



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Curso de Especialização em Construção Civil

Júnia Lorena Olinda Campos

A EXTINÇÃO DAS BARRAGENS A MONTANTE NO BRASIL

Belo Horizonte

Agosto/2021

JÚNIA LORENNALINDA CAMPOS

A EXTINÇÃO DAS BARRAGENS A MONTANTE NO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Especialização em Gestão e Tecnologia da Construção Civil, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Aldo Giuntini de Magalhães

Belo Horizonte

Agosto/2021

C198e	<p>Campos, Júnia Lorena Olinda. A extinção das barragens a montante no Brasil [recurso eletrônico] / Júnia Lorena Olinda Campos.- 2021. 1 recurso online (33 f. : il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: Aldo Giuntini de Magalhães.</p> <p>Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Gestão e Tecnologia na Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG.</p> <p>Bibliografia: f. 31-33. Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p> <p>1. Construção civil. 2. Barragens de rejeitos. 3. Desastres ambientais. I. Magalhães, Aldo Giuntini de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 69</p>
-------	--



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: JÚNIA LORENNIA OLINDA CAMPOS

MATRÍCULA: 2020690335

RESULTADO

Às 24 dias do mês de agosto de 2021 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

"A EXTINÇÃO DAS BARRAGENS A MONTANTE NO BRASIL"

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 9,0

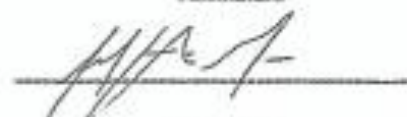
CONCEITO: A

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Prof. Dr. Aldo Giuntini de Magalhães

Assinatura



Nome

Prof. Dr. Sídney Eliane Campos Ribeiro

Assinatura



O candidato fez jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL."

Belo Horizonte, 24 de agosto de 2021

Antonio Neves de
Carvalho
Junior: 78724104604

Assinatura feita digital por
Antonio Neves de Carvalho
Junior: 78724104604
Data: 28/10/21 10:02:13
CPF

Coordenador do Curso

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos, namorado e amigos. Que me apoiaram e deram forças para concluir com excelência mais essa conquista!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me abençoar com muita sabedoria, disciplina e determinação.

Aos meus pais Márcio e Andréa, pelo suporte e carinho incondicionais que me movem e motivam dia após dia.

Aos meus irmãos Bruna e Márcio Júnior e meu cunhado Pedro, pelo apoio e incentivo que me fazem acreditar na minha capacidade.

Ao meu namorado Rafael, pelo amor e companheirismo que me dão força e coragem para seguir com meus objetivos.

Ao Professor Doutor Aldo Magalhães e a todos os professores do curso, pela orientação e ensino.

A toda equipe da UFMG, que me acolheram e confiaram a responsabilidade de ser representante da minha turma.

“Livra-se das imposições do eu ideal, mas também não se limite às proporções do eu reduzido. Exerça-se responsabilmente com suas possibilidades e limites, buscando o máximo de si. Mas quando o limite prevalecer, recorde-se, quem nos mantêm vivos não são os resultados, mas a busca.”

(Pe. Fábio de Melo)

RESUMO

O presente trabalho tem como finalidade fazer uma análise das causas que levaram as barragens à montante não serem mais permitidas no Brasil. 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 observando-se as grandes tragédias advindas da ruptura de barragens de rejeitos, ocasionando desastres ambientais nunca vistos antes, associados a inúmeras perdas de vidas humanas. Os acidentes de grande impacto desde 2001, ocorreram em barragens de contenção de rejeitos de minério situadas em Minas Gerais. 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.

Palavras-chave: Barragem; Rejeitos; Montante; Desastres ambientais; Mineração.

ABSTRACT

The present work aims to analyze the causes that led upstream dams to no longer be allowed in Brazil. Tailings dams are intended to contain waste from mining, being built with the material itself by means of heightening. The risk of using this constructive method is evident by observing the great tragedies resulting from the rupture of tailings dams, causing environmental disasters never seen before, associated with countless losses of human lives. The major impact accidents since 2001 have occurred in ore tailings containment dams located in Minas Gerais. Mining is essential for economic development in Brazil, but in addition to the impacts caused by the rupture of dams, it causes irreparable damage resulting from mineral exploration.

Keywords: Dam; Waste; Upstream; Environmental disasters; Mining.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ANM - Agência Nacional de Mineração

FNMA - Fundo Nacional do Meio Ambiente

MME - Ministério de Minas e Energia

NA - Nível d' água

PAE - Plano de Ação emergencial

PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

ZAS - Zona de autossalvamento

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sentido da execução da barragem à montante.

Figura 2 - Método construtivo de montante.

Figura 3 - O exato momento do rompimento da B1.

Figura 4 - Caminho da lama.

Figura 5 - Liquefação no rejeito.

Figura 6 - Liquefação no dique.

Figura 7 - Destruição ao Meio Ambiente - Rompimento B1.

Figura 8 - Municípios atingidos pela lama.

Figura 9 - Valores máximos alcançados por metais pesados acima do permitido.

Figura 10 - Vista aérea da Barragem B6 antes do rompimento da B1.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Considerações Iniciais.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Riscos e rompimentos.....	13
2.2 Histórico de barragens rompidas.....	13
2.3 Características da Barragem à montante.....	14
2.4 Descaracterização e descomissionamento.....	16
3 METODOLOGIA.....	17
3.1 Coleta de dados.....	17
3.2 Método de pesquisa.....	17
4 SEGURANÇA DE BARRAGEM.....	18
4.1 Proibição da Barragem a Montante.....	18
4.2 Resolução nº13, 8 de agosto/2019.....	18
4.3 Penalidades ao descumprir a lei 14.066.....	19
5 ESTUDO DE CASO.....	20
5.1 Barragem B1 - Brumadinho/MG.....	20
5.2 Gatilhos do rompimento.....	22
5.3 Laudo.....	23
5.4. Consequências.....	24
5.4.1 Impactos sociais.....	24
5.4.2 Impactos ambientais.....	25
5.4.3 Impactos econômicos.....	27
5.5. Soluções emergenciais.....	28
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

Nos últimos anos, observou-se que diversas empresas têm buscado melhores práticas de engenharia sustentável, fazendo com que haja recuperação e nova destinação às substâncias dispostas nos rejeitos de mineração, objetivando sobretudo eliminar de forma eficaz os riscos de rompimento de barragens. Devido a ocorrência de tragédias relacionadas com o rompimento de barragens a montante, que causaram danos irreparáveis ao meio ambiente, na vida dos atingidos e seus familiares, economia e funcionamento das cidades locais, viu-se a necessidade de extinguir a metodologia construtiva desse tipo de barragem, pensando no futuro, na segurança da população e no meio ambiente.

