

Análise da mudança de uso do solo após tragédia de Brumadinho e suas implicações legais

Analysis of land use change after the Brumadinho tragedy and its legal implications

Barbara Rentes Barbosa¹; Roberta Avena Valente²;
Peterson Ricardo Florio³; Kaline de Mello⁴

¹Aluna de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, São Paulo, Brasil.

Orcid: 0000-0002-8174-4444. E-mail: barbara.rentes@estudante.ufscar.br

²Professora do Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, São Paulo, Brasil.

Orcid: 0000-0001-7273-7042. E-mail: roavalen@ufscar.br

³Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil. Orcid: 0000-0003-3461-357X. E-mail: florio@usp.br

⁴Professora do Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, São Paulo, Brasil.

Orcid: 0000-0001-7873-3042. E-mail: kaline@ufscar.br

RESUMO: No dia 25 de janeiro de 2019 a Barragem I em Brumadinho, Minas Gerais, causou grande prejuízo socioambiental ao se romper. Foram identificadas 665 vítimas, com óbito de 270 pessoas, e impactos ambientais na bacia sem precedentes. Neste estudo foi avaliada a mudança de uso do solo após o rompimento da barragem e a implicação legal dessas alterações. Os resultados mostram que o rejeito se estendeu por 306,95 hectares, e cerca de 98 edificações foram soterradas. Desta área, 45,9% eram ocupados por vegetação nativa, 22,19% por atividades agrícolas, e 2,5% por área urbana. O evento gerou impactos irreversíveis na qualidade da água do Rio Paraopeba, dizimou ecossistemas, levou à desestabilização socioeconômica da região e violou requisitos ambientais legais. Princípios e leis levantados esclarecem que o princípio da prevenção, da dignidade humana e leis como a Política Nacional de Segurança de Barragens, Constituição Federal e Política Nacional do Meio Ambiente, entre outros, foram violados.

Palavras-chave: barragem, geoprocessamento, mapeamento, legislação.

ABSTRACT: On January 25, 2019, the “Barragem I” in Brumadinho, state of Minas Gerais, caused significant socio-environmental damage when it burst. 665 victims were identified, with 270 deaths, and unprecedented environmental impacts in the watershed. In this study, we assess land use and land cover changes following the dam damage and the legal implications of these changes. The results show that the tailings extended over 306.95 hectares, burying approximately 98 buildings. Of this area, 45.9% was occupied by native vegetation, 22.19% by agricultural activities, and 2.5% by urban areas. The event caused irreversible impacts on the water quality of the Paraopeba River, decimating ecosystems, leading to socioeconomic destabilization of the region and violating legal environmental requirements. Principles and laws clarify that the principle of prevention, human dignity, and the laws of the National Policy on Dam Safety, the Federal Constitution, and the National Environmental Policy were violated.

Keywords: dam, geoprocessing, mapping, legislation.

INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais possui grande importância para a indústria mineral brasileira, sobretudo na produção das principais substâncias metálicas. Ressalta-se que o estado foi responsável por 69,5% da produção nacional de ferro, 96,6% da produção de zinco e 12,9% da produção de nióbio (ANM, 2018). Contudo, essa atividade resulta em impactos ambientais muitas vezes irreversíveis, e incluem a poluição da água, do ar, a poluição sonora, visual e ainda provoca mudanças acentuadas no uso do solo. Essas mudanças podem afetar diversas atividades econômicas, como a agricultura, e a prestação de serviços ecossistêmicos.

A preocupação com os impactos ambientais da mineração aumentou após os recentes rompimentos de barragens no Brasil. Existem 614 barragens no país com uso principal destinado à contenção de rejeitos de mineração, dos quais 23,12% estão localizadas no estado de Minas Gerais, sendo que 64% dessas barragens possuem alto dano de potencial associado caso venham a romper (ANA, 2024). O surgimento das barragens de rejeitos foi impulsionado pela atividade de mineração com o objetivo de fazer a manutenção da extração dos minérios, e para mitigar os impactos ambientais ligados a essa atividade. Porém, o rompimento dessas barragens pode causar impactos ambientais de grande magnitude, podendo destruir ecossistemas inteiros. Considerando o grande número de barragens no Brasil e principalmente em Minas Gerais, é imprescindível entender os impactos do rompimento dessas barragens para auxiliar a tomada de decisão e no processo de licenciamento, monitoramento e fiscalização desses empreendimentos.

Analisando os registros históricos envolvendo barragens de rejeito no Brasil destaca-se o rompimento da barragem de Pampulha em 1954 em Belo Horizonte, Minas Gerais, que apesar de não resultar em mortes ou feridos diversas famílias ficaram desabrigadas além dos danos ambientais, a barragem de Itabirito também em Minas Gerais, em 2014 que causou a morte de três pessoas com danos também ao meio ambiente (Flamini, 2022). Em 2015 ocorreu um dos acidentes de maior magnitude ambiental após o rompimento da barragem de mineração em Mariana, Minas Gerais. O impacto foi registrado pela poluição de um dos rios mais importantes do país (Rio Doce) por mais de 650 km, atingindo mais de 1 milhão de pessoas (Fernandes *et al.*, 2016; Hatje *et al.*, 2017; Garcia *et al.*, 2017). É considerada a maior catástrofe ambiental da história do Brasil, afetando o abastecimento de água, as atividades pesqueiras e agrícolas das comunidades locais (Zago *et al.*, 2019). Quatro anos depois (25 de janeiro de 2019), o rompimento da barragem I de Brumadinho contaminou o Rio São Francisco, o maior rio inteiramente do Brasil, deixando centenas de pessoas desaparecidas e afetando muitas comunidades a jusante (Campos-Silva; Peres, 2019).

