

## UMA ANÁLISE DA HISTÓRIA DAS BARRAGENS DE REJEITOS E DAS CATÁSTROFES DE BRUMADINHO E MARIANA

AN ANALYSIS OF THE HISTORY OF TAILINGS DAMS AND THE BRUMADINHO AND MARIANA CATASTROPHES

Adauri Silveira Rodrigues Junior<sup>1</sup>

Cláudio Bonfante de Oliveira<sup>2</sup>

Elyara de Lourdes Almeida Souza<sup>3</sup>

Ester Lage de Souza Almeida<sup>4</sup>

Gabriel Rosa Viana<sup>5</sup>

Iasmin Sena Ponciano<sup>6</sup>

Pedro Henrique Pizette de Carvalho Silva<sup>7</sup>

**RESUMO:** As barragens de rejeitos representam uma faceta crítica da infraestrutura na indústria de mineração, desempenhando um papel vital na gestão de resíduos. Entretanto, a falha dessas estruturas pode resultar em consequências desastrosas, tanto para o meio ambiente quanto para as comunidades humanas. Os colapsos das barragens de Brumadinho e Mariana, no Brasil, são exemplos trágicos dessas falhas, causando devastação ambiental significativa e perdas humanas irreparáveis. Diante do exposto, o estudo tem como objetivo é analisar a história das barragens de rejeitos para identificar as causas e consequências de catástrofes como as de Brumadinho e Mariana. A metodologia deste estudo é fundamentada em uma abordagem bibliográfica, na qual se realizará uma revisão extensiva e criteriosa de literatura acadêmica e técnica relacionada às barragens de rejeitos. Com este estudo, é evidente que a regulamentação das barragens de rejeitos é uma situação multifacetada que necessita de um equilíbrio delicado entre vários fatores, incluindo necessidades técnicas, preocupações ecológicas e responsabilidades sociais.

1401

**Palavras-chave:** Barragens. Catástrofes. Indústria de mineração. Brumadinho. Mariana.

**ABSTRACT:** Tailings dams represent a critical facet of infrastructure in the mining industry, playing a vital role in waste management. However, the failure of these structures can result in disastrous consequences for both the environment and human communities. The collapses of the Brumadinho and Mariana dams in Brazil are tragic examples of these failures, causing significant environmental devastation and irreparable human losses. In view of the above, the study aims to analyze the history of tailings dams to identify the causes and consequences of catastrophes such as those in Brumadinho and Mariana. The methodology of this study is based on a bibliographical approach, in which an extensive and careful review of academic and technical literature related to tailings dams will be carried out. From this study, it is clear that the regulation of tailings dams is a multifaceted situation that requires a delicate balance between several factors, including technical needs, ecological concerns and social responsibilities.

**Keywords:** Dams. Catastrophes. Mining industry. Brumadinho. Mariana.

<sup>1</sup>Mestrado em Materiais, Universidade de Vassouras.

<sup>2</sup>Mestrado Profissional em Gestão de Sistemas de Engenharias Universidade de Vassouras.

<sup>3</sup>Graduando de Engenharia Civil, Universidade de Vassouras.

<sup>4</sup>Graduando de Engenharia Civil, Universidade de Vassouras.

<sup>5</sup>Graduando de Engenharia Civil Universidade de Vassouras.

<sup>6</sup>Graduando de Engenharia Civil Universidade de Vassouras.

<sup>7</sup>Graduando de Engenharia Civil Universidade de Vassouras.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, há uma grande variedade de barragens, utilizadas para diferentes propósitos como acumulação de água, geração de energia, e contenção de resíduos industriais e de mineração. As barragens de contenção de rejeitos de mineração são estruturas feitas principalmente de terra, projetadas para armazenar subprodutos do processamento de minério. Estes rejeitos, uma mistura de sólidos e água resultante do processo de britagem, moagem e, em alguns casos, tratamento químico do minério, são depositados na barragem ao longo do tempo de operação da mina (CAMPOS; POZNYAKOV, 2021).

Caracterizam-se por sua granulometria, que varia conforme o tipo de mineral processado e o método de beneficiamento. Podem ser constituídos de siltes e argilas de alta plasticidade, formando uma lama, ou de materiais mais grosseiros como areias, conhecidos como rejeitos granulares. A escolha do método de disposição dos rejeitos, que pode incluir armazenamento em minas subterrâneas, cavas exauridas, pilhas, empilhamento a seco, disposição em pasta, ou em barragens de contenção, depende de vários fatores, incluindo o processo de mineração, condições geológicas e topográficas da área, propriedades mecânicas dos materiais, e o potencial impacto ambiental (CABRAL, 2022).

