1,01	4%
BP073	51	4,00	138,10	21,00	16,00	39,00	33,70	30,39	98%
BP074	51	2,00	13,00	2,20	2,00	3,60	3,25	2,08	31%
BP075	31	2,00	72,00	8,20	6,35	13,00	11,88	12,69	81%
BP076	51	2,00	3,60	2,00	2,00	2,00	2,13	0,40	0%
BP077	17	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0%
BP078	74	2,00	2,40	2,00	2,00	2,00	2,01	0,06	0%
BP079	51	2,00	6,50	2,00	2,00	2,00	2,18	0,77	4%
BP080	51	2,00	13,00	4,30	3,40	5,45	4,70	2,16	33%
BP081	31	5,00	59,00	13,00	9,25	18,50	16,72	12,19	97%
BP082	74	2,00	4,20	2,00	2,00	2,00	2,08	0,32	0%
BP083	74	2,00	2,90	2,00	2,00	2,00	2,05	0,19	0%
BP084	51	2,00	34,00	5,20	3,15	8,95	7,15	6,47	53%
BP085	31	2,00	6,30	3,40	2,70	4,20	3,54	1,10	10%
BP086	51	2,00	86,00	5,80	3,35	8,70	9,10	12,88	57%
BP087	17	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0%
BP088	51	2,00	7,50	2,00	2,00	2,60	2,60	1,34	18%
BP089	4	2,00	9,80	3,50	2,00	6,20	4,70	3,68	25%
BP090	51	2,00	6,90	2,00	2,00	2,00	2,22	0,78	2%
BP092	51	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,03	0,16	0%
BP093	17	2,00	2,10	2,00	2,00	2,00	2,01	0,02	0%
BP094	51	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0%
BP096	51	2,00	21,00	3,30	2,10	7,15	5,29	4,56	33%
BP098	51	2,00	17,00	4,40	2,00	5,65	4,64	2,85	37%
BP099	71	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,02	0,12	0%
BPE2	29	2,00	3,70	2,00	2,00	2,00	2,14	0,43	0%
BPE3	28	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,07	0,26	0%
BPE6	27	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0%
BPE7	27	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0%
BPE8	27	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0%
BPE9	23	2,00	2,40	2,00	2,00	2,00	2,02	0,08	0%

Tabela III.15: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **demanda química de oxigênio** (mg/L O_2).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão
BP014	20	6,60	49,00	17,00	12,50	19,25	18,06	9,96
BP016	20	5,00	23,00	10,00	6,80	13,00	10,36	4,66
BP018	20	5,00	16,00	6,45	5,00	11,00	8,28	3,93
BP020	18	5,00	16,00	5,50	5,00	11,00	8,04	3,75
BP022	49	5,00	23,00	9,40	6,80	14,00	11,35	5,64
BP024	49	5,00	37,00	14,00	9,00	20,00	14,61	6,95
BP026	49	5,00	49,00	13,00	6,80	17,00	13,59	8,74
BP027	49	5,00	62,00	14,00	9,00	21,00	16,44	10,68
BP029	49	5,00	31,00	14,00	8,40	21,00	14,70	7,52
BP032	49	5,00	37,00	12,00	7,90	19,00	14,07	8,13
BP036	65	5,00	52,00	13,00	8,60	21,00	15,97	10,26
BP063	4	10,00	16,00	14,50	13,00	15,25	13,75	2,63
BP064	4	5,60	39,00	16,00	12,65	22,50	19,15	14,14
BP066	49	5,00	64,00	11,00	6,10	15,00	13,99	12,43
BP067	4	7,90	31,00	22,50	18,48	25,00	20,98	9,60
BP068	64	5,00	46,00	12,50	9,23	18,75	15,65	10,05
BP069	49	9,10	125,00	21,00	15,00	33,00	28,29	22,22
BP070	65	5,00	54,00	14,00	8,20	19,00	15,28	9,42
BP071	49	23,00	123,00	44,00	36,00	55,00	47,92	19,02
BP072	65	5,00	60,00	14,00	8,10	23,00	17,97	12,69
BP073	49	29,00	273,00	77,00	55,00	121,00	96,04	56,45
BP074	49	5,00	71,00	18,00	11,00	28,00	21,43	13,37
BP075	31	16,00	147,00	64,00	52,50	91,50	72,77	31,49
BP076	49	5,00	48,00	13,00	8,70	22,00	16,60	11,29
BP077	17	7,70	40,00	20,00	14,00	28,00	21,04	9,20
BP078	65	5,00	81,00	13,00	9,20	20,00	16,13	11,61
BP079	49	5,00	78,00	11,00	6,10	16,00	13,97	12,69
BP080	49	5,00	60,00	17,00	13,00	23,00	19,81	10,93
BP081	31	10,00	161,00	50,00	36,00	64,00	55,32	31,84
BP082	65	5,00	54,00	16,00	8,80	21,00	16,79	10,23
BP083	65	5,00	43,00	14,00	9,50	23,00	17,03	10,23
BP084	49	5,00	83,00	24,00	16,00	35,00	29,66	19,04
BP085	31	15,00	64,00	28,00	23,50	37,50	31,36	12,44
BP086	49	9,60	168,00	27,00	20,00	41,00	35,03	26,50
BP087	17	5,00	55,00	20,00	11,00	26,00	21,14	13,47
BP088	49	10,00	86,00	27,00	17,00	38,00	30,49	16,76
BP089	4	20,00	51,00	26,50	24,50	33,00	31,00	13,69
BP090	49	5,00	45,00	13,00	7,70	22,00	16,25	9,74
BP092	49	5,00	44,00	7,10	5,00	12,00	11,33	9,67
BP093	17	5,00	26,00	8,50	5,00	14,00	11,58	7,08
BP094	49	5,00	29,00	8,40	5,00	13,00	9,92	6,38
BP096	50	5,00	48,00	17,50	10,25	26,00	20,17	11,86
BP098	50	5,00	105,00	20,50	11,50	38,75	29,22	24,55
BP099	63	5,00	50,00	13,00	7,45	18,00	14,07	8,50
BPE2	22	5,00	58,00	17,10	6,60	26,00	18,53	13,61
BPE3	21	11,50	45,00	21,00	16,00	32,00	24,21	9,63
BPE6	22	5,00	39,00	16,50	11,25	21,00	18,28	9,19
BPE7	22	5,00	39,00	14,50	13,00	22,25	17,08	8,31
BPE8	22	5,00	36,00	16,05	12,00	20,75	17,23	8,65
BPE9	20	5,00	34,00	17,00	12,75	25,70	18,34	8,80

Tabela III.16: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **dureza total** (mg/L $CaCO_3$).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão
BP014	10	41,90	88,50	64,95	57,83	76,30	65,74	15,08
BP016	10	32,60	54,10	41,50	37,73	45,58	41,97	6,80
BP018	10	14,30	112,00	17,10	15,28	18,83	26,50	30,13
BP020	9	12,80	24,50	19,50	14,20	21,10	18,49	4,17
BP022	26	9,00	22,60	16,85	14,38	17,70	16,26	2,83
BP024	26	8,30	23,10	12,75	11,80	14,08	13,44	3,25
BP026	26	10,80	20,00	14,90	13,53	16,78	15,29	2,46
BP027	26	16,60	35,40	25,50	22,58	27,75	25,33	4,34
BP029	26	16,20	32,80	24,35	21,30	28,10	24,53	4,31
BP032	26	6,60	13,90	9,85	8,73	11,48	10,08	2,12
BP036	27	13,00	137,00	22,20	19,25	23,20	25,59	22,51
BP063	2	57,40	58,70	58,05	57,73	58,38	58,05	0,92
BP064	2	59,00	62,10	60,55	59,78	61,33	60,55	2,19
BP066	26	11,00	27,00	17,95	15,83	21,45	18,49	4,59
BP067	2	14,20	18,00	16,10	15,15	17,05	16,10	2,69
BP068	26	13,90	27,30	21,10	18,15	23,75	20,81	3,88
BP069	26	10,60	48,10	21,05	17,15	26,43	22,07	8,15
BP070	27	14,70	32,10	23,20	20,30	28,00	23,85	5,12
BP071	26	44,80	87,80	73,60	65,90	81,05	72,32	11,09
BP072	27	16,10	38,20	25,80	22,05	29,15	25,77	5,05
BP073	26	65,40	101,00	82,10	79,65	89,20	84,17	8,04
BP074	26	13,00	31,90	25,45	19,60	27,83	24,38	5,23
BP075	16	59,00	219,00	120,25	87,83	147,00	120,24	42,44
BP076	26	22,20	73,50	46,55	41,18	52,18	45,59	12,17
BP077	3	21,10	33,50	26,80	23,95	30,15	27,13	6,21
BP078	27	19,40	33,00	27,00	25,60	30,45	27,72	3,32
BP079	26	13,00	25,00	18,30	16,53	20,80	18,53	3,16
BP080	26	27,40	73,00	44,95	37,28	52,33	45,57	11,84
BP081	16	54,10	86,80	72,65	68,55	75,50	71,74	7,49
BP082	27	18,70	54,70	24,80	22,15	28,80	26,40	7,34
BP083	27	16,70	58,50	25,30	24,10	27,90	27,05	7,17
BP084	26	23,30	49,80	37,00	33,03	45,28	38,03	8,27
BP085	16	64,00	90,90	79,15	71,10	85,13	78,07	8,37
BP086	26	45,60	77,30	55,80	52,93	67,13	59,40	9,57
BP087	3	21,70	30,80	26,50	24,10	28,65	26,33	4,55
BP088	26	41,10	83,50	56,10	47,38	68,98	57,92	11,90
BP089	2	55,30	71,10	63,20	59,25	67,15	63,20	11,17
BP090	26	14,30	47,70	32,25	25,73	36,15	31,63	8,03
BP092	26	8,10	15,10	11,05	9,95	12,83	11,34	1,83
BP093	2	17,40	19,10	18,25	17,83	18,68	18,25	1,20
BP094	26	6,30	18,90	10,25	9,43	11,63	10,83	2,73
BP096	26	10,80	31,00	18,05	15,33	20,28	18,16	4,55
BP098	26	16,40	167,00	59,60	50,45	68,20	63,79	27,06
BP099	27	14,80	30,80	23,90	21,40	26,85	24,03	3,94
BPE2	4	19,00	25,10	21,90	21,10	22,78	21,98	2,49
BPE3	4	21,60	32,70	29,00	26,48	30,60	28,08	4,71
BPE6	4	22,90	29,40	26,25	24,93	27,53	26,20	2,71
BPE7	4	27,70	30,40	28,55	28,30	29,05	28,80	1,14
BPE8	4	23,80	28,30	26,95	25,98	27,48	26,50	1,92
BPE9	4	4,20	16,80	12,95	9,45	15,23	11,73	5,52

Tabela III.17: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **feoftina a** (µg/L).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão
BP014	20	0,34	12,15	2,85	2,21	4,25	3,83	2,92
BP016	20	0,08	3,04	1,33	0,87	1,79	1,26	0,79
BP018	20	0,01	2,83	1,26	0,77	1,47	1,11	0,76
BP020	18	0,01	4,26	1,39	1,10	2,02	1,58	1,24
BP022	47	0,01	6,00	1,35	0,47	2,13	1,54	1,38
BP024	47	0,01	80,55	1,80	0,51	2,36	4,18	12,27
BP026	47	0,01	22,49	1,36	0,71	2,47	2,94	4,33
BP027	47	0,01	31,24	2,00	0,80	3,59	3,68	5,76
BP029	47	0,02	33,24	2,04	1,02	3,94	4,17	6,53
BP032	47	0,01	56,07	1,63	0,53	4,07	5,44	10,00
BP036	57	0,01	48,46	2,32	1,52	5,47	5,76	9,34
BP063	4	2,14	4,92	2,47	2,31	3,15	3,00	1,30
BP064	4	2,41	3,89	3,08	2,49	3,71	3,11	0,77
BP066	47	0,01	18,69	1,15	0,29	2,73	2,35	3,86
BP067	4	2,00	11,48	2,92	2,22	5,52	4,83	4,49
BP068	57	0,01	48,59	2,19	1,26	4,99	4,98	7,72
BP069	47	0,01	55,54	1,37	0,44	2,57	2,95	8,04
BP070	57	0,01	59,61	2,31	1,34	4,99	4,80	8,79
BP071	47	0,01	32,04	3,25	1,69	7,77	5,83	6,79
BP072	59	0,01	86,84	2,19	1,06	4,34	6,65	13,57
BP073	46	0,01	37,05	2,35	0,01	5,91	4,79	7,32
BP074	47	0,01	159,90	2,35	1,50	6,14	9,65	24,84
BP075	31	0,91	76,50	13,35	4,05	22,45	17,94	18,44
BP076	47	0,01	50,86	2,19	0,83	6,44	6,13	9,65
BP077	12	2,00	24,41	3,65	2,46	6,81	7,17	7,90
BP078	58	0,01	40,78	2,83	1,72	5,85	5,52	7,17
BP079	47	0,01	43,41	1,56	0,71	2,80	4,27	8,79
BP080	47	0,01	28,30	1,66	0,83	3,39	3,36	5,63
BP081	31	0,01	27,50	1,76	0,51	4,15	3,83	5,50
BP082	59	0,01	270,20	2,87	1,69	4,64	8,76	35,01
BP083	59	0,01	23,90	2,67	1,59	6,35	4,95	5,30
BP084	47	0,01	33,94	1,84	0,74	3,63	2,82	4,98
BP085	31	0,01	32,65	8,26	2,38	11,29	8,85	8,24
BP086	45	0,01	50,01	2,67	1,04	5,98	6,37	10,70
BP087	12	2,00	37,38	2,78	2,25	9,96	8,89	11,49
BP088	46	0,01	26,70	2,38	0,86	5,58	4,47	5,85
BP089	4	1,66	4,11	2,37	1,92	3,09	2,63	1,09
BP090	47	0,01	98,92	2,87	1,13	5,25	8,33	18,25
BP092	47	0,01	3,04	1,18	0,16	1,74	1,05	0,89
BP093	17	1,34	12,46	2,47	1,82	3,74	3,54	2,74
BP094	47	0,01	3,10	1,06	0,37	1,62	1,07	0,84
BP096	45	0,01	11,44	1,60	0,56	2,68	2,25	2,51
BP098	46	0,01	253,65	1,77	0,63	3,26	9,46	37,90
BP099	57	0,12	18,69	1,82	0,92	2,96	2,55	3,01
BPE2	18	1,70	59,63	3,08	2,22	10,54	10,31	16,58
BPE3	17	1,94	37,83	2,88	2,32	10,53	8,07	9,44
BPE9	16	1,42	52,33	2,04	1,91	4,02	6,90	12,86

Tabela III.18: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **ferro dissolvido** (mg/L Fe).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	0,05	0,29	0,14	0,09	0,18	0,14	0,06	0%
BP016	20	0,03	0,09	0,07	0,05	0,08	0,06	0,02	0%
BP018	20	0,11	0,25	0,19	0,14	0,21	0,18	0,05	0%
BP020	18	0,03	0,22	0,15	0,10	0,19	0,14	0,05	0%
BP022	51	0,08	1,11	0,35	0,22	0,54	0,41	0,24	55%
BP024	51	0,09	1,81	0,32	0,18	0,44	0,37	0,29	53%
BP026	51	0,09	0,98	0,33	0,22	0,58	0,40	0,22	53%
BP027	51	0,08	1,16	0,26	0,18	0,41	0,32	0,22	43%
BP029	51	0,06	0,80	0,27	0,20	0,39	0,31	0,16	39%
BP032	51	0,06	1,11	0,33	0,21	0,50	0,37	0,22	53%
BP036	138	0,07	1,22	0,41	0,26	0,55	0,42	0,21	67%
BP063	4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0%
BP064	4	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0%
BP066	51	0,11	1,15	0,36	0,24	0,58	0,42	0,24	59%
BP067	4	0,42	0,63	0,48	0,45	0,53	0,50	0,09	100%
BP068	139	0,03	1,24	0,34	0,19	0,52	0,38	0,24	55%
BP069	51	0,05	0,50	0,18	0,13	0,26	0,21	0,11	16%
BP070	138	0,03	1,57	0,31	0,19	0,49	0,37	0,26	51%
BP071	51	0,05	0,75	0,19	0,11	0,30	0,23	0,16	0%
BP072	139	0,03	1,27	0,40	0,21	0,62	0,44	0,28	63%
BP073	51	0,04	0,76	0,21	0,15	0,34	0,25	0,16	29%
BP074	51	0,05	1,79	0,41	0,20	0,68	0,51	0,41	59%
BP075	31	0,03	0,44	0,06	0,05	0,13	0,10	0,09	3%
BP076	51	0,04	1,15	0,20	0,10	0,39	0,29	0,27	35%
BP077	34	0,09	1,06	0,37	0,27	0,58	0,44	0,23	65%
BP078	139	0,03	1,82	0,29	0,15	0,53	0,39	0,34	48%
BP079	51	0,11	1,05	0,31	0,25	0,49	0,39	0,22	53%
BP080	51	0,07	0,70	0,22	0,16	0,27	0,25	0,13	24%
BP081	31	0,07	0,98	0,40	0,23	0,59	0,40	0,23	61%
BP082	145	0,05	1,27	0,38	0,20	0,58	0,43	0,30	57%
BP083	130	0,04	1,42	0,30	0,14	0,56	0,40	0,32	50%
BP084	51	0,10	2,02	0,49	0,26	0,78	0,57	0,40	69%
BP085	31	0,03	0,83	0,30	0,11	0,43	0,29	0,21	48%
BP086	51	0,03	0,76	0,26	0,17	0,37	0,30	0,16	43%
BP087	32	0,08	1,18	0,34	0,21	0,47	0,40	0,26	59%
BP088	51	0,03	1,88	0,10	0,04	0,19	0,20	0,31	16%
BP089	5	0,06	0,35	0,25	0,17	0,34	0,24	0,12	40%
BP090	51	0,05	1,33	0,27	0,16	0,43	0,34	0,26	45%
BP092	51	0,03	0,24	0,09	0,06	0,11	0,09	0,05	0%
BP093	17	0,10	0,51	0,29	0,20	0,39	0,28	0,13	41%
BP094	51	0,03	0,32	0,11	0,07	0,13	0,11	0,05	2%
BP096	51	0,05	1,20	0,25	0,13	0,38	0,28	0,21	41%
BP098	51	0,04	2,00	0,18	0,10	0,32	0,30	0,38	29%
BP099	190	0,03	1,14	0,34	0,15	0,50	0,35	0,24	58%
BPE2	109	0,03	1,42	0,45	0,30	0,62	0,47	0,26	74%
BPE3	67	0,08	1,68	0,45	0,25	0,59	0,48	0,32	67%
BPE6	35	0,03	0,23	0,05	0,03	0,11	0,08	0,06	0%
BPE7	34	0,03	0,22	0,03	0,03	0,05	0,05	0,04	0%
BPE8	34	0,03	0,10	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0%
BPE9	87	0,14	1,98	0,94	0,53	1,22	0,91	0,45	86%

Tabela III.19: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **ferro total** (mg/L Fe).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão
BP036	75	0,10	15,43	3,50	1,97	5,20	4,07	3,08
BP063	4	0,06	0,28	0,10	0,07	0,17	0,14	0,10
BP064	4	0,11	0,35	0,16	0,13	0,22	0,19	0,11
BP067	4	1,28	7,39	2,29	1,38	4,22	3,31	2,85
BP068	75	0,18	39,35	4,99	2,16	6,98	5,85	5,90
BP070	75	0,10	62,00	4,40	1,81	7,45	6,33	8,63
BP072	76	0,08	26,24	3,22	1,74	5,83	4,72	5,01
BP077	34	0,08	13,38	3,79	1,96	6,56	4,26	2,97
BP078	75	0,11	9,04	2,96	1,77	3,83	3,02	1,85
BP082	81	0,58	17,78	3,38	2,05	5,20	4,04	3,07
BP083	66	0,28	15,35	3,23	1,86	4,60	3,64	2,65
BP087	32	0,19	8,86	3,37	1,22	5,95	3,78	2,60
BP089	5	0,51	1,12	0,80	0,62	0,98	0,81	0,25
BP093	17	0,49	1,61	0,86	0,67	1,01	0,90	0,31
BP099	129	0,03	5,27	0,90	0,59	1,44	1,15	0,94
BPE2	89	0,18	28,52	5,24	2,12	8,54	6,03	5,23
BPE3	63	0,18	24,30	3,52	1,78	5,74	4,47	4,07
BPE6	35	0,06	0,84	0,14	0,09	0,37	0,27	0,23
BPE7	34	0,04	0,44	0,12	0,07	0,16	0,14	0,09
BPE8	34	0,03	0,51	0,08	0,05	0,12	0,11	0,09
BPE9	88	0,22	6,99	2,45	2,10	3,13	2,56	1,09

Tabela III.20: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **fósforo total** (mg/L P).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	0,02	0,57	0,14	0,09	0,21	0,18	0,15	40%
BP016	20	0,02	0,21	0,04	0,02	0,06	0,05	0,05	10%
BP018	20	0,02	0,55	0,02	0,02	0,02	0,05	0,12	5%
BP020	18	0,02	0,13	0,06	0,03	0,08	0,06	0,04	17%
BP022	51	0,02	0,14	0,04	0,03	0,06	0,05	0,03	6%
BP024	51	0,02	0,17	0,04	0,03	0,08	0,06	0,04	12%
BP026	51	0,01	0,94	0,04	0,02	0,06	0,08	0,14	18%
BP027	51	0,02	0,33	0,08	0,05	0,12	0,10	0,07	35%
BP029	51	0,01	0,20	0,06	0,05	0,10	0,08	0,05	22%
BP032	51	0,01	0,17	0,02	0,02	0,05	0,04	0,03	8%
BP036	67	0,01	0,26	0,05	0,04	0,08	0,07	0,05	15%
BP063	4	0,02	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,01	0%
BP064	4	0,04	0,12	0,05	0,04	0,07	0,06	0,04	25%
BP066	51	0,01	0,16	0,04	0,02	0,06	0,05	0,04	14%
BP067	4	0,03	0,22	0,12	0,05	0,20	0,12	0,10	50%
BP068	66	0,01	0,44	0,05	0,03	0,10	0,08	0,08	23%
BP069	51	0,08	2,24	0,39	0,23	0,82	0,57	0,50	92%
BP070	67	0,02	0,32	0,07	0,05	0,14	0,10	0,08	33%
BP071	51	0,02	5,58	0,69	0,42	1,06	0,90	0,89	94%
BP072	67	0,01	0,84	0,14	0,09	0,23	0,17	0,13	66%
BP073	51	0,13	5,94	0,84	0,64	1,34	1,08	0,91	100%
BP074	51	0,02	0,95	0,08	0,06	0,15	0,14	0,17	35%
BP075	31	0,05	0,82	0,25	0,16	0,32	0,26	0,15	90%
BP076	51	0,01	0,18	0,04	0,02	0,08	0,06	0,04	12%
BP077	17	0,03	0,31	0,12	0,06	0,17	0,13	0,08	53%
BP078	67	0,01	0,40	0,08	0,05	0,13	0,10	0,08	30%
BP079	51	0,01	0,30	0,03	0,02	0,05	0,04	0,05	8%
BP080	51	0,02	0,77	0,17	0,11	0,25	0,20	0,13	76%
BP081	31	0,06	2,13	0,63	0,42	0,81	0,71	0,48	97%
BP082	67	0,02	0,40	0,11	0,08	0,19	0,14	0,09	57%
BP083	67	0,02	0,29	0,08	0,07	0,13	0,10	0,06	31%
BP084	51	0,06	1,45	0,23	0,14	0,52	0,35	0,31	84%
BP085	31	0,04	0,63	0,17	0,14	0,34	0,24	0,15	87%
BP086	51	0,03	2,29	0,18	0,12	0,26	0,25	0,33	78%
BP087	17	0,02	0,28	0,08	0,07	0,15	0,11	0,07	47%
BP088	51	0,01	0,28	0,06	0,03	0,09	0,07	0,06	16%
BP089	4	0,06	1,11	0,11	0,08	0,38	0,35	0,51	50%
BP090	51	0,02	0,24	0,07	0,05	0,11	0,08	0,05	27%
BP092	51	0,01	0,09	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0%
BP093	17	0,02	0,13	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	6%
BP094	51	0,01	0,09	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0%
BP096	51	0,02	0,54	0,09	0,05	0,17	0,12	0,11	39%
BP098	51	0,04	2,56	0,22	0,14	0,51	0,38	0,41	88%
BP099	65	0,01	0,30	0,03	0,02	0,04	0,05	0,06	11%
BPE2	22	0,02	0,27	0,10	0,05	0,16	0,12	0,08	45%
BPE3	21	0,04	0,36	0,17	0,15	0,21	0,17	0,07	81%
BPE6	22	0,02	0,22	0,03	0,02	0,04	0,04	0,05	18%
BPE7	22	0,02	0,17	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	14%
BPE8	22	0,02	0,17	0,03	0,02	0,04	0,04	0,03	5%
BPE9	20	0,02	0,33	0,04	0,02	0,06	0,07	0,09	15%

Tabela III.21: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **indicador de contaminação fecal** (NMP/100 mL).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	496	24196	1700	865	3873	3576	5232	20%
BP016	20	2046	24196	9804	6087	17962	11922	7906	100%
BP018	20	10	134	47	20	63	45	32	0%
BP020	18	624	24196	3591	1517	8215	6636	7457	94%
BP022	51	23	160000	24196	17000	30000	34726	38982	96%
BP024	51	23	160000	24196	24098	81825	47476	44134	98%
BP026	50	1400	160000	10731	5440	19147	16614	23290	100%
BP027	49	110	160000	9208	6867	14136	21327	35420	96%
BP029	50	1	50000	3777	1252	7608	7741	11236	82%
BP032	50	60	30000	1273	470	2802	3583	6267	94%
BP036	67	50	50000	1100	228	2955	2768	6455	51%
BP063	4	1	173	6	1	51	46	85	0%
BP064	4	1	31	10	8	15	13	13	0%
BP066	50	130	50000	7900	2514	19229	11281	11622	90%
BP067	4	676	9208	2694	1305	5207	3818	3840	100%
BP068	66	409	30000	5652	3076	8947	7508	6189	98%
BP069	51	50	160000	24000	4481	90000	44932	54371	96%
BP070	67	120	35000	7701	3374	15531	10196	8490	99%
BP071	51	1400	160000	24196	10170	98040	57251	62084	92%
BP072	67	30	160000	3130	1300	12099	13614	29689	79%
BP073	51	2200	241960	160000	24196	160000	114531	82695	100%
BP074	51	1400	160000	24196	24000	61334	45637	42299	100%
BP075	31	1	160000	8164	2621	23098	19666	33792	87%
BP076	51	41	50000	441	203	1700	3288	8722	35%
BP077	17	41	9804	241	85	1119	1162	2385	29%
BP078	67	1	90000	173	57	783	2013	10960	22%
BP079	51	30	160000	1187	660	2688	7536	23796	94%
BP080	50	170	241957	24196	17329	61162	49949	55666	98%
BP081	31	1782	241960	24196	24196	126000	73087	80940	100%
BP082	67	2	24196	657	88	2250	2881	5512	40%
BP083	67	1	24196	300	67	1300	1926	4474	34%
BP084	51	70	241960	24196	11099	25874	38716	54949	98%
BP085	31	97	24196	1198	645	3587	4227	6568	55%
BP086	51	1296	160000	35000	24196	79334	54933	49184	100%
BP087	17	1	4106	173	41	933	693	1058	24%
BP088	50	1	50000	23	2	63	1655	7657	18%
BP089	4	650	24196	24196	18310	24196	18310	11773	75%
BP090	51	1	160000	800	245	2900	9525	31403	47%
BP092	49	23	24196	340	130	1259	1569	3973	63%
BP093	17	74	839	340	216	464	375	215	0%
BP094	50	20	17000	170	55	490	1250	2924	46%
BP096	51	70	241960	24196	22000	91000	57893	63537	94%
BP098	51	1	90000	1300	377	3448	6572	15372	53%
BP099	65	1	28000	62	31	397	1393	4268	20%
BPE2	22	4611	24196	12997	9969	17329	14477	6334	100%
BPE3	21	31	12033	216	98	2481	1815	3039	33%
BPE6	22	1	1183	6	1	30	82	253	5%
BPE7	22	1	24196	10	1	92	1245	5145	9%
BPE8	22	1	332	15	1	113	67	93	0%
BPE9	20	1	3448	126	8	188	526	1026	15%

