

XXX CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI FORTALEZA - CE

DIREITO E SUSTENTABILIDADE I

NORMA SUELI PADILHA

RENATA ALBUQUERQUE LIMA

JERÔNIMO SIQUEIRA TYBUSCH

Todos os direitos reservados e protegidos. Nenhuma parte destes anais poderá ser reproduzida ou transmitida sejam quais forem os meios empregados sem prévia autorização dos editores.

Diretoria - CONPEDI

Presidente - Profa. Dra. Samyra Haydêe Dal Farra Naspolini - FMU - São Paulo

Diretor Executivo - Prof. Dr. Orides Mezzaroba - UFSC - Santa Catarina

Vice-presidente Norte - Prof. Dr. Jean Carlos Dias - Cesupa - Pará

Vice-presidente Centro-Oeste - Prof. Dr. José Querino Tavares Neto - UFG - Goiás

Vice-presidente Sul - Prof. Dr. Leonel Severo Rocha - Unisinos - Rio Grande do Sul

Vice-presidente Sudeste - Profa. Dra. Rosângela Lunardelli Cavallazzi - UFRJ/PUCRio - Rio de Janeiro

Vice-presidente Nordeste - Prof. Dr. Raymundo Juliano Feitosa - UNICAP - Pernambuco

Representante Discente: Prof. Dr. Abner da Silva Jaques - UPM/UNIGRAN - Mato Grosso do Sul

Conselho Fiscal:

Prof. Dr. José Filomeno de Moraes Filho - UFMA - Maranhão

Prof. Dr. Caio Augusto Souza Lara - SKEMA/ESDHC/UFMG - Minas Gerais

Prof. Dr. Valter Moura do Carmo - UFERSA - Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Fernando Passos - UNIARA - São Paulo

Prof. Dr. Edinilson Donisete Machado - UNIVEM/UENP - São Paulo

Secretarias

Relações Institucionais:

Prof. Dra. Claudia Maria Barbosa - PUCPR - Paraná

Prof. Dr. Heron José de Santana Gordilho - UFBA - Bahia

Profa. Dra. Daniela Marques de Moraes - UNB - Distrito Federal

Comunicação:

Prof. Dr. Robison Tramontina - UNOESC - Santa Catarina

Prof. Dr. Liton Lanes Pilau Sobrinho - UPF/Univali - Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Lucas Gonçalves da Silva - UFS - Sergipe

Relações Internacionais para o Continente Americano:

Prof. Dr. Jerônimo Siqueira Tybusch - UFSM - Rio Grande do sul

Prof. Dr. Paulo Roberto Barbosa Ramos - UFMA - Maranhão

Prof. Dr. Felipe Chiarello de Souza Pinto - UPM - São Paulo

Relações Internacionais para os demais Continentes:

Profa. Dra. Gina Vidal Marcilio Pompeu - UNIFOR - Ceará

Profa. Dra. Sandra Regina Martini - UNIRITTER / UFRGS - Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Maria Claudia da Silva Antunes de Souza - UNIVALI - Santa Catarina

Eventos:

Prof. Dr. Yuri Nathan da Costa Lannes - FDF - São Paulo

Profa. Dra. Norma Sueli Padilha - UFSC - Santa Catarina

Prof. Dr. Juraci Mourão Lopes Filho - UNICHRISTUS - Ceará

Membro Nato - Presidência anterior Prof. Dr. Raymundo Juliano Feitosa - UNICAP - Pernambuco

D597

Direito e Sustentabilidade I [Recurso eletrônico on-line] Organização CONPEDI

Coordenadores: Jerônimo Siqueira Tybusch; Norma Sueli Padilha; Renata Albuquerque Lima. – Florianópolis: CONPEDI, 2023.

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-5648-854-7

Modo de acesso: www.conpedi.org.br em publicações

Tema: Saúde: Acesso à justiça, Solução de litígios e Desenvolvimento

1. Direito – Estudo e ensino (Pós-graduação) – Encontros Nacionais. 2. Direito. 3. Sustentabilidade. XXX Congresso Nacional do CONPEDI Fortaleza - Ceará (3; 2023; Florianópolis, Brasil).

CDU: 34



XXX CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI FORTALEZA - CE

DIREITO E SUSTENTABILIDADE I

Apresentação

TEXTO DE APRESENTAÇÃO - GT DIREITO E SUSTENTABILIDADE I

Apresentam-se os trabalhos exibidos, no dia 16 de novembro de 2023, no Grupo de Trabalho (GT) de Direito e Sustentabilidade I do XXX Congresso Nacional do CONPED "Acesso à justiça, soluções de litígios e desenvolvimento", do Conselho Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Direito - CONPEDI.

O GT, de coordenação dos trabalhos dos Professores Doutores Renata Albuquerque Lima, Norma Sueli Padilha e Jerônimo Siqueira Tybusch, que envolveu vinte e um artigos que, entre perspectivas teóricas e práticas, demonstraram a importância da sustentabilidade nos mais variados organismos da contemporaneidade. Os trabalhos apresentados abriram caminho para uma importante discussão, em que os operadores do Direito puderam interagir, levando-se em consideração o momento político, social e econômico vivido pela atual sociedade brasileira.

O primeiro trabalho, de autoria de Ana Cacilda Rezende Reis, apresentado pela mesma, tem como tema "A EXIGIBILIDADE DO PLANO DE EMERGÊNCIA COMO POTENCIALIZADORA DA SUSTENTABILIDADE NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL FEDERAL", objetivou compreender e apresentar formas de fortalecer a capacidade de resposta do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) em emergências ambientais, com a exigibilidade legal do Plano de Emergência apto a limitar e mitigar os danos ambientais decorrentes destes eventos, contribuindo assim para a sustentabilidade e maior equilíbrio entre meio ambiente, transformação econômica e impactos sociais.

"A SUSTENTABILIDADE DOS REGIMES PRÓPRIOS DE PREVIDÊNCIA DOS SERVIDORES PÚBLICOS: UMA ANÁLISE PRINCÍPIOLÓGICA À LUZ DA DOUTRINA DE RONALD DWORKIN" é o trabalho de Maria Rejane Sampaio dos Santos Vieira, Luciana Diniz Durães Pereira e Gabriela Oliveira Freitas, apresentado pela terceira autora. As pesquisadoras partem da hipótese de que é possível implementar a sustentabilidade, observando o princípio do equilíbrio financeiro e atuarial e da vedação do retrocesso social, ao lado dos avanços sociais indispensáveis à dignidade da pessoa humana, sob a perspectiva da Teoria dos Princípios de Ronald Dworkin.

Ferdinando Marco Gomes Serejo Sousa, Cesar Augusto Carvalho De Figueiredo e Jose Luis Luvizetto Terra apresentaram o trabalho “ACESSO RESPONSÁVEL À JUSTIÇA SUSTENTÁVEL: CONTRIBUIÇÃO DOS PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA UM POSSÍVEL PROGRAMA DE INCENTIVO À LITIGÂNCIA RESPONSÁVEL” que teve como foco estabelecer uma analogia entre a prestação jurisdicional e o fornecimento de energia elétrica, analisando o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e sua potencial aplicação para comunicar a eficiência de litigância dos usuários frequentes do sistema judiciário.

Talisson de Sousa Lopes, Adriana Silva Lucio e José Claudio Junqueira Ribeiro apresentaram o trabalho intitulado “ANÁLISE COMPARATIVA DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO RIO PARAPEBA APÓS ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE BRUMADINHO – MINAS GERAIS” em que foi feita uma análise comparativa dos resultados das análises da qualidade da água na Bacia do Rio Parapeba, antes e após o rompimento da barragem de rejeitos, em Brumadinho, MG, que foi um dos maiores acidentes de mineração do Brasil e teve um impacto ambiental e social significativo.

Emerson Vasconcelos Mendes, Marcelo Machado de Figueiredo e Renata Albuquerque Lima apresentaram a pesquisa denominada de “COMO A ABORDAGEM ESG PODE AJUDAR A PREVENIR ACIDENTES AMBIENTAIS NA MINERAÇÃO: O CASO BRUMADINHO-MG”, tendo como objetivo principal evidenciar as falhas na Gestão e Análise de Risco da Vale do Rio Doce e sua relação com o acidente ambiental na cidade de Brumadinho no Estado de Minas Gerais e elencar práticas de prevenção com a implementação do ESG.