Apesar de existirem diversas opções para a disposição de rejeitos, muitas empresas de mineração ainda preferem as barragens de contenção de rejeitos. Este método é frequentemente escolhido devido à possibilidade de utilizar materiais locais como solo ou estéril, e até mesmo o próprio rejeito na construção da barragem (CAMPOS; POZNYAKOV, 2021).

As barragens de rejeitos representam uma faceta crítica da infraestrutura na indústria de mineração, desempenhando um papel vital na gestão de resíduos. Entretanto, a falha dessas estruturas pode resultar em consequências desastrosas, tanto para o meio ambiente quanto para as comunidades humanas. Os colapsos das barragens de Brumadinho e Mariana, no Brasil, são exemplos trágicos dessas falhas, causando devastação ambiental significativa e perdas humanas irreparáveis (CABRAL, 2022).

Diante do exposto, o estudo tem como objetivo é analisar a história das barragens de rejeitos para identificar as causas e consequências de catástrofes como as de Brumadinho e Mariana.

A metodologia deste estudo é fundamentada em uma abordagem bibliográfica, na qual se realizará uma revisão extensiva e criteriosa de literatura acadêmica e técnica relacionada às

barragens de rejeitos. Este processo incluirá a análise de publicações científicas, relatórios técnicos, estudos de caso e documentos legais, com o objetivo de compreender a evolução histórica, os aspectos técnicos e as implicações socioambientais das barragens de rejeitos. A seleção das fontes será guiada por critérios de relevância, credibilidade e atualidade, abrangendo tanto literatura nacional quanto internacional.

A justificativa para a realização deste estudo reside fundamentalmente na necessidade urgente de entender e prevenir catástrofes relacionadas a barragens de rejeitos, como evidenciado pelos trágicos eventos em Brumadinho e Mariana. Estas catástrofes não apenas causaram perdas humanas e danos ambientais imensuráveis, mas também expuseram falhas críticas nos padrões de segurança, nas práticas de engenharia e na regulamentação do setor de mineração.

A análise desses desastres é essencial para compreender as complexidades técnicas e as falhas de engenharia que contribuíram para o colapso das barragens. Este entendimento é crucial para desenvolver estratégias mais eficazes de prevenção, mitigação de riscos e gestão de resíduos. Além disso, o estudo tem um papel vital na promoção da conscientização sobre a importância da ética profissional e da responsabilidade social na engenharia civil.

## História das Barragens de Rejeitos

A história das barragens de rejeitos é um capítulo multifacetado e intrincado no desenvolvimento do setor de mineração e engenharia civil. Desde o início destas estruturas, tem havido uma evolução contínua nas práticas de construção e na compreensão dos perigos a elas associados. Inicialmente, as barragens de rejeitos foram vistas como uma resposta funcional ao desafio de conter resíduos resultantes do processamento mineral. Com o tempo, à medida que as operações mineiras se expandiram em tamanho e âmbito, estas barragens tornaram-se cada vez mais complexas e maiores em escala (SANTOS, 2019).

No passado, as construções iniciais de barragens eram rudimentares e careciam de um projeto complexo e de avaliações de risco minuciosas. À medida que a consciência ambiental se desenvolveu e as preocupações com potenciais colapsos aumentaram, surgiram regulamentações mais rigorosas e métodos de engenharia sofisticados para a construção e manutenção destas barragens. Independentemente destas melhorias tecnológicas, a evidência histórica de mau funcionamento das barragens de rejeitos indica uma susceptibilidade contínua a rupturas desastrosas (CARDOZO, 2019).

Os desastres ocorridos em Brumadinho e Mariana, Brasil, foram momentos cruciais que levaram a uma profunda reavaliação das práticas de gestão de barragens de rejeitos. Estes acontecimentos catastróficos demonstraram não apenas inadequações técnicas, mas também deficiências na governação, regulamentação e responsabilização empresarial. Como resultado destas tragédias, ocorreram transformações consideráveis nos protocolos de segurança, nas medidas de monitorização e nas leis ambientais, tanto à escala nacional como global (CABRAL, 2022).

