

BARRAGENS DE REJEITOS DE MINERAÇÃO: DESAFIOS E AVANÇOS NA PERSPECTIVA DA SUSTENTABILIDADE

**FANI RODRIGUES DE OLIVEIRA PATROCÍNIO¹; KIWONGHI BIZAWU²;
ISABELA MOREIRA SILVA³**

¹Doutoranda em Direito Ambiental e desenvolvimento sustentável pela Escola Superior Dom Helder Câmara. Mestre em ensino de Biologia pela UFJF/GV. Pós-graduada em Gestão Ambiental pela FERLAGOS/RJ. Licenciada em Ciências Biológicas pela UNILESTE/MG. Integrante do grupo de pesquisa direito da natureza e educação ecológica da Escola Superior Dom Helder Câmara. E-mail: fani.oliveira@educacao.mg.gov.br.

²Doutor com pós-doutorado pela Universidade de Coimbra (UC) e Mestre em Direito pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-Minas), Belo Horizonte/MG, Brasil. Graduado em Direito pela Faculdade de Ciências Jurídicas e Sociais Vianna Júnior (FCJSVJ), Juiz de Fora/MG, Brasil. Professor da Graduação de Direito Internacional Público e Privado e do Programa de Pós-Graduação em Direito da Dom Helder Escola Superior (DHES), Belo Horizonte/MG, Brasil. Professor visitante na Universite du Kwango (UNIK), Cuango República Democrática do Congo. E-mail: sebak_07@hotmail.com.br.

³Doutoranda em Direito Ambiental pela Dom Helder Bacharel. Mestra pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática Área de Concentração Biologia pela PUC Minas. Especialista em Gestão, Planejamento e Implementação da Educação a Distância pela Universidade Federal Fluminense. Licenciada em Ciências Biológicas pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC Minas, Graduanda em Direito. Professora do Ensino Básico -SEE- MG. E-mail: bioisa@gmail.com.br

RESUMO

Nos primeiros vinte anos do século XXI os desastres socioambientais causados pelo rompimento de barragens de rejeitos provocaram mortes e considerável impacto ambiental, demonstrando a fragilidade humana em gerenciar os empreendimentos minerários ao redor do mundo. O Brasil como um país de vocação mineral, possui centenas de barragens de rejeitos distribuídas pelo território nacional, sendo um desafio gerenciar esses empreendimentos de maneira segura, evitando rompimentos que possam causar danos à vida e ao meio ambiente. Este artigo tem como objetivo analisar os desafios apresentados nos métodos construtivos das barragens, bem como a sua segurança, e pesquisar alternativas utilizadas na gestão dos rejeitos como forma de mitigar os impactos dessa atividade contribuindo para uma mineração sustentável. O estudo realizado demonstrou avanços no estabelecimento de leis que regulamentam o método construtivo das barragens, entendendo que essas construções fazem parte da prevenção e segurança. O gerenciamento da segurança das barragens por meio de cadastros e monitoramentos demonstrou boa estratégia para acompanhar as situações de riscos e danos potenciais associados. A pesquisa também constatou iniciativas para a utilização do rejeito de minério, na fabricação de diversos produtos como tijolos, telhas, escórias para estradas, vidros, entre outros. Considerando o estudo realizado, a construção regulamentada com garantia da segurança nas barragens, bem como a gestão adequada dos rejeitos de minério com maiores investimentos em pesquisas para seu aproveitamento em outros setores, atreladas a medidas de preservação e mitigação, demonstram que pode ser um caminho para minimizar os desafios no gerenciamento das barragens e avançar rumo a mineração sustentável.

Palavras-chave: Barragens de rejeitos; mineração; sustentabilidade.

MINING WASTE DAMS: CHALLENGES AND ADVANCES FROM THE SUSTAINABILITY PERSPECTIVE

ABSTRACT

At the beginning of the 21st century, specifically in the last twenty years, socio-environmental disasters

caused by tailings dam failures have caused deaths and considerable environmental impact, demonstrating human fragility in managing mining enterprises around the world. Brazil, as a mineral-rich country, has hundreds of tailings dams distributed throughout its national territory, with the challenge of managing these enterprises safely, avoiding accidents that can cause damage to life and the environment. This article aims to analyze the challenges presented in the construction methods of dams, as well as their safety, and to research alternatives used in waste management as a way of mitigating the impacts of this activity, contributing to sustainable mining. The study showed advances in the establishment of laws that regulate the construction method of dams, understanding that these constructions are part of prevention and safety. The management of dam safety through registration and monitoring has demonstrated a good strategy for monitoring risk situations and potential damages associated with them. The research also found initiatives for the use of ore waste in the manufacture of various products such as bricks, tiles, slag for roads, glass among others. Considering the study carried out, regulated construction with guaranteed safety in dams, as well as adequate management of ore waste with greater investments in research for its use in other sectors, combined with preservation and mitigation measures, demonstrate that it can be a way to minimize challenges in dam management and advance towards sustainable mining.

Keywords: Tailings dams; mining; sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Considerando o início do século XXI, nos últimos 20 anos ocorreram inúmeros acidentes com barragens de rejeitos no Brasil e no mundo tiveram o atributo de, literalmente, manchar a imagem da mineração. Esses desastres socioambientais causados pelo rompimento de barragens de rejeitos que deixaram registro de mortes e destruição com negativo impacto ambiental, demonstrou a fragilidade humana em gerenciar os empreendimentos minerários ao redor do mundo.

A aceleração no ritmo da retirada dos recursos minerais resulta na considerável geração de rejeitos acumulados em grandes construções conhecidas como barragens. E gerenciar esses empreendimentos com segurança, evitando acidentes, tem se tornado um importante desafio a ser enfrentado pela humanidade.