A execução da barragem a montante consiste em se fazer degraus com o próprio rejeito à medida que vai aumentando o reservatório desse material, um sobre o outro, fornecendo assim, pouca segurança. Por esse motivo, foi detectada a necessidade de mudança na execução e em alguns casos usa-se reforçá-las como uma solução imediata e segura para retirá-las de situação de risco. Posteriormente serão descomissionadas ou até descaracterizadas, o que significa o encerramento definitivo da barragem, podendo ser esvaziadas ou reincorporadas ao meio ambiente.

Os Engenheiros e demais profissionais que atuam nessa área precisam estar cientes de qual é a falha nessa metodologia executiva, de como reparar e evitar mais tragédias pelo mesmo motivo. Existem outras maneiras de executar uma barragem de rejeitos de forma muito mais segura, dentre elas: Barragem a jusante, barragem central e seca. Podendo também fazer reprocessamento de rejeito, dando um destino diferente ao novo material gerado, como por exemplo: empilhamento de rejeito drenado.

O presente trabalho foi elaborado com o intuito de apresentar os fatos que levaram à proibição da barragem a montante, explicando as características dessa metodologia executiva, citando alguns casos de rompimento de barragem e por fim fazendo estudo de caso da barragem de Brumadinho, que rompeu em janeiro de 2019, deixando 270 mortos e uma cidade completamente perdida economicamente e emocionalmente. Portanto, este tema é abordado com o intuito de explicar de qual

pressuposto partiu a Agência Nacional de Mineração (ANM) em estar proibindo este método construtivo e exigindo que as barragens já existentes sejam descaracterizadas, devido ao risco que essas barragens oferecem à população e ao meio ambiente nas redondezas.

O método executivo de barragens de rejeito mais simples, econômico e inseguro existente é o tipo a montante, e ainda assim é um dos métodos mais utilizados no país até o momento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Riscos e rompimentos

Após tantos desastres causados por rompimentos de barragens à montante que então foi definido extinguir este método, adotando os mais seguros e de mesma eficácia.

As rupturas das barragens de Fundão em Mariana e de Feijão em Brumadinho, somadas a outras tantas rupturas de barragens de rejeitos de mineração ocorridas nas últimas décadas no Brasil e no mundo, não deixam dúvida: é imprescindível aposentar definitivamente o alteamento de barragens pelo método de montante – ou seja, a construção de novas etapas da barragem na parte interna do reservatório, sobre os rejeitos já depositados. (BOSCOV, 2019)

Para aposentar este método tem sido utilizado descaracterização e descomissionamento de barragens. Onde a barragem descaracterizada passa a ser uma estrutura que não recebe nem sustenta rejeitos e/ou sedimentos, deixando assim de exercer a função de barragem. A barragem que é descomissionada por sua vez, também para de receber rejeitos e é realizada uma transição para que isso a torne parte do meio ambiente.

2.2. Histórico de barragens rompidas

No Brasil, há cerca de 80 barragens deste tipo em todo o País. Segundo Jornal O Sul (2019), desde o ano 2000 existem casos de rompimento de barragens. Alguns foram mais marcantes que outros, sendo eles:

- Nova Lima - Minas Gerais, em 22 de junho de 2001 rompeu a Barragem dos Macacos de rejeito de minérios, pertencente à mineradora Rio Verde, deixando cinco mortos e 79 hectares de Mata Atlântica devastados. Cerca de 600 mil m³ de rejeitos atingiram o córrego Taquaras e 30 hectares de uma área de proteção ambiental na região no distrito de São Sebastião das Águas Claras;
- Cataguases - Minas Gerais, em 29 de março de 2003 a barragem de rejeitos industriais rompeu e contaminou o Rio Paraíba do Sul, causando mortes de animais e carência de energia para mais de 600 mil pessoas;
- Alagoa Nova - Minas Gerais, em 17 de junho de 2004 houve rompimento da Barragem de água Camará, localizada no Rio Riachão, provocando a morte de

- cinco pessoas e deixando cerca de 3 mil pessoas desabrigadas nas redondezas de Alagoa Nova, Areia, Mulungu e Alagoa Grande;
- Mirai - Minas Gerais, em 10 de janeiro de 2007, mais de 4 mil pessoas ficaram desabrigadas pois diques cederam e despejaram rejeitos de minério nas águas no Rio Muriaé, da mineradora Rio Pomba/Cataguases;
 - Vihena - Roraima, em 9 de janeiro de 2008 ocorreu o rompimento da barragem de água da usina hidrelétrica de Apertadinho, causando danos ambientais;
 - Buriti dos Lopes - Piauí, em 27 de maio de 2009 a Barragem de Algodões se rompeu com 50 milhões de metros cúbicos de água causando a morte de nove pessoas e deixando milhares desabrigadas;
 - Laranjal do Jari - Amapá, em 29 de março de 2014 uma barragem da hidrelétrica de Santo Antônio rompeu, deixando quatro operários mortos;
 - Itabirito - Minas Gerais, em 10 de setembro de 2014 barragem de minério da mineradora Herculano, matou três pessoas;
 - Mariana - Minas Gerais, em 5 de novembro de 2015 a maior tragédia ambiental da história brasileira. O rompimento da barragem da Samarco deixou 19 mortos e milhares de desabrigados, afetando todo o ecossistema da bacia do Rio Doce;
 - Brumadinho - Minas Gerais, em 25 de janeiro de 2019 ocorreu o rompimento da Barragem B1 da Mineradora Vale S.A com aproximadamente 13 milhões de toneladas de rejeito. Foi o maior acidente de trabalho do Brasil e o segundo maior desastre industrial do século, deixando 270 mortos

2.3. Características de barragem à montante

Conforme Araujo (2006), a técnica da barragem a montante é a mais econômica e antiga na construção de barragens. Ela consiste na construção de um dique de partida, de material argiloso, do próprio rejeito ou enrocamento compactado. Após isso, o rejeito é lançado a montante da linha de simetria do dique, o que forma a praia de deposição, que se tornará a fundação e fornecerá material para o próximo alteamento.