Tabela III.22: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **magnésio total** (mg/L Mg).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão
BP014	10	1,80	5,70	4,20	3,60	4,38	3,89	1,15
BP016	10	1,50	5,60	4,15	4,00	4,45	4,09	1,10
BP018	10	1,40	3,60	2,10	1,73	2,20	2,10	0,60
BP020	9	1,10	2,90	2,10	1,40	2,40	2,03	0,60
BP022	26	0,30	2,60	1,70	1,40	2,00	1,62	0,58
BP024	26	0,30	2,80	1,40	1,10	1,60	1,40	0,57
BP026	26	0,10	2,30	1,60	1,23	1,90	1,50	0,57
BP027	26	0,90	3,90	2,80	2,30	3,10	2,66	0,73
BP029	26	0,10	4,40	2,65	2,03	3,00	2,50	0,90
BP032	26	0,20	1,70	1,00	0,80	1,20	0,97	0,35
BP036	27	0,40	2,90	2,30	1,95	2,60	2,20	0,57
BP063	2	2,80	3,00	2,90	2,85	2,95	2,90	0,14
BP064	2	2,50	3,00	2,75	2,63	2,88	2,75	0,35
BP066	26	0,50	3,40	2,05	1,65	2,50	2,08	0,72
BP067	2	1,50	2,20	1,85	1,68	2,03	1,85	0,50
BP068	26	0,80	4,00	2,30	1,90	2,68	2,26	0,74
BP069	26	0,40	3,40	1,90	1,63	2,58	2,04	0,76
BP070	27	1,10	3,60	2,10	1,65	2,65	2,23	0,73
BP071	26	1,50	8,90	4,20	3,60	5,65	4,57	1,57
BP072	27	1,00	4,90	2,50	1,80	2,95	2,42	0,87
BP073	26	2,50	10,30	4,55	4,03	5,80	4,95	1,78
BP074	26	0,70	3,60	2,15	1,65	2,50	2,10	0,72
BP075	16	3,20	15,20	5,35	4,88	6,30	6,01	2,75
BP076	26	1,30	4,50	2,55	2,03	3,70	2,82	0,98
BP077	3	1,70	4,00	2,50	2,10	3,25	2,73	1,17
BP078	27	0,10	3,60	2,60	2,10	2,90	2,41	0,86
BP079	26	0,60	3,30	2,15	1,65	2,48	2,07	0,63
BP080	26	1,60	6,80	3,75	3,23	4,88	3,92	1,37
BP081	16	0,90	6,80	4,60	3,93	5,53	4,64	1,45
BP082	27	0,70	4,10	2,20	1,90	2,70	2,30	0,81
BP083	27	0,30	10,80	2,40	2,15	2,75	2,65	1,76
BP084	26	1,30	5,50	3,65	2,60	4,38	3,50	1,13
BP085	16	3,30	8,00	4,55	3,58	5,28	4,76	1,42
BP086	26	1,70	6,20	3,90	3,13	4,20	3,70	1,14
BP087	3	2,60	3,30	3,10	2,85	3,20	3,00	0,36
BP088	26	1,30	5,50	2,65	2,15	3,10	2,85	1,08
BP089	2	1,50	3,50	2,50	2,00	3,00	2,50	1,41
BP090	26	0,90	4,80	2,70	2,15	3,25	2,74	0,99
BP092	26	0,10	1,70	1,10	1,00	1,30	1,08	0,32
BP093	2	2,00	2,30	2,15	2,08	2,23	2,15	0,21
BP094	26	0,20	2,80	1,10	0,93	1,30	1,16	0,51
BP096	26	0,40	3,10	1,95	1,63	2,30	1,92	0,59
BP098	26	1,00	8,00	3,00	2,03	4,00	3,42	1,71
BP099	27	0,80	3,20	2,10	1,70	2,50	2,05	0,64
BPE2	4	2,20	2,80	2,60	2,50	2,65	2,55	0,25
BPE3	4	1,90	3,00	2,60	2,13	3,00	2,53	0,56
BPE6	4	1,90	3,20	2,50	1,98	3,05	2,53	0,67
BPE7	4	2,30	3,20	2,95	2,75	3,05	2,85	0,39
BPE8	4	2,30	3,00	2,55	2,45	2,70	2,60	0,29
BPE9	4	0,40	2,00	1,50	1,08	1,78	1,35	0,70

Tabela III.23: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **manganês total** (mg/L Mn).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	0,11	1,39	0,36	0,21	0,54	0,42	0,31	30%
BP016	20	0,11	1,08	0,18	0,15	0,22	0,25	0,22	100%
BP018	20	0,24	0,60	0,37	0,33	0,45	0,39	0,09	100%
BP020	18	0,23	1,21	0,67	0,55	0,87	0,71	0,27	100%
BP022	51	0,04	0,19	0,08	0,07	0,11	0,09	0,03	31%
BP024	51	0,06	0,50	0,10	0,08	0,12	0,12	0,08	53%
BP026	51	0,03	0,58	0,08	0,06	0,12	0,12	0,10	33%
BP027	51	0,02	8,05	0,36	0,26	0,52	0,59	1,11	98%
BP029	51	0,06	1,88	0,22	0,16	0,38	0,36	0,37	96%
BP032	51	0,02	0,28	0,05	0,04	0,08	0,07	0,05	18%
BP036	138	0,02	2,83	0,29	0,16	0,51	0,41	0,40	88%
BP063	4	0,01	0,11	0,03	0,02	0,06	0,05	0,04	25%
BP064	4	0,03	0,10	0,04	0,03	0,06	0,05	0,03	0%
BP066	51	0,04	0,76	0,09	0,07	0,13	0,14	0,14	41%
BP067	4	0,03	0,22	0,07	0,04	0,13	0,10	0,09	50%
BP068	139	0,04	46,27	0,63	0,19	1,54	1,71	4,47	93%
BP069	51	0,00	0,57	0,13	0,08	0,22	0,16	0,11	67%
BP070	138	0,01	24,77	0,54	0,21	1,37	1,30	2,66	93%
BP071	51	0,07	0,43	0,18	0,16	0,22	0,19	0,07	0%
BP072	139	0,01	12,26	0,35	0,15	0,97	0,89	1,70	90%
BP073	51	0,08	0,44	0,19	0,16	0,22	0,19	0,06	94%
BP074	51	0,04	0,52	0,07	0,06	0,10	0,10	0,09	29%
BP075	31	0,16	0,67	0,35	0,27	0,47	0,38	0,15	100%
BP076	51	0,01	0,90	0,07	0,05	0,08	0,08	0,12	10%
BP077	34	0,01	2,78	0,50	0,19	1,04	0,73	0,75	82%
BP078	139	0,01	1,75	0,18	0,05	0,55	0,35	0,40	64%
BP079	51	0,04	0,71	0,13	0,10	0,19	0,17	0,13	80%
BP080	51	0,44	7,28	0,97	0,69	1,18	1,15	1,01	100%
BP081	31	0,27	1,09	0,57	0,46	0,69	0,58	0,20	100%
BP082	145	0,03	7,45	0,31	0,10	0,71	0,58	0,86	74%
BP083	130	0,02	3,91	0,20	0,06	0,58	0,42	0,60	65%
BP084	51	0,45	2,93	1,71	1,42	2,11	1,74	0,53	100%
BP085	31	0,08	0,72	0,41	0,27	0,47	0,38	0,16	94%
BP086	51	0,11	1,96	0,31	0,26	0,45	0,46	0,40	100%
BP087	32	0,01	1,42	0,49	0,13	0,86	0,53	0,43	78%
BP088	51	0,02	2,73	0,44	0,23	0,82	0,62	0,56	90%
BP089	5	0,04	0,61	0,06	0,04	0,08	0,16	0,25	20%
BP090	51	0,03	0,74	0,08	0,06	0,10	0,10	0,10	20%
BP092	51	0,00	0,22	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	2%
BP093	17	0,08	0,23	0,13	0,09	0,17	0,14	0,05	59%
BP094	51	0,00	0,07	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01	0%
BP096	51	0,04	0,59	0,13	0,08	0,22	0,17	0,13	63%
BP098	51	0,03	0,96	0,13	0,08	0,22	0,21	0,22	63%
BP099	190	0,00	0,72	0,04	0,03	0,06	0,07	0,10	16%
BPE2	109	0,04	19,06	1,42	0,41	2,58	2,06	2,79	98%
BPE3	67	0,04	5,85	0,73	0,28	1,28	1,00	1,07	87%
BPE6	35	0,00	0,05	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0%
BPE7	34	0,00	0,05	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0%
BPE8	34	0,00	0,14	0,01	0,00	0,01	0,01	0,03	3%
BPE9	88	0,01	0,55	0,03	0,02	0,10	0,07	0,09	26%

Tabela III.24: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **mércurio total** (mg/L Hg).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP016	10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP018	10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP020	9	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP022	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP024	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP026	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP027	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP029	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP032	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP036	115	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP063	4	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP064	4	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP066	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP067	2	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP068	116	0,20	4,23	0,20	0,20	0,20	0,27	0,40	12%
BP069	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP070	115	0,02	1,79	0,20	0,20	0,20	0,22	0,16	5%
BP071	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP072	117	0,02	0,82	0,20	0,20	0,20	0,21	0,07	3%
BP073	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP074	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP075	16	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP076	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP077	34	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP078	116	0,20	0,44	0,20	0,20	0,20	0,20	0,03	2%
BP079	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP080	26	0,20	0,35	0,20	0,20	0,20	0,21	0,03	4%
BP081	17	0,02	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,04	0%
BP082	122	0,20	0,81	0,20	0,20	0,20	0,21	0,06	2%
BP083	107	0,20	0,84	0,20	0,20	0,20	0,21	0,06	2%
BP084	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP085	16	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP086	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP087	32	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP088	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP089	5	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP090	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP092	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP093	17	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP094	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP096	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP098	26	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BP099	169	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BPE2	108	0,20	2,13	0,20	0,20	0,20	0,25	0,23	16%
BPE3	67	0,20	0,55	0,20	0,20	0,20	0,21	0,04	1%
BPE6	35	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BPE7	34	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BPE8	34	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%
BPE9	88	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0%

Tabela III.25: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **níquel total** (mg/L Ni).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0%
BP016	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP018	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP020	18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP022	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP024	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0%
BP026	26	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0%
BP027	51	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0%
BP029	26	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0%
BP032	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP036	115	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0%
BP063	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP064	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP066	26	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	8%
BP067	4	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0%
BP068	116	0,00	0,11	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	3%
BP069	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP070	115	0,00	0,06	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	3%
BP071	51	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	2%
BP072	138	0,00	0,07	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	1%
BP073	51	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0%
BP074	51	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP075	17	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0%
BP076	26	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0%
BP077	34	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	3%
BP078	116	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	1%
BP079	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0%
BP080	51	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	2%
BP081	17	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0%
BP082	122	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	1%
BP083	107	0,00	0,09	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	1%
BP084	51	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0%
BP085	17	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP086	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0%
BP087	32	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0%
BP088	51	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP089	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP090	26	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0%
BP092	26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP093	17	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP094	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP096	26	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP098	26	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	4%
BP099	169	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE2	108	0,00	0,05	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	3%
BPE3	67	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0%
BPE6	34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE7	33	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE8	33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE9	88	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%

Tabela III.26: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **nitrato** (mg/L N).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	0,72	12,30	4,00	2,31	8,17	5,28	3,52	15%
BP016	20	0,17	1,47	0,60	0,49	0,90	0,67	0,32	0%
BP018	20	0,06	0,86	0,18	0,15	0,25	0,24	0,19	0%
BP020	18	0,12	2,59	0,41	0,32	0,59	0,56	0,55	0%
BP022	51	0,01	3,24	0,41	0,15	0,62	0,53	0,62	0%
BP024	51	0,02	1,91	0,23	0,13	0,40	0,32	0,32	0%
BP026	51	0,06	3,02	0,39	0,24	0,57	0,46	0,44	0%
BP027	51	0,04	2,89	0,86	0,59	1,29	0,94	0,59	0%
BP029	51	0,10	2,79	0,92	0,64	1,36	1,03	0,65	0%
BP032	51	0,01	1,07	0,24	0,16	0,37	0,30	0,22	0%
BP036	73	0,10	4,63	0,95	0,64	1,34	1,20	0,97	0%
BP063	4	0,54	1,80	0,92	0,77	1,20	1,05	0,54	0%
BP064	4	0,62	1,66	0,80	0,73	1,04	0,97	0,47	0%
BP066	51	0,01	2,03	0,81	0,41	1,06	0,81	0,50	0%
BP067	4	0,42	0,96	0,69	0,49	0,89	0,69	0,27	0%
BP068	72	0,05	4,90	0,83	0,48	1,25	1,03	0,85	0%
BP069	51	0,03	9,76	0,70	0,14	1,81	1,52	2,18	0%
BP070	72	0,03	3,77	1,00	0,64	1,45	1,17	0,85	0%
BP071	51	0,01	18,00	1,61	0,36	4,00	2,57	3,16	2%
BP072	73	0,02	6,00	0,94	0,60	1,51	1,31	1,20	0%
BP073	51	0,03	18,00	0,71	0,36	1,32	1,24	2,53	2%
BP074	51	0,02	2,72	0,38	0,14	0,63	0,49	0,49	0%
BP075	31	0,60	23,20	4,70	2,47	6,26	5,25	4,38	6%
BP076	51	0,03	1,61	0,40	0,19	0,76	0,47	0,34	0%
BP077	17	0,46	3,58	1,74	0,84	2,48	1,72	0,98	0%
BP078	73	0,04	4,74	1,19	0,58	2,61	1,59	1,18	0%
BP079	51	0,01	1,00	0,32	0,20	0,45	0,35	0,24	0%
BP080	51	0,14	4,81	1,34	0,78	2,30	1,56	1,15	0%
BP081	31	0,19	14,30	1,02	0,60	1,99	1,79	2,55	3%
BP082	73	0,03	12,40	1,33	0,65	2,35	1,79	1,80	1%
BP083	73	0,08	5,08	1,14	0,68	2,50	1,57	1,18	0%
BP084	51	0,01	2,88	0,34	0,15	0,59	0,51	0,59	0%
BP085	31	0,11	11,50	0,95	0,62	1,21	1,37	1,99	3%
BP086	51	0,14	3,96	1,60	0,79	2,45	1,67	1,05	0%
BP087	17	0,19	4,47	1,38	1,04	2,26	1,75	1,13	0%
BP088	51	0,02	2,93	0,49	0,28	0,93	0,68	0,59	0%
BP089	4	0,60	1,04	0,90	0,74	1,01	0,86	0,20	0%
BP090	51	0,03	5,42	1,40	0,62	2,71	1,85	1,59	0%
BP092	51	0,02	1,27	0,32	0,20	0,54	0,37	0,26	0%
BP093	17	0,17	2,53	0,44	0,25	0,49	0,70	0,74	0%
BP094	51	0,01	1,67	0,23	0,15	0,39	0,30	0,28	0%
BP096	51	0,04	2,93	0,45	0,28	0,77	0,61	0,57	0%
BP098	51	0,05	9,40	2,02	0,81	3,93	2,73	2,42	0%
BP099	70	0,03	2,80	0,85	0,48	1,11	0,94	0,63	0%
BPE2	28	0,20	3,97	1,06	0,66	1,46	1,33	1,02	0%
BPE3	25	0,47	6,85	1,59	0,71	2,94	2,14	1,63	0%
BPE6	25	0,07	4,12	0,57	0,37	0,80	0,73	0,76	0%
BPE7	25	0,02	1,03	0,21	0,16	0,45	0,32	0,28	0%
BPE8	25	0,02	1,04	0,25	0,18	0,44	0,31	0,26	0%
BPE9	20	0,09	1,62	0,23	0,16	0,40	0,38	0,37	0%

Tabela III.27: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **nitrito** (mg/L N).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	0,06	1,39	0,18	0,07	0,34	0,31	0,35	5%
BP016	20	0,01	0,08	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02	0%
BP018	20	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP020	18	0,00	0,08	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0%
BP022	50	0,00	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%
BP024	50	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0%
BP026	50	0,00	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%
BP027	50	0,00	0,28	0,09	0,04	0,15	0,10	0,07	0%
BP029	50	0,01	0,35	0,04	0,03	0,07	0,06	0,06	0%
BP032	50	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0%
BP036	72	0,00	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%
BP063	4	0,00	0,07	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03	0%
BP064	4	0,00	0,06	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0%
BP066	50	0,00	0,44	0,02	0,02	0,05	0,04	0,06	0%
BP067	4	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0%
BP068	71	0,00	0,11	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%
BP069	50	0,00	0,41	0,02	0,01	0,05	0,04	0,06	0%
BP070	71	0,01	0,14	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02	0%
BP071	50	0,00	0,86	0,14	0,02	0,28	0,19	0,19	0%
BP072	72	0,01	0,57	0,06	0,03	0,09	0,08	0,08	0%
BP073	50	0,02	0,23	0,05	0,04	0,07	0,06	0,05	0%
BP074	50	0,01	0,12	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03	0%
BP075	31	0,11	0,94	0,31	0,24	0,57	0,40	0,21	0%
BP076	50	0,00	0,08	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%
BP077	17	0,01	0,05	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0%
BP078	72	0,00	0,20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0%
BP079	50	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0%
BP080	50	0,02	0,75	0,28	0,23	0,41	0,31	0,19	0%
BP081	31	0,01	0,29	0,09	0,02	0,15	0,10	0,09	0%
BP082	72	0,00	0,12	0,04	0,03	0,05	0,04	0,02	0%
BP083	72	0,01	0,06	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0%
BP084	50	0,00	0,24	0,02	0,01	0,04	0,03	0,04	0%
BP085	31	0,01	0,17	0,03	0,02	0,08	0,06	0,05	0%
BP086	50	0,02	0,47	0,22	0,13	0,28	0,22	0,11	0%
BP087	17	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0%
BP088	50	0,00	0,06	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0%
BP089	4	0,01	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0%
BP090	50	0,01	0,40	0,03	0,02	0,07	0,05	0,07	0%
BP092	50	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP093	17	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0%
BP094	50	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BP096	51	0,00	0,32	0,01	0,01	0,04	0,03	0,05	0%
BP098	51	0,00	0,47	0,17	0,09	0,28	0,19	0,11	0%
BP099	69	0,00	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%
BPE2	28	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0%
BPE3	25	0,02	0,15	0,05	0,04	0,10	0,07	0,04	0%
BPE6	25	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0%
BPE7	25	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE8	25	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
BPE9	20	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0%

Tabela III.28: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **nitrogênio amoniacal total** (mg/L N).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	0,10	2,60	0,34	0,15	0,70	0,56	0,61	0%
BP016	20	0,10	0,65	0,25	0,20	0,39	0,30	0,17	0%
BP018	20	0,10	0,45	0,10	0,10	0,10	0,13	0,08	0%
BP020	18	0,10	1,20	0,19	0,12	0,35	0,30	0,29	0%
BP022	51	0,10	0,48	0,17	0,11	0,25	0,20	0,10	0%
BP024	51	0,10	0,89	0,19	0,11	0,33	0,27	0,22	0%
BP026	51	0,10	0,41	0,10	0,10	0,14	0,13	0,07	0%
BP027	51	0,10	1,51	0,25	0,11	0,61	0,42	0,40	0%
BP029	51	0,10	0,99	0,11	0,10	0,19	0,20	0,21	0%
BP032	51	0,10	0,49	0,10	0,10	0,12	0,13	0,07	0%
BP036	73	0,10	1,08	0,10	0,10	0,15	0,16	0,14	0%
BP063	4	0,22	0,62	0,41	0,23	0,59	0,41	0,22	0%
BP064	4	0,33	0,65	0,42	0,37	0,51	0,46	0,14	0%
BP066	51	0,10	0,50	0,14	0,10	0,24	0,19	0,11	0%
BP067	4	0,10	0,27	0,14	0,10	0,20	0,16	0,08	0%
BP068	72	0,10	0,84	0,10	0,10	0,17	0,16	0,13	0%
BP069	51	0,10	1,70	0,45	0,19	0,77	0,51	0,37	0%
BP070	72	0,10	0,76	0,22	0,13	0,34	0,26	0,15	0%
BP071	51	0,55	32,00	9,99	6,00	14,40	11,01	7,39	31%
BP072	73	0,10	3,14	0,56	0,32	0,80	0,66	0,52	0%
BP073	51	1,52	31,60	12,50	7,86	15,55	11,75	5,91	88%
BP074	51	0,10	4,92	0,27	0,13	0,43	0,55	0,94	2%
BP075	31	0,89	9,64	3,27	1,50	6,08	3,84	2,63	58%
BP076	51	0,10	0,50	0,10	0,10	0,12	0,15	0,10	0%
BP077	17	0,10	0,52	0,13	0,10	0,31	0,20	0,13	0%
BP078	73	0,10	0,35	0,10	0,10	0,18	0,15	0,08	0%
BP079	51	0,10	0,72	0,10	0,10	0,14	0,14	0,10	0%
BP080	51	0,10	5,41	1,06	0,58	1,77	1,47	1,33	12%
BP081	31	3,08	24,30	8,49	5,51	16,60	10,27	6,01	94%
BP082	73	0,10	0,92	0,13	0,10	0,21	0,20	0,16	0%
BP083	73	0,10	0,55	0,10	0,10	0,13	0,14	0,08	0%
BP084	51	0,10	42,00	2,72	1,13	5,77	5,12	7,15	41%
BP085	31	0,49	7,66	2,74	1,67	3,97	2,91	1,72	35%
BP086	51	0,16	16,90	1,27	0,62	2,63	2,32	3,15	22%
BP087	17	0,10	0,28	0,12	0,10	0,23	0,17	0,07	0%
BP088	51	0,10	1,46	0,47	0,22	0,56	0,48	0,33	0%
BP089	4	0,18	5,96	0,84	0,62	2,17	1,95	2,69	25%
BP090	51	0,10	2,52	0,16	0,10	0,30	0,30	0,43	0%
BP092	51	0,10	0,23	0,10	0,10	0,10	0,11	0,03	0%
BP093	17	0,10	0,26	0,10	0,10	0,20	0,14	0,06	0%
BP094	51	0,10	0,59	0,10	0,10	0,10	0,13	0,09	0%
BP096	51	0,10	2,44	0,29	0,14	0,59	0,46	0,51	0%
BP098	51	0,10	27,90	1,75	0,22	8,01	4,61	6,30	31%
BP099	70	0,10	0,71	0,10	0,10	0,15	0,15	0,10	0%
BPE2	28	0,10	0,69	0,11	0,10	0,21	0,18	0,14	0%
BPE3	25	0,10	0,65	0,22	0,10	0,30	0,23	0,14	0%
BPE6	25	0,10	0,41	0,12	0,10	0,20	0,16	0,08	0%
BPE7	25	0,10	0,59	0,11	0,10	0,19	0,17	0,13	0%
BPE8	25	0,10	0,59	0,12	0,10	0,24	0,20	0,14	0%
BPE9	20	0,10	0,39	0,10	0,10	0,15	0,16	0,10	0%

Tabela III.29: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **nitrogênio orgânico** (mg/L N).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão
BP014	20	0,14	0,97	0,50	0,36	0,73	0,53	0,23
BP016	20	0,10	0,65	0,24	0,20	0,32	0,27	0,14
BP018	20	0,10	0,44	0,15	0,10	0,19	0,17	0,09
BP020	18	0,10	0,46	0,19	0,12	0,21	0,20	0,11
BP022	51	0,10	0,69	0,32	0,20	0,42	0,32	0,15
BP024	51	0,10	1,46	0,29	0,19	0,42	0,33	0,24
BP026	50	0,10	0,74	0,22	0,15	0,35	0,28	0,17
BP027	51	0,10	1,44	0,41	0,23	0,53	0,43	0,27
BP029	51	0,10	0,90	0,43	0,33	0,56	0,44	0,19
BP032	51	0,10	0,88	0,24	0,11	0,35	0,28	0,19
BP036	73	0,10	1,24	0,42	0,30	0,64	0,46	0,27
BP063	4	0,10	0,23	0,20	0,15	0,22	0,18	0,06
BP064	4	0,17	0,55	0,30	0,22	0,41	0,33	0,17
BP066	51	0,10	0,96	0,38	0,25	0,50	0,38	0,19
BP067	4	0,13	0,82	0,32	0,15	0,57	0,40	0,33
BP068	72	0,10	1,02	0,38	0,25	0,58	0,41	0,22
BP069	51	0,21	3,12	0,67	0,41	0,97	0,80	0,59
BP070	72	0,10	1,19	0,49	0,37	0,57	0,49	0,22
BP071	51	0,33	5,92	1,17	0,94	1,64	1,51	1,01
BP072	73	0,13	1,29	0,50	0,40	0,68	0,55	0,24
BP073	51	0,10	11,00	2,00	1,21	2,76	2,48	2,05
BP074	51	0,10	1,48	0,46	0,27	0,57	0,45	0,27
BP075	31	0,17	3,25	1,22	0,97	1,72	1,37	0,71
BP076	51	0,10	1,10	0,32	0,25	0,53	0,40	0,23
BP077	17	0,10	1,00	0,64	0,39	0,68	0,57	0,23
BP078	73	0,10	1,22	0,55	0,35	0,70	0,54	0,26
BP079	51	0,10	0,89	0,28	0,15	0,40	0,31	0,20
BP080	51	0,10	1,40	0,67	0,50	0,80	0,67	0,30
BP081	31	0,40	6,59	1,47	0,86	1,90	1,68	1,26
BP082	73	0,10	1,44	0,58	0,41	0,78	0,58	0,27
BP083	73	0,10	1,10	0,49	0,37	0,61	0,51	0,22
BP084	51	0,10	1,67	0,52	0,34	0,75	0,57	0,33
BP085	31	0,25	4,00	0,55	0,43	0,90	0,90	0,96
BP086	51	0,10	4,15	0,90	0,60	1,08	1,03	0,80
BP087	17	0,10	0,96	0,34	0,27	0,47	0,41	0,23
BP088	51	0,10	2,25	0,60	0,41	0,90	0,69	0,39
BP089	4	0,31	1,11	0,36	0,33	0,56	0,53	0,39
BP090	51	0,10	1,04	0,57	0,37	0,69	0,54	0,24
BP092	51	0,10	1,00	0,17	0,10	0,31	0,23	0,19
BP093	17	0,10	0,63	0,22	0,13	0,32	0,27	0,18
BP094	51	0,10	0,60	0,17	0,10	0,28	0,22	0,14
BP096	51	0,10	1,33	0,39	0,27	0,59	0,44	0,27
BP098	51	0,10	1,95	0,81	0,48	1,02	0,78	0,41
BP099	70	0,10	0,89	0,39	0,25	0,53	0,40	0,20
BPE2	28	0,24	0,88	0,49	0,36	0,65	0,52	0,20
BPE3	25	0,22	1,35	0,61	0,54	0,79	0,64	0,24
BPE6	25	0,10	0,59	0,27	0,15	0,38	0,28	0,16
BPE7	25	0,10	0,57	0,21	0,10	0,29	0,22	0,12
BPE8	25	0,10	0,43	0,25	0,14	0,32	0,24	0,12
BPE9	20	0,10	0,80	0,27	0,15	0,39	0,31	0,22

Tabela III.30: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **oxigênio dissolvido** (mg/L O_2).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	5,70	9,60	7,55	7,30	8,03	7,66	0,80	0%
BP016	20	6,10	9,70	7,20	7,00	8,05	7,53	0,81	0%
BP018	20	6,30	9,80	7,80	7,70	8,28	8,01	0,74	0%
BP020	18	6,50	9,60	7,65	7,43	8,25	7,87	0,72	0%
BP022	51	4,90	8,90	6,90	6,55	7,40	7,02	0,71	2%
BP024	51	5,40	9,20	7,40	7,00	7,95	7,36	0,84	8%
BP026	51	5,80	9,30	7,30	7,00	8,15	7,52	0,77	2%
BP027	51	5,20	8,80	6,90	6,60	7,15	6,90	0,67	0%
BP029	51	6,50	9,40	7,60	7,40	8,10	7,70	0,66	0%
BP032	51	6,40	9,60	7,40	7,05	8,10	7,58	0,69	0%
BP036	138	5,40	9,80	7,70	7,50	8,10	7,76	0,57	0%
BP063	4	6,80	8,00	7,90	7,55	8,00	7,65	0,57	0%
BP064	4	6,30	7,20	6,55	6,38	6,83	6,65	0,40	0%
BP066	51	6,20	8,20	7,30	6,90	7,80	7,28	0,54	0%
BP067	4	7,10	8,90	7,80	7,25	8,45	7,90	0,85	0%
BP068	139	4,90	9,00	7,50	7,20	7,80	7,51	0,57	1%
BP069	51	0,80	8,20	5,10	2,65	6,60	4,58	2,28	63%
BP070	138	4,80	8,50	7,10	6,63	7,30	6,98	0,72	1%
BP071	51	0,20	7,50	1,90	1,10	3,00	2,37	1,75	86%
BP072	139	3,70	8,80	7,10	6,70	7,60	7,10	0,84	2%
BP073	51	0,50	6,30	2,80	1,70	4,40	3,02	1,61	84%
BP074	51	3,70	8,70	7,30	6,75	7,60	7,06	1,01	10%
BP075	31	1,30	7,90	6,90	6,45	7,15	6,62	1,14	3%
BP076	51	4,90	8,40	6,60	6,10	7,40	6,73	0,88	4%
BP077	34	4,50	8,80	6,95	6,60	7,30	6,90	0,86	6%
BP078	139	4,50	9,50	7,00	6,80	7,50	7,15	0,79	1%
BP079	51	5,60	9,50	7,50	7,00	8,25	7,62	0,78	2%
BP080	51	3,60	7,40	5,60	5,25	6,05	5,67	0,72	10%
BP081	31	0,50	7,90	4,10	3,45	4,85	4,15	1,30	77%
BP082	145	4,90	9,20	6,70	6,50	7,00	6,81	0,57	1%
BP083	130	5,30	9,30	6,95	6,70	7,30	7,05	0,65	0%
BP084	51	0,50	5,90	2,80	1,70	3,75	2,81	1,25	94%
BP085	31	3,10	8,60	6,70	5,65	7,25	6,36	1,23	13%
BP086	51	2,90	7,90	5,40	4,85	6,10	5,45	0,94	27%
BP087	33	5,00	9,20	7,70	7,40	8,10	7,57	0,93	0%
BP088	51	4,70	8,30	7,00	6,50	7,45	6,95	0,68	6%
BP089	5	1,40	8,00	5,70	3,40	7,10	5,12	2,71	40%
BP090	51	2,90	8,40	7,00	6,60	7,40	6,76	1,13	10%
BP092	51	6,50	10,00	7,80	7,50	8,30	7,87	0,66	0%
BP093	17	5,10	9,10	8,00	7,50	8,30	7,72	1,11	0%
BP094	51	6,90	9,90	8,00	7,70	8,60	8,14	0,62	0%
BP096	51	2,00	8,40	6,40	4,45	7,25	5,88	1,82	29%
BP098	51	2,10	7,90	4,30	3,30	5,00	4,26	1,21	75%
BP099	190	4,60	10,90	6,70	6,30	7,50	6,93	0,94	1%
BPE2	109	5,10	8,80	7,50	7,30	7,70	7,49	0,53	0%
BPE3	67	5,10	7,70	6,80	6,60	7,10	6,85	0,47	0%
BPE6	35	4,40	8,70	7,60	6,95	7,95	7,34	0,98	3%
BPE7	34	4,60	8,50	6,85	6,60	7,50	6,97	0,87	6%
BPE8	34	4,30	9,00	7,30	7,00	7,80	7,22	0,98	6%
BPE9	88	4,10	9,00	7,60	7,40	7,80	7,42	0,86	3%

Tabela III.31: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **pH**.