Uma abordagem abrangente e abrangente torna-se necessária ao examinar a história das barragens de rejeitos. De acordo com Santos (2019), não basta concentrar-se apenas nos aspectos técnicos da sua construção e manutenção. Em vez disso, devemos também dar prioridade à gestão ambiental, à responsabilidade social e às considerações éticas na indústria mineira. A importância deste exame retrospectivo não pode ser exagerada, pois fornece informações sobre os obstáculos enfrentados e oferece orientação para a criação de soluções mais sustentáveis e seguras para a gestão de resíduos na mineração no futuro.

### **Catástrofes em Barragens de Rejeitos em Brumadinho e Mariana**

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

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

**Figura 1 - Localização das barragens no município de Mariana**



GI.com.br

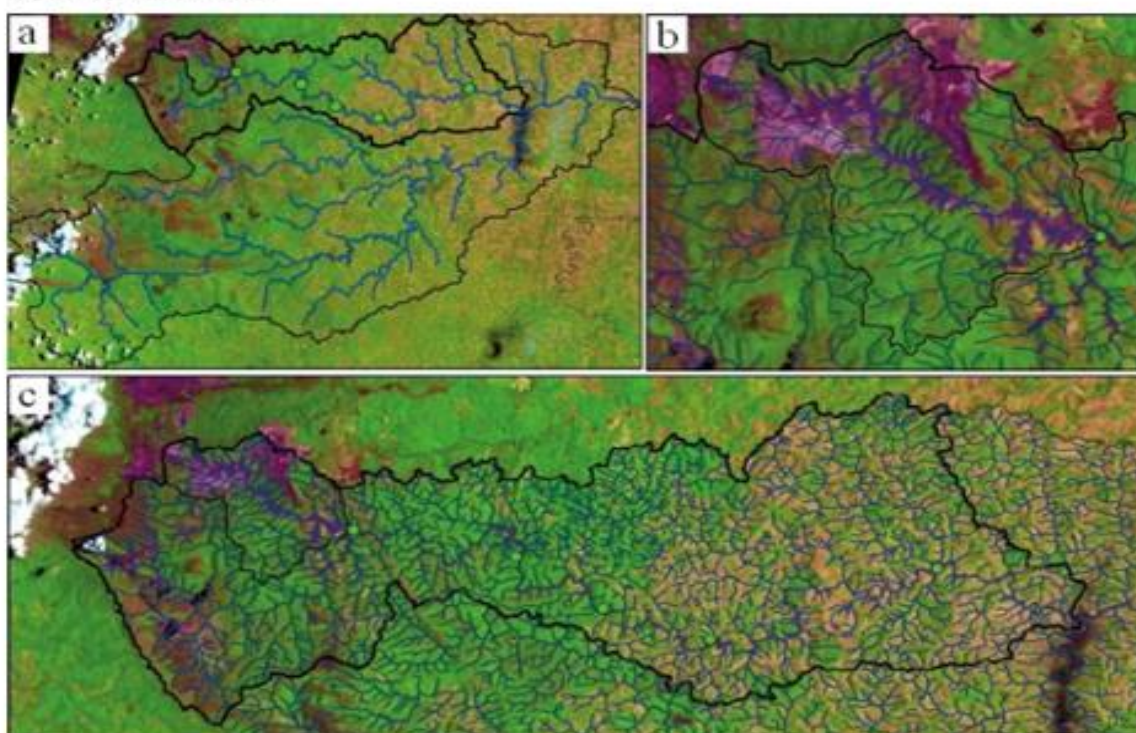
Infográfico elaborado em: 5/11/2015

Fonte: GI (Disponível em: <http://gi.globo.com/minas-gerais/noticia/2015/11/barragem-rompida-em-mg-tinha-era-considerada-de-risco-baixo-diz-dnmp.html>)



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, ao romper a barragem, formou uma onda de lama que rapidamente alcançou e danificou a barragem de Santarém, localizada mais abaixo. Esta onda, carregando consigo água e mais rejeitos, percorreu uma rota destrutiva sem precedentes, lembrando uma avalanche em escala e força (LEÃO; SANTIAGO, 2022).