Os acidentes ambientais resultam em mudanças nas políticas de meio ambiente e no que tange ao gerenciamento ambiental. As leis neste contexto, possuem o objetivo de proteger o ecossistema e sociedade, e considerando a possibilidade de tragédias relacionadas ao rompimento de barragens de contenção de rejeitos, estas buscam prioritariamente evitar impactos ambientais, e quando não é possível busca-se a mitigação e compensação das consequências, bem como a punição dos responsáveis.

A segurança das barragens é monitorada e regulada pela Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) estabelecida pela Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. A lei traz definições e orientações quanto aos processos de monitoramento e fiscalização das barragens (Brasil, 2010). Além disso, cria um sistema de classificação

das barragens considerando o risco e o dano potencial associado (art. 6). Um desastre ambiental como o rompimento de uma barragem possui diversas implicações legais voltadas ao direito ambiental e à segurança, saúde e dignidade humana.

A Constituição Federal de 1988 (CF) em seu artigo 1º, inciso III, coloca a dignidade da pessoa humana como um dos fundamentos da República Federativa do Brasil (Brasil, 1988) e garante em seu artigo 5º a segurança dos brasileiros e estrangeiros residentes no país, assegurando também a indenização de danos causados. A Constituição também traz os princípios do direito ambiental, com seu principal artigo (225) trazendo o princípio do meio ambiente ecologicamente equilibrado com qualidade de vida para todos.

Antes mesmo da Constituição de 1988, foi estabelecido o principal marco do direito ambiental no Brasil, a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) disposta pela Lei nº 6.938, que visa a preservação, melhora e recuperação da qualidade ambiental que é propícia à vida, assegurando, entre outros, a proteção da dignidade humana. Para tanto, a política discorre sobre princípios que devem ser atendidos, traz definições, diretrizes e deveres, e apresenta seus instrumentos (Brasil, 1981). A PNMA estabelece princípios, normas e critérios para o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras como é o caso da mineração. Um dos princípios no processo de licenciamento desses empreendimentos é o princípio da prevenção, quando existem elementos seguros que possam determinar que a atividade é efetivamente perigosa (Milaré, 2018). Essa orientação preventiva é estabelecida pela Resolução Conama nº1, de 23 de janeiro de 1986, que dispõe de critérios básicos e diretrizes gerais para avaliação de impacto ambiental (Conama, 1986). Quando o impacto não é evitado, cabe a responsabilidade civil ambiental, que tem como fundamento primário o princípio de reparação integral, que estabelece que todo dano causado ao ambiente deve ser recuperado integralmente. Nas situações em que não há a possibilidade de reparação do dano, será dada a indenização correspondente (Milaré, 2018).

Para entender os impactos ambientais que não foram evitados a fim de avaliar as medidas reparatórias ou multas e indenizações, é necessária uma avaliação completa das áreas atingidas e dos impactos gerados por essas alterações na paisagem. Neste contexto, o uso das geotecnologias permite a avaliação de mudanças espaço-temporais do uso do solo, que fornecem dados com precisão e geram informações que quantificam e qualificam a situação do meio, e dessa forma, auxiliam na gestão e planejamento do território (Valerio Filho; Cuambe, 2017) e subsidiam tomadas de decisão no contexto de impactos socioambientais. Isto posto, é possível desenvolver uma análise relacionando o espaço-tempo, como o estudo de evoluções espaciais ao longo do tempo e suas singularidades, sendo de grande relevância para a gestão e tomada de decisão.

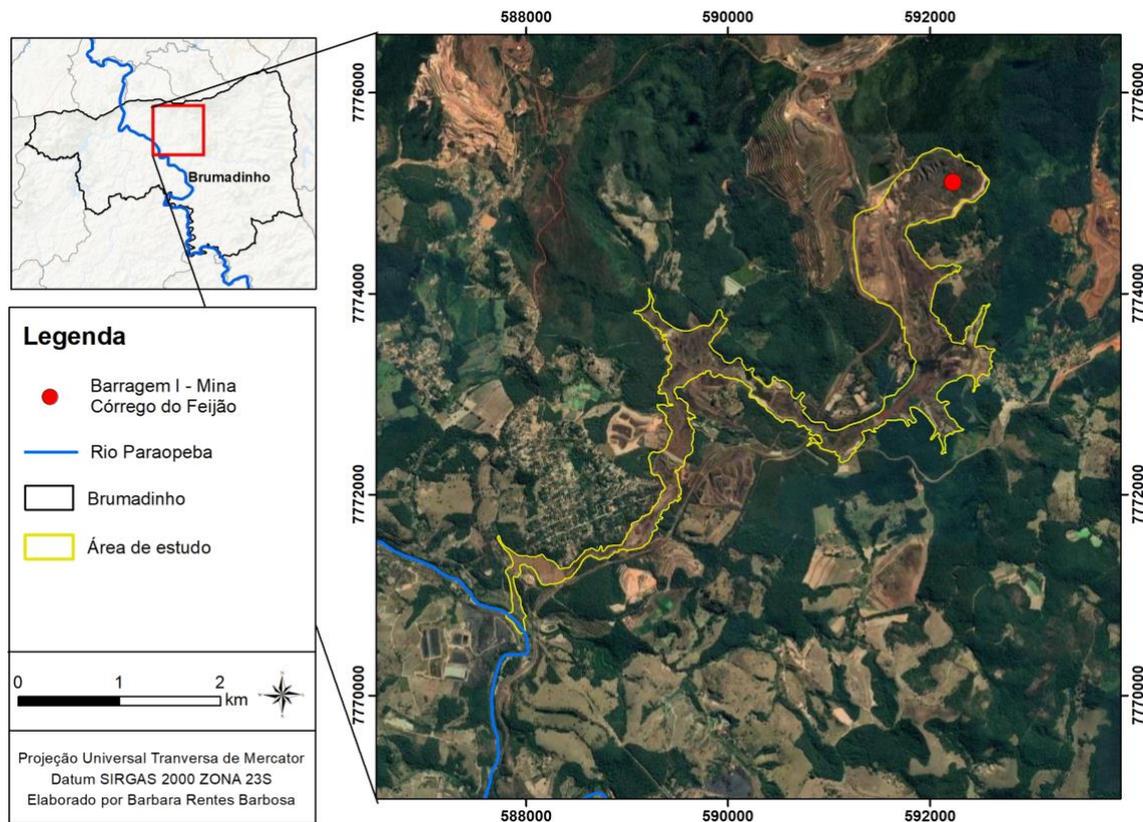
O objetivo deste estudo foi realizar análise temporal das mudanças de cobertura do solo na área atingida pelos rejeitos após o rompimento da Barragem I associada à mina do Córrego do Feijão em Brumadinho/MG, utilizando ferramentas de geotecnologias. Além disso, a partir da mensuração e do entendimento da grandeza dos danos socioambientais gerados, buscou-se compreender requisitos legais ambientais que foram violados no âmbito do direito ambiental.