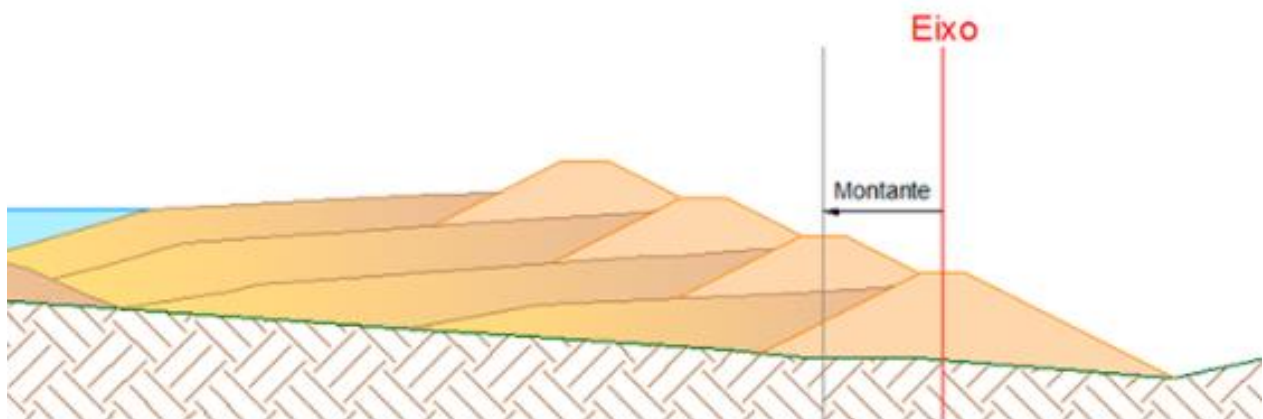
Boskov (2019) ainda reforça que o método a jusante vai subindo na parte externa, sobre o solo, sendo muito mais seguro. E que ainda com projetos seguros,

monitoramento contínuo, rupturas têm ocorrido nas barragens a montante, o que mostra que a engenharia ainda não entendeu o comportamento complexo das mesmas. Devem entender que elas não são confiáveis o bastante para garantir segurança mínima aceitável.

A Vale S.A (2019) descreve a barragem a montante, conforme evidenciado na Figura 1, da seguinte maneira:

O corpo da barragem é construído com o uso de rejeito através de alteamentos sucessivos sobre o próprio rejeito depositado. Os alteamentos são realizados no sentido contrário ao fluxo de água (montante). A barragem necessita de rejeito grosso para que o maciço possa ser construído. (VALE S.A, 2019)

Figura 1 - Sentido da execução da barragem à montante



Fonte: Vale S.A. 2019.

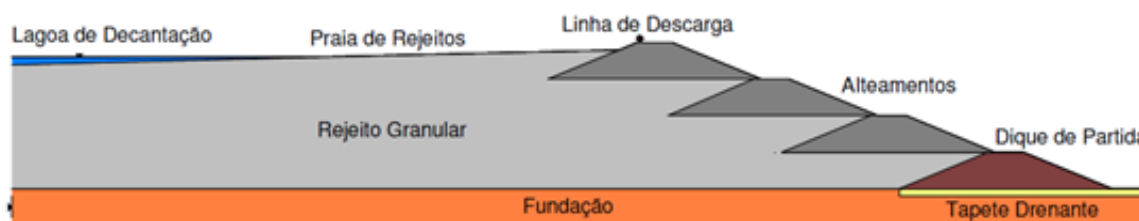
Exigi-se que o rejeito seja composto por um percentual de 40 a 60% de areia e densidade baixa de polpa para favorecer a segregação geométrica, permitindo que o material lançado possa servir de base para um novo alteamento (SOARES, 2010).

O agravante no caso da barragem a montante está ligado ao fato dos alteamentos serem realizados sobre materiais previamente depositados e não consolidados. Os controles utilizados nestes métodos eram de baixa qualidade, isso implicou em inúmeros fenômenos de ruptura (ICOLD, 1989 apud ALBUQUERQUE FILHO, 2004).

É importante ressaltar também que nesse método construtivo há uma enorme dificuldade na implantação de um sistema interno de drenagem, como demonstrado na Figura 2, fazendo com que esse sistema seja ineficiente para controlar com

exatidão o nível d'água dentro da barragem, o que é um problema enorme e reflete diretamente na estabilidade da estrutura (FARIAS; PARANHOS, 2013).

Figura 2 - Método construtivo de montante



Fonte: Albuquerque Filho, 2004.

2.4. Descaracterização e descomissionamento

Segundo Araújo (2020), as barragens de rejeitos eram vistas como a finalização da linha produtiva no ponto de vista das minerações. Mas hoje percebe-se que não é esse o raciocínio dos dias atuais. Com a busca das boas práticas da engenharia, notou-se a necessidade de aproveitar ao máximo as substâncias extraídas do minério, denominadas rejeito.

Essa tomada de decisão de descaracterizar ou descomissionar estruturas de contenção de rejeitos que não apresentam intenções de novas disposições, traz consigo, além de uma conscientização de desenvolvimento sustentável, a desobrigação de atendimento às normas estabelecidas pela Portaria 70.389/2017. (ARAÚJO, 2020)

De acordo com a Lei federal 12.334/2010 “A barragem que não atender aos requisitos de segurança nos termos da legislação pertinente deverá ser recuperada ou desativada pelo seu empreendedor, que deverá comunicar ao órgão fiscalizador as providências adotadas.” Com isso, iniciou a necessidade em programar a descaracterização (em alguns casos) de barragem de rejeito, podendo passar a exercer outra função, dando novos destinos a esses rejeitos gerados a partir de então.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa tem como objetivo apresentar alguns fatos e acontecimentos que levou à proibição das barragens a montante, demonstrando sua metodologia construtiva, o risco que ela oferece e os casos mais marcantes de barragens. Finalizando com o estudo de caso da barragem B1 de Brumadinho/MG, a última tragédia com barragens, que causou o maior acidente de trabalho do Brasil.