Ao redor de todo o planeta estima-se que existam mais de 3.500 barragens de rejeitos. Desde 1970 foram contabilizados de dois a cinco rompimentos de barragens de rejeitos por ano (Toledo; Ribeiro; Thomé, 2016). No Brasil, em 2023, foram 926 barragens de rejeitos cadastradas e monitoradas pelo Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

Como um país marcado por dois grandes desastres ambientais com barragens de mineração; sendo o desastre de Mariana-MG ocorrido em novembro de 2015 com o rompimento da Barragem do Fundão de rejeito de minério de ferro e o desastre de Brumadinho em janeiro de 2019 com o rompimento da Mina Córrego do Feijão no Complexo do Paraopeba II, a gestão de barragens de rejeitos tem sido objeto de interesse no Brasil.

Dado o potencial impactante do mal gerenciamento das barragens de rejeitos de mineração, o presente estudo justifica-se pela necessidade de discutir o tema, apontando os desafios em pontos relevantes como os métodos construtivos das barragens, bem como a discussão à cerca da segurança nesses empreendimentos, estabelecendo como objetivo apresentar alternativas que estão sendo utilizadas na gestão dos rejeitos como forma de diminuir ou mitigar os impactos dessa atividade na contribuição de uma mineração mais sustentável.

O presente artigo baseou-se em estudo bibliográfico documental, fundamentados em recentes relatórios e artigos científicos, com objetivo de analisar os desafios apresentados nos métodos construtivos das barragens, bem como a sua segurança, e pesquisar alternativas utilizadas na gestão dos rejeitos como forma de mitigar os impactos dessa atividade, além de elencar algumas metodologias de gestão dos rejeitos de minérios e as alternativas viáveis como recursos aplicáveis a diferentes atividades empreendedoras.

A importância da investigação sobre as barragens de rejeitos minerais, a sua integridade estrutural e o estado atual do tema nas estratégias de segurança e nas práticas para a transição para uma atividade mais sustentável, é o que impulsionou a fundamentação deste estudo. A análise abrange aspectos técnicos e legais da mineração, incluindo a gestão de resíduos, a conformidade regulatória e as práticas de mitigação de riscos.

2 BARRAGENS DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

As barragens, de maneira geral, são construções adotadas pela humanidade desde a antiguidade. No fim do século XIX surgiram as construções de barragens de energia elétrica, que marcaram a era tecnológica para esses empreendimentos com dupla função de armazenamento para o fornecimento de energia e possibilidades de irrigação de lavouras. Os avanços dessas técnicas de engenharia permitiram, recentemente, que essas construções fossem também utilizadas para o armazenamento de resíduos industriais, e de outras operações como os rejeitos de atividades minerárias (Toledo; Ribeiro; Thomé, 2016).

Para fins de definição, o termo barragem encontra-se determinado na lei federal n.º 12.334 de setembro de 2010, em seu artigo 2º, como sendo “qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas”.

O Brasil possui em torno de 22.654 diferentes tipos de barragens cadastradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), de acordo com o último relatório anual de 2021. Esses barramentos possuem diferentes categorias com diversas finalidades, sendo de uso mais comum as barragens utilizadas pelas hidrelétricas, para uso na irrigação e para controle de inundações, além das barragens para proteção do meio ambiente, recreação, dessedentação animal, regulação de vazão e outras barragens para produção industrial que são utilizadas para contenção de resíduos industriais, e contenção de rejeitos de mineração, sendo essa última o objeto de estudo deste artigo (ANA, 2022).

Diferentemente das barragens convencionais que são construídas para a retenção do fluxo hídrico, as barragens de rejeitos possuem finalidade de acumular os resíduos provenientes da atividade mineral, que podem variar de arenosos a solos com diferentes granulometria e grau de plasticidade (lama) (Cardozo; Pimenta; Zingano, 2016)

As barragens de rejeitos são estruturas construídas com objetivo de armazenar substâncias minerais sem valor econômico resultantes do processo de beneficiamento do minério. Em virtude de sua complexidade e potencial de danos, os projetos para construção das barragens de rejeitos de minérios envolve uma rede de profissionais de diversas áreas no projeto de construção, execução e operação desses empreendimentos, compreendendo engenheiros de minas, geólogos, técnicos especializados em mecânica do solo e rochas dentre outros (Cardozo; Pimenta; Zingano, 2016). Na mineração são observados diferentes tipos de construção de barragens, dependendo da estrutura e da finalidade de cada uma delas.

2.1 Método construtivo de barragens de rejeitos de mineração

A vocação mineral brasileira desde o século XVII, evidente na extração de ouro nos córregos e ribeirões de Minas Gerais, registra desde os primórdios os vestígios das características de rigidez locacional, geração de riscos sociais, ambientais e modificações no meio ambiente. Diante das peculiaridades advindas da mineração, há de se destacar os recorrentes desastres com barragens que marcaram a história da mineração em território nacional, grande parte desses eventos implica no rompimento de barragens de rejeitos. (Thomé; Passini, 2018)

As barragens são as maiores estruturas geotérmicas já construídas pelo homem. Com o aumento da extração mineral e a demanda pela preservação socioambiental, o tema de barragens de rejeitos merece atenção devido ao alto potencial de danos em caso de falhas (Cardozo; Pimenta; Zingano, 2016).

Para Thomé e Lago (2017) a disposição final dos rejeitos de minério nas barragens ocorre de diferentes maneiras e descrevem que:

O método de barragens por meio de aterro hidráulico é o mais convencional e utilizado pelas empresas. Essas barragens podem ser de solo natural ou podem ser implantadas e/ou alteadas com os próprios rejeitos. Existem três métodos mais comuns de alteamento de barragens de rejeitos: o método de montante, o método de jusante e o método da linha de centro, sendo que uma barragem pode ser alteada com mais de um método. (Thomé; Lago, 2017, p. 4-5)

Para fins de melhor entendimento sobre os métodos encontrados para construção de barragens, a figura 01 descreve o processo de construção de barragens no método à montante conforme demonstradas abaixo:

Figura 01- Tipo de método construtivo de barragem de rejeitos à montante.



Fonte: Adaptado SISEMA, 2019.

