

A Construção de Barragens a Montante: uma revisão bibliográfica sobre os impactos, riscos e medidas de mitigação

Elaine C. Anastácio; Raphael H. T. Silva

RESUMO

A mineração é essencial para o desenvolvimento econômico no Brasil, mas além dos impactos causados pelo rompimento de barragens, ela causa danos irreparáveis decorrentes da exploração mineral. As barragens de rejeitos são destinadas para conter resíduos advindos da mineração, sendo executadas com o próprio material por meio de alteamentos. O risco do uso desse método construtivo fica evidente diante das grandes tragédias que ocorreram pela ruptura de barragens de rejeitos, ocasionando desastres socioambientais complexos, associados a inúmeras perdas de vidas. Os acidentes de grande impacto ocorreram em barragens de contenção de rejeitos de minério situadas em Minas Gerais, desde 2001. O presente trabalho tem como objetivo discorrer sobre o impacto e os riscos que as barragens tipo montante causam, com apontamentos de grandes tragédias ocasionadas pela ruptura de barragens de rejeitos no estado de Minas Gerais. Por fim, a avaliação da eficácia das tecnologias de monitoramento em tempo real mostrou-se crucial para a prevenção de novos desastres. Sistemas de alerta precoce, sensores de movimento e pressão, bem como auditorias regulares, são ferramentas indispensáveis para garantir a estabilidade das barragens e minimizar os riscos de falha.

Palavras-chave: riscos estruturais; segurança do trabalho; desastres ambientais.

1. INTRODUÇÃO

A construção e operação de estruturas hidroelétricas implica desafios socioambientais de diversas naturezas. Além dos inegáveis ganhos de ordem econômica, a implementação de barragens pode acarretar graves problemas tanto por comprometer o meio ambiente quanto gerar consequências variadas para as populações locais. Erguer obras de tal porte demanda, em geral, o reassentamento forçoso de comunidades, a perda de terras agrícolas e habitats naturais aquáticos e terrestres. As consequências diretas e colaterais de tais empreendimentos devem ser devidamente avaliadas e consideradas antes da tomada de qualquer decisão (ARMADA, 2021).

Uma das consequências mais comuns da construção de grandes barragens é o reassentamento de populações, alterando drasticamente o mapa social de áreas afetadas. Famílias inteiras ficam sem suas casas e modos de viver, perdendo os laços comunitários e culturais que em muitos casos nunca poderão retomar. Esta interferência no curso dos rios pode também afetar a qualidade da água utilizada pelas pessoas e o equilíbrio entre espécies, alterando ecossistemas inteiros. Para a construção de barragens de grandes dimensões, deve-se contemplar um estudo detalhado dos impactos, buscando equilibrar desenvolvimento econômico com preservação do meio ambiente e bem-estar das comunidades (SANTOS, 2018).

As barragens de rejeitos tipo montante (Figura 1), frequentemente utilizadas na mineração são construídas utilizando os próprios resíduos acumulados durante o processo de extração mineral, o que pode representar riscos adicionais de estabilidade, especialmente quando somados a fatores como a falta de manutenção ou eventos climáticos adversos, como as chuvas intensas (LEÃO; SANTIAGO, 2022).

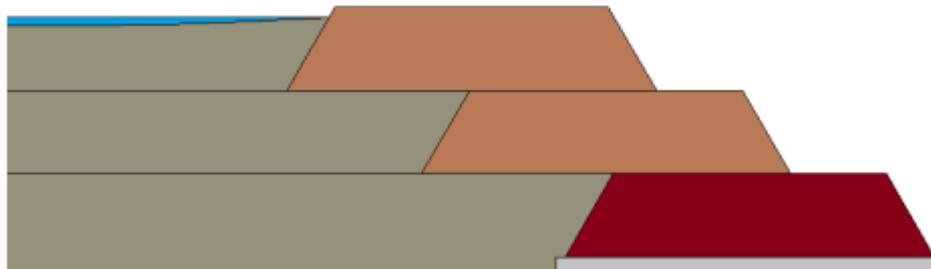


Figura 1: barragem de rejeitos: método de alteamento tipo montante

Fonte: Cardoso, Pimenta & Zingano (2016)



Desastres recentes, como os rompimentos de barragens em Mariana em 2015 e Brumadinho em 2019, em Minas Gerais, deixaram claro o potencial devastador da falha dessas estruturas. Essas tragédias não apenas resultaram em perdas humanas significativas, como também causaram danos ambientais e socioeconômicos de grandes proporções, como a destruição de ecossistemas e a contaminação de grandes áreas, então é cabível dizer que o tempo acelera o desgaste das barragens, aumentando sua vulnerabilidade.