**Figura 2** - Imagens de satélite das áreas afetadas pelo rejeito. (a) Bacia do Rio Doce; (b) Bacia do córrego Santarém; (c) Bacia do Rio Carmo. Em (b) e (c) percebe-se o caminho dos rejeitos pela coloração roxa em contraste com a azul dos corpos d'água não afetados



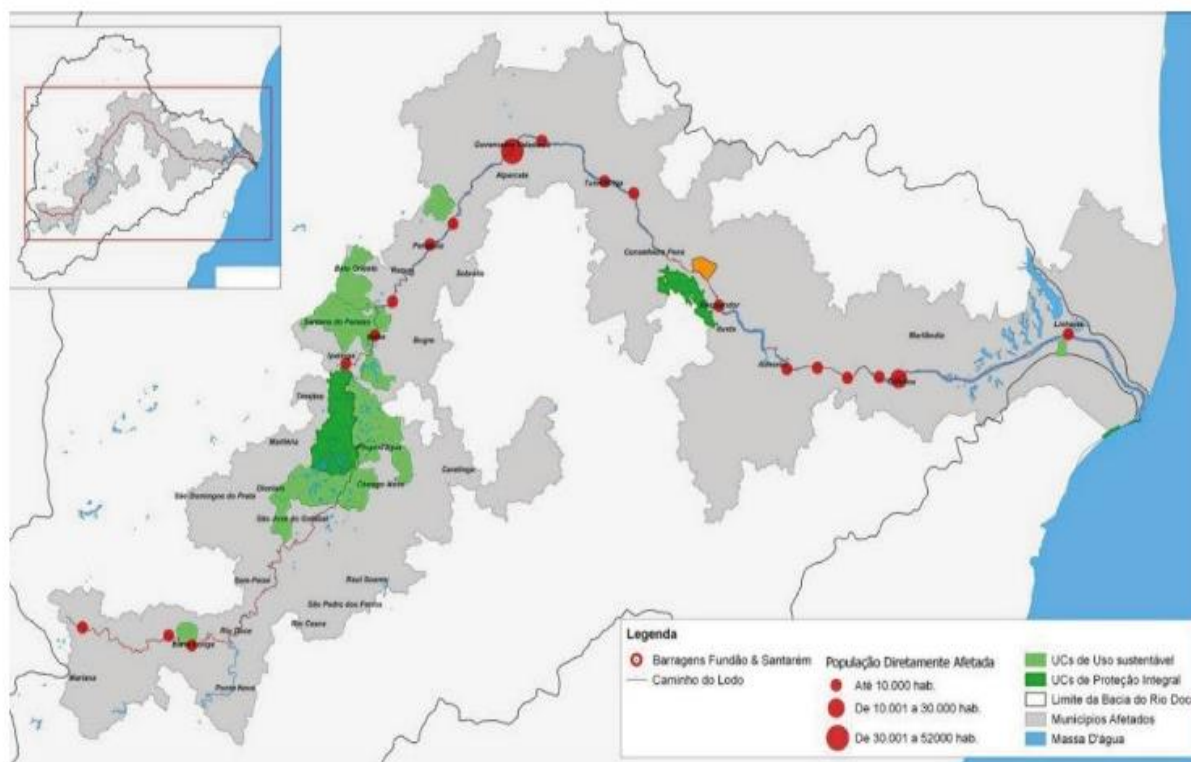
FONTE: Adaptado de USGS, 2015

O subdistrito de Bento Rodrigues, situado a 6 km de distância, foi soterrado pela lama, resultando na morte de 19 pessoas e no deslocamento forçado de várias famílias. À medida que a massa de rejeitos avançava, ela devastava comunidades rurais e urbanas ao longo do rio Gualaxo do Norte, alcançando o rio do Carmo e, eventualmente, o rio Doce, impactando cidades como Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado (LEÃO; SANTIAGO, 2022).

O trajeto dos rejeitos foi marcado por uma destruição ambiental severa, arrasando a vegetação ribeirinha, destruindo habitats naturais e matando inúmeras espécies animais. A passagem dos rejeitos pela Usina Hidrelétrica Risoleta Neves exacerbou ainda mais o impacto,

com o transbordamento de rejeitos nas margens dos rios, removendo a vegetação e a camada superficial do solo (DE SOUZA, 2018).

**Figura 3 - Vegetação impactada pelo rompimento da Barragem de Fundão.**



**FONTE:** BBC (Disponível em: <[bbc.com/portuguese/noticias/2015/12/151201\\_dados\\_mariana\\_cc](http://bbc.com/portuguese/noticias/2015/12/151201_dados_mariana_cc)>; acessado em 25/04/2018).

