

EDSON DANTAS DA SILVA

**AVALIAÇÃO INTEGRADA DA SEGURANÇA DE
BARRAGENS: PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA E
IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS**

Artigo Científico apresentado ao Curso de Especialização;
Programa de Pós-Graduação em de Segurança de
Barragens: Aspectos Técnicos e Legais; Escola Politécnica;
Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para
obtenção do grau de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Fábio R. de Oliveira

Salvador
2024

AVALIAÇÃO INTEGRADA DA SEGURANÇA DE BARRAGENS: PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

Edson Dantas da Silva

Resumo

Esta pesquisa investiga a implementação dos Planos de Ação de Emergência (PAEs) em barragens e seus efeitos socioambientais, tendo como objetivo avaliar a eficácia desses planos na redução de danos em situações de falhas ou incidentes. Para alcançar esse objetivo, são realizadas análises da legislação relevante, estudos de casos de falhas em barragens e propostas de melhorias nos PAEs. A metodologia adotada envolve revisão bibliográfica, análise documental e estudo de casos. Os resultados apontam para desafios significativos na implementação efetiva dos PAEs, ressaltando a importância da integração entre diferentes atores e recursos apropriados. O estudo revela que, apesar das regulamentações estabelecidas, ainda existem lacunas na execução dos PAEs. Dessa forma, recomenda-se uma maior colaboração entre as partes interessadas, investimentos em capacitação e recursos, bem como revisão e aprimoramento das políticas e práticas existentes.

Palavras-chave: Ações emergenciais em barragens. Meio ambiente. Impactos sociais. Impactos ambientais.

Abstract

This research investigates the implementation of Emergency Action Plans (EAPs) in dams and their socio-environmental effects, with the central aim of assessing the effectiveness of these plans in reducing damages in cases of failures or incidents. To achieve this objective, analyses of relevant legislation, case studies of dam failures, proposals for improvements in EAPs, and evaluations of their effectiveness are conducted. The methodology adopted involves literature review, documentary analysis, and case studies. The results point to significant challenges in the effective implementation of EAPs, highlighting the importance of integration among different stakeholders and appropriate resources. The study reveals that, despite the established regulations, there are still gaps in the execution of EAPs. Therefore, greater collaboration among interested parties, investments in training and resources, as well as review and improvement of existing policies and practices are recommended.

Keywords: Emergency actions in dams. Environment. Social impacts. Environmental impacts.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 50 anos, pelo menos 60 desastres relacionados a barragens foram registrados em todo o mundo. Em todas elas podem ser observadas vulnerabilidades semelhantes, barragens mal projetadas, monitoradas inadequadamente e que acabam por perturbar e destruir o meio ambiente e a vida de milhares de pessoas (FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016).

A mineração promove uma ampla gama de efeitos adversos. Como impactos de grande importância, destacam-se as alterações ambientais, a perda de valores das propriedades vizinhas, os conflitos de uso do solo, a geração de áreas degradadas e os distúrbios do trânsito urbano. Portanto, embora sejam considerados sinônimos de desenvolvimento socioeconômico, causam conflitos com a comunidade devido à falta de atenção dos responsáveis (MENDES et al., 2020).

A crescente preocupação com a segurança de barragens tem sido impulsionada por uma série de incidentes recentes que expuseram vulnerabilidades significativas no sistema de gestão dessas estruturas. Diante desse panorama, emerge a necessidade premente de investigar como os Planos de Ação de Emergência (PAEs) podem contribuir para mitigar os impactos socioambientais em situações de falhas ou incidentes em barragens. O cerne deste estudo reside na compreensão do papel dos PAEs como instrumentos fundamentais na resposta a emergências, visando não apenas a preservação da segurança estrutural das barragens, mas também a proteção das comunidades circunvizinhas e dos ecossistemas afetados.

O problema central que orienta esta pesquisa consiste em identificar se a implementação eficaz dos PAEs pode influenciar na minimização dos danos socioambientais decorrentes de falhas em barragens. Nesse contexto, torna-se crucial examinar como a integração entre a segurança das estruturas e a gestão dos impactos socioambientais pode ser otimizada para melhorar a resiliência das comunidades e dos ecossistemas afetados. Assim, a hipótese subjacente a este estudo é que a eficácia dos PAEs está intrinsecamente ligada à capacidade de reduzir os impactos socioambientais adversos em casos de emergência.

Diante desse quadro, os objetivos delineados para esta pesquisa abrangem uma ampla gama de aspectos relacionados à segurança de barragens e aos PAEs. O objetivo geral é avaliar a implementação desses planos emergenciais, concentrando-se na prevenção e mitigação dos impactos socioambientais associados a falhas em barragens. De forma mais específica, busca-

se também a análise da legislação e de normas técnicas pertinentes, identificação de princípios e práticas da segurança em barragens, e exemplificação por meio de estudos de casos sobre falhas em barragens (Brumadinho e Mariana em Minas Gerais) e seus impactos socioambientais.

A justificativa para este estudo reside na necessidade urgente de integrar a segurança das barragens com a gestão dos impactos socioambientais, a fim de prevenir catástrofes e proteger tanto as comunidades humanas quanto os ecossistemas afetados. A lacuna existente na literatura especializada ressalta a importância de investigações que abordem de maneira abrangente e sistemática essa interseção crucial entre segurança estrutural e impactos socioambientais, visando contribuir para aprimorar as práticas de gestão de riscos e emergências relacionadas a barragens.

2. LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

A Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, instituiu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a qual estabelece diretrizes e normas para a segurança de barragens no Brasil, visando a prevenção de acidentes e a mitigação de riscos ambientais e sociais associados a essas estruturas. No rol de seus principais objetivos estão a regulamentação da construção, operação e manutenção de barragens, bem como a implementação de sistemas de classificação de risco e de planos de emergência. O propósito inclui assegurar o cumprimento das normativas de segurança, facilitar a supervisão e acompanhamento das medidas de segurança, e promover a proteção das barragens. Dentro do arcabouço da PNSB, estão previstas diversas ferramentas, tais como o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), o sistema de classificação das barragens por categoria de risco (CRI) e o Plano de Segurança da Barragem (PSB), considerando o Dano Potencial Associado (DPA). Além disso, a Resolução ANA 236, de 30 de janeiro de 2017, introduziu a proposta de uma Classificação Global de Perigo de Barragens (NPGb), que busca ser um indicador abrangente para avaliar o potencial de risco de acidentes ou eventos em barragens (BRASIL, 2010; ANA, 2017).

A Lei Federal número 12.334/10 determina a obrigatoriedade de um plano de monitoramento e avaliação para barragens que se enquadrem nas especificações estabelecidas em seu primeiro e único parágrafo, ou seja, aquelas barragens que apresentem pelo menos uma das características a seguir.

I - altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);

II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);

III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;

IV - categoria de DPA, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

Segundo as diretrizes delineadas no Manual de Segurança e Inspeção de Barragens, é estipulado que cada barragem deve ser categorizada levando em consideração as possíveis consequências de sua ruptura, sendo este sistema fundamentado na avaliação da probabilidade de perdas humanas, econômicas, sociais e ambientais decorrentes de danos estruturais ou falhas. A Lei Federal número 12.334/10 também estipula que todas as barragens, conforme sua classificação, devem possuir um plano de segurança correspondente.

A Lei número 12.334/2010 marcou um progresso significativo na proteção das comunidades afetadas por barragens no Brasil, seja em casos de represamento de água, deposição permanente ou temporária de rejeitos e acumulação de resíduos industriais. No entanto, é evidente que ainda há um longo percurso a ser percorrido para garantir a efetiva implementação e execução dessa legislação. Observa-se um aumento gradual no comprometimento das partes envolvidas em diversos aspectos relacionados à Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Esse avanço representa um progresso na aplicação da lei, embora ainda limitado, tanto no que diz respeito ao cumprimento das normas por parte dos empreendedores quanto no engajamento da sociedade e na crescente busca por capacitação proporcionada pela Agência Nacional de Águas (ANA) e outras entidades pertinentes.

Outras normativas relevantes referentes ao tema incluem o Decreto Normativo número 416, datado de 2012, emitido pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), que instituiu o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e estabelece diretrizes para o Plano de Segurança, Avaliação Periódica de Segurança e Inspeções Regular e Especial de barragens de mineração (DNPM, 2012).

2.1 Segurança de Barragens: Princípios e Práticas

Em 2010 foi promulgado a Lei Federal número 12.334/10. Anteriormente, o principal documento do país sobre esse tema era o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2002), elaborado pelo Ministério da Integração Nacional. Desde sua concepção, a lei tem como princípio fundamental a reformulação do conceito de segurança de barragem, ampliando o

enfoque para além da segurança estrutural, abrangendo também as funcionalidades da barragem, bem como a proteção das populações e do meio ambiente.

Conforme especificado no inciso III do artigo 4º dessa lei, a responsabilidade pela segurança das barragens recai sobre o empreendedor, ao mesmo tempo em que delega quais órgãos públicos são encarregados de fiscalizar o cumprimento da legislação. A supervisão das barragens pertencentes a empresas mineradoras é atribuição da ANM - Agência Nacional de Mineração e é regulamentada de maneira específica pela Portaria número 70.389/2017 e pela Resolução número 13/2019 em relação à segurança das barragens de rejeitos. Portanto, todas as empresas mineradoras que possuem barragens de rejeitos são obrigadas a seguir as normativas legais mencionadas.

Um plano de segurança de barragens é um documento elaborado pelo responsável pelo empreendimento para direcionar a administração abrangente da segurança das barragens. Para barragens existentes antes da promulgação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), o plano deve ter validade de dois anos (até 20 de setembro de 2012), devendo ser previamente aprovado pelo órgão regulador competente. Este plano deve incluir, no mínimo: informações gerais sobre a barragem e o empreendedor; documentação técnica do projeto; planos e procedimentos, registros e controles; relatórios de inspeção; avaliações periódicas da segurança da barragem; e, se necessário, um plano de ação emergencial. De acordo com o artigo 8º da Lei, os períodos de renovação dos Planos de Segurança de Barragens (PSBs), os requisitos de qualificação dos profissionais, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento devem ser determinados pelas autoridades fiscalizadoras correspondentes (SNISB, 2010).

O processo de gestão de risco da segurança das barragens é determinado individualmente por cada empresa mineradora. Esse processo engloba a identificação, análise e controle dos riscos em níveis considerados aceitáveis durante as etapas de projeto, construção e operação. A Lei número 12.334/2010 define a gestão de risco como um conjunto de ações normativas, incluindo a aplicação de medidas preventivas, de controle e de mitigação dos riscos.

A conformidade com as normas vigentes em relação à segurança de barragens de rejeitos requer que todas as empresas mineradoras adotem práticas eficazes de gestão de riscos associados a essas estruturas. Atualmente, a abordagem predominante nas mineradoras para gerenciamento de risco em suas barragens de rejeitos envolve a integração das atividades de análise, avaliação e controle de riscos. Contudo, essa abordagem não assegura que os processos

de gestão de risco realizados pelas empresas proprietárias de barragens de rejeitos estejam plenamente desenvolvidos, o que motiva a realização deste estudo (ARAÚJO; CRUZ, 2022).

A norma ISO 31000 estabelece princípios e orientações para o gerenciamento de riscos em qualquer tipo de organização, abrangendo tanto partes específicas quanto a totalidade dela. Trata-se de uma norma abrangente, que não se restringe a uma indústria, setor ou área específica, e não entra em competição com outras normas que tratam de gestão de riscos em campos particulares. Seu propósito principal é servir como um guia para o gerenciamento de riscos e promover a harmonização dos processos nessa área, oferecendo uma abordagem unificada que pode ser aplicada em diversas atividades, como estratégias, decisões, operações, processos, funções, projetos, produtos, serviços e ativos. A lógica por trás da norma é simples e se baseia em três elementos fundamentais interconectados: os princípios, a estrutura e o processo de gestão de riscos (ABNT, 2009).

Considerando que todas as barragens de rejeito apresentam riscos inerentes, é crucial que esses riscos sejam gerenciados de forma a garantir um nível satisfatório de segurança. Mesmo que todos os riscos identificados pelo proprietário da barragem estejam sob controle, é imprescindível manter um monitoramento constante, uma vez que ainda podem persistir riscos residuais, ou seja, aqueles que permanecem após a implementação das medidas de controle. Portanto, seja com o objetivo de mitigar os riscos residuais ou os inerentes, é essencial que as estruturas recebam uma gestão de riscos contínua, caracterizada por um processo coordenado, estruturado e sistemático, visando o tratamento adequado, monitoramento e controle dos riscos. Caso contrário, existe o risco de esses eventos se concretizarem, acarretando em consequências graves. É precisamente nesse contexto, de avaliação da eficácia da gestão dos riscos associados à barragem, que a metodologia proposta pode ser aplicada.

Um dos princípios fundamentais da segurança de barragens é a abordagem integrada, que considera não apenas a estabilidade estrutural da barragem, mas também aspectos relacionados à sua operação, manutenção, monitoramento e gestão de riscos. Essa abordagem reconhece a complexidade das barragens enquanto infraestruturas de engenharia e destaca a importância de se adotar uma visão holística para garantir sua segurança ao longo de todo o ciclo de vida. Além disso, a transparência e a comunicação eficaz são aspectos essenciais para o sucesso das práticas de segurança de barragens, promovendo a confiança pública, a participação das partes interessadas e a divulgação de informações pertinentes sobre o estado e o desempenho das barragens (SILVA et al., 2023).

Outro princípio-chave é a prevenção, que envolve a identificação proativa e a mitigação de potenciais ameaças e vulnerabilidades das barragens, a fim de evitar acidentes e minimizar os impactos adversos em caso de falha. Isso inclui a realização de estudos de avaliação de riscos, a implementação de medidas de controle e a manutenção de sistemas de alerta e prontidão para emergências. Além disso, a capacitação e o treinamento adequados do pessoal responsável pela operação e manutenção das barragens são cruciais para garantir a eficácia das medidas de segurança e a resposta adequada a situações de emergência (LEITE, 2020).