O método mais comum utilizado pelas empresas de mineração, modelo esquematizado na figura acima, é o método à montante, que consiste na construção e alteamento do barramento sempre à montante sobre o rejeito já consolidado (Cardozo; Pimenta; Zingano, 2016). Os degraus são erguidos sobre o dique principal, e à medida que os rejeitos aumentam, são construídas paredes de rejeitos sobre os próprios muros de sustentação. Embora este seja o mais adotado pelas mineradoras, por ser considerado o método economicamente mais viável e de fácil execução, ele é também o método que exige uma maior atenção, por apresentar maior risco para possíveis rompimentos (Thomé; Lago, 2017).

A Lei federal 14.066/2020, em seu parágrafo 1º, define alteamento a montante como “a metodologia construtiva de barragem em que os diques de contenção se apoiam sobre o próprio rejeito ou sedimento previamente lançado e depositado”

No Brasil, os dois grandes desastres com barragens de rejeitos aconteceram, em 2015, no distrito de Bento Rodrigues, município de Mariana e em 2019, no município de Brumadinho, ambos em Minas Gerais. Nas duas situações o tipo de barragens utilizado era à montante (Sisema, 2017).

Devido a fragilidade deste método, e após o último acidente envolvendo barragens de rejeitos em 2019, causando enorme impacto ambiental às centenas de pessoas e ao meio ambiente, a partir de outubro de 2020, no Brasil fica proibido a construção ou alteamentos de

novas barragens de mineração do tipo à montante. Em seu parágrafo 2º da Lei Federal n. 14.066, fica definida a responsabilidade da desativação dessas barragens, sendo que:

O empreendedor deve concluir a descaracterização da barragem construída ou alteada pelo método a montante até 25 de fevereiro de 2022, considerada a solução técnica exigida pela entidade que regula e fiscaliza a atividade minerária e pela autoridade licenciadora do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama). (Brasil, 2020, p.1)

A nova política de segurança das barragens, estabelecida pela Lei federal n. 14.066, prevê ainda que as barragens desse tipo, já construídas anterior a promulgação da Lei federal, deverão ser desativadas, com o primeiro prazo já esgotado em fevereiro de 2022, mas podendo ser prorrogado de acordo com as situações e inviabilidades técnicas para o prazo estabelecido.

O segundo tipo de construção é o método à jusante, conforme está esquematizado na figura abaixo:

Figura 02- Método construtivo de barragens de rejeitos à jusante



Fonte: Adaptado SISEMA, 2019.

No método a jusante, os alteamentos são construídos sobre o dique de partida, em direção a parte seca dos rejeitos, com crescimento para a área externa da barragem, onde os degraus da barragem se apoiam sobre eles mesmos, além disso, o eixo da barragem se desloca a jusante durante o alteamento. Este tipo de construção de barragens é oneroso para as empresas em virtude da quantidade de material e área utilizada (Thomé; Lago, 2017).

De acordo com Cardoso, Pimenta e Zingano (2016), o método a jusante se torna vantajoso pelo seu potencial de resistência a carregamentos dinâmicos, isto se deve ao fato da disposição dos alteamentos sem interferir na segurança, contribuindo com o processo de drenagem, com operacionalização simples, baixa susceptibilidade de liquefação. Pela estrutura construída, é considerado o método mais seguro e mais indicado, por ter um baixo potencial de ruptura interna.

O terceiro e último tipo de construção de barragens é o método de linha de centro, representado na figura a seguir:

Figura 03- Método construtivo de barragens de linha de centro



Fonte: Adaptado SISEMA, 2019

A linha de centro é um método intermediário entre o método à montante e à jusante, tanto em segurança, quanto em custo. Esse empreendimento consiste na construção e alteamento de um eixo vertical, ao centro, sobre o rejeito tanto a montante, quanto a jusante, criado para minimizar os impactos entre os dois métodos, com uma proximidade no comportamento estrutural do método de jusante (Cardozo; Pimenta; Zingano, 2016). O alteamento é realizado com lançamento sobre o limite da praia de rejeitos e no talude de jusante do dique de partida, sendo os alteamentos posteriores coincidentes. As vantagens estão na facilidade da construção e as desvantagens são os custos e a probabilidade de escorregamentos do terreno.

Na construção das barragens de rejeitos, é importante destacar a relevância do sistema de drenagem, presente em todos os tipos de construção. Para controlar a força de poro pressão, são construídos drenos, que são estruturas responsáveis por prevenir o excesso do fluxo hídrico das barragens. Caso haja falha no sistema de drenagem pode ocorrer o fenômeno de *piping*, que consiste na erosão interna provocando a movimentação de partículas, formando canais (tubos) vazios ocasionando colapsos e escorregamentos laterais da estrutura da barragem.

Para Cardoso, Pimenta e Zingano (2016), a mineração requer uma mudança de postura ideológica. Para uma eficiência na gestão das barragens é necessário entender que por vezes é compensatório investir em métodos construtivos mais eficazes do que assumir empreendimento convencional de baixo custo, que posteriormente acarretam o desprendimento de recursos para a reparação dos danos, superiores ao que seria investido em construções mais eficientes.

A governança nas fases do ciclo de vida do empreendimento deve garantir as condições de segurança das estruturas. A alta administração da empresa deve ter ciência das responsabilidades e dos riscos relacionados às barragens de rejeitos. A adequada gestão de riscos fornece uma tomada de decisão mais precisa por apresentar uma forma de gerenciar as estruturas de disposição de rejeitos com tomadas de decisão consciente. (IBRAM, 2022).

3 PANORAMA DA GESTÃO DA SEGURANÇA DAS BARRAGENS BRASILEIRAS

O marco regulatório da gestão da segurança das barragens em território nacional teve início em 2010, com a Lei Federal 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e na mesma Lei cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança em Barragens (SNISB), no artigo 2º inciso III, define a cerca da segurança em barragens como: “Condições que vise a manter a sua integridade estrutural e operacional e a preservação da vida, da saúde, da prosperidade e do meio ambiente.