Após percorrer o rio do Carmo, os rejeitos finalmente alcançaram o rio Doce, seguindo seu curso até desembocar no Oceano Atlântico, no distrito de Regência, em Linhares, Espírito Santo. Este trajeto foi marcado por uma série de impactos ambientais, incluindo a poluição hídrica e a interrupção do abastecimento de água em várias cidades, como Governador Valadares, Baixo Guandu e Colatina (DE SOUZA, 2018).

Este desastre, considerado o maior da história ambiental brasileira, e um dos mais graves a nível mundial, deixou um rastro de prejuízos econômicos, sociais e ambientais profundos. Os efeitos, visíveis desde as primeiras horas, continuam a reverberar, demonstrando danos contínuos e, em grande parte, irreversíveis (LEÃO; SANTIAGO, 2022).

**Figura 4** – Desastre ambiental em Mariana



**Fonte:** Agência Brasil, 2015.

**Figura 5** – Desastre ambiental em Mariana



**Fonte:** Agência Brasil, 2015.

Também houve, o colapso da barragem B1 na mina do Córrego do Feijão, em Brumadinho, foi um evento marcado pela ruptura repentina e teve suas causas analisadas em profundidade por vários especialistas e comissões. Entre eles, a análise geotécnica liderada por Robertson e colaboradores em 2019 teve um papel central, sendo referenciada em diversos relatórios e investigações, incluindo o trabalho do Comitê Independente de Assessoramento Extraordinário de Apuração, a Comissão Parlamentar de Inquérito específica para o caso e a Superintendência Regional do Trabalho de Minas Gerais (CPI BRUMADINHO, 2019).

Essa análise aprofundada serviu de base para a elaboração de uma Análise de Causa Raiz, focando em evidenciar os fatores que levaram ao desastre. O intuito foi gerar aprendizados



cruciais que contribuiriam para a formação de diretrizes efetivas na gestão de riscos e prevenção de desastres em barragens de rejeitos. Importante frisar que, embora o foco deste trabalho não seja estritamente geotécnico, a compreensão das causas do desastre é essencial para formular recomendações eficazes (ROBERTSON et al., 2019).

Dentre as causas identificadas, destacam-se a liquefação estática nos rejeitos e aspectos de risco inerentes ao projeto da barragem, como a construção a montante e a formação de um talude íngreme. Além disso, problemas como a deficiência na drenagem interna, que resultou em um alto nível de água, e a natureza frágil dos rejeitos, exacerbados por condições climáticas adversas, foram fatores cruciais. A análise revelou que a combinação desses elementos criou as condições perfeitas para o colapso da barragem (CPI BRUMADINHO, 2019).

Com base nessas descobertas, tornou-se possível identificar medidas necessárias para evitar futuros desastres similares, moldando as práticas de gestão de riscos e prevenção de desastres em barragens de rejeitos. Este conhecimento é fundamental para aprimorar a segurança e as práticas de engenharia no setor de mineração, buscando prevenir a repetição de eventos tão trágicos quanto o ocorrido em Brumadinho (ROBERTSON et al., 2019).

Apesar das lições aparentemente aprendidas em Mariana, em 2019, a tragédia se repetiu em Brumadinho, quando a barragem da Mina Córrego do Feijão colapsou, liberando uma 

---

1409

avalanche de lama que resultou em mais de 250 mortes e um impacto ambiental catastrófico. Esta segunda catástrofe evidenciou que as mudanças implementadas após Mariana foram insuficientes e que problemas sistêmicos na indústria de mineração ainda persistiam (ARMADA, 2021).

Análises subsequentes desses desastres revelaram uma série de falhas: desde a inadequada avaliação de riscos e a falha na implementação de sistemas de alerta até a negligência na manutenção e fiscalização das barragens. Além disso, a resposta tardia das autoridades e das empresas envolvidas exacerbou os impactos dessas tragédias. Estes eventos levantaram questões críticas sobre a regulamentação de barragens de rejeitos no Brasil, a eficácia das práticas de monitoramento e a responsabilidade corporativa e ética na indústria de mineração (PAULO DE TARSO; RUCHKYS; MANINI, 2018).

Brumadinho e Mariana tornaram-se símbolos dos riscos inerentes às barragens de rejeitos e dos custos humanos e ambientais que podem acarretar quando falham. Esses desastres impulsionaram a necessidade de uma reformulação abrangente nas abordagens de segurança, na

legislação e na gestão ambiental relacionadas às barragens de rejeitos. A reflexão sobre estas catástrofes é essencial para evitar que tais eventos se repitam e para assegurar que as lições aprendidas sejam aplicadas de forma efetiva, garantindo a segurança e a sustentabilidade nas práticas de mineração (ARMADA, 2021).