2.2 Impactos Socioambientais de Falhas em Barragens

O estudo dos impactos socioambientais decorrentes de falhas em barragens representa uma área de crescente interesse e relevância no contexto da engenharia ambiental e da gestão de recursos hídricos. Com o aumento da urbanização e da demanda por energia, as barragens desempenham um papel fundamental na infraestrutura socioeconômica de muitas regiões, porém, eventos de ruptura ou colapso dessas estruturas podem resultar em consequências devastadoras para as comunidades humanas e os ecossistemas circundantes. A compreensão abrangente dos impactos socioambientais desses eventos requer uma análise holística que leve em consideração não apenas os danos imediatos às infraestruturas e propriedades, mas também os efeitos a longo prazo sobre a saúde pública, a qualidade da água, a biodiversidade e os meios de subsistência das populações afetadas. Assim, investigações nessa área buscam não apenas quantificar e avaliar os danos causados, mas também identificar estratégias eficazes de prevenção, mitigação e resposta a emergências, visando promover a segurança e a resiliência das comunidades e dos ecossistemas expostos a esses riscos.

Um grande exemplo foi a Barragem de Fundão, que foi construída para conter os resíduos produzidos pela Samarco Mineração S.A., controlada posteriormente pela Vale S.A. e BHP Billiton. Em 2013, a referida barragem foi autorizada pelo órgão COPAM, do Estado de Minas Gerais, e novamente naquele ano, após a autorização, o Ministério Público de Minas Gerais, através de procedimento administrativo, descobriu o perigo de rompimento da estrutura devido à saturação de resíduos de mineração que pode levar à instabilidade do talude, superfície responsável pela sustentação da barragem. Esta barragem, localizada na cidade de Mariana/MG, rompeu em 5 de novembro de 2015, causando danos ambientais macrorregionais que perduram até os dias atuais. Estima-se que cerca de 18 milhões de metros cúbicos de

resíduos tenham entrado no Vale do Rio Doce, causando diversos danos ambientais, tornando necessária a discussão da responsabilidade civil ambiental dos envolvidos (DIAZ et al., 2018).

A contaminação da água por elementos como manganês, arsênico, fósforo e alumínio ultrapassou os limites permitidos, causando sérios riscos à saúde humana e à vida aquática. O manganês, por exemplo, é vital para plantas e animais, mas sua ingestão em excesso pode levar a danos neurológicos e respiratórios em seres humanos (TOLEDO; MANZINI; LIMA, 2018). O arsênico, por sua vez, está associado a uma série de doenças, incluindo câncer, e pode afetar negativamente órgãos vitais como a pele, pulmões e sistema cardiovascular (PINHEIRO, 2019). O fósforo, presente em quantidades acima do permitido, contribui para a eutrofização da água, prejudicando ecossistemas aquáticos (NEIVERTH; DEDECEK; CURCIO, 2013). Além disso, o alumínio, embora seu impacto na saúde humana ainda não esteja claro, pode estar relacionado a doenças neurodegenerativas (SYLVIO; CALIMAN; VASCONCELLOS, 2018). Além da contaminação da água, o desastre resultou na fragmentação e destruição de habitats, assoreamento dos rios, soterramento de lagoas e nascentes, interrupção do fluxo hídrico e danos aos ecossistemas costeiros. Esses impactos não apenas afetaram a biodiversidade local, mas também colocaram em risco a subsistência de comunidades ribeirinhas e a economia regional, especialmente aquelas dependentes da pesca e do turismo (POEMAS, 2015; BRASIL, 2015).

Um outro exemplo emblemático no contexto brasileiro é o desastre de Brumadinho, situado também no estado de Minas Gerais, onde o impacto primordial do colapso da barragem foi a perda de vidas humanas. Em 2 de fevereiro de 2019, apenas 8 dias após o rompimento, 110 pessoas perderam suas vidas e outras 238 foram declaradas como desaparecidas. Em termos ecológicos, aproximadamente 1% das áreas afetadas consistem em ecossistemas naturais de alta biodiversidade, dos quais mais de 65% (98,18 hectares) são florestas em estágio avançado de desenvolvimento ecológico. A presença de resíduos nessas áreas pode acarretar em processos como biodisponibilidade, bioacumulação e disseminação regional de metais pesados, resultando na deterioração da biodiversidade e da resiliência ambiental em uma ampla extensão espacial. Impactos severos sobre a fauna marinha podem ser observados caso os sedimentos atinjam o oceano através da foz do rio São Francisco.

Os danos ao meio ambiente podem ser classificados, conforme seu grau, em materiais ou patriarcais, ou imateriais, dependentes ou morais. Os danos ao meio ambiente, como qualquer outro de natureza, são de responsabilidade do poluidor, que é obrigado a repará-los. A compensação incorpora o princípio do pagamento aos poluidores e o princípio da compensação integral, dois dos três princípios básicos da responsabilidade civil ambiental.

Os poluidores devem arcar integralmente (internamente) com os custos sociais externos (externos) da degradação ambiental, que devem ser considerados no processo de fabricação, bem como reparar adequadamente qualquer dano a qualquer custo.

3 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido por meio de uma pesquisa bibliográfica, que, segundo Gil (2002), é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído de livros e artigos científicos. Trata-se de um estudo de revisão teórica, com análises qualitativas e quantitativas, envolvendo levantamento bibliográfico. A busca por artigos, realizada entre fevereiro e abril de 2024, foi feita na base de dados bibliográficos, Portal Periódico CAPES, Google Acadêmico e Scielo.

Foram utilizadas as palavras-chave em português: “Segurança”, “Barragem”, “Plano de ação”, “Impactos socioambientais”, “Brumadinho”, “Mariana”. Os termos foram pesquisados de forma cruzada.

Buscando proporcionar um processo de construção confiável, foi desenvolvido um protocolo conforme mostrado na Figura 1, a seguir, descrito como um documento através do qual devem ser seguidos os passos, objetivos, abordagem metodológica, tipo de análise, entre outros.

Figura 1 - Etapas de construção da pesquisa





Fonte: elaboração própria

Para seleção das fontes, foi considerado como critério de inclusão a data de publicação do texto, que precisava ser dos últimos 10 anos, e a disponibilidade do texto, que precisava ser gratuito. Foram excluídos aqueles que não atenderam a temática e que cobravam o acesso.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Artigos selecionados na pesquisa

Após a análise dos resultados, 7 artigos atenderam os critérios e temas estabelecidos (Quadro 1).