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	6,70	9,20	7,65	7,08	7,80	7,60	0,63	5%
BP016	20	6,30	7,70	7,35	6,78	7,60	7,17	0,47	0%
BP018	20	5,80	7,30	6,75	6,00	7,03	6,61	0,54	10%
BP020	18	6,00	7,30	7,00	6,30	7,20	6,80	0,50	0%
BP022	51	5,80	7,90	6,40	6,10	6,80	6,47	0,44	16%
BP024	51	5,80	7,30	6,60	6,20	7,00	6,57	0,43	4%
BP026	51	6,00	7,70	6,90	6,40	7,10	6,77	0,45	0%
BP027	51	5,90	7,50	6,90	6,35	7,20	6,80	0,45	2%
BP029	51	6,10	7,90	6,90	6,60	7,25	6,93	0,42	0%
BP032	51	5,70	7,50	6,80	6,20	7,10	6,66	0,48	8%
BP036	138	5,80	7,90	7,05	6,70	7,40	7,01	0,49	1%
BP063	4	6,40	9,20	7,00	6,85	7,55	7,40	1,23	25%
BP064	4	6,50	8,70	6,75	6,65	7,28	7,18	1,02	0%
BP066	51	5,90	7,50	6,70	6,30	7,10	6,69	0,46	6%
BP067	4	6,30	8,10	6,45	6,30	6,98	6,83	0,86	0%
BP068	139	5,80	7,80	7,00	6,60	7,30	6,95	0,47	1%
BP069	51	6,50	8,20	7,30	6,95	7,60	7,28	0,42	0%
BP070	138	5,80	7,80	7,00	6,50	7,30	6,87	0,47	1%
BP071	51	6,40	7,70	7,10	6,80	7,30	7,05	0,32	0%
BP072	139	5,70	7,60	6,90	6,50	7,20	6,86	0,41	1%
BP073	51	6,70	8,50	7,20	6,95	7,50	7,24	0,37	0%
BP074	51	6,20	8,50	7,30	6,90	7,60	7,26	0,51	0%
BP075	31	7,00	8,00	7,70	7,40	7,80	7,59	0,29	0%
BP076	51	6,30	7,80	7,20	6,90	7,40	7,13	0,39	0%
BP077	34	6,00	8,30	7,05	6,70	7,20	6,98	0,47	0%
BP078	139	6,10	8,60	7,00	6,60	7,40	7,04	0,53	0%
BP079	51	6,00	7,50	6,70	6,30	7,20	6,75	0,46	0%
BP080	51	6,20	7,90	6,80	6,60	7,20	6,88	0,40	0%
BP081	31	6,70	7,70	7,40	7,20	7,60	7,32	0,29	0%
BP082	145	6,00	7,90	6,90	6,50	7,20	6,88	0,43	0%
BP083	130	6,00	8,20	7,00	6,60	7,30	6,97	0,45	0%
BP084	51	6,00	7,40	6,70	6,45	7,00	6,71	0,37	0%
BP085	31	6,70	7,90	7,20	6,95	7,40	7,17	0,29	0%
BP086	51	6,10	7,70	7,10	6,80	7,30	7,03	0,37	0%
BP087	33	6,20	8,30	6,70	6,50	7,30	6,94	0,52	0%
BP088	51	6,10	7,70	6,90	6,50	7,20	6,89	0,42	0%
BP089	5	6,40	7,60	7,00	6,70	7,30	7,00	0,47	0%
BP090	51	6,10	7,70	6,90	6,60	7,20	6,91	0,39	0%
BP092	51	5,80	7,70	6,60	6,30	6,90	6,58	0,46	12%
BP093	17	5,90	7,70	6,90	6,20	7,10	6,72	0,54	6%
BP094	51	5,70	7,50	6,60	6,25	6,90	6,58	0,44	6%
BP096	51	5,90	7,70	6,60	6,30	6,80	6,58	0,39	6%
BP098	51	6,20	7,90	7,00	6,85	7,40	7,08	0,44	0%
BP099	190	5,80	9,30	6,80	6,50	7,20	6,91	0,55	2%
BPE2	109	5,70	7,80	7,00	6,60	7,30	6,93	0,49	5%
BPE3	67	6,00	7,90	6,80	6,45	7,20	6,79	0,42	0%
BPE6	35	6,10	8,20	7,10	6,70	7,80	7,17	0,61	0%
BPE7	34	6,20	8,30	7,10	6,60	7,50	7,12	0,59	0%
BPE8	34	6,30	8,90	7,30	6,70	7,58	7,24	0,63	0%
BPE9	88	5,20	8,80	6,55	6,28	7,00	6,63	0,68	13%

Tabela III.32: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **potássio dissolvido** (mg/L K).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão
BP014	10	2,56	12,26	6,67	5,39	7,31	6,83	2,91
BP016	10	0,48	0,93	0,72	0,67	0,77	0,72	0,12
BP018	10	0,15	0,55	0,30	0,20	0,36	0,31	0,15
BP020	9	0,34	3,78	0,60	0,54	0,81	1,11	1,13
BP022	26	0,74	2,49	0,98	0,90	1,18	1,13	0,43
BP024	26	0,59	1,76	0,84	0,74	1,05	0,94	0,31
BP026	26	0,73	2,27	1,15	0,90	1,37	1,19	0,40
BP027	26	0,76	2,89	1,88	1,38	2,20	1,82	0,51
BP029	26	1,00	2,98	1,76	1,50	2,13	1,84	0,49
BP032	26	0,77	2,10	1,27	1,13	1,56	1,36	0,33
BP036	32	1,21	2,76	1,86	1,46	2,19	1,89	0,43
BP066	26	0,80	2,30	1,26	1,00	1,51	1,30	0,39
BP067	2	1,51	2,66	2,09	1,80	2,37	2,09	0,81
BP068	31	1,30	2,67	1,89	1,51	2,12	1,88	0,40
BP069	26	1,17	4,01	2,44	1,85	2,93	2,48	0,80
BP070	31	1,26	3,21	2,19	1,70	2,42	2,10	0,49
BP071	26	3,21	13,96	9,60	7,45	11,24	9,24	3,22
BP072	32	1,54	7,43	2,58	1,95	2,96	2,64	1,07
BP073	26	3,73	13,71	8,79	7,63	10,09	8,68	2,19
BP074	26	1,45	4,13	2,41	1,94	2,84	2,46	0,64
BP075	16	3,89	16,08	9,30	6,09	14,05	9,77	4,29
BP076	26	1,65	4,27	2,16	1,84	2,72	2,41	0,68
BP077	3	2,14	2,79	2,25	2,19	2,52	2,39	0,35
BP078	32	1,58	3,88	2,58	1,92	2,85	2,48	0,62
BP079	26	0,61	3,29	0,96	0,84	1,19	1,11	0,54
BP080	26	1,45	6,37	3,50	2,72	4,65	3,61	1,42
BP081	16	3,55	8,99	5,62	5,29	7,06	6,13	1,53
BP082	32	1,35	3,62	2,68	2,12	2,93	2,55	0,59
BP083	32	1,63	3,68	2,62	2,18	2,97	2,57	0,58
BP084	26	1,56	5,25	2,73	2,10	3,41	2,92	1,04
BP085	16	4,55	8,77	6,73	5,29	7,71	6,58	1,50
BP086	26	2,50	7,33	4,55	3,80	6,08	4,84	1,40
BP087	3	2,00	2,61	2,14	2,07	2,37	2,25	0,32
BP088	26	2,65	6,46	4,24	3,61	5,11	4,36	1,03
BP089	2	1,07	2,56	1,82	1,45	2,19	1,82	1,05
BP090	26	1,44	6,70	3,11	2,18	3,96	3,23	1,32
BP092	26	0,63	1,46	0,93	0,79	1,04	0,93	0,18
BP093	2	0,64	1,19	0,92	0,78	1,05	0,92	0,39
BP094	26	0,31	0,98	0,44	0,37	0,49	0,47	0,15
BP096	26	1,24	4,17	1,93	1,66	2,70	2,18	0,70
BP098	26	1,74	28,26	5,59	3,52	12,09	8,73	7,31
BP099	32	1,39	3,23	2,13	1,68	2,56	2,16	0,53
BPE2	9	1,46	2,76	2,18	1,89	2,19	2,09	0,38
BPE3	7	2,16	3,11	2,74	2,56	2,84	2,69	0,31
BPE6	7	2,17	3,12	2,71	2,57	2,82	2,68	0,30
BPE7	7	2,25	2,66	2,46	2,39	2,60	2,48	0,15
BPE8	7	2,04	2,56	2,48	2,15	2,52	2,35	0,22
BPE9	4	0,45	0,91	0,74	0,62	0,83	0,71	0,20

Tabela III.33: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **sódio dissolvido** (mg/L Na).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão
BP014	10	6,65	114,22	40,98	21,22	59,80	44,43	31,88
BP016	10	1,08	2,43	1,67	1,49	1,82	1,67	0,39
BP018	10	0,49	1,04	0,77	0,57	0,82	0,73	0,19
BP020	9	0,91	33,87	1,68	1,55	2,43	5,72	10,64
BP022	26	2,75	5,01	3,81	3,26	4,20	3,78	0,60
BP024	26	1,47	4,31	2,95	2,32	3,49	2,92	0,72
BP026	26	1,93	4,96	3,11	2,57	3,45	3,11	0,75
BP027	26	0,73	12,67	6,83	4,09	8,20	6,65	3,27
BP029	26	2,84	13,18	6,35	4,02	8,48	6,63	3,02
BP032	26	1,66	3,73	2,95	2,57	3,25	2,86	0,57
BP036	27	2,96	11,49	5,66	3,91	6,71	5,88	2,39
BP066	26	1,66	15,29	2,52	2,18	4,03	4,17	3,66
BP067	2	3,30	3,92	3,61	3,46	3,76	3,61	0,43
BP068	26	2,78	9,83	5,43	3,90	6,38	5,59	2,13
BP069	26	3,18	97,15	47,23	24,70	59,64	45,95	25,23
BP070	27	3,30	11,84	6,97	5,14	8,21	6,96	2,36
BP071	26	6,07	57,76	39,06	29,25	43,48	35,79	14,60
BP072	27	3,58	871,95	8,47	5,42	9,64	40,18	166,27
BP073	26	7,97	80,73	39,86	33,34	50,41	41,20	17,08
BP074	26	3,41	12,38	7,89	6,81	9,76	8,04	2,31
BP075	16	30,98	270,91	145,15	72,50	208,33	141,55	82,07
BP076	26	3,61	18,34	7,70	6,26	9,24	7,90	3,02
BP077	3	4,75	9,07	5,53	5,14	7,30	6,45	2,30
BP078	27	3,36	15,63	7,86	5,05	9,69	8,16	3,60
BP079	26	1,53	3,71	2,87	2,60	3,18	2,85	0,52
BP080	26	3,01	34,02	13,78	8,09	23,15	15,92	9,34
BP081	16	7,44	29,74	21,38	14,14	23,35	19,50	6,63
BP082	27	3,50	16,14	8,41	5,47	9,81	8,34	3,44
BP083	27	2,88	15,27	8,32	5,51	9,94	8,24	3,48
BP084	26	2,62	21,00	8,40	5,00	13,13	9,28	5,19
BP085	16	23,33	66,62	46,89	36,92	57,08	46,64	13,27
BP086	26	12,68	45,24	25,68	21,55	38,99	28,77	9,95
BP087	3	3,55	8,27	4,47	4,01	6,37	5,43	2,50
BP088	26	6,28	15,67	10,44	8,48	13,84	11,00	2,77
BP089	2	4,99	5,11	5,05	5,02	5,08	5,05	0,08
BP090	26	3,35	22,68	9,60	7,65	13,56	10,80	4,53
BP092	26	1,43	2,37	1,93	1,82	2,10	1,94	0,23
BP093	2	1,63	2,22	1,93	1,78	2,07	1,93	0,42
BP094	26	0,83	1,58	1,02	0,99	1,15	1,08	0,19
BP096	26	2,44	12,77	4,14	3,21	5,36	4,89	2,47
BP098	26	4,16	303,82	49,21	19,08	103,87	72,74	72,39
BP099	27	3,01	10,34	5,93	4,13	7,79	6,26	2,41
BPE2	4	2,82	9,88	4,57	3,20	6,83	5,46	3,23
BPE3	4	3,63	14,91	7,96	5,38	11,19	8,61	4,94
BPE6	4	4,09	6,72	5,54	4,57	6,44	5,47	1,26
BPE7	4	2,76	3,97	3,06	2,80	3,48	3,21	0,56
BPE8	4	3,16	4,22	3,38	3,20	3,71	3,53	0,49
BPE9	4	0,33	4,52	2,53	1,34	3,67	2,48	1,85

Tabela III.34: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **sólidos dissolvidos totais** (mg/L).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	106,00	527,00	267,00	199,50	335,50	269,45	111,24	5%
BP016	20	30,00	83,00	60,50	53,75	72,50	62,05	13,13	0%
BP018	20	20,00	41,00	32,00	27,00	34,25	31,05	5,55	0%
BP020	18	12,00	99,00	40,00	33,25	53,75	44,83	19,88	0%
BP022	45	33,00	70,00	50,00	43,00	57,00	50,11	8,86	0%
BP024	45	25,00	120,00	45,00	36,00	54,00	47,22	16,63	0%
BP026	45	25,00	131,00	44,00	38,00	63,00	52,02	21,79	0%
BP027	45	32,00	119,00	69,00	57,00	80,00	72,47	20,92	0%
BP029	45	38,00	240,00	69,00	57,00	81,00	75,27	34,62	0%
BP032	45	25,00	168,00	48,00	39,00	65,00	56,40	27,29	0%
BP036	132	13,00	163,00	66,50	59,00	78,25	70,33	19,65	0%
BP063	4	98,00	119,00	113,50	106,25	118,25	111,00	9,76	0%
BP064	4	108,00	131,00	121,00	117,75	123,50	120,25	9,43	0%
BP066	45	26,00	159,00	52,00	42,00	63,00	58,13	26,70	0%
BP067	4	49,00	118,00	61,00	52,75	80,50	72,25	31,54	0%
BP068	133	25,00	158,00	66,00	56,00	77,00	68,91	20,02	0%
BP069	45	31,00	505,00	152,00	119,00	224,00	171,89	88,43	2%
BP070	132	30,00	169,00	72,00	59,00	82,25	74,86	22,37	0%
BP071	45	112,00	380,00	228,00	204,00	268,00	232,29	57,46	0%
BP072	133	46,00	159,00	76,00	67,00	93,00	81,76	21,80	0%
BP073	45	131,00	368,00	244,00	227,00	272,00	244,24	49,05	0%
BP074	45	65,00	572,00	94,00	83,00	110,00	116,42	79,90	2%
BP075	31	189,00	1178,00	604,00	471,00	785,50	626,10	259,19	68%
BP076	45	70,00	472,00	111,00	102,00	130,00	125,51	59,62	0%
BP077	34	57,00	181,00	96,00	76,25	111,50	98,15	29,21	0%
BP078	133	47,00	194,00	81,00	71,00	94,00	85,41	24,35	0%
BP079	45	22,00	108,00	51,00	43,00	61,00	53,18	18,53	0%
BP080	45	61,00	224,00	120,00	98,00	146,00	127,24	40,36	0%
BP081	31	82,00	265,00	173,00	141,00	188,00	169,07	40,61	0%
BP082	139	41,00	192,00	81,00	70,00	92,50	83,27	22,59	0%
BP083	124	55,00	234,00	82,00	71,00	93,00	87,85	28,95	0%
BP084	45	59,00	224,00	89,00	78,00	124,00	105,02	41,93	0%
BP085	31	141,00	344,00	263,00	202,50	296,00	247,87	58,74	0%
BP086	45	116,00	250,00	164,00	143,00	200,00	172,53	36,48	0%
BP087	33	46,00	174,00	90,00	77,00	102,00	91,85	28,60	0%
BP088	45	58,00	232,00	113,00	96,00	136,00	120,49	36,24	0%
BP089	5	98,00	200,00	104,00	101,00	115,00	123,60	43,19	0%
BP090	45	57,00	1090,00	121,00	103,00	168,00	152,84	148,76	2%
BP092	45	16,00	110,00	30,00	27,00	36,00	34,20	15,86	0%
BP093	17	14,00	79,00	33,00	28,00	39,00	38,18	17,12	0%
BP094	45	13,00	64,00	25,00	22,00	30,00	26,60	9,18	0%
BP096	45	26,00	97,00	50,00	42,00	63,00	53,98	16,07	0%
BP098	45	65,00	1173,00	258,00	143,00	436,00	329,51	247,91	18%
BP099	184	33,00	192,00	68,00	61,75	81,00	70,85	18,13	0%
BPE2	109	28,00	231,00	67,00	58,00	79,00	72,67	26,12	0%
BPE3	67	46,00	141,00	86,00	73,50	103,50	89,02	21,44	0%
BPE6	35	36,00	77,00	60,00	49,50	65,50	58,23	10,61	0%
BPE7	34	32,00	82,00	50,50	43,25	56,50	50,77	11,61	0%
BPE8	34	27,00	65,00	48,00	41,25	55,50	47,82	10,41	0%
BPE9	88	26,00	166,00	56,50	40,75	70,00	59,42	25,28	0%

Tabela III.35: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **sólidos em suspensão totais** (mg/L).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	10,00	338,00	47,50	32,00	77,75	82,25	84,16	25%
BP016	20	2,00	293,00	8,00	5,50	11,25	25,15	64,12	10%
BP018	20	2,00	12,00	4,00	2,00	4,50	4,35	3,17	0%
BP020	18	2,00	202,00	20,50	10,25	46,50	43,67	53,99	11%
BP022	51	1,00	61,00	11,00	5,00	16,00	12,22	10,10	0%
BP024	51	2,00	785,00	20,00	14,00	43,50	57,53	121,12	22%
BP026	51	3,00	583,00	24,00	12,00	48,00	72,84	123,49	24%
BP027	51	2,00	1070,00	40,00	19,50	68,50	113,88	213,63	22%
BP029	51	4,00	499,00	42,00	22,00	87,00	89,55	116,03	20%
BP032	51	3,00	422,00	28,00	17,50	67,00	61,80	83,43	27%
BP036	138	4,00	802,00	76,50	29,00	130,75	119,38	135,75	38%
BP063	4	4,00	31,00	23,00	16,75	26,50	20,25	11,59	0%
BP064	4	9,00	43,00	15,00	12,75	22,75	20,50	15,29	0%
BP066	51	1,00	680,00	12,00	4,50	23,50	58,98	132,10	14%
BP067	4	7,00	315,00	53,00	40,00	120,00	107,00	140,36	75%
BP068	139	2,00	13688,00	170,00	29,50	426,50	515,73	1531,29	55%
BP069	51	5,00	292,00	28,00	15,50	45,00	45,98	56,95	22%
BP070	138	2,00	5000,00	98,00	25,00	371,25	292,97	573,36	50%
BP071	51	4,00	2239,00	43,00	27,50	65,50	128,24	358,35	18%
BP072	139	1,00	4984,00	69,00	24,00	187,00	215,73	509,71	40%
BP073	51	2,00	782,00	64,00	40,00	88,00	100,65	143,00	16%
BP074	51	2,00	261,00	27,00	17,00	49,50	54,43	65,25	25%
BP075	31	12,00	294,00	70,00	46,00	104,00	87,36	61,11	29%
BP076	51	2,00	630,00	41,00	10,00	82,00	65,49	98,71	16%
BP077	34	7,00	573,00	112,50	42,50	215,75	148,77	126,54	56%
BP078	139	2,00	500,00	58,00	23,50	128,50	95,99	103,32	34%
BP079	51	2,00	574,00	19,00	8,00	54,50	57,43	101,89	25%
BP080	51	2,00	2463,00	33,00	18,50	55,50	149,84	434,58	18%
BP081	31	2,00	784,00	20,00	8,50	49,00	61,07	141,69	10%
BP082	145	3,00	1814,00	77,00	30,00	175,00	140,64	204,74	44%
BP083	130	2,00	720,00	60,00	26,00	135,75	109,51	131,85	35%
BP084	51	4,00	139,00	20,00	12,50	33,00	29,22	28,09	4%
BP085	31	2,00	98,00	16,00	10,50	47,00	27,65	23,92	0%
BP086	51	2,00	770,00	23,00	12,00	54,50	83,28	159,29	18%
BP087	33	6,00	535,00	126,00	46,00	197,00	141,30	121,46	55%
BP088	51	1,00	402,00	35,00	17,00	57,50	53,47	73,87	35%
BP089	5	14,00	47,00	19,00	17,00	21,00	23,60	13,33	0%
BP090	51	5,00	465,00	45,00	19,50	85,00	71,82	78,84	24%
BP092	51	1,00	258,00	6,00	2,50	10,00	12,61	35,79	2%
BP093	17	3,00	46,00	11,00	9,00	21,00	16,06	12,24	0%
BP094	51	1,00	46,00	6,00	3,00	11,00	8,98	9,30	0%
BP096	51	1,00	69,00	14,00	6,00	20,00	16,14	14,63	0%
BP098	51	1,00	1137,00	26,00	14,00	43,50	62,59	162,94	8%
BP099	190	2,00	674,00	15,00	10,00	28,75	42,07	91,48	7%
BPE2	109	2,00	6562,00	300,00	56,00	644,00	547,17	925,97	69%
BPE3	67	18,00	2438,00	135,00	63,50	278,50	227,84	329,67	60%
BPE6	35	2,00	71,00	9,00	4,50	19,50	14,17	14,26	0%
BPE7	34	2,00	41,00	10,00	6,25	14,75	11,00	7,42	0%
BPE8	34	2,00	41,00	6,00	3,25	14,00	9,32	8,49	0%
BPE9	88	2,00	812,00	15,50	11,00	22,50	55,94	127,48	13%

Tabela III.36: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **sólidos totais** (mg/L).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão
BP014	20	162,00	560,00	319,50	279,50	416,25	351,70	112,03
BP016	20	42,00	354,00	71,00	61,75	80,50	87,15	65,30
BP018	20	24,00	49,00	36,00	31,25	39,00	35,25	6,81
BP020	18	32,00	248,00	72,00	41,75	122,75	88,50	59,74
BP022	51	44,00	103,00	59,00	53,00	66,50	61,35	11,68
BP024	51	36,00	848,00	67,00	52,50	88,00	101,28	124,14
BP026	51	36,00	652,00	71,00	57,00	88,50	122,16	132,95
BP027	51	58,00	1151,00	104,00	88,50	150,50	182,78	216,26
BP029	51	53,00	562,00	106,00	86,00	164,00	159,33	121,88
BP032	51	39,00	590,00	73,00	58,00	123,00	115,53	104,93
BP036	138	49,00	878,00	138,50	94,00	208,75	187,88	143,37
BP063	4	122,00	140,00	131,50	122,75	140,00	131,25	10,11
BP064	4	135,00	151,00	138,50	136,50	142,75	140,75	7,14
BP066	51	28,00	770,00	62,00	49,00	80,50	113,78	148,94
BP067	4	75,00	433,00	104,50	96,75	187,00	179,25	169,74
BP068	139	43,00	13792,00	234,00	95,00	506,00	583,03	1533,38
BP069	51	61,00	567,00	178,00	129,50	263,00	208,20	106,83
BP070	138	49,00	5082,00	180,00	101,25	438,50	366,25	574,76
BP071	51	166,00	2474,00	276,00	245,00	329,00	356,55	354,11
BP072	139	53,00	5038,00	144,00	104,50	270,00	295,82	513,74
BP073	51	208,00	947,00	300,00	268,00	361,50	339,73	132,71
BP074	51	79,00	745,00	122,00	104,50	166,50	166,98	122,04
BP075	31	373,00	1350,00	663,00	533,00	851,50	713,45	255,22
BP076	51	76,00	705,00	143,00	121,50	213,50	186,31	119,86
BP077	34	77,00	676,00	224,50	132,00	319,00	246,91	142,22
BP078	139	66,00	642,00	135,00	106,50	216,50	178,76	111,42
BP079	51	37,00	674,00	69,00	54,00	109,00	107,39	109,58
BP080	51	74,00	2581,00	157,00	132,50	214,00	270,35	432,95
BP081	31	120,00	881,00	200,00	168,50	235,50	230,03	134,30
BP082	145	50,00	1890,00	153,00	115,00	256,00	222,22	208,58
BP083	130	63,00	834,00	137,50	109,00	229,25	194,86	143,60
BP084	51	75,00	244,00	117,00	105,50	147,00	130,06	42,52
BP085	31	170,00	352,00	280,00	238,00	314,00	275,45	51,02
BP086	51	105,00	981,00	195,00	169,50	247,00	251,12	169,50
BP087	33	69,00	660,00	200,00	123,00	314,00	233,15	139,94
BP088	51	67,00	548,00	146,00	119,00	192,00	168,67	84,35
BP089	5	119,00	214,00	132,00	120,00	151,00	147,20	39,51
BP090	51	76,00	1270,00	160,00	127,00	249,00	216,69	178,99
BP092	51	26,00	368,00	36,00	30,00	44,00	45,80	47,76
BP093	17	33,00	105,00	48,00	37,00	69,00	54,24	21,57
BP094	51	15,00	98,00	29,00	26,50	40,50	34,73	14,65
BP096	51	33,00	136,00	61,00	49,50	81,50	67,80	23,95
BP098	51	96,00	1486,00	279,00	181,50	481,50	386,39	297,83
BP099	190	54,00	710,00	87,00	74,25	102,50	112,33	94,93
BPE2	109	68,00	6616,00	369,00	121,00	718,00	618,56	922,52
BPE3	67	89,00	2508,00	216,00	143,00	378,00	317,06	330,68
BPE6	35	43,00	127,00	71,00	62,00	80,00	72,34	16,60
BPE7	34	33,00	82,00	62,00	54,25	67,75	60,82	10,41
BPE8	34	29,00	83,00	57,50	50,25	65,00	57,15	11,53
BPE9	88	37,00	872,00	70,00	54,00	92,75	114,96	138,27