#### Estratégias de Prevenção e Melhores Práticas na Gestão de Barragens de Rejeitos

O foco se volta para a identificação e implementação de medidas eficazes que possam mitigar os riscos associados a essas estruturas críticas. A partir das lições aprendidas com desastres anteriores, como os de Brumadinho e Mariana, torna-se evidente a necessidade de uma abordagem mais rigorosa e sistematizada na gestão de barragens de rejeitos.

Uma das principais estratégias envolve aprimorar a avaliação e monitoramento constante das condições da barragem. Isso inclui o uso de tecnologias avançadas para monitoramento em tempo real, que podem fornecer dados cruciais sobre a integridade estrutural e potenciais vulnerabilidades. Além disso, a implementação de sistemas de alerta precoce, que podem fornecer avisos imediatos em caso de anormalidades, é fundamental para a prevenção de catástrofes.

Outro aspecto central é a revisão e fortalecimento dos padrões de construção e manutenção. Isso implica em adotar práticas de engenharia que levem em conta não apenas a 1410 funcionalidade, mas também a segurança a longo prazo. A escolha de materiais, o design da barragem e os métodos construtivos devem ser submetidos a rigorosas avaliações de risco.

Adicionalmente, é imperativo fortalecer a regulamentação e a fiscalização das barragens. Isso envolve a criação de diretrizes mais estritas, processos de licenciamento aprimorados e inspeções regulares por órgãos independentes. O papel das autoridades reguladoras é crucial para garantir que as normas de segurança sejam cumpridas e que as empresas sejam responsabilizadas por qualquer negligência.

Além das medidas técnicas, as estratégias de prevenção devem incluir a participação e o engajamento das comunidades locais. Isso significa informar e envolver a população que vive nas proximidades das barragens em planos de emergência e medidas de segurança. A comunicação transparente e a educação sobre os riscos associados às barragens podem capacitar as comunidades a responder eficazmente em caso de emergência.

## CONCLUSÃO

Com este estudo, é evidente que a regulamentação das barragens de rejeitos é uma situação multifacetada que necessita de um equilíbrio delicado entre vários fatores, incluindo necessidades técnicas, preocupações ecológicas e responsabilidades sociais.

Ao estudar a história das barragens de rejeitos, descobriu-se que, apesar dos avanços tanto nas medidas regulatórias quanto na tecnologia, ainda existem falhas notáveis na implementação da engenharia civil e na gestão dos riscos relativos a essas barragens. As recentes tragédias em Brumadinho e Mariana são exemplos sombrios dos resultados catastróficos que podem resultar da atenção insuficiente a essas falhas.

É evidente que adotar uma postura preventiva é crucial. Esta postura abrange o aprimoramento consistente dos métodos de vigilância e manutenção, o estabelecimento de padrões mais rigorosos para a construção, a regulamentação e aplicação eficazes de tais padrões, bem como o cultivo de uma cultura que prioriza a segurança e a responsabilização na indústria mineira.

A importância da transparência e do envolvimento com a comunidade é enfatizada no estudo. Os residentes nas proximidades das barragens devem ser informados dos perigos potenciais e participar ativamente no desenvolvimento de planos de ação de emergência e procedimentos de resposta. Isto não só melhora as medidas de segurança, mas também reforça a ligação entre o sector mineiro e a sociedade.

Para evitar futuras calamidades em barragens de rejeitos, é necessária uma abordagem abrangente que leve em conta todos os aspectos da questão – técnicos, ambientais e sociais. A principal conclusão é que as principais prioridades na gestão de barragens de rejeitos devem ser a segurança e a sustentabilidade para garantir que catástrofes como as que ocorreram em Brumadinho e Mariana não se repitam.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

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.

CABRAL, Raphaela Nogueira. *Gestão de Riscos e Desastres para a Segurança de Barragens de Rejeitos de Mineração: O Caso Brumadinho*. 2022.

CAMPOS, Nathalia Neves; POZNYAKOV, Karolina. A Gestão de riscos em barragens de rejeitos no Brasil. *Boletim do Gerenciamento*, v. 22, n. 22, p. 53-66, 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.

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