



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BARRAGEM E
GESTÃO AMBIENTAL

LORRANA DIAS FERREIRA

**ANÁLISE DO IMPACTO AMBIENTAL NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DAS
BARRAGENS DE REJEITO NO MUNICÍPIO DE POCONÉ - MT**

Tucuruí/PA

2023

LORRANA DIAS FERREIRA

ANÁLISE DO IMPACTO AMBIENTAL NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DAS
BARRAGENS DE REJEITO NO MUNICÍPIO DE POCONÉ - MT

Texto dissertativo com agregação de artigo, apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental da Universidade Federal do Pará para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva.

Tucuruí/PA

2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)**

- D541a Dias Ferreira, Lorrana.
Análise do impacto ambiental na área de influência das barragens de rejeito do município de Poconé-MT. / Lorrana Dias Ferreira. — 2023.
83 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental, Tucuruí, 2023.
1. Impactos ambientais. 2. Meio Ambiente. 3. Barragens. 4. Mineração. I. Título.

CDD 620

LORRANA DIAS FERREIRA

**ANÁLISE DO IMPACTO AMBIENTAL NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DAS
BARRAGENS DE REJEITO NO MUNICÍPIO DE POCONÉ - MT**

Texto dissertativo com agregação de artigo, apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental da Universidade Federal do Pará para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental.

Orientadora: Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva.

Tucuruí, 29 de setembro de 2023.

Aprovado por:

Documento assinado digitalmente
 **ADRIANO FRUTUOSO DA SILVA**
Data: 10/10/2023 15:58:36-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva – Orientador
Universidade Federal de Roraima - UFRR
Universidade Federal do Pará – UFPA/NDAE/PEBGA

Documento assinado digitalmente
 **PEDRO ALVES DA SILVA FILHO**
Data: 16/10/2023 17:38:28-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho – Membro Externo
Universidade Federal de Roraima - PROFÁGUA/UFRR

Prof. Dra. Débora Dias Costa Moreira – Membro Interno
Universidade Federal do Pará – UFPA/NDAE/PEBGA

RESUMO

Devido aos trágicos acidentes relacionados ao rompimento de barragens de rejeitos em Minas Gerais, a disposição de rejeitos em barragens tornou-se um tópico de discussão cada vez mais urgente, especialmente em relação aos riscos associados a essa abordagem. Conseqüentemente, as empresas de mineração têm procurado implementar métodos alternativos para a gestão dos rejeitos resultantes de suas operações. Contudo nessa direção, o trabalho faz análise do nível de impacto ambiental na área de influência das barragens de rejeito no município de Poconé – MT, identificando os danos que podem ser causados por uma ruptura de barragem de rejeito. Para tanto foram elaborados mapas de impactos ambientais sobre as barragens selecionadas, sendo usado o software QGIS, também conhecido como Quantum GIS. Foi usado também o método Kernel, no qual é uma abordagem analítica que é frequentemente aplicada na avaliação de riscos e sensibilidade ambiental em relação às barragens de rejeito de mineração. Os resultados da pesquisa demonstraram que ao longo do trabalho foi possível observar que as barragens de rejeitos de mineração existentes no limite municipal de Poconé/MT são classificadas como estruturas que promovem um impacto ambiental “muito alto”, principalmente na zona urbana do município, e que caso ocorresse o rompimento, poderia atingir áreas de preservação legal, o sistema de drenagem da cidade, impactando assim a vida da comunidade de uma forma geral. Com os dados obtidos foi possível analisar o impacto ambiental das barragens de rejeitos nas comunidades locais, incluindo a possível relocação de famílias, o acesso à água potável e a saúde das pessoas que vivem nas proximidades. Portanto a análise do impacto ambiental na área de influência das barragens de rejeito em Poconé, Mato Grosso, é uma parte crucial do processo de gestão responsável das atividades de mineração, pois poderá ajudar a desenvolver estratégias para mitigar esses impactos e garantir a proteção do meio ambiente.

Palavras Chave: Impactos ambientais. Meio Ambiente. Barragens. Mineração.

ABSTRACT

Due to tragic accidents related to the failure of tailings dams in Minas Gerais, the disposal of tailings in dams has become an increasingly urgent topic of discussion, especially in relation to the risks associated with this approach. Consequently, mining companies have sought to implement alternative methods for managing tailings resulting from their operations. However, in this direction, the work analyzes the level of the environmental impact in the area of influence of tailings dams in the municipality of Poconé – MT, identifying the major damages that can be caused by a tailings dam rupture. To this end, maps of environmental impacts on the selected dams were created, using the software QGIS, also known as Quantum GIS. The Kernel method was also used, which is an analytical approach that is frequently applied in the assessment of risks and environmental sensitivity in relation to mining tailings dams. The results of the research revealed that throughout the work it was possible to observe that the mining tailings dams existing in the municipal limit of Poconé/MT are defined as structures that promote a “very high” environmental impact, mainly in the urban area than if it occurs the rupture could affect legal preservation areas and the city's drainage system, thus impacting the life of the community in general. With the data obtained, it was possible to analyze the environmental impact of tailings dams on local communities, including the possible relocation of families, access to drinking water and the health of people living nearby. Therefore, the analysis of the environmental impact in the area of influence of tailings dams in Poconé, Mato Grosso, is a crucial part of the responsible management process of mining activities, as it can help develop strategies to mitigate these impacts and ensure the protection of the environment.

Keywords: Environmental impacts. Environment. Dams. Mining.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução do valor da produção mineral do Brasil e dos dois principais estados mineradores do país, MG x PA (2010-2021).....	16
Figura 2 - Diagrama de tratamento (beneficiamento) de minérios.....	17
Figura 3 - Proporção de rejeitos produzidos para beneficiamento do minério.....	17
Figura 4 - Principais impactos ambientais das atividades de mineração.....	28
Figura 5 – Componentes do procedimento de avaliação de impactos ambientais....	32
Figura 6 – Modelo de Matriz de Avaliação de Impactos Ambientais.....	33
Figura 7- Fluxograma da metodologia de pesquisa.....	37
Figura 8 - Confecção do mapa no Qgis.....	42
Figura 9 - Localização de Poconé/MT.....	48
Figura 10 - exemplos da proximidade de muitas barragens no MT.....	49
Figura 11 – Mapa de influência das barragens de rejeitos do MT sobre os biomas.	50
Figura 12 - Proximidade dos garimpos da área urbana.....	51
Figura 13 – Mapa de detalhe 1.....	53
Figura 14 – Mapa de detalhe 2.....	54
Figura 15 – Mapa de detalhe – 3.....	55
Figura 16 – Mapa de detalhe bairros.....	56
Figura 17 – Mapa de detalhe.....	57
Figura 18 – Mapa de Carta Imagem I.....	58
Figura 19 – Mapa de Carta Imagem II.....	59
Figura 20 - Mapa de detalhe dos buffers – Barragem Alain II.....	60
Figura 21 – Mapa de detalhe dos buffers – Barragem Francês.....	62
Figura 22 – Mapa de detalhe dos buffers – Barragem João Paulo.....	63
Figura 23 – Mapa de ameaças de impacto ambiental.....	67
Figura 24 – Mapa de sensibilidade de impacto ambiental nas barragens.....	68
Figura 25 – Mapa de classificação de impacto ambiental.....	70
Figura 26 – Mapa de sensibilidade - classificação de impacto ambiental relacionada com barragens de rejeito de mineração no município de Poconé/MT.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Valor da produção mineral paraense no cenário nacional por substância produzida.....	16
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de barragens de rejeitos.....	23
Tabela 3 - Principais rompimentos de barragens (nacionais e internacionais) entre 1960 e 2021.....	26
Tabela 4 - Interações da água em processos de mineração.....	32
Tabela 5 – Análise de fatores impactantes para posterior matriz de impactos.....	36
Tabela 6 - Pesos atribuídos aos objetos analisados.....	45
Tabela 7- Barragem de rejeitos - Alain II.....	61
Tabela 8 - Barragem de rejeitos – Francês.....	62
Tabela 9- Barragem de rejeitos - João Paulo.....	63
Tabela 10- Resultado da análise de sensibilidade ambiental.....	64
Tabela 11 - Pesos atribuídos aos objetos analisados.....	65

LISTA DE SIGLA E ABREVIATURA

AIA - Avaliação de Impactos Ambientais

AHP - Analytic Hierarchy Process

ANM - Agência Nacional de Mineração

APPS - Áreas de Proteção Permanente

ARL- Áreas de Reserva Legal

AVNS - Áreas de Vegetação Nativa

DPA - Dano potencial associado

FEMA - Fundação Estadual de Meio Ambiente

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

PNSB - Política Nacional de Segurança de Barragens

SEDEC - Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico

SEMA/MT - Secretaria de Estado de Mato Grosso

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SICAR - Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural

SIGBM - Sistema Integrado de Gestão e Segurança de Barragens de Mineração

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVO.....	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE METAIS PRECIOSOS NO BRASIL.....	16
2.2 ETAPAS DA ATIVIDADE MINERÁRIA.....	19
2.3 BARRAGENS DE REJEITOS DE MINERAÇÃO: ESPECIFICIDADES E RISCOS.....	22
2.4 ACIDENTES EM BARRAGENS DE MINERAÇÃO	25
2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DAS BARRAGENS DE MINERAÇÃO.....	27
2.6 MATRIZ DE IMPACTOS AMBIENTAIS NAS ATIVIDADES MINERADORAS.....	35
2.7 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL E FEDERAL DE MINERAÇÃO.....	38
3 METODOLOGIA	40
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	48
4.1 Caracterização área de estudo	48
4.2 MAPAS DE IMPACTOS.....	52
4.3 ANÁLISE DOS OBJETOS DE SENSIBILIDADE DA ÁREA ALVO DE ESTUDO..	57
5 CONCLUSÃO	74
REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

A atividade mineradora tem sua importância no país em face da participação no desenvolvimento econômico, com atuação direta de 4% do PIB-Nacional, geração de empregos e demais fatores, no entanto, não se pode ignorar que existem riscos relacionados à sua realização, que atingem tanto o meio ambiente no local da mineração quanto as populações próximas, trabalhadores, suas famílias etc. (SANTOS, 2023).

A mineração gera rejeitos que não podem ser mais utilizados e, assim, precisam ser depositados em algum local para que a atividade tenha seguimento sem atrasos por conta de rejeitos nos locais de mineração e, para isso, são construídas as barragens de rejeitos (ARAÚJO, 2006).

Essas barragens são relativamente comuns, porém, caso ocorra nelas algum incidente, seu rompimento tem o potencial de causar danos consideráveis ao ambiente e às pessoas que se encontram em suas proximidades, com danos materiais, ambientais e humanos incalculáveis (FONSECA, 2018).

Em se tratando dos recursos naturais, sabe-se que são essenciais para a manutenção da vida e, assim, acidentes que levem ao seu comprometimento são sempre considerados amplamente prejudiciais. Os danos ambientais dos rompimentos de barragens atingem grandes extensões e uma parcela importante da população, muitas vezes a grandes distâncias, de modo que os debates sobre o tema vêm se tornando mais comuns, amplos e aprofundados (NAVA, 2018).

O rompimento de barragens de mineração não é um acidente extremamente comum no Brasil, porém, quando ocorre tem o potencial de causar danos ambientais extremamente graves, de longa duração ou impossíveis de serem corrigidos, além das mortes que podem decorrer desses eventos. Avaliar os impactos imediatos e cumulativos desses eventos é uma atividade extremamente difícil, em função de bens que podem ser perdidos (como as vidas de pessoas e de espécies animais ou vegetais) e para os quais não há um cálculo de valores (CARVALHO, 2018).

Para Polignano e Lemos (2020), os impactos dos acidentes com barragens são sempre elevados, mesmo que não sejam perdidas vidas, a natureza e as regiões são fortemente atingidas e, muitas vezes, não é possível recuperar esses locais ou isso

demora muitos anos e consome muitos recursos que poderiam ser destinados a outras finalidades.

Para que a mineração possa seguir fomentando o desenvolvimento econômico de diferentes nações, os estudos ambientais são essenciais e devem ser contínuos. O fato é que esses estudos geram benefícios para toda a sociedade, tanto no âmbito econômico quanto na questão de segurança, preservação ambiental e das vidas dos cidadãos (RIBEIRO, 2019).

Esses estudos já estão muito adiantados em diversos locais do mundo, enquanto no Brasil ainda necessitam de mais aprofundamento, já que os acidentes com barragens de rejeitos ainda ocorrem com alguma frequência e seus impactos são, na maioria das vezes, incalculáveis (VERGILIO *et al.*, 2020).

Inclusive para compreender quais são os riscos associados a uma barragem de rejeitos é preciso levar em consideração diferentes variáveis, como altura e volume. O risco de acidentes tem relação direta com sua altura, enquanto as consequências para o entorno relacionam-se com o volume desses reservatórios, levando à compreensão de que os riscos devem aumentar 20 vezes a cada 30 anos, já que as projeções indicam que as barragens no mundo dobram de volume a cada 30 anos, especialmente em face da demanda mundial por minérios que cresce a cada ano (GUEDES; SCHNEIDER, 2018).

No que diz respeito ao estado de Mato Grosso, dados da Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico (SEDEC) do ano de 2021, revelam ocupa a 5ª colocação em produção mineral no país, enquanto ocupa o 1º lugar em requerimentos minerais, além disso, Zinco, cobre e ouro são os minerais de maior extração (SEDEC, 2021). Inclusive as empresas que buscam se estabelecer na região para a exploração desses minerais, assim como as cooperativas garimpeiras, apresentam um interesse em reduzir ao máximo os impactos decorrentes da mineração, adotando uma metodologia de trabalho com maior sustentabilidade.

A caracterização do modelado do relevo para a planície do Pantanal evidencia sua dinâmica de fluxo e características diferenciais na configuração dos pantanais. Nesse contexto, o município de Poconé – MT se estende por 17.271 km² e contava com 31.217 habitantes no censo 2022. A densidade demográfica é de 1,82 habitantes por km² no território do município. Poconé se situa a 86 km a Sul-Oeste de Várzea Grande a maior cidade nos arredores. Situado a 153 metros de altitude, Poconé tem

as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 16° 15' 26" Sul, Longitude: 56° 37' 29" Oeste (BRASIL, 2021).

O perímetro urbano de Poconé corresponde a maior concentração urbana do município, representando mais de 50% da população total. Conseqüentemente é a população com maior nível de exposição as atividades de mineração garimpeira de ouro.

No que tange a mineração em Poconé – MT, limite norte do pantanal Mato-grossense, o uso do mercúrio (Hg) teve início há aproximadamente 200 anos, juntamente com a mineração do ouro. Com isso, o despejo de mercúrio no Rio Bento Gomes, em Poconé, é estimado em 50 toneladas, somente em decorrência das atividades de mineração. A poluição por mercúrio foi reduzida na década de 90 devido as medidas da Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEMA), bem como devido à queda dos preços do ouro (CUNHA; JUNK, 2019).

O fato é que após o contato do Hg com o ambiente, ele é incorporado pela biota pela biomagnificação entre os componentes da cadeia trófica. Estudos da década de 90 verificaram que moluscos pulmonados extraídos da região a montante do local de contaminação apresentavam teores de mercúrio cerca de 0,93 gg – 1. Penas de aves em regiões distantes das áreas de contaminação apresentaram contaminação pela substância. Nos últimos anos as atividades minerárias vêm apresentando aumento, porém, os estudos sobre os impactos ambientais, sua quantificação e monitoramento são inexistentes (CUNHA; JUNK, 2019).

O rio Bento Gomes é usado no abastecimento da população urbana e rural de Poconé e em 2019 foi atingido por sedimentos de mineração. Em janeiro de 2019 o Córrego Areão (afluente do Bento Gomes) foi atingido por vazamentos em dois taludes de rejeitos de garimpo e de tanque de piscicultura. Os rejeitos decorrentes da mineração podem conter metais pesados como: arsênio, cádmio, cromo e mercúrio, extremamente danosos para a saúde e para a biota de forma geral. Na década de 80 e 90 já se sabia que plantas, animais e pessoas apresentavam contaminação por mercúrio e há um receio de que essa contaminação se torne ainda maior (CUNHA; JUNK, 2019).

Vale frisar que a história de Poconé está diretamente ligada com a atividade minerária e, assim, é extremamente difícil conseguir separar essa atividade do local, há uma ligação que não pode ser facilmente desfeita. É essencial ressaltar que a água

é um dos insumos mais usados e de maior relevância na mineração, porém, a água é um bem essencial para a vida e sabe-se que poderá se esgotar em alguns anos. Nesse sentido, é preciso debater a atividade minerária também sob o prisma de redução do uso da água, reaproveitamento e tratamento para evitar contaminação de rios e lençóis freático na região, neste caso especificamente Poconé (BELLATO; MIGLIORINI; SALOMÃO, 2012).

Nesse sentido, a problemática ensejada nesse estudo refere-se à necessidade do desenvolvimento de uma matriz de nível de impacto ambientais para quantificar, bem como definir alternativa de mitigação desses níveis e correção em caso de ocorrências de falhas severas que atinjam a região central de Poconé de forma mais grave.

1.1 JUSTIFICATIVA

O setor minerário desempenha um papel significativo no desenvolvimento social e econômico do Brasil, que ocupa a segunda posição entre os maiores produtores de minério do mundo, com uma produção anual de mais de 300 milhões de toneladas e uma notável geração de empregos diretos e indiretos (STELA; DUARTE; PEREIRA, 2020). No entanto, as atividades de exploração de minérios geram quantidades substanciais de rejeitos como subprodutos do processo, tornando-se essencial adotar medidas para reduzir seu volume e garantir sua disposição adequada, uma vez que a destinação inadequada representa grandes riscos ambientais e sociais.

Em virtude dos trágicos acidentes relacionados ao rompimento de barragens de rejeitos em Minas Gerais, a técnica de disposição de rejeitos em barragens tem sido objeto de debates cada vez mais intensos, especialmente no que diz respeito aos riscos associados a esse tipo de estrutura. Assim, as empresas de mineração têm buscado implementar métodos alternativos para a gestão dos rejeitos gerados em suas operações, com destaque para a técnica de empilhamento a seco de rejeitos (STELA; DUARTE; PEREIRA, 2020).

Na cidade de Poconé – MT, os garimpos se encontram muito próximos das áreas centrais da cidade e, assim, a população manifesta, de forma crescentemente frequente, a preocupação com os riscos de impactos negativos que podem ocorrer no local. No entorno e dentro da cidade existem montanhas de rejeitos espalhadas,

decorrentes da mineração. As atividades de mineração vêm causando transtornos consideráveis, não apenas as crateras, como também rachaduras em ruas e casas (PEREIRA, 2019).

A motivação do trabalho deu-se pela atividade mineradora causar impactos ambientais consideráveis, como crateras e rachaduras no solo. Um dos primeiros impactos a ser citados refere-se à ocorrência de crateras pelas ruas da cidade, bem como rachaduras nas casas em função das atividades de mineração que ocorrem muito próximas ao perímetro urbano local. Não apenas as atividades de mineração geram esses impactos sobre o solo e colocam a população em risco, como também as amplas quantidades de rejeitos que são dispostas em diversos locais e atuam negativamente sobre o solo, as águas e o ar.

A descoberta de ouro no município de Poconé fez com que pessoas de todos os locais do país se mudassem para a região em busca da possibilidade de garimpar esse metal precioso. Os primeiros garimpos causaram crateras imensas e que se tornaram uma questão ambiental extremamente negativa. Assim, o poder público desenvolveu medidas para fechar essas crateras e criar parques na área depois que o garimpo já não rendia frutos na área (PELETTI; SILVA, 2017).

Na cidade de Poconé observa-se que até o mês de setembro de 2023, 54 barragens, sendo que, dessas, 28 estão inseridas na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), e as outras 26 não. Assim, dados apontam que após a década de 90 não foram realizados estudos quantificando os impactos ambientais decorrentes da mineração, tampouco no sentido de definir riscos de novas contaminações pela continuidade dessas atividades na região de Poconé – MT. Nessa situação, não existe uma análise do grau de impacto ambiental atual para a região, o que justifica a escolha do tema e o desenvolvimento do presente estudo.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma análise do impacto ambiental na área de influência das barragens de rejeito no município de Poconé – MT.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar os danos ambientais que podem ser causados por uma ruptura de barragem de rejeito de mineração.
- Identificar as barragens de rejeitos de mineração que se mantêm próximas ao perímetro urbano de Poconé – MT.
- Gerar um mapa de sensibilidade a fim de identificar o nível de impacto ambiental que as barragens de rejeitos de mineração podem ocasionar no município de Poconé-MT.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação está estruturada em cinco capítulos, conforme descrito a seguir:

O Capítulo 1 apresenta a introdução, objetivos e estrutura da dissertação.

No Capítulo 2 são abordados uma revisão bibliográfica acerca de mineração e barragens de rejeito

No Capítulo 3 é apresentado o procedimento metodológico adotado no presente trabalho.

O Capítulo 4 corresponde a apresentação e discussão dos resultados obtidos. Por último, no Capítulo 5 apresentam-se as conclusões baseadas nos resultados verificados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE METAIS PRECIOSOS NO BRASIL

O Brasil é, atualmente, apresenta um volume potencial significativo na mineração e exportação mineral, gerando não apenas divisas para o país como também empregos relacionados à área nas diversas regiões de mineração. Os minerais obtidos no Brasil são diversos, não se limitando apenas ao ouro ou minério de ferro, mas inúmeros outros tipos. A fim de exemplificar melhor na tabela está descrito o panorama do valor da produção mineral paraense no cenário nacional por substância produzida no ano de 2021.

Tabela 1 –Valor da produção mineral paraense no cenário nacional por substância produzida

Substância Mineral	Valor (Bilhões)		
	Brasil	Pará	Proporção PA/BR (%)
Total			
Ferro	250,8	119,9	47,8
Cobre	18,2	12,8	70,3
Alumínio (Bauxita)	5,4	5,2	95,3
Ouro	24,3	4,1	16,8
Níquel	6,9	1,6	23,8
Caulim	0,9	0,6	65,9
Manganês	0,6	0,2	39,0
Estanho	1,6	0,2	11,4
Rochas (Britadas) e Cascalho	8,9	0,2	1,9
Calcário	6,6	0,1	2,1
Fosfato	2,8	0,0	1,5
Areia	2,1	0,0	1,0
Argilas	0,9	0,0	1,2
Nióbio	1,1	0,0	0,3
Prata	0,0	0,0	45,3

Fonte: ANM, 2023.

Elaboração: CEEAC/FAPESPA, 2023

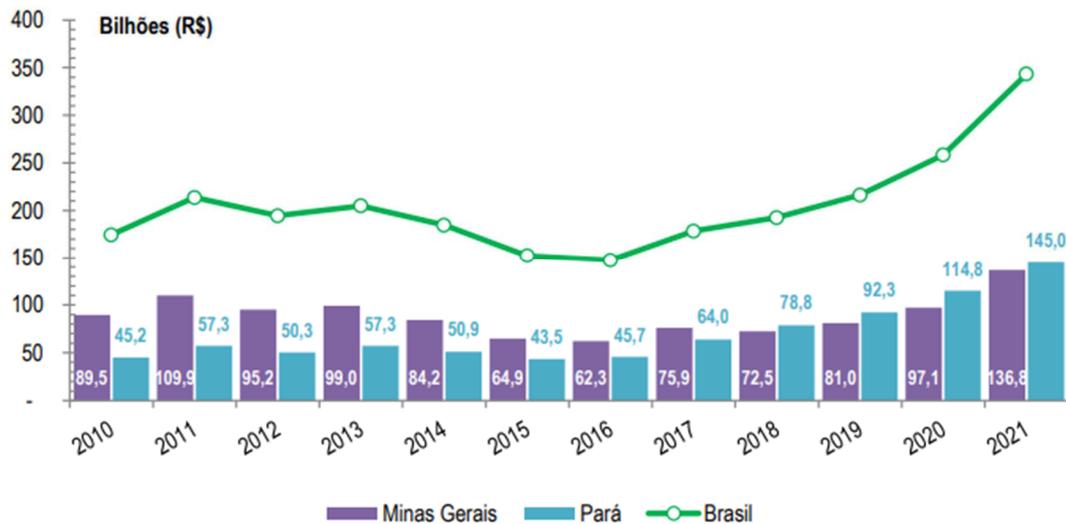
Na Tabela 01, é possível analisar o montante de produção de todas as substâncias geradas no estado do Pará durante o ano de 2021. No decorrer desse ano, a produção mineral paraense alcançou a cifra de R\$ 145 bilhões, representando uma parcela significativa de 42,3% do total nacional em produção mineral. Entre todas as substâncias minerais produzidas no estado, o ferro obteve o valor de produção mais elevado, registrando R\$ 119,9 bilhões, o que equivale a expressivos 47,8% da produção de ferro em todo o país.