A segurança de uma barragem deve ser observada em todas as suas fases de construção compreendendo o planejamento, projeto, e execução, até o momento de sua desativação (Brasil, 2010).

O Brasil viveu seu pior cenário, com o maior desastre ambiental do país e também um dos maiores do mundo. O rompimento da barragem de Fundão, no município de Mariana, Minas Gerais, deixou 18 mortos e 1 desaparecido, causando além dos impactos sociais, impactos ambientais imensuráveis ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. O evento que teve início em 5 de novembro de 2015, é descrito nos estudos de Kokke como uma das maiores tragédias socioambientais do mundo:

O rompimento da barragem lançou cerca de trinta e quatro milhões de metros cúbicos de rejeitos em cursos hídricos e no meio ambiente como um todo. Os dados apurados indicam que os poluentes, compostos principalmente por óxido de ferro e sílica, percorreram diretamente 55 km no rio Gualaxo do Norte e mais 22 km no rio do Carmo até alcançar o rio Doce. A tragédia socioambiental avançou ao longo de 663,2 km de cursos d'água atingindo até o litoral do Espírito Santo. O impacto social direto mais aterrador foi a destruição do subdistrito de Bento Rodrigues. (KOKKE, p. 432-432. 2018).

Em decorrência do desastre ocorrido em Mariana, como frequentemente ocorre em desastres, várias implicações afetaram o ambiente jurídico, com questões excepcionais como a determinação do que seria feito com a lama que descia ao longo do Rio Doce, além de outras implicações como reparações de danos aos atingidos, que exigiram do direito ambiental novas posturas frente e pós o evento de Mariana (Kokke, 2018).

E em janeiro de 2019, novamente o país torna ao cenário de destruição pelo desastre no município de Brumadinho, que devido a falhas na barragem de contenção de rejeitos, rompeu e transformou a área atingida pelos rejeitos num cenário apocalíptico, resultando em centenas de mortes e incalculáveis danos ambientais.

Conforme Thomé e Lago (2017) os acidentes envolvendo barragens de rejeitos de minério ocorridos nos últimos anos no Brasil permite entender que os ordenamentos jurídicos não são suficientes para a adequada recuperação do meio ambiente degradado. E para tanto há

necessidade de novos mecanismos jurídicos capazes de direcionar a recuperação e a indenização dos danos causados e implementação de mecanismos direcionados a evitar a concretização do dano, com medidas voltadas para prevenção e precaução, tanto no setor público quanto privado, valendo de novas metodologias tanto de alteamento, quanto de disposição final dos rejeitos.

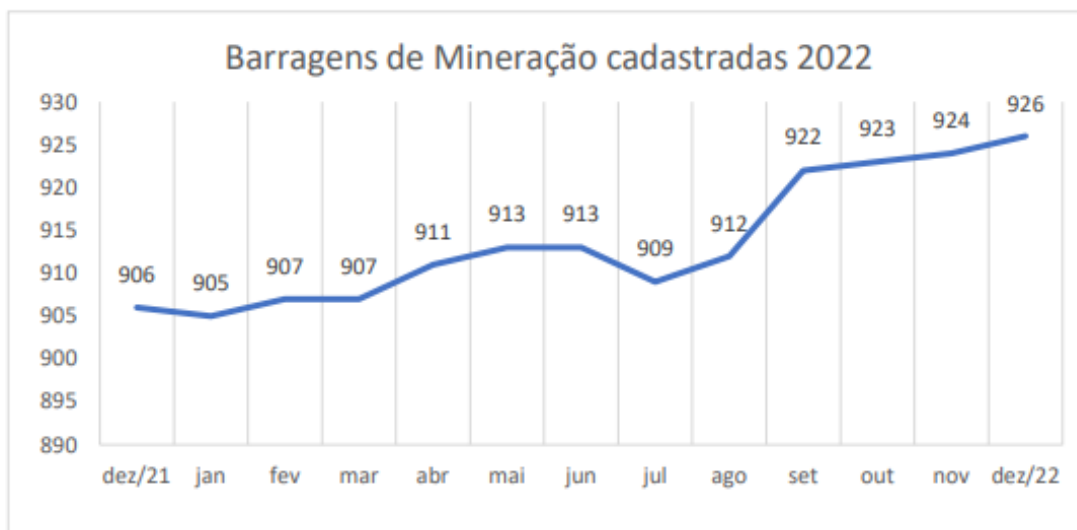
De acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM) o Brasil avança na regularização dos dados e fiscalização dos critérios para classificação das barragens de rejeitos minerários no país. Ao divulgar o último relatório anual, declarou que o ano de 2022 foi marcado pela estruturação de recursos humanos e tecnológicos para a melhoria dos serviços realizados no âmbito da segurança das barragens no Brasil (ANM, 2023).

Através do cadastro nacional de barragens de mineração, gerenciados pela ANM, é possível acompanhar todas as informações em tempo real sobre a evolução das estruturas de armazenamentos de rejeitos de mineração em todo território nacional. Os dados foram coletados pela Superintendência de Segurança de Barragens de Mineração – SBM, e divulgados no relatório anual de segurança de barragens de 2022.

Para Toledo, Ribeiro, Thomé (2016), um acidente com barragens de rejeitos de mineração é algo inaceitável, se comparadas com condutas determinadas normativamente. Nesse contexto, os autores descrevem que desde de 1970 acontecem cerca de dois a cinco rompimentos de barragens de rejeitos ao ano, estimados nas mais de 3.500 barragens de rejeitos distribuídas pelo mundo, dessas barragens mais de 900 estão localizadas em território brasileiro.

No Brasil, ao final de 2022, foram 926 barragens de rejeitos de mineração cadastradas no SIGBM, dentre as quais, 463 (50%) estavam regularizadas junto ao PNSB, demonstrando avanço na regularização em relação ao início do referido ano, conforme mostra o gráfico da figura 4.