A metodologia da pesquisa para se alcançar os objetivos neste trabalho é indicado a seguir. Os quais foram realizados a partir de coleta de dados, utilizando o método de pesquisa qualitativa descritiva.

3.1. Coleta de dados

Os dados deste trabalho foram obtidos por meio de referencial bibliográfico para um bom embasamento teórico, a partir de pesquisas a artigos, monografias e reportagens de fontes seguras e confiáveis relacionadas ao tema. Foram abordados os tópicos primordiais sobre a proibição da barragem a montante e suas características. Abordando a tragédia de Brumadinho como estudo de caso, onde é demonstrado o que aconteceu com a Barragem e o impacto que seu rompimento causou na cidade.

Além dessa base de pesquisa, foi feito um estudo baseado em documentos e na análise das explicações dadas pelas mineradoras envolvidas nos acidentes com esse tipo de barragem.

3.2. Método de pesquisa

Para alcançar os dados satisfatórios e eficientes dessas informações foi utilizado o método de pesquisa qualitativa descritiva, que se baseia em narrativas e experiências em situações de risco que as barragens a montante expõem a vida humana e ambiental.

4. SEGURANÇA DE BARRAGEM

A preocupação com a segurança de barragens aumentou a partir da década de 1950, depois de grandes acidentes com vítimas em todo o mundo. Dentre os incidentes mais graves, dois mais marcantes ocorreram em barragens brasileiras, sendo eles: na cidade de Mariana (MG) em 2015, que com o rompimento provocou impactos imensuráveis a todo ecossistema da bacia do Rio Doce; e o de Brumadinho (MG) em 2019, com o rompimento de uma barragem de rejeitos que resultou em um grande rastro de destruição e 270 mortos.

4.1. Proibição da Barragem a Montante

A Agência Nacional de Mineração (ANM) é uma autarquia federal de regime especial que tem vínculo ao Ministério de Minas e Energia (MME), responsável por gerir o patrimônio mineral brasileiro, de maneira social, ambiental e economicamente sustentável para benefício da sociedade, criada em 25 de julho de 2017. Esta agência proibiu a utilização desse tipo de barragem, dando prazo para a inativação das barragens a montantes já existentes. Ela adiou o prazo para a extinção definitiva das mesmas, devido a inviabilidade técnica, para 2022, 2025 e 2027, o que vai depender da capacidade das empresas em se dedicarem nessa empreitada.

Após o rompimento da Barragem de Brumadinho, deu-se início à nova Política Nacional de Segurança das Barragens (PNSB) com a entrada em vigor da Lei 14.066, de 2020. Segundo Senado Notícias (2019) essa lei exige maior rigidez das obrigações das empresas mineradoras, voltados para prevenção e medidas que devem ser tomadas em situações de emergência; institui obrigação de contratar seguro ou apresentar garantia financeira; institui sanção penal de indivíduos nos casos em que ficar comprovado que as suas ações contribuíram para o desastre.

4.2. Resolução nº13, 8 de agosto/2019

Esta resolução estabelece medidas regulatórias para assegurar a estabilidade de barragens de rejeitos, construídas pelo método "a montante" ou por método declarado como desconhecido e dá outras providências.

Art. 9º As barragens de mineração alteadas pelo método a montante ou desconhecido que estejam em operação na data de entrada em vigor desta Resolução poderão permanecer ativas até 15 de setembro de 2021, desde que o projeto técnico executivo referido no inciso I do art. 8º garanta

expressamente a segurança das operações e a estabilidade da estrutura, inclusive enquanto as obras e ações nele previstas são executadas. (GOV.BR, 2019)

4.3. Penalidades ao descumprir a Lei 14.066

De acordo com o Agência Senado (2019), ao descumprir com as obrigações da nova PNSB (Pesquisa Nacional de Saneamento Básico), a empresa estará sujeita a penalidades de multas e/ou processos penais. Penalidades como embargos de obras e atividades, suspensão podendo ser total ou não das atividades, apreensão dos materiais (minério), dos equipamentos e bens, demolição da obra e decadência do título e sanções restritivas de direitos. A multa varia de R\$2 mil a R\$1 bilhão.

As sanções restritivas de direito são: a suspensão da licença, registro, concessão, permissão ou autorização; a perda de incentivos fiscais; e a perda ou suspensão da participação em linhas de crédito. (AGÊNCIA SENADO, 2019)

A lei também deixa como prioridade do FNMA (Fundo Nacional do Meio Ambiente) a utilização de artifícios das áreas degradadas para recuperação do meio ambiente. No caso de infração relacionados à recursos hídricos, a empresa estará sujeita a multas que podem variar de R\$ 100 a R\$ 50 milhões.

5. ESTUDO DE CASO

A seguir será apresentado o estudo de caso do rompimento da barragem B1 de Brumadinho (MG), que foi considerado o maior desastre ambiental de mineração no Brasil, e o segundo maior acidente industrial do século.

5.1. Barragem B1 - Brumadinho/MG

No dia 25 de janeiro de 2019 às 12:28 rompeu a Barragem 1, localizada na Mina Córrego do Feijão em Brumadinho, Minas Gerais, a Figura 3 mostra o exato momento do rompimento. Esta barragem foi construída em 1976 pela Ferteco Mineração e adquirida pela Vale em 2001. Estava desativada desde 2014 e continha 12,7 milhões de metros cúbicos de rejeitos. A mesma apresentava instabilidade há alguns anos, mas as ações tomadas para evitar esse desastre não foram suficientes para impedir que rompesse.

De acordo com a Agência Estado (2019) “A barragem B1 começou a ser construída em 1976 e recebeu dez alteamentos sucessivos de 1982 a 2013”.

Figura 3 - O exato momento do rompimento da B1.