MATERIAL E MÉTODOS

A barragem está localizada no município de Brumadinho em Minas Gerais e compõe a região do Quadrilátero ferrífero (Diniz *et al.*, 2014). A área territorial do município é de 639,434 km² em que habitam 39.914 pessoas de acordo com o último

censo (2022). A área de estudo foi determinada a partir da área diretamente afetada identificada pelo contorno da extensão da lama, o principal curso d'água afetado é o Rio Paraopeba, um dos principais afluentes do Rio São Francisco com extensão de 546,5 km, sua nascente está localizada no município de Cristiano Ottoni e a foz na represa de Três Marias (**Figura 1**).

Figura 1. Localização da área de estudo



O método consiste na obtenção de dados secundários, tratamento dos dados orbitais, mapeamento do uso do solo e análise dos resultados, divididos em duas etapas.

A primeira etapa consiste na classificação do uso do solo a fim de constatar as mudanças ao longo do tempo. Esta compreendeu a criação de um banco de dados com imagens de satélite, a fim de realizar uma cronologia do uso do solo antes e após o evento, e a elaboração de mapas temáticos de uso do solo. Foram utilizadas 3 imagens, a primeira cena corresponde ao momento que antecede o rompimento datada em 24 de janeiro de 2019, a segunda cena refere-se ao momento logo após o rompimento (23 de fevereiro de 2019) quando os impactos já tiveram grande alcance, e a terceira cena refere-se após 6 meses em 26 de julho de 2020. As imagens foram tratadas a fim de melhorar a visualização dos elementos ao ajustar o contraste e aplicar filtros.

As cenas estão disponibilizadas na Plataforma Web Planet (https://www.planet.com/products/platform/?utm_campaign=discovery-brd&utm_source=google&utm_medium=paid-search&utm_content=homepage), e foram captadas pelo Satélite Planet Scope. Os produtos do satélite são cenas básicas analíticas com alta resolução espacial de 3 metros permitindo identificar detalhes da superfície terrestre, resolução radiométrica de 16bits e resolução temporal diária obtendo um

acompanhamento a curto e longo prazo, essas características são ideais para processamentos como classificação do uso do solo (Planet, 2020).

A classificação do uso do solo foi realizada de forma manual através da vetorização de polígonos das classes de interesse, numa escala de 1: 2.000. A interpretação das diferentes classes considerou elementos como cores, formas, tamanhos e texturas. Inicialmente foi delimitada a área diretamente atingida pela lama, sendo esta utilizada como referência na classificação antes e depois do evento. Considerou-se 10 classes: infraestrutura (malha viária, estruturas industriais e de mineração fora da área urbana), área urbana, vegetação nativa, pastagens ou gramíneas exóticas, agricultura, solo exposto, rio (primeiro trecho do Rio Paraopeba) e lago ou lagoa. Além das imagens orbitais, foram utilizadas imagens obtidas pelo Google Earth Pro como forma de validação da classificação. O banco de dados foi avaliado através de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) Quantum GIS.

A segunda etapa corresponde a uma análise qualitativa que considera principalmente os impactos gerados após o evento no âmbito do direito ambiental. Esta consistiu no entendimento de alguns requisitos ambientais legais que foram violados através da revisão de literatura aliada aos resultados das análises da primeira etapa.

Nesta análise descritiva foram consideradas diretos e deveres fundamentados na Constituição Federal (1988), na Política Nacional do Meio Ambiente, Política Nacional de Segurança de Barragens, Lei de Crimes Ambientais além de resoluções Conama, portarias e deliberações relacionadas ao contexto da tragédia de Brumadinho e que foram aprofundados para fundamentar as inferências levantadas em relação ao descumprimento da legislação devido os impactos sociais e ambientais após o rompimento da barragem.