Tabela III.37: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **substâncias tensoativas** (mg/L LAS).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	0,10	0,12	0,10	0,10	0,10	0,10	0,01	0%
BP016	20	0,10	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,01	0%
BP018	20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0%
BP020	18	0,10	0,14	0,10	0,10	0,10	0,10	0,01	0%
BP022	26	0,05	0,18	0,10	0,10	0,10	0,10	0,04	0%
BP024	26	0,05	0,20	0,10	0,10	0,13	0,11	0,04	0%
BP026	26	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,02	0%
BP027	51	0,05	0,13	0,10	0,10	0,10	0,09	0,02	0%
BP029	26	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,02	0%
BP032	26	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,02	0%
BP036	27	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,02	0%
BP063	4	0,10	0,79	0,10	0,10	0,27	0,27	0,35	25%
BP064	4	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0%
BP066	26	0,05	0,19	0,10	0,10	0,10	0,09	0,03	0%
BP067	2	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0%
BP068	26	0,05	0,32	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0%
BP069	26	0,05	0,15	0,10	0,10	0,10	0,09	0,03	0%
BP070	27	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,02	0%
BP071	51	0,05	2,53	0,41	0,18	0,87	0,65	0,67	39%
BP072	53	0,05	0,34	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0%
BP073	51	0,05	3,22	0,57	0,20	1,61	0,96	0,93	53%
BP074	51	0,05	0,56	0,10	0,10	0,11	0,12	0,09	2%
BP075	31	0,10	1,17	0,18	0,11	0,25	0,22	0,20	3%
BP076	26	0,05	0,12	0,10	0,10	0,10	0,09	0,02	0%
BP077	3	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0%
BP078	27	0,05	0,12	0,10	0,10	0,10	0,09	0,02	0%
BP079	26	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,02	0%
BP080	51	0,05	0,68	0,10	0,10	0,16	0,14	0,11	2%
BP081	17	0,10	2,34	1,14	0,33	1,93	1,12	0,85	59%
BP082	53	0,05	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	0,02	0%
BP083	27	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,02	0%
BP084	51	0,05	3,58	0,28	0,10	1,21	0,71	0,81	43%
BP085	17	0,10	1,10	0,11	0,10	0,23	0,23	0,25	6%
BP086	26	0,05	1,73	0,10	0,10	0,28	0,25	0,35	12%
BP087	3	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0%
BP088	51	0,05	0,24	0,10	0,10	0,10	0,09	0,03	0%
BP089	2	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0%
BP090	51	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,02	0%
BP092	26	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,02	0%
BP093	2	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0%
BP094	26	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,02	0%
BP096	26	0,05	0,99	0,10	0,10	0,17	0,19	0,20	8%
BP098	26	0,05	0,37	0,10	0,10	0,10	0,11	0,07	0%
BP099	27	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,02	0%
BPE2	4	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0%
BPE3	4	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0%
BPE6	4	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0%
BPE7	4	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0%
BPE8	4	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0%
BPE9	4	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0%

Tabela III.38: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **sulfato total** (mg/L SO_4).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	12	12,10	96,00	44,35	17,23	75,50	48,05	31,89	0%
BP016	12	5,00	14,20	5,10	5,00	5,43	6,14	2,68	0%
BP018	12	5,00	6,80	5,00	5,00	5,00	5,28	0,66	0%
BP020	11	5,00	18,50	5,00	5,00	5,00	6,23	4,07	0%
BP022	26	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,11	1,67	0%
BP024	26	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,09	1,71	0%
BP026	26	1,00	7,80	5,00	5,00	5,00	4,28	1,95	0%
BP027	26	1,30	15,20	6,25	5,00	8,10	6,65	3,09	0%
BP029	26	1,50	12,40	5,20	5,00	6,78	6,18	2,71	0%
BP032	26	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,12	1,64	0%
BP036	27	1,90	12,50	5,60	5,00	6,75	6,01	2,32	0%
BP063	2	6,80	9,00	7,90	7,35	8,45	7,90	1,56	0%
BP064	2	7,60	8,90	8,25	7,93	8,58	8,25	0,92	0%
BP066	26	1,00	19,10	5,00	5,00	5,00	4,95	3,35	0%
BP067	2	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00	0%
BP068	26	2,00	16,30	5,00	5,00	6,25	5,82	2,78	0%
BP069	26	1,00	9,90	5,00	5,00	6,88	5,46	2,10	0%
BP070	27	1,60	11,20	5,70	5,00	8,20	6,27	2,46	0%
BP071	26	7,20	45,70	17,85	13,60	22,78	19,27	8,27	0%
BP072	27	2,00	14,10	6,50	5,00	9,55	7,12	3,09	0%
BP073	26	8,80	34,90	15,55	11,85	17,20	15,58	5,47	0%
BP074	26	1,00	9,30	5,00	5,00	5,00	4,46	1,95	0%
BP075	16	13,90	364,00	100,15	38,53	145,25	104,48	87,62	6%
BP076	26	1,30	10,20	5,00	5,00	5,00	4,90	2,02	0%
BP077	3	5,00	5,70	5,00	5,00	5,35	5,23	0,40	0%
BP078	27	2,00	10,60	5,00	5,00	8,40	6,24	2,52	0%
BP079	26	1,00	5,50	5,00	5,00	5,00	4,17	1,64	0%
BP080	26	4,80	36,30	14,30	10,68	23,15	17,26	9,40	0%
BP081	16	8,90	28,40	14,55	10,98	17,60	15,50	5,35	0%
BP082	27	1,00	14,20	6,20	5,00	7,10	6,22	2,67	0%
BP083	27	1,00	11,90	5,00	5,00	7,70	6,03	2,50	0%
BP084	26	5,00	19,90	7,70	6,25	9,88	8,58	3,33	0%
BP085	16	5,40	43,30	23,90	18,00	27,98	24,15	10,13	0%
BP086	26	5,00	40,00	19,35	15,25	21,38	18,91	7,23	0%
BP087	3	5,00	5,60	5,00	5,00	5,30	5,20	0,35	0%
BP088	26	4,00	24,40	9,25	6,55	13,70	10,98	5,70	0%
BP089	2	5,00	6,60	5,80	5,40	6,20	5,80	1,13	0%
BP090	26	1,00	12,10	5,00	5,00	5,45	5,27	2,74	0%
BP092	26	1,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,09	1,71	0%
BP093	2	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00	0%
BP094	26	1,00	7,20	5,00	5,00	5,00	4,21	1,82	0%
BP096	26	1,00	9,40	5,00	5,00	5,00	4,82	2,16	0%
BP098	26	5,00	129,00	23,35	14,73	37,23	34,40	31,46	0%
BP099	27	1,80	11,20	5,00	5,00	6,20	5,46	2,10	0%
BPE2	4	5,00	5,80	5,00	5,00	5,20	5,20	0,40	0%
BPE3	4	5,00	7,60	6,00	5,38	6,78	6,15	1,15	0%
BPE6	4	5,00	6,20	5,05	5,00	5,38	5,33	0,59	0%
BPE7	4	5,00	8,00	5,00	5,00	5,75	5,75	1,50	0%
BPE8	4	5,00	8,20	5,00	5,00	5,80	5,80	1,60	0%
BPE9	4	5,00	7,30	5,00	5,00	5,58	5,58	1,15	0%

Tabela III.39: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **temperatura da água** (ºC).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão
BP014	20	16,60	25,60	22,10	19,35	23,38	21,54	2,65
BP016	20	16,30	26,80	22,60	20,25	24,33	22,21	2,73
BP018	20	14,40	22,30	20,10	17,78	21,13	19,23	2,47
BP020	18	18,10	25,00	22,55	20,58	23,18	21,87	1,91
BP022	51	15,40	27,00	20,70	19,50	21,95	20,68	2,27
BP024	51	17,00	29,90	23,10	19,95	25,10	22,78	3,19
BP026	51	14,60	27,50	22,60	19,85	23,80	21,83	3,05
BP027	51	15,50	28,50	22,90	20,50	24,05	22,20	2,94
BP029	51	17,60	33,00	24,10	21,40	25,70	23,78	3,40
BP032	51	16,80	29,20	23,40	20,60	24,25	22,60	2,80
BP036	138	16,60	29,90	24,50	23,00	25,40	23,99	2,42
BP063	4	21,80	28,10	26,40	24,95	27,13	25,68	2,72
BP064	4	22,90	26,30	25,60	24,78	25,93	25,10	1,51
BP066	51	15,80	27,90	22,70	20,35	24,40	22,17	2,92
BP067	4	18,30	25,30	23,05	20,55	24,93	22,43	3,28
BP068	139	17,80	34,20	25,00	23,80	26,40	24,78	2,43
BP069	51	18,10	35,20	24,40	22,30	26,20	24,56	3,25
BP070	138	17,40	30,60	24,90	24,00	26,35	24,73	2,38
BP071	51	18,00	29,90	24,10	21,90	26,15	24,10	2,84
BP072	139	18,80	30,50	25,20	24,00	26,55	24,99	2,37
BP073	51	17,30	30,70	23,60	21,65	24,90	23,52	2,63
BP074	51	19,50	32,30	26,10	22,65	28,10	25,59	3,40
BP075	31	18,90	32,10	25,40	22,50	26,65	24,71	2,89
BP076	51	17,80	30,50	24,80	21,40	26,80	24,19	3,29
BP077	34	20,70	30,90	26,00	24,85	27,05	25,93	2,07
BP078	139	18,70	31,00	26,60	24,65	27,65	26,13	2,42
BP079	51	15,60	31,20	23,20	19,70	24,40	22,53	3,28
BP080	51	17,20	30,70	23,30	21,30	24,60	22,97	2,93
BP081	31	14,90	28,10	23,10	21,15	24,65	22,66	3,35
BP082	145	18,80	30,50	25,60	24,30	26,70	25,25	2,22
BP083	130	19,60	30,90	26,15	24,43	27,30	25,83	2,33
BP084	51	17,10	30,60	23,20	20,25	24,55	22,56	2,82
BP085	31	17,90	28,50	23,60	21,45	24,55	23,28	2,59
BP086	51	17,20	29,40	23,60	21,45	25,50	23,56	2,96
BP087	33	19,70	29,10	25,70	24,50	26,80	25,59	2,16
BP088	51	17,70	28,80	24,30	22,50	25,10	23,93	2,28
BP089	5	17,60	24,20	23,30	21,50	24,10	22,14	2,76
BP090	51	16,50	30,60	23,70	20,65	25,40	23,32	3,30
BP092	51	15,20	24,40	21,20	19,00	22,10	20,53	2,17
BP093	17	15,20	26,10	21,90	18,90	23,20	21,25	2,93
BP094	51	14,80	23,10	20,90	18,80	21,95	20,22	2,22
BP096	51	16,70	31,20	23,60	21,70	25,30	23,54	3,20
BP098	51	14,90	29,20	23,30	20,75	24,55	22,63	3,08
BP099	190	19,70	29,60	26,80	25,10	27,80	26,36	1,91
BPE2	109	18,40	28,70	25,00	24,00	26,00	24,83	1,94
BPE3	67	19,10	28,90	25,40	24,50	26,40	25,20	1,87
BPE6	35	20,20	33,70	27,30	26,15	28,40	27,18	2,69
BPE7	34	22,50	30,80	26,65	25,83	28,18	26,84	2,07
BPE8	34	22,00	32,00	27,60	26,30	29,20	27,52	2,39
BPE9	88	18,40	29,90	24,05	22,40	25,10	23,86	2,22

Tabela III.40: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **turbidez** (UNT).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	6,26	481,00	33,10	20,28	112,25	72,93	106,11	30%
BP016	20	2,84	542,00	11,55	6,90	19,93	41,50	118,40	15%
BP018	20	0,81	9,35	2,01	1,37	2,84	2,56	1,94	0%
BP020	18	7,59	527,00	30,65	21,63	104,13	87,86	128,11	28%
BP022	51	3,33	33,00	8,32	6,34	12,20	9,83	5,44	0%
BP024	51	7,20	245,00	24,20	12,05	43,45	42,19	53,92	29%
BP026	51	5,13	602,00	24,50	12,40	45,65	67,16	114,79	29%
BP027	51	5,28	1561,00	25,50	12,55	52,80	103,00	246,38	20%
BP029	51	6,23	630,00	36,70	15,95	61,40	83,71	128,88	20%
BP032	51	7,30	576,00	23,90	15,90	66,20	72,85	114,02	37%
BP036	138	5,31	727,00	77,90	31,03	157,00	127,68	138,28	44%
BP063	4	1,47	5,74	4,57	3,29	5,36	4,09	1,91	0%
BP064	4	1,80	4,98	4,41	3,34	4,97	3,90	1,50	0%
BP066	51	3,49	894,00	9,83	6,91	23,35	71,33	164,22	16%
BP067	4	10,70	280,00	25,30	14,45	96,18	85,33	130,20	25%
BP068	139	4,52	34500,00	200,00	33,40	690,00	1201,42	3721,87	56%
BP069	51	2,60	438,00	15,70	10,08	24,70	29,20	62,56	12%
BP070	138	4,08	18588,00	152,00	32,75	523,00	614,23	1789,95	56%
BP071	51	7,05	2512,00	26,60	16,05	49,00	113,64	368,37	18%
BP072	139	4,30	17148,00	113,00	30,30	361,50	391,33	1508,40	53%
BP073	51	4,48	805,00	22,60	12,80	36,10	45,39	113,20	6%
BP074	51	5,74	793,00	29,10	15,00	66,55	82,21	150,09	45%
BP075	31	2,84	184,00	28,40	16,50	47,65	44,34	45,88	13%
BP076	51	3,08	745,00	51,70	12,60	117,00	104,62	150,38	33%
BP077	34	10,30	552,00	165,50	45,33	316,25	192,66	158,08	65%
BP078	139	2,34	818,00	74,00	20,55	206,00	138,50	156,47	43%
BP079	51	4,60	628,00	15,10	8,29	45,55	50,67	98,53	31%
BP080	51	4,63	2047,00	20,70	10,65	58,95	134,14	399,68	18%
BP081	31	6,72	670,00	18,20	10,90	31,50	52,25	120,79	10%
BP082	145	3,73	4854,00	117,00	35,80	267,00	221,04	469,16	52%
BP083	130	5,86	1545,00	95,30	24,50	202,25	157,63	214,33	48%
BP084	51	11,10	94,50	20,40	14,85	29,00	27,38	20,86	0%
BP085	31	2,71	128,00	8,38	5,46	22,70	25,17	36,67	10%
BP086	51	5,14	744,00	14,70	10,30	39,75	59,15	128,21	10%
BP087	33	4,24	579,00	165,00	48,00	314,00	194,51	172,93	58%
BP088	51	1,42	276,00	13,30	7,58	23,35	25,45	41,92	14%
BP089	5	7,05	39,20	9,52	8,14	16,90	16,16	13,44	0%
BP090	51	8,89	1199,00	67,20	31,55	136,50	117,91	179,96	37%
BP092	51	0,57	365,00	3,32	1,94	5,66	11,70	50,69	2%
BP093	17	2,83	52,20	9,40	5,18	14,40	16,30	16,84	0%
BP094	51	0,50	39,70	2,42	1,89	4,19	5,31	7,43	0%
BP096	51	3,31	128,00	11,20	6,01	19,25	16,85	19,70	2%
BP098	51	6,20	2679,00	18,40	11,30	34,60	122,25	411,23	12%
BP099	190	0,58	1140,00	25,10	12,18	44,78	61,00	132,59	12%
BPE2	109	12,80	30240,00	506,00	91,40	1191,00	1342,13	3231,84	73%
BPE3	67	5,35	3487,00	210,00	105,00	420,50	336,57	487,70	76%
BPE6	35	1,69	87,10	6,59	3,64	13,10	11,85	15,56	0%
BPE7	34	1,70	27,70	6,44	4,01	8,32	7,57	5,57	0%
BPE8	34	1,59	29,80	4,66	2,84	6,42	6,52	6,10	0%
BPE9	88	2,97	1053,00	34,65	23,70	74,63	101,91	185,04	19%

Tabela III.41: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba para o parâmetro **zinco total** (mg/L Zn).

Estação	N° de dados	Mínimo	Máximo	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%	Média	Desvio Padrão	% de violação
BP014	20	0,02	0,21	0,05	0,03	0,08	0,06	0,05	0%
BP016	20	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0%
BP018	20	0,02	0,10	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0%
BP020	18	0,02	0,16	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0%
BP022	26	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0%
BP024	26	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0%
BP026	26	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0%
BP027	51	0,02	0,17	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0%
BP029	26	0,02	0,08	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0%
BP032	26	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0%
BP036	115	0,02	0,17	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0%
BP063	4	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0%
BP064	4	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0%
BP066	26	0,02	0,06	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0%
BP067	4	0,02	0,05	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0%
BP068	116	0,02	0,25	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	1%
BP069	51	0,02	0,12	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0%
BP070	115	0,02	0,16	0,02	0,02	0,05	0,04	0,02	0%
BP071	51	0,02	0,40	0,03	0,02	0,05	0,05	0,07	0%
BP072	131	0,02	0,19	0,02	0,02	0,05	0,04	0,03	1%
BP073	51	0,02	0,77	0,05	0,03	0,09	0,10	0,14	12%
BP074	51	0,02	0,35	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	2%
BP075	31	0,02	0,31	0,08	0,04	0,11	0,08	0,06	6%
BP076	51	0,02	0,38	0,02	0,02	0,04	0,04	0,06	2%
BP077	34	0,02	0,09	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0%
BP078	108	0,02	0,34	0,02	0,02	0,05	0,04	0,03	1%
BP079	26	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0%
BP080	51	0,02	0,31	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	2%
BP081	31	0,02	0,16	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0%
BP082	114	0,02	0,35	0,02	0,02	0,05	0,04	0,03	1%
BP083	129	0,02	0,33	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	2%
BP084	51	0,02	0,14	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0%
BP085	31	0,02	0,07	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0%
BP086	26	0,02	0,07	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0%
BP087	32	0,02	0,08	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0%
BP088	51	0,02	0,16	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0%
BP089	5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0%
BP090	26	0,02	0,36	0,02	0,02	0,04	0,04	0,07	4%
BP092	26	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0%
BP093	17	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0%
BP094	26	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0%
BP096	26	0,02	0,17	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0%
BP098	29	0,02	0,26	0,02	0,02	0,04	0,04	0,05	3%
BP099	124	0,02	0,38	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	1%
BPE2	100	0,02	0,15	0,02	0,02	0,05	0,04	0,02	0%
BPE3	67	0,02	0,11	0,03	0,02	0,05	0,04	0,02	0%
BPE6	35	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0%
BPE7	34	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0%
BPE8	34	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0%
BPE9	40	0,02	0,09	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0%

Tabela III.42: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Alto Paraopeba, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas).

Alumínio dissolvido

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X	X	X				
BP016	X						X	X	X
BP018	X						X	X	X
BP020	X						X	X	X
BP024	X								
BP026									
BP032		X	X	X					
BP080		X	X	X					
BP084		X	X	X					

Arsênio total

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014					X	X	X		
BP016									
BP018									
BP020									
BP024	X								
BP026	X								
BP032	X								
BP080							X		
BP084							X		

Bário total

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X						X	X
BP016	X							X	X
BP018									X
BP020								X	X
BP024								X	X
BP026								X	X
BP032									
BP080		X	X		X	X	X		
BP084		X	X	X	X	X	X		

Cálcio total

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014			X	X	X	X	X		
BP016					X	X	X		
BP018	X							X	
BP020	X							X	
BP024	X	X						X	X
BP026	X	X						X	X
BP032	X	X						X	X
BP080			X	X	X	X	X		
BP084					X	X	X		

Tabela III.42: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Alto Paraopeba, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Chumbo total

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X	X					X
BP016	X								
BP018	X								
BP020	X								
BP024									
BP026									
BP032									X
BP080									
BP084	X						X		

Cloreto total

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X	X	X	X	X		
BP016	X		X					X	X
BP018	X	X		X		X	X		
BP020	X							X	X
BP024	X							X	X
BP026	X		X					X	X
BP032	X							X	X
BP080		X	X	X	X	X	X		
BP084		X	X	X	X	X	X		

Clorofila *a*

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X	X	X	X	X		
BP016	X							X	
BP018	X							X	X
BP020	X							X	X
BP024	X							X	X
BP026	X							X	X
BP032	X							X	X
BP080		X	X	X	X	X	X		
BP084			X	X	X	X	X		

Condutividade elétrica *in loco*

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X	X	X	X	X		
BP016	X		X		X	X	X		
BP018	X	X						X	X
BP020	X						X	X	X
BP024	X	X						X	X
BP026	X	X						X	X
BP032	X	X		X				X	X
BP080			X	X	X	X	X		
BP084			X	X	X	X	X		

Tabela III.42: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Alto Paraopeba, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Cor verdadeira

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014									
BP016					X	X	X	X	X
BP018					X	X	X	X	X
BP020						X			X
BP024		X	X						
BP026		X	X	X					
BP032		X	X						
BP080		X	X						
BP084		X	X	X					

Demanda bioquímica de oxigênio

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014			X			X	X		X
BP016								X	X
BP018	X							X	X
BP020								X	X
BP024								X	X
BP026	X							X	X
BP032	X							X	X
BP080		X	X	X	X	X	X		
BP084	X	X	X	X	X	X	X		

Demanda química de oxigênio

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014			X	X					
BP016								X	X
BP018	X				X			X	X
BP020	X				X			X	X
BP024			X	X					X
BP026								X	X
BP032									X
BP080		X	X	X		X			
BP084		X	X	X	X	X	X		

Dureza total

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014			X	X	X	X	X		
BP016					X	X	X		
BP018	X						X		
BP020	X								
BP024	X	X						X	X
BP026	X	X						X	X
BP032	X	X	X					X	X
BP080					X	X	X		
BP084					X	X	X		

Tabela III.42: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Alto Paraopeba, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Feoftina

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X						
BP016	X								
BP018	X								
BP020									
BP024									
BP026									
BP032									
BP080									
BP084									

Ferro dissolvido

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014					X	X	X		X
BP016			X		X	X	X	X	X
BP018		X				X	X		X
BP020					X	X	X		X
BP024	X	X		X					
BP026	X	X	X	X					
BP032	X	X	X	X					
BP080		X							X
BP084	X	X	X	X				X	

Fósforo total

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X		X	X	X		
BP016	X							X	X
BP018	X							X	X
BP020								X	X
BP024	X							X	X
BP026	X							X	X
BP032	X							X	X
BP080		X	X	X	X	X	X		
BP084		X	X	X	X	X	X		

Indicador de contaminação fecal

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014					X	X		X	X
BP016			X		X		X		
BP018		X		X	X	X		X	X
BP020			X		X			X	X
BP024	X	X	X	X		X	X		
BP026	X		X		X		X	X	
BP032		X			X	X		X	X
BP080	X		X	X		X	X		
BP084	X		X	X			X		

Tabela III.42: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Alto Paraopeba, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Magnésio total

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014					X	X	X		
BP016					X	X	X		
BP018							X		
BP020									
BP024	X	X						X	X
BP026	X	X						X	X
BP032	X	X	X					X	X
BP080					X	X	X		
BP084					X	X	X		

Manganês total

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014					X	X	X		X
BP016							X	X	X
BP018					X	X	X		X
BP020					X	X	X		
BP024	X		X	X				X	X
BP026	X		X	X				X	X
BP032	X	X	X	X				X	X
BP080		X			X	X	X		
BP084	X	X	X		X	X	X		

Níquel total

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X	X			X		
BP016	X								
BP018	X								
BP020	X								
BP024									
BP026									
BP032	X								
BP080									
BP084									

Nitrato

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X	X	X	X	X		X
BP016	X		X		X		X		
BP018	X	X						X	
BP020	X								
BP024	X	X						X	
BP026	X							X	
BP032	X	X						X	
BP080			X		X	X	X		X
BP084	X							X	

Tabela III.42: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Alto Paraopeba, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Nitrito

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014			X	X	X	X	X		X
BP016			X		X	X	X		
BP018	X	X		X		X		X	X
BP020	X		X				X	X	
BP024	X	X						X	X
BP026	X	X	X					X	
BP032	X	X		X				X	X
BP080			X	X	X	X	X		X
BP084	X		X		X		X	X	

Nitrogênio amoniacal total

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014			X			X	X		X
BP016			X			X	X		X
BP018	X	X						X	X
BP020								X	X
BP024							X	X	X
BP026	X	X						X	X
BP032	X	X			X			X	X
BP080			X	X	X	X	X		
BP084	X	X	X	X	X	X	X		

Nitrogênio orgânico

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014			X	X		X	X		
BP016								X	X
BP018	X							X	X
BP020	X							X	X
BP024								X	X
BP026	X							X	X
BP032	X							X	X
BP080		X	X	X	X	X	X		
BP084		X	X	X	X	X	X		

Oxigênio dissolvido

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014								X	X
BP016								X	X
BP018								X	X
BP020								X	X
BP024								X	X
BP026								X	X
BP032								X	X
BP080	X	X	X	X	X	X	X		
BP084	X	X	X	X	X	X	X		

Tabela III.42: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Alto Paraopeba, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

pH *in loco*

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014			X	X	X	X	X	X	X
BP016			X		X		X		X
BP018	X	X							
BP020	X								
BP024	X	X						X	
BP026	X								
BP032	X	X							
BP080	X				X				
BP084	X	X							

Potássio dissolvido

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X	X	X	X	X		
BP016	X							X	X
BP018	X					X	X	X	X
BP020	X							X	X
BP024	X							X	X
BP026	X		X					X	X
BP032	X		X					X	X
BP080		X	X	X	X	X	X		
BP084		X	X	X	X	X	X		

Sódio dissolvido

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X	X	X	X	X		
BP016	X							X	X
BP018	X				X	X	X	X	X
BP020	X							X	X
BP024	X		X					X	X
BP026	X		X					X	X
BP032	X		X					X	X
BP080		X	X	X	X	X	X		
BP084		X	X	X	X	X	X		

Sólidos dissolvidos totais

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X	X	X	X	X		
BP016	X		X					X	
BP018	X	X				X	X	X	X
BP020	X							X	X
BP024	X							X	X
BP026	X		X					X	X
BP032	X		X					X	X
BP080		X	X	X	X	X	X		
BP084			X	X	X	X	X		

Tabela III.42: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Alto Paraopeba, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Sólidos em suspensão totais

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X						X
BP016	X					X	X	X	
BP018	X			X	X	X	X	X	X
BP020			X						
BP024			X						
BP026		X	X						
BP032		X	X						
BP080		X	X						
BP084	X		X						

Sólidos totais

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X	X	X	X	X		X
BP016	X		X					X	
BP018	X	X		X	X	X	X	X	X
BP020	X		X					X	
BP024	X		X					X	X
BP026	X		X					X	X
BP032	X		X					X	X
BP080		X	X	X	X	X	X		
BP084	X		X		X	X	X		

Substâncias tensoativas

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014									X
BP016									X
BP018									X
BP020									X
BP024									X
BP026									X
BP032									X
BP080									
BP084	X	X	X	X	X	X	X		

Sulfato total

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X	X	X	X	X		
BP016	X								
BP018	X							X	
BP020	X							X	
BP024	X							X	X
BP026	X							X	X
BP032	X							X	X
BP080			X	X	X	X	X		
BP084					X	X	X		

Tabela III.42: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Alto Paraopeba, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Temperatura da água

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014									
BP016									
BP018					X		X	X	X
BP020									
BP024			X						
BP026									
BP032			X						
BP080			X						
BP084			X						

Turbidez

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014			X						
BP016			X	X			X		
BP018	X	X		X	X	X	X	X	X
BP020		X	X						
BP024			X						
BP026			X						
BP032		X	X						
BP080			X						
BP084			X						

Zinco total

	BP014	BP016	BP018	BP020	BP024	BP026	BP032	BP080	BP084
BP014		X	X		X	X	X		X
BP016	X								
BP018	X							X	
BP020									
BP024	X								
BP026	X								
BP032	X								
BP080			X						
BP084	X								

Tabela III.43: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Brumadinho e Betim, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas).