Figura 4- Evolução do número de barragens cadastradas e inseridas na PNSB ao longo do ano de 2022



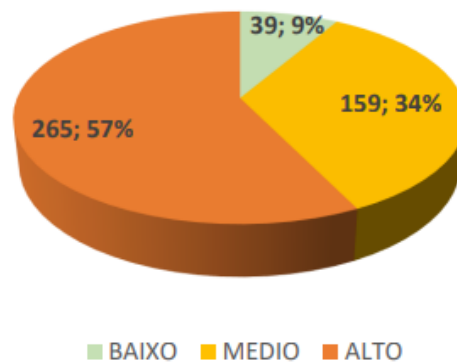
Fonte: Relatório Anual de Segurança de Barragens de Mineração. (ANM, 2023)

Conforme estabelecido na lei federal de n. 12.334 de 2010, às barragens cadastradas no PNSB são classificadas por Categoria de Risco (CRI), Dano Potencial Associado (DPA) e pelo volume do reservatório (Brasil, 2010). Considerando a categoria de DPA, as barragens de rejeitos são avaliadas de acordo com o potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais resultantes do rompimento da barragem conferidas em três níveis: alto, médio e baixo. E a Categoria de Risco (CRI,) a depender da gravidade da situação são classificadas em nível alto, médio e baixo em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento ao Plano de Segurança da Barragem observadas na Legislação Federal (Brasil, 2010).

De acordo com o relatório anual de segurança das barragens, ao final de 2022, 57% das barragens apresentaram nível alto para o Dano Potencial Associado (DPA), sendo 34% em nível médio e apenas 9% no nível baixo. Conforme mostra o gráfico contido na figura 5.

Figura 05 Classificação das barragens quanto ao DPA em 2022

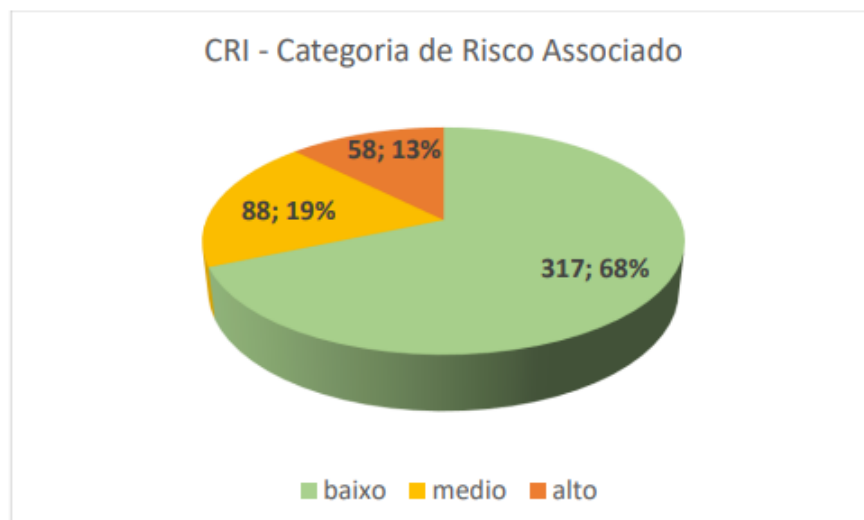
DPA - Dano Potencial Associado



Fonte: ANM (2023)

Para as 463 barragens que tiveram suas estruturas classificadas na categoria de risco (CRI), em 2022, os resultados apontaram que 13% desses empreendimentos apresentaram nível alto, 19% das barragens em nível médio e 68% delas foram classificadas em nível baixo, conforme se observa na figura 6.

Figura 6- Classificação das barragens quanto à categoria de risco em 2022



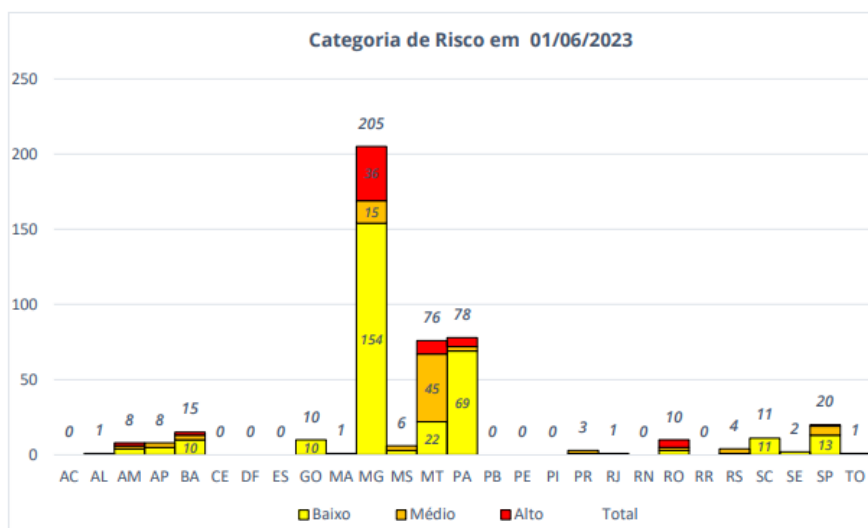
Fonte: ANM (2023)

Os dados relativos à categoria de risco (CRI), podem variar de acordo com o período do ano, e a depender do acompanhamento adequado e do comprometimento do empreendedor com uma boa gestão da barragem, no decorrer do tempo pode resultar na diminuição ou na estabilidade da CRI.

De acordo com o Boletim *Report* mensal barragens de mineração, divulgados pela ANM, com análise de dados atualizados até junho de 2023, e a título de comparação, a

categoria de risco nesse período, classifica 460 barragens cadastradas na PNSB, permite analisar o avanço na regularização desses empreendimentos e aponta resultados atuais referentes aos níveis de emergência em alto, médio e baixo distribuídos a nível nacional, conforme mostra o gráfico da figura 7.

Figura 7- Distribuição de barragens cadastradas de acordo com a CRI.