Marcos Leite apresentou o artigo " COMO A SOCIEDADE CONSUMISTA ATUAL PODE SER UM FATOR DA CRISE DEMOCRÁTICA E QUAIS OS POSSÍVEIS IMPACTOS NA CRISE AMBIENTAL", escrito em co-autoria com Dalmir Franklin de Oliveira Júnior e Maria Eduarda Fragomeni Olivaes, oriundo de pesquisa que tem como objetivo analisar a mudança dos padrões de consumo nas sociedades capitalistas, onde as pessoas passam a ser mercadorias, implicando na reconfiguração das relações entre os sujeitos e os bens, com impactos na democracia e no meio ambiente.

Abner da Silva Jaques apresentou o artigo “DO UTILITARISMO À RESPONSABILIDADE: ACEPÇÕES DECORRENTES DA IMPLEMENTAÇÃO DA AGENDA 2030 PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL”, escrito em co-autoria

com Welington Oliveira de Souza dos Anjos Costa, oriundo de pesquisa que se baseia no nascedouro e ascensão das diretivas de sustentabilidade que culminaram na Agenda 2030, a partir da declaração do direito ao desenvolvimento como um Direito Humano.

Vitória Colognesi Abjar apresentou o trabalho “GOVERNANÇA E GOVERNABILIDADE AMBIENTAL: INFLUÊNCIAS NA LEI N. 13.123/2015”, em co-autoria com Loyana Christian de Lima Tomaz e Osania Emerenciano Ferreira, tendo como fulcro analisar a influência da governança e governabilidade ambiental frente ao patrimônio genético, no âmbito da Lei n. 13.123/2015.

Natália Ribeiro Linhares e Bruna Paula da Costa Ribeiro apresentaram a pesquisa intitulada “GOVERNANÇA GLOBAL E ESG (ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND GOVERNANCE) NO BRASIL: NOVOS CAMINHOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL” realizando um resgate histórico da insurgência da ESG, bem como analisando as entidades internacionais envolvidas nas metas do milênio e mercado vinculado ao desenvolvimento sustentável brasileiro.

Márcia Assumpção Lima Momm apresentou o artigo “INCLUSÃO E EQUIDADE PARA MULHERES: UMA ABORDAGEM DO COMPLIANCE INTEGRADO AO ASG PARA PROMOVER A DIVERSIDADE E A SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL” em co-autoria com Eduardo Milleo Baracat, visando explorar a viabilidade do compliance alinhado aos princípios Ambientais, Sociais e de Governança (ASG) como uma estratégia eficaz para fomentar a equidade e inclusão de mulheres em empresas brasileiras.

Paulo Campanha Santana apresentou o artigo “LITIGÂNCIA CLIMÁTICA E O MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL NO COMBATE AO DESMATAMENTO ILEGAL NA AMAZÔNIA” em co-autoria com Leonardo Sampaio de Almeida e Marcia Dieguez Leuzinger, visando investigar quais as perspectivas de atuação do Ministério Público Federal na litigância climática, notadamente relacionada ao combate ao desmatamento ilegal na Amazônia.

Já o trabalho “O PRINCÍPIO DA SUSTENTABILIDADE E A NATUREZA COMO TITULAR DE DIREITOS: UMA PROPOSTA RAZOÁVEL PARA A MITIGAÇÃO DO DEFICIT DE EFETIVIDADE DO PARADIGMA SUSTENTÁVEL, ENTRE ANTROPOCENTRISMO E ECOLOGISMO ABSOLUTIZANTES”, Paulo Campanha Santana apresentou, em co-autoria com Paulo Márcio de Nápolis e Marcia Dieguez Leuzinger, visando revisitar o paradigma da sustentabilidade, convergindo para a sua dimensão de norma-princípio instalada no vértice dos sistemas jurídicos.

Valéria Giumelli Canestrini apresentou a pesquisa “MP ITINERANTE: O MINISTÉRIO PÚBLICO DE RONDÔNIA NA COMUNIDADE EM DEFESA DA SOCIEDADE, UM MODELO DE ATUAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE E GOVERNANÇA” em parceria com Denise S. S. Garcia e Ivanildo De Oliveira, apresentando o Projeto “MP Itinerante”, tendo este projeto objetivo em chegar nas diversas localidades no Estado de Rondônia, inseridas na Amazônia, desprovidas de Comarcas instaladas e identificar as demandas dessas localidades para a atuação do Ministério Público de Rondônia.

Já no trabalho “O MEIO AMBIENTE ENQUANTO SUJEITO DE DIREITOS: ANÁLISE DO CASO DA AÇÃO CIVIL PÚBLICA DA LAGOA DA CONCEIÇÃO, DE FLORIANÓPOLIS”, Valéria Giumelli Canestrini, em parceria com Jaime Leônidas Miranda Alves e Denise S. S. Garcia, analisou se é possível considerar o meio ambiente enquanto sujeito de direitos a partir do estudo de caso da Ação Civil Pública da Lagoa da Conceição, de Florianópolis.

Carla Cristina Alves Torquato Cavalcanti apresentou o trabalho “O CUSTO AMBIENTAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA E O PRINCÍPIO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL” em parceria com Carlos Eduardo Mancuso, em que os mesmos estudam a transição para uma matriz energética limpa, que deverá ser feita de forma responsável, considerando todos os custos ambientais envolvidos.

“O DIREITO À SUSTENTABILIDADE: UMA (RE)LEITURA DOS DIREITOS HUMANOS” foi apresentado por Ana Claudia Da Silva Alexandre Storch que defendeu o direito à sustentabilidade como uma releitura dos direitos humanos, diante da invalidade destes últimos na garantia de uma efetiva justiça ambiental.

“O PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO NA JURISPRUDÊNCIA DO SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL (1988-2019)” foi o trabalho apresentado por Júlia Massadas tendo como foco apresentar os resultados obtidos a partir de pesquisa qualitativa acerca da percepção do Supremo Tribunal Federal (STF) acerca do conceito e aplicação do princípio da precaução (PP) no direito ambiental brasileiro desde a promulgação da Constituição da República Federativa de 1988 até o ano de 2019.

Fernanda Henrique Cupertino Alcântara e Rosana Ribeiro Felisberto apresentaram o trabalho “POLÍTICAS PÚBLICAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS E EMPREENDIMENTOS ECONÔMICOS SOLIDÁRIOS (EES) DE RECICLAGEM EM MINAS GERAIS NO PERÍODO PANDÊMICO (2020-2023)”, em parceria com Emerson Affonso da Costa Moura, visando discutir a regulamentação e a implementação de políticas públicas de

resíduos sólidos no Brasil, ao mesmo tempo em que problematizam a atuação dos Empreendimentos Econômicos Solidários (EES) durante o período pandêmico, entre 2020 e 2023, no Estado de Minas Gerais.

Brychtn Ribeiro de Vasconcelos e Luziane De Figueiredo Simão Leal apresentaram “REFLEXÕES SOBRE A ÁGUA NO SÉCULO XXI: IMPLICAÇÕES DA GOVERNANÇA HÍDRICA, SUSTENTABILIDADE E SOCIOJURÍDICAS”, escrito em co-autoria com Erivaldo Cavalcanti e Silva Filho, tendo o objetivo de ressaltar a importância de uma governança hídrica eficaz para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

“RESERVA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO TUPÉ: ANÁLISE DAS PERCEPÇÕES AMBIENTAIS DOS MORADORES DA COMUNIDADE DE NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO EM MANAUS” foi o trabalho apresentado por Antonio Jorge Barbosa da Silva e Maria Claudia da Silva Antunes De Souza que objetivaram analisar percepções ambientais dos moradores da Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) do Tupé na comunidade de Nossa Senhora do Livramento em Manaus.