Alumínio dissolvido

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066								X		
BP067										
BP075					X		X	X	X	X
BP081										
BP085			X							
BP086								X		
BP092			X							
BP093	X		X			X				X
BP094			X							
BP096			X					X		

Arsênio total

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066										
BP067										
BP075						X	X		X	X
BP081										
BP085										
BP086			X							
BP092			X					X		
BP093							X		X	
BP094			X					X		
BP096			X							

Bário total

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X			X	
BP067										
BP075	X						X	X	X	X
BP081	X						X		X	X
BP085	X						X		X	X
BP086	X						X		X	X
BP092			X	X	X	X				
BP093			X							
BP094	X		X	X	X	X				X
BP096			X	X	X	X			X	

Cálcio total

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X				
BP067										
BP075	X						X		X	X
BP081	X						X		X	X
BP085	X						X		X	X
BP086	X						X		X	X
BP092			X	X	X	X				
BP093										
BP094			X	X	X	X				X
BP096			X	X	X	X			X	

Tabela III.43: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Brumadinho e Betim, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Cloreto total

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X			X	
BP067			X							
BP075	X	X					X	X	X	X
BP081	X						X	X	X	X
BP085	X						X	X	X	X
BP086	X						X	X	X	X
BP092			X	X	X	X				X
BP093			X	X	X	X				
BP094	X		X	X	X	X				X
BP096			X	X	X	X	X		X	

Clorofila *a*

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X				
BP067										
BP075	X			X			X	X	X	X
BP081	X		X				X		X	
BP085	X						X	X	X	X
BP086	X						X	X	X	X
BP092			X	X	X	X				
BP093			X		X	X				
BP094			X	X	X	X				
BP096			X		X	X				

Condutividade elétrica *in loco*

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X	X		X	
BP067										
BP075	X						X	X	X	X
BP081	X						X	X	X	X
BP085	X						X	X	X	X
BP086	X						X	X	X	X
BP092	X		X	X	X	X				X
BP093			X	X	X	X				
BP094	X		X	X	X	X				X
BP096			X	X	X	X	X		X	

Cor verdadeira

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066							X		X	
BP067										
BP075							X		X	
BP081							X		X	
BP085							X	X	X	
BP086							X		X	
BP092	X		X	X	X	X				X
BP093					X					
BP094	X		X	X	X	X				X
BP096							X		X	

Tabela III.43: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Brumadinho e Betim, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Cromo total

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X	X	X	X	X
BP067										
BP075	X									
BP081	X									
BP085	X									
BP086	X									
BP092	X									
BP093	X									
BP094	X									
BP096	X									

Demanda bioquímica de oxigênio

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X				X
BP067			X	X		X				
BP075	X	X					X	X	X	X
BP081	X	X			X		X	X	X	X
BP085	X			X			X	X	X	
BP086	X	X					X	X	X	
BP092			X	X	X	X				X
BP093			X	X	X	X				X
BP094			X	X	X	X				X
BP096	X		X	X			X	X	X	

Demanda química de oxigênio

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X				
BP067										
BP075	X					X	X	X	X	X
BP081	X						X	X	X	X
BP085	X						X	X	X	
BP086	X		X				X	X	X	
BP092			X	X	X	X				X
BP093			X	X	X	X				
BP094			X	X	X	X				X
BP096			X	X			X		X	

Dureza total

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X			X	
BP067										
BP075	X						X		X	X
BP081	X						X		X	X
BP085	X						X		X	X
BP086	X						X		X	X
BP092			X	X	X	X				
BP093										
BP094	X		X	X	X	X				X
BP096			X	X	X	X			X	

Tabela III.43: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Brumadinho e Betim, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Feoftina

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X		X					
BP067										
BP075	X			X		X	X		X	X
BP081			X							
BP085	X						X		X	X
BP086			X				X		X	
BP092			X		X	X		X		
BP093							X		X	
BP094			X		X	X		X		
BP096			X		X					

Ferro dissolvido

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X				X		X	
BP067			X				X		X	
BP075	X	X		X	X	X		X		X
BP081			X				X		X	
BP085			X				X		X	
BP086			X				X		X	
BP092	X	X		X	X	X		X		X
BP093			X				X		X	
BP094	X	X		X	X	X		X		X
BP096			X				X		X	

Fósforo total

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X	X			
BP067										
BP075	X						X	X	X	X
BP081	X						X	X	X	X
BP085	X						X	X	X	
BP086	X						X	X	X	
BP092	X		X	X	X	X				X
BP093			X	X	X	X				
BP094			X	X	X	X				X
BP096			X	X			X		X	

Indicador de contaminação fecal

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066				X		X	X	X	X	X
BP067										
BP075				X		X	X	X	X	
BP081	X		X		X		X	X	X	
BP085				X		X				X
BP086	X		X		X		X	X	X	
BP092	X		X	X		X				X
BP093	X		X	X		X				X
BP094	X		X	X		X				X
BP096	X				X		X	X	X	

Tabela III.43: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Brumadinho e Betim, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Magnésio total

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X		X			
BP067										
BP075	X						X		X	X
BP081	X						X		X	X
BP085	X						X		X	X
BP086							X		X	X
BP092	X		X	X	X	X				
BP093										
BP094			X	X	X	X				
BP096			X	X	X	X				

Manganês total

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X	X		X	
BP067				X						
BP075	X						X		X	X
BP081	X	X					X	X	X	X
BP085	X						X		X	X
BP086	X						X		X	X
BP092	X		X	X	X	X		X		X
BP093				X			X		X	
BP094	X		X	X	X	X		X		X
BP096			X	X	X	X	X		X	

Níquel total

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066										
BP067										
BP075							X	X	X	X
BP081							X			
BP085										
BP086										
BP092			X	X						
BP093			X							
BP094			X							
BP096			X							

Nitrato

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X				X		X	
BP067										
BP075	X			X	X	X	X	X	X	X
BP081			X				X		X	X
BP085			X				X		X	
BP086			X				X	X	X	X
BP092	X		X	X	X	X				
BP093			X			X				
BP094	X		X	X	X	X				
BP096			X	X		X				

Tabela III.43: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Brumadinho e Betim, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Nitrito

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X			X	X	X	X	
BP067			X			X				
BP075	X	X		X	X		X	X	X	X
BP081			X				X	X	X	
BP085			X			X	X	X	X	
BP086	X	X			X		X	X	X	X
BP092	X		X	X	X	X				X
BP093	X		X	X	X	X				
BP094	X		X	X	X	X				X
BP096			X			X	X		X	

Nitrogênio amoniacal total

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X				
BP067			X	X						
BP075	X	X					X	X	X	X
BP081	X	X				X	X	X	X	X
BP085	X						X	X	X	X
BP086	X			X			X	X	X	X
BP092			X	X	X	X				X
BP093			X	X	X	X				
BP094			X	X	X	X				X
BP096			X	X	X	X	X		X	

Nitrogênio orgânico

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X		X				
BP067										
BP075	X						X	X	X	X
BP081	X						X	X	X	X
BP085							X	X	X	
BP086	X						X	X	X	X
BP092			X	X	X	X				X
BP093			X	X	X	X				
BP094			X	X	X	X				X
BP096			X	X		X	X		X	

Oxigênio dissolvido

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066				X		X			X	X
BP067				X		X				
BP075				X			X	X	X	
BP081	X	X	X		X		X	X	X	X
BP085				X			X	X	X	
BP086	X	X					X	X	X	
BP092			X	X	X	X				X
BP093			X	X	X	X				X
BP094	X		X	X	X	X				X
BP096	X			X			X	X	X	

Tabela III.43: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Brumadinho e Betim, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

pH *in loco*

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X				
BP067										
BP075	X					X	X	X	X	X
BP081	X						X	X	X	X
BP085	X						X		X	X
BP086	X		X				X		X	X
BP092			X	X	X	X				
BP093			X	X						
BP094			X	X	X	X				
BP096			X	X	X	X				

Potássio dissolvido

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X			X	
BP067										
BP075	X						X		X	X
BP081	X						X		X	
BP085	X						X		X	X
BP086	X						X		X	
BP092			X	X	X	X				X
BP093										
BP094	X		X	X	X	X				X
BP096			X		X		X		X	

Sódio dissolvido

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X		X	X			X	
BP067										
BP075	X						X		X	X
BP081							X		X	
BP085	X						X		X	X
BP086	X						X		X	X
BP092			X	X	X	X				
BP093										
BP094	X		X	X	X	X				X
BP096			X		X	X			X	

Sólidos dissolvidos totais

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X	X		X	
BP067										
BP075	X					X	X	X	X	X
BP081	X						X	X	X	X
BP085	X						X	X	X	X
BP086	X		X				X	X	X	X
BP092	X		X	X	X	X				X
BP093			X	X	X	X				
BP094	X		X	X	X	X				X
BP096			X	X	X	X	X		X	

Tabela III.43: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Brumadinho e Betim, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Sólidos em suspensão totais

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X							
BP067										
BP075	X			X	X		X	X	X	X
BP081			X				X		X	
BP085			X				X		X	
BP086							X		X	X
BP092			X	X	X	X				
BP093			X							
BP094			X	X	X	X				
BP096			X			X				

Sólidos totais

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X	X		X	
BP067										
BP075	X					X	X	X	X	X
BP081	X						X	X	X	X
BP085	X						X	X	X	X
BP086	X		X				X	X	X	X
BP092	X		X	X	X	X				X
BP093			X	X	X	X				
BP094	X		X	X	X	X				X
BP096			X	X	X	X	X		X	

Substâncias tensoativas

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X					
BP067										
BP075	X						X		X	
BP081	X					X	X		X	X
BP085	X						X		X	
BP086				X						
BP092			X	X	X					
BP093										
BP094			X	X	X					
BP096				X						

Sulfato total

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X	X	X	X				
BP067										
BP075	X						X		X	X
BP081	X						X		X	X
BP085	X						X		X	X
BP086	X						X		X	X
BP092			X	X	X	X				
BP093										
BP094			X	X	X	X				
BP096			X	X	X	X				

Tabela III.43: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Brumadinho e Betim, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Temperatura da água

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X						X	
BP067										
BP075	X						X	X	X	
BP081							X		X	
BP085							X		X	
BP086							X		X	
BP092			X	X	X	X				X
BP093			X							
BP094	X		X	X	X	X				X
BP096							X		X	

Turbidez

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066							X		X	
BP067							X		X	
BP075							X		X	
BP081							X		X	
BP085							X		X	
BP086							X		X	
BP092	X	X	X	X	X	X				X
BP093									X	
BP094	X	X	X	X	X	X		X		X
BP096							X		X	

Zinco total

	BP066	BP067	BP075	BP081	BP085	BP086	BP092	BP093	BP094	BP096
BP066			X							
BP067										
BP075	X			X	X	X	X	X	X	X
BP081			X				X		X	
BP085			X							
BP086			X				X		X	
BP092			X	X		X				
BP093			X							
BP094			X	X		X				
BP096			X							

Tabela III.44: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Betim e Esmeraldas, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas).

Alumínio dissolvido

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							X
BP064				X		X	X
BP069							
BP071		X					
BP073							X
BP088		X					
BP090	X	X			X		

Bário total

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063					X		
BP064					X		
BP069				X	X	X	X
BP071			X				
BP073	X	X	X			X	X
BP088			X		X		
BP090			X		X		

Cálcio total

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069				X	X	X	
BP071			X				X
BP073			X			X	X
BP088			X		X		X
BP090				X	X	X	

Cloreto total

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069				X	X	X	
BP071			X			X	X
BP073			X			X	X
BP088			X	X	X		X
BP090				X	X	X	

Clorofila *a*

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069				X	X	X	
BP071			X				X
BP073			X				X
BP088			X				
BP090				X	X		

Tabela III.44: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Betim e Esmeraldas, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Condutividade elétrica *in loco*

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069				X	X		X
BP071			X			X	X
BP073			X			X	X
BP088				X	X		
BP090			X	X	X		

Cor verdadeira

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063				X			
BP064				X			
BP069						X	
BP071	X	X				X	
BP073						X	
BP088			X	X	X		X
BP090						X	

Demanda bioquímica de oxigênio

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063				X	X		
BP064				X	X		
BP069				X	X	X	X
BP071	X	X	X			X	X
BP073	X	X	X			X	X
BP088			X	X	X		
BP090			X	X	X		

Demanda química de oxigênio

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063				X	X		
BP064					X		
BP069				X	X		
BP071	X		X		X	X	X
BP073	X	X	X	X		X	X
BP088				X	X		X
BP090				X	X	X	

Dureza total

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069				X	X	X	
BP071			X				X
BP073			X			X	X
BP088			X		X		X
BP090				X	X	X	

Tabela III.44: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Betim e Esmeraldas, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Feoftina

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069				X			
BP071			X				
BP073							
BP088							
BP090							

Ferro dissolvido

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063			X	X	X		X
BP064			X	X	X		X
BP069	X	X					
BP071	X	X				X	
BP073	X	X				X	
BP088				X	X		X
BP090	X	X				X	

Fósforo total

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063			X	X	X		
BP064				X	X		
BP069	X					X	X
BP071	X	X				X	X
BP073	X	X				X	X
BP088			X	X	X		
BP090			X	X	X		

Indicador de contaminação fecal

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063			X	X	X		
BP064			X	X	X		
BP069	X	X			X	X	X
BP071	X	X				X	X
BP073	X	X	X			X	X
BP088			X	X	X		X
BP090			X	X	X	X	

Magnésio total

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069				X	X		
BP071			X			X	X
BP073			X			X	X
BP088				X	X		
BP090				X	X		

Tabela III.44: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Betim e Esmeraldas, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Manganês total

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063				X	X	X	
BP064				X	X	X	
BP069						X	X
BP071	X	X				X	X
BP073	X	X				X	X
BP088	X	X	X	X	X		X
BP090			X	X	X	X	

Níquel total

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069					X		
BP071						X	
BP073			X			X	X
BP088				X	X		
BP090					X		

Nitrato

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069							
BP071						X	
BP073							
BP088				X			X
BP090						X	

Nitrito

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069				X	X		
BP071			X			X	X
BP073			X			X	
BP088				X	X		X
BP090				X		X	

Nitrogênio amoniacal total

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069				X	X		
BP071			X			X	X
BP073			X			X	X
BP088				X	X		
BP090				X	X		

Tabela III.44: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Betim e Esmeraldas, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Nitrogênio orgânico

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063				X	X		
BP064				X	X		
BP069				X	X		
BP071	X	X	X			X	X
BP073	X	X	X			X	X
BP088				X	X		
BP090				X	X		

Oxigênio dissolvido

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063				X	X		
BP064							
BP069				X		X	X
BP071	X		X			X	X
BP073	X					X	X
BP088			X	X	X		
BP090			X	X	X		

pH *in loco*

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069						X	X
BP071							
BP073						X	X
BP088			X		X		
BP090			X		X		

Potássio dissolvido

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069				X	X	X	
BP071			X			X	X
BP073			X			X	X
BP088			X	X	X		
BP090				X	X		

Sódio dissolvido

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069						X	X
BP071						X	X
BP073						X	X
BP088			X	X	X		
BP090			X	X	X		

Tabela III.44: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Betim e Esmeraldas, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Sólidos dissolvidos totais

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063				X	X		
BP064					X		
BP069				X	X	X	
BP071	X		X			X	X
BP073	X	X	X			X	X
BP088			X	X	X		
BP090				X	X		

Sólidos em suspensão totais

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069					X		
BP071							
BP073			X			X	
BP088					X		
BP090							

Sólidos totais

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063				X	X		
BP064				X	X		
BP069				X	X		
BP071	X	X	X			X	X
BP073	X	X	X			X	X
BP088				X	X		
BP090				X	X		

Substâncias tensoativas

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069				X	X		
BP071			X			X	X
BP073			X			X	X
BP088				X	X		
BP090				X	X		

Sulfato total

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063							
BP064							
BP069				X	X	X	
BP071			X			X	X
BP073			X				X
BP088			X	X			X
BP090				X	X	X	

Tabela III.44: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Betim e Esmeraldas, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Turbidez

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063				X			X
BP064				X	X		X
BP069				X			X
BP071	X	X	X			X	
BP073		X					X
BP088				X			X
BP090	X	X	X		X	X	

Zinco total

	BP063	BP064	BP069	BP071	BP073	BP088	BP090
BP063					X		
BP064					X		
BP069					X		
BP071						X	
BP073	X	X	X			X	X
BP088				X	X		
BP090					X		

Tabela III.45: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Esmeraldas e Pompéu, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas).

Bário total

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074			X	X
BP076			X	X
BP089	X	X		
BP098	X	X		

Nitrato

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074				X
BP076				X
BP089				
BP098	X	X		

Cálcio total

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074		X	X	X
BP076	X			X
BP089	X			
BP098	X	X		

Nitrito

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074		X		X
BP076	X			X
BP089				
BP098	X	X		

Cloreto total

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074				X
BP076				X
BP089				X
BP098	X	X	X	

Nitrogênio amoniacal total

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074				
BP076				X
BP089				
BP098		X		

Condutividade elétrica *in loco*

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074		X	X	X
BP076	X			X
BP089	X			
BP098	X	X		

Nitrogênio orgânico

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074		X		X
BP076	X		X	X
BP089		X		
BP098	X	X		

Demanda bioquímica de oxigênio

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074		X		X
BP076	X			X
BP089				
BP098	X	X		

Oxigênio dissolvido

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074				X
BP076				X
BP089				
BP098	X	X		

Demanda química de oxigênio

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074				
BP076				X
BP089				
BP098		X		

Potássio dissolvido

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074				X
BP076				X
BP089				
BP098	X	X		

Tabela III.45: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre as estações do Trecho entre Esmeraldas e Pompéu, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Dureza total

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074		X	X	X
BP076	X			
BP089	X			
BP098	X			

Sódio dissolvido

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074				X
BP076				X
BP089				X
BP098	X	X	X	

Ferro dissolvido

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074		X		X
BP076	X			
BP089				
BP098	X			

Sólidos dissolvidos totais

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074				X
BP076				X
BP089				
BP098	X	X		

Fósforo total

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074		X		X
BP076	X			X
BP089				
BP098	X	X		

Sólidos totais

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074				X
BP076				X
BP089				
BP098	X	X		

Indicador de contaminação fecal

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074		X		X
BP076	X			
BP089				
BP098	X			

Sulfato total

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074				X
BP076				X
BP089				
BP098	X	X		

Magnésio total

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074				X
BP076				
BP089				
BP098	X			

Temperatura da água

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074				X
BP076				
BP089				
BP098	X			

Manganês total

	BP074	BP076	BP089	BP098
BP074				X
BP076				X
BP089				
BP098	X	X		

Tabela III.46: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre os grupos formados na análise de agrupamentos no período antes do rompimento da barragem I, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas).

Cálcio total

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1		X	X
BP072	X		
Grupo 2	X		

Manganês total

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1			X
BP072			X
Grupo 2	X	X	

Sólidos dissolvidos totais

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1		X	X
BP072	X		
Grupo 2	X		

Cloreto total

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1		X	X
BP072	X		
Grupo 2	X		

Nitrito

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1		X	
BP072	X		X
Grupo 2		X	

Sólidos em suspensão totais

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1			X
BP072			
Grupo 2	X		

Clorofila *a*

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1			X
BP072			
Grupo 2	X		

Nitrogênio amoniacal total

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1		X	
BP072	X		X
Grupo 2		X	

Sólidos totais

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1			
BP072			
Grupo 2			

Condutividade elétrica *in loco*

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1		X	X
BP072	X		
Grupo 2	X		

Nitrogênio orgânico

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1		X	X
BP072	X		
Grupo 2	X		

Substâncias tensoativas

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1			
BP072			
Grupo 2			

Demanda bioquímica de oxigênio

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1		X	
BP072	X		X
Grupo 2		X	

Oxigênio dissolvido

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1			X
BP072			
Grupo 2	X		

Sulfato total

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1			
BP072			
Grupo 2			

Dureza total

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1		X	X
BP072	X		
Grupo 2	X		

pH *in loco*

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1			X
BP072			X
Grupo 2	X	X	

Temperatura da água

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1			X
BP072			
Grupo 2	X		

Ferro dissolvido

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1			X
BP072			X
Grupo 2	X	X	

Potássio dissolvido

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1		X	X
BP072	X		
Grupo 2	X		

Turbidez

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1			
BP072			
Grupo 2			

Fósforo total

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1		X	X
BP072	X		X
Grupo 2	X	X	

Sódio dissolvido

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1			X
BP072			
Grupo 2	X		

Zinco total

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1			
BP072			
Grupo 2			

Indicador de contaminação fecal

	Grupo 1	BP072	Grupo 2
Grupo 1			X
BP072			X
Grupo 2	X	X	

Tabela III.47: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre os grupos formados na análise de agrupamentos no período depois do rompimento da barragem I, ao nível de significância de 5% (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas).

Alumínio dissolvido

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036		X		
Grupo 1	X		X	X
BP072		X		
Grupo 2		X		

Indicador de contaminação fecal

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036		X		
Grupo 1	X			X
BP072				X
Grupo 2		X	X	

Potássio dissolvido

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036			X	X
Grupo 1			X	X
BP072	X	X		
Grupo 2	X	X		

Cálcio total

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036			X	X
Grupo 1				X
BP072	X			
Grupo 2	X	X		

Manganês total

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036		X	X	X
Grupo 1	X		X	X
BP072	X	X		X
Grupo 2	X	X	X	

Sólidos dissolvidos totais

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036			X	X
Grupo 1			X	X
BP072	X	X		
Grupo 2	X	X		

Chumbo total

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036		X		
Grupo 1	X			X
BP072				
Grupo 2		X		

Níquel total

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036		X		
Grupo 1	X			X
BP072				
Grupo 2		X		

Sólidos em suspensão totais

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036		X		
Grupo 1	X		X	X
BP072		X		X
Grupo 2		X	X	

Cloreto total

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036			X	X
Grupo 1			X	X
BP072	X	X		
Grupo 2	X	X		

Nitrito

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036		X	X	
Grupo 1	X		X	
BP072	X	X		X
Grupo 2			X	

Sólidos totais

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036		X		
Grupo 1	X			X
BP072				X
Grupo 2		X	X	

Condutividade elétrica *in loco*

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036			X	X
Grupo 1			X	X
BP072	X	X		
Grupo 2	X	X		

Nitrogênio amoniacal total

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036			X	
Grupo 1			X	
BP072	X	X		X
Grupo 2			X	

Temperatura da água

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036			X	X
Grupo 1				X
BP072	X			X
Grupo 2	X	X	X	

Dureza total

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036				X
Grupo 1				
BP072				
Grupo 2	X			

Oxigênio dissolvido

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036		X	X	X
Grupo 1	X			X
BP072	X			X
Grupo 2	X	X	X	

Turbidez

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036		X		
Grupo 1	X		X	X
BP072		X		X
Grupo 2		X	X	

Fósforo total

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036			X	
Grupo 1				
BP072	X			X
Grupo 2			X	

pH *in loco*

	BP036	Grupo 1	BP072	Grupo 2
BP036				X
Grupo 1				
BP072				
Grupo 2	X			

Quadro III.1: Parâmetros com concentrações significativamente diferentes quando comparados o período antes e após o rompimento da Barragem I, da mina Córrego do Feijão por estação de monitoramento

Estação	Distância até a barragem	Parâmetros	
		Com concentrações significativamente superiores após o rompimento	Com concentrações significativamente inferiores após o rompimento
BP036	10 km (a montante)	Alumínio dissolvido, cor verdadeira, ferro dissolvido e fósforo total	
BP068	24,8 km	Alumínio dissolvido, arsênio total, bário total, chumbo total, cor verdadeira, ferro dissolvido, manganês total, níquel total, sólidos em suspensão totais, sólidos totais e turbidez	Oxigênio dissolvido
BP070	42 km	Arsênio total, bário total, cor verdadeira, ferro dissolvido, manganês total, sólidos em suspensão totais, sólidos totais e turbidez	
BP072	59 km	Alumínio dissolvido, bário total, cor verdadeira, ferro dissolvido, manganês total, níquel total, sólidos em suspensão totais, sólidos totais e turbidez	Oxigênio dissolvido
BP082	123,1 km	Alumínio dissolvido, arsênio total, chumbo total, cor verdadeira, ferro dissolvido, manganês total, sólidos em suspensão totais, sólidos totais e turbidez	
BP083	192,4 km	Alumínio dissolvido, arsênio total, cor verdadeira, ferro dissolvido, manganês total e turbidez	pH
BP078	250,9 km	Alumínio dissolvido, arsênio total, cor verdadeira, ferro dissolvido, manganês total e turbidez	pH
BP099	318,3 km	Alumínio dissolvido, arsênio total, cor verdadeira, ferro dissolvido e temperatura da água	Oxigênio dissolvido e pH

APÊNDICE IV

Tabelas relacionadas ao Capítulo 5

Tabela IV.1: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro **acidez total** (mg/L).

Estação	Nº de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	% *Outliers*	% violações
VF-E1-Fun	37	9,18	10,55	2,00	68,00	6,00	7,00	10,00	5%	-
VF-E2-Fun	39	7,04	3,42	2,00	20,00	5,00	7,00	8,00	5%	-
VF-E3-Fun	38	6,10	2,66	2,00	13,00	4,00	5,30	8,00	0%	-
VF-E4-Fun	37	6,70	2,97	3,00	16,00	5,00	6,00	8,00	5%	-
VF-E1-Sec	36	5,13	2,26	1,00	10,00	3,00	5,00	6,00	0%	-
VF-E2-Sec	37	5,48	2,96	1,00	17,00	3,00	6,00	7,00	3%	-
VF-E3-Sec	35	5,74	2,76	2,00	13,00	3,00	5,00	8,00	0%	-
VF-E4-Sec	37	6,50	6,17	2,00	40,00	3,50	5,00	8,00	3%	-
VF-E14	39	17,64	20,65	4,00	132,00	9,00	13,00	23,00	3%	-
VF-E15	37	9,78	17,39	1,00	110,00	4,00	7,00	9,00	8%	-
VF-E16	39	18,97	19,23	2,00	120,00	9,00	14,00	23,00	5%	-
VF-E17	39	8,08	5,10	2,00	24,00	5,00	7,00	10,00	5%	-
SA-E1-Fun	48	6,04	5,12	2,00	33,70	3,00	4,60	7,00	4%	-
SA-E2-Fun	42	4,99	3,43	1,00	22,20	3,00	4,00	6,00	5%	-
SA-E3-Fun	34	3,96	1,97	2,00	12,10	2,75	4,00	5,00	3%	-
SA-E4-Fun	32	3,84	1,73	2,00	8,00	2,25	3,10	5,00	0%	-
SA-E1-Sec	48	3,67	1,69	2,00	11,30	3,00	3,00	4,00	10%	-
SA-E2-Sec	41	3,89	2,00	2,00	11,30	3,00	3,00	4,10	12%	-
SA-E3-Sec	35	3,27	1,67	1,00	8,80	2,00	3,00	3,90	6%	-
SA-E4-Sec	35	3,59	1,44	2,00	8,40	3,00	3,00	5,00	3%	-
SA-E6	46	3,84	1,43	2,00	7,00	3,00	4,00	5,00	0%	-
SA-E7	47	4,29	1,72	1,00	8,00	3,00	4,00	5,90	0%	-
SA-E8	47	3,95	1,64	1,00	9,00	3,00	4,00	5,00	2%	-
SA-E9	47	4,35	1,92	2,00	10,00	3,00	4,00	5,00	4%	-
SA-E10	45	4,72	2,44	2,00	13,00	3,00	4,00	6,00	4%	-
SA-E12	46	4,18	2,74	1,00	18,00	3,00	4,00	5,00	4%	-
RM-E1-Fun	47	9,23	10,09	1,00	70,30	5,00	7,00	10,00	9%	-
RM-E2-Fun	47	8,62	8,70	2,00	60,00	4,00	7,00	10,00	4%	-
RM-E3-Fun	46	6,47	4,38	2,00	25,90	4,00	5,00	7,33	9%	-
RM-E4-Fun	46	7,44	6,05	2,70	37,00	4,00	6,00	8,00	9%	-
RM-E1-Sec	45	4,30	2,21	1,00	14,80	3,00	4,00	5,00	2%	-
RM-E2-Sec	47	4,26	2,70	2,00	18,30	3,00	3,00	5,00	4%	-
RM-E3-Sec	46	4,05	1,84	1,50	12,00	3,00	3,75	4,93	2%	-
RM-E4-Sec	46	3,80	1,70	1,70	11,60	3,00	3,00	4,65	2%	-
RM-E6	48	3,97	1,56	0,40	10,00	3,00	4,00	5,00	2%	-
RM-E7	48	4,70	2,25	0,30	13,00	3,00	4,00	5,00	6%	-
RM-E10	48	4,57	1,89	0,70	10,00	3,00	4,00	5,15	4%	-
RM-E11	48	5,45	3,19	0,50	18,10	4,00	4,00	6,00	13%	-

Tabela IV.2: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro **condutividade elétrica** (µnho/cm).