Fonte: Report Mensal Barragens de Mineração (ANM, 2023)

De acordo com a Resolução ANM nº 95 de 2022, as barragens que revelam irregulares e podem colocar em risco a sua segurança, ou que discorram de irregularidades quanto à sua estabilidade e dependendo da gravidade são classificadas em: nível de alerta, nível este criado pela resolução em 2022, e avança para o nível de emergência 1 (NE1), nível de emergência 2 (NE2) e nível de emergência 3 (NE3), conforme as anomalias apresentadas e o grau de risco e fatores de segurança a serem controlados ou não (ANM, 2023).

A análise do estudo divulgado pelo relatório destaca uma relevante preocupação relacionada ao risco eminente de acidentes com as estruturas de armazenamento de rejeitos da mineração, ainda que o nível de risco alto seja em pequena proporção em relação a quantidade de barragens. Há uma necessidade de se repensar a prevenção como um dos principais mecanismos de lidar com os riscos. Além de novas estratégias que sejam de viável implementação, considerando a mitigação e a diminuição dos impactos que as atividades minerárias possam acarretar.

O gerenciamento das barragens de maneira eficiente cria um setor de mineração mais responsável e seguro, desenvolvendo a cultura de segurança, tornando a atividade minerária econômica, social e ambientalmente sustentável (ANM, 2023).

Nos últimos anos, o país enfrentou negativa experiência em rompimentos com barragens. No entanto, é necessário avaliar todas as alternativas, sejam elas técnicas ou legislativas, para que episódios como o de Mariana e Brumadinho não se torne casual. Para Kokke (2018), o grau de vulnerabilidade do país diante do evento ocorrido em Mariana, ao que se refere o desastre em si e também a nível jurídico e normativo, gerando insegurança nas respostas de imediato ao acontecimento catastrófico, expressando ineficiência nas decisões de gestão de risco e de seus subsequentes efeitos.

O Brasil caminha, ainda que a passos lentos, para regularizar as situações de segurança nas barragens, com técnicas de monitoramento in loco e a distância, porém, esses métodos não são suficientes para garantir que esses empreendimentos estejam livres de acidentes.

4 MINERAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

O conceito de sustentabilidade, cada vez mais presente no setor empresarial, deriva do termo de desenvolvimento sustentável. Mencionado pela primeira vez no relatório de *Brundtland* em 1987, que definiu o desenvolvimento sustentável como “aquele que atende as necessidades da geração presente, sem comprometer as futuras gerações” (Passos *et al.*, 2016).

O consumismo exacerbado da sociedade contemporânea em relação aos produtos oriundos da extração de recursos minerais, demanda do setor minerário uma pressão para atender ao crescimento exponencial da industrialização, posicionando a mineração como um eixo estratégico no desenvolvimento econômico do país (Torquato, 2022).

Em função da demanda por insumos da mineração, nos últimos anos, houve um grande crescimento desse setor, e em consequência o aumento na geração de resíduos produzidos na atividade minerária oriundos do processo de extração. Os resíduos minerários provenientes da extração são classificados como estéril, e os resíduos provenientes do beneficiamento, denominados de rejeitos.

O avanço tecnológico e o desenvolvimento da economia, expressa reflexo na sociedade e no meio ambiente, exigindo das indústrias novas condicionantes, que exprime nova postura voltada para o gerenciamento sustentável que consiste na preservação do ambiente, no bem-estar social, e no desenvolvimento econômico da população (PASSOS *et al.*, 2016).

De acordo com Passos *et al.* (2016), o setor mineral enfrenta grandes desafios em relação ao desenvolvimento sustentável. Os produtos minerais, presentes no cotidiano das pessoas, tornaram importante matéria prima para inúmeras indústrias que os transformam em produtos consumidos pela população. Em contrapartida, a extração mineral promove uma série

de impactos socioambientais que necessitam ser administrados a fim de que a atividade minerária se desenvolva de maneira sustentável.

Outro desafio para a mineração é arcar com a responsabilidade ambiental. De acordo com o princípio do poluidor-pagador, previsto na lei federal nº 6.938 de agosto de 1981, o empreendedor que usufruir dos recursos naturais deve se responsabilizar com o custo social da poluição por ele gerada. Para tanto, cabe às normas jurídicas ambientais estimular a internalização das consequências dos efeitos negativos da atividade minerária, uma vez que as despesas sociais de prevenção, reparação de danos, que acompanham a produção (externalidades negativas) não são sustentadas pelos agentes econômicos, esses custos são financiados pela coletividade, configurando a socialização de perdas (Thomé; Ribeiro, 2019).

Para Torquato (2022), o controle da poluição industrial é uma importante estratégia para propiciar efeitos benéficos ambientais e humanos, e declara que:

A busca por uma produção mais limpa tem sido amplamente reconhecida como um dos melhores caminhos para se alcançar a sustentabilidade. Ela visa maximizar a eficiência energética e minimizar os efeitos negativos da atividade sobre o ecossistema em todo o ciclo de vida de um processo, ou produto. (Torquato, 2022, p.35)

No Brasil e no mundo o desafio em manter a sinergia entre avanços industriais e o desenvolvimento sustentável gera uma acirrada busca por iniciativas que possam mitigar os impactos ambientais e sociais. Nesse cenário a mineração se vê na necessidade explorar novas alternativas para a gestão dos rejeitos que possam ser aproveitados em outros setores da indústria.

5 GESTÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO COMO MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS.

A inovação no setor minerário abre novas oportunidades para que a mineração passe a utilizar minerais que atualmente não são viáveis economicamente (Passos *et al.* 2016). É necessário um novo olhar para o aproveitamento não só de outros tipos de minerais, mas a utilização do próprio rejeito como alternativa de mitigação de impactos causados pela própria atividade minerária.

Minas Gerais como o estado brasileiro com maior índice de produção na mineração, que em 2021 representou 43% de toda a extração de minerais metálicos do Brasil, e em consequência dessa atividade é o estado com grande produção de bilhões de toneladas de rejeitos. Nesse contexto, o estado na tentativa de mitigação dos problemas relativos à

quantidade de rejeitos armazenados em centenas de barragens distribuídas pelo estado, em 2016, busca inspiração internacional para a implementação de uma rede inovadora na mineração.