Dessa forma, investimentos em tecnologias avançadas de fiscalização se mostram indispensáveis para monitorar indicadores de estabilidade com precisão. Sistemas com sensores e inteligência artificial, por exemplo, possibilitam o mapeamento constante de parâmetros cruciais, permitindo respostas imediatas (ARMADA, 2021).

A legislação brasileira, como a Lei 14.066 de 2020, busca fortalecer a segurança das barragens através de normas mais rígidas e detalhadas. Essa lei estabelece critérios mais abrangentes sobre a definição e operação de barragens, enfatizando a necessidade de uma fiscalização constante e rigorosa. No entanto, a eficácia dessas medidas depende não apenas de regulamentações, mas também da vontade política e do comprometimento das empresas em cumprir as normas estabelecidas. A implementação de um sistema robusto de fiscalização, que inclua inspeções regulares e auditorias independentes, é crucial para assegurar que as barragens operem de maneira segura e eficiente (LEÃO; SANTIAGO, 2022).

As barragens tipo montante são de extrema relevância no contexto econômico e ambiental do Brasil. Essas estruturas desempenham um papel fundamental na indústria mineradora, contribuindo significativamente para o desenvolvimento econômico do país. No entanto, é importante considerar os impactos devastadores de falhas estruturais que podem causar, tanto em termos de perdas humanas quanto ambientais. Portanto, é essencial compreender os fatores que envolvem a segurança dessas barragens, além de propor medidas eficazes de mitigação de riscos (SANTOS, 2018).

Diante desse cenário, a pesquisa se justifica pela necessidade de proteger os trabalhadores envolvidos na construção e manutenção das barragens tipo montante, bem como as comunidades impactadas. Como também, contribuir para o debate sobre a responsabilidade social das empresas que operam essas estruturas, promovendo práticas de segurança mais robustas e uma abordagem mais humanizada na gestão de riscos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Contextualizar a importância e estruturação das barragens tipo montante e analisar os impactos socioambientais decorrentes da sua construção, fornecendo uma visão sobre a segurança dos trabalhadores e a comunidade, e identificando possíveis metodologias para mitigação dos riscos.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar os riscos socioambientais das barragens tipo montante;
- Identificar os desafios enfrentados para a segurança dos trabalhadores nas barragens;
- Avaliar a eficácia das tecnologias de monitoramento em barragens.

3 REVISÃO DA LITERATURA

As barragens desempenham um papel crucial no desenvolvimento econômico e social, especialmente no Brasil. De acordo com Silva (2020), a construção de barragens contribui para o desenvolvimento sustentável, proporcionando a gestão eficiente dos recursos hídricos. As barragens têm uma diversidade de funções, como o abastecimento de água, a geração de energia e a contenção de resíduos minerais, conforme salientado por Lima et al., (2021).

Uma análise abrangente sobre a história das barragens de rejeitos é fundamental para entender os múltiplos desafios que envolvem a construção e manutenção dessas estruturas. De acordo com Santos (2019), a abordagem não pode se limitar apenas aos aspectos técnicos de engenharia, mas deve abranger também a gestão ambiental, a responsabilidade social e as considerações éticas inerentes à indústria mineradora. Essa visão holística é essencial para que se possa aprender com os erros do passado e traçar um caminho mais sustentável e seguro para o futuro da mineração. Ao olhar retrospectivamente para os desastres que marcaram a história das barragens de rejeitos, como os ocorridos nas cidades de Mariana e Brumadinho, ambas em



Minas Gerais, fica evidente a importância de uma gestão mais robusta e cuidadosa, que priorize tanto a integridade das barragens quanto a preservação do meio ambiente e a segurança das comunidades próximas.

Santos (2018) reforça que embora as barragens desempenhem um papel crucial no desenvolvimento econômico, principalmente ao garantir a continuidade das atividades mineradoras, elas também são fontes de desafios socioambientais significativos. Um exemplo claro disso é a perda de biodiversidade e o reassentamento de comunidades inteiras, consequências diretas da construção dessas estruturas. No caso específico das barragens tipo montante, amplamente utilizadas para conter rejeitos de mineração, os riscos são exacerbados pelo fato de que essas barragens são construídas com base nos próprios resíduos gerados pelo processo de extração mineral. Essa prática, embora mais econômica, aumenta significativamente os riscos de instabilidade, como ficou evidente nos desastres de Mariana, em 2015, e de Brumadinho, em 2019.