É relevante notar que o alumínio paraense contribuiu com um impressionante 95,3% do valor nacional, estabelecendo-se como a substância mineral com a maior contribuição em termos percentuais do estado para o cenário nacional. Em segundo lugar, o minério de cobre apresentou uma considerável margem de contribuição de 70,3%, seguido pelo caulim com 65,9%.

Ao analisar a trajetória histórica do valor da produção mineral no Brasil, assim como nos dois principais estados mineradores do país, durante o período de 2010 a 2021, observamos que o valor total da produção mineral no Brasil duplicou ao longo desse intervalo de tempo. Esse resultado foi impulsionado a partir de 2017, quando o valor dos minérios começou a registrar sucessivos aumentos. Nesse mesmo período, os valores dos minérios nos estados de Minas Gerais e Pará também experimentaram um crescimento substancial, com destaque para o minério paraense, que apresentou um crescimento mais acentuado.

O estado do Pará ultrapassou Minas Gerais em 2018 em termos de valor da produção mineral e continuou a crescer vigorosamente, alcançando o maior valor registrado entre os dois estados no último ano da série, atingindo a marca de R\$ 145 bilhões (conforme ilustrado no Gráfico 01).

Figura 1 - Evolução do valor da produção mineral do Brasil e dos dois principais estados mineradores do país, MG x PA (2010-2021)



Fonte: ANM, 2023.

Elaboração: CEEAC/FAPESPA, 2023.

Nota: valores corrigidos pelo IGD-I a preços de dez/2021 = 100.

A arrecadação total de impostos foi de R\$ 28,8 bilhões e estima-se que os investimentos na área até 2024 alcancem R\$ 38 bilhões. Foram exportadas 85,3 milhões de toneladas de minerais apenas outubro a dezembro de 2020, 25,3 toneladas de minério de ouro. Em toneladas, alumínio e manganês foram os minérios de maior exportação, em valores, cobre e nióbio geraram os maiores retornos no 4º trimestre de 2020 (IBRAM, 2020).

Bomfim (2017) esclarece que em países como África do Sul, Austrália, Brasil, Canadá e Estados Unidos a atividade minerária tem elevada representatividade econômica, sendo que no Brasil é uma das mais antigas e mais tradicionais. Esses dados evidenciam a importância do setor para a economia regional e nacional. Sobre isso, Dias *et al.* (2016, p. 2) ressaltam que:

A indústria da Mineração no Brasil apresenta uma grande diversidade de reservas minerais e contribui significativamente para a geração de riqueza e desenvolvimento do país e é inegável que o setor de mineração promova considerável desenvolvimento nas cidades em que atua.

No entanto, não se pode ignorar que existem riscos e impactos associados e que podem ser negativos para os locais da atividade mineradora, para as populações próximas e para os trabalhadores. É necessário entender, ainda, quais são as etapas

da atividade minerárias para que seja possível compreender de modo mais detalhado quais são os impactos decorrentes e em que etapas se configuram de forma mais acentuada ou grave para os envolvidos.

2.2 ETAPAS DA ATIVIDADE MINERÁRIA

Poucos são os minerais que podem ser utilizados conforme encontrados na natureza, de fato, a expressiva maioria demanda de alguma forma de tratamento para que se tornem úteis para as finalidades às quais são aplicáveis (LUZ; LINS, 2018).

Atualmente a mineração segue processos organizados, desenvolvidos com o intuito de otimizar seus resultados. A primeira etapa envolve a prospecção mineral, atividade capaz de indicar quais são as áreas com potencial para a exploração mineral. “A prospecção é a primeira etapa de utilização de um depósito mineral, considerada a mais primitiva e sistemática das explorações” (BOMFIM, 2017, p. 9).

Mesquita, Carvalho e Ogando (2016) citam que a mineração depende de um conjunto de atividades associadas e que conduzem ao resultado final, o minério desejado. Para os autores, a lavra é a extração do mineral e seu transporte interno, dentro dos espaços de mineração.

Depois da aplicação de tecnologias, testes e atividades exploratórias de locais com potencial mineral, inicia-se a exploração mineral. Tal etapa demanda de técnicas mais avançadas e efetivas, como a perfuração do solo, que é extremamente efetiva para a confirmação ou descarte de uma área como local de produção, porém, também se trata de uma das técnicas mais caras. Em muitos países a etapa de exploração mineral somente terá início depois de uma Avaliação de Impactos Ambientais (AIA), já que a exploração mineral, por si só, já pode causar impactos graves sobre o meio ambiente (BOMFIM, 2017, p. 9).

A mineração pode ser superficial ou subterrânea, sendo que na modalidade superficial os impactos ambientais mais comuns envolvem a destruição das paisagens e florestas, pois é preciso desmatar a área e, assim, a vida selvagem é diretamente atingida, a erosão do solo é muito comum, de modo que fins agrícolas de uso da área são limitados, a mata ciliar é perdida, solo e lençol freático são contaminados por produtos tóxicos, particulados são liberados na atmosfera e a qualidade de vida dos indivíduos nas proximidades é comprometida (BOMFIM, 2017).

Na modalidade subterrânea os danos são menos perceptíveis, mas são graves e existem, citando-se o depósito de resíduos na superfície, alteração do fluxo de águas subterrâneas no local, emissão de compostos tóxicos no ar, devido às atividades, além de risco de contaminação da água por esses mesmos compostos tóxicos utilizados (BOMFIM, 2017).

Depois de identificar as áreas com possíveis reservas minerais e iniciar a exploração, inicia-se o beneficiamento mineral. Nessa fase são aplicados processos para separar o mineral de outras substâncias para chegar ao produto desejado, tratando, concentrando ou purificando o minério, porém, com o cuidado de manter a constituição química que apresenta. Boa parte dos resíduos ocorre na etapa de beneficiamento, que exige preparação (trituração por esmagamento e moagem do minério), concentração (separação do minério e da ganga), e desidratação do concentrado (BOMFIM, 2017).

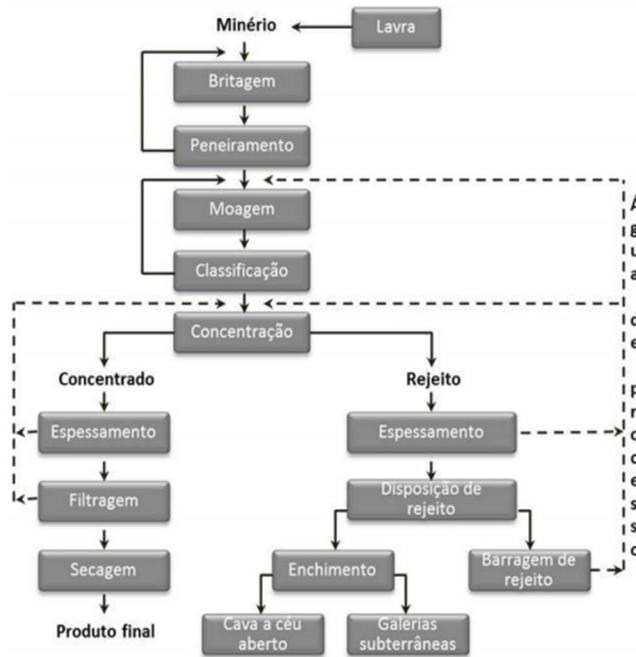
O minério, por meio do esmagamento em suas diferentes fases de beneficiamento, pode ser reduzido a um tamanho de 5 mm a 25 mm. O beneficiamento, em decorrência das técnicas aplicadas, pode causar impactos decorrentes de “uso de mercúrio para amalgamação do ouro, efluentes ricos em metais tóxicos lançados nos rios e córregos, emissões de particulados através de processos de britagem e moagem, entre outros” (BOMFIM, 2017).

A etapa de beneficiamento envolve a cominuição, por meio de britagem e moagem, a classificação, a concentração e/ou aglomeração. Esses processos geram mudanças físicas do minério, para que seja agrupado em partes maiores, mas sua composição é mantida (MESQUITA; CARVALHO; OGANDO, 2016)

Sobre o beneficiamento, também chamado de tratamento, ressalta-se o esclarecimento de Luz e Lins (2018), que afirmam que se trata do momento de separação dos minerais que se busca e da matéria sem valor (ganga). Obtém-se um produto enriquecido, o concentrado, com grande quantidade do mineral de valor, a modificação granulométrica ou de forma dos mesmos.

Dentro da etapa de tratamento ou beneficiamento são realizados diferentes procedimentos, como britagem, moagem, classificação, entre outros, devidamente descritos na Figura 2.

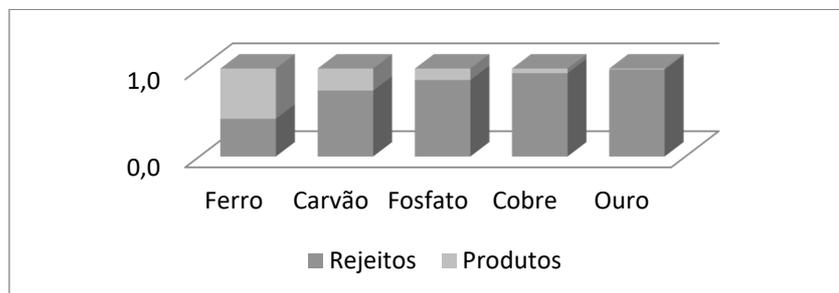
Figura 2 - Diagrama de tratamento (beneficiamento) de minérios



Fonte: Luz e Lins (2018, p. 5).

Após essas etapas são gerados resíduos e rejeitos minerais que precisam ser dispostos e tratados para a redução de impactos. Alguns tipos de minérios geram elevadas quantidades de rejeitos. De fato, alguns minérios geram quantidades muito maiores de rejeitos do que do material que se busca obter (SOARES, 2010; BOMFIM, 2017). Somente para exemplificar a disparidade entre os resíduos gerados e os minerais obtidos em alguns casos, apresenta-se a Figura 3.

Figura 3 - Proporção de rejeitos produzidos para 1 tonelada de beneficiamento do minério



Fonte: Adaptado de Soares (2010, p. 831).

Verifica-se, assim, que a para a produção de ouro, por exemplo, produz-se uma quantidade expressivamente maior de rejeitos. Em muitos casos os rejeitos são dispostos de forma irregular ou inadequada e, assim, geram riscos para a população.

Mesmo quando há intuito de reuso dos resíduos, eles precisam ser devidamente tratados para que não causem contaminação das áreas e da população. No Brasil, a disposição de resíduos de lavra está sujeita ao que dispõe a NBR13029, sendo os reservatórios com diques de contenção ou barragens os métodos mais comuns. Essas estruturas devem ser construídas seguindo “[...] todas as normas de segurança para impedir infiltração de efluentes danosos, evitando danos socioambientais de grande repercussão” (BOMFIM, 2017, p. 18).

Na sequência são esclarecidos os dados a respeito das barragens de rejeitos de mineração.

2.3 BARRAGENS DE REJEITOS DE MINERAÇÃO: ESPECIFICIDADES E RISCOS

As barragens de rejeitos são amplamente utilizadas para a deposição dos materiais oriundos da mineração e que não podem ser aproveitados em suas atividades. Por muitos anos as empresas de mineração consideravam que os rejeitos de suas atividades e os riscos ao meio ambiente e sociedade associados a elas não eram relevantes, porém, após o século XV essas atividades tomaram força, ampliaram-se de forma considerável, o interesse econômico na atividade cresceu e os rejeitos passaram a ter proporções elevadas, quando passaram a ser encaminhados para cursos de água (SOUZA JUNIOR; MOREIRA; HEINECK, 2018).

No início do século XX agricultores e mineradores passaram a entrar em conflitos por conta da contaminação de águas e lavouras e passaram a surgir leis para gerenciar os rejeitos da atividade minerária. As barragens de rejeitos começaram a ser construídas, algumas sem muitas tecnologias envolvidas e a partir da década de 80 as questões ambientais entraram na pauta de debates em todo o mundo, fazendo com que mais cuidados fossem adotados para a disposição de rejeitos de mineração, inclusive no Brasil (SOUZA JUNIOR; MOREIRA; HEINECK, 2018).

Destaca-se que as barragens atuais estão se tornando cada vez mais comuns, maiores e atreladas a riscos consideráveis, com registros de acidentes graves em diferentes locais. É essencial investir em estudos sobre melhores métodos, técnicas e desenvolvimento de medidas de segurança para que essas barragens não sejam apenas grandes, mas seguras para a finalidade a qual se destinam (SOARES, 2010).

Para a construção de barragens de rejeitos utiliza-se o solo ou os próprios rejeitos, um dique com certa altura é construído e alteamentos são conduzidos durante sua vida útil para o atendimento das demandas. Os métodos utilizados são:

Montante – método bastante antigo, de desenvolvimento simples e baixos custos. Canhões lançam os rejeitos na direção à montante da linha de simetria do dique, assim se forma uma praia de deposição. Esses resíduos farão parte da estrutura de contenção. Jusante – é construído um dique de partida de solo e alteamentos subsequentes são realizadas para jusante, próprios rejeitos, solos ou estéril da lavra podem ser aplicados para a construção. Linha de centro - método intermediário entre jusante e montante, lança-se o rejeito a montante do dique de partida, formando uma praia, enquanto o alteamento subsequente decorre do lançamento de aterro sobre o limite da praia e no talude da jusante (BOMFIM, 2017, p. 18-19).

Dias *et al.* (2016) relatam que a opção por barragens de alteamento a montante apresenta maiores riscos quando usadas para rejeitos de mineração, enquanto alteamento de linha de centro e alteamento a jusante são métodos mais seguros para tal finalidade. Dentre os acidentes ocorridos nos últimos anos, a maioria se deu em barragens com alteamento a montante.

As barragens de montante e linha de centro contam com vantagens econômicas e baixo custo, todas devem ser construídas de acordo as normas de construção e segurança vigentes no país. Para melhor compreensão das vantagens e desvantagens de cada método construtivo, apresenta-se a Tabela 2.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de barragens de rejeitos

Tipo de barragem	Descrição	Vantagens	Desvantagens
Alteamento a montante	Método mais usado, apoia-se na construção de dique inicial e diques de alteamento no talude de montante com material de empréstimo, estéreis de lavra ou com grossos da ciclonagem. O lançamento ocorre pela crista por ciclonagem ou sistemas de tubos;	Menor custo; Maior velocidade de alteamento; Utilizado em locais nos quais há área restrita;	Baixa segurança decorrente da linha freática próxima ao talude de jusante; Suscetibilidade de liquefação; Possibilidade de “ <i>piping</i> ”;

Tipo de barragem	Descrição	Vantagens	Desvantagens
Alteamento a jusante	Construção de dique inicial impermeável e barragem de pé Separação de rejeitos na crista do dique por hidrociclones; Dreno interno e impermeabilização a montante;	Maior segurança; Compactação de todo o corpo da barragem;	Necessidade de grandes quantidades de grossos de ciclonagem; Deslocamento do talude de jusante (proteção superficial só no final da construção);
Alteamento linha de centro	Variante do método a jusante;	Flexibilidade do volume de grossos de ciclone necessários com relação ao método jusante;	Necessidade de sistemas de drenagem eficiente e sistemas de contenção a jusante;

Fonte: Adaptado de Dias *et al.* (2016).

As barragens de mineração, além de mais comuns, vêm se tornando maiores e mais volumosas em todo o mundo. Estimativas apontam que essas estruturas, a cada 30 anos, aumentem seu volume em 10 vezes e alcançam o dobro de altura para conterem todos os resíduos decorrentes da mineração. No presente são geradas 670.000 toneladas de rejeitos todos os dias e acredita-se que esse valor chegará a um milhão de toneladas ao dia até 2030 (GUEDES; SCHNEIDER, 2018).

Conforme Conceição e Lima (2018), para obter minerais necessários à economia e desenvolvimento de diversas áreas, o volume de rejeitos produzidos simultaneamente é elevado, aproximadamente 18 bilhões de m³ por ano e em face do aumento das demandas por minérios diversos, a produção de resíduos de mineração deverá duplicar dentro de 20 a 30 anos.

Antes de planejar e dar início à construção de uma barragem, deve-se compreender que o método construtivo se configura como um possível risco e, assim, sua seleção deve ocorrer diante da aplicação de critérios muito cuidadosos, levando-se em consideração o uso, os totais de rejeitos que serão ali depositados, as áreas em que a barragem se encontra para, então, selecionar o método de maior segurança (DIAS *et al.*, 2016).

Uma barragem não pode ser apenas construída e utilizada, ela precisa ser acompanhada e melhorada durante sua vida útil, é preciso que receba atenção contínua, de modo a evitar que ao invés de trazer benefícios para a atividade mineradora venha a se tornar uma fonte de riscos e de tragédias para a região em que se localiza. As barragens devem ser cuidadosamente planejadas, construídas com materiais de qualidade e técnicas seguras, além de receber vistorias constantes

para que possíveis falhas decorrentes do tempo de uso e da inserção de quantidades cada vez maiores de rejeitos não se torne um risco impossível de ser controlado (SOARES, 2010).

Para compreender quais são os riscos associados a uma barragem de rejeitos é preciso levar em consideração diferentes variáveis, como altura e volume. O risco de acidentes tem relação direta com sua altura, enquanto as consequências para o entorno relacionam-se com o volume desses reservatórios, levando à compreensão de que os riscos devem aumentar 20 vezes a cada 30 anos, já que as projeções indicam que as barragens no mundo dobram de volume a cada 30 anos, especialmente em face da demanda mundial por minérios que cresce a cada ano (GUEDES; SCHNEIDER, 2018).

No Brasil estão registradas 839 barragens de rejeitos, 66% delas de pequeno porte, ou seja, o volume total é inferior a 0,5 hm³, 43,5% em Minas Gerais. Pensando-se nos critérios de risco aplicados atualmente, 77% são definidas como risco baixo, o dano potencial associado (DPA) é baixo em 56,5% delas, mas 26,58% apresentam DPA considerado elevado (SOUZA JUNIOR; MOREIRA; HEINECK, 2018).

2.4 ACIDENTES EM BARRAGENS DE MINERAÇÃO

O desenvolvimento da legislação ambiental e as preocupações com os impactos das atividades de mineração no Brasil, indicando a necessidade de criar normas para a construção e utilização das barragens de rejeitos foram processos lentos. Os maiores avanços ocorreram após o rompimento da barragem de Fundão (Mariana – MG), em novembro de 2015, que destruiu o subdistrito, matou 17 pessoas, deixou mais de 600 desabrigados e desalojados, com amplos impactos ambientais e socioeconômicos. O rompimento ocorreu em função do processo de liquefação estática decorrente de recuo do eixo da crista e ineficácia dos tapetes drenantes para a altura da barragem (SOUZA JUNIOR; MOREIRA; HEINECK, 2018,).

Em janeiro de 2019 a Barragem 1 da mina Córrego do Feijão (Brumadinho – MG) rompeu-se lançando em torno de 13 milhões de m³ de lama e rejeitos de mineração. Os impactos ambientais, especialmente sobre o rio Paraopeba, foram graves, ocorreram mais de 300 mortes, depois de um mês do acidente 179 óbitos haviam sido confirmados identificados, e 129 pessoas ainda não haviam sido localizadas (FREITAS *et al.*, 2019).

A maior frequência de falhas “Graves” e Muito Graves” em barragens de rejeito tem significativas consequências sociais e econômicas, às vezes não remediáveis; 49% de todas as falhas “Graves” e Muito Graves” registradas de 1940 a 2010 ocorreram a partir de 1990; dos 52 incidentes registrados, 1990-2010, 33% foram falhas “Graves”, ou seja, grandes o suficiente para causar impactos significativos ou envolver perda de vidas. Outros 31%, foram falhas “Muito Graves”, ou seja, falhas catastróficas que liberaram mais de 1 milhão de metros cúbicos de rejeitos e, em alguns casos, resultaram em múltiplas perdas de vida (BOWKER; CHAMBERS; 2015).

Em termos socioambientais, a grande magnitude e muitas vezes a natureza tóxica do material dentro das barragens de rejeitos significa que sua falha e a consequente descarga nos sistemas fluviais afetarão invariavelmente a qualidade da água, dos sedimentos e a vida aquática e humana (KOSSOFF *et al.*, 2014).

São inquestionáveis os danos causados pela falha na barragem do Fundão, município de Mariana, Minas Gerais, onde 43 milhões de m³ de rejeitos de minério de ferro causaram problemas ambientais, poluindo 668 km de cursos d’água do rio Doce até o oceano Atlântico e a morte de 19 pessoas (CARMO *et al.*, 2017).

Neste contexto, foram adaptadas várias ferramentas de análise de risco para rompimento de barragens. Segundo McGrath (2000), essas análises foram criadas para aplicações nas indústrias de petróleo, química, nuclear e offshore com o objetivo de estimar probabilidades de falha em componentes ou sistemas e a magnitude das consequências resultantes, com a finalidade auxiliar na tomada de decisões em segurança. Atualmente são utilizadas por diversos países como Estados Unidos, Canadá, Noruega, França, Países Baixos, Suécia, Austrália, Portugal, Brasil, entre outros, para a análise de risco de rompimento de barragens. (CONCEIÇÃO; LIMA, 2018).

Na Tabela 3 são elencados os principais acidentes com barragens de rejeitos registrados no período de 1960 a 2021

Tabela 2 - Principais rompimentos de barragens (nacionais e internacionais) entre 1960 e 2021

Barragem	Ano	País	Causas prováveis	Consequências
Bufalo Creek	1972	EUA	Excesso de chuva	120 vítimas
Stava	1985	Itália	Falha estrutural	268 vítimas

Mina de Fernandinho	1986	Brasil	Falha na ombreira direita	7 vítimas
Mina do Pico de São Luiz	1986	Brasil	Falha na ombreira	Sem óbitos
Mogpog	1996	Filipinas		Sem vítimas
Aznalcollar	1998	Espanha	Falha estrutural	Sem óbitos
Martin County	2000	EUA	Vazamentos	Sem óbitos
Macacos	2001	Brasil	Abalo sísmico	5 vítimas
Florestal	2003	Brasil	Falha estrutural	Sem vítimas
Cataguases				
Rio Pomba	2007	Brasil	Falha estrutural	Sem vítimas
Ajka	2010	Hungria	Arrebentamento de dique	10 vítimas
Herculano	2014	Brasil	Saturação de água	3 vítimas
Fundão	2015	Brasil	Defeitos de construção na base do dreno de fundo Acúmulo de lama	19 vítimas

Barragem	Ano	País	Causas prováveis	Consequências
Brumadinho	2019	Brasil	Alto nível de água Rejeitos finos fracos	272 vítimas (232 mortes e 40 desaparecidos)

Fonte: Adaptado de Lima (2016); Ovando (2019) e Tschiedel *et al.* (2019).

É possível entender que o aspecto da existência de mineração que use o sistema de barragens de contenção potencializa os riscos de impactos direta a natureza, e conseqüentemente a vida humana, assim, propor medidas de estudos e melhorias nas tecnologias existentes para minimizar este risco é fator essencial para minimizar os impactos potenciais das atividades de mineração.