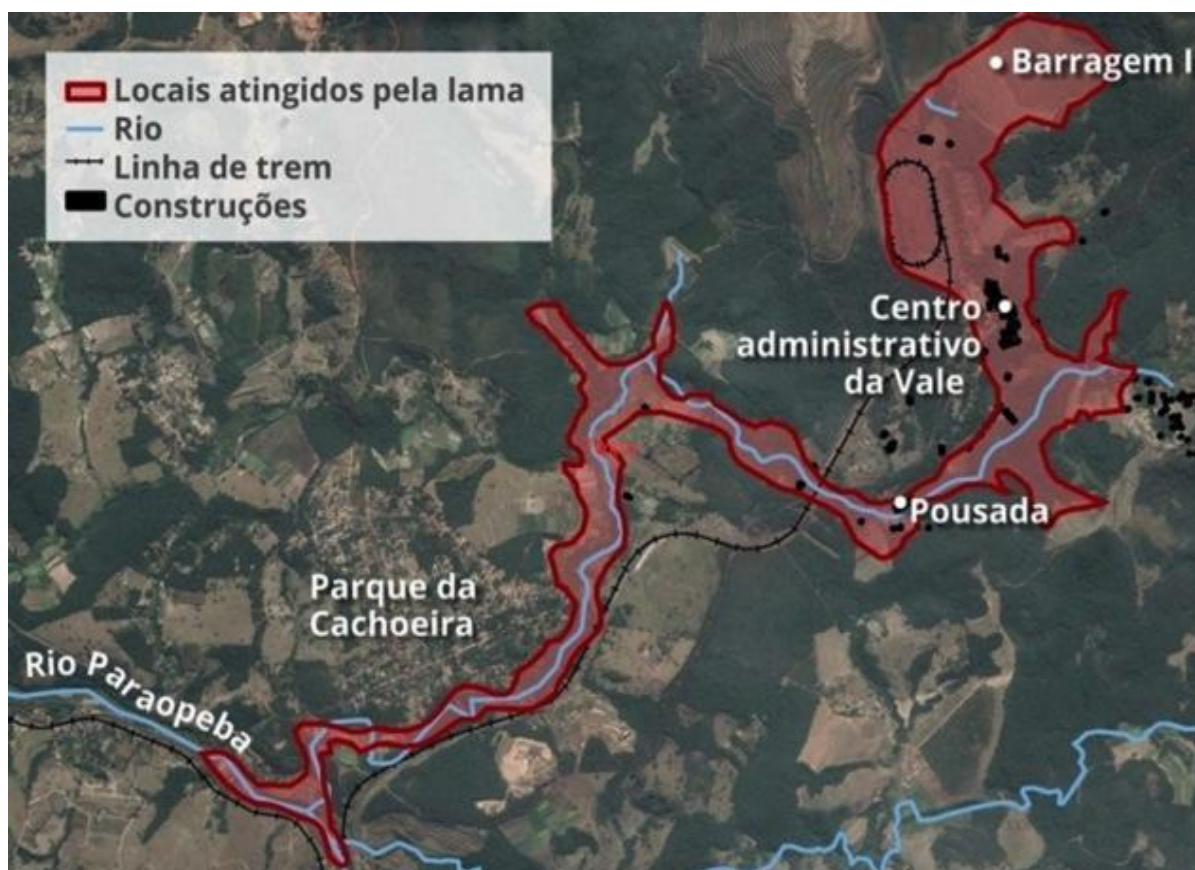
Fonte: Câmeras Vale S.A, 2019.

De acordo com os estudos de Bonatto (2019), o monitoramento geotécnico era realizado por 194 instrumentos ativos, sendo eles:

- 93 piezômetros;
- 37 indicadores de nível d'água;
- 7 marcos superficiais;
- 53 pontos de medição de vazão em saída de drenos;
- 1 medidor de vazão residual;
- 2 inclinômetros;
- 1 pluviômetro.

A lama percorreu por volta de 205 quilômetros, como indicado na Figura 4. Além das vidas, ela levou carros, caminhões, equipamentos, construções, trens, linha férrea e inundou o rio Paraopeba.

Figura 4 - Caminho da lama.



Fonte: G1, 2019.

5.2. Gatilhos do rompimento

Paes (2019) cita alguns dos gatilhos que em somatório contribuíram para o rompimento da barragem:

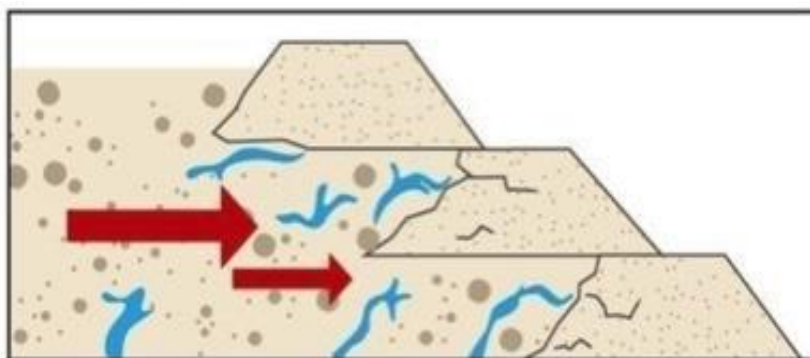
- A maneira de construção e lançamento do rejeito;
- Detonações repetidas;
- Aumento dos NA (nível d' água) no solo;
- Movimentação da fundação;
- Erosões internas;
- Perda de resistência devido ao fluxo de nascentes subterrâneas;
- Perda de sucção e resistência em zonas não saturadas acima do NA;
- Deformações desenvolvidas ao longo do tempo com cargas constantes.

Segundo Paes (2019) no laudo técnico realizado pela equipe de advocacia contratada Mineradora Vale, a causa do rompimento foi por liquefação. Ou seja, houve perda de resistência repentina, apresentando um comportamento frágil fazendo com que a água ali presente exerça uma força que anulou o peso e a aderência das partículas as tornando soltas.