A tragédia de Mariana, por exemplo, expôs falhas graves no gerenciamento e na manutenção de barragens de rejeitos. O colapso da barragem de Fundão na cidade de Mariana-MG resultou em um dos maiores desastres ambientais da história do Brasil, causando não só a destruição de ecossistemas, mas também a perda de vidas humanas e o deslocamento forçado de comunidades. Souza (2019) aponta que a falta de inspeções regulares e a utilização de técnicas inadequadas de construção foram fatores determinantes para o colapso. No entanto, o impacto não se limita apenas ao ambiente físico: o reassentamento das populações afetadas, muitas vezes feito de forma desorganizada e sem o devido apoio, acarreta traumas sociais profundos, com a perda de laços comunitários e culturais.

A resposta legislativa a esses desastres veio com a Lei 14.066/2020, que introduziu novas normas de segurança para a construção e manutenção de barragens. No entanto, Souza (2019) argumenta que a aplicação prática dessas normas ainda se mostra insuficiente para evitar tragédias, dado que muitos dos riscos ocupacionais e estruturais continuam a ser negligenciados. As barragens de rejeitos, especialmente as construídas tipo montante, exigem um monitoramento contínuo e rigoroso, uma vez que, com o passar do tempo, sua estabilidade pode ser comprometida pela falta de manutenção adequada e pela exposição a condições ambientais adversas, como chuvas intensas e tremores de terra.

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre os desastres ambientais de na cidade de Mariana (2015) e na cidade de Brumadinho (2019), ambas no estado de Minas Gerais, destacando aspectos como o volume de rejeitos liberados, o impacto ambiental, impacto humano e as medidas pós-desastre.

Tabela 1: comparação entre os desastres de Mariana e Brumadinho

| Aspecto | Mariana (2015) | Brumadinho (2019) |
|----------------------|-----------------------------------|---|
| Localização | Mariana, MG | Brumadinho, MG |
| Nome da Barragem | Barragem de Fundão | Barragem B1 |
| Volume de Rejeitos | 40 milhões de m ³ | Desconhecido, mas significativo |
| Impactos Humanos | 19 mortos, comunidades devastadas | 270 mortos (aproximado), comunidade devastada |
| Impacto Ambiental | Contaminação do rio Doce | Contaminação do rio Paraopeba |
| Responsável | Samarco Mineração S/A | Vale S/A |
| Medidas Pós-Desastre | Aumento das Regulamentações | Revisão das Diretrizes de Segurança |

Fonte: adaptado pelos autores, 2024.

Para agravar ainda mais essa situação, os trabalhadores que atuam na construção e manutenção dessas barragens são frequentemente expostos a uma série de riscos ocupacionais. Souza (2019) relata que esses trabalhadores enfrentam diariamente a ameaça de deslizamentos e a exposição a substâncias tóxicas presentes nos rejeitos de mineração. A rapidez com que essas barragens são erguidas, muitas vezes sem os devidos cuidados e treinamentos adequados, coloca em risco a vida de quem está diretamente envolvido nessas atividades. A utilização

inadequada de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) é outro fator que aumenta a vulnerabilidade desses trabalhadores, destacando a necessidade urgente de reformular as práticas de segurança no setor.

Como solução para minimizar os riscos associados às barragens de rejeitos, a adoção de novas tecnologias de monitoramento em tempo real tem sido amplamente discutida. Oliveira (2020) defende que a implementação de sistemas de alerta precoce, capazes de detectar variações na estrutura das barragens e sinais de possíveis colapsos, é essencial para garantir a segurança tanto das populações próximas quanto dos trabalhadores. Além disso, políticas de fiscalização mais rigorosas, acompanhadas de auditorias independentes, podem assegurar que as empresas mineradoras cumpram as normas estabelecidas. Contudo, a efetividade dessas medidas depende não apenas da tecnologia empregada, mas também da vontade política e do comprometimento das empresas em adotar uma postura mais preventiva em relação à gestão de riscos.