Estação	Nº de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	% *Outliers*	% violações
VF-E1-Fun	50	161,07	47,32	96,00	257,60	119,28	148,45	201,23	0%	-
VF-E2-Fun	47	158,27	48,16	78,00	254,10	120,00	145,00	206,10	0%	-
VF-E3-Fun	47	160,70	51,00	79,00	255,70	117,00	144,50	210,50	0%	-
VF-E4-Fun	47	159,90	49,49	77,00	253,80	119,00	151,77	206,40	0%	-
VF-E1-Sec	48	33,06	9,53	18,00	59,30	27,61	30,49	38,73	4%	-
VF-E2-Sec	42	31,90	7,40	21,50	48,00	25,38	29,77	37,92	0%	-
VF-E3-Sec	34	26,93	6,39	20,00	48,80	22,38	25,00	28,83	9%	-
VF-E4-Sec	33	28,60	5,40	21,00	43,40	25,00	27,00	32,00	3%	-
VF-E14	47	48,05	13,08	0,56	69,80	40,00	46,00	58,20	2%	-
VF-E15	47	49,06	9,47	32,00	67,67	41,50	47,00	54,40	0%	-
VF-E16	47	45,61	11,43	28,00	76,90	38,00	43,00	53,60	0%	-
VF-E17	46	48,84	14,04	28,00	89,20	39,32	45,45	57,10	2%	-
SA-E1-Fun	50	161,04	58,32	93,00	404,00	115,00	140,46	205,73	2%	-
SA-E2-Fun	47	154,37	53,05	12,50	251,30	115,00	145,00	202,10	0%	-
SA-E3-Fun	47	160,15	50,77	76,00	252,30	115,00	150,00	210,40	0%	-
SA-E4-Fun	47	158,71	50,31	76,00	255,40	115,00	150,00	204,80	0%	-
SA-E1-Sec	48	29,72	8,09	17,00	47,30	23,63	27,53	36,06	0%	-
SA-E2-Sec	41	29,48	8,05	17,00	47,30	23,25	26,89	35,26	0%	-
SA-E3-Sec	35	27,11	6,56	19,00	45,50	22,00	25,00	29,15	11%	-
SA-E4-Sec	35	28,23	6,63	21,00	46,70	23,00	26,00	30,10	11%	-
SA-E6	47	42,09	9,32	29,00	58,80	33,00	40,87	51,20	0%	-
SA-E7	47	42,33	8,83	31,00	59,50	34,00	41,60	50,00	0%	-
SA-E8	47	43,63	13,35	28,00	101,90	33,00	41,00	50,00	2%	-
SA-E9	46	42,47	9,93	28,00	62,40	33,00	42,00	53,10	0%	-
SA-E10	47	230,85	112,54	30,70	541,00	143,80	217,10	308,00	0%	-
SA-E12	45	77,64	74,92	26,00	472,00	45,50	53,40	76,80	9%	-
RM-E1-Fun	48	264,87	106,10	125,00	518,00	180,93	226,65	343,00	0%	-
RM-E2-Fun	48	125,91	83,07	44,00	419,90	57,25	93,35	188,08	2%	-
RM-E3-Fun	47	29,20	13,43	12,00	69,90	18,50	26,00	36,10	4%	-
RM-E4-Fun	47	35,88	14,05	18,50	68,70	24,51	30,00	44,80	0%	-
RM-E1-Sec	47	20,08	16,98	7,00	86,50	12,00	15,90	18,00	11%	-
RM-E2-Sec	47	38,96	14,74	16,00	74,20	28,00	35,00	49,96	0%	-
RM-E3-Sec	45	28,27	10,20	13,00	53,80	20,76	24,07	34,05	0%	-
RM-E4-Sec	46	23,48	11,03	12,00	70,00	16,88	20,88	25,56	7%	-
RM-E6	48	50,42	20,80	27,00	157,50	37,05	44,15	58,34	2%	-
RM-E7	48	44,05	9,55	28,53	63,80	36,55	42,25	52,05	0%	-
RM-E10	48	49,64	9,94	25,51	67,09	45,00	49,90	57,88	2%	-
RM-E11	48	53,70	59,47	31,00	452,60	38,00	44,80	50,04	6%	-

Tabela IV.3: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro **cor verdadeira** (mg/L Pt).

Estação	Nº de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	% *Outliers*	% violações
VF-E1-Fun	50	58,02	59,35	5,00	300,00	20,00	40,00	82,50	4%	30%
VF-E2-Fun	46	45,92	38,79	7,50	160,00	20,00	30,00	52,50	7%	20%
VF-E3-Fun	46	33,43	21,78	8,00	100,00	20,00	30,00	40,00	9%	7%
VF-E4-Fun	46	45,05	37,20	10,00	160,00	20,00	30,00	52,50	7%	22%
VF-E1-Sec	47	60,90	87,20	2,50	500,00	20,00	30,00	80,00	6%	28%
VF-E2-Sec	41	51,22	46,91	5,00	180,00	20,00	30,00	80,00	2%	27%
VF-E3-Sec	34	33,09	30,31	5,00	160,00	10,00	25,00	40,00	3%	6%
VF-E4-Sec	33	57,65	58,66	5,00	280,00	15,00	40,00	80,00	6%	30%
VF-E14	46	107,87	131,56	2,50	600,00	20,00	48,60	152,50	7%	41%
VF-E15	46	129,51	143,46	5,00	600,00	20,00	85,00	200,00	4%	52%
VF-E16	46	89,24	103,32	7,50	500,00	30,00	40,00	150,00	4%	35%
VF-E17	45	94,39	97,02	7,50	400,00	30,00	40,00	160,00	4%	40%
SA-E1-Fun	49	25,05	16,07	5,00	80,00	15,00	20,00	30,00	6%	4%
SA-E2-Fun	46	24,57	21,78	5,00	150,00	14,38	20,00	30,00	4%	2%
SA-E3-Fun	46	25,88	16,59	7,50	100,00	15,00	20,00	30,00	7%	2%
SA-E4-Fun	46	25,76	15,94	10,00	100,00	15,00	22,50	30,00	7%	2%
SA-E1-Sec	46	21,74	16,84	5,00	100,00	10,00	20,00	30,00	2%	2%
SA-E2-Sec	40	19,56	12,57	2,50	60,00	10,00	20,00	28,75	3%	0%
SA-E3-Sec	34	19,12	11,63	5,00	60,00	10,00	20,00	25,00	3%	0%
SA-E4-Sec	34	27,43	34,99	5,00	200,00	10,00	20,00	26,25	9%	9%
SA-E6	46	35,05	37,58	2,50	200,00	11,88	25,00	40,00	9%	11%
SA-E7	46	32,17	29,52	5,00	140,00	15,00	25,00	40,00	11%	11%
SA-E8	46	33,15	31,47	5,00	160,00	18,75	30,00	35,00	11%	7%
SA-E9	45	37,28	38,47	5,00	200,00	17,50	25,00	40,00	11%	11%
SA-E10	46	209,89	155,82	70,00	1000,00	115,00	200,00	210,00	9%	96%
SA-E12	44	188,98	113,32	70,00	500,00	100,00	160,00	250,00	5%	91%
RM-E1-Fun	45	204,89	105,63	70,00	500,00	140,00	200,00	210,00	16%	98%
RM-E2-Fun	46	180,43	106,99	40,00	600,00	100,00	160,00	200,00	7%	93%
RM-E3-Fun	46	115,98	67,19	30,00	300,00	73,75	100,00	127,50	9%	43%
RM-E4-Fun	46	84,46	84,30	25,00	500,00	40,00	60,00	100,00	11%	62%
RM-E1-Sec	46	74,13	51,44	25,00	250,00	40,00	60,00	100,00	4%	43%
RM-E2-Sec	46	142,28	220,19	20,00	1000,00	50,00	60,00	105,00	13%	28%
RM-E3-Sec	44	99,32	95,71	20,00	500,00	42,50	80,00	100,00	14%	72%
RM-E4-Sec	45	92,56	88,26	30,00	450,00	40,00	60,00	100,00	13%	37%
RM-E6	47	125,43	225,04	20,00	1200,00	35,00	55,00	100,00	11%	33%
RM-E7	47	148,51	283,09	40,00	2000,00	50,00	100,00	160,00	2%	39%
RM-E10	47,00	194,68	634,65	25,00	4000,00	40,00	60,00	90,00	11%	52%
RM-E11	50	58,02	59,35	5,00	300,00	20,00	40,00	82,50	4%	30%

Tabela IV.4: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro **nitrogênio amoniacal total** (mg/L N).

Estação	Nº de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	% *Outliers*	% violações
VF-E1-Fun	50	2,40	1,33	0,18	6,10	1,59	2,44	3,17	2%	14%
VF-E2-Fun	47	2,25	1,64	0,12	8,40	1,48	2,13	2,69	9%	17%
VF-E3-Fun	47	2,10	1,51	0,10	7,00	1,23	1,96	2,46	11%	21%
VF-E4-Fun	47	2,21	1,45	0,01	6,61	1,15	2,13	3,14	2%	15%
VF-E1-Sec	48	0,34	0,34	0,05	1,74	0,16	0,22	0,39	8%	0%
VF-E2-Sec	42	0,27	0,18	0,01	0,86	0,15	0,23	0,32	5%	0%
VF-E3-Sec	34	0,25	0,12	0,01	0,68	0,18	0,23	0,27	12%	0%
VF-E4-Sec	33	0,28	0,09	0,11	0,56	0,21	0,27	0,33	3%	0%
VF-E14	47	0,63	1,09	0,01	6,70	0,12	0,32	0,66	9%	4%
VF-E15	47	0,48	0,54	0,07	2,68	0,16	0,26	0,67	6%	0%
VF-E16	47	0,37	0,44	0,05	3,07	0,19	0,28	0,42	4%	0%
VF-E17	46	0,61	1,07	0,01	7,16	0,25	0,37	0,58	4%	2%
SA-E1-Fun	50	2,13	1,38	0,12	6,89	1,28	2,16	2,85	4%	26%
SA-E2-Fun	47	2,28	2,22	0,07	11,54	1,30	2,02	2,58	6%	32%
SA-E3-Fun	47	2,11	1,52	0,12	7,56	1,01	2,07	2,69	6%	26%
SA-E4-Fun	47	2,03	1,51	0,01	6,50	0,98	1,79	2,58	6%	23%
SA-E1-Sec	48	0,20	0,13	0,05	0,69	0,14	0,18	0,23	8%	0%
SA-E2-Sec	41	0,19	0,11	0,05	0,60	0,13	0,18	0,22	7%	0%
SA-E3-Sec	35	0,24	0,15	0,01	0,81	0,15	0,21	0,27	11%	0%
SA-E4-Sec	35	0,23	0,11	0,08	0,49	0,15	0,19	0,29	0%	0%
SA-E6	47	0,26	0,17	0,06	0,92	0,15	0,22	0,32	4%	0%
SA-E7	47	0,24	0,13	0,05	0,64	0,15	0,21	0,30	6%	0%
SA-E8	47	0,28	0,16	0,02	0,89	0,19	0,27	0,34	6%	0%
SA-E9	46	0,24	0,10	0,01	0,51	0,17	0,25	0,29	2%	0%
SA-E10	47	10,77	18,52	0,11	106,40	2,58	5,94	10,86	6%	55%
SA-E12	45	1,16	3,29	0,07	21,90	0,26	0,35	0,64	16%	2%
RM-E1-Fun	48	12,21	23,04	0,14	126,69	4,78	6,76	10,23	6%	73%
RM-E2-Fun	48	0,95	2,26	0,05	14,28	0,23	0,40	0,62	15%	2%
RM-E3-Fun	47	0,26	0,16	0,01	0,86	0,18	0,24	0,29	9%	0%
RM-E4-Fun	47	0,26	0,19	0,01	1,23	0,15	0,24	0,30	6%	0%
RM-E1-Sec	47	0,20	0,10	0,01	0,45	0,13	0,19	0,26	0%	0%
RM-E2-Sec	47	0,23	0,13	0,01	0,59	0,16	0,22	0,28	6%	0%
RM-E3-Sec	45	0,30	0,28	0,01	1,88	0,19	0,24	0,33	9%	0%
RM-E4-Sec	46	0,18	0,10	0,01	0,44	0,12	0,16	0,25	0%	0%
RM-E6	48	0,31	0,12	0,08	0,59	0,23	0,31	0,40	0%	0%
RM-E7	48	0,28	0,12	0,07	0,59	0,20	0,25	0,37	0%	0%
RM-E10	48	0,34	0,13	0,10	0,65	0,24	0,34	0,43	0%	0%
RM-E11	48	0,26	0,11	0,07	0,65	0,20	0,26	0,31	4%	0%

Tabela IV.5: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro **oxigênio dissolvido** (mg/L O_2).

Estação	Nº de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	% *Outliers*	% violações
VF-E1-Fun	47	3,32	2,27	0,50	8,35	1,10	2,99	4,41	0%	83%
VF-E2-Fun	45	4,17	1,89	0,50	8,14	2,87	4,24	5,33	0%	84%
VF-E3-Fun	46	5,57	1,34	2,45	8,31	4,43	5,69	6,41	0%	61%
VF-E4-Fun	46	4,57	1,75	1,14	8,23	3,43	4,61	5,83	0%	83%
VF-E1-Sec	48	2,87	2,43	0,00	8,75	0,68	1,82	5,13	0%	88%
VF-E2-Sec	42	3,64	2,51	0,50	7,81	1,31	3,39	5,94	0%	76%
VF-E3-Sec	34	5,90	1,30	2,36	8,01	5,24	6,03	6,80	6%	50%
VF-E4-Sec	33	5,47	1,59	2,06	7,73	4,40	5,64	6,48	0%	58%
VF-E14	46	1,23	1,11	0,00	5,51	0,50	0,98	1,73	4%	100%
VF-E15	46	1,23	1,31	0,00	6,20	0,50	0,71	1,58	7%	98%
VF-E16	46	3,28	2,31	0,00	8,16	1,48	2,19	5,41	0%	80%
VF-E17	46	3,56	2,46	0,00	7,70	1,31	3,02	6,08	0%	76%
SA-E1-Fun	47	6,42	1,06	3,78	8,22	5,92	6,58	7,30	2%	28%
SA-E2-Fun	45	6,29	1,28	0,50	8,22	5,92	6,42	7,00	7%	27%
SA-E3-Fun	46	6,49	1,35	2,06	8,83	5,83	6,55	7,38	2%	28%
SA-E4-Fun	46	6,35	1,05	3,78	9,18	5,78	6,36	6,93	9%	37%
SA-E1-Sec	48	6,84	1,07	4,38	8,78	6,07	6,95	7,61	0%	21%
SA-E2-Sec	42	6,71	0,94	3,99	8,44	5,98	6,88	7,38	0%	24%
SA-E3-Sec	35	6,52	0,87	4,76	8,10	5,97	6,51	7,22	0%	26%
SA-E4-Sec	35	6,80	1,12	4,37	9,94	6,19	6,80	7,63	3%	20%
SA-E6	47	6,47	1,59	0,75	8,91	5,42	6,80	7,51	2%	28%
SA-E7	46	6,36	1,37	3,90	8,98	5,05	6,73	7,40	0%	30%
SA-E8	46	6,96	1,03	3,63	8,89	6,49	6,90	7,62	2%	11%
SA-E9	46	7,12	1,12	2,96	9,25	6,61	7,16	7,86	4%	9%
SA-E10	47	3,81	1,50	0,44	7,00	3,00	3,72	4,60	2%	89%
SA-E12	45	5,39	1,73	0,39	8,40	4,85	5,49	6,50	9%	58%
RM-E1-Fun	48	3,98	2,13	0,00	7,30	2,36	4,45	5,65	0%	90%
RM-E2-Fun	48	4,73	1,59	0,89	7,40	4,02	5,11	5,90	4%	81%
RM-E3-Fun	46	6,74	1,26	1,82	8,54	6,25	6,88	7,58	4%	20%
RM-E4-Fun	46	6,29	1,26	2,83	8,04	5,85	6,58	7,06	7%	28%
RM-E1-Sec	47	6,85	1,04	2,77	8,58	6,30	6,97	7,57	2%	17%
RM-E2-Sec	47	7,05	1,01	3,00	8,69	6,51	7,20	7,70	2%	9%
RM-E3-Sec	45	6,37	1,36	1,52	8,07	6,03	6,61	7,45	7%	22%
RM-E4-Sec	45	7,24	0,93	5,15	8,73	6,44	7,51	8,04	0%	16%
RM-E6	48	7,39	1,03	5,20	9,58	6,76	7,28	7,96	0%	0%
RM-E7	48	7,23	1,10	4,87	10,65	6,58	7,12	7,86	2%	15%
RM-E10	48	7,21	1,19	4,37	11,66	6,51	6,99	7,82	6%	8%
RM-E11	48	6,14	1,23	2,17	8,57	5,68	6,21	6,67	8%	38%

Tabela IV.6: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro **pH**.

Estação	Nº de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	% *Outliers*	% violações
VF-E1-Fun	50	7,38	0,43	6,20	8,86	7,09	7,31	7,62	4%	0%
VF-E2-Fun	47	7,53	0,47	5,40	8,25	7,30	7,51	7,90	2%	2%
VF-E3-Fun	47	7,67	0,55	4,63	8,68	7,50	7,75	7,98	2%	2%
VF-E4-Fun	47	7,60	0,35	6,20	8,32	7,49	7,60	7,85	2%	0%
VF-E1-Sec	48	6,90	0,32	6,43	8,02	6,62	6,88	7,12	2%	0%
VF-E2-Sec	42	6,97	0,32	6,50	7,90	6,80	6,95	7,16	5%	0%
VF-E3-Sec	34	7,12	0,39	6,05	8,15	6,90	7,06	7,40	3%	0%
VF-E4-Sec	33	7,11	0,22	6,70	7,80	7,00	7,10	7,24	3%	0%
VF-E14	47	7,03	0,53	6,44	10,00	6,80	6,88	7,20	2%	2%
VF-E15	47	6,98	0,30	6,58	7,80	6,76	6,90	7,14	2%	0%
VF-E16	45	7,10	0,33	6,64	8,14	6,81	7,00	7,30	2%	0%
VF-E17	46	7,11	0,30	6,62	8,03	6,81	7,11	7,30	0%	0%
SA-E1-Fun	50	7,79	0,46	6,56	8,87	7,50	7,80	8,06	2%	0%
SA-E2-Fun	47	7,87	0,37	6,90	8,70	7,60	7,90	8,10	0%	0%
SA-E3-Fun	47	7,85	0,38	6,60	8,92	7,62	7,90	8,00	9%	0%
SA-E4-Fun	47	7,82	0,34	6,50	8,83	7,64	7,89	8,00	4%	0%
SA-E1-Sec	48	7,26	0,33	6,71	8,37	7,08	7,20	7,40	6%	0%
SA-E2-Sec	41	7,27	0,35	6,70	8,37	7,02	7,23	7,41	5%	0%
SA-E3-Sec	35	7,29	0,29	6,74	8,34	7,10	7,28	7,40	6%	0%
SA-E4-Sec	35	7,28	0,30	6,76	8,20	7,09	7,24	7,47	3%	0%
SA-E6	47	7,45	0,38	6,20	8,29	7,20	7,53	7,68	2%	0%
SA-E7	47	7,47	0,29	6,80	8,09	7,30	7,53	7,65	0%	0%
SA-E8	47	7,54	0,36	6,75	8,48	7,30	7,50	7,78	0%	0%
SA-E9	46	7,58	0,38	6,73	8,59	7,30	7,50	7,80	2%	0%
SA-E10	47	7,33	0,28	6,20	7,91	7,20	7,32	7,50	2%	0%
SA-E12	45	7,00	0,27	6,44	7,71	6,80	6,99	7,19	0%	0%
RM-E1-Fun	48	7,35	0,26	6,72	8,00	7,20	7,39	7,50	8%	0%
RM-E2-Fun	48	7,13	0,25	6,68	7,70	6,90	7,10	7,30	0%	0%
RM-E3-Fun	47	6,88	0,29	5,90	7,39	6,70	6,89	7,10	2%	2%
RM-E4-Fun	47	7,05	0,34	6,32	7,69	6,82	7,00	7,30	0%	2%
RM-E1-Sec	47	6,81	0,38	6,20	7,67	6,50	6,74	7,10	0%	2%
RM-E2-Sec	47	7,10	0,28	6,30	7,70	6,90	7,10	7,30	0%	2%
RM-E3-Sec	45	6,78	0,26	6,20	7,30	6,60	6,70	6,99	0%	2%
RM-E4-Sec	46	6,94	0,52	4,00	7,70	6,80	7,00	7,18	2%	0%
RM-E6	47	7,16	0,41	4,80	7,62	7,02	7,20	7,37	2%	0%
RM-E7	47	7,17	0,29	5,90	7,86	7,00	7,14	7,31	4%	0%
RM-E10	47	7,05	0,42	4,60	7,66	6,95	7,10	7,21	4%	0%
RM-E11	47	6,91	0,40	4,70	7,70	6,77	6,90	7,10	6%	2%

Tabela IV.7: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro **fósforo total** (mg/L P).

Estação	Nº de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	% *Outliers*	% violações
VF-E1-Fun	50	0,03	0,04	0,01	0,22	0,01	0,02	0,02	18%	28%
VF-E2-Fun	47	0,02	0,02	0,01	0,11	0,01	0,02	0,02	15%	21%
VF-E3-Fun	47	0,03	0,08	0,01	0,54	0,01	0,02	0,02	13%	23%
VF-E4-Fun	47	0,02	0,02	0,01	0,10	0,01	0,02	0,02	11%	19%
VF-E1-Sec	48	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,02	2%	6%
VF-E2-Sec	42	0,02	0,01	0,01	0,07	0,01	0,01	0,02	5%	7%
VF-E3-Sec	34	0,90	5,14	0,01	29,98	0,01	0,01	0,02	3%	6%
VF-E4-Sec	33	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0%	3%
VF-E14	47	0,02	0,02	0,01	0,14	0,01	0,01	0,02	9%	17%
VF-E15	47	0,02	0,04	0,01	0,23	0,01	0,01	0,02	9%	15%
VF-E16	47	0,02	0,02	0,01	0,13	0,01	0,01	0,02	13%	17%
VF-E17	46	0,02	0,03	0,01	0,12	0,01	0,02	0,02	17%	20%
SA-E1-Fun	50	0,02	0,02	0,01	0,13	0,01	0,02	0,02	14%	24%
SA-E2-Fun	47	0,02	0,03	0,01	0,22	0,01	0,01	0,02	15%	17%
SA-E3-Fun	47	0,03	0,08	0,01	0,58	0,01	0,02	0,02	13%	17%
SA-E4-Fun	47	0,02	0,02	0,01	0,14	0,01	0,01	0,02	9%	15%
SA-E1-Sec	48	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,02	2%	4%
SA-E2-Sec	41	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,02	2%	5%
SA-E3-Sec	35	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0%	0%
SA-E4-Sec	35	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0%	0%
SA-E6	47	0,02	0,02	0,01	0,10	0,01	0,01	0,02	11%	17%
SA-E7	47	0,02	0,04	0,01	0,26	0,01	0,01	0,02	4%	6%
SA-E8	47	0,02	0,02	0,01	0,15	0,01	0,01	0,02	9%	17%
SA-E9	46	0,02	0,03	0,01	0,14	0,01	0,01	0,02	9%	15%
SA-E10	47	0,44	0,47	0,01	2,39	0,14	0,29	0,57	4%	87%
SA-E12	45	0,10	0,27	0,01	1,79	0,01	0,03	0,09	4%	51%
RM-E1-Fun	48	0,57	0,59	0,02	2,42	0,19	0,36	0,77	8%	96%
RM-E2-Fun	48	0,12	0,25	0,01	1,28	0,02	0,03	0,12	8%	56%
RM-E3-Fun	47	0,02	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,02	4%	6%
RM-E4-Fun	47	0,02	0,02	0,01	0,16	0,01	0,01	0,02	2%	6%
RM-E1-Sec	47	0,02	0,02	0,01	0,10	0,01	0,01	0,02	9%	9%
RM-E2-Sec	47	0,02	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,02	4%	9%
RM-E3-Sec	45	0,02	0,03	0,01	0,22	0,01	0,01	0,02	4%	4%
RM-E4-Sec	46	0,02	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,02	4%	7%
RM-E6	48	0,02	0,03	0,01	0,17	0,01	0,01	0,02	17%	13%
RM-E7	48	0,03	0,03	0,01	0,15	0,01	0,01	0,02	15%	17%
RM-E10	48	0,02	0,02	0,01	0,15	0,01	0,01	0,02	6%	8%
RM-E11	48	0,02	0,03	0,01	0,20	0,01	0,01	0,02	4%	6%

Tabela IV.8: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro **sólidos dissolvidos totais** (mg/L).

Estação	Nº de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	% *Outliers*	% violações
VF-E1-Fun	45	121,75	95,58	11,20	696,40	87,90	106,00	130,00	9%	2%
VF-E2-Fun	43	106,88	25,43	64,40	186,00	90,00	103,00	129,00	0%	0%
VF-E3-Fun	43	107,50	25,02	45,00	173,00	87,60	105,20	124,40	0%	0%
VF-E4-Fun	43	110,80	30,27	10,80	169,60	90,00	107,60	138,00	2%	0%
VF-E1-Sec	44	32,95	15,79	2,00	68,00	19,70	34,00	43,25	0%	0%
VF-E2-Sec	37	36,29	19,71	10,40	104,40	25,00	32,00	40,00	8%	0%
VF-E3-Sec	31	29,15	11,19	4,00	49,20	22,00	30,00	40,00	0%	0%
VF-E4-Sec	30	32,94	19,77	2,00	85,00	20,00	28,00	41,25	7%	0%
VF-E14	43	44,78	21,93	10,00	116,00	32,00	42,00	54,00	7%	0%
VF-E15	43	45,08	18,62	8,00	96,00	32,00	48,00	56,00	2%	0%
VF-E16	43	47,06	19,65	12,00	100,00	35,60	44,00	58,00	2%	0%
VF-E17	42	47,62	25,37	3,00	112,00	29,00	48,00	62,50	0%	0%
SA-E1-Fun	45	103,07	28,25	24,00	165,00	85,00	99,00	123,00	2%	0%
SA-E2-Fun	43	108,19	32,40	18,00	186,80	94,00	106,00	134,00	5%	0%
SA-E3-Fun	43	112,66	40,79	32,00	290,00	88,00	101,00	136,00	2%	0%
SA-E4-Fun	43	114,32	33,64	66,00	250,00	90,00	105,00	132,00	2%	0%
SA-E1-Sec	44	31,57	14,25	2,00	74,00	22,50	32,00	36,00	9%	0%
SA-E2-Sec	36	29,78	12,21	2,00	67,20	24,00	32,00	36,00	8%	0%
SA-E3-Sec	32	32,44	14,35	6,00	69,20	25,50	32,00	39,90	3%	0%
SA-E4-Sec	32	29,57	16,92	4,80	85,00	19,70	26,10	34,93	6%	0%
SA-E6	43	43,48	20,43	2,00	138,00	34,00	40,00	52,00	7%	0%
SA-E7	43	39,78	16,21	8,00	84,00	30,00	40,00	48,00	5%	0%
SA-E8	43	46,41	24,84	6,00	144,00	32,00	44,00	56,00	5%	0%
SA-E9	42	47,14	18,38	2,00	96,80	35,35	48,00	57,25	7%	0%
SA-E10	43	162,58	89,45	35,00	633,00	124,00	147,00	194,00	2%	2%
SA-E12	42	91,35	56,06	4,00	315,00	58,75	81,00	105,50	7%	0%
RM-E1-Fun	44	197,87	169,70	20,00	1194,00	134,00	166,60	210,25	7%	2%
RM-E2-Fun	44	114,61	49,11	37,00	244,00	79,50	95,00	148,75	0%	0%
RM-E3-Fun	42	32,72	17,14	2,00	82,00	18,75	31,00	44,00	2%	0%
RM-E4-Fun	42	34,67	16,69	2,00	71,00	21,10	34,00	44,30	0%	0%
RM-E1-Sec	42	25,14	15,16	2,00	60,00	12,00	25,00	36,50	0%	0%
RM-E2-Sec	42	50,65	29,87	4,80	164,00	37,50	45,00	58,00	12%	0%
RM-E3-Sec	40	35,36	23,07	6,40	119,00	21,00	31,50	40,00	8%	0%
RM-E4-Sec	41	31,26	19,26	4,00	106,00	20,60	26,00	36,00	7%	0%
RM-E6	44	53,38	27,96	28,00	195,20	39,25	46,00	60,00	7%	0%
RM-E7	44	69,89	64,01	3,60	407,00	47,18	55,50	70,80	16%	0%
RM-E10	44	47,18	25,57	6,00	172,00	36,00	45,70	56,75	2%	0%
RM-E11	44	38,13	18,74	4,00	113,00	24,30	40,00	44,00	2%	0%

Tabela IV.9: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro **sólidos em suspensão totais** (mg/L).