Quadro 1 - Artigos selecionados na pesquisa

Autores	Metodologia	Conclusão
Pereira, Firme e Cotta (2021)	Revisão bibliográfica. Método indutivo e comparativo.	A pesquisa destaca a importância recente dada à segurança de barragens, especialmente ao Plano de Ação de Emergência (PAE), após desastres recentes. A evolução da legislação em Minas Gerais visa garantir maior segurança às comunidades próximas e transparência nas operações das empresas.
Vianna (2015)	O estudo de caso foi realizado na barragem da usina hidrelétrica de Irapé, considerando informações de projeto, dados de relatórios de instrumentação, relatórios de inspeção em campo e algumas informações da literatura.	A aplicação da técnica FMEA para identificar aspectos críticos da barragem e priorizar estudos complementares mostrou-se adequada, contribuindo para a segurança da estrutura e podendo ser aplicada em outras barragens. Verificou-se que as análises qualitativas apresentaram uma boa resposta.
Vieira (2019)	Foi feita a simulação da propagação da onda de cheia decorrente da ruptura hipotética da barragem de Santa Helena na Bahia com auxílio do modelo hidrodinâmico HEC-RAS, em versão bidimensional, por meio das equações de Saint-Venant.	Foi confirmado que em regimes de escoamento supercríticos é mais provável que o indivíduo deslize e que nos subcríticos que o indivíduo tombe. Além disso, notou-se que a inclusão de alguns parâmetros nas formulações de instabilidade do corpo humano, como a força de empuxo e o ângulo referente à capacidade adaptativa do corpo humano em

Autores	Metodologia	Conclusão
		inundações, influenciam na definição das zonas de risco.
Neves-Silva e Helles (2020)	Revisão bibliográfica.	A fragilidade das leis ambientais e de regulamentação das ações das empresas de mineração, no Brasil, dificulta a punição dos responsáveis e permite que outras tragédias como essa ocorram. Os maiores prejudicados com tais eventos são as populações em condições de maior vulnerabilidade, que sofrem com a falta de acesso a políticas públicas e recursos econômicos, sociais e culturais, que geram melhoria da qualidade de vida.
Rezende e Silva (2019)	Utilizou-se do método hipotético-dedutivo com a apreciação da legislação específica, doutrinas, jurisprudência e demais fontes científicas.	A atividade mineral é vital para a economia e sociedade brasileira, embora seja ambientalmente degradante. É crucial adotar práticas mais sustentáveis na exploração mineral para minimizar danos ambientais e garantir benefícios para as futuras gerações, algo ainda não priorizado pelas mineradoras, que frequentemente privilegiam o lucro imediato em detrimento da segurança e preservação ambiental.
Freitas et al. (2019)	Revisão bibliográfica.	Os rompimentos frequentes de barragens no Brasil expõem a falha no sistema de prevenção e controle de riscos, impactando negativamente tanto trabalhadores quanto comunidades. É necessário implementar mudanças profundas no modelo de desenvolvimento, fortalecendo a fiscalização, ampliando a participação social e garantindo planos de emergência eficazes para prevenir futuras tragédias e promover a recuperação ambiental e social nas áreas afetadas.
De Freitas, Barcelos e Mororó (2021)	Revisão bibliográfica.	A tragédia de Brumadinho poderia ter sido evitada com uma aplicação mais rigorosa das normas ambientais e responsabilidade das empresas mineradoras, incluindo a certificação ISO e fiscalização efetiva pelos governos. É evidente que as lições dos rompimentos anteriores não foram aprendidas adequadamente, pois medidas básicas de segurança, como a localização das sirenes, não foram implementadas de forma criteriosa.

Fonte: Elaboração própria

4.2 Análise da legislação e normas técnicas

Conforme indicado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em 2017, a Portaria número 70.389, datada de 17 de maio de 2017, estabelece os procedimentos e

normativas que devem ser seguidos pelos empreendimentos na elaboração do plano de emergência para a construção de barragens. Esse direcionamento está alinhado com o que é enfatizado na Resolução 144, de 10 de julho de 2012, emitida pelo Ministério do Meio Ambiente, a qual delinea diretrizes para a implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens e a aplicação de seus instrumentos, em consonância com o artigo 20 da Lei número 12.334, de 20 de setembro de 2010, que modificou o artigo 35 da Lei número 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 2012).

Essa citação da Resolução 144, de 10 de julho de 2012, destaca a abordagem que guiará a atuação da Política Nacional de Segurança, com o propósito de garantir a segurança das barragens instaladas em território nacional. Paralelamente a essas portarias e resoluções, é estabelecido que qualquer descumprimento das disposições legais estabelecidas pela Lei número 12.334 de 2010, por parte de uma empresa, resultará em sanções previstas tanto na legislação mineral quanto nas esferas administrativa, civil e penal. Essas sanções são regidas também pela Lei de Crimes Ambientais, a Lei número 9.605 de 1998, que determina as penalidades penais e administrativas decorrentes da prática de condutas lesivas ao meio ambiente.

É de suma importância uma definição clara do conceito de Plano de Ação de Emergência (PAE) para seu aprimoramento, uma vez que isso possibilita estabelecer sua abrangência necessária. Por ser um instrumento intrinsecamente ligado à atividade de proteção e defesa civil, é crucial compreender e delimitar o escopo do PAE, evitando assim que os planos de ação incorporem responsabilidades que ultrapassem seus objetivos. A clara delimitação do propósito e das responsabilidades atribuídas ao PAE é fundamental para garantir sua eficácia na gestão de emergências relacionadas a barragens e para assegurar que as ações planejadas sejam direcionadas de forma adequada e focada na mitigação dos riscos e na proteção das comunidades afetadas (PEREIRA; FIRME; COTTA, 2021).

O PAE, concebido para orientar as respostas a situações emergenciais, ocasionalmente é confundido com o Plano de Contingência Municipal (Plancon). Este último, um plano prévio elaborado para orientar as medidas de preparação e resposta diante de um cenário de risco específico, caso o evento adverso se materialize, leva à discussão constante sobre os limites e a extensão do PAE e do Plancon. Em alguns casos, o PAE tem sido interpretado como um instrumento destinado também a mitigar os possíveis impactos de acidentes e desastres. Assim, compreender o conceito e a aplicação do PAE é essencial antes de avaliar sua eficácia e efetividade (PEREIRA; FIRME; COTTA, 2021).

Em 2015, a Agência Nacional de Águas (ANA) disponibilizou a versão preliminar do Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência, um recurso que oferece os requisitos mínimos para a elaboração de um PAE (ANA, 2015). O PAE é um documento formal que estipula as medidas a serem tomadas em caso de situações emergenciais, delineando também os responsáveis por essas ações e os agentes a serem comunicados sobre a ocorrência. Conforme estabelecido no artigo 12º da Lei nº 12.334/2010 (Brasil, 2010), o PAE deve conter, no mínimo: i) uma análise das potenciais situações emergenciais; ii) protocolos para detecção e notificação de mau funcionamento ou condições que indiquem uma possível ruptura da barragem; iii) medidas preventivas e corretivas a serem adotadas em situações de emergência, com a especificação do responsável por cada ação; e iv) estratégias e meios de divulgação e alerta para as comunidades que possam ser afetadas em caso de emergência.