Portanto, os resultados das pesquisas anteriores apontam para a necessidade de uma abordagem mais integrada na gestão das barragens de rejeitos. Embora as barragens do tipo montante sejam amplamente utilizadas pela sua praticidade e baixo custo, elas apresentam desvantagens significativas no que diz respeito à estabilidade estrutural, principalmente quando o monitoramento e a manutenção não são realizados de maneira adequada. A implementação de medidas preventivas e o uso de tecnologias avançadas são cruciais para evitar novos desastres. Mais do que nunca, a segurança dos trabalhadores e da população, além da preservação do meio ambiente precisam ser prioridades indiscutíveis para o futuro da mineração, conforme apontado por Santos (2019), Souza (2019) e Oliveira (2020).

4 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza bibliográfica, com enfoque qualitativo e exploratório. A escolha desse tipo de pesquisa se justifica pela necessidade de investigar, por meio de fontes já publicadas, os impactos, riscos e medidas de mitigação relacionados às barragens de rejeitos do tipo montante. Dessa forma, buscou-se reunir, analisar e discutir as informações disponíveis na literatura científica, técnica e legal, com o objetivo de compreender os principais aspectos envolvidos na construção, operação e segurança dessas estruturas.



A coleta de dados foi realizada em bases de dados acadêmicas como Scielo, Google Acadêmico e periódicos especializados nas áreas de engenharia civil, segurança do trabalho e meio ambiente. Além disso, foram consultados documentos legais, como a Lei nº 14.066/2020 e a Lei nº 12.334/2010, que regulamentam a segurança de barragens no Brasil. Relatórios técnicos de órgãos oficiais, como a Agência Nacional de Mineração (ANM) e a Agência Nacional de Águas (ANA), também foram utilizados como fonte de informações.

Para garantir a relevância e atualidade das fontes, foram priorizados estudos publicados nos últimos dez anos (2014-2024). Foram incluídos na revisão artigos científicos, livros, dissertações e teses que abordassem tanto os aspectos técnicos das barragens tipo montante quanto os impactos socioambientais, riscos ocupacionais e medidas de mitigação. Estudos de caso de desastres relacionados à falha de barragens, como os rompimentos em Mariana em 2015 e Brumadinho em 2019, foram analisados de forma detalhada, com base em relatórios oficiais e investigações sobre esses eventos.

A análise dos dados consistiu na identificação, leitura e síntese dos conteúdos encontrados nas fontes selecionadas, com o objetivo de compreender as dinâmicas de construção e operação das barragens tipo montante, assim como os desafios associados à segurança dessas estruturas. O foco foi direcionado para as práticas de mitigação de riscos, segurança ocupacional e impactos ambientais, proporcionando uma visão abrangente sobre o tema.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise bibliográfica concedeu reconhecer os principais desafios e riscos associados à construção e manutenção de barragens do tipo montante. Entre os principais, destaca-se que essas barragens, abundantemente utilizadas no Brasil, principalmente na mineração, apresentam um alto risco de falha estrutural, como enfatizado pelos desastres de Mariana e Brumadinho. A vulnerabilidade dessas estruturas foi atribuída à própria técnica de construção, que utiliza os resíduos da mineração como material de elevação, e à falta de monitoramento adequado.

A análise dos desastres de Mariana (2015) e Brumadinho (2019) revela a importância de uma abordagem técnica mais precisa no planejamento, construção e manutenção de barragens de rejeitos. Para a Engenharia Civil, essas tragédias carregam lições cruciais sobre a



necessidade de avanço em diretrizes e práticas que asseguram a estabilidade e segurança de estruturas críticas como as barragens tipo montantes. A construção dessas barragens, que utilizam resíduos da mineração para sua elevação, apresentam desafios marcantes do ponto de vista da mecânica dos solos e das técnicas de monitoramento estrutural.

Os engenheiros civis têm um papel crucial na concepção de projetos que priorizam a segurança e a durabilidade das barragens, considerando os aspectos geotécnicos que abalam diretamente sua estabilidade. Uma das principais vulnerabilidades dessas estruturas é a propensão à liquefação, que pode ocorrer sob condições críticas de pressão da água e vibrações. De acordo com Robertson et al., (2019), a orientação interna e o acúmulo de água nos rejeitos são fatores que levam para essas características, soluções inovadoras e materiais de construção que minimizam esses riscos.