Estação	Nº de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	% *Outliers*	% violações
VF-E1-Fun	50	15,85	39,73	2,00	207,60	2,00	2,20	6,00	14%	8%
VF-E2-Fun	47	4,33	3,40	2,00	20,00	2,00	3,20	5,20	4%	0%
VF-E3-Fun	47	13,57	30,90	2,00	153,20	2,00	5,00	8,40	9%	6%
VF-E4-Fun	47	4,97	3,30	2,00	16,40	2,00	4,80	7,00	2%	0%
VF-E1-Sec	48	4,14	5,51	2,00	30,80	2,00	2,00	3,00	19%	0%
VF-E2-Sec	42	3,86	5,25	2,00	34,00	2,00	2,00	4,00	7%	0%
VF-E3-Sec	34	3,49	2,93	2,00	15,00	2,00	2,00	3,25	15%	0%
VF-E4-Sec	33	5,98	6,00	2,00	29,00	2,00	3,00	7,40	9%	0%
VF-E14	47	7,76	12,41	2,00	71,00	2,00	2,00	8,00	15%	2%
VF-E15	47	5,00	5,54	2,00	26,00	2,00	2,00	6,00	11%	0%
VF-E16	47	5,86	6,07	2,00	29,00	2,00	3,40	6,00	15%	0%
VF-E17	46	8,30	9,24	2,00	44,00	2,00	5,00	9,00	13%	0%
SA-E1-Fun	50	4,44	4,88	2,00	30,00	2,00	2,40	5,00	6%	0%
SA-E2-Fun	47	4,18	3,16	2,00	20,00	2,00	3,60	5,20	2%	0%
SA-E3-Fun	47	9,88	23,76	2,00	150,00	2,00	4,80	8,00	4%	4%
SA-E4-Fun	47	5,06	4,59	2,00	22,00	2,00	3,00	6,00	9%	0%
SA-E1-Sec	48	2,51	1,62	2,00	10,40	2,00	2,00	2,00	17%	0%
SA-E2-Sec	41	2,20	0,59	2,00	4,80	2,00	2,00	2,00	15%	0%
SA-E3-Sec	35	3,30	3,95	2,00	22,40	2,00	2,00	2,00	23%	0%
SA-E4-Sec	35	3,57	3,70	2,00	19,00	2,00	2,00	3,00	17%	0%
SA-E6	47	2,66	1,69	2,00	10,40	2,00	2,00	2,00	23%	0%
SA-E7	47	2,90	3,32	2,00	24,00	2,00	2,00	2,00	23%	0%
SA-E8	47	2,87	1,75	2,00	9,00	2,00	2,00	3,00	15%	0%
SA-E9	46	2,79	1,80	2,00	12,00	2,00	2,00	3,00	9%	0%
SA-E10	47	64,57	129,19	2,00	646,00	11,20	19,00	57,00	11%	28%
SA-E12	45	19,69	17,14	2,00	72,00	7,50	13,00	29,50	4%	7%
RM-E1-Fun	48	72,86	94,15	6,00	465,00	19,25	36,00	69,25	15%	33%
RM-E2-Fun	48	21,90	25,21	2,00	94,00	4,20	11,00	32,50	6%	17%
RM-E3-Fun	47	16,71	33,92	2,00	214,00	2,00	4,00	17,00	11%	10%
RM-E4-Fun	47	14,30	21,18	2,00	101,00	2,00	3,00	18,00	13%	31%
RM-E1-Sec	47	8,64	19,66	2,00	131,00	2,00	3,00	6,00	17%	10%
RM-E2-Sec	47	38,63	101,28	2,00	480,00	2,00	4,00	14,00	17%	0%
RM-E3-Sec	45	29,29	44,91	2,00	194,00	3,50	7,60	37,50	11%	4%
RM-E4-Sec	46	25,11	65,06	2,00	318,00	2,00	3,00	12,10	20%	6%
RM-E6	48	26,54	56,78	2,00	355,00	2,58	7,30	21,75	10%	8%
RM-E7	48	54,64	133,60	2,00	922,00	8,00	20,00	66,25	4%	13%
RM-E10	48	23,51	54,14	2,00	304,00	2,10	4,90	15,80	13%	22%
RM-E11	48	5,91	5,58	2,00	28,00	2,00	3,40	8,00	6%	11%

Tabela IV.10: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro **sólidos totais** (mg/L).

Estação	Nº de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	% *Outliers*	% violações
VF-E1-Fun	47	137,25	124,52	2,00	904,00	92,00	120,00	144,00	11%	-
VF-E2-Fun	45	112,58	27,35	66,00	194,00	94,00	108,00	134,00	0%	-
VF-E3-Fun	45	123,56	43,65	52,00	280,00	92,00	116,00	143,00	4%	-
VF-E4-Fun	45	119,93	28,22	76,00	176,00	96,00	116,00	145,00	0%	-
VF-E1-Sec	45	35,56	18,99	2,00	82,00	20,00	34,00	45,00	0%	-
VF-E2-Sec	39	39,21	22,15	5,30	108,00	28,00	36,00	44,00	10%	-
VF-E3-Sec	31	32,26	12,92	6,00	58,00	24,00	30,00	40,20	0%	-
VF-E4-Sec	30	39,07	25,41	2,00	108,00	22,00	31,00	50,50	7%	-
VF-E14	45	51,73	24,39	10,00	124,00	36,00	48,00	59,00	9%	-
VF-E15	45	51,78	24,15	8,00	144,00	36,00	52,00	63,00	2%	-
VF-E16	45	52,84	23,64	12,00	104,00	37,00	44,00	71,00	0%	-
VF-E17	44	56,36	28,48	6,00	122,00	36,50	55,00	73,50	0%	-
SA-E1-Fun	47	109,45	27,30	52,00	170,00	88,00	104,00	132,00	0%	-
SA-E2-Fun	45	113,58	33,97	7,20	192,00	98,00	114,00	138,00	4%	-
SA-E3-Fun	45	126,71	66,76	12,00	350,00	93,00	108,00	141,00	11%	-
SA-E4-Fun	45	121,84	36,65	72,00	250,00	99,00	112,00	139,00	4%	-
SA-E1-Sec	45	33,16	15,25	2,00	82,00	24,00	32,00	38,00	9%	-
SA-E2-Sec	38	31,63	12,83	2,00	72,00	24,00	32,00	40,00	3%	-
SA-E3-Sec	32	36,19	15,97	6,00	70,00	30,00	36,00	44,00	9%	-
SA-E4-Sec	32	33,06	19,38	6,00	104,00	20,50	29,00	44,00	3%	-
SA-E6	45	45,51	19,97	2,00	138,00	35,00	44,00	53,00	7%	-
SA-E7	45	42,58	17,46	8,00	84,00	32,00	44,00	51,00	4%	-
SA-E8	45	57,58	62,25	8,00	432,00	34,00	48,00	62,00	4%	-
SA-E9	44	50,59	19,56	2,00	100,00	38,00	52,00	60,00	7%	-
SA-E10	45	230,11	155,09	60,00	846,00	151,00	186,00	255,00	7%	-
SA-E12	43	113,40	62,52	20,00	324,00	70,00	98,00	136,00	5%	-
RM-E1-Fun	46	272,03	177,56	40,00	1208,00	174,00	234,00	315,50	4%	-
RM-E2-Fun	46	138,31	60,76	58,40	328,00	89,50	124,00	168,50	2%	-
RM-E3-Fun	44	48,82	39,22	12,00	238,00	28,00	38,00	60,00	5%	-
RM-E4-Fun	44	47,32	29,30	16,00	156,00	24,50	40,00	55,50	9%	-
RM-E1-Sec	44	35,16	25,77	4,00	150,00	18,50	31,50	43,50	2%	-
RM-E2-Sec	44	90,27	127,72	10,00	644,00	38,50	50,00	75,00	14%	-
RM-E3-Sec	42	66,57	60,06	14,00	286,00	27,50	41,00	93,00	5%	-
RM-E4-Sec	43	56,70	80,99	10,00	424,00	24,00	32,00	60,00	7%	-
RM-E6	46	78,83	70,58	2,00	424,00	48,00	61,00	79,00	9%	-
RM-E7	46	124,17	162,43	12,00	1080,00	63,00	86,00	122,50	9%	-
RM-E10	46	71,61	60,18	6,00	356,00	39,50	54,00	77,00	9%	-
RM-E11	46	42,63	18,85	4,00	122,00	32,00	44,00	52,00	2%	-

Tabela IV.11: Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso e seus afluentes relativa ao parâmetro **turbidez** (UNT).

Estação	Nº de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	% *Outliers*	% violações
VF-E1-Fun	50	12,63	28,97	1,41	158,00	3,07	4,36	7,61	14%	4%
VF-E2-Fun	47	6,65	5,95	2,57	39,00	3,84	5,20	6,53	13%	0%
VF-E3-Fun	47	13,13	21,82	1,93	121,00	4,00	6,10	11,00	13%	6%
VF-E4-Fun	47	7,73	5,53	1,76	26,00	4,10	5,70	10,50	4%	0%
VF-E1-Sec	48	9,93	14,41	0,50	84,90	2,41	4,09	10,75	13%	2%
VF-E2-Sec	42	9,46	9,58	1,50	50,00	3,10	5,95	12,35	7%	2%
VF-E3-Sec	34	8,63	10,19	0,21	53,00	2,56	5,88	9,91	8,82	3%
VF-E4-Sec	33	16,37	19,19	1,42	77,70	3,35	11,80	20,70	9,09	9%
VF-E14	47	18,33	34,81	0,30	238,00	4,00	12,00	20,00	4,26	6%
VF-E15	47	15,09	28,40	0,50	192,00	3,21	8,00	17,20	4,26	4%
VF-E16	47	23,78	27,32	1,50	127,00	7,00	13,20	25,00	14,89	19%
VF-E17	46	23,80	29,13	3,35	170,00	7,34	13,85	30,40	6,52	13%
SA-E1-Fun	50	4,62	5,41	0,21	37,00	2,65	3,20	4,57	12%	0%
SA-E2-Fun	47	4,77	5,41	1,38	39,00	2,50	3,70	5,05	6%	0%
SA-E3-Fun	47	9,50	18,84	0,32	105,00	3,00	5,00	6,20	11%	4%
SA-E4-Fun	47	5,21	3,91	0,56	22,50	2,95	4,27	5,95	6%	0%
SA-E1-Sec	48	4,08	4,62	0,24	30,90	2,22	3,11	4,21	10%	0%
SA-E2-Sec	41	3,53	2,81	0,24	15,10	1,70	3,00	4,14	10%	0%
SA-E3-Sec	34	4,57	4,56	0,21	23,50	2,33	2,96	5,58	6%	0%
SA-E4-Sec	35	7,92	15,18	1,23	77,70	2,20	3,10	5,40	14%	6%
SA-E6	47	6,20	7,22	0,21	41,00	2,39	4,00	6,43	13%	2%
SA-E7	47	5,66	6,15	0,30	35,00	2,20	3,81	6,96	4%	0%
SA-E8	47	7,13	7,59	1,35	40,60	2,80	4,56	9,00	6%	2%
SA-E9	46	6,25	5,77	0,90	30,00	2,85	3,99	6,63	15%	0%
SA-E10	47	59,92	106,05	9,70	715,00	24,10	31,70	50,00	13%	38%
SA-E12	45	35,06	24,94	10,00	142,00	17,95	25,70	49,00	2%	36%
RM-E1-Fun	47	59,17	53,09	14,00	259,00	32,00	39,60	65,60	13%	49%
RM-E2-Fun	47	36,25	32,06	6,21	150,00	15,20	24,90	43,30	11%	28%
RM-E3-Fun	46	26,29	34,82	6,00	211,00	9,93	14,45	23,50	15%	21%
RM-E4-Fun	46	21,03	31,48	3,60	200,00	6,48	9,12	24,50	9%	38%
RM-E1-Sec	46	13,91	14,91	4,40	92,50	5,84	9,00	14,68	11%	15%
RM-E2-Sec	46	54,19	120,72	3,50	463,00	7,40	11,05	22,20	15%	2%
RM-E3-Sec	45	32,02	40,86	5,00	212,00	10,40	16,00	33,15	11%	17%
RM-E4-Sec	46	22,27	28,68	3,66	131,00	6,46	9,14	19,68	20%	15%
RM-E6	47	48,07	111,00	1,99	587,00	6,40	17,00	31,00	11%	6%
RM-E7	47	67,89	196,12	7,16	1368,00	18,40	29,00	57,00	6%	15%
RM-E10	47	26,97	50,45	0,58	334,00	8,47	12,10	24,40	11%	20%
RM-E11	48	11,81	7,44	3,71	47,70	6,56	10,60	14,78	2%	20%

Tabela IV.12: Resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados entre as profundidades Secchi e Fundo, ao nível de significância de 5% das estações localizadas nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso.

Parâmetro	VF-E1	VF-E2	VF-E3	VF-E4	SA-E1	SA-E2	SA-E3	SA-E4	RM-E1	RM-E2	RM-E3	RM-E4
Acidez total	X	X			X	X	X		X	X	X	X
Condutividade elétrica									X	X		X
Cor verdadeira	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fósforo total												
Nitrogênio amoniacal total					X			X	X	X		X
Oxigênio dissolvido	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
pH *in loco*	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sólidos dissolvidos totais												
Sólidos em suspensão totais						X		X	X	X	X	X
Sólidos totais										X		
Turbidez	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.13: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre os afluentes, ao nível de significância de 5%, das estações localizadas nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.).

Acidez total

	SA - E6	SA - E7	SA - E8	SA - E9	SA - E10	SA - E12
SA - E6						
SA - E7						
SA - E8						
SA - E9						
SA - E10						
SA - E12						

	VF - E14	VF - E15	VF - E16	VF - E17
VF - E14		X		X
VF - E15	X		X	
VF - E16		X		X
VF - E17	X		X	

	RM - E6	RM - E7	RM - E10	RM - E11
RM - E6				
RM - E7				
RM - E10				
RM - E11				

Condutividade elétrica

	SA - E6	SA - E7	SA - E8	SA - E9	SA - E10	SA - E12
SA - E6			X	X		
SA - E7			X			X
SA - E8	X	X		X	X	
SA - E9	X		X		X	X
SA - E10			X	X		
SA - E12		X		X		

	VF - E14	VF - E15	VF - E16	VF - E17
VF - E14		X		X
VF - E15	X		X	X
VF - E16		X		X
VF - E17	X	X	X	

	RM - E6	RM - E7	RM - E10	RM - E11
RM - E6				
RM - E7			X	
RM - E10		X		
RM - E11				

Cor verdadeira

	SA - E6	SA - E7	SA - E8	SA - E9	SA - E10	SA - E12
SA - E6		X	X			X
SA - E7	X					
SA - E8	X					
SA - E9						
SA - E10						
SA - E12	X					

	VF - E14	VF - E15	VF - E16	VF - E17
VF - E14				
VF - E15				
VF - E16				
VF - E17				

	RM - E6	RM - E7	RM - E10	RM - E11
RM - E6		X		
RM - E7	X		X	X
RM - E10		X		
RM - E11		X		

Tabela IV.13: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre os afluentes, ao nível de significância de 5%, das estações localizadas nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Nitrogênio amoniacal total

	SA - E6	SA - E7	SA - E8	SA - E9	SA - E10	SA - E12
SA - E6						
SA - E7						
SA - E8						
SA - E9						
SA - E10						
SA - E12						

	VF - E14	VF - E15	VF - E16	VF - E17
VF - E14		X		X
VF - E15	X		X	
VF - E16		X		X
VF - E17	X		X	

	RM - E6	RM - E7	RM - E10	RM - E11
RM - E6				
RM - E7				
RM - E10				
RM - E11				

Oxigênio dissolvido

	SA - E6	SA - E7	SA - E8	SA - E9	SA - E10	SA - E12
SA - E6						X
SA - E7						
SA - E8						
SA - E9						
SA - E10						X
SA - E12	X				X	

	VF - E14	VF - E15	VF - E16	VF - E17
VF - E14		X		X
VF - E15	X		X	
VF - E16		X		X
VF - E17	X		X	

	RM - E6	RM - E7	RM - E10	RM - E11
RM - E6				
RM - E7				
RM - E10				X
RM - E11			X	

pH

	SA - E6	SA - E7	SA - E8	SA - E9	SA - E10	SA - E12
SA - E6						
SA - E7				X		X
SA - E8						
SA - E9		X				
SA - E10						X
SA - E12		X			X	

	VF - E14	VF - E15	VF - E16	VF - E17
VF - E14		X		X
VF - E15	X		X	
VF - E16		X		
VF - E17	X			

	RM - E6	RM - E7	RM - E10	RM - E11
RM - E6				X
RM - E7				X
RM - E10				X
RM - E11	X	X	X	

Tabela IV.13: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre os afluentes, ao nível de significância de 5%, das estações localizadas nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) (Continuação).

Fósforo total

	SA - E6	SA - E7	SA - E8	SA - E9	SA - E10	SA - E12
SA - E6				X		
SA - E7			X		X	
SA - E8		X		X		
SA - E9	X		X		X	
SA - E10		X		X		X
SA - E12					X	

	VF - E14	VF - E15	VF - E16	VF - E17
VF - E14		X		X
VF - E15	X		X	
VF - E16		X		X
VF - E17	X		X	

	RM - E6	RM - E7	RM - E10	RM - E11
RM - E6				X
RM - E7				X
RM - E10				X
RM - E11	X	X	X	

Sólidos dissolvidos totais

	SA - E6	SA - E7	SA - E8	SA - E9	SA - E10	SA - E12
SA - E6				X		
SA - E7						
SA - E8				X		
SA - E9	X		X		X	X
SA - E10				X		
SA - E12				X		

	VF - E14	VF - E15	VF - E16	VF - E17
VF - E14		X		X
VF - E15	X		X	
VF - E16		X		X
VF - E17	X		X	

	RM - E6	RM - E7	RM - E10	RM - E11
RM - E6				X
RM - E7			X	X
RM - E10		X		
RM - E11	X	X		

Sólidos em suspensão totais

	SA - E6	SA - E7	SA - E8	SA - E9	SA - E10	SA - E12
SA - E6						
SA - E7						
SA - E8					X	
SA - E9						
SA - E10			X			
SA - E12						

	VF - E14	VF - E15	VF - E16	VF - E17
VF - E14				X
VF - E15			X	
VF - E16		X		X
VF - E17	X		X	

	RM - E6	RM - E7	RM - E10	RM - E11
RM - E6		X		X
RM - E7	X		X	X
RM - E10		X		
RM - E11	X	X		

Tabela IV.13: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, entre os afluentes, ao nível de significância de 5%, das estações localizadas nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas)
(Continuação).

Sólidos totais

	SA - E6	SA - E7	SA - E8	SA - E9	SA - E10	SA - E12
SA - E6						
SA - E7						
SA - E8				X	X	
SA - E9			X			X
SA - E10			X			
SA - E12				X		

	VF - E14	VF - E15	VF - E16	VF - E17
VF - E14		X		X
VF - E15	X		X	
VF - E16		X		X
VF - E17	X		X	

	RM - E6	RM - E7	RM - E10	RM - E11
RM - E6		X		X
RM - E7	X		X	X
RM - E10		X		X
RM - E11	X	X	X	

Turbidez

	SA - E6	SA - E7	SA - E8	SA - E9	SA - E10	SA - E12
SA - E6			X			
SA - E7						
SA - E8	X				X	
SA - E9						
SA - E10			X			
SA - E12						

	VF - E14	VF - E15	VF - E16	VF - E17
VF - E14				
VF - E15			X	
VF - E16		X		X
VF - E17			X	

	RM - E6	RM - E7	RM - E10	RM - E11
RM - E6		X		
RM - E7	X		X	X
RM - E10		X		
RM - E11		X		

Tabela IV.14: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **Acidez total (mg/L)**, entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso.

	RM-E10	**RM-E11**	**RM-E6**	**RM-E7**	**SA-E1-**	**SA-E12**	**SA-E6**	**SA-E7**	**SA-E8**	**SA-E9**	**VF-E14**	**VF-E15**	**VF-E16**	**VF-E17**
RM-E10											X		X	X
RM-E11											X		X	
RM-E6											X	X	X	X
RM-E7											X		X	X
SA-E10											X		X	X
SA-E12											X	X	X	X
SA-E6											X	X	X	X
SA-E7											X	X	X	X
SA-E8											X	X	X	X
SA-E9											X	X	X	X
VF-E14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E15			X			X	X	X	X	X				
VF-E16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E17	X		X	X	X	X	X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.15: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **condutividade elétrica (**µnho/cm**)**, entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso.

	RM-E10	**RM-E11**	**RM-E6**	**RM-E7**	**SA-E10**	**SA-E12**	**SA-E6**	**SA-E7**	**SA-E8**	**SA-E9**	**VF-E14**	**VF-E15**	**VF-E16**	**VF-E17**
RM-E10					X	X	X	X	X		X		X	X
RM-E11					X	X	X		X		X		X	X
RM-E6					X	X	X		X		X		X	X
RM-E7					X	X	X		X		X		X	X
SA-E10	X	X	X	X							X	X	X	X
SA-E12	X	X	X	X						X	X	X	X	X
SA-E6	X	X	X	X							X	X	X	X
SA-E7	X								X		X	X	X	X
SA-E8	X	X	X	X				X		X	X	X	X	X
SA-E9						X			X		X	X	X	X
VF-E14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		
VF-E15					X	X	X	X	X	X	X		X	
VF-E16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		
VF-E17	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.16: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **cor verdadeira** (mg/L Pt), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso.

	RM-E10	**RM-E11**	**RM-E6**	**RM-E7**	**SA-E10**	**SA-E12**	**SA-E6**	**SA-E7**	**SA-E8**	**SA-E9**	**VF-E14**	**VF-E15**	**VF-E16**	**VF-E17**
RM-E10											X	X	X	X
RM-E11				X			X				X	X	X	X
RM-E6											X	X	X	X
RM-E7		X									X		X	
SA-E10											X	X	X	X
SA-E12											X	X	X	X
SA-E6		X											X	
SA-E7											X	X	X	X
SA-E8											X	X	X	X
SA-E9											X	X	X	X
VF-E14	X	X	X	X	X	X		X	X	X				
VF-E15	X	X	X		X	X		X	X	X				
VF-E16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E17	X	X	X		X	X		X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.17: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **nitrogênio amoniacal total** (mg/L N), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso.

	RM-E10	**RM-E11**	**RM-E6**	**RM-E7**	**SA-E10**	**SA-E12**	**SA-E6**	**SA-E7**	**SA-E8**	**SA-E9**	**VF-E14**	**VF-E15**	**VF-E16**	**VF-E17**
RM-E10						X			X		X		X	
RM-E11											X		X	
RM-E6						X			X		X		X	
RM-E7											X		X	
SA-E10											X		X	
SA-E12	X		X								X	X	X	X
SA-E6											X	X	X	
SA-E7											X	X	X	X
SA-E8	X		X								X	X	X	X
SA-E9											X	X	X	X
VF-E14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X
VF-E15						X	X	X	X	X	X		X	
VF-E16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X
VF-E17						X		X	X	X	X		X	

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.18: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **oxigênio dissolvido** (mg/L O_2), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso.

	RM-E10	**RM-E11**	**RM-E6**	**RM-E7**	**SA-E10**	**SA-E12**	**SA-E6**	**SA-E7**	**SA-E8**	**SA-E9**	**VF-E14**	**VF-E15**	**VF-E16**	**VF-E17**
RM-E10		X									X	X	X	X
RM-E11	X		X	X		X				X	X		X	X
RM-E6		X						X			X	X	X	X
RM-E7		X									X	X	X	X
SA-E10											X		X	X
SA-E12		X									X	X	X	X
SA-E6											X	X	X	X
SA-E7			X								X		X	X
SA-E8											X	X	X	X
SA-E9		X									X	X	X	X
VF-E14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E15	X		X	X		X	X		X	X				
VF-E16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E17	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.19: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **pH**, entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso.

	RM-E10	**RM-E11**	**RM-E6**	**RM-E7**	**SA-E10**	**SA-E12**	**SA-E6**	**SA-E7**	**SA-E8**	**SA-E9**	**VF-E14**	**VF-E15**	**VF-E16**	**VF-E17**
RM-E10					X				X		X		X	
RM-E11			X	X							X		X	
RM-E6					X	X	X		X			X		
RM-E7					X		X		X					
SA-E10								X		X	X		X	X
SA-E12											X		X	
SA-E6											X		X	X
SA-E7											X		X	
SA-E8										X	X		X	X
SA-E9											X		X	
VF-E14												X		X
VF-E15													X	
VF-E16														X
VF-E17														

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.20: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **fósforo total** (mg/L P), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso.

	RM-E10	**RM-E11**	**RM-E6**	**RM-E7**	**SA-E10**	**SA-E12**	**SA-E6**	**SA-E7**	**SA-E8**	**SA-E9**	**VF-E14**	**VF-E15**	**VF-E16**	**VF-E17**
RM-E10											X	X	X	X
RM-E11											X	X	X	X
RM-E6											X	X	X	X
RM-E7											X	X	X	X
SA-E10											X	X	X	X
SA-E12											X	X	X	X
SA-E6											X	X	X	X
SA-E7											X	X	X	X
SA-E8											X	X	X	X
SA-E9											X	X	X	X
VF-E14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X
VF-E15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	
VF-E16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X
VF-E17	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.21: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **sólidos dissolvidos totais** (mg/L), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso.

	RM-E10	**RM-E11**	**RM-E6**	**RM-E7**	**SA-E10**	**SA-E12**	**SA-E6**	**SA-E7**	**SA-E8**	**SA-E9**	**VF-E14**	**VF-E15**	**VF-E16**	**VF-E17**
RM-E10									X		X	X	X	X
RM-E11				X							X	X	X	X
RM-E6						X			X		X		X	X
RM-E7		X			X	X	X	X	X		X		X	X
SA-E10				X							X	X	X	X
SA-E12			X	X							X	X	X	X
SA-E6				X							X	X	X	X
SA-E7				X							X	X	X	X
SA-E8	X		X	X						X	X	X	X	X
SA-E9									X		X	X	X	X
VF-E14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E15	X	X			X	X	X	X	X	X				
VF-E16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E17	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.22: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **sólidos em suspensão totais** (mg/L), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso.

	RM-E10	**RM-E11**	**RM-E6**	**RM-E7**	**SA-E10**	**SA-E12**	**SA-E6**	**SA-E7**	**SA-E8**	**SA-E9**	**VF-E14**	**VF-E15**	**VF-E16**	**VF-E17**
RM-E10				X							X		X	
RM-E11				X							X	X	X	X
RM-E6											X		X	
RM-E7	X	X				X	X	X	X	X				
SA-E10													X	
SA-E12				X							X		X	
SA-E6				X							X		X	
SA-E7				X							X	X	X	
SA-E8				X							X	X	X	X
SA-E9				X							X		X	
VF-E14	X	X	X			X	X	X	X	X				
VF-E15		X						X	X					
VF-E16	X	X	X		X	X	X	X	X	X				X
VF-E17		X							X				X	

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.23: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **sólidos totais** (mg/L), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso.