Inspiradas em duas redes internacionais de propósitos similares, a *Australian Mineral Industries Research Association* – AMIRA, da Austrália e o *Centre of Excellence in Mining Innovation* – CEMI no Canadá, foi criada em 2016 a Plataforma R3 MINERAL, ambas as redes inspiradoras, destacam-se por serem instaladas em países com potencial de extração minerária e serem capazes de equilibrar a tecnologia com a produção minerária, algo que não foi superado no Brasil. A Plataforma R3 MINERAL foi uma iniciativa da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), com o objetivo de construir uma rede de articulação entre diversos segmentos, envolvendo as organizações científicas, tecnológicas e industriais. O principal propósito dessa rede foi discutir e atuar na gestão de rejeitos de mineração, na tentativa de desenvolver aplicações em grande escala de produção (Carmignano; Lago; Santos, 2023).

Para a representatividade na constituição da plataforma, ela contou com 33 instituições, sendo 17 empresas mineradoras, 7 centros de pesquisa, 6 associações de empresas e 3 órgãos públicos, que decidiram espontaneamente participar desta rede, por adesão. A intenção positiva da criação da rede, não foi suficiente para mantê-la e a plataforma encerrou suas atividades em 2018.

Na busca pela necessidade de minimizar os passivos ambientais, surgem novas práticas para gestão de rejeitos de mineração como ações sustentáveis. Uma das alternativas encontradas foi a fabricação de vidro a partir dos rejeitos de mineração, ao invés de matéria-prima manufaturada o uso dos resíduos sólidos provenientes da mineração, reduz notadamente as despesas com a produção do vidro (Ramos, 2021).

Para Ramos (2021), a utilização de novas estratégias que permitam o aproveitamento econômico dos passivos ambientais produzidos pela atividade mineral faz parte da nova política ambiental governamental. Se os rejeitos possuírem alto teor de dióxido de silício, óxido de cálcio, óxido de magnésio, e óxido de alumínio, representados respectivamente pelas formas SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 , entre outras substâncias, os resíduos provenientes de lavra de minério de ferro, calcário, dolomitos e outros, podem ser aproveitados como matéria-prima na fabricação de vidros e outros produtos.

Outra prática difundida a partir do resíduo de minério é a fabricação de tijolos de solo-cimento. Uma iniciativa já adotada por países como China, Índia e África do Sul, em diferentes proporções de resíduos de minérios, associados a outras misturas.

Os estudos de Gomes *et al.* (2022), apresentaram a prática na fabricação de tijolo solo-cimento a partir de rejeito de mineração em pequena escala de ouro. Os rejeitos das atividades minerárias possuem grande capacidade de aproveitamento na fabricação de tijolo solo-cimento, desde que caracterizados e adaptados corretamente às normas vigentes do país. Ainda que essa prática seja expandida na indústria civil, poucas delas fazem o uso de rejeitos de mineração de ouro devido o processo envolver o uso de substâncias nocivas como mercúrio e cianeto, dependendo do aspecto geológico da jazida e do tratamento utilizado.

E por fim, mas não menos importante está o emprego de rejeitos de mineração na construção civil como prática para a mineração sustentável. Nesse setor os rejeitos de mineração são aplicados em diversas áreas como escórias em rodovias, produção de aglomerantes, pastas argilosas, telhas dentre outros. Além do relevante papel na utilização desses rejeitos para a recuperação de terras raras, através da extração de insumos valiosos para a indústria de tecnologia, que antes eram rejeitados, um processo com custo/benefício viável e acessível, reduzindo o desperdício e acarretando destaque em ações sustentáveis (Torquato, 2022).

No levantamento de algumas práticas utilizadas no aproveitamento de rejeitos de mineração, percebe-se uma tímida caminhada rumo à adesão dessas aplicações com poucas literaturas disponíveis. Por outro lado, cresce a consciência de que a técnica é viável e necessita ser aprimorada para que alcance o objetivo de contribuir para a mineração mais sustentável.

Com a proposta de simplificar algumas práticas relatadas no estudo, o esquema da figura 9 apresenta algumas das aplicações de rejeitos de mineração no setor industrial.

Figura 9- Exemplos de aplicações de rejeitos de mineração



A utilização dos rejeitos de mineração na construção civil tem se destacado como uma prática essencial para promover a sustentabilidade no setor minerário. A transformação desses rejeitos em materiais úteis, não apenas reduz o impacto ambiental associado ao descarte inadequado, mas também oferece soluções econômicas e ambientalmente responsáveis. Essas práticas não apenas contribuem para a redução dos impactos ambientais da mineração, mas também promovem a economia circular e o uso eficiente dos recursos naturais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os minerais estão presentes no cotidiano das pessoas, e o ritmo acelerado na retirada desses recursos minerais resulta na considerável geração de rejeitos acumulados em barragens. O Brasil como um país de vocação mineral, possui centenas de barragens de rejeitos distribuídas pelo território nacional, e o grande desafio é gerenciar esses empreendimentos de maneira segura, evitando acidentes que possam causar danos à vida e ao meio ambiente.

No Brasil, após os dois últimos desastres envolvendo o rompimento de barragens de rejeitos de mineração, o tema tornou-se prioridades na discussão dos setores públicos e privados na busca de iniciativas para prevenir e mitigar os impactos socioambientais causados por esses eventos.

O estudo realizado demonstrou um esforço do país em estabelecer leis que regulamentam o método construtivo das barragens, entendendo que essas construções fazem parte da prevenção e segurança e necessitam adequações e monitoramentos para que não sejam alvo de novos desastres com potencial de destruição como ocorrido em 2015 e 2019. Dos três principais métodos de construções de barragens a jusante, linha de centro e montante, esse último, foi proibido pela lei federal em outubro de 2020.