Armada (2021) destaca como as catástrofes em Brumadinho e Mariana representam marcos sombrios na história das barragens de rejeitos, revelando falhas críticas na gestão e na segurança dessas estruturas. Em 2015, a ruptura da Barragem de Fundão, em Mariana, desencadeou um dos maiores desastres ambientais do Brasil, liberando uma onda de lama tóxica que devastou comunidades, destruiu ecossistemas e resultou na morte de 19 pessoas. Este incidente não chocou apenas o País, mas também chamou a atenção global para os riscos associados às barragens de rejeitos.

Segundo De Souza (2018), no dia 5 de novembro de 2015, ocorreu o rompimento da Barragem de Fundão, localizada no complexo de mineração de Germano, em Mariana, Minas Gerais, marcou um dos desastres ambientais mais graves do Brasil. A barragem, administrada pela Samarco Mineração S/A, *joint venture* entre Vale S/A e BHP Billiton, situava-se na bacia do rio Gualaxo do Norte, um afluente do rio do Carmo e, por extensão, do rio Doce.

Leão e Santiago (2022) explicaram que a falha estrutural resultou na liberação de aproximadamente 40 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração, compostos principalmente de minério de ferro e sílica. Esse volume massivo de rejeitos formou uma onda de lama que rapidamente alcançou e danificou a barragem de Santarém, situada mais abaixo. A onda destrutiva percorreu um rumo sem precedentes, semelhante em tamanho e intensidade de uma avalanche.

Ainda segundo Leão e Santiago (2022), o subdistrito de Bento Rodrigues, a 6 km de distância da Barragem de Fundão, foi soterrado pela lama, causando a morte de 19 pessoas e

no deslocamento forçado de diversas famílias. À medida que a massa de detritos avançava, devastava comunidades rurais e urbanas ao longo do rio Gualaxo do Norte, alcançando o rio do Carmo e, eventualmente, o rio Doce, afetando cidades como Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado.

De Souza (2018) relata que o percurso dos rejeitos foi marcado por uma severa destruição ambiental, arrasando a vegetação ribeirinha, destruindo habitats naturais e matando inúmeras espécies. A passagem dos rejeitos pela Usina Hidrelétrica Risoleta Neves agravou ainda mais os danos, com o transbordamento de detritos nas margens dos rios, removendo a vegetação e a camada superficial do solo.

Ainda de acordo com De Souza (2018), após percorrerem o rio do Carmo, os rejeitos finalmente chegaram ao rio Doce, seguindo seu curso em direção ao Oceano Atlântico, no distrito de Regência, em Linhares, Espírito Santo. Esse trajeto causou uma série de impactos ambientais, incluindo poluição hídrica e interrupção no abastecimento de água em várias cidades, como Governador Valadares, Baixo Guandu e Colatina.

Leão e Santiago (2022) apontam que o desastre de Mariana, considerado o maior da história ambiental brasileira, deixou prejuízos econômicos, sociais e ambientais profundos. Seus efeitos, visíveis desde as primeiras horas, continuam a reverberar, causando danos em grande parte irreversíveis.

No caso de Brumadinho, o colapso da barragem B1, na mina do Córrego do Feijão, foi explorado em profundidade por Robertson et al., (2019), cuja análise geotécnica teve um papel central nas investigações conduzidas por várias comissões e autoridades, como a Superintendência Regional do Trabalho de Minas Gerais e a Comissão Parlamentar de Inquérito (CPI Brumadinho, 2019).

A CPI Brumadinho (2019) relata que a análise resultou em uma Análise de Causa Raiz, evidenciando fatores como a liquefação estática nos rejeitos e deficiências no projeto da barragem. Aspectos como a drenagem interna insuficiente, altos níveis de água e a fragilidade dos rejeitos foram identificados como elementos cruciais para o colapso. Robertson et al., (2019), afirmam que as lições aprendidas com o desastre de Brumadinho contribuíram para moldar diretrizes mais eficazes de gestão de riscos e prevenção de desastres. No entanto, Armada (2021) adverte que, apesar das lições aprendidas após o desastre de Mariana, a tragédia

de Brumadinho em 2019 evidenciou que as mudanças implementadas foram insuficientes para evitar novos desastres.