Finalmente, “UMA ANÁLISE DA GESTÃO HÍDRICA DA CIDADE DE MANAUS”, este foi o trabalho apresentado por Carla Cristina Alves Torquato Cavalcanti e Cristiniana Cavalcanti Freire, em co-autoria com Sandro Nahmias Melo. Com a referida pesquisa, observou-se que existe o fenômeno da segregação socioespacial na distribuição de água em Manaus. As zonas mais pobres e vulneráveis da cidade têm acesso mais precário à água, enquanto as zonas mais ricas têm acesso mais garantido. Tal dificuldade não se dá somente por dificuldades operacionais, mas também devido as ações incipientes que são tomadas na gestão hídrica municipal.

Agradecemos a todos os pesquisadores da presente obra pela sua inestimável colaboração, desejamos uma ótima e proveitosa leitura!

Coordenadores:

Profa. Dra. Renata Albuquerque Lima – UNICHRISTUS

Prof. Dr. Jerônimo Siqueira Tybusch – Universidade Federal de Santa Maria

Profa. Dra. Norma Sueli Padilha – Universidade Federal de Santa Catarina

**ANÁLISE COMPARATIVA DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO RIO
PARAOPEBA APÓS ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE BRUMADINHO –
MINAS GERAIS**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF WATER QUALITY IN THE RIVER BASIN
PARAOPEBA AFTER BRUMADINHO DAM BREAKDOWN – MINAS GERAIS**

**Talisson de Sousa Lopes
Adriana Silva Lucio
José Claudio Junqueira Ribeiro**

Resumo

O presente artigo tem como objetivo realizar uma análise comparativa dos resultados das análises da qualidade da água na Bacia do Rio Paraopeba, antes e após o rompimento da barragem de rejeitos, em Brumadinho, MG, que foi um dos maiores acidentes de mineração do Brasil e teve um impacto ambiental e social significativo. Mais de 270 pessoas foram mortas e muitas outras ficaram desabrigadas nos trechos atingidos pela lama de rejeitos. Além disso, o rio Paraopeba foi severamente contaminado por rejeitos de minério de ferro, sofrendo danos ambientais graves, afetando a fauna e a flora da região. A metodologia utilizada foi a exploratória dedutiva, com base na legislação, artigos científicos e resultados de monitoramento publicados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Concluiu-se que o desastre ambiental alterou vários parâmetros e interferiu negativamente na qualidade das águas da bacia do Rio Paraopeba, que em 2022, no entanto já apresentava redução significativa dos níveis, indicando possível tendência à normalidade. Destaca-se que muitos parâmetros já se encontravam acima dos valores de referência antes mesmo da ocorrência do evento catastrófico, revelando a necessidade de mais investimentos em saneamento básico, melhoria na eficiência do tratamento dos efluentes de mineração, manejo adequado do solo, preservação da vegetação marginal e ações de educação ambiental.

Palavras-chave: Brumadinho rompimento de barragem, Rejeitos de mineração, Qualidade de água, Rio paraopeba, Desastre ambiental

Abstract/Resumen/Résumé

The aim of this article is to carry out a comparative analysis of the results of water quality analyses in the Paraopeba River Basin, before and after the collapse of the tailings dam in Brumadinho, MG, which was one of the biggest mining accidents in Brazil and had a significant environmental and social impact. More than 270 people were killed and many others were left homeless in the areas affected by the tailings mud. In addition, the Paraopeba River was severely contaminated by iron ore tailings and suffered serious environmental damage, affecting the region's fauna and flora. The methodology used was exploratory deductive, based on legislation, scientific articles and monitoring results published by the Minas Gerais Institute of Water Management (IGAM). It was concluded that the

environmental disaster altered several parameters and negatively interfered with the water quality of the Paraopeba River basin, which in 2022, however, already showed a significant reduction in levels, indicating a possible trend towards normality. It is noteworthy that many parameters were already above the reference values even before the catastrophic event occurred, revealing the need for more investment in basic sanitation, improved efficiency in the treatment of mining effluents, proper soil management, preservation of marginal vegetation and environmental education actions.

Keywords/Palabras-claves/Mots-clés: Brumadinho dam break, Tailing mining, Water quality, Paraopeba river, Environmental disaster

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com uma das maiores disponibilidades hídricas do mundo, possuindo uma abundância de recursos hídricos, como rios, lagos, aquíferos e um vasto litoral. No entanto, apesar da abundância, é importante ressaltar que a má gestão dos recursos, a poluição da água, as mudanças climáticas e a degradação ambiental podem afetar negativamente a disponibilidade hídrica em algumas áreas do país.

Além da disponibilidade hídrica outro aspecto crucial é a qualidade da água, que é essencial para a saúde humana, o meio ambiente e a vida em geral. Existem vários fatores que determinam a qualidade da água, incluindo sua composição físico química, a exemplo de temperatura e níveis de oxigênio dissolvido respectivamente; e presença de contaminantes e microrganismos.

As águas da bacia do rio Paraopeba tiveram sua qualidade alterada, pois em 25 de janeiro de 2019, ocorreu o rompimento da Barragem do Córrego do Feijão, localizada no município de Brumadinho, na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), Minas Gerais, Brasil. Tratava-se de uma barragem de rejeitos de mineração pertencente à empresa Vale S.A., uma das maiores mineradoras do mundo.

O desastre de Brumadinho foi um dos maiores acidentes de mineração do Brasil e teve um impacto ambiental e social significativo. Mais de 270 pessoas foram mortas e muitas outras ficaram desabrigadas. Além disso, o rio Paraopeba, que foi severamente contaminado por rejeitos de minério de ferro, sofreu danos ambientais graves, afetando a fauna e a flora da região. Mediante a gravidade dos impactos gerados, tanto no curso d'água quanto na comunidade em geral, verificou-se a necessidade de estudar os efeitos do acidente sobre a qualidade da água na referida bacia.

A metodologia utilizada foi a exploratória dedutiva com base na revisão bibliográfica e análise comparativa dos resultados das análises da qualidade da água na Bacia do Rio Paraopeba nos trechos atingidos pela lama de rejeitos, a partir de dados disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), dois anos antes e três anos após o acidente Ambiental e relatórios disponibilizados pela Agência Nacional de Águas – ANA.

A importância deste estudo está em acompanhar qual o cenário atual da qualidade das águas na Bacia do Rio Paraopeba a fim de verificar se as metas estabelecidas foram cumpridas. Destaca-se que o acesso à água potável se revela como um direito humano, que se relaciona ao direito à vida e a dignidade da pessoa humana.

Para alcançar o objetivo proposto foram realizadas consultas à legislação, a artigos científicos e análise de resultados de monitoramento publicados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) no Informativo nº 54 de outubro de 2019, a partir do mês de agosto de 2019 (IGAM, 2019).

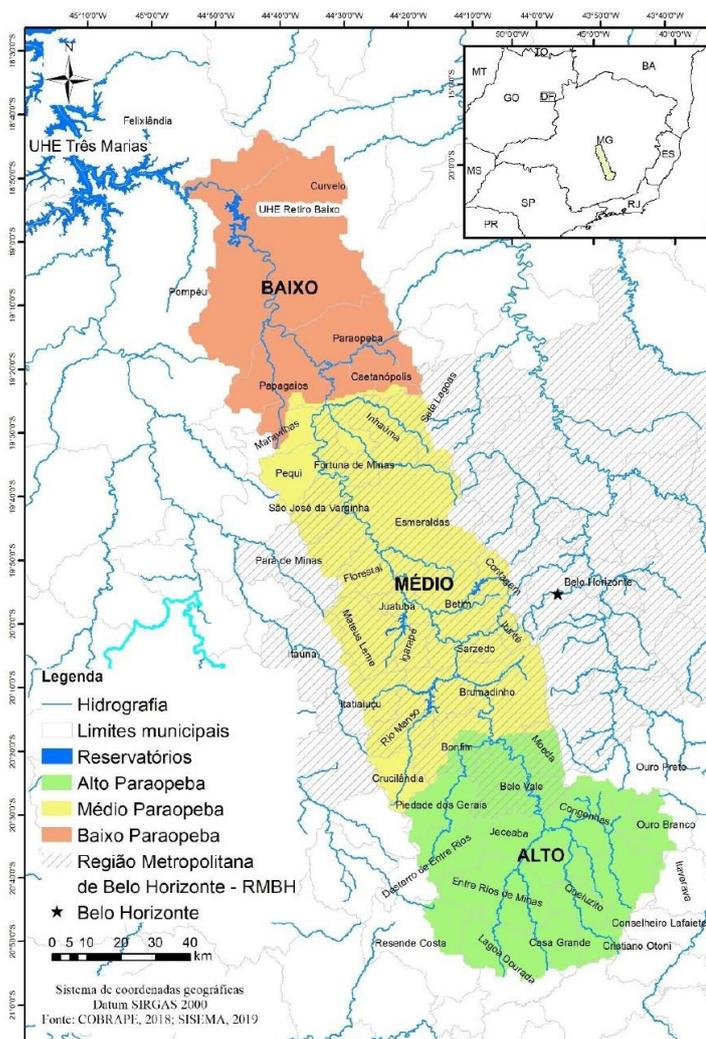
Nesse sentido, na primeira seção é realizada a caracterização da bacia do Rio Paraopeba, pontuada a presença da reserva de minério de ferro na região, destaca-se a presença da Mina Córrego do Feijão bem como a importância do monitoramento de qualidade da água. Na segunda seção, detalha-se a metodologia adotada para elaboração do artigo; na terceira seção, discute-se os resultados do monitoramento da qualidade da água. Por fim, apresentam-se as conclusões do artigo.