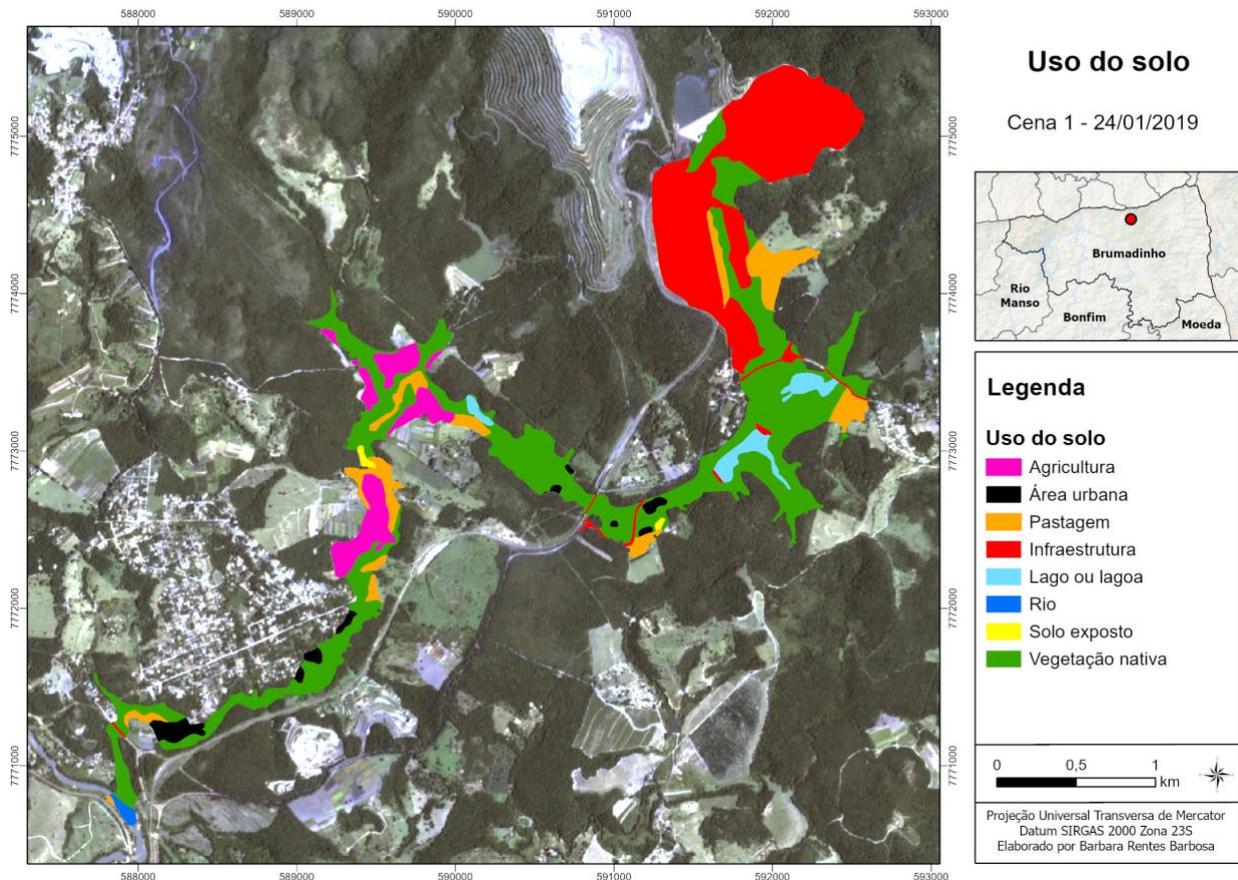
RESULTADOS E DISCUSSÕES

A área total diretamente atingida pela lama após o desastre soma 306,95 ha, que antes do desastre (**Figura 2**) era composta majoritariamente por vegetação nativa, correspondendo a 45,9% da área (140,82ha), seguida de infraestrutura, com 30,8% (94,55ha). As áreas de pastagens ou gramíneas exóticas representavam 9,5%, o uso agrícola 7,2%, a área urbana 2,5%, e os corpos hídricos 3,5% (**Tabela 1**).

Tabela 1. Quantitativo das classes derivadas do mapeamento de uso do solo anterior ao rompimento da barragem

Classe	Área (ha)	Área (%)
Agricultura	22,19	7,2%
Área urbana	7,62	2,5%
Pastagem	29,05	9,5%
Infraestrutura	94,55	30,8%
Lago ou lagoa	9,60	3,1%
Rio	1,37	0,4%
Solo exposto	1,76	0,6%
Vegetação nativa	140,82	45,9%
Total	306,95	100

Figura 2. Uso do solo anterior ao rompimento da barragem



O momento após o rompimento mostra um cenário de mudança drástica de uso do solo com a liberação de cerca de 12 milhões de m³ de rejeitos de minério de ferro (**Figura 3**). Os resultados revelam que grande área de infraestrutura e área urbana foram destruídas. Nosso mapeamento aponta que cerca de 98 edificações como residências familiares, pousadas e estruturas corporativas foram atingidas diretamente pelo rejeito (Figura 3).

Nos próximos 60 dias após o rompimento a água do primeiro trecho de 40km de extensão (com início desde a barragem rompida) foi dada como inviável para uso para diferentes fins devido a concentração significativa de minérios de ferro (IGAM, 2020).

Após um ano e meio não foram identificadas mudanças significativas no uso do solo em comparação com a situação pós desastre (Cenas 2 e 3, **Figuras 3 e 4**). O rejeito continua presente na área afetada pelo desastre. Destaca-se a reconstrução da estrada para Alberto Flôres que interliga Brumadinho a outros bairros rurais, sendo este de grande importância para a população da região (**Figura 4**).