Como avanço, o estudo verificou o gerenciamento da segurança das barragens por meio de cadastros e monitoramentos, que tem sido uma boa estratégia para acompanhar em tempo real as situações de riscos e os danos potenciais associados. A divulgação de dados em boletins mensais e relatórios anuais pela ANM facilita a coleta de informações e fornece transparência aos serviços nesse setor.

Além da regulamentação das normas e transparência nas informações sobre a segurança nas barragens, a pesquisa também constatou a busca por alternativas de mitigação dos impactos do setor mineral sobre o meio ambiente, com iniciativas para a utilização do rejeito de minério, na fabricação de diversos produtos como tijolos, telhas, escórias para estradas, vidros, pasta de argila dentre outros. Analisando a literatura apresentada nesse artigo, o rejeito de minério

possui potencial para ser utilizado em diversos processos, porém a produção caminha de maneira tímida devido a insuficiência de investimento nesse setor.

Considerando o estudo realizado, a construção regulamentada com garantia da segurança nas barragens, bem como a gestão adequada dos rejeitos de minério atreladas a medidas de preservação e mitigação, demonstram que pode ser um caminho para minimizar os desafios no gerenciamento das barragens de rejeitos e avançar rumo a mineração como atividade segura e sustentável.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Relatório de segurança de barragens 2021**. Brasília: ANA, 2022. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem>. Acesso em: 31/05/2023

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **IV Relatório anual de Segurança DE Barragens de Mineração 2022**. Brasília. ANM, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/relatorios-anuais-de-seguranca-da-barragens-de-mineracao-2>. Acesso: 07/06/2023.

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 https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114066.htm. Acesso: 02/06/2023.

BRASIL. **Lei n. 12.334**, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm. acesso em 17/03/2023.

CARDOZO, F. A. C., PIMENTA, M. M. ZINGANO A. C. Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração – Uma revisão. **Holos**, Natal. Vol. 08. Ano 32, dez/2016. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/5367> acesso em:31/05/2023

CARMIGNANO, Ottavio Raul Domenico Riberti. LAGO, Rochel Montero. SANTOS, Ulisses Pereira dos. Processos de inovação em rede como uma estratégia para a destinação de rejeitos da mineração de ferro: o caso da Plataforma R3 Mineral. **Revista Brasileira de Inovação**. Campinas, v.22, p. 1-30, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbi/a/KVr5YnH5gMXYf7kZKYBnFpp/?format=pdf&lang=pt> acesso em: 06/06/2023.

GOMES, Ana Cláudia Franca *et al.* Aplicação de rejeito de mineração em pequena escala de ouro na produção de tijolo de solo-cimento. **Revista Matéria**. Rio de Janeiro, v.27, n.1, 2022.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/BBtfXN3JSsQzp9WqVGqpzYx/?format=pdf&lang=pt> acesso em: 07/06/2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Guia de Boas Práticas: Gestão de Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeitos**. 1.ed. Brasília. IBRAM, 2022. Disponível em: www.portaldamineracao.com.br/ibram/publicacoes. Acesso em: 02/06/2023.

KOKKE, Marcelo. Desastres ambientais e o papel do Direito. In: COSTA, Fabrício *et al* (Org.). **Coleção caminhos metodológicos do Direito: Desafios do ensino jurídico no século XXI**. Maringá: IDDM Ed., 2018. p.424-452.

PASSOS, Alexandre *et al*. **Força-Tarefa Instituída pelo Decreto 46885, de 12/11/2015 com a finalidade de diagnosticar, analisar e propor alterações nas normas estaduais relativas à disposição de rejeitos de mineração**: Capítulo Mineração Sustentável. NAP. Mineração/USP. Jan./2016. p. 2- 38. Disponível em: https://sites.usp.br/napmineracao/wp-content/uploads/sites/975/2022/06/Capitulo_Mineracao_Sustentavel.pdf. Acesso em: 02/06/2023

RAMOS, Kerollan da Silva. **Vidro a partir de resíduos de mineração**. 2021. 55 f. Monografia (Graduação)- Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Ouro Preto, 2021.

SISTEMA ESTADUAL MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, SISEMA. **Desastre da Barragem 1 Mina Córrego do Feijão - Ações SISEMA**. 2019. Disponível em: istemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/EuTNjjeG9avsKV3DtNozHtB6Rt0Nim52.pdf. Acesso em: 02/06/2023.

THOMÉ, R.; RIBEIRO, L. G. G. A descaracterização de barragens de rejeito e o plano de fechamento de mina como instrumentos de mitigação de riscos na mineração. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v. 16, n. 35, p. 63-85, maio/ ago. 2019. Disponível em: <http://revista.domhelder.edu.br/index.php/veredas/article/view/1567>. Acesso em 07/06/2023.

THOMÉ, Romeu. LAGO, Talita Martins Oliveira. Barragens de rejeitos da mineração: O princípio da prevenção e a implementação de novas alternativas. **Thomson Reuters Revista dos tribunais On-line**. vol. 85, p. 17 – 39, Jan - Mar /2017. Disponível em: <https://bdjur.stj.jus.br/jspui/handle/2011/108577>. Acesso em: 30/03/2023.

THOMÉ, Romeu. PASSINI, Matheus Leonardo. Barragens de rejeitos de mineração: Características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais. **Ciências Sociais Aplicadas em Revista**. Mal. C. Rondon, v.18, n. 34, p. 49 - 65, 1º sem/2018. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/csaemrevista/article/view/19480>. Acesso em: 07/06/2023.

TOLEDO, A. de P; RIBEIRO, J. C. J; THOMÉ, R. **Acidentes com barragens de rejeitos da mineração e o princípio da prevenção**: de Trento (Itália) a Mariana (Brasil). Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2016.

TORQUATO, Frederico Campos Regazoni. **Sustentabilidade no reaproveitamento de rejeitos de mineração**: Uma revisão sistemática sobre as diferentes técnicas. 2022. 97f.

Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sustentabilidade.
Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Campinas,2022.