2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DAS BARRAGENS DE MINERAÇÃO

As atividades humanas, em sua maioria, alteram as características dos locais em que ocorrem, destacando-se a mineração com uma daquelas com maiores impactos sobre a superfície terrestre. Não são apenas alterações da paisagem, mas muitos graves e irreversíveis, como contaminação de solo e das águas, eliminando a vegetação e causando adoecimento de animais e humanos (SOUZA; RAMOS; CORINGA, 2013).

Silva e Andrade (2017) enfatizam que todas as atividades humanas são impactantes ao meio ambiente em alguma proporção, como a agricultura, pecuária etc. A mineração também apresenta esse potencial de causar danos, especialmente sobre a água, ar, solo, além de ser importante considerar a poluição sonora, que pode ser amplamente negativa.

O Brasil possui o maior patrimônio biológico do mundo, em torno 20% de todas as espécies conhecidas são encontradas no país. A biodiversidade não é homogeneamente distribuída e, em geral, se concentra em áreas naturais únicas devido a fatores históricos, evolutivos e ecológicos (KAMINO; PEREIRA; DO CARMO, 2020).

Ao longo da história muitas atividades do homem contribuem ativamente para a poluição do meio ambiente no mundo, com impactos para a saúde humana, para o solo, ar, recursos hídricos e biodiversidade. Dois problemas graves são comumente associados à mineração: a drenagem ácida de minas e os rejeitos dessas minas contaminam as bacias hidrográficas com metais pesados, seja de forma intencional ou acidental (HATJE *et al.*, 2017).

Martim e Santos (2013) esclarecem que o desenvolvimento econômico, cada vez mais, depende da exploração de recursos ambientais e, em face disso, os impactos vivenciados no meio ambiente são contínuos, crescentes e graves. Os países vêm desenvolvendo leis no sentido de refrear os impactos ambientais, pela consciência atual de que tais impactos interferem negativamente sobre a vida de todas as espécies, porém, tais esforços ainda não são suficientes para que a situação tenha sido ou venha a ser controlada.

Luckeneder *et al.* (2021) enfatizam que a mineração apresenta um papel ambíguo na sociedade. O modelo econômico atual depende dessas atividades para se manter e seguir com a produção de bens de consumo, porém, trata-se de uma das atividades de maior risco para a vida humana, preservação ambiental e manutenção das espécies.

Ainda que os recursos minerais sejam essenciais para o desenvolvimento socioeconômico, é imprescindível destacar que sua obtenção por meio da mineração é extremamente prejudicial no âmbito socioambiental. Quanto mais as atividades minerárias crescem, mais o meio ambiente no entorno sofre impactos que acabam por se tornar permanentes, ou seja, esforços de recuperação não poderão remediar a situação (PEREIRA JÚNIOR; LIMA, 2018).

As atividades industriais, tecnológicas, de geração de energia e tantas outras necessitam, em grandes proporções, da disponibilidade de minérios que são obtidos por meio da mineração. Ao mesmo tempo em que a atividade de mineração é essencial para a manutenção de boa parte das atividades essenciais ao

desenvolvimento econômico, além de gerar rendas e riqueza por si só, deve-se ressaltar que existem impactos negativos importantes a serem considerados, como alterações da paisagem, uso de rochas e solo em grandes quantidades, uso elevado de recursos hídricos, efluentes decorrentes da produção e disposição de toneladas de rejeitos (HATJE *et al.*, 2017).

Silva e Andrade (2017) ressaltam que as atividades de mineração fazem uso temporário do solo, porém, durante o tempo em que são conduzidas apresentam um potencial extremamente elevado de modificação da paisagem, degradação de extensas áreas, impedindo a recuperação da vegetação, dos solos e dos recursos hídricos. Não apenas no empreendimento, mas na área em volta ocorrem essas modificações e os impactos, não raramente, alcançam distâncias ainda maiores.

De acordo com o estudo de Milanez (2017), a mineração causa uma espécie de amputação na paisagem. Assim, não é possível evitar que esses impactos ocorram, tampouco que se tornem tão severos que jamais possam ser corrigidos, em muitos locais nos quais a mineração é atividade que ocorre há décadas.

Existem especificidades que tornam as barragens de rejeitos mais vulneráveis a falhas do que barragens de armazenamento de água: (1) aterros formados por aterros derivados localmente (solo, resíduos grosseiros, estéril de operações de mineração e rejeitos); (2) alteamento da barragem em vários estágios para lidar com o aumento de material sólido armazenado e efluente (mais escoamento da precipitação) liberado; (3) a falta de regulamentação sobre critérios específicos de projeto; (4) estabilidade da barragem exigindo monitoramento e controle contínuos durante a colocação, construção e operação da barragem; e (5) o alto custo das obras de remediação após o encerramento das atividades de mineração (RICO; BENITO; DÍEZ-GUERREIRO, 2008).

O fato é que a mineração gera resíduos, rejeitos que decorrem da atividade e que são dispostos em local específico. Apesar de haver um local para sua disposição, o que se percebe é que esses rejeitos têm amplo potencial de contaminar solo, água e ar, já que mesmo em um espaço definido para sua disposição seguem tendo contato com recursos naturais que deveriam ser protegidos de seus efeitos. Algumas espécies vegetais existentes nessas áreas conseguem resistir à toxicidade que esses rejeitos apresentam, porém, a maioria delas acaba por morrer em função dos efeitos tóxicos dos rejeitos sólidos, líquidos e gasosos gerados (BOMFIM, 2017).

O chorume das barragens, ao se romper, viaja rapidamente, cobre os solos por onde passa, contamina rios, várzeas e demais recursos naturais no local, atingindo diretamente a biota. Ao entrarem nos rios esses dejetos alteram sua qualidade, matam peixes e podem levar doenças à população que, de alguma forma, faz uso desses recursos hídricos (HATJE *et al.*, 2017).

Santos *et al.* (2019) ressaltam que quando ocorre o rompimento de uma barragem, altera-se o perfil fluvial nos locais atingidos, o que pode ocorrer em grandes distâncias, pela dispersão desses rejeitos. Com isso, os nutrientes disponíveis são completamente eliminados, a biomassa microbiana se esgota, plantas e animais morrem rapidamente no entorno.

Há um esforço das empresas de mineração de apresentar a ideia de que os impactos da mineração se concentram apenas na área em que ocorre, sem atingir outros locais mais distantes. Trata-se de uma estratégia para reduzir a visão negativa dessas empresas diante da sociedade, porém, com o amplo acesso a estudos e levantamentos ambientais, sabe-se que os impactos não se limitam a uma única área e podem se estender por vários quilômetros (MILANEZ, 2017).

Os impactos dos acidentes com barragens de mineração, em longo prazo, são influenciados pelos seguintes fatores:

(1) a quantidade e (2) as características dos resíduos, (3) a taxa na qual os resíduos são despejados em um sistema fluvial e (4) a eficácia dos procedimentos de limpeza. Em novembro de 2015 uma barragem da Samarco Mineração SA causou um dos maiores acidentes conhecidos, com mais de 35 milhões de m³ de rejeitos deslizando pela encosta de uma montanha quando a barragem de Fundão se rompeu. Foram registrados 19 óbitos, mais de 650 km de rios, que eram a principal fonte de água e alimentos para várias comunidades, se tornaram em um amontoado de lama, 1.500 ha de reservas naturais e terras indígenas foram prejudicados e a lama de rejeitos chegou à foz do Rio Doce, no Oceano Atlântico (HATJE *et al.*, 2017).

Quando ocorre a ruptura de uma barragem de rejeitos, água poluída e rejeitos com uma variedade de propriedades texturais e físico-químicas passíveis de amplos impactos sobre as condições socioambientais a jusante são liberados. São afetadas as atividades econômicas e sistemas ecológicos, causando riscos muitas vezes impossíveis de serem quantificados (RICO; BENITO; DÍEZ-GUERREIRO, 2008).

Se faz importante esclarecer, ainda, que as atividades minerárias têm uma grande influência sobre as áreas urbanas quando estão próximas delas. Quanto mais a área de mineração se amplia, mais próxima chega do ambiente construído e, assim, além de gerar impactos sobre esses locais (qualidade do ar, do solo e da água), maiores são os riscos para a população para essas áreas (MILANEZ, 2017).

A análise dos desastres ambientais no mundo relacionados a rompimentos de barragens de mineração permite concluir que poderiam ter sido, em sua maioria, evitados. Existem conhecimentos técnicos e alternativas tecnológicas que, se tivessem sido aplicados tempestivamente, poderiam ter evitado os resultados vivenciados nessas situações, porém, as atividades de mineração, comumente, buscam a obtenção dos metais usados com o mínimo de custos, sem levar em consideração os possíveis impactos dessas ações sobre a vida, o meio ambiente e a economia no entorno (PRIMO *et al.*, 2021).

As atividades de mineração, apesar de sua relevância econômica, precisam ser avaliadas e compreendidas sob a perspectiva dos impactos que causam sobre os recursos ambientais, a vida dos indivíduos, bem como dos riscos decorrentes de sua realização. Um ponto a destacar é que todas as etapas da mineração demandam de uso elevado de recursos hídricos, porém, esses recursos são essenciais para a vida e para a saúde e acabam sendo negativamente impactados pela mineração (GONÇALVES, 2015).

Leite *et al.* (2017, p. 7283) declaram que as atividades necessárias para a mineração, em sua maioria, causam consideráveis impactos ao meio ambiente de forma geral. A vegetação é degradada de forma grave e a regeneração dos locais pode não ser mais possível. Como a cobertura vegetal é perdida, a erosão torna-se mais frequente, além de ocorrer assoreamento dos corpos hídricos na área, o que afeta a população que vive nas áreas adjacentes.

O solo é consideravelmente impactado e, assim, além de não ter mais utilidade para o desenvolvimento de outras atividades, pode causar a degradação de plantas e morte de animais. O desmatamento é amplo nas áreas de mineração, as espécies que ali vivem morrem ou devem migrar para outros espaços. Mudanças climáticas são comumente associadas aos resultados das atividades de mineração. O que se deve compreender, assim, é que a mineração é importante, mesmo necessária para o

desenvolvimento socioeconômico de muitas áreas, mas traz consigo pontos negativos que não podem ser ignorados (GONÇALVES, 2015, p. 30-33).

Os impactos podem ser classificados com aqueles que atingem o ar, a água e o solo, lembrando-se que todos apresentam o potencial de prejudicar flora, fauna e a vida humana, conforme destacado na Figura 8.

Figura 4 - Principais impactos ambientais das atividades de mineração



Fonte: Bomfim (2017, p. 26).

Assim como a atividade minerária causa danos inquestionáveis aos recursos ambientais, é essencial ressaltar que acidentes com barragens são capazes de destruir o meio ambiente, não apenas nas proximidades do local do acidente.

Tabela 3 - Interações da água em processos de mineração

PROCESSO	UTILIZAÇÃO DA ÁGUA
Lavra	Desmonte hidráulico Aspersão de pistas e praças para controle de aspersão de poeira Lavagem dos equipamentos Transporte de materiais
PROCESSO	UTILIZAÇÃO DA ÁGUA
Barragens	As barragens de contenção de sedimentos: estruturas construídas com o objetivo de conter sedimentos carregados em períodos de chuva, garantindo a qualidade do efluente final As barragens de rejeitos: Bacia de acumulação dos rejeitos gerados nas instalações de beneficiamento do minério e a acumulação da água a ser reutilizada no processo industrial
Pilhas de estéril	Pilhas de estéril podem causar interferência do escoamento superficial, que pode vir a gerar, dependendo do tamanho e da forma, pequenos desvios de água
Rebaixamento do nível de água subterrânea	Exploração das águas subterrâneas para a viabilização da lavra a céu aberto ou subterrânea
Processamento mineral	Processo de flotação físico-químico de superfície, usado na separação de minerais, que dá origem à formação de um agregado, partícula mineral e bolha de ar, o qual, em meio aquoso, flutua sob a

Água como meio de transporte

forma de espuma. A composição química da água constitui um parâmetro de controle de flotação
 Processos de lavagem: etapas do tratamento de minérios que demandam utilização de elevados volumes de água para limpeza do minério;
 Concentração gravítica: processo de separação que utiliza a proporção sólido/água para análise detalhada do balanço da água, bem como da densidade ótima de polpa para cada operação
 Processos hidrometalúrgicos: processos onde há reações de dissolução do metal de interesse em meio ácido ou a dissolução em meio alcalino
 A água é o meio de transporte mais utilizado no processamento mineral: assim é usada de forma intensa como meio de transporte nas mais variadas operações, tais como: na lavra como desmonte hidráulico, na lavagem de minérios e nos processos de concentração a úmido

Fonte: Adaptado de IBRAM (2016, p. 24).

Ainda que as barragens sejam importantes para diferentes finalidades na sociedade (produção de energia, coleta de rejeitos, empregos, economia, etc.), é preciso manter a percepção de que desde o momento de sua construção até a ocorrência de possíveis acidentes, os impactos ambientais são consideráveis e, não raramente, os resultados podem ser difíceis ou impossíveis de serem corrigidos (TAHMİSCİOĞLU, 2011).

Na sequência apresenta-se o Quadro 1, ressaltando os principais impactos decorrentes das barragens de mineração.

Quadro 1- Impactos ambientais das atividades de mineração e barragens de resíduos

Local do impacto	Tipo do impacto	Custos
Solo	Contaminação do solo impedindo seu uso para outras finalidades; Morte da flora e fauna na região decorrente da toxicidade dos rejeitos; Riscos para a população em caso de contato com o solo ou seu uso para qualquer finalidade que não a disposição de rejeitos; Exposição dos solos, erosão na área da atividade, bem como lixiviação de contaminantes; Remoção de toda a camada superficial do solo, a mais fértil; Áreas produtivas (agricultura) nas proximidades podem ser contaminadas, impactando os alimentos, sua qualidade e segurança, bem como a saúde dos consumidores;	Em geral não podem ser quantificados
Ar	Os rejeitos podem produzir gases tóxicos que se espalham com o vento e assim atingem populações a grandes distâncias; Algumas partículas se dispersam junto com o vento; Poluentes no ar podem causar doenças graves aos indivíduos, sejam residentes das proximidades ou a	Em geral não podem ser quantificados

	<p>grandes distâncias (câncer; bronquite; doença pulmonar obstrutiva crônica; etc.); Podem gerar mudanças climáticas em médio e longo prazo (gases) afetando amplamente as sociedades; As emissões atmosféricas devem ser controladas visando reduzir os impactos em comunidades próximas, flora e fauna locais; Em residências próximas as áreas de mineração podem ocorrer danos à saúde humana, pois os particulados emitidos podem ser acumulados em diversos órgãos do corpo humano (fígado, pulmões, sangue que impacta todo o organismo, etc.);</p>	
Local do impacto	Tipo do impacto	Custos
Água	<p>Consumo elevado de água, prejuízos ao meio ambiente pela alta utilização desse recurso caro e finito; A água é um insumo amplamente utilizado na mineração, em alguns casos pode ser reaproveitada, porém, em geral é descartada e totalmente inapropriada para qualquer outro uso, seja consumo humano, agricultura ou outras modalidades; A água escoar pelo solo, contamina esse solo e ainda há o risco de contaminação dos lençóis freáticos na região (atingindo também outras áreas); Os impactos na água são divididos em categorias: a) químicas que afetam o pH, alterando a concentração de metais dissolvidos e compostos sintéticos; b) físicas que aumenta a concentração de sólidos em suspensão, causando turbidez e adsorção de metais; c) biológicas quando ocorre migração e morte de espécies, além de perturbar solos, vegetação e fauna; d) ecológico, alterações do habitat, bioacumulação de metais na cadeia alimentar, extinção de espécies e produtividade primária reduzida; Rios e lagos nas proximidades podem ser contaminados, algumas vezes de forma irreversível e colocar a flora, fauna e população em risco;</p>	Em geral não podem ser quantificados

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2015); Leite *et al.* (2017); Bomfim (2017).

Compreende-se, diante do exposto, que os riscos decorrem tanto da atividade minerária quanto do desenvolvimento das barragens necessárias para seus rejeitos e precisam ser compreendidos para que medidas de mitigação possam ser adotadas.

2.6 MATRIZ DE IMPACTOS AMBIENTAIS NAS ATIVIDADES MINERADORAS

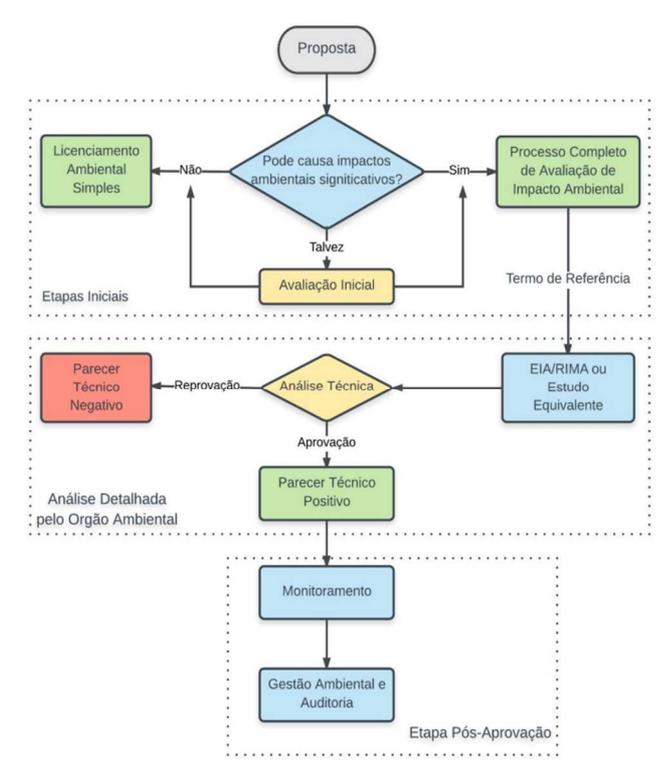
Os esforços de gestão ambiental visando reduzir os impactos da atividade do homem sobre o meio ambiente vêm se tornando mais amplos, muitas empresas de diversas áreas estão tentando se adequar à nova realidade, adotar práticas sustentáveis e com o mínimo de impactos ao ambiente, outras, porém, ainda estão distantes de cumprir com seu papel socioambiental (MARTIM; SANTOS, 2013).

A AIA trata-se de uma atividade que faz uso de mecanismos estruturados para coletar dados, organizar os mesmos e proceder análises quanto aos impactos que determinada atividade exerce sobre seu entorno em situações normais e quais são os possíveis impactos em situações de falhas das atividades. Existem inúmeros métodos com especificidades que devem ser avaliadas para a definição do método mais adequado para cada tipo de atividade e o ecossistema em que ocorre. Uma equipe técnica deve avaliar o contexto da análise a ser conduzida para definir o método que melhor atende às demandas existentes (MARTIM; SANTOS, 2013).

A AIA verifica quais são os possíveis impactos ambientais da atividade mineradora em determinado local, levando em consideração o meio biológico, físico e socioeconômico. Há, ainda, um esforço para apresentar abordagens de atuação que sejam menos prejudiciais, com novas concepções técnicas ou aplicação de medidas de intervenção ambiental bem avaliadas (MOREIRA, 2019).

A avaliação irá ocorrer conforme os passos que constam na Figura 5.

Figura 5 – Componentes do procedimento de avaliação de impactos ambientais



Fonte: Moreira (2019, p. 43).

A adaptação desses passos permite a aplicação da análise técnica para a identificação dos impactos em empreendimentos já existentes e o desenvolvimento de medidas de mitigação. De posse de tais informações, torna-se possível desenvolver uma matriz de impactos (Tabela 5), baseada nos fatores impactantes sobre cada área analisada para um tipo de atividade.

Tabela 4 – Análise de fatores impactantes para posterior matriz de impactos ambientais

Fases do Projeto	Fatores impactantes
Fase de implantação	Infraestrutura Desmatamento Remoção do solo
Fase de operação	Preparação da Praça Perfuração do minério Desmonte com explosivos Carregamento Transporte
Controle Ambiental	Monitoramento do solo Destino dos resíduos Manuseio de maquinário Segurança Disposição de rejeitos Drenagem e fatores erosivos Poluição sonora

2.7 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL E FEDERAL DE MINERAÇÃO

A Instrução Normativa SEMA Nº 6 DE 26/12/2019 que tem cita que todo empreendimento que opera Barragem de Mineração é obrigado a providenciar seu cadastramento no Sistema Integrado de Gestão e Segurança de Barragens de Mineração - SIGBM, disponível no site da Agência Nacional de Mineração (ANM), mesmo que ela não possua nenhuma das características que a enquadre na PNSB, conforme o Art. 3º da Portaria nº 70.389/2017 c/c o inc. V do Art. 16 e o inc. XIII do Art. 17 da Lei nº 12.334/2010 (SEMA, 2019).

Considerando ainda que após o cadastro no SIGBM, o empreendedor é obrigado a elaborar o mapa de inundação para auxiliar na determinação do DPA de todas as suas barragens de mineração, em conformidade com o Artigo 6º da Portaria nº 70.389/2017, combinado com o inciso V do Artigo 16 e o inciso XIII do Artigo 17 da Lei nº 12.334/2010 (BRASIL, 2017; BRASIL, 2010).

Nesse contexto, percebe-se que a legislação ambiental do estado de Mato Grosso é de extrema importância no contexto das barragens de mineração, pois visa garantir a proteção do meio ambiente e a segurança das comunidades locais, além disso, estabelece diretrizes para a proteção dos recursos naturais, incluindo os ecossistemas nativos, os cursos d'água, as Áreas de Proteção Permanente (APP's), Áreas de Vegetação Nativa (AVN's) e as Áreas de Reserva Legal (ARL's). Isso é fundamental para evitar a manipulação ambiental causada pela construção e operação de barragens de mineração.

Além disso, ao analisar a legislação ambiental de Mato Grosso contribui para a gestão adequada de riscos associados às barragens de mineração, isso inclui a identificação de áreas vulneráveis, planos de resposta a emergências e implementação de medidas de prevenção e mitigação.

Em resumo, a legislação ambiental, a exemplo da Instrução Normativa SEMA nº 6 de 26/12/2019 desempenha um papel fundamental na promoção da mineração responsável e segura, garantindo a proteção do meio ambiente, a segurança das comunidades locais e o cumprimento das normas ambientais, já que também contribui para a prevenção de desastres ambientais, como rompimentos de barragens, ao estabelecer padrões rigorosos de segurança e monitoramento (SEMA, 2019).

Enquanto na Legislação Federal tem-se a existência da Resolução nº 95, de 7 de fevereiro de 2022, que consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração.

A Resolução nº 95, de 7 de fevereiro de 2022, representa um marco importante no contexto da regulamentação e segurança das barragens de mineração no Brasil (BRASIL, 2022). Emitida pela ANM, essa resolução tem como objetivo consolidar e atualizar os atos normativos relacionados à segurança das barragens de mineração. Sua promulgação é um passo significativo na busca pela prevenção de acidentes e desastres ambientais relacionados à mineração, garantindo maior segurança para o meio ambiente e para as comunidades que vivem próximas a essas estruturas.

Salienta-se que um dos principais propósitos de resolução é consolidar as normas e dispersos anteriormente em diversos atos normativos relacionados às barragens de mineração. Isso simplifica o entendimento das regras e facilita o cumprimento das obrigações por parte das empresas mineradoras (BRASIL, 2022).

Além disso, a resolução busca atualizar as diretrizes e regulamentos de segurança de acordo com as melhores práticas nacionais e internacionais. Ela incorpora lições aprendidas com incidentes anteriores, como o desastre de Brumadinho, e introduz aprimoramentos nas medidas de segurança.

Portanto, a Resolução nº 95, de 7 de fevereiro de 2022, é um instrumento fundamental para aprimorar a segurança das barragens de mineração no Brasil (BRASIL, 2022). Ela visa consolidar e fortalecer as regulamentações, introduzindo medidas que melhoram para a prevenção de desastres e a proteção do meio ambiente e das comunidades, sua implementação eficaz é essencial para garantir que a mineração seja realizada de forma responsável e segura, minimizando os riscos associados a essas atividades.