2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAOPEBA

A bacia hidrográfica do rio Paraopeba situa-se na região central do estado de Minas Gerais (Figura 1) e abrange uma área de 12.054 km² sendo um dos principais afluentes do rio São Francisco. O rio Paraopeba percorre 550 km da sua nascente no extremo sul da Serra do Espinhaço, município de Cristiano Ottoni, 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.

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, se caracteriza com o Alto Paraopeba tendo uma área de aproximadamente 3.600 km², o Médio Paraopeba representa aproximadamente 5.154 km² do território e a área do Baixo Paraopeba corresponde à aproximadamente 3.300 km². Essa subdivisão é apresentada na Figura 2 (COBRAPE, 2018).

Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio Paraopeba



Fonte: SOARES, 2021.

A bacia hidrográfica do Rio Paraopeba é caracterizada por sua relevância para a disponibilidade de água, para o abastecimento público, agricultura, indústria, mineração e geração de energia; também desempenha um papel ecológico significativo, fornecendo habitat para diversas espécies de fauna e flora e contribuindo para a biodiversidade regional.

No entanto, é importante ressaltar que a bacia hidrográfica do rio Paraopeba enfrentou graves impactos ambientais devido ao rompimento da barragem de rejeitos de mineração em Brumadinho, em janeiro de 2019. Esse desastre resultou na contaminação da água do rio e teve consequências ambientais significativas ao longo da bacia. Portanto, a gestão e preservação da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba são fundamentais para a conservação dos recursos hídricos, a proteção da biodiversidade e o desenvolvimento sustentável da região.

2.1 Caracterização Geológica e Geomorfológica

A geologia da Bacia do Rio Paraopeba é composta principalmente por rochas do período Pré-Cambriano, que datam de milhões de anos atrás. As rochas mais comuns são o quartzito, o granito, o gnaíse e o calcário. Essas rochas possuem diferentes graus de resistência à erosão e desempenham um papel importante na formação da paisagem e dos solos da região (SOARES, 2021).

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 seguintes regiões geomorfológicas estão presentes na bacia hidrográfica do rio Paraopeba: Depressão do São Francisco; Planalto Centro-Sul Mineiro; Planaltos do Leste de Minas; e Quadrilátero Ferrífero (SISEMA, 2021).

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).

Nessa região geomorfológica, na porção leste do Alto Paraopeba, onde se situa o município de Brumadinho, se identifica a presença de atividades minerárias nesses locais (SOARES, 2021).

O rio Paraopeba é o principal curso d'água da região, desempenhando papel central na geomorfologia, atravessando áreas montanhosas e formando um vale ao longo do seu

percurso, caracterizado por colinas, terraços fluviais e áreas aluviais, que são importantes para a agricultura e para a ocupação humana na região.

Os depósitos aluviais são formados pela sedimentação de materiais transportados pelos rios ao longo do tempo. Esses depósitos são geralmente compostos por areia, argila e cascalho, e desempenham um papel importante na fertilidade do solo e no armazenamento de água subterrânea.

2.2 Minério de ferro

A Bacia do rio Paraopeba é conhecida por abrigar importantes reservas de minério de ferro. Essas reservas são exploradas por meio de atividades de mineração, o que tem um impacto significativo na região. A extração de minério de ferro na Bacia do rio Paraopeba contribui para o desenvolvimento econômico da região, fornecendo empregos e recursos financeiros. No entanto, a mineração também traz desafios e impactos ambientais que precisam ser gerenciados de forma adequada.

Um dos principais desafios associados à mineração de minério de ferro é a gestão dos resíduos gerados durante o processo. A Bacia do rio Paraopeba foi duramente afetada pelo rompimento da barragem de rejeitos em Brumadinho, que liberou uma grande quantidade de lama na região, resultando em graves impactos ambientais e sociais.

Além disso, a mineração pode causar alterações no relevo e na geomorfologia da região, devido à remoção de solo e à modificação dos cursos d'água. Isso pode levar a processos de erosão e assoreamento, afetando a qualidade da água e os ecossistemas aquáticos. A atividade de mineração também pode resultar na emissão de poeira e poluentes atmosféricos, como partículas finas e gases, que podem ter impactos na qualidade do ar e na saúde humana (CUSTÓDIO; RIBEIRO, 2021).

Diante desses desafios, é essencial implementar práticas adequadas de gestão ambiental, como o monitoramento constante da qualidade da água, o tratamento adequado de rejeitos e a recuperação de áreas degradadas. Além disso, é fundamental o cumprimento rigoroso das normas ambientais e o fortalecimento da fiscalização para garantir a proteção do meio ambiente e a segurança das comunidades afetadas pela mineração.

Deve-se reforçar que a gestão sustentável da atividade mineradora na Bacia do rio Paraopeba é fundamental para conciliar os interesses econômicos com a proteção ambiental e o bem-estar das comunidades locais. A busca por práticas mais sustentáveis na mineração, como a redução de impactos ambientais e o uso eficiente dos recursos naturais, é essencial

para garantir a sustentabilidade da região a longo prazo.

2.3 Monitoramento de qualidade da água

O monitoramento da qualidade da água é uma prática essencial para avaliar a saúde dos corpos d'água, identificar possíveis contaminações e tomar medidas adequadas para sua proteção e gestão sustentável. Existem diferentes aspectos que podem ser monitorados na qualidade da água, incluindo parâmetros físicos, químicos e biológicos.

Vale ressaltar, que os padrões de qualidade das águas e os limites individuais para cada substância em cada classe, são estabelecidos pelo art. 7º da Resolução CONAMA nº 357/2005, sendo que quaisquer interações entre substâncias, especificadas ou não na Resolução, não poderão conferir às águas características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, assim como de restringir os usos preponderantes previstos (BRASIL,2005).

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 se tornam 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 Estado de Minas Gerais, uma das bacias sujeitas às pressões ambientais descritas é a bacia hidrográfica do rio Paraopeba, localizada na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH e que integra a região do Alto Rio São Francisco.

O monitoramento de qualidade da água na referida bacia se tornou ainda de maior importância devido aos impactos ambientais e à contaminação ocorrida em consequência do rompimento da barragem de rejeitos de mineração em Brumadinho, em janeiro de 2019.

Os programas de monitoramento na Bacia do rio Paraopeba são conduzidos por diferentes instituições, como agências ambientais, órgãos governamentais, instituições de pesquisa e empresas responsáveis pelo desastre. Os resultados desses monitoramentos são utilizados para a tomada de decisões, gestão ambiental, estabelecimento de medidas de mitigação e recuperação, além de orientar ações de controle da poluição e prevenção de futuros desastres.

Vale destacar que a recuperação da qualidade da água na Bacia do Rio Paraopeba é um desafio complexo e de longo prazo, requerendo esforços contínuos de monitoramento e

implementação de medidas adequadas para garantir a segurança e a sustentabilidade dos recursos hídricos.