Além disso, o PAE estabelece a Zona de Autossalvamento (ZAS), definida como a área a jusante da barragem onde não se prevê tempo suficiente para intervenção das autoridades competentes em caso de acidente. O documento estipula que a ZAS deve ser delimitada a uma distância que corresponda à menor entre 10 km ou ao tempo necessário para que a onda de inundação atinja a área em trinta minutos. Essa definição visa garantir que as comunidades potencialmente afetadas estejam cientes dos procedimentos de segurança necessários em caso de emergência e possam tomar medidas de proteção adequadas dentro do prazo disponível. A disponibilidade do Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência representa um avanço significativo na padronização e na eficácia dos PAEs em todo o território nacional, fortalecendo assim a capacidade de resposta a incidentes em barragens e reduzindo os potenciais impactos socioambientais decorrentes desses eventos.

4.3 Princípios e práticas da segurança em barragens

O aspecto temporal representa um dos principais desafios enfrentados pelo Plano de Ação de Emergência (PAE), uma vez que uma resposta rápida, eficaz e bem organizada é crucial para alcançar os objetivos estabelecidos. Dentro desse contexto, o PAE procura estabelecer previamente um conjunto de procedimentos a serem executados pelos diversos participantes envolvidos em situações de emergência, bem como identificar a infraestrutura necessária, com o intuito de mitigar a probabilidade e os impactos associados a acidentes sociais, ambientais e econômicos. Em casos inevitáveis de acidentes ou eventos críticos, o objetivo é minimizar suas consequências, especialmente visando evitar perdas humanas (VIANNA, 2015).

Uma abordagem comum é a elaboração de dois PAEs distintos, embora integrados: um interno, conhecido como Plano de Emergência da Barragem, focado em aspectos como detecção, avaliação e classificação de ocorrências excepcionais, notificação, definição de responsabilidades, planejamento de ações e mapeamento de áreas de risco a jusante, sendo a responsabilidade atribuída ao proprietário da barragem. Por outro lado, há um plano externo, o Plano de Emergência Externo do município, que se concentra mais na prontidão, alerta à população e processos de evacuação, cujas ações são coordenadas pelas autoridades locais. Análises de acidentes anteriores destacam que a existência de um alerta prévio ao rompimento de uma barragem resulta em uma redução significativa no número de vítimas, ressaltando a importância da prontidão e da coordenação eficaz das ações de emergência (VIANNA, 2015).

Esse modelo é adotado em países como Portugal e Suíça. Nos Estados Unidos, também se considera, na elaboração dos Planos de Ação de Emergência (PAEs), a possibilidade de ataques terroristas, sendo que tais planos incluem a divulgação de informações e o treinamento das equipes. A ausência de um plano de emergência pode comprometer o planejamento da construção e levar ao seu embargo (VIEIRA, 2019).

Segundo Vianna (2015), a primeira etapa da análise consiste na identificação dos fatores de risco associados à barragem, um processo qualitativo que busca caracterizar os eventos e condições que podem levar à sua ruptura. Essa fase visa responder à pergunta: "Quais são os possíveis eventos que podem causar a ruptura?". Em seguida, determinar a probabilidade de ocorrência desses eventos é crucial, buscando responder à pergunta: "Quão prováveis são os diferentes modos de ruptura?".

É importante notar que a análise do risco no vale a jusante pode ser conduzida de forma independente da análise do risco associado à barragem. Essa análise visa avaliar as consequências potenciais da ruptura, respondendo à pergunta: "Quais seriam os impactos em caso de ruptura (avaliação de danos e consequências)?". É fundamental reconhecer que, mesmo as consequências, estão sujeitas a incertezas e probabilidades de ocorrência. Uma avaliação completa do risco requer a clara resposta a essas três questões, permitindo a estimativa de uma medida quantitativa do risco efetivo (VIANNA, 2015).

O PAE também deve abranger medidas para identificação de situações de emergência, com descrições detalhadas do comportamento das ondas de cheia, incluindo alcance e tempos de chegada resultantes da operação. Além disso, é necessário estabelecer procedimentos preventivos e corretivos, bem como sistemas de alerta para a população. A legislação brasileira

referente aos PAEs está alinhada com padrões internacionais, exigindo estratégias, ações e procedimentos baseados em estudos de diversos cenários de emergência. No entanto, ainda apresenta lacunas, pois não estabelece mecanismos adequados para o controle efetivo dessas medidas, possivelmente dependendo da boa-fé do empreendedor (VIEIRA, 2019).

A implementação de PAE em barragens desempenha um papel crucial na mitigação dos impactos socioambientais decorrentes de falhas ou incidentes. Esses planos constituem um conjunto de diretrizes e procedimentos previamente estabelecidos para orientar as ações a serem tomadas em situações de emergência, visando minimizar danos às comunidades circunvizinhas, ao meio ambiente e aos recursos naturais. Um dos principais benefícios da implementação de PAEs é a capacidade de resposta rápida e coordenada em caso de eventos adversos, permitindo a adoção de medidas de proteção e evacuação de forma eficiente.

Além disso, os PAEs incluem estratégias para a comunicação eficaz com as autoridades competentes, as comunidades afetadas e outros stakeholders relevantes. A comunicação transparente e oportuna desempenha um papel fundamental na gestão de crises, fornecendo informações claras sobre os riscos e orientações sobre as medidas a serem tomadas para garantir a segurança e o bem-estar das pessoas e do meio ambiente. Dessa forma, os PAEs contribuem para a construção de confiança e credibilidade junto à comunidade local, facilitando uma resposta coordenada e colaborativa em momentos de crise.

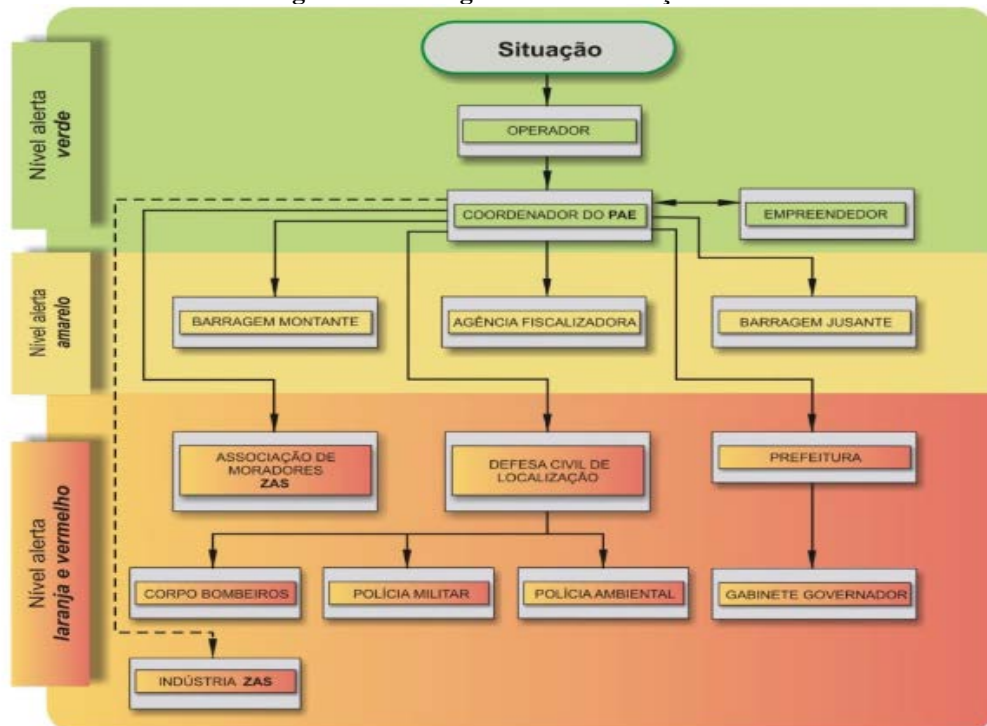
Além de abordar aspectos operacionais e logísticos, os PAEs também contemplam estratégias de recuperação e reabilitação pós-desastre. Essas estratégias visam mitigar os danos ambientais causados pelo incidente, restaurar os ecossistemas afetados e promover a recuperação socioeconômica das comunidades atingidas. Ao integrar ações de curto, médio e longo prazo, os PAEs fornecem uma estrutura abrangente para a gestão de crises, permitindo uma abordagem holística e sustentável para lidar com os impactos socioambientais das falhas em barragens.