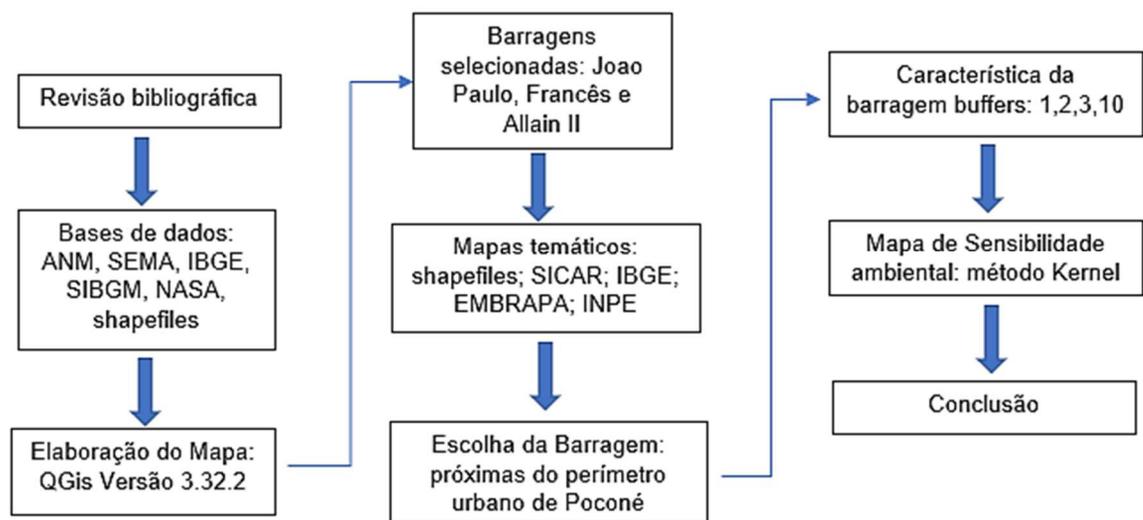
3 METODOLOGIA

Diante disso, para a realização do estudo primeiramente foram realizadas pesquisas bibliográficas em bancos de dados nacionais e internacionais que forneçam os conhecimentos específicos necessários a elaboração do trabalho. A partir da revisão bibliográfica foram estruturados os principais conceitos, parâmetros e informações adicionais pertinentes aos impactos ambientais, envolvidos com a mineração, com foco na cidade de Poconé - MT.

Para a caracterização do município de Poconé, pertencente ao estado do Mato Grosso e suas atividades mineradoras, foram levantados dados a partir da literatura nacional, bem como dados de fontes oficiais do governo estadual do MT e do governo Federal, como geografia, geomorfologia, topografia, clima e indicadores pluviométricos.

Para a confecção dos mapas temáticos para análise dos impactos ambientais nas barragens de rejeitos de mineração alvo de estudo, foram utilizados base de dados em formato *shapefile*, disponibilizados de órgão fiscal (ANM), órgão ambiental (Secretaria de Estado de Mato Grosso – SEMA/MT) e o do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Na sequência apresenta-se um fluxograma (Figura 7) esquematizando as etapas metodológicas a serem seguidas para o desenvolvimento dos estudos, desde a revisão bibliográfica até os dados finais.

Figura 7- Fluxograma da metodologia de pesquisa



Fonte: Dados da Autora (2023).

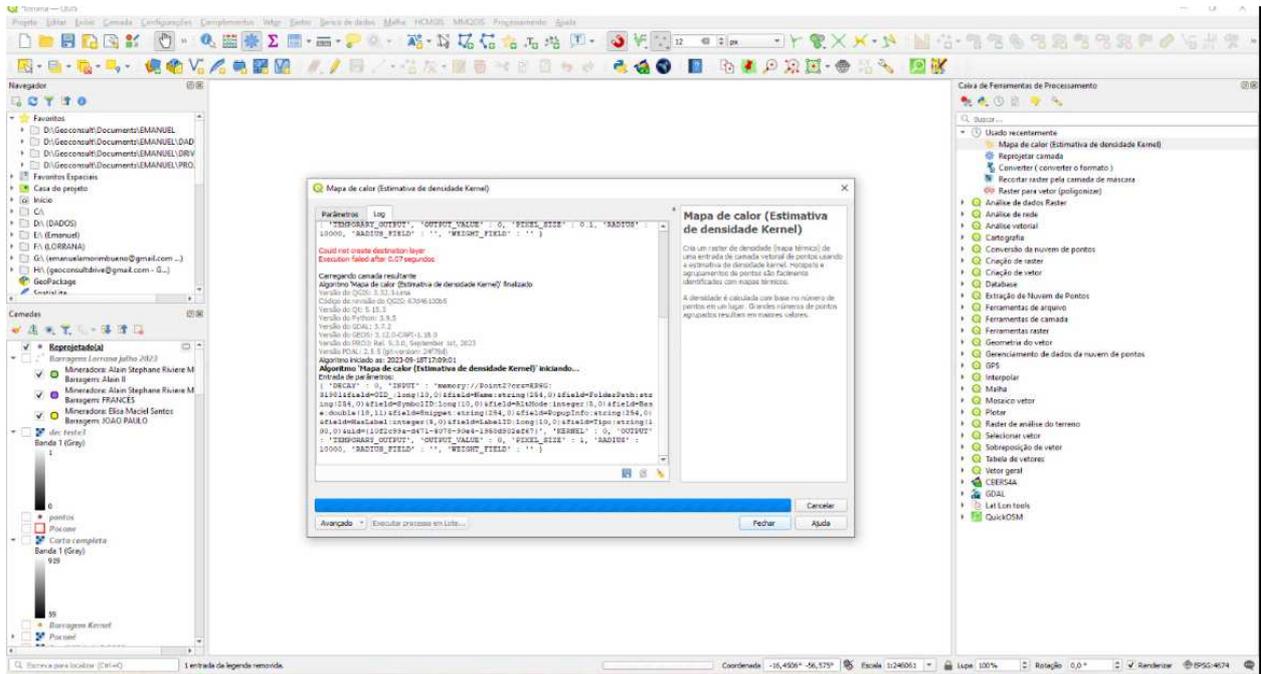
Na ANM, foram coletados dados do SIBGM para localização das estruturas. A base de dados referente a Área de Proteção Permanente (APP), Área de Reserva Legal (ARL), Área de Vegetação Nativa (AVN) e Biomas foram extraídos do Geoportal da SEMA/MT. Os dados de limites políticos e do meio físico da região de Poconé/MT, foram coletados do portal de Geociências do IBGE.

Após a obtenção de todos os dados citados, foi elaborado um mapa sobre as barragens que se encontra inseridas nas PNSB e aquelas que não estão inseridas no estado do Mato Grosso, especificamente com a zona urbana da cidade de Poconé - MT.

De posse dos dados foram elaborados mapas identificando barragens, para isso foi utilizado o software QGIS versão 3.32.2- Lima, também conhecido como Quantum GIS, é um software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código-fonte aberto e multiplataforma. Ele oferece uma ampla gama de recursos para a visualização, edição e análise de dados georreferenciados (TEIXEIRA *et al.*, 2018).

O QGIS permite a visualização de dados geoespaciais em diversos formatos, como *shapefiles*, GeoTIFF, KML e muitos outros. Além disso é possível editar diretamente os dados geoespaciais no QGIS, realizando tarefas como criação, edição e exclusão de feições geográficas. Além disso, pode-se dizer que o QGIS é uma ferramenta poderosa e flexível que atende às necessidades de profissionais que trabalham com dados geoespaciais em várias áreas, incluindo geografia, geologia, planejamento urbano, meio ambiente e muito mais. Sua natureza de código-fonte aberto também promove o desenvolvimento colaborativo e a expansão contínua de suas funcionalidades (TEIXEIRA *et al.*, 2018). Na figura 8 está exposto a confecção do mapa no Qgis.

Figura 8 - Confecção do mapa no Qgis



Fonte: Dados da Autora (2023).

A partir desse processo, como critérios da área de estudo, a escolheu se deu pelas barragens serem próximas da área urbana, conforme apresentado na Figura 8. A área partir daí foi gerado mapa destacando as três barragens no município de Poconé-MT, com a finalidade de identificar o nível de impacto destas por meio do método Kernel, gerando assim o mapa de sensibilidade na região alvo de estudo.

A realização deste estudo foi possível também em virtude dos dados gerados pela ANM no ano de 2023, que conta com um cadastro georreferenciado de mais de 54 barragens de mineração no município de Poconé/MT, disponibilizados no endereço eletrônico do SIGBM da Agência. Vale ressaltar que esse cadastro e sua classificação quanto ao DPA e CRI foram instituídos pela Resolução nº 95/2022 da Agência Nacional de Mineração, que consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração do Brasil.

Em detrimento disso, das 54 barragens existentes no município de Poconé-MT, foram selecionadas três barragens de rejeitos de mineração para o presente estudo. O fator determinante para a escolha destas é a proximidade que essas estão da zona urbana de Poconé, especificamente no bairro central do município. As proximidades das barragens entre si carecem de teor elevado de monitoramento, pois toda estrutura

está sujeita ao risco de falha; uma vez que o rompimento de uma pode impactar e/ou influenciar a ruptura de outra próxima, o que se denomina efeito cascata.

Para compreensão melhor do leitor, na figura 8 encontra-se descrito a Classificação das três barragens selecionadas quanto a sua identificação e localização geográfica. Tal entendimento se torna importante, visto que, tais informações são relevantes para serem aplicadas no uso de barragens de rejeitos.

Considerando o nível de impacto ambiental como uma função entre as ameaças a uma determinada área e sua sensibilidade ambiental, tem-se que o dano ambiental será maior quanto mais quanto mais sensível for tal área.

Silva (2021) explica que primeiramente é necessário identificar as variáveis que são relevantes para a avaliação do risco ambiental, no qual podem incluir ameaças ambientais, como poluição, desmatamento, erosão do solo, etc., e sensibilidade ambiental, que refere-se à capacidade de um ecossistema de resistir a essas ameaças. Após esse processo, para cada variável identificada, é necessário criar um mapa que representa a distribuição espacial dessa variável na área de estudo, isso pode ser feito usando dados coletados no terreno, imagens de satélite ou outras fontes de dados geoespaciais.

Uma vez com os mapas das variáveis é possível calcular a distância euclidiana a partir de cada ponto em relação a esses mapas, isso envolve calcular a diferença entre o valor da variável em cada ponto e o valor médio da variável em toda a área, podendo ser feito tanto em uma direção crescente quanto decrescente

Importante destacar que os resultados obtidos do cálculo da distância euclidiana podem variar em magnitude, para que todos os resultados estejam na mesma escala, é preciso normaliza os valores para uma faixa de 1 a 255, por exemplo, o que torna mais fácil comparar os resultados entre diferentes variáveis.

Tal abordagem é considerada como relevante, já que permite avaliar e mapear o risco ambiental de uma área de forma abrangente, levando em consideração várias ameaças e a sensibilidade ambiental, por isso é considerada como uma ferramenta valiosa para a gestão ambiental e o planejamento do uso da terra, ajudando a identificar áreas que podem exigir medidas de conservação ou mitigação de riscos ambientais (SILVA, 2021).

Para a elaboração dos mapas temáticos, foram utilizados os base de dados em *shapefile* das ARL, APP e AVN, obtidos no Sistema Nacional de Cadastro

Ambiental Rural (SICAR/CAR FEDERAL, 2023); as bases de núcleos urbanos, limites municipais, drenagens e rodovias foram obtidas no (IBGE, 2021), as curvas de níveis (EMBRAPA, 2005), já a imagem de satélite CBERS 4A foram obtidos no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2022).

Para análise de cada barragem foram aplicados buffers de 1, 2, 3 e 10 quilômetros, inclusive a escolha dos raios de quilometro justificam-se por ser próximo à área urbana. A aplicação de buffers em uma análise de barragens é uma técnica comum em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para avaliar áreas afetadas ou potencialmente afetadas por uma estrutura geográfica, como uma barragem (WILLINGHOEFER, 2016). Nesse caso, foram aplicados buffers de diferentes tamanhos (1, 2, 3 e 10 quilômetros) ao redor de cada barragem

Para a elaboração do mapa de sensibilidade ambiental, foram utilizados os mapas temáticos das ARL, APP e AVN, da SICAR/CAR FEDERAL, a base de núcleos urbanos, limite municipal, drenagens e rodovias foram coletados do portal de Geociências do IBGE (2021); as curvas de níveis topográficas pela EMBRAPA (2005); já a imagem de satélite CBERS 4A foram obtidos no site do INPE (2022).

Para análise das ameaças de impacto ambiental, esse mapa foi elaborado com base em dados de relevo fornecidos pelo SRTM/NASA. Ele representa as áreas onde a água e outros fluxos naturais tendem a convergir, isso é fundamental para identificar as áreas que seriam afetadas em caso de rompimento de uma barragem. As áreas de acumulação de fluxos indicam as potenciais rotas de inundação em caso de um evento adverso.

Os dados de localização de barragens são fornecidos pela ANM e incluem informações sobre a localização de cada barragem. A classificação leva em consideração a estabilidade estrutural da barragem, o que indica as probabilidades de rompimento (ANM, 2023).

A análise então relaciona o mapa de acumulação de fluxos com a localização das barragens. Isso permite identificar quais áreas de acumulação de fluxos estão em risco de serem afetadas em caso de rompimento de uma barragem específica. Com base nessa análise, é possível avaliar o risco ambiental associado a cada barragem. Isso inclui a identificação das áreas mais vulneráveis a impactos ambientais, como inundação, contaminação da água e do solo, perda de biodiversidade e outros danos.

Diante disso, cada objeto utilizado recebeu um peso de acordo com sua importância na análise, com intersecção dos mapas pelo método da Soma Ponderada Ordenada resultando nos mapas de sensibilidade ambiental e ameaças de impacto ambiental, conforme detalhado na Tabela 6. Por fim, estes dois mapas foram intersectados para a elaboração do mapa final de impacto ambiental de barragem de rejeitos no bairro central do município de Poconé.

Tabela 6 - Pesos atribuídos aos objetos analisados

Objeto	Peso
Sensibilidade Ambiental	1
<i>Área de Reserva Legal (ARL)</i>	1
<i>Área de Proteção Permanente (APP)</i>	1
<i>Área de Vegetação Nativa (AVN)</i>	1
<i>Rede de drenagem</i>	3
<i>Declividade</i>	2

Fonte: Dados da Autora (2023)

Com o intuito de tornar a interpretação e análise dos resultados mais acessíveis, os mapas resultantes, que representam a sensibilidade ambiental e as ameaças de impacto ambiental, foram categorizados em cinco classes distintas de acordo com seu grau: "muito alto", "alto", "médio", "baixo" e "muito baixo", conforme sugerido em pesquisa feita por Valente e Vettorazzi (2005).

Assim foi usado o método Kernel, no qual é uma abordagem analítica que é frequentemente aplicada na avaliação de riscos e sensibilidade ambiental em relação às barragens de rejeito de mineração. Esse método utiliza técnicas de análise espacial e geoprocessamento para mapear e visualizar áreas de interesse, como áreas de alta sensibilidade ambiental ou risco em torno das barragens de rejeito.

Segundo Guimarães (2022), o primeiro passo na aplicação do método Kernel é uma coleta de dados geoespaciais relevantes, isso pode incluir informações sobre a localização da barragem, cursos d'água, áreas de vegetação nativa, APP, áreas de reserva legal e outros elementos do ambiente circundante. Em um segundo momento, os dados coletados são processados e organizados em SIG.

Para a realização, o método Kernel envolve o cálculo de um mapa de calor que representa a densidade ou concentração de elementos de interesse (por exemplo, cursos d'água, crescimento nativo) em torno da barragem de rejeito. Esse cálculo é baseado em uma função de densidade Kernel que atribui pesos aos pontos de dados com base na distância de cada ponto à barragem.

Com base no mapa de calor gerado, é possível criar mapas de sensibilidade ambiental. Esses mapas indicam áreas de alta sensibilidade, onde a concentração de elementos ambientais críticos é maior, e áreas de menor sensibilidade, onde a concentração é menor.

Desse modo, os resultados da análise por Kernel fornecem informações importantes para a tomada de decisões relacionadas à gestão de barragens de rejeito, o que inclui a identificação de áreas críticas que exigem monitoramento intensivo, medidas de mitigação ou aprimoramento das medidas de segurança (GUIMARÃES, 2022).

Em resumo, é uma ferramenta relevante para avaliar a sensibilidade ambiental e os riscos associados às barragens de rejeito de mineração, já que permite uma análise espacial detalhada que pode orientar a gestão, o monitoramento e as medidas de segurança permitidas para proteger o meio ambiente e as comunidades nas áreas internas dessas estruturas críticas.

No que diz respeito sobre a mensuração das possíveis áreas impactadas ambientalmente ocorreu pelo método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é uma abordagem que utiliza a metodologia para avaliar e classificar as áreas que podem ser afetadas por impactos ambientais. O AHP é uma técnica de apoio à decisão que foi desenvolvida por Thomas Saaty na década de 1970 e é amplamente utilizada em diversas áreas, incluindo a gestão ambiental (DONASSOLO *et al.*, 2017).

A metodologia AHP envolve a criação de uma estrutura hierárquica que descreve os critérios de avaliação e as alternativas a serem consideradas. No contexto da avaliação ambiental, os critérios podem incluir fatores como biodiversidade, qualidade do ar, qualidade da água, solo, paisagem, entre outros. As alternativas são as diferentes áreas geográficas que estão sujeitas a avaliação de seus impactos ambientais (CARVALHO; CORTELETTI, 2021).

O processo de mensuração das possíveis áreas impactadas ambientalmente pelo método AHP pode ser dividido em várias etapas:

- Definição do Problema: Nesta fase inicial, os objetivos da avaliação ambiental são estabelecidos claramente. Isso envolve identificar quais critérios são mais importantes na tomada de decisão e quais são as áreas geográficas que estão sob consideração.

- **Construção da Estrutura Hierárquica:** Uma estrutura hierárquica é criada com os critérios de avaliação na parte superior e as áreas geográficas na parte inferior. Os critérios são ponderados em relação à sua importância relativa na avaliação ambiental.
- **Coleta de Dados:** Dados relevantes são coletados para avaliar cada área geográfica em relação aos critérios estabelecidos. Isso pode incluir informações sobre a qualidade da água, biodiversidade, emissões de poluentes, entre outros.
- **Estabelecimento de Matrizes de Comparação:** A parte essencial do método AHP envolve a construção de matrizes de comparação, onde os decisores atribuem valores que representam a importância relativa de um critério em relação a outro e a performance de uma área em relação a outra para cada critério. Isso é feito usando escalas de julgamento que variam de acordo com a preferência do decisor.
- **Cálculo das Prioridades:** Com base nas matrizes de comparação, são calculadas as prioridades relativas de cada área geográfica em relação aos critérios. Isso é feito por meio de cálculos matemáticos que consideram as ponderações e as preferências dos decisores.
- **Análise de Sensibilidade:** É importante realizar análises de sensibilidade para verificar a estabilidade das prioridades calculadas em relação às variações nos julgamentos dos decisores (CARVALHO; CORTELETTI, 2021).

Em resumo, as prioridades calculadas são usadas para classificar as áreas geográficas em termos de seu potencial impacto ambiental. Isso ajuda os decisores a tomar decisões informadas sobre quais áreas merecem atenção prioritária em termos de conservação e proteção ambiental (DONASSOLO *et al.*, 2017).

Portanto, o método AHP fornece uma estrutura sistemática e transparente para avaliar áreas impactadas ambientalmente, levando em consideração múltiplos critérios e preferências dos decisores. Ele pode ser uma ferramenta valiosa na gestão ambiental, auxiliando na alocação de recursos e na tomada de decisões que visam proteger e preservar o meio ambiente.

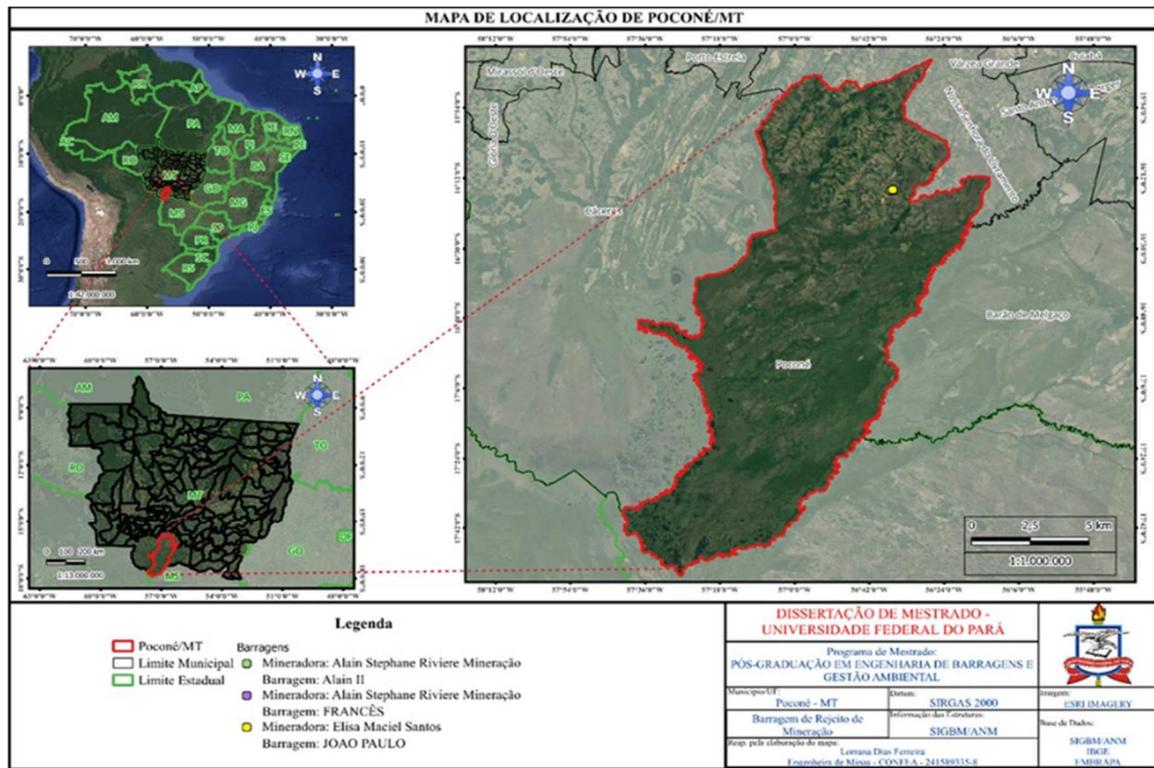
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Caracterização área de estudo

Os resultados quanto a área de estudo, demonstrando as localizações das barragens de mineração que estão inseridas na PNSB assim como os dados referentes a estas estruturas. Os dados extraídos do SIGBM da ANM apontam que o Mato Grosso conta com um total de 143 barragens de rejeitos de mineração, relacionados à extração de minérios diversos da PNSB.