É importante ressaltar que o monitoramento de qualidade da água deve ser realizado de forma consistente e abrangente, levando em consideração as características específicas da bacia hidrográfica e as necessidades locais. A cooperação entre diferentes atores e a participação da comunidade são fundamentais para garantir a eficácia desses esforços de monitoramento e proteção dos recursos hídricos.

2.4 Mina Córrego do Feijão

A Mina Córrego do Feijão é uma mina de minério de ferro localizada no município de Brumadinho, em Minas Gerais, Brasil. Essa mina pertence à empresa Vale S.A., uma das maiores empresas de mineração do mundo.

Em 25 de janeiro de 2019, ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos da Mina Córrego do Feijão, resultando em uma das maiores catástrofes socioambientais da história do Brasil. O rompimento liberou uma enorme quantidade de lama contendo os rejeitos, que se espalharam ao longo do rio Paraopeba, causando perda de vidas humanas e graves danos ambientais.

O desastre causou uma contaminação severa na bacia hidrográfica do Rio Paraopeba, afetando a qualidade da água, impactando os ecossistemas locais, com significativos impactos ambientais, sociais e econômicos. Houve devastação da vegetação, mortandade de peixes e outros organismos aquáticos, além de prejuízos socioeconômicos para as comunidades locais que dependiam dos recursos naturais da região.

Após o rompimento, a Mina Córrego do Feijão foi desativada e medidas emergenciais foram tomadas para mitigar os impactos e buscar a recuperação ambiental da área afetada. Foram realizados esforços para remoção dos rejeitos, recuperação de nascentes, revegetação e monitoramento da qualidade da água e dos ecossistemas afetados.

O desastre na Mina Córrego do Feijão evidenciou a necessidade de revisão e aprimoramento das normas de segurança e fiscalização das barragens de rejeitos no Brasil. Além disso, trouxe à tona questões sobre a responsabilidade das empresas mineradoras na prevenção de acidentes e na reparação dos danos causados.

Atualmente, a área da antiga Mina Córrego do Feijão está sendo objeto de estudos e ações para a recuperação socioambiental, a fim de mitigar os impactos e promover a restauração dos ecossistemas afetados pelo desastre. A memória do ocorrido permanece como

um alerta para a importância da segurança na mineração e da proteção dos recursos naturais e das comunidades que dependem deles.

3 METODOLOGIA/COLETA DE DADOS

A revisão bibliográfica desempenha um papel central no processo de pesquisa, fornecendo um panorama abrangente sobre o tema de estudo, embasamento teórico, identificação de lacunas no conhecimento, análise crítica e atualização do conhecimento. Ela envolve a busca, seleção e análise crítica da literatura existente sobre um determinado tema, fornecendo uma base sólida de informações e embasamento teórico para o trabalho acadêmico ou científico.

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 entre 2017 e 2018, anterior ao desastre na barragem B1 na Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale/SA no município de Brumadinho, possibilitando, desta forma, verificar a variabilidade de cada parâmetro antes do impacto da chegada dos rejeitos.

O rio Paraopeba, no trecho impactado pelo desastre ambiental, está enquadrado como Classe 2 pela Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam) nº 14/1995. Assim, os valores obtidos no monitoramento foram confrontados com os limites estabelecidos para classe 2 na Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG nº 01/2008 e da Resolução Conama nº 357/2005, que dispõem sobre a classificação dos corpos de água e dão as diretrizes ambientais para o seu enquadramento (IGAM, 2019).

A rede amostral selecionada aproveita oito pontos da rede básica do monitoramento regular do IGAM, sendo um logo a montante do trecho impactado e os sete demais a jusante, totalizando ao menos 300 Km de extensão monitorada, tendo uma distância média em torno de 40 Km entre os pontos. Na Tabela 1 são apresentadas essas estações de monitoramento.

Tabela 1 - Estações de monitoramento avaliadas do rio Paraopeba pelo IGAM.

Estação	Latitude	Longitude	Município	Distância até a Barragem B1	Descrição
BP036	-20,197	-44,123	Brumadinho	10 km (a montante)	Rio Paraopeba na localidade de Melo Franco
BP068	-20,093	-44,211	São Joaquim de Bicas	24,8 km	Rio Paraopeba 5 km a jusante da captação da COPASA em Brumadinho
BP070	-20,04	-44,256	Betim, São	42 km	Rio Paraopeba a jusante da foz do

			Joaquim de Bicas		Ribeirão Sarzedo, próximo a cidade de São Joaquim de Bicas
BP072	-19,949	-44,305	Betim	59 km	Rio Paraopeba a jusante da foz do Rio Betim, na divisa dos municípios de Betim e Juatuba
BP082	-19,670	-44,480	Esmeraldas, São José da Varginha	123,1 km	Rio Paraopeba na localidade de São José em Esmeraldas
BP083	-19,370	-44,530	Papagaios, Paraopeba	192,4 km	Rio Paraopeba logo a após a foz do Ribeirão São João em Paraopeba
BP078	-19,170	-44,710	Pompéu	250,9 km	Rio Paraopeba a jusante da foz do Rio Pardo em Pompéu
BP099	-18,871	-44,787	Felixlândia, Pompéu	318,3 km	Rio Paraopeba a montante de sua foz na barragem de Três Marias e a jusante da UHE Retiro Baixo

Fonte: IGAM, 2019.

A rede básica operada pelo IGAM é composta pelos oito pontos de monitoramento mencionados na Tabela 1 e inclui também a análise de cerca de cinquenta parâmetros, dentre os quais são considerados os mais relevantes para avaliação do impacto no rio Paraopeba: turbidez, oxigênio dissolvido, taxa de condutividade, alumínio dissolvido, ferro dissolvido, manganês total; e substâncias tóxicas: arsênio total, cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, mercúrio total, níquel total e zinco total.

Nesse sentido, cabe destacar que para o presente estudo foram analisados os resultados dos seguintes parâmetros: turbidez, ferro dissolvido alumínio dissolvido, chumbo total e manganês total, considerando os que tiveram maior variabilidade.

E para comparação utilizou-se os resultados de dados históricos do monitoramento regular a partir do ano de 2017 para as mesmas estações.

Para organizar os resultados, foi utilizada a estatística descritiva, tanto por meio manual parcial quanto por planilhas, onde os dados coletados foram organizados manualmente e calculados eletronicamente por meio de fórmulas. Os dados obtidos foram analisados e organizados em tabelas para facilitar a elaboração de gráficos e tabelas para facilitar a leitura, comparação e análise dos resultados, para o qual foi utilizado o Excel (GUIMARÃES, 2008).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