Em consonância com essa avaliação, Castro (2018) destaca falhas importantes (FIGURA 2), como a avaliação inadequada de riscos, a implementação deficiente de sistemas de alerta e a negligência na manutenção das barragens. Essas falhas levantam questões críticas sobre a eficácia das regulamentações de barragens de rejeitos no Brasil e a eficiência das práticas de monitoramento aplicadas.

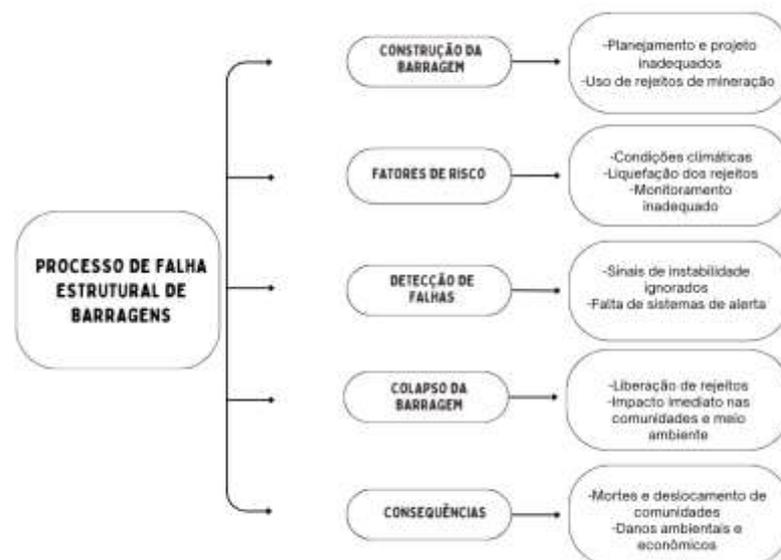


Figura 2: fluxograma de processo de falha estrutural de barragens

Fonte: Autores,2024.

Paralelamente, as pesquisas também ressaltam a centralidade da segurança dos trabalhadores envolvidos na construção e manutenção dessas barragens. Souza (2019) salienta que esses trabalhadores estão frequentemente expostos a riscos como deslizamentos e à exposição a substâncias tóxicas, riscos esses agravados pela falta de treinamento adequado e pelo uso insuficiente de equipamentos de proteção individual (EPIs).

Considerando a mitigação dos riscos, estudos sugerem que a adoção de novas tecnologias avançadas de monitoramento, bem como a elaboração de planos de emergência para as comunidades, pode minimizar os efeitos negativos das barragens. As diretrizes propostas incluem o uso de sensores para detecção de movimento e medidores de pressão da água, além de sistemas de alarme que facilitem a evacuação em casos de falha iminente. Além



disso, destaca-se a necessidade de aprimorar as práticas de fiscalização e de implementar programas de treinamento contínuo para os trabalhadores.

Os resultados dessa pesquisa evidenciam que, embora as barragens do tipo montante desempenhem um papel crucial no setor de mineração, sua construção e manutenção implicam perigos significativos tanto para os trabalhadores quanto para a população local e o meio ambiente. O método de levantamento com rejeitos, apesar de ser econômico e prático, apresenta desvantagens consideráveis em termos de estabilidade estrutural, especialmente quando as práticas de manutenção e monitoramento são inadequadas, o que reforça a necessidade de mudanças mais profundas e rigorosas nas práticas de segurança.

Os trágicos sinistros em Mariana e Brumadinho deixaram claro que tais estruturas são suscetíveis e seu manejo de segurança carecia. Isto levantou a questão premente de rever as políticas de construção e operação de barragens no Brasil. A Lei 14.066 de 2020, que aborda alterações à Política Nacional de Segurança de Barragens, modificou significativamente as regras ao ampliar a definição de barragem e elevar o padrão de proteção. Entretanto, como apontado pelos autores, na prática aplicada destas regras ainda resta um Longo Caminho a percorrer.

A proteção dos trabalhadores também é um ponto crucial que merece grande atenção. A pressa na construção de barragens e a falta de formação correta para as equipes colocam estes trabalhadores em risco constante. São necessárias medidas mais rigorosas de segurança ocupacional bem como a obrigatoriedade do uso de equipamentos individuais de proteção adequados para reduzir tal perigo.