As barragens de rejeitos de mineração inseridas na PNSB representam atualmente 49,7% (quantidade de 71 barragens) da totalidade de barragens de mineração existente no estado. Já as barragens de rejeitos de mineração não inseridas na PNSB representam 50,3%, ou seja, 72 barragens não são consideradas como foco dos dispositivos legais atualmente disponíveis na legislação federal. Na Figura 9 encontra-se descrito a Localização de Poconé/MT

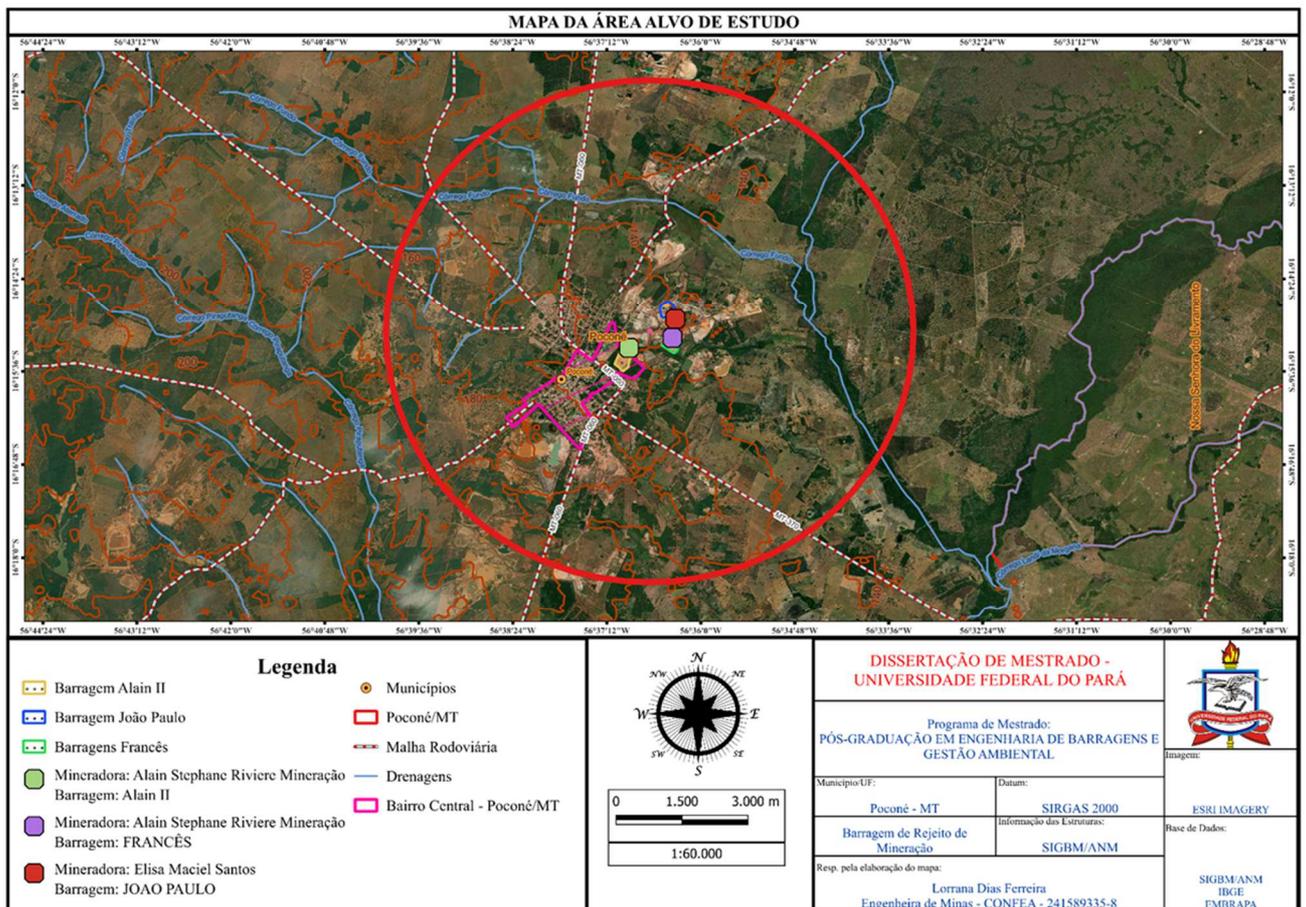
Figura 9 - Localização de Poconé/MT



Fonte: Dados da Autora (2023)

Na Figura 10, é detalhado um mapa da área alvo de estudo. As barragens de rejeito alvo de estudo são 03 (três) e estão inseridas na PNSB. O fator determinante para a escolha destas é a proximidade destas para com a zona urbana de Poconé/MT, além o risco que essas podem promover na área urbana de Poconé, especificamente no bairro central do município. As proximidades das barragens entre si carecem de teor elevado de monitoramento, pois toda estrutura está sujeita ao risco de falha; uma vez que o rompimento de uma pode impactar e/ou influenciar a ruptura de outra próxima, o que se denomina efeito cascata.

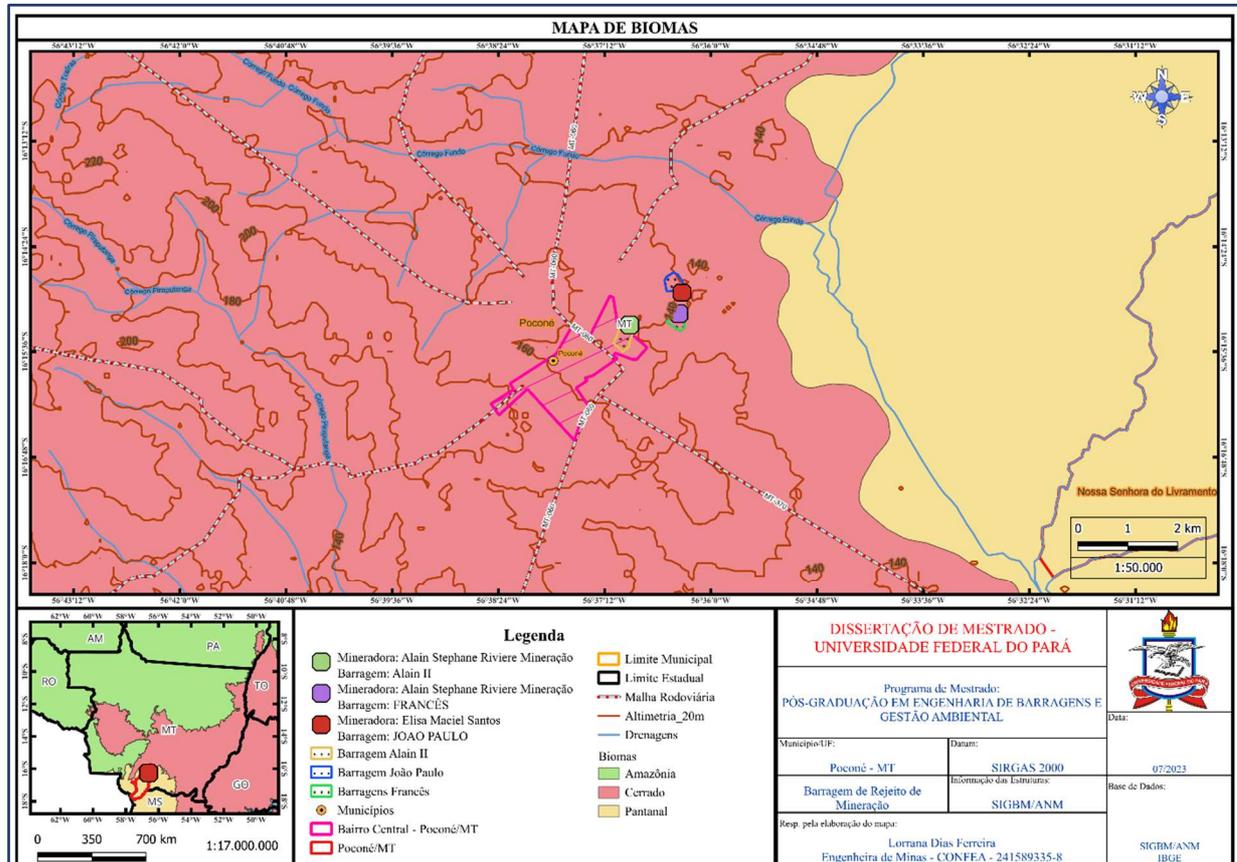
Figura 10 – Mapa da área alvo de estudo



Fonte: Dados da autora (2023).

No estado do Mato Grosso há a presença da metade dos biomas existentes no Brasil. Na Figura 11 abaixo é apresentado a área de influência das barragens de rejeitos de mineração para com os biomas presentes na região.

Figura 11 – Mapa de influência das barragens de rejeitos do MT sobre os biomas



Fonte: Autora, 2023.

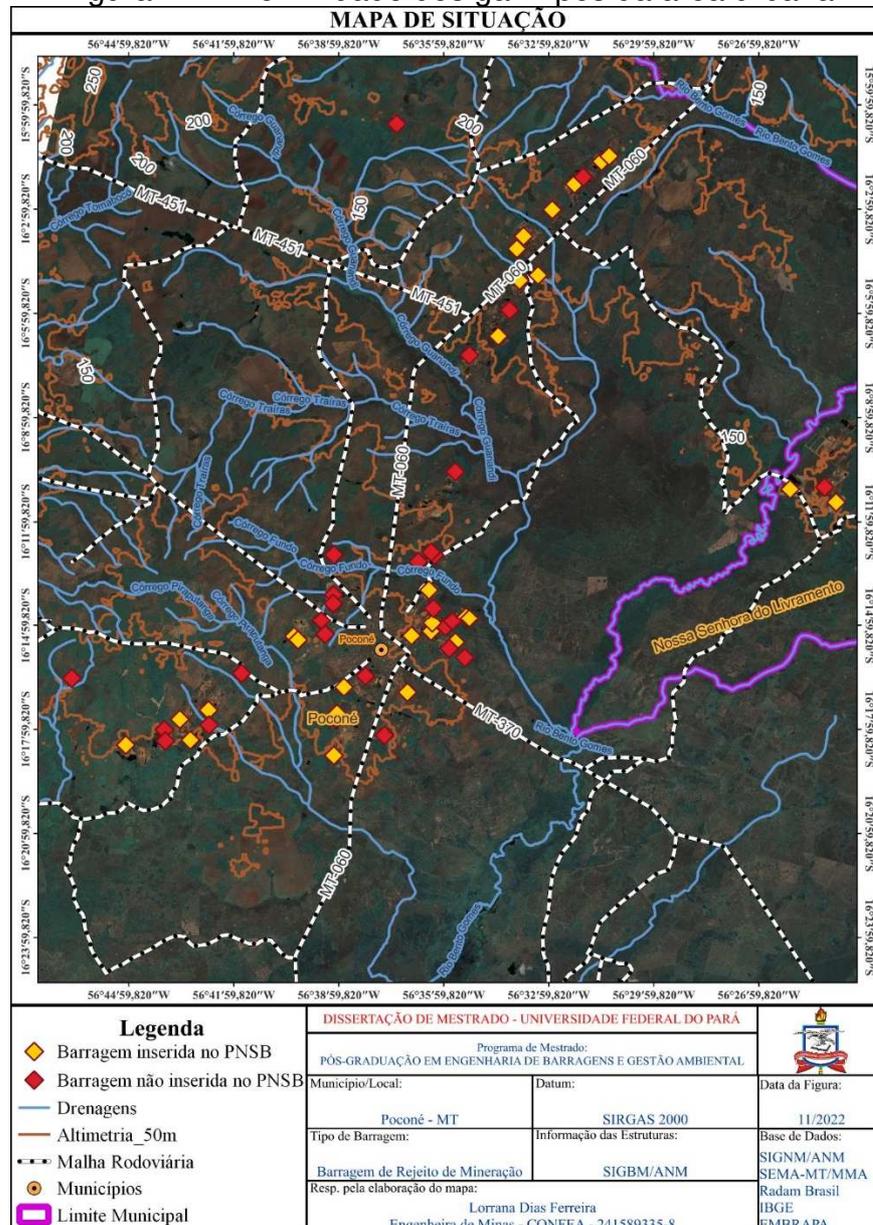
Apesar das atividades mineradoras serem consideradas sinônimo de desenvolvimento socioeconômico e ser essencial à sociedade, considerando-se que os minérios se encontram em praticamente todos os bens de consumo, a atividade mineradora e conseqüentemente a sua estrutura de recebimento de rejeitos, proporciona alto potencial de impactos ambientais. Como é o caso de impactar o ambiente existentes em seu entorno, como os recursos hídricos, solo, além do dano a biodiversidade tanto em relação à fauna quanto à flora.

Ao analisar os Impactos ambientais das barragens de Rejeito de Mineração de Poconé, torna-se importante mencionar o Pantanal é um bioma único, porém, formado por 11 microrregiões com características naturais específicas e em muitos as especiais de animais são distintas, variando conforme as condições da região. Além

disso, Poconé é uma cidade importante do bioma Pantanal, que atrai turistas e conta com variadas atividades econômicas

É essencial destacar que a proximidade entre os garimpos e a zona urbana de Poconé gera um elevado risco para a cidade e seus habitantes, considerando-se que em caso de rompimento dessas barragens, solo, ar, águas, flora, fauna, população, enfim, haverá prejuízos para todos em elevadas proporções, muitas que não podem ser quantificadas (como óbitos de pessoas, animais etc.). Na Figura 12 tem-se o exemplo das proximidades dos garimpos da área urbana da cidade de Poconé.

Figura 12 - Proximidade dos garimpos da área urbana



Fonte: Autora, 2022.

Reabilitar áreas degradadas é uma medida essencial, porém, é preciso compreender que essas áreas podem ser usadas para algumas atividades específicas, enquanto outras não são mais possíveis, considerando-se a degradação do solo ao longo do processo, os metais pesados ali depositados, entre outros fatores (PELETTI; SILVA, 2017).

A seguir são apresentados mapas de impactos ambientais em caso de rompimento das barragens.

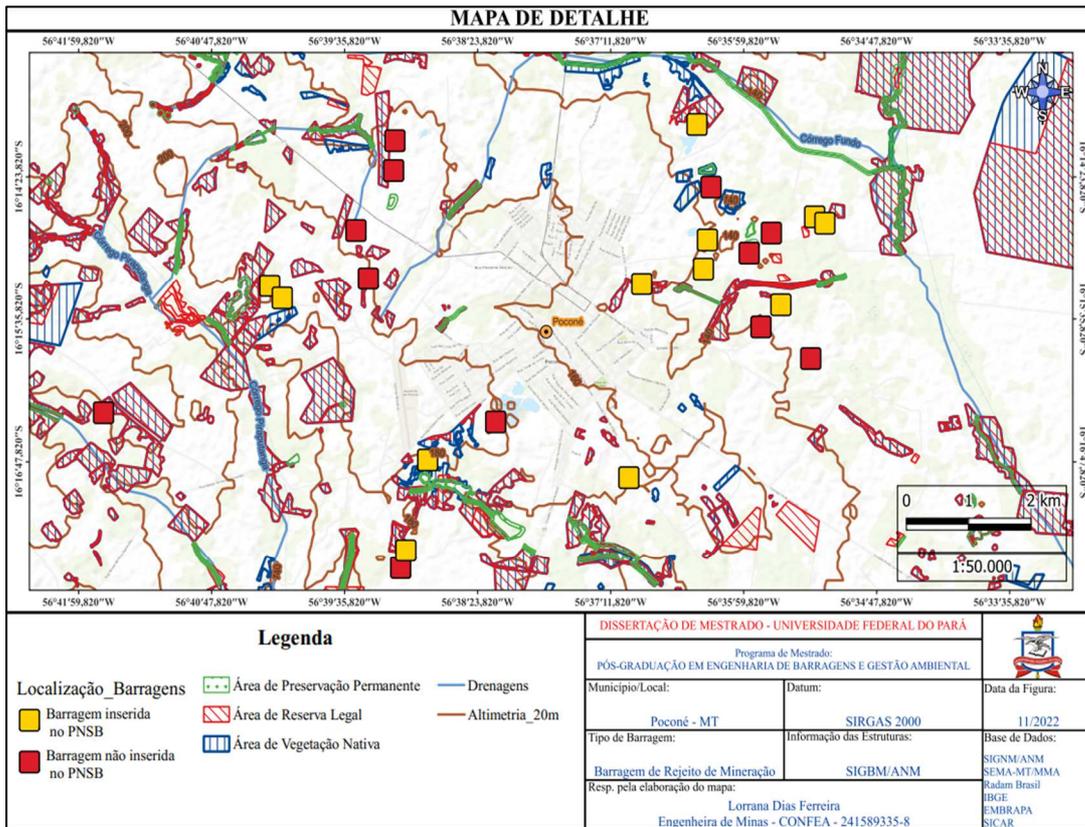
4.2 MAPAS DE IMPACTOS

A População Estimada de Poconé é de 33.386 pessoas, sua área urbanizada é de 10,83 km² (IBGE, 2022). Em caso de rompimento de barragem de resíduos de mineração, verifica-se considerável impacto sobre áreas de preservação permanente, áreas de reserva legal e áreas de vegetação nativa.

Em casos como esses nota-se que tal processo pode ter um impacto significativo sobre várias áreas ambientais importantes, já que o rompimento da barragem pode liberar uma grande quantidade de resíduos tóxicos, como metais pesados, que poluem as águas dos rios e córregos próximos. Isso afeta não apenas a vida aquática, mas também pode prejudicar o abastecimento de água potável para comunidades locais (OLIBRITS, 2019).

Salienta-se que o rompimento de barragens de resíduos de mineração representa uma séria ameaça ao meio ambiente e à sustentabilidade de comunidades locais, por isso é fundamental que sejam adotadas medidas rigorosas de prevenção e controle para minimizar esses impactos e garantir a segurança das áreas afetadas. Além disso, a regulamentação ambiental e o monitoramento adequado são essenciais para evitar incidentes desse tipo (OLIVEIRA, 2019). Na Figura 13 tem-se o exemplo que caso seja rompida a barragem de resíduos de mineração poderá ocasionar diversos problemas ambientais.

Figura 13 – Mapa de detalhe 1



Fonte: Da autora (2022).

Áreas de vegetação nativa e de reserva legal serão as mais impactadas, enquanto APP surgem em menor proporção. Todas as barragens constantes da Figura 20 atingirão APP, área de reserva legal ou de vegetação nativa e, em muitos casos, mais de uma dessas áreas iria desencadear os impactos.

Em trabalho desenvolvido por Rosa (2020) pontua que as áreas de vegetação nativa são ecossistemas naturais que abrigam uma variedade de flora e fauna, por isso que o impacto dessas barragens sobre a vegetação nativa pode resultar na perda de biodiversidade e na degradação do habitat de espécies locais. Isso pode ter consequências de longo prazo para o ecossistema e a fauna.

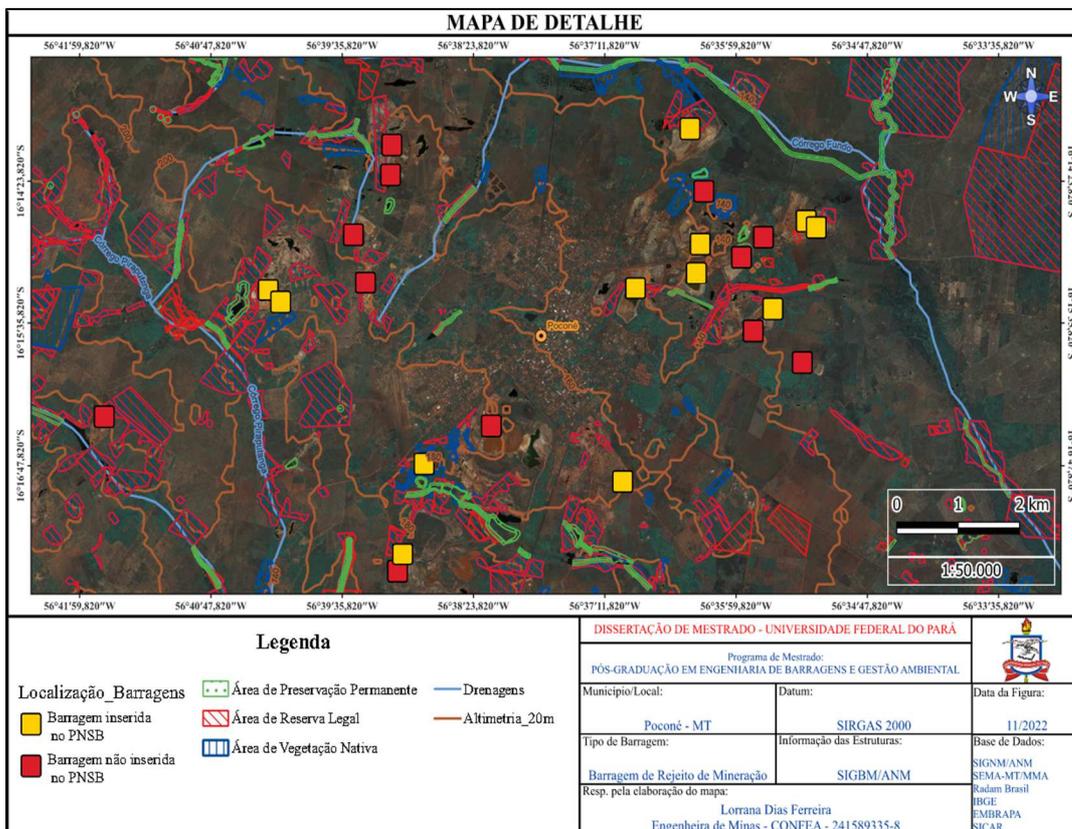
Além disso, outras consequências graves com a barragens estão relacionadas tanto a invasão ou degradação das APPs pode ter sérios impactos na qualidade da água, erosão do solo e na saúde dos ecossistemas aquáticos, como a destruição ou degradação da reserva legal pode resultar em violações das leis ambientais e em penalidades para os responsáveis (ROSA, 2020).

Tal fato reforça que a análise e o planejamento cuidadoso são essenciais ao considerar a construção e operação de barragens, especialmente em áreas sensíveis

do ponto de vista ambiental. Isso envolve avaliar o impacto potencial e implementar medidas de mitigação apropriadas para preservar e proteger essas áreas críticas para o meio ambiente e para o equilíbrio dos ecossistemas.

Nas Figuras 14 e 15 é ilustrado o mapa de detalhe, caso seja rompida a barragem de resíduos de mineração o que poderá ocasionar diversos problemas ambientais.

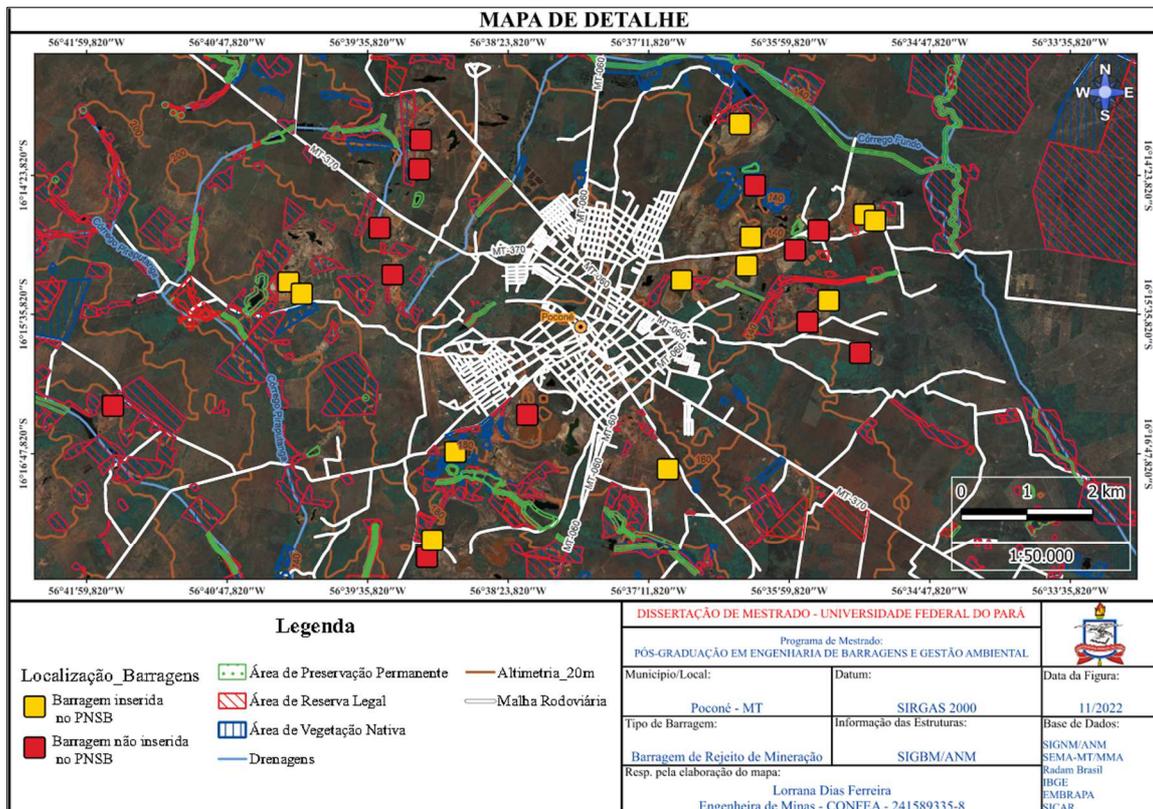
Figura 14 – Mapa de detalhe 2



Fonte: Da autora (2022).