	RM-E10	**RM-E11**	**RM-E6**	**RM-E7**	**SA-E10**	**SA-E12**	**SA-E6**	**SA-E7**	**SA-E8**	**SA-E9**	**VF-E14**	**VF-E15**	**VF-E16**	**VF-E17**
RM-E10									X		X		X	X
RM-E11				X							X	X	X	X
RM-E6									X		X		X	X
RM-E7		X			X	X	X	X	X		X		X	
SA-E10				X							X	X	X	X
SA-E12				X							X	X	X	X
SA-E6				X							X	X	X	X
SA-E7				X							X	X	X	X
SA-E8	X		X	X							X	X	X	X
SA-E9											X	X	X	X
VF-E14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E15		X			X	X	X	X	X	X			X	
VF-E16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		
VF-E17	X	X	X		X	X	X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.24: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **turbidez** (UNT), entre as estações localizadas nos afluentes dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso.

	RM-E10	**RM-E11**	**RM-E6**	**RM-E7**	**SA-E10**	**SA-E12**	**SA-E6**	**SA-E7**	**SA-E8**	**SA-E9**	**VF-E14**	**VF-E15**	**VF-E16**	**VF-E17**
RM-E10				X							X	X	X	
RM-E11				X	X						X	X	X	X
RM-E6				X							X		X	
RM-E7	X	X	X			X		X	X	X				
SA-E10		X							X				X	
SA-E12				X							X	X	X	X
SA-E6											X		X	
SA-E7				X							X	X	X	X
SA-E8				X	X						X	X	X	X
SA-E9				X							X	X	X	X
VF-E14	X	X	X			X	X	X	X	X				
VF-E15	X	X				X		X	X	X				
VF-E16	X	X	X		X	X	X	X	X	X				
VF-E17		X				X		X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.25: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, na profundidade **Fundo**, ao nível de significância de 5%, das estações localizadas nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas).

Condutividade elétrica

	SA-E1-Fun	SA-E2-Fun	SA-E3-Fun	SA-E4-Fun
SA-E1-Fun			X	
SA-E2-Fun			X	
SA-E3-Fun	X	X		
SA-E4-Fun				

	RM-E1-Fun	RM-E2-Fun	RM-E3-Fun	RM-E4-Fun
RM-E1-Fun				
RM-E2-Fun				
RM-E3-Fun				
RM-E4-Fun				

	VF-E1-Fun	VF-E2-Fun	VF-E3-Fun	VF-E4-Fun
VF-E1-Fun				
VF-E2-Fun				
VF-E3-Fun				
VF-E4-Fun				

Oxigênio dissolvido

	SA-E1-Fun	SA-E2-Fun	SA-E3-Fun	SA-E4-Fun
SA-E1-Fun			X	X
SA-E2-Fun			X	X
SA-E3-Fun	X	X		
SA-E4-Fun	X	X		

	RM-E1-Fun	RM-E2-Fun	RM-E3-Fun	RM-E4-Fun
RM-E1-Fun			X	X
RM-E2-Fun			X	X
RM-E3-Fun	X	X		
RM-E4-Fun	X	X		

	VF-E1-Fun	VF-E2-Fun	VF-E3-Fun	VF-E4-Fun
VF-E1-Fun			X	X
VF-E2-Fun			X	
VF-E3-Fun	X	X		
VF-E4-Fun	X			

Tabela IV.25: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, na profundidade **Fundo**, ao nível de significância de 5%, das estações localizadas nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso (X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas) - Continuação.

pH

	SA-E1-Fun	SA-E2-Fun	SA-E3-Fun	SA-E4-Fun
SA-E1-Fun			X	X
SA-E2-Fun				
SA-E3-Fun	X			
SA-E4-Fun	X			

	RM-E1-Fun	RM-E2-Fun	RM-E3-Fun	RM-E4-Fun
RM-E1-Fun				
RM-E2-Fun				
RM-E3-Fun				
RM-E4-Fun				

	VF-E1-Fun	VF-E2-Fun	VF-E3-Fun	VF-E4-Fun
VF-E1-Fun			X	X
VF-E2-Fun				
VF-E3-Fun	X			
VF-E4-Fun	X			

Turbidez

	SA-E1-Fun	SA-E2-Fun	SA-E3-Fun	SA-E4-Fun
SA-E1-Fun				
SA-E2-Fun				
SA-E3-Fun				
SA-E4-Fun				

	RM-E1-Fun	RM-E2-Fun	RM-E3-Fun	RM-E4-Fun
RM-E1-Fun				
RM-E2-Fun				X
RM-E3-Fun				
RM-E4-Fun		X		

	VF-E1-Fun	VF-E2-Fun	VF-E3-Fun	VF-E4-Fun
VF-E1-Fun				
VF-E2-Fun				
VF-E3-Fun				
VF-E4-Fun				

Tabela IV.26: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **Acidez total (mg/L)**, entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Fundo**.

	RM-E1-Fun	**RM-E2-Fun**	**RM-E3-Fun**	**RM-E4-Fun**	**SA-E1-Fun**	**SA-E2-Fun**	**SA-E3-Fun**	**SA-E4-Fun**	**VF-E1-Fun**	**VF-E2-Fun**	**VF-E3-Fun**	**VF-E4-Fun**
RM-E1-Fun					X	X	X	X				
RM-E2-Fun						X	X	X				
RM-E3-Fun												
RM-E4-Fun							X	X				
SA-E1-Fun	X											
SA-E2-Fun	X	X							X	X		
SA-E3-Fun	X	X		X					X	X	X	X
SA-E4-Fun	X	X		X					X	X	X	X
VF-E1-Fun						X	X	X				
VF-E2-Fun						X	X	X				
VF-E3-Fun							X	X				
VF-E4-Fun							X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.27: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **condutividade elétrica (**µnho/cm**)**, entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Fundo**.

	RM-E1-Fun	**RM-E2-Fun**	**RM-E3-Fun**	**RM-E4-Fun**	**SA-E1-Fun**	**SA-E2-Fun**	**SA-E3-Fun**	**SA-E4-Fun**	**VF-E1-Fun**	**VF-E2-Fun**	**VF-E3-Fun**	**VF-E4-Fun**
RM-E1-Fun					X	X	X	X	X	X	X	X
RM-E2-Fun					X	X	X	X	X	X	X	X
RM-E3-Fun							X	X	X	X	X	X
RM-E4-Fun					X	X	X	X	X	X	X	X
SA-E1-Fun	X	X		X					X	X	X	X
SA-E2-Fun	X	X		X					X	X	X	X
SA-E3-Fun	X	X	X	X					X	X	X	X
SA-E4-Fun	X	X	X	X					X	X	X	X
VF-E1-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E2-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E3-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E4-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.28: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **cor verdadeira** (mg/L Pt), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Fundo**.

	RM-E1-Fun	**RM-E2-Fun**	**RM-E3-Fun**	**RM-E4-Fun**	**SA-E1-Fun**	**SA-E2-Fun**	**SA-E3-Fun**	**SA-E4-Fun**	**VF-E1-Fun**	**VF-E2-Fun**	**VF-E3-Fun**	**VF-E4-Fun**
RM-E1-Fun												
RM-E2-Fun							X				X	
RM-E3-Fun							X					
RM-E4-Fun							X					
SA-E1-Fun												
SA-E2-Fun												
SA-E3-Fun		X	X	X								
SA-E4-Fun												
VF-E1-Fun												
VF-E2-Fun												
VF-E3-Fun		X										
VF-E4-Fun												

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.29: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **nitrogênio amoniacal total** (mg/L N), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Fundo**.

	RM-E1-Fun	**RM-E2-Fun**	**RM-E3-Fun**	**RM-E4-Fun**	**SA-E1-Fun**	**SA-E2-Fun**	**SA-E3-Fun**	**SA-E4-Fun**	**VF-E1-Fun**	**VF-E2-Fun**	**VF-E3-Fun**	**VF-E4-Fun**
RM-E1-Fun									X	X	X	X
RM-E2-Fun									X	X	X	X
RM-E3-Fun									X	X	X	X
RM-E4-Fun									X	X	X	X
SA-E1-Fun									X	X	X	X
SA-E2-Fun									X	X	X	X
SA-E3-Fun									X	X	X	X
SA-E4-Fun									X	X	X	X
VF-E1-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E2-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E3-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E4-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.30: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **oxigênio dissolvido** (mg/L O_2), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Fundo**.

	RM-E1-Fun	**RM-E2-Fun**	**RM-E3-Fun**	**RM-E4-Fun**	**SA-E1-Fun**	**SA-E2-Fun**	**SA-E3-Fun**	**SA-E4-Fun**	**VF-E1-Fun**	**VF-E2-Fun**	**VF-E3-Fun**	**VF-E4-Fun**
RM-E1-Fun			X	X		X					X	X
RM-E2-Fun			X		X	X					X	
RM-E3-Fun	X	X			X	X	X	X	X			
RM-E4-Fun	X				X	X	X	X	X			
SA-E1-Fun		X	X	X			X	X	X	X	X	X
SA-E2-Fun	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X
SA-E3-Fun			X	X	X	X					X	
SA-E4-Fun			X	X	X	X					X	
VF-E1-Fun			X	X	X	X					X	
VF-E2-Fun					X	X						
VF-E3-Fun	X	X			X	X	X	X	X			
VF-E4-Fun	X				X	X						

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.31: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **pH**, entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Fundo**.

	RM-E1-Fun	**RM-E2-Fun**	**RM-E3-Fun**	**RM-E4-Fun**	**SA-E1-Fun**	**SA-E2-Fun**	**SA-E3-Fun**	**SA-E4-Fun**	**VF-E1-Fun**	**VF-E2-Fun**	**VF-E3-Fun**	**VF-E4-Fun**
RM-E1-Fun									X	X	X	X
RM-E2-Fun									X	X	X	X
RM-E3-Fun										X	X	X
RM-E4-Fun										X	X	X
SA-E1-Fun									X	X	X	X
SA-E2-Fun									X	X	X	X
SA-E3-Fun										X	X	X
SA-E4-Fun										X	X	X
VF-E1-Fun	X	X			X	X						
VF-E2-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E3-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E4-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.32: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **sólidos dissolvidos totais** (mg/L), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Fundo**.

	RM-E1-Fun	**RM-E2-Fun**	**RM-E3-Fun**	**RM-E4-Fun**	**SA-E1-Fun**	**SA-E2-Fun**	**SA-E3-Fun**	**SA-E4-Fun**	**VF-E1-Fun**	**VF-E2-Fun**	**VF-E3-Fun**	**VF-E4-Fun**
RM-E1-Fun									X	X	X	X
RM-E2-Fun									X	X	X	X
RM-E3-Fun									X	X	X	X
RM-E4-Fun									X	X	X	X
SA-E1-Fun									X	X	X	X
SA-E2-Fun									X	X	X	X
SA-E3-Fun									X	X	X	X
SA-E4-Fun									X	X	X	X
VF-E1-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E2-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E3-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E4-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.33: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **sólidos em suspensão totais** (mg/L), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Fundo**.

	RM-E1-Fun	**RM-E2-Fun**	**RM-E3-Fun**	**RM-E4-Fun**	**SA-E1-Fun**	**SA-E2-Fun**	**SA-E3-Fun**	**SA-E4-Fun**	**VF-E1-Fun**	**VF-E2-Fun**	**VF-E3-Fun**	**VF-E4-Fun**
RM-E1-Fun												
RM-E2-Fun												
RM-E3-Fun												
RM-E4-Fun					X	X						
SA-E1-Fun				X							X	
SA-E2-Fun				X							X	
SA-E3-Fun												
SA-E4-Fun												
VF-E1-Fun												
VF-E2-Fun												
VF-E3-Fun					X	X						
VF-E4-Fun												

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.34: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **sólidos totais** (mg/L), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Fundo**.

	RM-E1-Fun	**RM-E2-Fun**	**RM-E3-Fun**	**RM-E4-Fun**	**SA-E1-Fun**	**SA-E2-Fun**	**SA-E3-Fun**	**SA-E4-Fun**	**VF-E1-Fun**	**VF-E2-Fun**	**VF-E3-Fun**	**VF-E4-Fun**
RM-E1-Fun									X	X	X	X
RM-E2-Fun									X	X	X	X
RM-E3-Fun									X	X	X	X
RM-E4-Fun									X	X	X	X
SA-E1-Fun									X	X	X	X
SA-E2-Fun									X	X	X	X
SA-E3-Fun									X	X	X	X
SA-E4-Fun									X	X	X	X
VF-E1-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E2-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E3-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E4-Fun	X	X	X	X	X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.35: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **turbidez** (UNT), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Fundo**.

	RM-E1-Fun	**RM-E2-Fun**	**RM-E3-Fun**	**RM-E4-Fun**	**SA-E1-Fun**	**SA-E2-Fun**	**SA-E3-Fun**	**SA-E4-Fun**	**VF-E1-Fun**	**VF-E2-Fun**	**VF-E3-Fun**	**VF-E4-Fun**
RM-E1-Fun												
RM-E2-Fun				X								
RM-E3-Fun					X	X	X		X	X		X
RM-E4-Fun		X			X	X	X		X	X	X	X
SA-E1-Fun			X	X								
SA-E2-Fun			X	X								
SA-E3-Fun			X	X								
SA-E4-Fun												
VF-E1-Fun			X	X								
VF-E2-Fun			X	X								
VF-E3-Fun				X								
VF-E4-Fun			X	X								

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.36: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis que indicaram diferenças significativas dos parâmetros avaliados, na profundidade **Secchi**, ao nível de significância de 5%, das estações localizadas nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso.

Oxigênio dissolvido

	SA-E1-Sec	SA-E2-Sec	SA-E3-Sec	SA-E4-Sec
SA-E1-Sec				
SA-E2-Sec				
SA-E3-Sec				
SA-E4-Sec				

	RM-E1-Sec	RM-E2-Sec	RM-E3-Sec	RM-E4-Sec
RM-E1-Sec				
RM-E2-Sec				X
RM-E3-Sec				
RM-E4-Sec		X		

	VF-E1-Sec	VF-E2-Sec	VF-E3-Sec	VF-E4-Sec
VF-E1-Sec				
VF-E2-Sec				
VF-E3-Sec				
VF-E4-Sec				

Turbidez

	SA-E1-Sec	SA-E2-Sec	SA-E3-Sec	SA-E4-Sec
SA-E1-Sec				
SA-E2-Sec				
SA-E3-Sec				
SA-E4-Sec				

	RM-E1-Sec	RM-E2-Sec	RM-E3-Sec	RM-E4-Sec
RM-E1-Sec				
RM-E2-Sec				
RM-E3-Sec				
RM-E4-Sec				

	VF-E1-Sec	VF-E2-Sec	VF-E3-Sec	VF-E4-Sec
VF-E1-Sec			X	
VF-E2-Sec				
VF-E3-Sec	X			
VF-E4-Sec				

Tabela IV.37: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **Acidez total (mg/L)**, entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Secchi**.

	RM-E1-Sec	**RM-E2-Sec**	**RM-E3-Sec**	**RM-E4-Sec**	**SA-E1-Sec**	**SA-E2-Sec**	**SA-E3-Sec**	**SA-E4-Sec**	**VF-E1-Sec**	**VF-E2-Sec**	**VF-E3-Sec**	**VF-E4-Sec**
RM-E1-Sec												
RM-E2-Sec												
RM-E3-Sec												
RM-E4-Sec											X	X
SA-E1-Sec										X	X	X
SA-E2-Sec											X	X
SA-E3-Sec									X	X	X	X
SA-E4-Sec											X	X
VF-E1-Sec							X					
VF-E2-Sec					X		X					
VF-E3-Sec				X	X	X	X	X				
VF-E4-Sec				X	X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.38: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **condutividade elétrica (**µnho/cm**)**, entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Secchi**.

	RM-E1-Sec	**RM-E2-Sec**	**RM-E3-Sec**	**RM-E4-Sec**	**SA-E1-Sec**	**SA-E2-Sec**	**SA-E3-Sec**	**SA-E4-Sec**	**VF-E1-Sec**	**VF-E2-Sec**	**VF-E3-Sec**	**VF-E4-Sec**
RM-E1-Sec					X	X	X	X	X	X	X	X
RM-E2-Sec					X	X	X	X	X	X	X	X
RM-E3-Sec					X	X	X	X	X	X	X	X
RM-E4-Sec					X	X	X	X	X	X	X	X
SA-E1-Sec	X	X	X	X					X	X	X	X
SA-E2-Sec	X	X	X	X					X	X	X	X
SA-E3-Sec	X	X	X	X					X	X	X	X
SA-E4-Sec	X	X	X	X					X	X	X	X
VF-E1-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E2-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E3-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E4-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.39: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **nitrogênio amoniacal total** (mg/L N), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Secchi**.

	RM-E1-Sec	**RM-E2-Sec**	**RM-E3-Sec**	**RM-E4-Sec**	**SA-E1-Sec**	**SA-E2-Sec**	**SA-E3-Sec**	**SA-E4-Sec**	**VF-E1-Sec**	**VF-E2-Sec**	**VF-E3-Sec**	**VF-E4-Sec**
RM-E1-Sec									X	X	X	X
RM-E2-Sec									X	X	X	X
RM-E3-Sec									X	X	X	X
RM-E4-Sec									X	X	X	X
SA-E1-Sec									X	X	X	X
SA-E2-Sec									X	X	X	X
SA-E3-Sec									X	X	X	X
SA-E4-Sec									X	X	X	X
VF-E1-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E2-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E3-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E4-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.40: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **oxigênio dissolvido** (mg/L O_2), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Secchi**.

	RM-E1-Sec	**RM-E2-Sec**	**RM-E3-Sec**	**RM-E4-Sec**	**SA-E1-Sec**	**SA-E2-Sec**	**SA-E3-Sec**	**SA-E4-Sec**	**VF-E1-Sec**	**VF-E2-Sec**	**VF-E3-Sec**	**VF-E4-Sec**
RM-E1-Sec												
RM-E2-Sec												
RM-E3-Sec												
RM-E4-Sec										X		X
SA-E1-Sec												
SA-E2-Sec												
SA-E3-Sec												
SA-E4-Sec												
VF-E1-Sec												
VF-E2-Sec				X								
VF-E3-Sec												
VF-E4-Sec				X								

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.41: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **pH**, entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Secchi**.

	RM-E1-Sec	**RM-E2-Sec**	**RM-E3-Sec**	**RM-E4-Sec**	**SA-E1-Sec**	**SA-E2-Sec**	**SA-E3-Sec**	**SA-E4-Sec**	**VF-E1-Sec**	**VF-E2-Sec**	**VF-E3-Sec**	**VF-E4-Sec**
RM-E1-Sec									X	X	X	X
RM-E2-Sec									X	X	X	X
RM-E3-Sec					X					X	X	X
RM-E4-Sec					X	X				X	X	
SA-E1-Sec			X	X					X	X	X	X
SA-E2-Sec				X					X	X	X	X
SA-E3-Sec									X	X	X	X
SA-E4-Sec									X	X	X	X
VF-E1-Sec	X	X			X	X	X	X				
VF-E2-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E3-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E4-Sec	X	X	X		X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.42: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **sólidos dissolvidos totais** (mg/L), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Secchi**.

	RM-E1-Sec	**RM-E2-Sec**	**RM-E3-Sec**	**RM-E4-Sec**	**SA-E1-Sec**	**SA-E2-Sec**	**SA-E3-Sec**	**SA-E4-Sec**	**VF-E1-Sec**	**VF-E2-Sec**	**VF-E3-Sec**	**VF-E4-Sec**
RM-E1-Sec									X	X	X	X
RM-E2-Sec									X	X	X	X
RM-E3-Sec									X	X	X	X
RM-E4-Sec									X	X	X	X
SA-E1-Sec									X	X	X	X
SA-E2-Sec									X	X	X	X
SA-E3-Sec									X	X	X	X
SA-E4-Sec									X	X	X	X
VF-E1-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E2-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E3-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E4-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.43: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **sólidos em suspensão totais** (mg/L), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Secchi**.

	RM-E1-Sec	**RM-E2-Sec**	**RM-E3-Sec**	**RM-E4-Sec**	**SA-E1-Sec**	**SA-E2-Sec**	**SA-E3-Sec**	**SA-E4-Sec**	**VF-E1-Sec**	**VF-E2-Sec**	**VF-E3-Sec**	**VF-E4-Sec**
RM-E1-Sec										X	X	X
RM-E2-Sec										X	X	X
RM-E3-Sec											X	
RM-E4-Sec											X	
SA-E1-Sec									X	X	X	X
SA-E2-Sec									X	X	X	X
SA-E3-Sec											X	
SA-E4-Sec												
VF-E1-Sec					X	X						
VF-E2-Sec	X	X			X	X						
VF-E3-Sec	X	X	X	X	X	X	X					
VF-E4-Sec	X	X			X	X						

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.44: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **sólidos totais** (mg/L), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Secchi**.

	RM-E1-Sec	**RM-E2-Sec**	**RM-E3-Sec**	**RM-E4-Sec**	**SA-E1-Sec**	**SA-E2-Sec**	**SA-E3-Sec**	**SA-E4-Sec**	**VF-E1-Sec**	**VF-E2-Sec**	**VF-E3-Sec**	**VF-E4-Sec**
RM-E1-Sec									X	X	X	X
RM-E2-Sec									X	X	X	X
RM-E3-Sec									X	X	X	X
RM-E4-Sec									X	X	X	X
SA-E1-Sec									X	X	X	X
SA-E2-Sec									X	X	X	X
SA-E3-Sec									X	X	X	X
SA-E4-Sec									X	X	X	X
VF-E1-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E2-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E3-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				
VF-E4-Sec	X	X	X	X	X	X	X	X				

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

Tabela IV.45: Resultados dos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, ao nível de significância de 5%, que indicaram diferenças significativas para o parâmetro **turbidez** (UNT), entre as estações dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso na profundidade **Secchi**.

	RM-E1-Sec	**RM-E2-Sec**	**RM-E3-Sec**	**RM-E4-Sec**	**SA-E1-Sec**	**SA-E2-Sec**	**SA-E3-Sec**	**SA-E4-Sec**	**VF-E1-Sec**	**VF-E2-Sec**	**VF-E3-Sec**	**VF-E4-Sec**
RM-E1-Sec												
RM-E2-Sec												
RM-E3-Sec												
RM-E4-Sec												
SA-E1-Sec											X	
SA-E2-Sec											X	
SA-E3-Sec												
SA-E4-Sec												
VF-E1-Sec												
VF-E2-Sec												
VF-E3-Sec					X	X						
VF-E4-Sec												

Nota: X corresponde a valores de $p < 0,05$, ou seja, apresentam diferenças significativas.

ANEXO I

Quadro I.1: Descrição detalhada de cada classe de uso e ocupação do solo identificadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba para os biomas Mata Atlântica e Cerrado.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Biomas	Descrição
Floresta	Floresta Natural	Formação Florestal		Cerrado	Tipos de vegetação com predomínio de dossel contínuo – Savana-Estépica Florestada, Floresta Estacional Semi-Decidual e Decidual
				Mata Atlântica	Floresta Ombrófila Densa, Aberta e Mista e Floresta Estacional Semi-Decidual, Floresta Estacional Decidual e Formação Pioneira Arbórea
		Formação savânica		Cerrado	Formação savânicas com estratos arbóreo e arbustivo-herbáceos definidos (Cerrado Sentido Restrito: Cerrado denso, Cerrado típico, Cerrado ralo e Cerrado rupestre).
				Mata Atlântica	Savanas, Savanas-Estépicas Florestadas e Arborizadas.
		Floresta plantada			Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. eucalipto, pinus, araucária).
	Formação campestre			Cerrado	Formação campestres com predominância de estrato herbáceo (campo sujo, campo limpo e campo rupestre) e algumas áreas de formações savânicas como Parque de Cerrado e Cerrado rupestre.
				Mata Atlântica	Savanas e Savanas-Estépicas Parque e Gramíneo-Lenhosa, Estepe e Pioneiras Arbustivas e Herbáceas.
	Afloramento rochoso			Mata Atlântica	Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupícola e alta declividade.
Agropecuária	Pastagem				Área de pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas a atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural são predominantemente classificadas como formação campestre que podem ou não ser pastejadas.
	Agricultura	Lavoura Temporária	Soja		Áreas cultivadas com a cultura da soja.
			Cana		Áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar
			Outras Lavouras Temporárias		Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir.
		Lavoura Perene			Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (mais de um ano), que permitem colheitas sucessivas, sem necessidade de novo plantio.
	Mosaico de agricultura e pastagem			Mata Atlântica	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.

Quadro I.1: Descrição detalhada de cada classe de uso e ocupação do solo identificadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba para os biomas Mata Atlântica e Cerrado (Continuação).

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Biomas	Descrição
Área não vegetada	Infraestrutura urbana				Áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, vias e construções.
	Mineração				Áreas referentes a extração mineral de grande porte, havendo clara exposição do solo por ação de maquinário pesado. Somente são consideradas áreas próximas a referência da digital da AhkBrasilien (AHK) e do CPRM.
	Outras áreas não vegetadas			Cerrado	Áreas de superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes e regiões de solo exposto em área natural ou em áreas de cultura em entressafra.
				Mata Atlântica	Áreas de superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.
Corpos D´água	Rio, Lago e Oceano				Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d´água.

Fonte: Adaptado de MAPBIOMAS, 2020b.

ANEXO II

Tabela II.1: Limites legais estabelecidos pela DN COPAM/CERH-MG nº 01/08 por classes de enquadramento.

Parâmetro	Unidade	Valores máximos permitidos		
		Classe 1	Classe 2	Classe 3
Alcalinidade total	mg/L $CaCO_3$	-	-	-
Alumínio dissolvido	mg/L Al	0,1	0,1	0,2
Arsênio total	mg/L As	0,01	0,01	0,033
Bário total	mg/L Ba	0,7	0,7	1,0
Boro total	Mg/L B	0,5	0,5	0,75
Cálcio total	mg/L Ca	-	-	-
Cádmio total	mg/L Cd	0,001	0,001	0,1
Chumbo total	mg/L Pb	0,01	0,01	0,033
Cianeto livre	mg/L CN	0,005	0,005	0,022
Cloreto total	mg/L Cl	250	250	250
Clorofila *a*	µg/L	10	30	60
Cobre dissolvido	mg/L Cu	0,009	0,009	0,013
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	200	1000	4000
Condutividade elétrica *in loco*	µmho/cm	-	-	-
Cor verdadeira	mg/L Pt	-	75	75
Cromo total	Mg/L Cr	0,05	0,05	0,05
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L O_2	3	5	10
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O_2	-	-	-
Dureza total	mg/L $CaCO_3$	-	-	-
Fenóis totais	mg/L C_6H_5OH	0,003	0,003	0,01
Ferro dissolvido	mg/L Fe	0,3	0,3	5,0
Ferro total	mg/L Fe	-	-	-
Fósforo total	mg/L P	0,1	0,1	0,15
Magnésio total	mg/L Mg	-	-	-
Manganês total	mg/L Mn	0,1	0,1	0,5
Mercúrio total	µg/L Hg	0, 2	0,2	2
Níquel total	mg/L Ni	0,025	0,025	0,025
Nitrato	mg/L N	10,0	10,0	10,0
Nitrogênio amoniacal total	mg/L N	3,7: pH ≤ 7,5 2,0: 7,5<pH≤8,0 1,0: 8,0<pH≤8,5 0,5: pH > 8,5	3,7: pH ≤ 7,5 2,0: 7,5<pH≤8,0 1,0: 8,0<pH≤8,5 0,5: pH > 8,5	13,3: pH ≤ 7,5 5,6: 7,5<pH≤8,0 2,2: 8,0<pH≤8,5 1,0: pH > 8,5
Oxigênio dissolvido	mg/L O_2	6	5	4
pH *in loco*		6 – 9	6 - 9	6 - 9
Potássio dissolvido	mg/L K	-	-	-
Sódio dissolvido	mg/L Na	-	-	-
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	500	500	500
Sólidos em suspensão totais	mg/L	50	100	100
Sólidos totais	mg/L	-	-	-
Substâncias tensoativas	mg/L LAS	0,5	0,5	0,5
Sulfato total	mg/L SO_4	250	250	250
Temperatura da água	°C	-	-	-
Turbidez	UNT	40	100	100
Zinco total	mg/L Zn	0,18	0,18	5