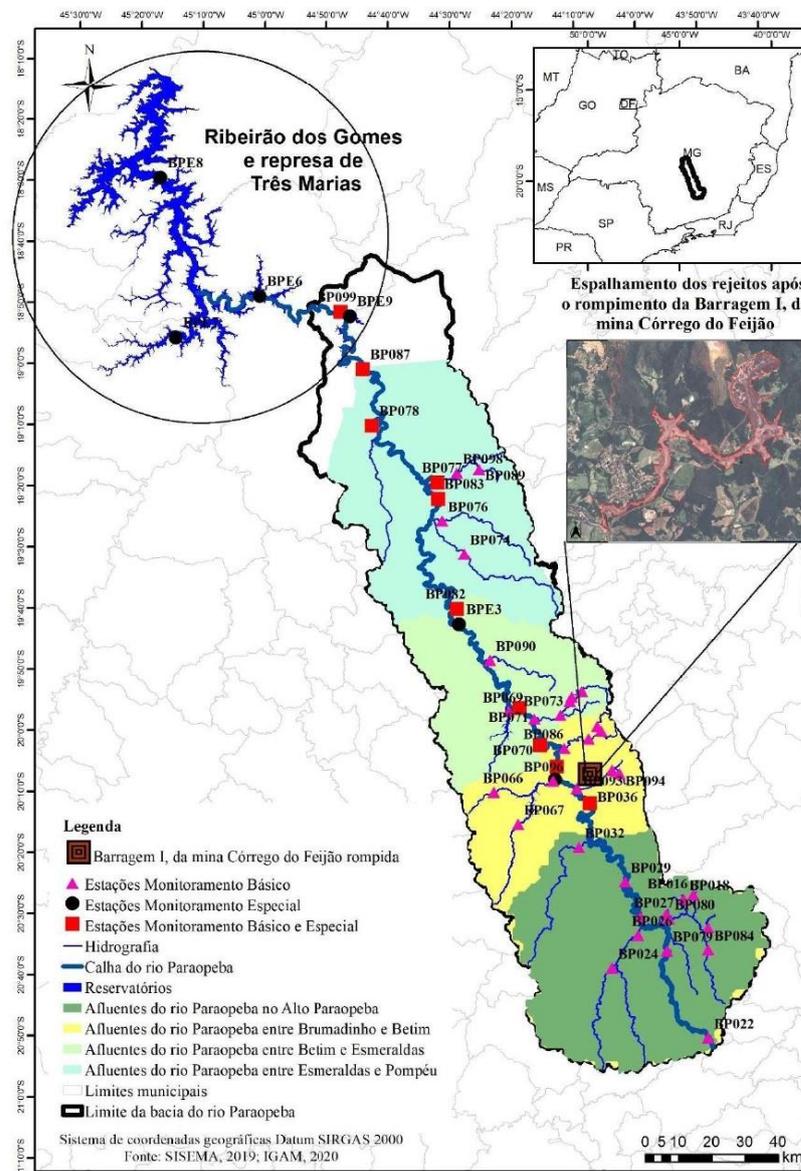
Em função da intensa atividade minerária na bacia hidrográfica do rio Paraopeba, há uma grande quantidade de barragens de contenção de rejeitos, localizadas em diferentes municípios, que apresentam um risco contínuo de falhas. Uma dessas falhas ocorreu na

Barragem I de rejeitos de minério de ferro, da mina Córrego do Feijão, da Mineradora Vale S.A., em Brumadinho (Minas Gerais, Brasil) (IGAM, 2020).

O volume estimado de 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério de ferro foi liberado por toda a calha do ribeirão Ferro-Carvão e atingiu o rio Paraopeba (IGAM, 2020), 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).

A Figura 2 mostra a localização das estações de monitoramento dos trechos na bacia hidrográfica do rio Paraopeba utilizados na pesquisa.

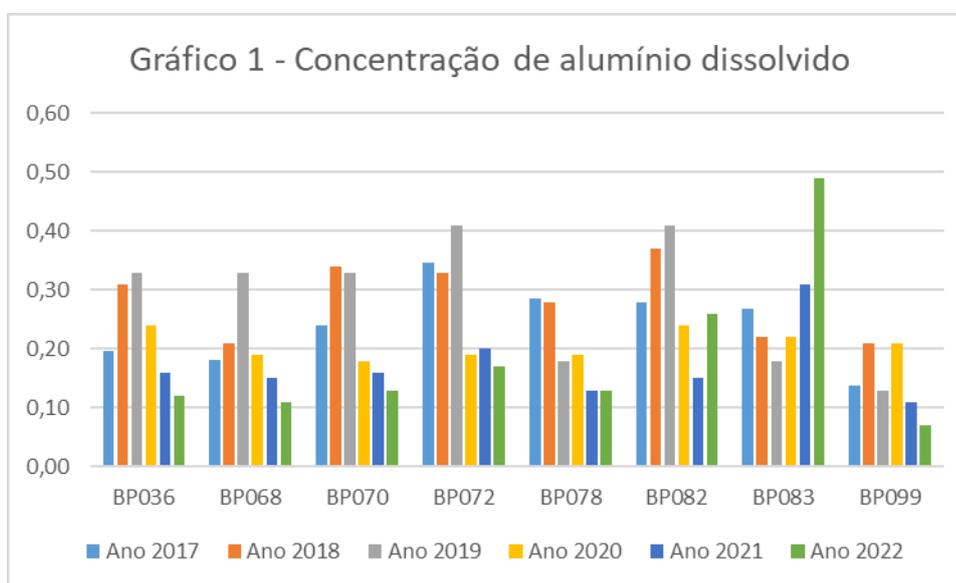
Figura 2 - Localização das estações de monitoramento.



Fonte: Soares, 2021.

4.1 Alumínio Dissolvido

O alumínio dissolvido refere-se ao alumínio que está presente em solução aquosa, geralmente na forma de íons de alumínio (Al^{3+}). Altas concentrações de alumínio dissolvido podem ser tóxicas para organismos vivos, incluindo plantas e animais aquáticos. Portanto, é necessário monitorar os níveis de alumínio dissolvido em ambientes naturais e em processos industriais para garantir a segurança e a conformidade com os regulamentos ambientais. Em geral, o nível máximo de alumínio dissolvido em água doce classe 2 é 0,1 miligrama por litro (mg/L) (BRASIL, 2005).

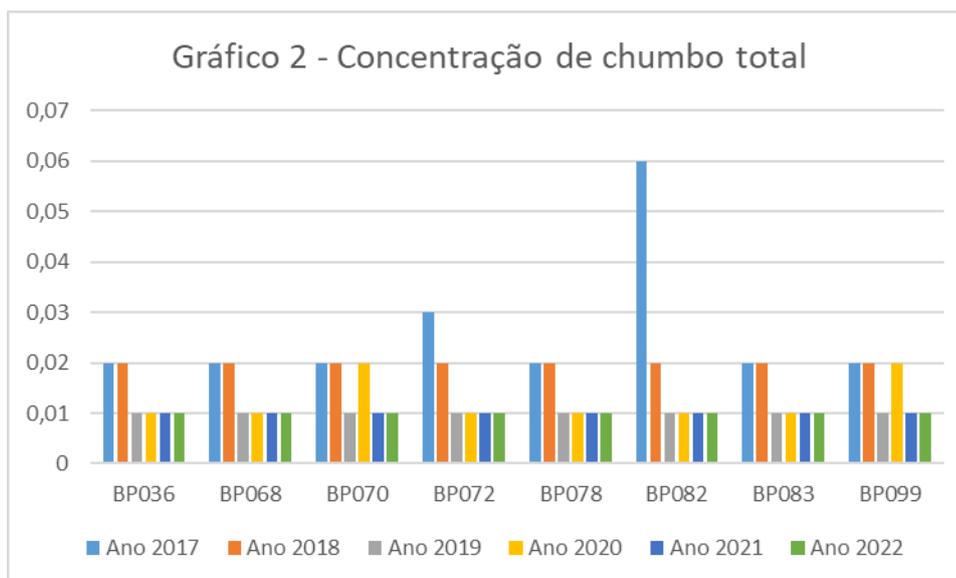


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

A maioria dos resultados, nestes pontos de monitoramento, apresentou valores acima do limite estabelecido para a classe de enquadramento 2, mesmo nas análises anteriores ao desastre ambiental. O gráfico 1 demonstra que em 2019 ocorreu um aumento nos valores de alumínio dissolvido nas estações BP036, BP068, BP072 e BP082. Nos anos seguintes houve redução dos níveis para todas as estações, com exceção da estação BP083, que apresentou uma elevação. Vale destacar que em 2022 os níveis estão menores que o ano inicial analisado, 2017, indicando possível tendência à normalidade. A estação BP099 é a única que em 2022 atingiu um nível dentro dos limites aceitáveis.

4.2 Chumbo Total

O chumbo é um metal tóxico e pode ter efeitos prejudiciais tanto para a saúde humana quanto para os organismos aquáticos. A exposição prolongada ao chumbo pode levar a danos no sistema nervoso, problemas renais, danos no fígado e outros efeitos adversos à saúde. (VON SPERLING, 2005). O limite máximo de chumbo total em rios classe 2 é de 0,01 miligrama por litro (mg/L) (BRASIL, 2005).