Verifica-se a influência de 24 barragens de mineração sobre o território de Poconé, somente metade delas inseridas no PNSB.

Figura 15 – Mapa de detalhe – 3



Fonte: Dados da autora (2022).

Um total de 110,28 ha de APP, 581,08 ha de ARL e 728,98 ha de AVN poderão ser atingidos em caso de rompimento de barragens de rejeito de mineração. Além disso, 7,98 km² de bairros do município serão atingidos em caso de rompimento de barragens de mineração.

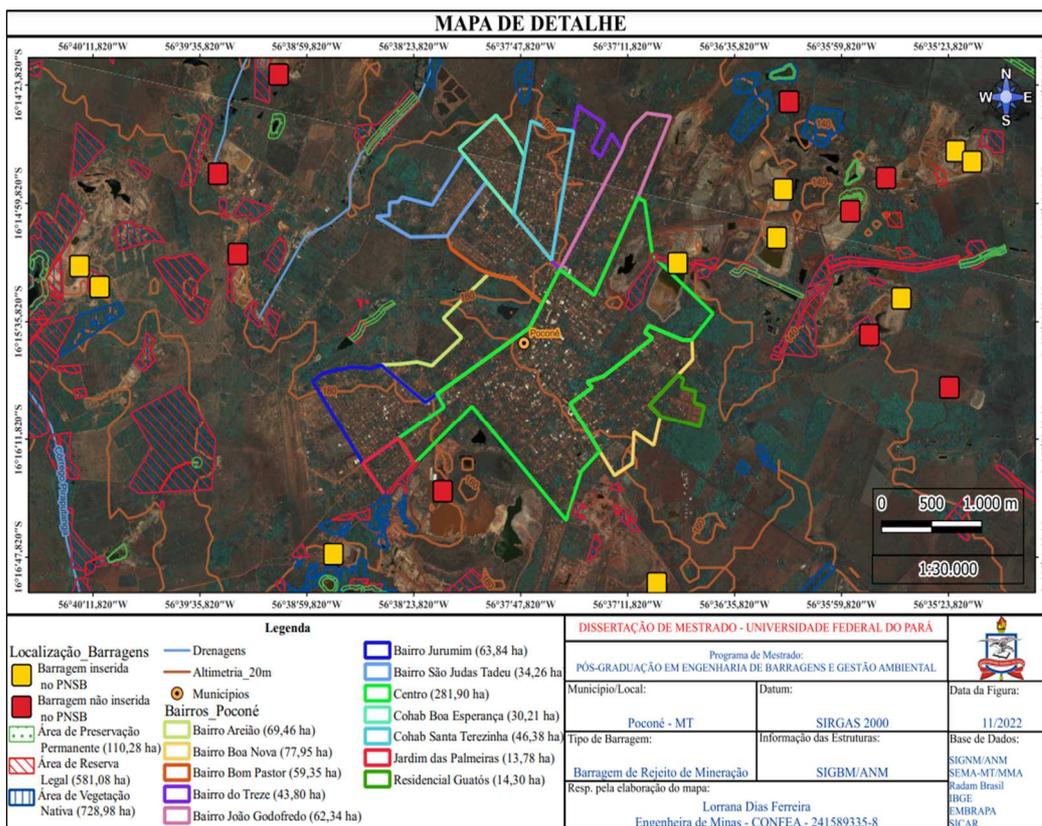
Para Wanderley *et al.* (2018) situações de rompimento de barragens podem ter graves consequências sociais, econômicas e ambientais para a população local, incluindo danos à infraestrutura urbana, deslocamento de pessoas e potenciais riscos à saúde pública. Em virtude disso, torna-se fundamental que as autoridades, empresas de mineração e comunidades locais estejam cientes dos riscos associados a essas barragens e adotem medidas de segurança e planos de evacuação eficazes para proteger a vida humana e minimizar os danos ao meio ambiente.

Compreende-se que cada vez mais, o monitoramento constante da estrutura das barragens, inspeções regulares e planos de ação em caso de emergência são essenciais para reduzir os riscos de rompimento e garantir a segurança das áreas circundantes. Essas informações destacam a importância da gestão de riscos em barragens de mineração e a necessidade de planejamento, regulamentação e

medidas de segurança adequadas para proteger tanto o meio ambiente quanto as comunidades afetadas.

Vale ressaltar que o foco deste estudo, porém, não recai sobre as estruturas materiais ou sobre riscos à vida, mas sobre os impactos ambientais decorrentes desse tipo de acidente para Poconé. O meio ambiente é frágil, além de ser facilmente impactado, as chances de recuperação são reduzidas em função da agressividade que os rejeitos de mineração têm sobre os locais que virão a atingir. Ocorre, porém, que estudos focados apenas sobre os impactos ambientais ainda são superficiais, insuficientes para que haja uma compreensão mais aprofundada e detalhada (CARVALHO; CORTELETTI, 2021). Na figura 16 é possível observar com detalhes o mapa dos detalhes dos bairros de Poconé

Figura 16 – Mapa de detalhe dos bairros do perímetro urbano de Poconé-MT



Fonte: Dados da autora (2022).

Valeriano (2019) esclarece que em caso de rompimento de barragens de mineração, são destruídos ecossistemas e sua biodiversidade, os rejeitos causam danos à flora, à fauna, à ictiofauna (que engloba espécies de peixes que habitam determinada região hidrográfica), há considerável comprometimento dos cursos

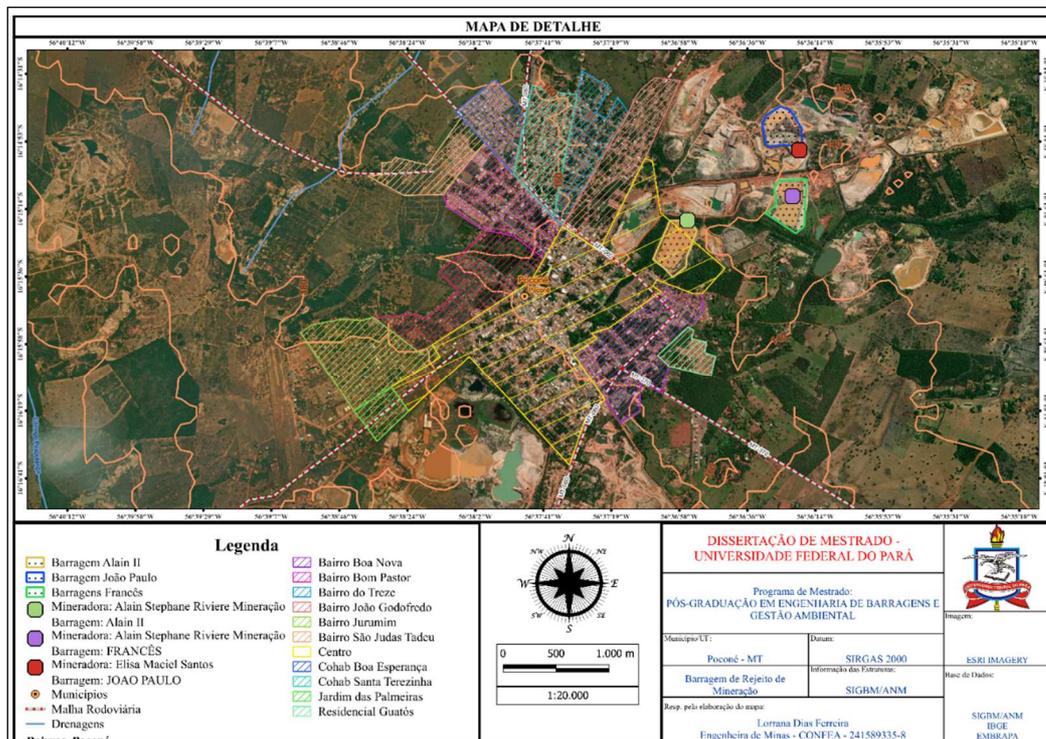
d'água, o que atinge diretamente a capacidade de resiliência do sistema. Quando atingem ambientes aquáticos, a lama e os rejeitos de mineração levam rapidamente à morte de invertebrados, répteis e anfíbios. Os peixes morrem em função da ausência do oxigênio dissolvido na água, suas brânquias são obstruídas e se extingue sua cadeia alimentar. Tendem a ocorrer modificações nos fundos de várzea, nas planícies aluviais e nas áreas de colúvio.

Silva (2017) afirma que os rejeitos são compostos, em boa proporção, por óxido de ferro, água e lama. Por onde passam arrancam matas ciliares e formam uma cobertura similar a cimento, a secagem demora anos, porém, o material decorrente dela é pobre em matéria orgânica e impede o desenvolvimento da flora e fauna. A lama, por sua composição, afeta o pH da terra e leva à desestruturação química do solo.

4.3 ANÁLISE DOS OBJETOS DE SENSIBILIDADE DA ÁREA ALVO DE ESTUDO

Sobre a análise dos objetos de sensibilidade da área alvo de estudo das barragens selecionadas em Poconé, a Figura 17, 18 e 19 ilustram respectivamente o mapa de detalhe e carta imagem do espaço analisado.

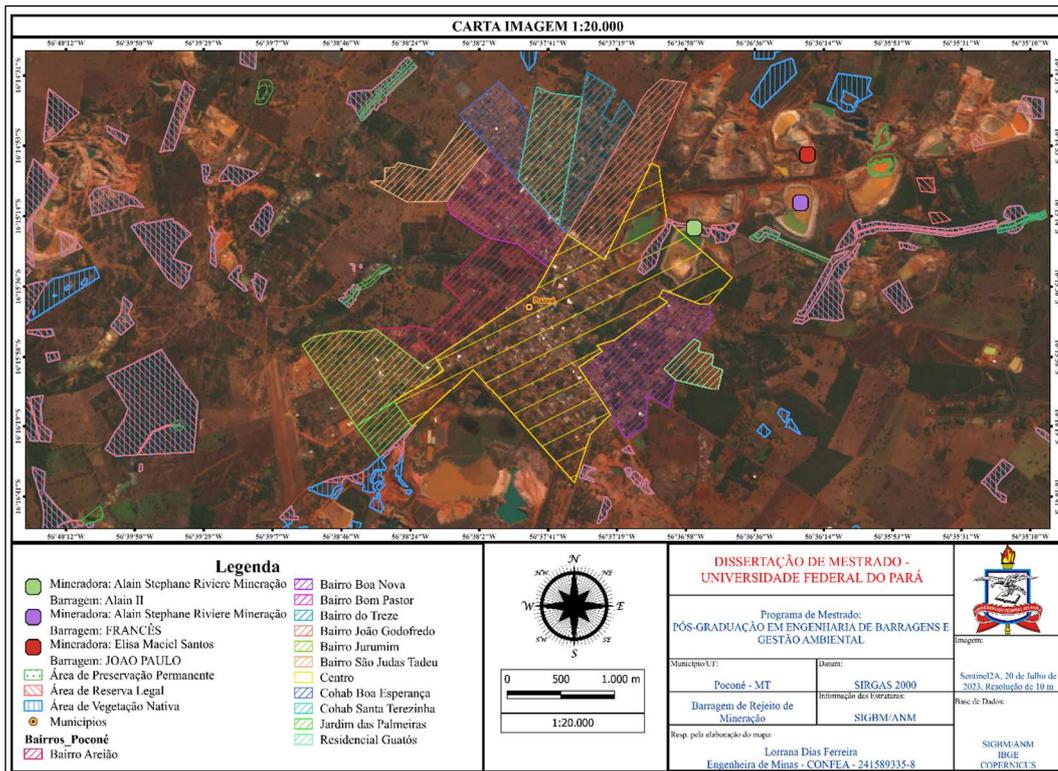
Figura 17 – Mapa de detalhe



Fonte: Da autora (2022).

A Figura 17, 19 e 19 ilustram respectivamente o mapa de detalhe e carta imagem do espaço analisado, onde se concentram as três barragens de rejeitos de mineração que mais estão próximas ao perímetro urbano de Poconé/MT; sendo elas: Allain II, Francês e João Paulo.

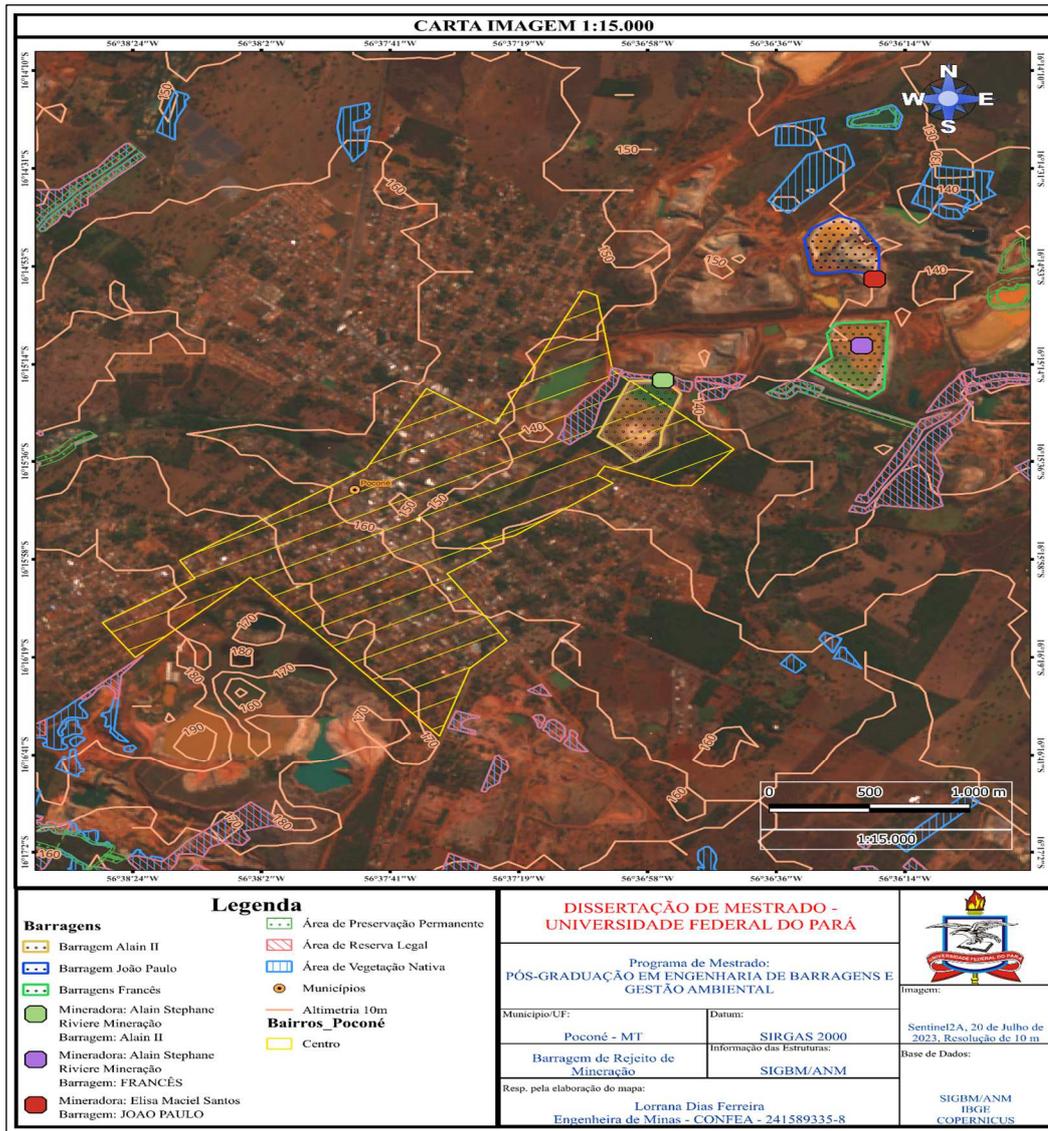
Figura 18 – Mapa de Carta Imagem I



Fonte: Dados da autora (2022).

Conforme dados extraídos da ANM, sobre a localização das estruturas (barragens de rejeitos de mineração); e destacados nos Mapas de Carta Imagem I, II e III; a barragem de rejeitos denominada Allain II localiza-se à 115 metros do perímetro urbano de Poconé/MT. A barragem do Francês se concentra há 1,1 km da zona urbana; já a barragem de rejeitos João Paulo dista 1,35 km do contorno urbano de Poconé-MT.

Figura 19 – Mapa de Carta Imagem II



Fonte: Dados da autora (2022).

Salienta-se que a elaboração dos mapas acima de referência ou carta imagem é de extrema importância quando se trata de verificar os danos causados pelo rompimento de uma barragem de rejeitos, já como é possível observar que pode fornecer uma representação visual e georreferenciada da área afetada.

Nesse âmbito, entende-se que por meio desses mapas citados da figura 17 a 19, permite uma visão geral da extensão dos danos pelo rompimento da barragem, isso é crucial para compreender a escala do desastre e identificar áreas críticas que precisam de atenção imediata.

Além disso, conforme Ramos (2020) ressalta que a localização exata das áreas afetadas é fundamental para coordenar as operações de resgate e recuperação,

já que os serviços de emergência podem usar o mapa para direcionar recursos para locais específicos, aumentando a eficácia das operações. Em virtude disso, ao criar mapas de referência antes e depois do rompimento da barragem, é possível compará-los para identificar mudanças na topografia, na distribuição de rejeitos e na extensão das inundações. Isso ajuda a documentar a evolução da situação ao longo do tempo.

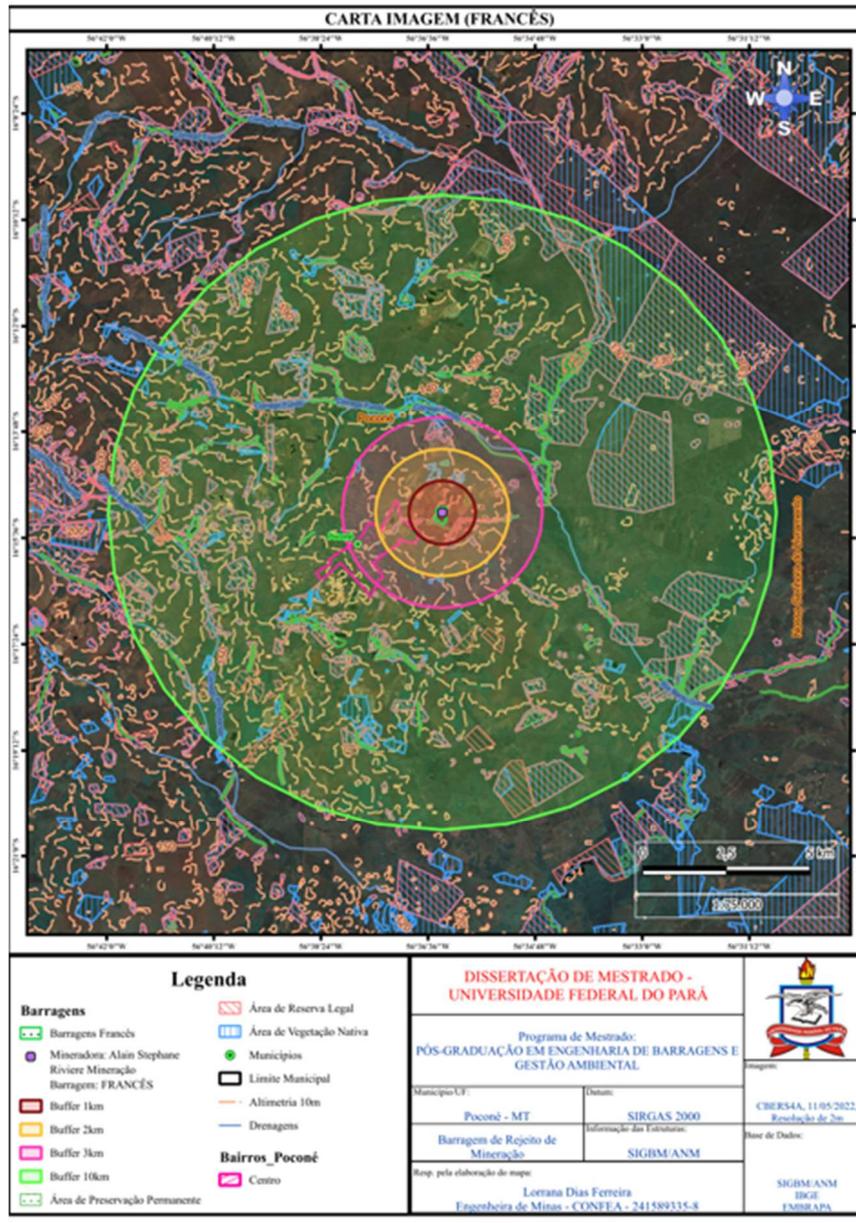
Considerando a exposição ao risco como central no debate sobre barragens de mineração, simulamos *buffers* (zona de influência) de 1, 2, 3 e 10 km, com base na coordenada geográfica disponível na ANM, e avaliamos as áreas de reserva legal, proteção permanente e vegetação nativa; além de rede de drenagem e declividade que interseccionavam esses *buffers* para estimar, mesmo que de modo ainda preliminar, o quantitativo de área ambiental que estaria exposto aos impactos de barragem de mineração nesses territórios.

Os *buffers* são zonas circulares criadas ao redor das regiões geográficas das barragens. Cada buffer representa uma distância específica (1 km, 2 km, 3 km e 10 km) do ponto central (a barragem) (FREITAS *et al.*, 2022). Ao aplicar os *buffers* é possível estimular a extensão das áreas de reserva legal que estão dentro desses buffers, isso ajuda a identificar o impacto potencial sobre essas áreas críticas para a conservação ambiental.

Da mesma forma, a aplicação dos *buffers* permite estimar as áreas de proteção permanente que estariam expostas aos riscos de uma barragem de mineração (FREITAS *et al.*, 2022). Diante disso, entende-se que tal abordagem é valiosa para identificar as áreas mais vulneráveis e expostas ao risco associado às barragens de mineração. Essas informações podem ser usadas para o planejamento de medidas de prevenção, mitigação e resposta, bem como para a gestão adequada das áreas afetadas.

Os resultados de avaliação dos objetos de sensibilidade ambiental foram embasados conforme critérios dos pesos atribuídos a cada objeto de análise (Tabela 6). Nas figuras 20, 21 e 22, encontram-se ilustradas os mapas de detalhes dos *buffers* das três barragens selecionadas no estudo, dentre elas: Barragem Alain II, Barragem Francês e Barragem João Paulo. Enquanto nas tabelas 1, 2 e 3 estão descritas a simulação de *buffer* das três barragens respectivamente.

Figura 21 – Mapa de detalhe dos buffers – Barragem Francês



Fonte: Autora, 2023.

Tabela 8 - Barragem de rejeitos - Francês

Barragem de rejeitos - Francês					
<i>Simulação de Buffer</i>	Rede de drenagem	Declividade	ARL	APP	AVN
Impacto 1 km	0	2	1	1	1
Impacto 2 km	0	2	1	1	1
Impacto 3 km	3	2	1	1	1
Impacto 10 km	3	2	1	1	1
TOTAL	6	8	4	4	4

Fonte: Dados da Autora (2023)

das três barragens de rejeitos de mineração selecionadas no estudo.

Tabela 10- Resultado da análise de sensibilidade ambiental

Resultado da análise de sensibilidade ambiental					
<i>Barragens de Rejeitos de Mineração</i>	Rede de drenagem	Declividade	ARL	APP	AVN
<i>Alain II</i>	3	6	4	4	4
<i>Francês</i>	6	8	4	4	4
<i>João Paulo</i>	6	8	4	4	4
TOTAL	15	22	12	12	12

Fonte: Dados da Autora (2023)

Como observado na tabela 10 foi feita a análise de sensibilidade ambiental das três barragens de rejeitos de mineração selecionadas o que envolveu a avaliação de vários aspectos relacionados ao ambiente circundante e aos riscos associados à barragem. Dentre a rede de drenagem o menor percentual foi do Alain II, com apenas a pontuação 3.