Figura 3. Área atingida pelo rejeito após o rompimento da barragem e localização das edificações destruídas

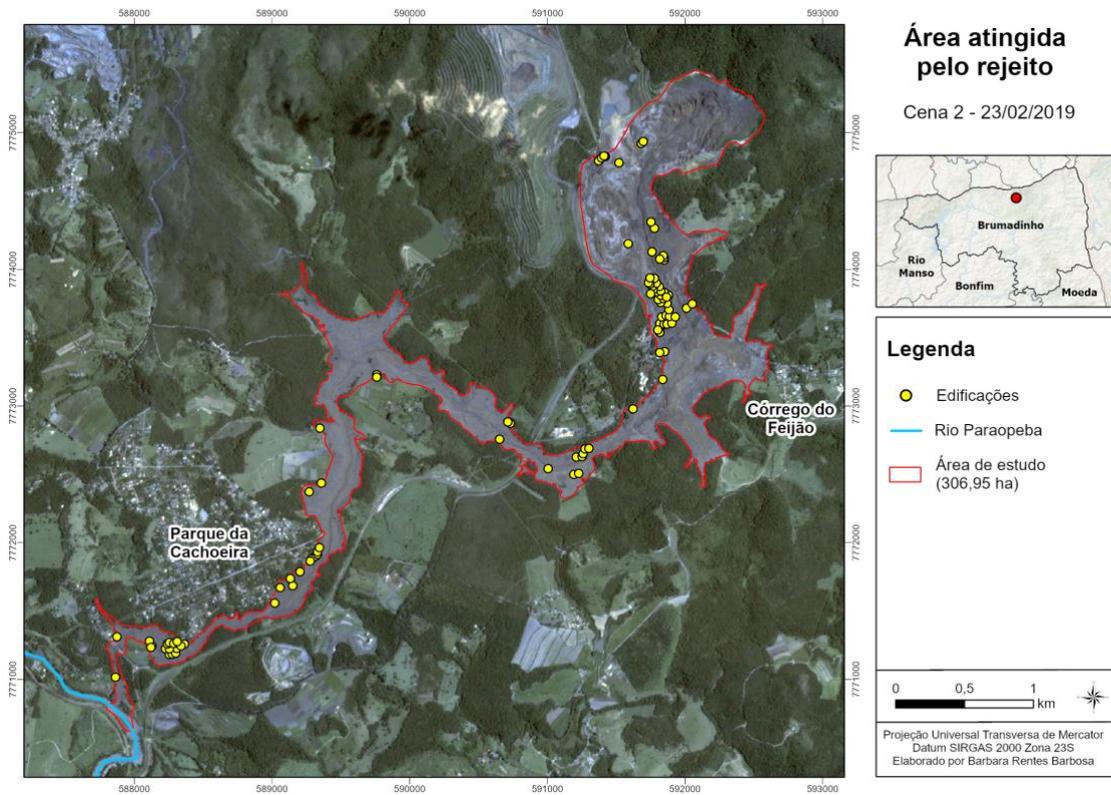
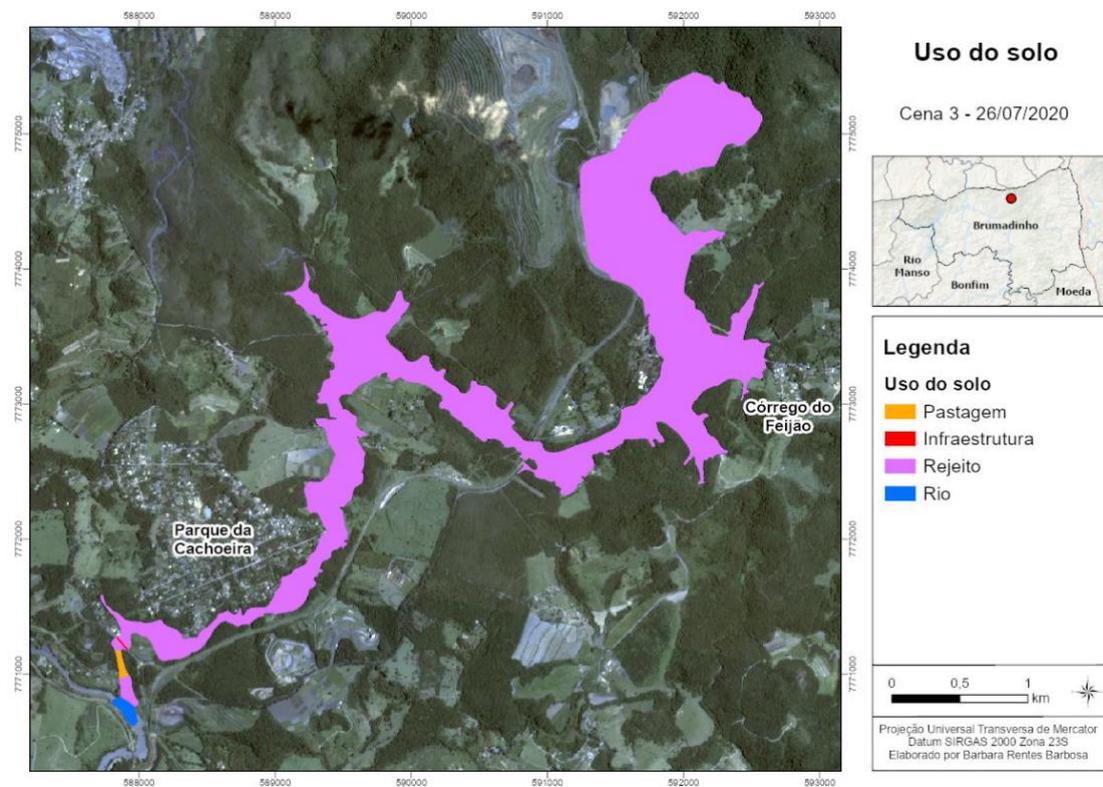