A liquefação é um fenômeno em que uma massa de solo passa a se comportar como um líquido. Ela ocorre devido às vibrações no terreno ou sobrecarga estática, em solos saturados – onde todos os seu poros estão preenchidos com água. Em que a faixa granulométrica presente, esta situada normalmente entre siltes grossos e areias finas. (FUCCIO, 2019)

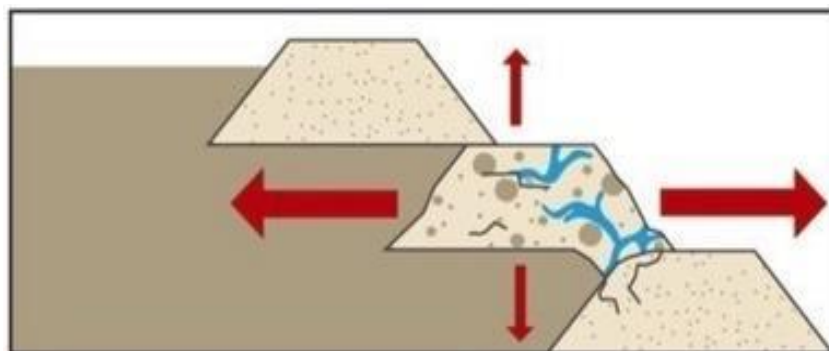
Fuccio (2019) exemplifica 2 tipos de liquefação em barragens. A liquefação no rejeito, como na figura 5, o material começa a se comportar como fluido e escorre empurrando a estrutura. E liquefação no dique, Figura 6, que ao sofrer a liquefação, a área afetada perde completamente a resistência.

Figura 5 - Liquefação no rejeito.



Fonte: Minas Jr, 2019.

Figura 6 - Liquefação no dique.



Fonte: Minas Jr, 2019.

5.3. Laudo

Segundo O Globo (2019), o laudo que atestou a segurança da B1, foi realizado pela empresa alemã, em setembro de 2018. Ele registra que a barragem estava parcialmente saturada de água, mas ainda havia um dreno seco, continha trincas onde vertia água.

O documento recomendou a instalação de novos piezômetros, equipamentos que medem a pressão e o nível da água no solo, e de um mecanismo de registro sísmológico no entorno da barragem. (O GLOBO, 2019)

De acordo com a Agência Estado (2019), apesar de todas as recomendações, a empresa alemã atestou a segurança da barragem. Estavam entre as recomendações

revisar a drenagem, recompor a erosão superficial entre dois alteamentos e adequar a cobertura vegetal em diferentes localizações.

No site do jornal O Globo (2019) ainda diz que no laudo em questão indicava à mineradora ter atitudes que evitassem os gatilhos. Como “proibir detonações nas redondezas, evitar o tráfego de equipamentos pesados, e impedir a elevação do nível da água na estrutura”. Contudo, a Vale informou que estas recomendações foram realizadas ainda em 2018.

5.4. Consequências

5.4.1. Impactos sociais

Maior acidente de trabalho na história do Brasil, visto que o setor administrativo, refeitórios e canteiros de obras fixos se localizavam à frente da barragem. Por ter ocorrido no horário de almoço, pegou muitos funcionários desprevenidos, no seu horário de descanso.

A lama passou por bairros como Parque das Cachoeiras, Córrego do Feijão e destruiu parte da comunidade Vila Ferteco. Portanto, além de funcionários da Vale, pessoas da comunidade, principalmente moradores locais foram vítimas dessa tragédia. Alguns povoados tiveram que ser evacuados, como a aldeia Pataxó Hã-hã-hãe. A lama espessa também fechou estradas e chegou ao rio Paraopeba, que abastece um terço da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Todo esse caos gerou muita ansiedade, depressão e pânico na população atingida direta e indiretamente. Brumadinho era conhecida por ser uma cidade tranquila, pacata, pequena, onde havia um dos maiores museus de arte contemporânea a céu aberto do mundo; o Inhotim. Os moradores se conheciam e não havia medo, insegurança, desconfiança e muito menos receio em deixar o carro na rua de janela aberta, as portas de casa destrancadas, andar na rua com pertences de valor. Por esse motivo, todos foram atingidos. Todos os cidadãos brumadinhenses tiveram perdas de familiares, amigos e companheiros. Muitas famílias tiveram que se reinventar, reconstruir ou começar do zero.

5.4.2. Impactos ambientais

Os 12,7 milhões de m³ de rejeitos dispostos na Barragem 1 de Brumadinho, mostrado na Figura 7, percorreram por volta de 200 quilômetros, passando 19 municípios mineiros. São eles: Brumadinho, São Joaquim de Bicas, Juatuba, Betim, Esmeraldas, Curvelo, Florestal, Felixlândia, Fortuna de Minas, Maravilhas, Igarapé, Papagaios, Pará de Minas, Paraopeba, Pequi, Pompéu, Mário Campos, Morada Nova de Minas e São José da Varginha. Na Figura 8 indica-se o percurso da lama.

A onda de sedimentos gradativamente atingiu toda a extensão do rio Paraopeba, mas mantendo-se nos limites do calha do rio, alterando num primeiro momento de forma significativa a turbidez por onde passou e carreando metais pesados ao longo de todo o rio até a barragem de Retiro Baixo, que atuou como uma barreira impedindo que a pluma se deslocasse para o encontro do Paraopeba com o rio São Francisco. (LEMOS, POLIGNANO, 2020)

Figura 7 - Destruição ao Meio Ambiente - Rompimento B1.



Fonte: G1, 2019.

O uso da água do rio foi restrita devido à presença de metais pesados com seus valores acima do permitido em um rio de classe II, que de acordo com Atademo (2015), significa que as águas podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento; à recreação, como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer; à aquicultura e à atividade de pesca.

Na figura 9 mostra-se os valores dos metais pesados constatados no rio Paraopeba nos primeiros dias após o rompimento da Barragem 1.

Figura 9 - Valores máximos alcançados por metais pesados acima do permitido

Lama Tóxica		
Metais pesados	Limite permitido na água (mg/L)	Concentração de metais pesados pós o rompimento
Manganês	0,01	736 vezes acima do limite permitido
Cádmio	0,01	800 vezes acima do limite permitido
Cromo	0,05	49 vezes acima do limite permitido
Mercúrio	0,2	21 vezes acima do limite permitido

Fonte - Ciência e Cultura, 2020.