Sobre o assunto, Freitas *et al.* (2020) cita que uma análise da rede de drenagem em torno das barragens de rejeitos de mineração é fundamental para identificar quais cursos de água seriam afetados em caso de um rompimento, isso ajuda a estimar o impacto sobre a qualidade da água, a erosão do solo e os ecossistemas aquáticos.

No que diz respeito a declividade, a maior pontuação foi das Barragens do Frances e João Paulo. Nesse quesito entende-se a análise da declividade é importante para determinar as áreas mais suscetíveis a processos erosivos em caso de inundação causada por um rompimento de barragem. Os resultados indicam áreas com declividade mais acentuadas que podem ser mais vulneráveis à erosão do solo e ao transporte de sedimentos em direção aos cursos d'água.

Sobre a ARL todas as barragens apresentaram a mesma pontuação (4). Freitas *et al.* (2020) comenta que a ARL ajuda a identificar a extensão dessa área que está dentro dos buffers da barragem, isso é importante para avaliar o impacto potencial sobre a conservação ambiental e a conformidade com a legislação ambiental relacionada à manutenção de áreas de reserva legal.

Acerca da APP e AVN ambas apresentaram a mesma pontuação 4 para todas as barragens selecionadas. Diante disso, os resultados dessas análises de sensibilidade ambiental fornecem informações críticas para a gestão de riscos

associados a barragens de rejeitos de mineração, além de contribuir para identificar as áreas mais vulneráveis e expostas a impactos ambientais adversos, ou que, por sua vez, orientam a tomada de decisões relacionadas à segurança ambiental, medidas de mitigação e planos de resposta em caso de eventos adversos, como rompimentos de barragens.

Autores como Moreira *et al.* (2002) e Riedel (2004) reforçam que a elaboração de mapas pelo método da Soma Ponderada Ordenada é uma abordagem que combina informações de diferentes camadas de dados geoespaciais para gerar mapas que representam a sensibilidade ambiental e as ameaças de impacto ambiental em uma determinada região. Esse método é amplamente utilizado em estudos de avaliação de impacto ambiental e planejamento territorial para tomar decisões informadas sobre o uso da terra e a conservação ambiental.

Nesse contexto, ao aplicar tal método, estes dois mapas foram intersectados para a elaboração do mapa final de impacto ambiental de barragem de rejeitos no bairro central do município de Poconé. Na tabela 12 encontra-se descritos os pesos atribuídos aos objetos analisados.

Tabela 11 - Pesos atribuídos aos objetos analisados

Objeto	Peso
Sensibilidade Ambiental	1
<i>Área de Reserva Legal (ARL)</i>	15
<i>Área de Proteção Permanente (APP)</i>	22
<i>Área de Vegetação Nativa (AVN)</i>	12
<i>Rede de drenagem</i>	12
<i>Declividade</i>	12
Ameaças de Impacto Ambiental	5
<i>Barragem com Dano Potencial Associado (DPA) Baixo</i>	0
<i>Barragem com Dano Potencial Associado (DPA) Médio</i>	10
<i>Barragem com Dano Potencial Associado (DPA) Alto</i>	0
<i>Barragem com Categoria de Risco (CRI) Baixo</i>	9
<i>Barragem com Categoria de Risco (CRI) Médio</i>	9
<i>Barragem com Categoria de Risco (CRI) Alto</i>	0

Fonte: Dados da Autora (2023)

Como forma de facilitar a interpretação e análise dos resultados, os mapas resultantes (sensibilidade ambiental e ameaças de impacto ambiental) foram classificados, de acordo com o gradiente, em 5 classes: “muito alto”, “alto”, “médio”, “baixo” e “muito baixo”, conforme sugerido por Valente e Vettorazzi (2005).

Para Willinghoefer (2016) a atribuição de pesos a barragens de rejeitos é uma etapa crucial em avaliações de riscos ambientais e de segurança de barragens. Esses pesos são fundamentais para determinar a sensibilidade ambiental, as ameaças de impacto ambiental associado a essas barragens. Ainda segundo Willinghoefer (2016) destaca que as 5 classes, são:

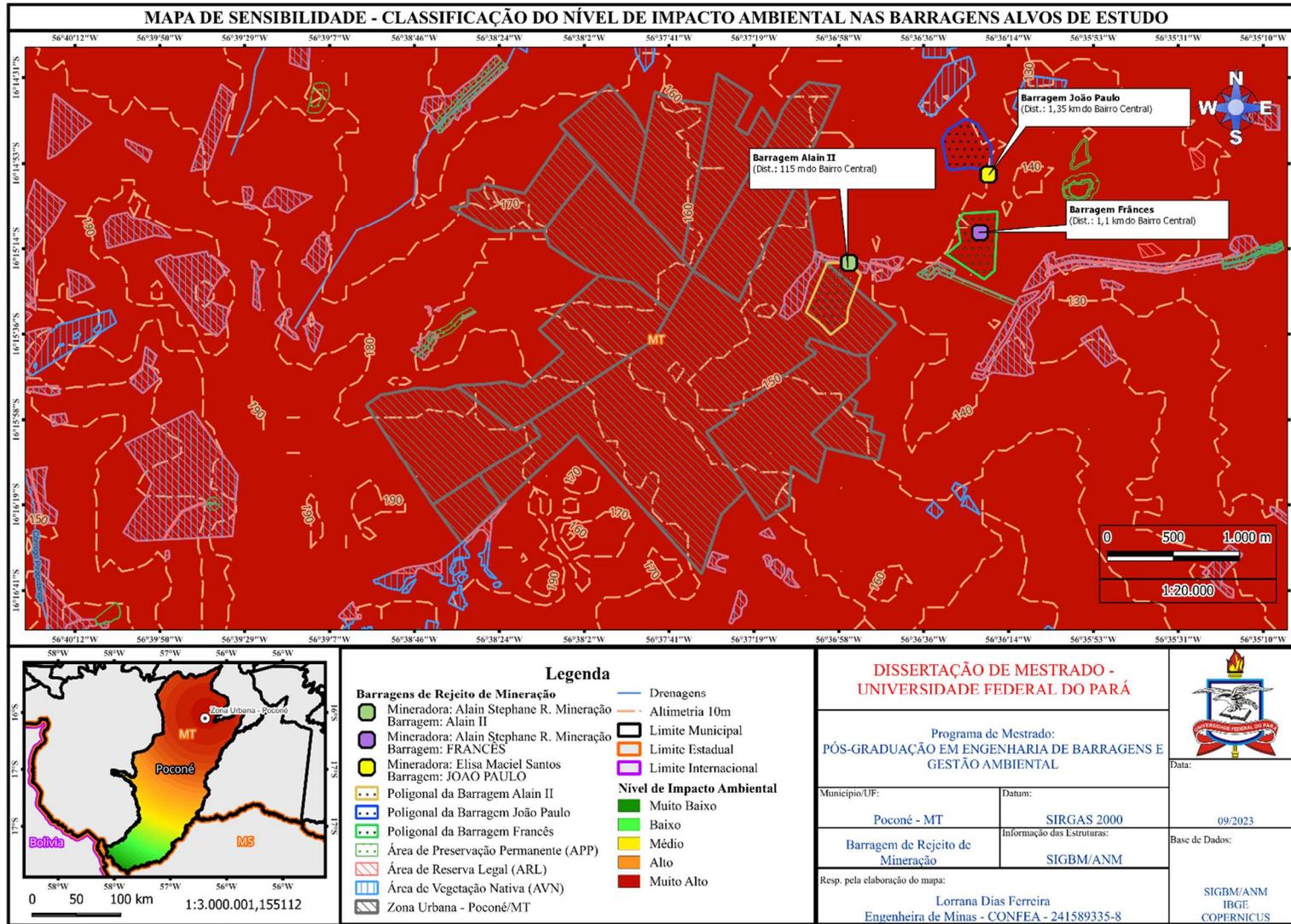
- Muito Baixa: Áreas onde os riscos são mínimos ou quase inexistentes. Medidas de mitigação podem não ser necessárias, ou podem ser de baixa prioridade.
- Baixa: Áreas com riscos baixos, que podem exigir alguma atenção, mas não são uma preocupação urgente. Medidas de mitigação podem ser necessárias, mas não em grande escala.
- Média: Áreas com riscos moderados que requerem atenção e ação para reduzir esses riscos. As medidas de mitigação são importantes, mas geralmente não são urgentes.
- Alta: Áreas com riscos significativos e potencial para causar danos substanciais. As medidas de mitigação são urgentes e devem ser implementadas prontamente.
- Muito Alta: Áreas com riscos elevados e ameaças iminentes. Essas áreas requerem ação imediata e medidas de mitigação de alta prioridade.

Conforme Ribeiro *et al.* (2018) essa classificação facilita a interpretação e análise dos resultados de várias maneiras, pois, o uso de categorias permite uma comparação direta entre diferentes áreas ou projetos, isso ajuda a identificar rapidamente quais locais ou cenários apresentam maior sensibilidade ambiental ou maior potencial de impacto ambiental.

Além disso, a classificação em categorias ajuda na definição de metas e objetivos claros para a gestão ambiental. Por exemplo, pode ser estabelecido como meta reduzir áreas classificadas como "muito alto" para "alto" ou "médio" como parte de um plano de mitigação (RIBEIRTO *et al.*, 2018).

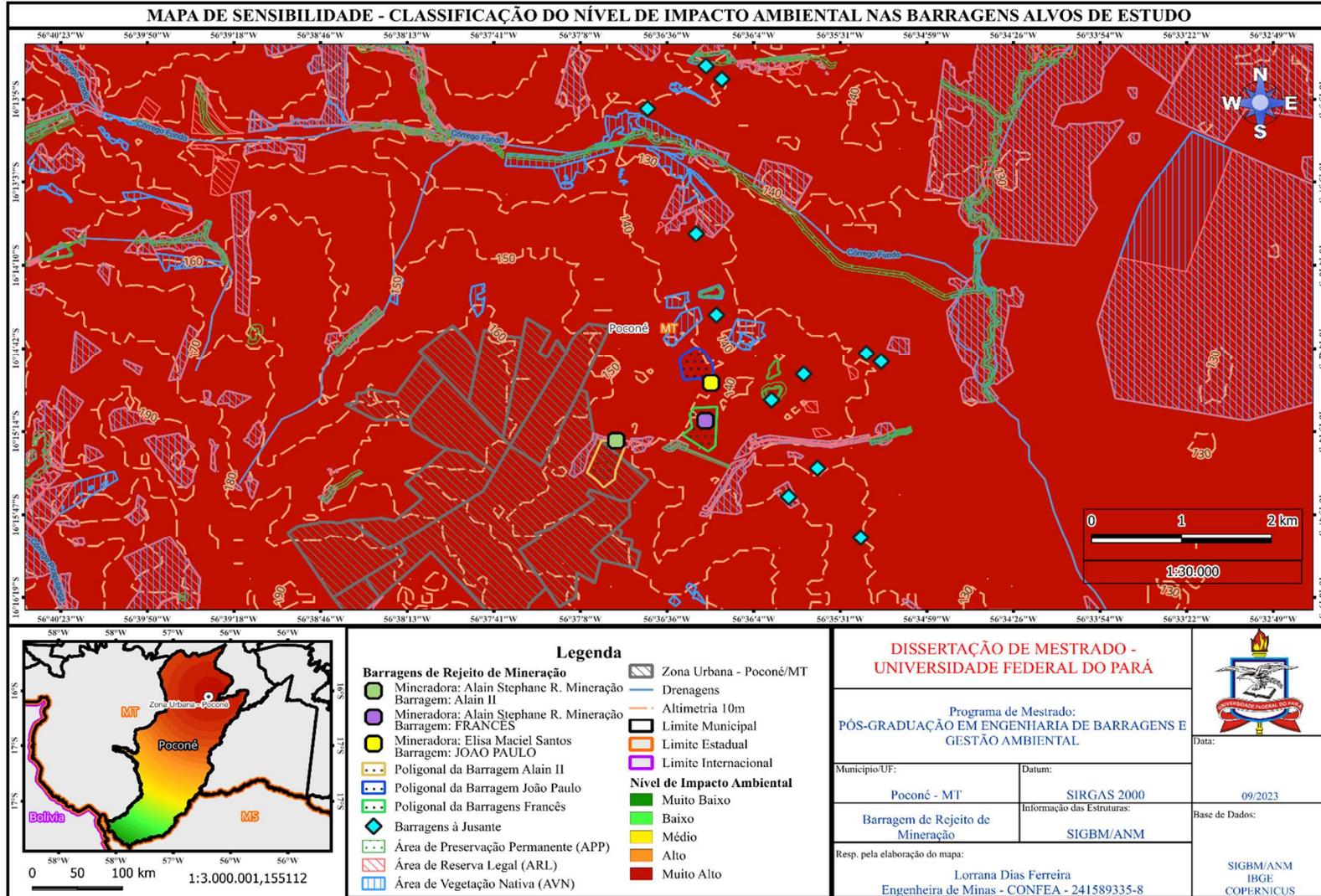
Em resumo, a classificação em cinco classes de sensibilidade ambiental e ameaças de impacto ambiental é uma abordagem eficaz que simplifica a interpretação e análise dos resultados em avaliações ambientais. Isso facilita a tomada de decisão, a comunicação dos resultados e a gestão eficaz dos recursos para proteger e preservar o meio ambiente. Na figura 23, 24 e 25 é demonstrado o mapa de sensibilidade e classificação de impacto ambiental nas barragens alvo de estudo.

Figura 23 – Mapa de sensibilidade e classificação do impacto ambiental nas barragens alvos de estudo



Fonte: Dados da autora (2023).

Figura 24 - Mapa de sensibilidade, Classificação do nível de impacto ambiental nas barragens alvo de estudo



Fonte: Dados da autora (2023).

Na figura 24 que aponta o mapa de sensibilidade e classificação do impacto ambiental nas barragens alvos de estudo, identificou-se que todos os três empreendimentos apresentam um alto nível de impacto ambiental. Estudos apontam que o mapa de sensibilidade ambiental é uma ferramenta crucial no gerenciamento de riscos e na avaliação ambiental de barragens de rejeitos, já que exibem o propósito de identificar as áreas circundantes a uma barragem que são mais sensíveis a possíveis impactos ambientais causados por eventos como falhas na barragem, vazamentos de rejeitos ou outras emergências (LEITE, 2019; GUIMARÃES, 2020).

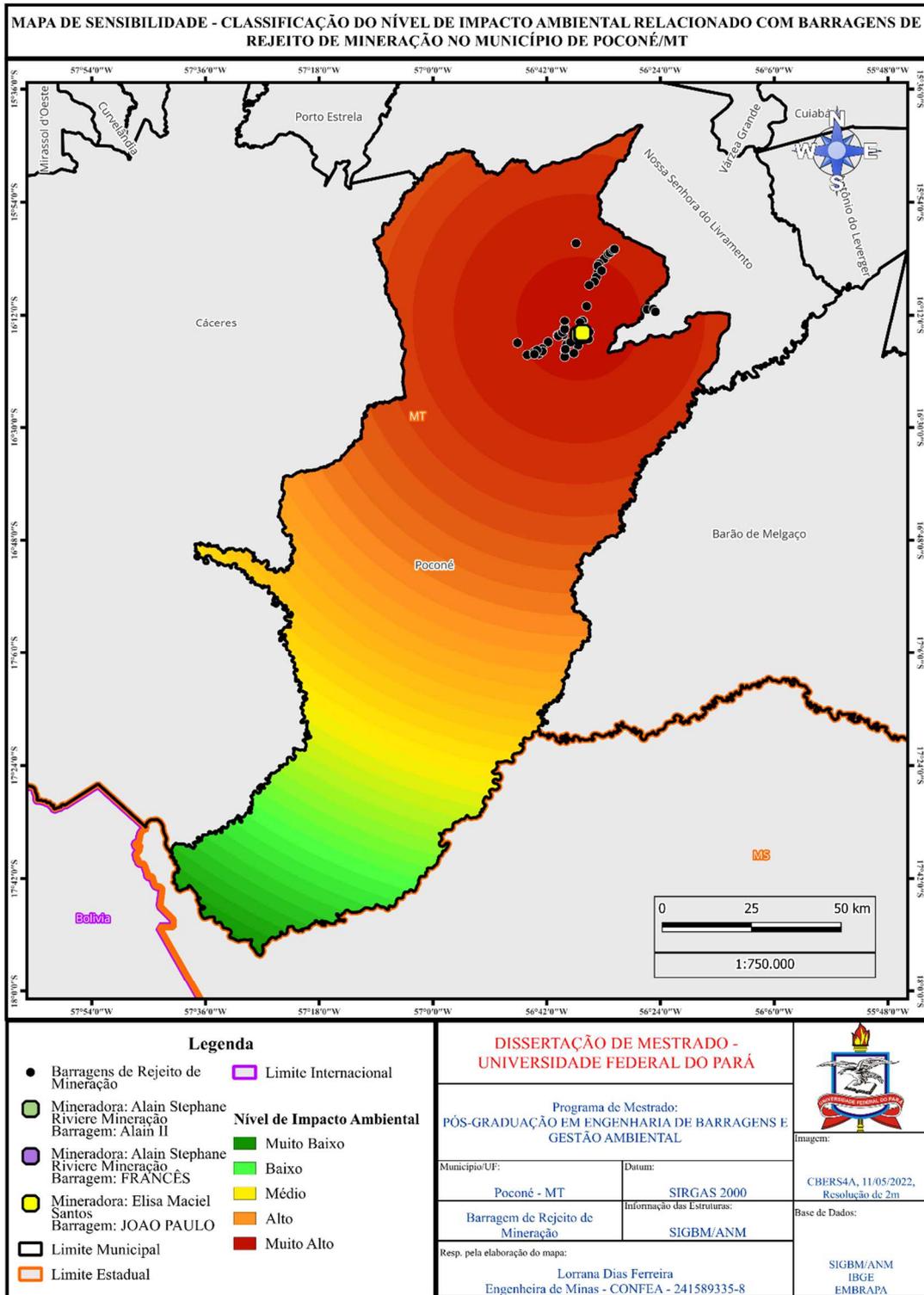
Em trabalho desenvolvido por Leite (2019) ressalta a importância desse mapa reside em sua capacidade de orientar o planejamento, a gestão e a resposta a emergências em barragens de rejeito, ele fornece informações claras sobre quais áreas precisam de atenção especial em termos de medidas de prevenção, mitigação e respostas de emergência. Além disso, auxilia na conformidade com regulamentações ambientais, na proteção de ecossistemas sensíveis e na redução dos impactos negativos em comunidades e ambientes naturais em caso de incidentes relacionados a barragens de rejeito.

Compreende-se a importância da elaboração desse mapa, já que reside na identificação clara das ameaças de impacto ambiental associadas à barragem de rejeito, além de contribuir na tomada de decisões informadas em relação à segurança da barragem, no planejamento de medidas de prevenção e mitigação, e na preparação para emergências.

Para Silva (2021) o uso de mapas de ameaças de impacto ambiental aplicada em barragens permite a conformidade com regulamentações de segurança de barragens e a proteção das comunidades e ecossistemas vulneráveis nas áreas circundantes da barragem, por isso é visto como essencial na gestão responsável dessas construções.

Na figura 25 encontra-se descrito a classificação de impacto ambiental relacionada com barragens de rejeito de mineração no município de Poconé/MT.

Figura 25 – Mapa de sensibilidade - classificação do nível de impacto ambiental relacionada com barragens de rejeito de mineração no município de Poconé.



Fonte: Dados da Autora (2023).

No mapa acima é possível observar sobre os níveis de impacto ambiental das barragens analisadas, sendo elas: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Ao analisar a classificação de impacto ambiental relacionado às barragens de rejeitos de mineração em Poconé, Mato Grosso, foi identificado que todas as barragens possuem um risco alto de impacto.

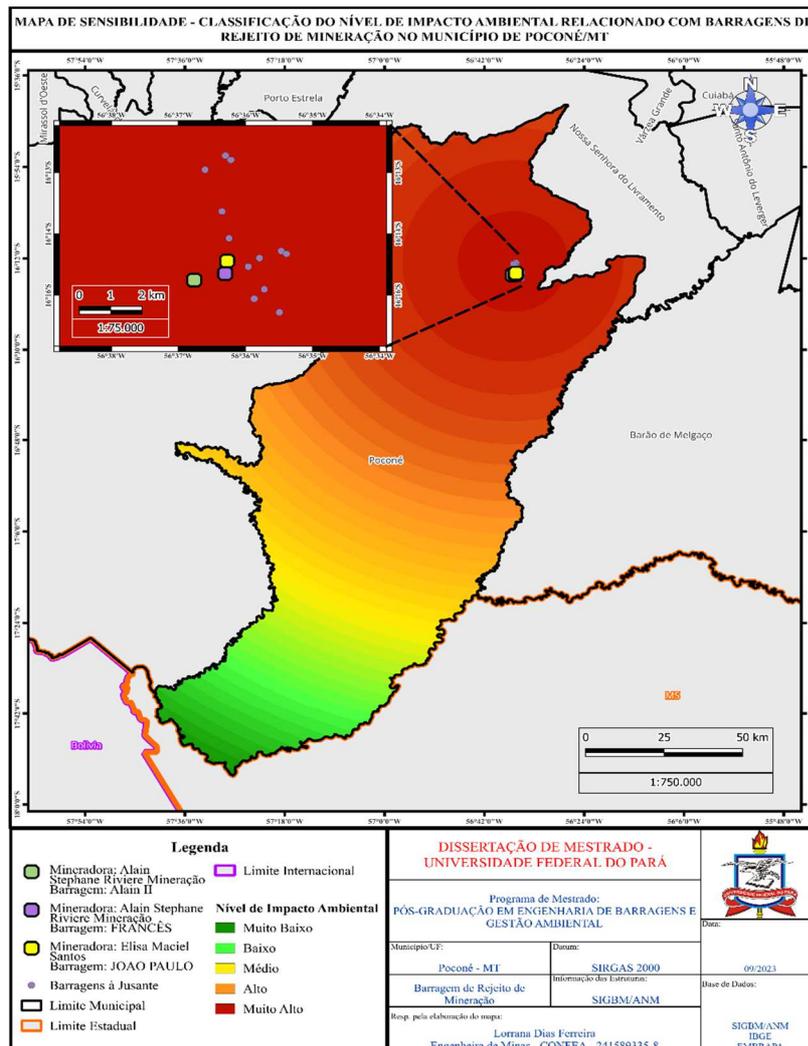
Entende-se nessa conjuntura que por meio da elaboração de mapas como esses deve ser visto um processo fundamental para avaliar e gerenciar os potenciais impactos ambientais decorrentes da construção, operação e manutenção dessas estruturas.

Sabe-se que barragens de rejeitos de mineração têm o potencial de causar impactos significativos no meio ambiente e nas comunidades circundantes, em detrimento disso, com base nos resultados, devem ser desenvolvidos planos de mitigação de impactos (ALVES JUNIOR, 2023). Isso envolve a implementação de medidas para reduzir ou evitar impactos negativos, como a construção de sistemas de tratamento de água ou a restauração de áreas afetadas.

Diante disso, a classificação de impacto ambiental deve ser um processo contínuo, à medida que novos dados se tornam disponíveis ou à medida que a barragem envelhece, as avaliações e planos de mitigação devem ser revisados e atualizados conforme necessário (ALVES JUNIOR, 2023).

Desse modo a elaboração de tais mapas relacionados a barragens de rejeitos de mineração em Poconé, Mato Grosso, desempenha um papel crucial na proteção do meio ambiente e na segurança das comunidades locais, pois, por meio dele é possível identificar, avaliar e comunicar riscos, bem como a planejar medidas de prevenção e resposta a emergências, garantindo a conformidade com regulamentações ambientais e a promoção da sustentabilidade na região. Na Figura 26 está descrito o mapa de sensibilidade, classificação de impacto ambiental relacionada com barragens de rejeito de mineração no município de Poconé/MT

Figura 26 – Mapa de sensibilidade - classificação de impacto ambiental relacionada com barragens de rejeito de mineração no município de Poconé/MT



Fonte: Dados da Autora (2023).