Outro aspecto importante dos PAEs é a sua capacidade de promover a prevenção e a redução de riscos, por meio da identificação antecipada de vulnerabilidades e da implementação de medidas preventivas adequadas. Ao analisar cenários de risco e desenvolver estratégias de resposta apropriadas, os PAEs ajudam a antecipar potenciais problemas e a minimizar a probabilidade de ocorrência de desastres. Isso contribui para a construção de uma cultura de segurança e resiliência, fortalecendo a capacidade das comunidades e das instituições locais para enfrentar ameaças e crises futuras.

A implementação eficaz de Planos de Ação de Emergência em barragens é essencial para mitigar os impactos socioambientais de falhas ou incidentes. Esses planos fornecem uma estrutura organizada e abrangente para responder a crises, facilitando a coordenação entre diferentes partes interessadas e promovendo uma abordagem integrada para a gestão de riscos e desastres. Ao adotar uma perspectiva proativa e preventiva, os PAEs contribuem para fortalecer a resiliência das comunidades e dos ecossistemas, garantindo uma resposta eficaz e sustentável em situações de emergência.

No Plano de Ação de Emergência (PAE), é necessário incluir uma relação de indivíduos e organizações a serem comunicados em situações de emergência, juntamente com uma descrição dos sistemas de alerta a serem empregados. A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) também especifica uma lista de medidas esperadas para cada nível de resposta. Para o Nível Verde, é necessário monitorar a situação, implementar ações preventivas e corretivas, e notificar os recursos humanos da barragem e o empreendedor. No Nível Amarelo, além das ações do Nível Verde, é crucial notificar os recursos humanos na barragem, monitorar continuamente a situação e verificar a operacionalidade dos meios, entre outras medidas. Para o Nível Laranja, são esperadas as mesmas ações do Nível Amarelo, além do acionamento do sinal de alerta à população na zona de autossalvamento. No Nível Vermelho, quando a ruptura é iminente, as principais ações incluem acionar o sistema de alerta à população na ZAS e implementar as medidas de mitigação planejadas. O PAE também requer um fluxograma de notificações (Figura 2), iniciado no nível 3 (alerta) e continuado conforme necessário, até o nível 4 (emergência).

Figura 2 - Fluxograma de notificações



Fonte: PNSB (2018)

4.4 Exemplos de falhas em barragens e respectivos impactos socioambientais.

No Brasil, é comum que o monitoramento das barragens seja realizado pelas próprias empresas responsáveis, muitas vezes justificado como uma medida para redução de custos. Esse autogerenciamento ocorre sem a supervisão adequada por parte do Estado, o que representa um risco significativo para a saúde pública e o meio ambiente. Em Minas Gerais, estado onde ocorreram dois dos maiores desastres ambientais do mundo, houve alterações na legislação ambiental recentemente, o que resultou em uma redução na fiscalização das empresas mineradoras por parte das autoridades governamentais. No país, existem atualmente 769 barragens de mineração, e os desastres ocorridos nos municípios de Mariana e Brumadinho foram causados pelo rompimento de barragens classificadas como de baixo risco. Em ambos os casos, os planos de emergência e os sistemas de alerta e alarme apresentavam deficiências significativas ou eram praticamente inexistentes (NEVES-SILVA; HELLER, 2020).

A ausência de uma comunicação eficaz sobre o rompimento e a evacuação necessária foi um dos fatores que agravaram a tragédia da Samarco, resultando em um aumento no número de mortes. Em Mariana/MG, a falha no processo de comunicação de crise foi evidenciada, pois os planos de Ação Emergencial (PAE) da empresa mineradora não incluíam estratégias para alertar as comunidades potencialmente afetadas em caso de emergência decorrente de um

rompimento, o que estava em desacordo com as regulamentações nacionais (REZENDE; SILVA, 2019).

A mineradora Samarco enfrentou exigências do órgão ambiental para implementar sistemas de alerta como parte das condições para obter licenciamento, no entanto, continuou suas operações sem cumprir essa determinação. Embora a empresa tenha afirmado ter um plano de monitoramento contínuo para sua barragem e um Plano de Ação de Emergência (PAE), incluindo simulações com trabalhadores e comunidades, o Ministério Público Federal (MPF) argumenta que o PAE não foi efetivamente aplicado no dia do desastre. De acordo com o MPF, o plano foi considerado ineficaz e burocrático, prevendo apenas o uso de telefones para relatar incidentes na barragem, em uma área com sinal de celular limitado (FREITAS et al., 2019).

A empresa não tinha dispositivos simples de alerta, como sirenes ou luzes, nem outros meios eficazes de comunicação de emergência para funcionários, terceirizados e comunidades afetadas. Além disso, não foi oferecido treinamento adequado para orientar as pessoas sobre como agir em situações de emergência. A ação rápida e solidária de trabalhadores e residentes locais ajudou a evitar um número ainda maior de mortes, pois não houve alertas oficiais à população, mesmo em comunidades distantes da barragem, como Barra Longa, onde a lama demorou mais de 10 horas para chegar após o rompimento (FREITAS et al., 2019).

Em Brumadinho, ficou evidente a percepção dos riscos associados ao potencial rompimento da barragem, conforme ilustrado pelo Plano de Emergência elaborado pela empresa, que antecipou várias possíveis consequências caso a estrutura, construída em 1976, viesse a falhar. Este plano incluiu estimativas de vítimas fatais e cálculos de compensações financeiras a serem pagas. Apesar de esta estrutura datar da época da Ferteco S.A, empresa anterior responsável pela exploração da jazida de minério de ferro do Córrego do Feijão, e de estar desativada há três anos, o risco de ruptura sempre foi presente, contudo, aparentemente, pouco foi feito para mitigá-lo de forma eficaz (DE FREITAS; BARCELOS; MORORÓ, 2021).