Figura 4. Uso do solo um ano e meio após o rompimento da Barragem I



Dentre as consequências diretas do rompimento da barragem, destaca-se a contaminação de curso hídrico a partir do escoamento de 2,8 milhões de metros cúbicos rejeito diretamente no Rio Paraopeba (Stariolo, 2023). Em uma análise de qualidade de água de 2004 a 2018 da sub-bacia do ribeirão Ferro-Carvão, tributário ao Rio Paraopeba, utilizando como referência valores estabelecidos na Deliberação Normativa Copam/CERH-MG nº 1/2008, parâmetros de manganês e ferro ultrapassaram os padrões legais com percentuais de resultados em não conformidade de 99% e 1% respectivamente, em períodos chuvosos, isso pode estar associado às atividades minerárias e a contribuições de origem indefinida através do processo de lixiviação do solo. Os percentuais de chumbo apresentaram 1% de resultados não conformes, já o mercúrio evidenciou valores em conformidade com os limites legais (Arcadis, 2023a). Após o rompimento, uma nova análise da qualidade da água do Rio Paraopeba, segundo a prefeitura de Brumadinho, indica quantidades totais de chumbo e mercúrio 21 vezes acima do aceitável (IGAM, 2019). Outros estudos ainda apontam ainda um aumento da quantidade de ferro, alumínio, manganês, zinco, cobre e cádmio acima do permitido pela legislação brasileira (Thompson *et al.*, 2020; Vergilio *et al.*, 2020).

A lama, ao atingir o corpo hídrico, promove o extermínio do habitat em todo leito do mesmo, dizimando a população de peixes e ictiofauna, uma vez que há um aumento da turbidez da água causada pelo rejeito e que provavelmente levou à asfixia dos animais (Lopes, 2016). Segundo um monitoramento emergencial realizado pelo IGAM após o rompimento da barragem, o Rio Paraopeba registrou turbidez de até 34.500 NTU, que corresponde a 58 vezes o valor máximo apresentado como base pelo diagnóstico pretérito da bacia, documento elaborado pela empresa Arcadis, contratada pela Vale para realizar o Plano de Reparação Socioambiental. Dados de monitoramento diário de carcaças de peixes do Rio Paraopeba indicam que nos primeiros quinze dias de monitoramento foram recolhidas cerca de 7.000 carcaças de peixes. A maior parte foi coletada após o período de chuvas, o que implicou na movimentação do sedimento e rejeito e liberou as carcaças soterradas (Arcadis, 2023b). Além disso, acarretou a falta de abastecimento hídrico de água potável, e aumento da toxicidade do meio pela composição de metais pesados da lama, comprometimento de infraestrutura básicas como malha viária e energia, e da subsistência da comunidade que vivia ao redor do rio e que dependia dos serviços ecossistêmicos disponíveis (Rodrigues, 2019).

O rejeito de minério atingiu solos férteis, levando à contaminação geoquímica. A partir do ressecamento da lama forma-se uma camada espessa, densa e pouco argilosa, o que impede, de forma física, a prática da agricultura, afetando as atividades econômicas e de subsistência das populações locais (Silva *et al.*, 2016).

Após um ano e meio do desastre, o uso do solo na área atingida (306,95ha) ainda permanecesse com o rejeito, o que continua provocando impactos no recurso hídrico e consequentemente afetando as comunidades dependentes do mesmo. A perda de 140,82 ha de vegetação nativa, que representa 46% da área afetada, contribui para a lenta recuperação do rio. Ações de restauração da vegetação nativa são fundamentais para a recuperação da bacia hidrográfica (Pires *et al.*, 2017).

As perdas humanas foram o maior impacto imediato, o que está ligado principalmente com o fato de a barragem estar localizada próximo às instalações administrativas da empresa e de residências da comunidade do Parque da Cachoeira (Pereira *et al.*, 2019), como mostrou nossa análise onde 98 edificações foram soterradas. As famílias atingidas sofreram perdas socioeconômicas e toda dimensão de impactos socioambientais vão afetar as condições psicológicas, psiquiátricas e psicossocial das

vítimas (Carvalho, 2017; Coelho, 2019; Neves *et al.*, 2018).

A legislação que parte de um sistema de comando e controle é a ferramenta que busca garantir a proteção do homem e do ambiente, principalmente contra as atividades poluidoras ou que possuem potencial poluidor, como são as atividades mineradoras, o que torna o processo de fiscalização fundamental para ordem e funcionamento desse sistema a fim de que sejam propostas medidas de mitigação e segurança das barragens. Na PNSB o artigo 3 explicita a preocupação em evitar o dano baseado no princípio da prevenção, prevendo padrões de segurança das estruturas, nesse sentido, com o rompimento da barragem, verifica-se que o princípio e a lei foram negligenciados. Violar um princípio é um ato mais grave do que violar qualquer outra norma pois a falta de atenção leva a uma ofensa a todo sistema de comandos (Milaré, 2018).

A CF traz a segurança como direito fundamental no artigo 5, no entanto, não foi cumprido visto as 270 vítimas que perderam a vida no acidente. Ainda na CF, o artigo 225, confirma o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, o que é possível conciliar com atividades econômicas de grande impacto uma vez que sejam adotadas medidas adequadas de mitigação, compensação e monitoramento ambiental, e a partir de uma fiscalização rigorosa, responsabilidade e não negligência das necessidades de manutenção da atividade. A devastação de 140,82 ha de vegetação nativa significa uma perda inestimável da biodiversidade soterrada que antes cumpria funções que sustentavam o equilíbrio do ecossistema, indica violação da lei supracitada. A responsabilização pelas inúmeras condutas lesivas e danos causados pelo rompimento da barragem é afirmado por esse artigo, que sujeita os infratores a sanções penais e administrativas, com olhares não só para o ambiente como também para sociedade.

A PNMA visa assegurar dignidade da vida humana (Brasil, 1981), direito também explícito na CF 1988 no artigo 1º, inciso III. A destruição de casas e infraestruturas que somaram cerca de 7,62 ha, rompe com o sentimento de unidade, traz sofrimento e acentua dificuldades que já existiam nas vidas das vítimas de suas famílias, quebrando o princípio da dignidade humana.