5.4.3. Impactos econômicos

Após o rompimento da barragem, o quadro econômico da cidade virou de "cabeça pra baixo", onde foi instalado um caos. A Vale é uma das principais fontes econômicas do município e devido a tragédia, paralisou tudo repentinamente. Foi um luto coletivo, todos passando pela dor da perda de pessoas amadas. Passada a fase inicial de dor e revolta, a mineradora recebeu inúmeros processos, e a partir disso, ela definiu indenizar individualmente cada morador de Brumadinho e aos povoados atingidos pelo Rio Paraopeba. Inicialmente foi um salário mínimo, após 1 ano do ocorrido, passou a ser meio salário mínimo que se mantém até os dias de hoje.

Ao iniciar essa indenização, começou a aumentar o índice de falta de mão de obra, onde grande parte dos indenizados optaram por não trabalhar e viver apenas com a indenização da Vale. As construtoras precisaram buscar mão de obra fora de Minas Gerais, pois a Vale entrou com diversas obras emergenciais onde era necessário contratar grandes números de mão de obra direta que Brumadinho e toda região já não atendia mais, a oferta aumentou muito e a procura caiu consideravelmente.

5.5. Soluções emergenciais

Segundo a Vale (2019), logo após o rompimento, a mineradora abriu várias frentes de obras para garantir a segurança geotécnica das estruturas remanescentes da Mina Córrego do Feijão, como a remoção e destinação adequada dos rejeitos e parte da recuperação ambiental. Ela iniciou o reforço da barragem B6 que se localiza ao lado da B1, a barragem rompida, vide figura 10, e retirada do material que permaneceu na B1.

Figura 10 – Vista aérea da Barragem B6 antes do rompimento da B1.



Fonte: Silva, 2010.

O trabalho de remoção dos rejeitos foi feito de forma minuciosa e o planejamento dessa atividade foi desenvolvido em conjunto com o Corpo de Bombeiros.

De acordo com a Defesa Civil, os moradores que vivem na parte mais baixa da cidade estão sendo retirados das casas. Vários helicópteros estão trabalhando no local no resgate de vítimas. Não há como chegar ao local por terra.(G1, 2019).

Foi dado um apoio de assistência psicológica por parte da mineradora, que disponibilizou pontos de atendimento, onde os atingidos eram acolhidos e tinham assistência humanitária. Disponibilizavam também alimentos, água e remédios as famílias atingidas pela lama. Havia canais telefônicos para solicitação de todo suporte e apoio necessários.

Até 16 de julho, 256 famílias estavam alocadas em moradias provisórias, hotéis, pousadas ou casa de amigos e parentes. A Vale reitera que continua prestando todo o apoio necessário às famílias até que a situação seja completamente normalizada. (VALE, 2019).

A vale forneceu um apoio aos animais atingidos pela lama também. Os animais foram atendidos por equipes de veterinários, registrados e separados por espécie e pelo estado de saúde.

As atividades de resgate, salvamento e cuidado dos animais atingidos em Brumadinho e proximidades são realizadas por mais de 20 equipes, totalizando 229 pessoas entre veterinários, biólogos, zootecnistas e profissionais de várias áreas do meio ambiente. Os atendimentos são realizados de acordo com uma série de protocolos sanitários recomendados pelo Conselho Regional de Medicina Veterinária (CRVM), pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e pelo Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA). VALE, 2019).

De acordo com a mineradora Vale (2019), ela disponibilizou uma equipe com mais de 400 funcionários dedicados para coordenar as ações de reestabelecimento socioeconômico e ambiental dos municípios impactados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao concluir este trabalho pode-se notar a necessidade que havia de extinguir a barragem do tipo à montante, diante de todos os desastres causados, inúmeros danos ambientais, sociais e econômicos. Apenas descomissionando ou descaracterizando essas barragens para impedir que mais tragédias desse tipo aconteçam,

Hoje fica evidente que nem sempre o método mais simples e econômico é o mais viável e eficaz. É preciso pensar no todo, não apenas na economia e praticidade ao se fazer qualquer que seja a obra/edificação. Atualmente existem incontáveis maneiras de aprimorar e buscar novas técnicas, desenvolver novas tecnologias à favor da humanidade e meio ambiente, tornando desnecessário manter técnicas arcaicas e inseguras como a metodologia da barragem à montante.

O dano ambiental fica de responsabilidade do causador repará-lo, o dano econômico é possível retomar com o tempo, já o dano social nada repara. A marca nos corações de quem passou por esse momento agonizante, pelas perdas de entes queridos e o medo jamais deixarão de existir. Sempre existirá a cicatriz que dói todo dia 25 de cada mês dos brumadinhenses, e toda vez que se toca no assunto de barragem de rejeitos.

A Barragem I da Mina Córrego do Feijão não apresentava condições de estabilidade suficiente para continuar operante e tampouco poderia ser estabilizada pela solução proposta. Os laudos realizados cinco meses antes do rompimento da B1 indicavam que a barragem continha erosões e problemas de drenagem, mas ainda assim foi atestado sua segurança.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE FILHO, L. H. **Avaliação do comportamento geotécnico de barragens de rejeitos de minério de ferro através de ensaios de piezocone**. 2004. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, UFOP, Ouro Preto, MG.
- ARAÚJO, C. B. **Contribuição ao Estudo do Comportamento de Barragens de Rejeito de Mineração de Ferro**. 2006. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.
- ARAÚJO, Wagner. **Descaracterização e descomissionamento de Barragens de rejeito**. Instituto Minere. Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <<https://institutominere.com.br/blog/descaracterizacao-e-descomissionamento-de-barragens-de-rejeitos-uma-tendencia-ou-realidade>>. Acesso em 23 de fevereiro 2021.
- ANM - **RELATÓRIO ANUAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO 2019**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/relatorios-anuais-de-seguranca-da-barragens-de-mineracao-1/relatorio-anual-gsbm-2019-v-final>>. Acesso em 8 de março 2021.
- ANM - **RELATÓRIO ANUAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO 2020**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/relatorios-anuais-de-seguranca-da-barragens-de-mineracao-1/RelatorioAnual2020Final.pdf>> Acesso em 8 de março de 2021.
- ATADEMO, Robert. **Classificação dos rios: classes e condições para lançamento de efluentes**. São Paulo, 2015. Site TERA. Disponível em: <<https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/classificacao-dos-rios-classes-e-condicoes-para-lancamento-de-efluentes>> Acesso em 21 de abril 2021.
- BONATTO, Isabella. **SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PARA ESTABILIZAÇÃO DE BARRAGENS DE REJEITOS ALTEADAS A MONTANTE: UM ESTUDO DE CASO DE BRUMADINHO**. 2019. 42 f. Dissertação (Bacharel em Engenharia Civil), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná.
- BOSCOV, Maria Eugênia. **Mariana e Brumadinho confirmam a falência das barragens de montante**. Jornal da USP. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/artigos/mariana-e-brumadinho-confirmam-a-falencia-das-barreiras-de-montante/>>. Acesso em 20 janeiro 2021.
- BRASIL. **Lei Federal número 12.334**. Publicado no DOU de 21.09.2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/Msg/VEP/VEP-558.htm> Acesso em 10 de fevereiro 2021.
- BRASIL. **Brasil tem nova lei de segurança de barragens**. *Manual de redação: Agência Senado, Jornal do Senado*. Brasília: Senado Federal, 2020. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2020/10/01/brasil-tem-nova-lei-de-seguranca-de-barragens>>. Acesso em 5 de março 2021.