Desde 2015, a barragem do Córrego do Feijão não estava mais em operação devido à sua saturação e à necessidade de novas estruturas. No final de 2018, após obter a licença ambiental emitida pelo governo de Minas Gerais, a empresa retomou o processo de expansão das atividades do complexo Paraopeba, que incluía a área da mina do Córrego do Feijão. No entanto, estas ações foram em desacordo com as normas básicas de preservação ambiental, resultando em perdas de vidas humanas significativas e impondo custos ambientais elevados às atuais e futuras gerações (DE FREITAS; BARCELOS; MORORÓ, 2021).

A Vale, em Brumadinho, tinha um Plano de Ação de Emergência (PAE) formalizado e afirmou ter realizado um simulado de emergência em junho de 2018 com a comunidade e

órgãos de segurança pública, coordenado pelas defesas civis locais. De acordo com o PAE, em caso de emergência, o coordenador do plano deveria informar o Centro de Controle de Emergência e Comunicação (CECOM) da empresa, que ativaria as seis sirenes instaladas nas comunidades circunvizinhas. Os residentes, ao ouvirem o som das sirenes, deveriam se dirigir aos pontos de encontro pré-determinados (FREITAS et al., 2019).

No entanto, no dia do rompimento da barragem em Brumadinho, Minas Gerais, as sirenes de alerta na mina Córrego do Feijão não foram acionadas. A empresa justificou que isso ocorreu devido à rapidez do evento, afirmando que a sirene foi danificada pela ruptura da barragem antes que pudesse ser ativada. Além disso, o comando para acionar o CECOM também falhou, pois pelo menos um dos funcionários responsáveis por repassar a informação morreu no acidente. Muitos moradores questionaram a falta de informações precisas sobre os locais seguros em caso de rompimento. Além das falhas mencionadas, foi constatado que a lista de contatos telefônicos das autoridades a serem notificadas em caso de emergência estava desatualizada, e mesmo os poucos contatos atualizados não foram acionados no dia do desastre (FREITAS et al., 2019).

A otimização dos Planos de Ação de Emergência (PAEs) em barragens é um tema de suma importância no contexto da segurança e gestão de riscos. Uma abordagem eficaz para aprimorar esses processos envolve o desenvolvimento de diretrizes mais abrangentes e detalhadas para sua elaboração e implementação. Isso implica na inclusão de análises de riscos mais abrangentes, levando em consideração não apenas os cenários de emergência mais prováveis, mas também aqueles considerados mais remotos, porém de alto impacto. Essa ampliação do escopo de análise permite uma visão mais abrangente dos potenciais riscos associados às barragens, possibilitando a adoção de medidas preventivas e corretivas mais eficazes. Além disso, é essencial promover uma maior participação e engajamento das partes interessadas, incluindo comunidades locais, autoridades reguladoras, especialistas em segurança e meio ambiente, para garantir uma compreensão completa dos riscos e das medidas de resposta necessárias.

Outra melhoria importante seria o investimento em capacitação e treinamento contínuo para as equipes responsáveis pela implementação dos PAEs. Isso inclui a realização de exercícios de simulação de emergência regulares, que envolvam não apenas os funcionários da empresa, mas também as comunidades locais afetadas. Além disso, é crucial garantir a disponibilidade e acessibilidade de recursos necessários para a execução eficaz dos planos, como equipamentos de comunicação de emergência, sistemas de alerta e evacuação, bem como infraestrutura de apoio.

CONCLUSÃO

A implementação e execução efetivas dos Planos de Ação de Emergência (PAEs) revelam-se desafiadoras, mesmo diante das regulamentações estabelecidas. Um dos principais obstáculos identificados é a necessidade de uma maior integração entre os diversos atores envolvidos no processo. Isso inclui não apenas os empreendedores e as autoridades reguladoras, mas também as comunidades locais afetadas e os especialistas em segurança e meio ambiente. Uma abordagem colaborativa e multidisciplinar é essencial para assegurar que os PAEs sejam não apenas eficazes, mas também adequados às características específicas de cada barragem e sua área de influência. Essa integração pode facilitar a identificação de lacunas e desafios existentes, bem como promover soluções mais abrangentes e sustentáveis para a gestão de riscos em barragens.

A complexidade envolvida na implementação dos PAEs é acentuada pela diversidade de interesses e perspectivas das diferentes partes interessadas. Enquanto os empreendedores têm preocupações com a viabilidade econômica e operacional das barragens, as autoridades reguladoras buscam garantir a conformidade com as normas de segurança e meio ambiente. Por outro lado, as comunidades locais estão mais preocupadas com os potenciais impactos socioambientais e a segurança de suas próprias vidas e meios de subsistência. Integrar essas diferentes perspectivas requer um esforço conjunto e contínuo de diálogo, negociação e cooperação entre todas as partes interessadas.

Além disso, a eficácia dos PAEs também pode ser comprometida pela falta de recursos financeiros, técnicos e humanos. Muitas vezes, as barragens enfrentam restrições orçamentárias e limitações de capacidade técnica para desenvolver e implementar adequadamente os planos de emergência. Nesse sentido, é fundamental que haja um apoio governamental e investimentos adequados para fortalecer as capacidades locais de resposta a emergências e garantir a disponibilidade de recursos necessários para a execução eficaz dos PAEs.

Sugere-se que sejam realizados estudos mais abrangentes e detalhados sobre os impactos socioambientais de falhas em barragens, a fim de melhor compreender os mecanismos subjacentes e identificar estratégias de prevenção e mitigação mais eficazes. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de monitoramento e alerta precoce também são essenciais para fortalecer a capacidade de resposta a emergências.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de avaliações periódicas da eficácia dos PAEs implementados, bem como a atualização constante das práticas e regulamentações em consonância com os avanços científicos e tecnológicos. É fundamental promover uma maior conscientização pública sobre os riscos associados às barragens e as medidas de segurança adotadas, visando aumentar a resiliência das comunidades afetadas e fortalecer a participação social na gestão de riscos.

REFERÊNCIAS

ABNT. **ISO 31.000**. Gestão de Riscos: Princípios e Diretrizes, 2019.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens** – Manual de Empreendedores – TOMO I – Guia de Orientação de Formulários dos Planos de Ação de Emergência – Relatório Final – Brasília, ANA, 2015, 286p.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Portaria N° 149, de 26 de Março de 2015** - Lista de Termos para o Thesaurus de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas. 43p. Brasília: ANA. 2015.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Relatório de segurança de barragens 2015**. 186p. Brasília: ANA. 2015.

ARAUJO, Franknelli; CRUZ, Claudinei Oliveira. Avaliação da maturidade na gestão de segurança de barragens de rejeitos. **HOLOS**, v. 6, 2022.

BRASIL. Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. In: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis –IBAMA. Minas Gerais, 2015. Disponível em:

<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/laudo_tecnico_preliminar.pdf>.