Na figura 26 onde encontram-se destacadas as três barragens do estudo, é possível observar que todas apresentam o risco alto conforme a legenda em relação ao nível de impacto ambiental, o que significa que apresentar tal nível pode resultar em danos extensos e duradouros aos ecossistemas naturais, à qualidade da água, ao solo, à biodiversidade e às comunidades humanas próximas no município de Poconé.

Além disso, impactos como a ocorrência de crateras nas ruas da cidade e rachaduras nas casas, são exemplos claros dos efeitos adversos que podem resultar do rompimento das barragens atividades que estão próximas ao perímetro urbano. Além do mais, compreende-se que tais impactos podem ter consequências graves e de longo prazo para o meio ambiente e a sociedade, exigindo medidas rigorosas de

prevenção, mitigação e monitoramento, por isso, a relevância de minimizar os efeitos negativos sobre o solo, a água e o ar, bem como para proteger a segurança e a qualidade de vida das comunidades locais.

Quando se considera o risco de rompimento de uma barragem e os efeitos em cascata que isso pode desencadear é possível avaliar a vulnerabilidade ambiental das áreas circundantes às barragens. Nesse contexto, é possível identificar por meio dos mapas as áreas sensíveis, como cursos d'água, zonas de preservação ambiental e ecossistemas frágeis. Essa identificação permite que as autoridades e engenheiros compreendam os riscos associados ao rompimento de uma barragem nas proximidades dessas áreas sensíveis.

De acordo com Guimarães (2022) cita que quando uma barragem rompe, a liberação súbita de grandes volumes de água e sedimentos pode afetar barragens adjacentes, isso ocorre porque a água liberada pode fluir rio abaixo, aumentando rapidamente o volume dos cursos d'água adjacentes e exercendo pressão sobre outras barragens ao longo do caminho.

Nos mapas de sensibilidade da figura 25 e 26 é possível determinar quais barragens podem ser afetadas por esse efeito em cascata, permitindo a adoção de medidas preventivas.

Segundo Guimarães (2022) os rios e córregos próximos às barragens geralmente abrigam ecossistemas aquáticos delicados, incluindo espécies de fauna e flora, com o rompimento de uma barragem pode liberar substâncias tóxicas e causar turbidez na água, prejudicando seriamente esses ecossistemas. Ao considerar o impacto ambiental das barragens, o mapa descrito ajuda a identificar como essas áreas críticas podem ser protegidas e restauradas em caso de desastre.

Com base nas informações do mapa 25 e 26, é possível orientar o planejamento adequado para a construção e manutenção das barragens. Isso pode incluir a implementação de tecnologias e procedimentos de segurança apropriados, como sistemas de alerta precoce e manutenção regular.

Portanto, tais dados presentes ao longo dos mapas de classificação devem ser visto como uma ferramenta crucial para avaliar e mitigar os riscos associados às barragens próximas, pois, desempenha um papel fundamental na proteção dos ecossistemas aquáticos, na segurança das populações locais e na prevenção de impactos em cascata no caso de rompimento de barragens (LEITE, 2019).

5 CONCLUSÃO

Barragens são estruturas essenciais para diferentes finalidades, dentre elas, este estudo tem foco nas barragens de rejeitos de mineração. Ao mesmo tempo em que a mineração gera renda, empregos e desenvolvimento socioeconômico, ela gera impactos ambientais inquestionáveis, parte expressiva desses impactos decorre da necessidade de alocar os rejeitos gerados.

No Brasil, assim como em outros locais do mundo, a mineração é uma atividade bastante incidente e em Poconé, a região estudada, a número de Barragens de mineração é expressivo, elevando os riscos de rompimentos e impactos decorrente de sua existência.

Em geral, quando uma barragem se rompe, os rejeitos escoam e atingem a região a jusante derrubando casas, estabelecimentos comerciais, de saúde, danificando ruas, calçadas, veículos, e tirando vidas. Neste estudo, porém, o foco recaiu sobre os danos ambientais decorrentes desses acidentes.

Como impactos imediatos destaca-se a contaminação das águas, perda de sua qualidade e do aporte do oxigênio, o que leva a morte de várias espécies animais logo após o acidente e por longos períodos, até que o equilíbrio seja novamente obtido. Esses rejeitos são tóxicos, contaminam água e solo, além de causar a morte da fauna e flora por onde passam.

A capacidade de regeneração das áreas atingidas é impactada e um período de décadas pode ser necessário para que características próximas das anteriores ao acidente sejam novamente estabelecidas. Os metais pesados contidos nos rejeitos acumulam-se no solo e a contaminação pode impedir que as espécies vegetais voltem a nascer.

As espécies animais que ali viviam ou foram dizimadas ou terão que buscar outros locais e, assim, as características da biodiversidade poderão ser perdidas irreversivelmente. Pessoas que sobrevivem de atividades ligadas ao meio ambiente, como a pesca, podem jamais conseguir recuperar o trabalho.

As áreas atingidas poderão jamais recuperar a atratividade para o turismo. Isso significa que além de todos os impactos sofridos, a capacidade de obtenção de recursos deixará de existir, pelo menos por algum tempo e, assim, com menos recurso torna-se mais difícil obter o restabelecimento das condições das áreas atingidas e

assegurar melhores condições de saúde e qualidade de vida para a população no local.

Ao longo do trabalho foi possível observar os possíveis impactos ambientais na área de influência das barragens de rejeito escolhidas para o estudo no município de Poconé, Mato Grosso. Tais dados são de suma importância para poder compreender os efeitos das operações de mineração e das próprias barragens no meio ambiente local. Essa análise considerou diversos fatores e aspectos, e características específicas da região e das barragens em questão.

Com os dados obtidos é fundamental analisar o impacto ambiental das barragens de rejeitos nas comunidades locais, incluindo a possível relocação de famílias, o acesso à água potável e a saúde das pessoas que vivem nas proximidades.

O estudo apontou, diante dos objetos analisados de sensibilidade ambiental: ARL, APP, AVN, rede de drenagem e declividade; assim como dos objetos de ameaças de impactos ambientais que as barragens de rejeitos de mineração existentes no limite municipal de Poconé/MT são classificadas como estruturas que promovem um impacto ambiental “muito alto”, principalmente na zona urbana do município.

Para além do considerado nível de impacto ambiental “muito alto” conforme mapa de sensibilidade das três barragens alvo de estudo, a presente dissertação identificou também que essas barragens de rejeitos de mineração estão em uma posição de risco no tangente à sua cota topográfica (140m), pois em caso de rompimento estas poderão afetar barragens a jusante, causando assim um efeito cascata na região, não obstante a isso afetando ARL's, AVN's, APP's e até a rede de drenagem do córrego Fundo, situado no município de Poconé/MT.

Em suma, a análise do impacto ambiental na área de influência das barragens de rejeito em Poconé, Mato Grosso, é uma parte crucial do processo de gestão responsável das atividades de mineração, já que ajuda a identificar os riscos e impactos potenciais, bem como a desenvolver estratégias para mitigar esses impactos e garantir a proteção do meio ambiente e das comunidades locais.

Portanto, trabalhos futuros envolvendo a região de Poconé em Mato Grosso são necessários para que assim possam avaliar outras barragens existentes, que a cada ano surgem novas, identificando seus possíveis níveis de impactos ambientais e áreas de influência, que podem causar na população como todo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO – ANM. **Mineração em números**. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/mineracao-em-numeros>. Acesso em: 22 jan. 2022.

AMN – Agência Nacional de Mineração. **Anuário Mineral Brasileiro**. Brasília, AMB, 2023. Disponível em: <<https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/anuario-mineral-brasileiro-amb>> Acesso em: 16 jan. 2023.

ALVES JUNIOR, F. M., KOBAYAMA, M.; CORSEUIL, C. W. Mapeamento de índice de risco de inundação de área a jusante de uma barragem em caso de rompimento. **Mercator** (fortaleza), 22, e22004, 2023. <https://doi.org/10.4215/rm2023.e22004>

ARAUJO, C. B. **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro**. 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

BELLATO, Vanderlei *et al.* Avaliação da exploração garimpeira de ouro no município de Poconé (MT), na borda do Pantanal Mato-grossense. **Revista de Geologia**, v. 25, n. 1, p. 18-30, 2012. Disponível em: <http://www.periodicos.ufc.br/geologia/article/view/1338>. Acesso em: 13 mar. 2021.

BRASIL. **Lei nº 14.066 de 30 de setembro de 2020**. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14066.htm#:~:text=%C2%A7%201%C2%BA%20O%20SNISB%20c,ompreende,sobre%20acidentes%20e%20sobre%20desastres. Acesso em: 16 jun. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Recuperação da vegetação nativa no Brasil: caracterização das técnicas e estimativas de custo por hectare / Ministério do Meio Ambiente - MMA, Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas – IPEA, The Nature Conservancy – TNC Brasil. – Brasília, DF: MMA, 2017**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/arquivos-biomas/recuperao-da-vegetacao-nativa-estimativa-de-custos-por-hectare.pdf>. Acesso em 8 mar. 2023.

BRASIL. **Portaria nº 70.389 de 17 de maio de 2017**. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/>

/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/20222904/do1-2017-05-19-portaria-n-70-389-de-17-de-maio-de-2017-20222835. Acesso em: 16 jun. 2021.

BRASIL. Ministério de Minas Energia. **Resolução nº 95, de 7 de fevereiro de 2022.** Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração. Disponível em: https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/ActionDatalegis.php?acao=detalharAtosArvore&link=S&tipo=RES&numeroAto=00000095&seqAto=000&valorAno=2022&orgao=ANM/MME&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod_modulo=566&cod_menu=8303. Acesso em: 10 ago. 2023.

BRASIL. **Resolução nº 13 de 8 de agosto de 2019.** Estabelece medidas regulatórias objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método denominado "a montante" ou por método declarado como desconhecido e dá outras providências. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-13-de-8-de-agosto-de-2019-210037027>. Acesso em: 14 jun. 2021.

BRASIL. **Resolução nº 51 de 24 de dezembro de 2020.** Cria e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento da Avaliação de Conformidade e Operacionalidade do PAEBM - ACO, que compreende o Relatório de Conformidade e Operacionalidade do PAEBM - RCO e a Declaração de Conformidade e Operacionalidade do PAEBM - DCO. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-51-de-24-de-dezembro-de-2020-296821959>. Acesso em: 15 jun. 2021.

CARVALHO, Gêssica Borges de. **Incidência de impactos decorrentes de acidentes com barragens de rejeitos.** Dissertação de mestrado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2018. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/10689/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Incid%C3%A4nciaImpactosDecorrentes.pdf. Acesso em: 10 mar. 2021.

CARVALHO, Gêssica Borges de. CORTELETTI, Rosyelle Cristina. Proposta metodológica para previsão de impactos decorrentes de acidentes com barragens de rejeito. **Eng Sanit Ambient**, v. 26, n.3, maio/jun 2021, p. 525-534. Disponível em: Acesso em: 5 mar. 2023.

CONCEIÇÃO, Raimundo Almir da Costa; LIMA, Aline Maria Meiguins de. Rompimento em barragens de rejeito de mineração do estado do Pará utilizando a metodologia risk-based profiling system (rbps). **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**. 2018, p. 21-43. Disponível em: https://www.abge.org.br/downloads/revistas/RevistaABGE_6-1_Art2.pdf. Acesso em: 2 jun. 2021.

CUNHA, Cátia Nunes; JUNK, Wolfgang J. **Identificação e Análise das Ameaças e Impactos no Componente Pantanal e recomendações para salvaguardá-lo.** Disponível em: https://lac.wetlands.org/wpcontent/uploads/sites/2/dlm_uploads/2020/01/20191021_Identificacao-e-Analise-das-Ameacas-e-Impactos-Pantanal.pdf. Acesso em: 10 ago. 2023.

FREITAS CM DE, SILVA MA DA, MENEZES FC DE, LUZ ZMP DA. Mining dams disasters as systemic risks. **Rev bras epidemiol**, 3(1):220004, 2022. <https://doi.org/10.1590/1980-549720220004>.

FONSECA, Marcus N. E. **Análise dos modos de falha e efeitos (FMEA) para a avaliação de um acidente em barragem de rejeitos**: um evento de mineração no Brasil. Mestrado em Engenharia Industrial. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2018. Disponível em: https://pei.ufba.br/sites/pei.ufba.br/files/dissertacao_marcus_nicholas_rev_21-02-2018_correcao_pos_rev_banca_01.pdf. Acesso em: 10 mar. 2021.

FONSECA, Dianne Danielle Farias. **Panorama das barragens de rejeito mineral dos estados do Pará e Amapá**. Universidade Federal do Pará, Belém, 2019. Disponível em: https://ppggrd.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/disserta%C3%A7oes%20ppggrd/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Dianne_Fonseca_2019.pdf. Acesso em: 18 jun. 2021.

GUIMARÃES, T.F. R. **Fragmentação hidrográfica e suscetibilidade ambiental à perda de espécies frente às ameaças das atividades de mineração**: um estudo de caso em uma sub-bacia do rio doce. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Geografia) - Universidade Federal Do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

GUIMARÃES, F.C.F. **Análise de desempenho de uma barragem de rejeito considerando interferências de detonações em uma mina à céu aberto**. Dissertação (Mestre em Engenharia Geotécnica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

HATJE, V., PEDREIRA, R., DE REZENDE, C. E.; SCHETTINI, C., DE SOUZA, G. C., MARIN, D. C.; HACKSPACHER, P. C. The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. **Scientific reports**, 7(1), 10706, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11143-x>.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração**. Brasília: IBRAM, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mato Grosso**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/panorama>. Acesso em: 28 out. 2021.

KAMINO, L., PEREIRA, E. O., & DO CARMO, F. F. Conservation paradox: Large-scale mining waste in protected areas in two global hotspots, southeastern Brazil. **Ambio**, 49(10), 1629–1638, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01326-8>.

LEITE, Ubajara Berocan et al. **Os efeitos regionais da ‘Grande Mineração’: a experiência do Norte de Goiás**. Dissertação de Mestrado. Brasília: Universidade de Brasília, 2017. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/15177/1/2013_UbajaraBerocanLeite.pdf. Acesso em: 11 mar. 2021.

LEITE, S.R. **Modelo para Avaliação de Riscos em Segurança de Barragens com Associação de Métodos de Análise de Decisão Multicritério e Conjuntos Fuzzy**.

Dissertação (Mestrado - Mestrado Profissional em Computação Aplicada) - Universidade de Brasília, 2019.

LIMA, Sarah Ramos de Sousa. **Caracterização e análise dos acidentes com barragens de rejeito de mineração no estado de Minas Gerais**. Belém, Universidade Federal do Pará, 2018. Disponível em: https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/prefix/1981/1/TCCE_CaracterizacaoAnaliseAcidentes.pdf. Acesso em: 12 jun. 2021.

LUCKENEDER, Sebastian et al. Surge in global metal mining threatens vulnerable ecosystems. *Global Environmental Change*, 69(3): 10-19, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102303>.

MARTIM, Hélio Cardoso; SANTOS, Vivianni Marques Leite dos. Avaliação de impactos ambientais em empresa de mineração de cobre utilizando redes de interação. *Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria*, v. 17n. 17 Dez 2013, p. 3246 – 3257.

MATO GROSSO. **Instrução Normativa SEMA nº 6 DE 26/12/2019**. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-6-2019-mt_388245.html. Acesso em: 15 jun. 2021.

MATO GROSSO. **Manual de Regularização de Barragens Fiscalizadas pela SEMA – MT**. 2019.

MILANEZ, Bruno. Mineração, ambiente e sociedade: impactos complexos e simplificação da legislação. *Boletim regional, urbano e ambiental*, n. 16, p. 93-101, 2017.

MOREIRA, Fernanda Mayra. **Gestão de risco associada ao licenciamento ambiental de barragens de mineração**: uma análise para a região do triângulo mineiro e alto Parnaíba. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/31122/1/Gest%C3%A3oRiscoAssociada.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2021.

MOREIRA, Walter da Silva. **Avaliação dos impactos ambientais de atividades de mineração no Ceará**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2019.

NAVA, Francly Rosy. **Pequenas barragens**: Uma oportunidade de desenvolvimento científico, técnico e regulamentador. Dissertação (Mestre em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental) - Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2018.

NEVES, Luiz Paniago. **Segurança de barragens: legislação federal brasileira em segurança de barragens comentada**. 2018. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/e-book-livre-legislacao-federal-brasileira-emseguranca-de-barragens-autor-luiz-paniago-neves/view>. Acesso em: 05 ago. 2023.

OLIVEIRA, Edvaldo José de. **Compensação financeira pela exploração de recursos no Pantanal de Poconé – Mato Grosso**. Especialização em economia e meio ambiente. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2016. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/52415/R%20-%20E%20-%20EDVALDO%20JOSE%20DE%20OLIVEIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 11 mar. 2021.

OVANDO, Lucas dos Santos. **Dimensionamento de sistema extravasor de emergência em barragens de rejeitos de mineração**. Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitarista. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: https://www.dcta.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/21/2019/07/201312080272_Lucas-dos.pdf. Acesso em: jun. 2021.

PEREIRA JÚNIOR, Antônio; LIMA, Natalia Caroline ALves de. Avaliação qualitativa dos impactos ambientais durante o processo produtivo da mineração de areia no Rio Xingu. Altamira – PA. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 7, n. 2, p.230-259, abr./jun. 2018.

PEREIRA, Allan. **Mineração na zona urbana de Poconé provoca crateras e rachaduras nas casas**. Disponível em: <https://www.rdnews.com.br/cidades/conteudos/112810>. Acesso em: 10 maio 2022.

PEREIRA, F.M.S. **Gestão de Risco e Plano de Ações Emergenciais Aplicado à Barragem de Contenção de Rejeitos Casa de Pedra/CSN**. 159f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

PELETTI, Karoline Isabel; SILVA, Tatiana Monteiro Costa e. **Garimpo, uma atividade insustentável: o exemplo do município de Poconé – MT**. Disponível em: <https://repositoriodigital.univag.com.br/index.php/rep/article/viewFile/745/735>. Acesso em: 4 maio 2022.

POLIGNANO, Marcus Vinicius; LEMOS, Rodrigo Silva. Rompimento da barragem da Vale em Brumadinho: impactos socioambientais na Bacia do Rio Paraopeba. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 72, n. 2, p. 37-43, abr. 2020. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252020000200011&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 16 jun. 2021.

PRIMO, P., ANTUNES, M. N., ARIAS, A., OLIVEIRA, A. E.; SIQUEIRA, C. E. Mining Dam Failures in Brazil: Comparing Legal Post-Disaster Decisions. **International journal of environmental research and public health**, 18(21), 11346, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111346>.

RAMOS, Marcos de Paulo. **Geotecnologia em perícias ambientais e na análise da qualidade da água: estudos nos reservatórios de abastecimento público da Região Metropolitana de Belo Horizonte/MG**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2020.

REBELLATO, L.; CUNHA, C. N.; FIGUEIRA, J. E. C. Respostas da comunidade herbácea ao pulso de inundação no pantanal de Poconé, Mato Grosso. **Oecologia Australis** 16(4): 797-818, 2012.

RIBEIRO, Amilson Irio. **A avaliação de impactos ambientais e as barragens de rejeitos**. 12 fev. 2019. Disponível em: <https://www2.unesp.br/portal#!/noticia/34275/a-avaliacao-de-impactos-ambientais-e-as-barragens-de-rejeitos>. Acesso em: 25 out. 2021.

RICO M, BENITO G, DÍEZ-HERRERO A. Floods from tailings dam failures. *J Hazard Mater*, 15;154(1-3):79-87, 2008. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.09.110.

ROSA, Nayara Mariana Gonzaga. **Implicações do rompimento da barragem de Fundão nos usos da água e da terra na bacia do Alto Rio Doce – MG**. Dissertação (Mestre em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

ROSSI, Carlo Lucca Coutinho Ungaretti et al. Dam-Break analysis: proposal of a simplified approach. **RBRH**. 2021, v. 26, e02. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.262120200066>. Acesso em: 5 jun. 2021.

SANTOS, Flávia Aragão; MENDONÇA, Marcos Barreto. **A percepção de risco associado à barragem de mineração por parte da população**. I Congresso Brasileiro de Redução de Riscos de Desastres: “Gestão Integrada em RRD no Brasil e o Marco de SENDAI para a Redução do Risco de Desastres 2015 – 2030” Curitiba, Paraná, Brasil – 12 a 15 de outubro de 2016. Disponível em: <http://defesacivil.uff.br/wp-content/uploads/sites/325/2020/10/A-percepo-de-risco-associado-barragem-de-rejeito.-Flavia-Arago-e-Marcos-Barreto-CBRRD.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2021.

SANTOS, Y. Panorama da mineração brasileira em relação a alguns dos principais minerais críticos necessários à transição energética. **Latin American Journal of Energy Research**, 10(1), 77–86. <https://doi.org/10.21712/lajer.2023.v10.n1.p77-86>, 2023.

SANTOS, O. S. H.; AVELLAR, F. C.; ALVES, M.; TRINDADE, MENEZES, M. B.; FERREIRA, M. C. et al. Understanding the Environmental Impact of a Mine Dam Rupture in Brazil: Prospects for Remediation. **Bioremediation and Biodegradation**. 2019. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.04.0168>.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO. **Instrução Normativa SEMA Nº 6 DE 26/12/2019. Dispõe sobre o procedimento para o licenciamento de empreendimentos minerários que possuam barragens de rejeito**. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=388245>. Acesso em: 10 ago. 2023.

SEDEC. Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico. **Mato Grosso sobe no ranking da mineração no Brasil**. 17 abr. 2021. Disponível em: <http://www.sedec.mt.gov.br/-/16879644-mato-grosso-sobe-no-ranking-da-mineracao-no-brasil>. Acesso em: 18 out. 2021.

SILVA, Marina Lima; ANDRADE, Márcia Cristiane Kravetz. Os impactos ambientais da atividade mineradora. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, 11(6): 12-19, 2017.

SILVA, Ludmila Cruz Rezende Senna e. **Barragens de rejeitos na industrial mineral brasileira**. Monografia de graduação apresentada a Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Química. Uberlândia, 2017.

SILVA, L.C **Avifauna registrada em estudos de impactos ambientais de usinas hidrelétricas no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas) - Universidade Federal De São Carlos, Sorocaba, 2021.

VALERIANO, Jeanette Silva. **Impactos ambientais e socioeconômicos do colapso da barragem de Fundão**: UM estudo de caso. Universidade Federal de Ouro Preto, 2019. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2033/1/MONOGRAFIA_ImpactosAmbientaisSocioecon%C3%B4micos.pdf. Acesso em: 5 mar. 2023.

VERGILIO, C.D.S et al. Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). **Sci Rep**, 10 (3): 30-38, 2020.

TAHMİSCİOĞLU, M. Sait. Positive and negative impacts of dams on the environment. 2011. **International Congress on River Basin Management**. Disponível em: <https://cvc.ca/wp-content/uploads/2011/02/60.pdf>. Acesso em: 5 maio 2022.

TSCHIEDEL, Arthur da Fontoura et al. **Barragens e rompimentos: compilação histórica nacional e internacional**. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p. 1-10, 2019.

WANDERLEY, L. J.; MANSUR, M. S.; PINTO, R. G. Avaliação dos antecedentes econômicos, sociais e institucionais do rompimento da barragem de rejeito da Samarco/Vale/BHP em Mariana (MG). In: MILANEZ, B.; LOSEKANN, C. (orgs.). **Desastre no Vale do Rio Doce**: Antecedentes, impactos e ações sobre a destruição. Rio de Janeiro: Folio, 2018, p. 49 – 87.

WILLINGHOEFER, Matheus. **Avaliação do risco de rompimento da barragem de uma pequena central hidrelétrica na bacia do rio do peixe**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.