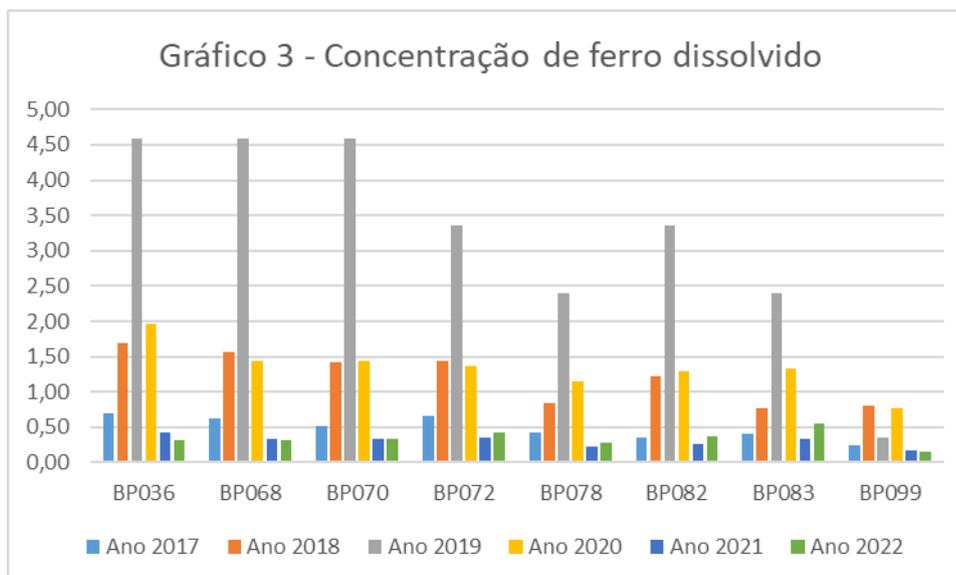


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

A maioria dos resultados (Gráfico 2), nestes pontos de monitoramento, apresentou valores acima do limite estabelecido para a classe de enquadramento nas análises anteriores ao desastre ambiental. Observa-se que a partir do ano de 2019 ocorreu uma redução dos níveis de chumbo total em todas as estações, atingindo os limites aceitáveis, com exceção da estação BP070 e BP099, que apresentou uma elevação no ano de 2020, e posterior redução nos anos seguintes.

4.3 Ferro Dissolvido

O ferro dissolvido em concentrações elevadas pode causar problemas como a coloração da água, corrosão e entupimento de tubulações e equipamentos e também pode afetar a vida aquática, reduzindo a disponibilidade de oxigênio dissolvido. O limite máximo de ferro dissolvido em rios classe 2 é de 0,3 miligrama por litro (mg/L) (BRASIL, 2005).

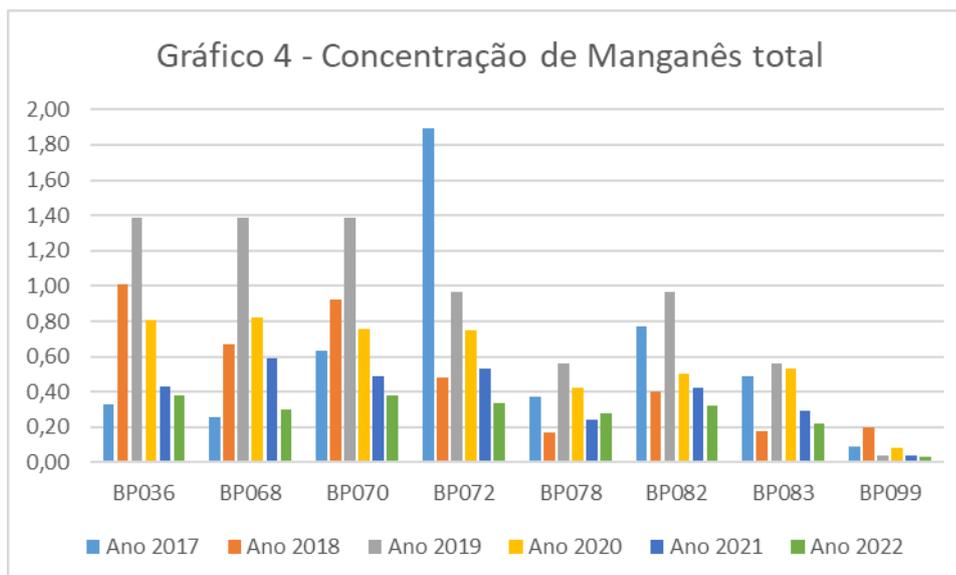


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

A maioria dos resultados, nestes pontos de monitoramento, já apresentava valores acima do limite estabelecido para a classe 2 de enquadramento nas análises anteriores ao desastre ambiental. Observa-se que em 2019 (Gráfico 3), ano em que houve o rompimento da barragem de rejeitos, ocorreu uma elevação brusca nos níveis de ferro dissolvido em todas as estações, ultrapassando em média dez vezes os limites aceitáveis para esse parâmetro, com exceção da estação BP099, que não apresentou elevação no ano de 2019. Após 2019 os níveis reduziram, e em 2022 os níveis se apresentam mais próximos dos limites aceitáveis (0,3 m/L), indicando possível tendência à normalidade.

4.4 Manganês Total

O manganês pode ser tóxico para a vida aquática e pode causar problemas de saúde em humanos se consumido em concentrações elevadas. A exposição crônica ao manganês pode ter efeitos negativos no sistema nervoso, nos pulmões e em outros órgãos. Altos níveis de manganês total em rios podem ocorrer devido a fontes naturais, como solos ricos em minerais de manganês, ou devido a atividades humanas, como mineração, descarte inadequado de resíduos e descargas industriais (VON SPERLING, 2005). O limite máximo de manganês total em rios classe 2 é de 0,1 miligrama por litro (mg/L) (BRASIL, 2005).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

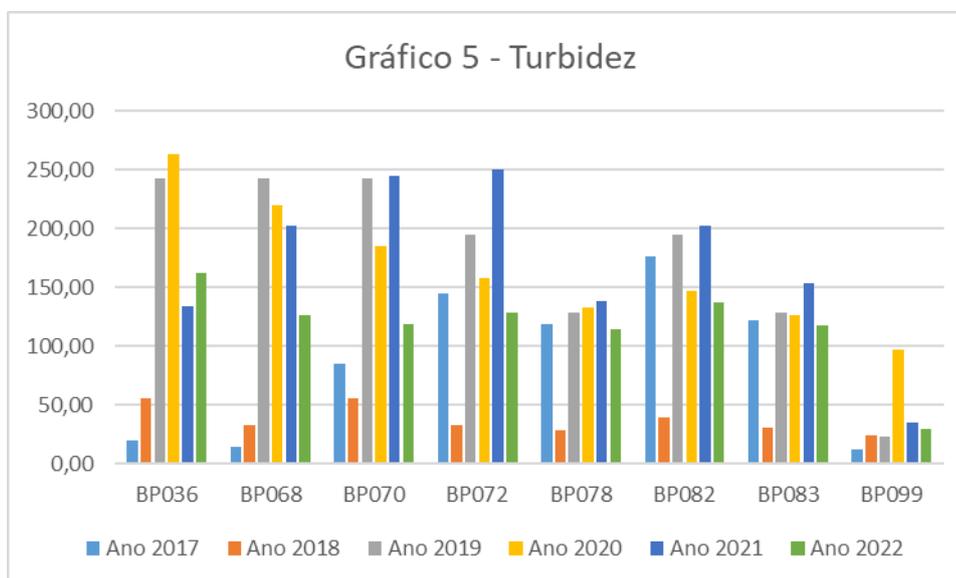
A maioria dos resultados, nestes pontos de monitoramento, já apresentava valores acima do limite estabelecido para a classe de enquadramento 2 nas análises anteriores ao desastre ambiental. Observa-se que em 2019 (Gráfico 4), ocorreu uma elevação brusca nos níveis de manganês total em todas as estações, ultrapassando em mais de dez vezes os limites aceitáveis para esse parâmetro, com exceção da estação BP099, que não apresentou elevação no ano de 2019. Após 2019 os níveis de todas as estações reduziram, porém ainda se encontram distantes dos limites aceitáveis. A estação BP099 é a única que se encontra com os níveis dentro dos limites aceitáveis.