BRASIL. **Lei Federal nº 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 9433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei 9984, de 17 de julho de 2000.

BRASIL. **RESOLUÇÃO N° 144, DE 10 DE JULHO DE 2012**. Disponível em:<https://sistemas.anm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7234#:~:text=JULHO%20DE%202012-

[.Estabelece%20diretrizes%20para%20implementa%C3%A7%C3%A3o%20da%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de%20Seguran%C3%A7a%20de,Barragens%2C%20em%20atendimento%20ao%20art](https://sistemas.anm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7234#:~:text=JULHO%20DE%202012-.Estabelece%20diretrizes%20para%20implementa%C3%A7%C3%A3o%20da%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de%20Seguran%C3%A7a%20de,Barragens%2C%20em%20atendimento%20ao%20art)>.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 357**. Diário

Oficial da União de 17 de março de 2005. 2005.

DA SILVA, Sandro José. O povo indígena tupinikim no contexto do desastre ambiental no rio doce. **Revista Psicologia Política**, v. 19, n. 1, p. 29-43, 2019.

DE FREITAS MOTA, Loyslene; BARCELOS, Tiago Soares; MORORÓ, André Jorge. O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DA VALE SA EM BRUMADINHO/MG: A ENGENHARIA DO DESCASO. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 239-253, 2021.

DIAS, et al. Impactos do rompimento da barragem de Mariana na qualidade da água do rio Doce. v. 7, n. 1, **Revista Espinhaço**, 2018. p. 21-35.

DIAZ, Y. et al. **A responsabilidade civil do estado de Minas Gerais devido ao rompimento da barragem de Fundão e suas repercussões na fauna ictiológica**. 2018.

DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - GUIA SOBRE PLANOS DE SEGURANÇA DE BARRAGENS. 2017.

DOS REIS, Deyse Almeida; ROESER, Hubert Mathias Peter; DA FONSECA SANTIAGO, Aníbal. Impacto ambiental nos sedimentos do tributário do Rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e01921895-e01921895, 2020.

FREITAS, Carlos Machado de; SILVA, Mariano Andrade da; MENEZES, Fernanda Carvalho de. O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 3, p. 25-30, 2016.

FREITAS, Carlos Machado et al. Acidentes de trabalho que se tornam desastres: os casos dos rompimentos em barragens de mineração no Brasil. 2019.

G1. O que se sabe até agora sobre o rompimento da barragem em Brumadinho. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/25/veja-o-que-se-sabe-ate-agora-sobre-o-rompimento-da-barragem-da-vale-em-brumadinho.ghtml>>.

G1. **Plano de emergência da Samarco previa lama só em Bento Rodrigues**. 19/12/2015 20h53 - Atualizado em 20/12/2015. Disponível em: <<https://g1.globo.com/minas-gerais/desastre-ambiental-em-mariana/noticia/2015/12/plano-de-emergencia-da-samarco-previa-lama-so-em-bento-rodrigues.html>>.

GIL, Antônio Carlos. Como classificar as pesquisas. **Como elaborar projetos de pesquisa**, v. 4, n. 1, p. 44-45, 2002.

LEITE, Sérgio Ribeiro. **Modelo para Avaliação de Riscos em Segurança de Barragens com associação de métodos de análise de decisão multicritério e Conjuntos Fuzzy**. 2020.

LOPES, Luciano Motta Nunes. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. **Sinapse Múltipla**, v. 5, n. 1, p. 1-14, 2016.

MAGRIS, R.A.; MARTA-ALMEIDA, M.; MONTEIRO, J.A.; BAN, N.C. A modelling approach to assess the impact of land mining on marine biodiversity: Assessment in coastal catchments experiencing catastrophic events (SW Brazil). **Science of The Total Environment**, n. 659, 2019. p. 828-840.

MENDES, DANIELLY CORDEIRO et al. Análise dos impactos gerados na qualidade da água e na saúde da população após o rompimento da barragem de Fundão em Mariana-MG. **FECITEC CAPARAÓ**, p. 14. 2020.

NEIVERTH, Cristhiane Anete; DEDECEK, Renato Antônio; CURCIO, Gustavo Ribas. Estudo da lixiviação de fósforo em colunas de solos de subsuperfície de três pedossequências do Paraná. In: **Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. Ciência do solo: para quê e para quem: anais. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2013.

NEVES-SILVA, Priscila; HELLER, Léo. Rompimento da barragem em Brumadinho e o acesso à água das comunidades atingidas: um caso de direitos humanos. **Ciência e Cultura**, v. 72, n. 2, p. 47-50, 2020.

PEREIRA, Flávio Godinho; FIRME, Paulo Henrique Camargos; COTTA, João Paulo Vieira. Plano de Ação de Emergência de barragens de mineração: evolução, conceito e discussões. **Territorium**, n. 28 (I), p. 53-66, 2021.

PINHEIRO, Ana Filipa Teixeira. **Contaminação de água de abastecimento público com arsênio: implicações para a saúde pública**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra.

PoEMAS. **Antes fosse mais leve a carga: avaliação dos aspectos econômicos, políticos e sociais do desastre da Samarco/Vale/BHP em Mariana (MG)**. Mimeo. 2015. Disponível em: <<http://www.epsjv.fiocruz.br/sites/default/files/documentos/pagina/poemas-2015-antes-fosse-mais-leve-a-carga-versao-final.pdf>>. Acesso em: 11 maio 2022.

REZENDE, Elcio; SILVA, Victor Vartuli Cordeiro. De Mariana a Brumadinho: a efetividade da responsabilidade civil ambiental para a adoção das medidas de evacuação. **Revista do Direito**, v. 1, n. 57, p. 160-181, 2019.

SILVA, Luiz Claudio et al. **Avaliação de risco de acidentes em barragens de contenção de água: uma contribuição para a gestão de segurança de barragens no Brasil**. 2023.

SNISB. **Sistema Nacional de Informações Sobre Segurança de Barragens**. Brasília: SNISB, 2010.

SYLVIO, Alexandre; CALIMAN BRAVIM, Tamila; VASCONCELLOS, Clara Diniz. Análise das alterações dos parâmetros de qualidade da água do Rio Do Carmo, afluente do rio doce, após rompimento da barragem de fundão, em Mariana-MG. **Holos Environment**, v. 18, n. 2, p. 160-176, 2018.

TOLEDO, Beatriz; MANZINI, Flávio Fernando; LIMA, Marcelo de Freitas. Considerações sobre a concentração de manganês nas águas de abastecimento público da cidade de São José do Rio Preto (SP). **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 14, n. 2, 2018.

VIANNA, Luiz Filipe Venturi. **Metodologias de análise de risco aplicadas em planos de ação de emergência de barragens**: auxílio ao processo de tomada de decisão. 2015.

VIEIRA, Luan Marcos da Silva. **Análise dos mecanismos físicos de instabilidade de corpo humano para definição de zonas de risco constante no plano de ações emergenciais de barragens**: estudo de caso Barragem de Santa Helena–BA. 2019.