A Lei de Crimes Ambientais responsabiliza os infratores nos três âmbitos, administrativo, civil e penal. A tutela penal ambiental somente intervém em casos como a que foi exposta, no qual os valores fundamentais da sociedade foram agredidos até alcançar um ponto intolerável.

Reconhece-se que os eventos de Brumadinho ainda permitem inferir que outros princípios e leis além do exposto foram violados, como a Lei de Proteção da Vegetação Nativa e Lei da Mata Atlântica, sendo este um estudo primário. Diante de tantas normas e princípios violados resta a obrigação de reparo integral do dano causado pelos infratores.

O presidente da empresa Vale em conjunto com outras 15 pessoas incluindo diretores, gerentes, geólogos, engenheiros e consultores da mineradora foram denunciados e respondem processo por homicídios qualificados por 270 vezes e por crimes contra fauna a fauna e flora e de poluição. A Vale e a Tüv Süd Bureau de Projetos e Consultorias Ltda, responsável pela supervisão técnica, respondem por crimes ambientais (Rei, 2020).

Um acordo judicial para reparação integral foi firmado com a empresa Vale em fevereiro de 2021 totalizando um valor global de R\$37,68 bilhões de reais, que corresponde à somatória de obrigações especificadas no acordo. As medidas de reparação dos danos foi dividida em quatro partes: Programa de Reparação Socioeconômica que define ações em Brumadinho, nas comunidades diretamente atingidas, e em outros 25 municípios considerados atingidos; Programa de Reparação

Socioambiental que envolvem intervenções de recuperação e compensação de danos conhecidos e não recuperáveis ao meio ambiente; Programa de Mobilidade como forma de abranger todo o estado de Minas Gerais a partir de melhoria de infraestrutura viária, e Programa de Fortalecimento do Serviço Público que envolvem intervenções de melhoria na área da saúde, economia, segurança, trabalho e tecnologia (Minas Gerais, 2021).

A recuperação ambiental que compreende a implementação de um Plano de Reparação Socioambiental é estimada em R\$6,55 bilhões e não possui um teto financeiro. Todas as pessoas que foram afetadas pelo rompimento da barragem puderam solicitar diferentes tipos de indenização: individuais ou trabalhistas. Até dezembro de 2023 cerca de 6.104 acordos individuais envolvendo 12.522 pessoas, e 1.487 acordos trabalhistas envolvendo 2.509 pessoas foram firmados (Vale, 2024).

CONCLUSÕES

O mapeamento permitiu uma visão espacial e quantitativa dos danos causados pelo rompimento da barragem, fornecendo uma compreensão da extensão dos impactos gerados. Destaca-se que a área diretamente atingida abrangeu 140,82 hectares de vegetação nativa, seguida por áreas de infraestrutura, incluindo instalações da empresa, habitações e vias de acesso que interligam os bairros, além terras agrícolas. Mesmo após um ano do evento, a área impactada ainda não apresenta recuperação da vegetação nativa ou das áreas produtivas, indicando impactos ambientais e econômicos irreversíveis para a bacia do rio Paraopeba.

Conclui-se também que o desastre acarretou implicações legais relacionadas aos direitos fundamentais de segurança da população, dignidade humana e prevenção. É relevante destacar que políticas direcionadas à segurança das barragens e ao acesso da sociedade a um meio ambiente ecologicamente equilibrado foram negligenciadas.

As mudanças significativas no uso do solo local, os impactos para a comunidade do município de Brumadinho e outros ao redor que também tiveram prejuízos, principalmente na chegada do rejeito através do rio Paraopeba, juntamente com suas consequências socioambientais, enfatizam a necessidade de reivindicação dos direitos da sociedade e pressionam por uma fiscalização e monitoramento mais rigorosos por parte das autoridades competentes, assim como pelo cumprimento da legislação por parte das empresas envolvidas.

REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Painéis interativos. Painel de informações do SNISB**. 2019. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYjYk1NjE3ZjQtNmIzNi00YzIxLWE5Y2UtMTZlZDM4ZDc0MTJlIiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItdmY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9%20>>. Acesso em: 08 fevereiro 2024.

ANM - AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Classificação de Barragens de Mineração**. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/pasta-cadastro-nacional-de-barragensde-mineracao/classificacao-oficial-anm>>.

ARCADIS. Baseline - Diagnóstico pretérito da bacia do Rio Paraopeba. Meio físico (Capítulo 1, Volume 1). In: Plano de Reparação Sociambiental da Bacia do Rio

Paraopeba. Rompimento das barragens B1, B4 e B4-A do Complexo Paraopeba II - Mina Córrego do Feijão. 2023a.

ARCADIS. Caracterização socioambiental pós rompimento e avaliação de impactos. (Capítulo 2, Volume 3). *In: Plano de Reparação Sociambiental da Bacia do Rio Paraopeba*. Rompimento das barragens B1, B4 e B4-A do Complexo Paraopeba II - Mina Córrego do Feijão. 2023b.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**, que 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. Diário Oficial da União - Seção 1, Brasília, DF, 21 set. 2010.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981.

CARVALHO, M. S.; RIBEIRO, K. D.; MOREIRA, R. M.; DE ALMEIDA, A. M. Concentração de metais no rio Doce em Mariana, Minas Gerais, Brasil. **Acta Brasiliensis**, v. 1, n. 3, p. 37-41, 2017.

COELHO, H. 2019. **Desabrigados de Brumadinho dizem temer que fiquem 'esquecidos' e relembram Mariana**. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minasgerais/noticia/2019/01/27/desabrigados-debrumadinho-dizem-temer-que-fiquem-esquecidos-e-relembram-mariana.ghtml>. Acesso em: 25 out. 2020.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Ministério do Meio Ambiente.