É de extrema importância uma análise minuciosa dos impactos socioambientais, porque o reassentamento das comunidades e a perda da biodiversidade local pode ter consequências a longo prazo. As pesquisas mais recentes sugerem que operação urgente para as comunidades afetadas, juntamente com compensações e a manutenção da realocação planejada, é a única maneira de minimizar os efeitos adversos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É de extrema importância de uma análise detalhada dos riscos socioambientais associados à construção e operação das barragens tipo montante. Essas barragens, embora



essenciais para o desenvolvimento da mineração, representam danos para o meio ambiente e para as comunidades próximas. Os desastres de Mariana e Brumadinho exemplificam como a falta de medidas adequadas de segurança pode resultar em consequências devastadoras para a biodiversidade e o reassentamento forçado de comunidades inteiras. Portanto, a mitigação desses riscos exige uma revisão contínua das práticas de construção e manutenção dessas estruturas.

Além dos impactos ambientais, tem-se os desafios enfrentados pelos trabalhadores nas barragens de rejeitos, em especial no que tange à segurança ocupacional. A falta de treinamento adequado, o uso insuficiente de equipamentos de proteção individual (EPIs) e a exposição a condições perigosas aumentam a vulnerabilidade desses profissionais. Para garantir a segurança dos trabalhadores, torna-se fundamental a implementação de normas mais rigorosas e a realização de treinamentos contínuos, de modo a preparar melhor as equipes envolvidas na construção e na manutenção das barragens.

Por fim, a avaliação da eficácia das tecnologias de monitoramento em tempo real mostrou-se crucial para a prevenção de novos desastres. Sistemas de alerta, sensores de movimento e pressão, bem como auditorias regulares, são ferramentas indispensáveis para garantir a estabilidade das barragens e minimizar os riscos de falha. No entanto, a aplicação dessas tecnologias devem estar atreladas ao comprometimento das empresas mineradoras e ao reforço das fiscalizações por parte das autoridades competentes. Somente assim será possível alcançar uma gestão mais segura e sustentável dessas estruturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMADA, Charles Alexandre Souza. **Os desastres ambientais de Mariana e Brumadinho em face ao estado socioambiental Brasileiro**. Territorium, n. 28 (I), p. 13-22, 2021.

CARDOZO, Fernando Alves Cantini. **Barragens de rejeito de mineração: considerações gerais e aspectos geotécnicos**. 2019.

CPI BRUMADINHO. Comissão Parlamentar de Inquérito. **Relatório Final Consolidado. Rompimento da Barragem de Brumadinho**. Outubro de 2019.

DE SOUZA, Talles Jhonattan Elias. **Os impactos ambientais decorrentes do rompimento da barragem em Mariana**. Revista do CNMP, n. 7, p. 139-145, 2018.

LEÃO, Suiane Rodrigues; SANTIAGO, Alvany Maria dos Santos. **Cenário das barragens de rejeito: conhecer para evitar novas catástrofes.** Ambiente & Sociedade, v. 25, 2022.

L12334. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm. Acesso em 14 de agosto de 2024.

L14066. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114066.htm . Acesso em 14 de agosto de 2024.

LIMA, A.; SILVA, R.; OLIVEIRA, M. **Desafios ambientais e sociais na construção de barragens no Brasil.** Revista Brasileira de Engenharia, v. 45, n. 2, p. 102-121, 2021.

OLIVEIRA, J. **Monitoramento e segurança de barragens: Lições aprendidas após Brumadinho.** São Paulo: Editora Técnica, 2020.

PAULO DE TARSO, A. Castro; RUCHKYS, Úrsula; MANINI, Rafael Tertolino. **A sociedade civil organizada e o rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG):** porque é preciso difundir a Geoética. Terræ Didática, v. 14, n. 4, p. 439-444, 2018.

ROBERTSON, P, K. et al. **Relatório do Painel de Especialistas Sobre as Causas Técnicas do Rompimento da Barragem I do Córrego do Feijão.** 2019.

SANTOS, D. **Impactos socioambientais das barragens hidrelétricas: Uma revisão crítica.** Revista de Estudos Ambientais, v. 32, n. 1, p. 56-75, 2018.

SANTOS, Laryssa Cortes. **Estudo sobre a instrumentação de barragens de terra e rejeitos.** 2019.

SILVA, P. **Gestão hídrica e barragens: Uma análise do cenário brasileiro.** Rio de Janeiro: Editora Universitária, 2020.

SOUZA, L. **Riscos ocupacionais em barragens de rejeitos: Desafios e soluções.** Revista de Engenharia do Trabalho, v. 50, n. 4, p. 213-230, 2019.