BRASIL DE FATO. **Onda de lama da Vale deve atingir 19 municípios de MG, afirmam especialistas.** Site. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://www.brasildefato.com.br/2019/01/25/onda-de-lama-da-vale-deve-atingir-19-municipios-de-mg-afirmam-especialistas>>. Acesso em 7 de agosto 2021.

ESTADO, Agência. **Laudo diz que estabilidade da barragem de Brumadinho estava no limite.** Site Correio Braziliense, 2019. Disponível em: <<https://www.google.com.br/amp/s/www.correio braziliense.com.br/app/noticia/brasil/2019/02/05/interna-brasil,735423/amp.shtml>>. Acesso em 7 de agosto 2021.

FARIAS, Rideci; PARANHOS, Haroldo. **Geotecnia Ambiental: Barragens de rejeito.** 1o semestre, 2013. 10 p. Notas de Aula. UnB. Brasília, DF.

FUCCIO, Amanda. **Liquefação dos solos: um dos grandes responsáveis pelo rompimento de barragens de rejeito.** Site Minas Jr. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <<https://www.minasjr.com.br/liquefacao-dos-solos-rompimento-de-barragens/>>. Acesso em 7 de março 2021.

G1. **Agência Nacional de Mineração passa a exigir inspeções diárias em barragens como as de Brumadinho e Mariana.** Site G1. Minas Geras, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/02/05/agencia-nacional-de-mineracao-passa-a-exigir-inspecoes-diarias-em-barragens-como-as-de-brumadinho-e-mariana.ghtml>> Acesso em 5 de março 2021.

G1. **Tragédia em Brumadinho: o caminho da lama.** Site G1. Minas Geras, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/27/tragedia-em-brumadinho-o-caminho-da-lama.ghtml>> Acesso em 7 de março 2021.

G1. **Rompimento de barragem em Brumadinho destruiu área equivalente a 377 campos de futebol.** Site G1. Minas Geras, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/30/rompimento-de-barragem-em-brumadinho-destruiu-area-equivalente-a-377-campos-de-futebol.ghtml>> Acesso em 21 de abril 2021.

GOV.BR, Diário oficial da união. **RESOLUÇÃO Nº 13, DE 8 DE AGOSTO DE 2019.** Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-13-de-8-de-agosto-de-2019-210037027#:~:text=de%202018%2C%20resolve%3A-,Art.,desconhecido%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs>>. Acesso em 6 de março 2021.

LEMOS, Rodrigo, POLIGNANO, Marcos. **Rompimento da barragem da Vale em Brumadinho: impactos socioambientais na Bacia do Rio Paraopeba.** Ciência e Cultura, 2020. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252020000200011> Acesso em 19 de abril de 2021.

SILVA, W. P. DA. **Estudo Do Potencial De Liquefação Alteada Para Montante Aplicando a Metodologia De Olson (2001).** 2010. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

O GLOBO, **Laudo de segurança de barragem em Brumadinho apontou erosão e problemas de drenagem**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.google.com.br/amp/s/oglobo.globo.com/brasil/laudo-de-seguranca-de-barragem-em-brumadinho-apontou-erosao-problemas-de-drenagem-23429183%3fversao=amp>>. Acesso em 7 de agosto 2021.

O SUL, Jornal. **Desde 2000, o Brasil tem um rompimento de barragem a cada dois anos**. Site Jornal O Sul. Porto Alegre, 2019. Disponível em: <<https://www.osul.com.br/desde-2000-o-brasil-tem-um-rompimento-de-barragem-a-cada-dois-anos-veja-lista/>> Acesso em 2 de março 2021.

SOARES, Lindolfo. **Barragem de rejeito**. In: Luz, A. B. da; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. Tratamento de minérios. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p. 831-896.

PAES, Cíntia. **Estudo contratado pela Vale confirma que barragem em Brumadinho se rompeu por liquefação**. Site G1. Minas Gerais, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/12/12/estudo-contratado-pela-vale-diz-que-barragem-em-brumadinho-se-rompeu-por-liquefacao.ghtml>>. Acesso em 7 de março 2021.

VALE S.A. **Entenda os tipos de barragens**. À montante. Site Vale S.A. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/servicos-para-comunidade/minas-gerais/atualizacoes_brumadinho/Paginas/Entenda-as-barragens-da-Vale.aspx> Acesso em 2 de março 2021.

VALE S.A. **Vale segue focada nas várias frentes de reparação em Brumadinho**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/vale-segue-focada-nas-varias-frentes-em-brumadinho.aspx>>. Acesso em 8 de agosto 2021.

AGÊNCIA Nacional de Mineração proíbe barragens com método de alteamento a montante em todo o Brasil. Minas Gerais, 2019. Site Associação Mineira dos Municípios. Disponível em: <<https://portalamm.org.br/agencia-nacional-de-mineracao-proibe-barragens-com-metodo-de-alteamento-a-montante-em-todo-o-brasil/>> Acesso em 10 de março 2021.