DINIZ, J. M. F. DE S.; REIS, A. A. dos; ACERBI JUNIOR, F. W.; GOMIDE, L. R. Detecção da expansão da área minerada no quadrilátero ferrífero, minas gerais, no período de 1985 a 2011 através de técnicas de sensoriamento remoto. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, n. 3, p.683–700, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702014000300039>

FERNANDES, G.W.; GOULART, F.F.; RANIERI, B.D.; COELHO, M.S.; DALES, K.; BOESCHE, N. *et al.* Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **J. Nat. Conserv.** v. 14, p. 35–45, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2016.10.003.x>

FLAMINI, S.H. Incidentes, acidentes ou crimes: O que está por trás dos eventos envolvendo barragens no Brasil? **Guia Universitário de Informações Ambientais**, São

Carlos, v. 3, n. 1, p. 43–46, 2022. Disponível em:
<https://www.revistaguia.ufscar.br/index.php/guia/article/view/75>. Acesso em: 26 jul. 2023.

GARCIA, L.C.; RIBEIRO, D.B.; ROQUE, F.O.; OCHOAQUINTERO, J.M.; LAURANCE, W.F. Brazil's worst mining disaster: corporations must be compelled to pay the actual environmental costs. **Ecol. Appl.** v. 27, n.1, p. 5–9, 2017. DOI:
<https://doi.org/10.1002/eap.1461>.

HATJE, V.; PEDREIRA, R.M.A.; DE REZENDE, CE; 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. **Sci. Rep. 7 (e)**. 2017. DOI:
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-11143-x10706>.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Caderno 1: rompimento das barragens da Vale em Brumadinho Bacia do rio Paraopeba**. Belo Horizonte, MG. 2020. Disponível em:
<http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/handle/123456789/3847>. Acesso em: 01 ago. 2023.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Informativo semanal da avaliação dos sedimentos do rio Paraopeba nos locais monitorados ao longo do Rio Paraopeba, após o desastre na barragem B1 no complexo da Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale/SA no município de Brumadinho – Minas Gerais. 2019. Informe nº 2. <https://bit.ly/2UbWzLL>.

LOPES, L. M. N. **O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais**. 2016. Monografia (Faculdade de Direito) –Universidade Federal Fluminense, Niterói: RJ, 2016.

MELLO, F. M.; PIASENTIN, C. **A história das barragens no Brasil**. Rio de Janeiro: CBDB, 2011. 524 p.

MILARÉ, É. Direito do ambiente. Título III: Meio Ambiente e Legislação. 11. Ed. **Revista dos Tribunais**. São Paulo, 2018.

NEVES, M. C. L.; ROQUE, M.; FREITAS, A. A.; GARCIA, F. PRISMMA – Pesquisa sobre a saúde mental das famílias atingidas pelo rompimento da barragem do Fundão em Mariana. Corpus, Belo Horizonte. 2018.

PEREIRA, L. F.; CRUZ, G. B.; GUIMARÃES, R. M. F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 4, n.2, p.122-129. 2019.

PIRES, A.P.F.; REZENDE, C. L.; ASSAD, E.D.; LOYOLA R.; SCARANO, F.R. Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resilience. **Perspectives in Ecology and Conservation**. V. 15, n. 3, 2017, p.187-193, ISSN 2530-0644, DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.08.003>.

REI, F. Ensaio para Brumadinho: considerações pela resiliência. *In*: LIGUORI, C.; LEVY, R. D. (org). **Brumadinho: da Ciência à Realidade**. 1. ed. São Paulo: LiberArs Ltda, 2020. p. 9-25.

RODRIGUES, L.G. M. **Estudos das causas, impactos e legislação relacionadas ao rompimento de barragens de rejeitos no Brasil**. 2019. 27p. Monografia – Centro Universitário de Lavras. Lavras, MG, 2019.

SCARLET, I. W. **Dignidade da pessoa humana e direitos fundamentais na Constituição Federal de 1988**. 9. ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2012. 192 p.

STARIOLO, M. Com tratamento adequado, água de rio afetado pela ruptura da barragem de Brumadinho já poderia ser empregada para fins de abastecimento, dizem pesquisadores. **Jornal da Unesp**. 14 jun. 2023. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2023/06/14/com-tratamento-adequado-agua-de-rio-afetado-pela-ruptura-da-barragem-de-brumadinho-ja-poderia-ser-empregada-para-fins-de-abastecimento-dizem-pesquisadores/#:~:text=Ap%C3%B3s%20a%20ruptura%20da%20barragem,c%C3%ABi%20cos%20chegassem%20no%20rio%20Paraopeba>. Acesso em: 01 ago. 2023.

THOMPSON, F.; DE OLIVEIRA, B. C.; CORDEIRO, M. C.; MAIS, B. P.; RANGEL, T. P.; PAZ, P. *et al*. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135914>.

VALE. Reparação e desenvolvimento. Disponível em: <https://www.vale.com/pt/indenizacoes/#:~:text=A%20Vale%20concluiu%20em%20outubro,previsto%20no%20Acordo%20de%20Repara%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 05 fev. 2024.

VALERIO FILHO, M.; CUAMBE, I. S. dos S. Geotecnologias Aplicadas no Mapeamento das Mudanças de Uso do Solo em Áreas de Exploração do Carvão Mineral no Subdistrito de Moatize, Moçambique. *In*: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). Santos, Brasil, 2017.

VERGILIO, C. DOS S.; LACERDA, D.; DE OLIVEIRA, B. C. V.; SARTORI, E.; CAMPOS, G. M.; PEREIRA, A. L. DE S. *et al*. 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. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62700-w>.

Recebido em: 30/04/2023

Aprovado em: 14/02/2024