4.5 Turbidez

A turbidez em rios é uma medida da quantidade de partículas em suspensão na água, o que afeta a transparência visual da mesma, conferindo uma aparência turva (VON SPERLING, 2005). A turbidez é influenciada por fatores como o sedimento, matéria orgânica, algas, resíduos industriais, mineração e atividades humanas. No entanto, com o rejeito da barragem sendo conduzida para a calha do rio, os níveis ficaram maiores do que os valores anteriores, que vinham sendo registrados pelo IGAM.

A alta turbidez em rios pode ter vários efeitos negativos. Aumenta a dificuldade de tratamento de água para consumo humano, pois as partículas em suspensão podem obstruir os filtros e requerer processos de tratamento mais intensivos. Além disso, a turbidez excessiva reduz a penetração da luz solar na água, afetando a fotossíntese das plantas aquáticas e reduzindo a disponibilidade de oxigênio dissolvido para os organismos aquáticos. O valor

máximo de turbidez em rios classe 2 é de até 100 unidades nefelométricas de turbidez (UNT) (BRASIL, 2005).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Todos os resultados em 2017 e 2018 (ano anterior ao desastre ambiental), nestes pontos de monitoramento, apresentavam valores dentro do limite estabelecido para a classe 2 de enquadramento (100 UT). Observa-se que em 2019 (Gráfico 5), ocorreu uma elevação brusca nos níveis de turbidez em todas as estações, ultrapassando em média duas vezes os limites aceitáveis para esse parâmetro, com exceção da estação BP099, que não apresentou elevação no ano de 2019. Em 2020 e 2021 esse parâmetro ainda permaneceu elevado. Em 2022 apesar da redução, comparada ao ano do desastre, porém ainda se encontram acima dos limites aceitáveis. A estação BP099 é a única que se encontra com os níveis dentro dos limites aceitáveis.

4.6 Análise Geral

De maneira geral, observa-se que após o rompimento da barragem os maiores impactos sobre o rio Paraopeba ocorreram nos primeiros 40 km de extensão, distância medida desde a barragem que rompeu até a estação de monitoramento BP070, atingindo os municípios de Brumadinho a São Joaquim de Bicas (IGAM, 2019). Esse trecho ficou totalmente impactado, inviabilizando o uso da água para as mais diversas finalidades, pois encontravam-se com valores superiores ao limite legal estabelecido para Classe 2 pela

Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG nº 01/2008 de turbidez, ferro, manganês e alumínio.

Posteriormente foram observadas oscilações para os parâmetros analisados neste estudo que ocorreram sobretudo pela ocorrência de chuvas na região que pode ter acarretado o aumento das vazões e o revolvimento do material que ainda se encontra depositado no leito do rio, sobretudo nas áreas próximas ao rompimento. Além disso, as chuvas também elevam a carga de sedimentos oriundos de toda a bacia de drenagem para o corpo hídrico, o que explica as violações dos padrões de qualidade fora da área impactada pelo rompimento.

Importante ressaltar que o ponto a montante de Brumadinho (BP036) não recebeu influência do rejeito do rompimento das barragens, assim as violações registradas nesse trecho estão relacionadas ao volume de chuvas e ações antrópicas.

Com relação ao último ano pesquisado, 2022, verifica-se uma melhora da qualidade da água do Rio Paraopeba, principalmente comparando aos primeiros estudos após a ruptura da barragem, sobretudo pelo período de estiagem que favorece a deposição do rejeito que está na coluna d'água no leito do rio. Assim, os parâmetros destacados, apesar da redução, se encontram acima dos limites aceitáveis. A estação BP099 é a única que se encontra com os níveis dentro dos limites aceitáveis

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após análise dos resultados pode-se concluir que alguns parâmetros já haviam sido identificados acima do limite da Classe 2 de acordo com a Resolução Conama 357/2005, antes do desastre ambiental. Demonstra-se que mesmo, antes do acidente a bacia do rio Paraopeba já apresentava sinais de degradação ambiental e que precisava de cuidados especiais, pois se trata de um curso d'água muito importante para a região.

Com relação aos resultados, verifica-se que a partir do desastre, a qualidade das águas sofreu forte deterioração, principalmente em termos de turbidez, manganês total, ferro e alumínio dissolvidos, que provocaram impactos ambientais, sociais e econômicos significativos, tanto maior a intensidade em função da proximidade do local do rompimento da barragem.

Observa-se que na estação de monitoramento mais distante do local do rompimento da barragem (BP099), a montante de sua foz na barragem de Três Marias e a jusante da UHE Retiro Baixo, os efeitos do desastre foram pouco percebidos. Provavelmente, o barramento da hidrelétrica de Retiro Baixo contribuiu na retenção da lama dos rejeitos, que não atingiram o

reservatório da hidrelétrica de Três Marias, nem o rio São Francisco.

Ao comparar os resultados entre 2019 e 2022, observa-se que houve melhora da qualidade da água do Rio Paraopeba, todavia, os parâmetros turbidez, ferro, manganês e alumínio ainda se encontram acima dos limites estabelecidos para classe 2.

No que se refere ao Chumbo, observa-se violações, principalmente no ano de 2021, que podem estar relacionadas ao revolvimento de sedimentos de fundo por ocasião de fortes chuvas ocorridas na região.

Como resultado de planos de monitoramento, o estabelecimento de valores de referência (VR) e padrões de qualidade torna-se estratégico na identificação de impactos e perturbações ao estado de equilíbrio e estabilidade ambiental. Análise de amostras coletadas após o desastre apresentaram resultados que ultrapassam os níveis propostos, indicativo de que a metodologia adotada se demonstrou sensível ao impacto avaliado.

Todavia, é sempre bom lembrar, que além dos impactos decorrentes do rompimento da barragem do Córrego do feijão em Brumadinho, o monitoramento da qualidade de água no rio Paraopeba também reflete os lançamentos de esgotos sanitário, sobretudo dos municípios de Betim e Brumadinho, efluentes de atividades industriais, extração de areia, atividades agrícolas, entre outras existentes na bacia. Dessa forma, para que as águas sejam devolvidas às suas adequadas condições de qualidade, expressas nos parâmetros da classe 2, são necessários investimento em saneamento básico, melhoria na eficiência do tratamento dos efluentes industriais, manejo adequado do solo, preservação da vegetação marginal e ações de educação ambiental.

Por fim, acredita-se que o presente estudo abre perspectivas para novas análises, levando em consideração: (i) maior quantidade de dados, coletados em outras estações de monitoramento, também localizadas no longo curso do rio Paraopeba; e (ii) maior número de parâmetros físico-químicos indicativos de qualidade. Além disso, também podem ser avaliados os efeitos da sazonalidade e do uso e ocupação do solo no entorno da bacia do rio Paraopeba. Nesse sentido, tal abordagem pode orientar uma avaliação crítica dos Valores de Referência propostos, e caracterizar impactos e desastres oriundos de atividades antrópicas.

6 REFERÊNCIAS

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>. Acesso em: 11 jun. 2023.

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. 1–14.

BRASIL. **Resolução CONAMA 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. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 15 de Mai de 2023.

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>.

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.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS - CODEMIG. **Portal da Geologia.** 2019. Disponível em: www.portalgeologia.com.br. Acesso em: 25 maio. 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 jun. 2023.

CUSTÓDIO, Maraluce; RIBEIRO, José Claudio. **Serra do Curral; Significados e Importância da Proteção.** *Veredas do Direito*. v. 18 n. 42 set./dez. 2021. Belo Horizonte: Dom Helder Câmara, 2022

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.

GUIMARÃES, Paulo Ricardo Bittencourt. **Métodos Quantitativos Estatísticos.** Curitiba, 2008.

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. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000.** Rio de Janeiro: 2019.

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 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. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/rcg186418>. Acesso em: 11 jun. 2023.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Avaliação da qualidade das 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. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/rcg186418>. Acesso em: 11 jun. 2023.

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>. Acesso em: 11 jun. 2023.

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 jun. 2023.

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>. Acesso em: 11 jun. 2023.

SOARES. Ana Luiza Cunha. **Bacia hidrográfica do rio Paraopeba [recurso eletrônico] : análise integrada dos diferentes impactos antrópicos / Ana Luiza Cunha Soares .-** 2021. 1 recurso online (xxiv, 381 f.: il., color.): pdf.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas.** Belo Horizonte: DESA, 2005.