



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

RODOLFO CAVALCANTI GARCIA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

RECIFE
2019.1

RODOLFO CAVALCANTI GARCIA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

**ESTUDO DAS CAUSAS E MEDIDAS PREVENTIVAS DE ROMPIMENTO EM
BARRAGEM DE REJEITO**

Relatório apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como pré-requisito para obtenção de nota da disciplina Estágio Supervisionado Obrigatório, sob orientação do Professor Gledson Luiz Pontes de Almeida.

RECIFE
2019.1

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

G216e Garcia, Rodolfo Cavalcanti.
Estudo das causas e medidas preventivas de rompimento em
barragem de rejeito / Rodolfo Cavalcanti Garcia. – Recife, 2019.
36 f.: il.

Orientador: Gledson Luiz Pontes de Almeida.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia
Agrícola e Ambiental, Recife, BR-PE, 2019.

Inclui referências.

1. Barragens de rejeitos 2. Liquefação 3. Rejeitos (Metalurgia)
4. Impacto ambiental I. Almeida, Gledson Luiz Pontes de, orient.
II. Título

CDD 630

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

**ESTUDO DAS CAUSAS E MEDIDAS PREVENTIVAS DE ROMPIMENTO EM
BARRAGEM DE REJEITO**

Rodolfo Cavalcanti Garcia

Gledson Luiz Pontes de Almeida

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Localização do município de Brumadinho e estruturas do acidente.	11
Figura 2: Localização das estruturas via satélite e informações sobre a Barragem I.	12
Figura 3: Área atingida pelo rejeito de minérios.....	13
Figura 4: Estruturas atingidas do complexo de Brumadinho.	13
Figura 5: Áreas de estrutura da barragem I.....	15
Figura 6: Demonstração de tubos de escoamento e drenagem obstruídos por vegetação.	15
Figura 7: Demonstração de danos físicos nas canaletas de escoamento.	16
Figura 8: Presença de coloide na saída do dreno interno.	16
Figura 9: Processo de piping em uma barragem de terra.	17
Figura 10: Processo de liquefação no rejeito e nos diques periféricos.	18
Figura 11: Identificação de camadas com baixa resistência.	18
Figura 12: Áreas atingidas pelo rejeito de minério da barragem.	19
Figura 13: Imagem do rio atingido, o Paraopeba.....	20
Figura 14: Complexo de Brumadinho, sede da Barragem I da Vale S.A.	28

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Descrição dos alteamentos da Barragem I.....	14
Quadro 2: Classificação quanto as características técnicas da barragem.....	22
Quadro 3: Classificação quanto ao estado de conservação da barragem.....	22
Quadro 4: Plano de segurança da barragem.....	24
Quadro 5: Classificação quanto ao dano potencial da barragem.....	25
Quadro 6: Pontuação total da classificação de risco da barragem.....	25
Quadro 7: Dano potencial total da barragem.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS

ANM - Agência Nacional de Mineração.

APP - Áreas de Preservação Permanente.

CEDEC - Coordenadoria Estadual de Defesa Civil.

CT - Características técnicas.

EC - Estado de conservação.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

MG – MINAS GERAIS.

PS - Plano de segurança.

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável.

TCU - Tribunal de Contas da União.

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais.

UFRPE - Universidade Federal Rural de Pernambuco.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo Geral.....	10
2.2 Objetivos Específicos	10
3. REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1 Análise do rompimento da Barragem I de Brumadinho	11
3.2 Possíveis causas do rompimento da barragem i	14
3.3 Os impactos socioambientais potenciais	19
3.4 Medidas preventivas.....	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1 Área de estudo	28
4.2 Metodologia	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1. INTRODUÇÃO

As barragens são construções, que possuem como objetivo conter e acumular, de forma permanente ou não, substâncias líquidas ou misturas de sólidos e líquidos. São utilizadas em atividades de mineração, geração de energia ou abastecimento de água.

Existem, principalmente três metodologias para alteamento de uma barragem: a montante, a jusante e a linha de centro. A principal diferença entre estes métodos, é o deslocamento do eixo que a barragem apresentará, diante seus futuros alteamentos, em função do dique de partida.

Para realizar a escolha do método a ser utilizado, diversos fatores são considerados, como a topografia, geologia, granulometria do solo, as características dos rejeitos ou águas a serem dispostas na barragem, entre outros. O método que será analisado e que foi utilizado na Barragem I, de Brumadinho – MG, foi a montante.

O órgão que realiza a fiscalização de todos os empreendimentos de pesquisa e aproveitamento mineral é a Agência Nacional de Mineral (ANM), que também é encarregada das barragens de rejeito de minério de cada mineradora.

O método a montante, segundo a ANM é considerada insegura pois, utiliza os próprios rejeitos que foram depositados, para a construção de novos e sucessivos alteamentos, sem estarem estáveis, sendo propícias a alterações hidrológicas e a efeitos como liquefação e “piping”.

Alteamentos a montante já é uma técnica proibida em alguns países e a ANM, emitiu nota, informando a descontinuação e proibição das construções de barragens que empregam este método, até 15 de agosto de 2023.

Esta atitude, decorre de uma série de acidentes e rompimentos com barragens a montante no Brasil, sendo os desastres em Brumadinho e Mariana, ambas localizadas em Minas Gerais, casos que culminaram nesta medida.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Compilar dados e informações, para maior compreensão, sobre os desastres e efeitos que barragens a montante propiciam.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Compilar informações sobre as possíveis causas e impactos do rompimento de barragens;
- ✓ Promover a relação entre a liquefação e os rompimentos de barragem a montante;
- ✓ Apontar procedimentos e normas, de prevenção e segurança, para evitar possíveis desastres;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Análise do rompimento da barragem

De acordo com a nota oficial da VALE S.A.¹, em 25 de janeiro de 2019, no começo da tarde, o Brasil novamente se tornou vítima de um desastre ambiental envolvendo rejeitos de mineração, neste dia a barragem da mina do córrego do Feijão, localizada no município de Brumadinho em Minas Gerais, se rompeu (Figura 1). Este incidente ambiental foi o maior registrado no Brasil desde do rompimento da barragem em Mariana, referente a barragens de rejeitos, segundo a Agência Nacional de Mineração.



Figura 1:Localização do município de Brumadinho e estruturas do acidente.

Fonte: Central Globo de Jornalismo (2019).

• ¹ VALE S.A. **Esclarecimentos sobre a Barragem I da Mina de Córrego do Feijão**. [S. l.], 25 jan. 2019. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/Esclarecimentos-sobre-a-barragem-I-da-Mina-de-Corrego-do-feijao.aspx>. Acesso em: 9 jul. 2019.

Segundo informações da classificação da ANM, o complexo de Brumadinho, como era reconhecida, pertencia a Vale S.A. e era localizada no ribeirão Ferro-Carvão, na região do Córrego do Feijão (Figura 2), identificada pelas coordenadas de latitude 20° 07' 08" e longitude 44° 07' 12". A estrutura, segundo O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), possuía um total de 11,7 milhões de metros cúbicos em forma de rejeitos dispostos.

De acordo com a nota oficial da mineradora Vale, a Barragem I, do complexo de Brumadinho, foi construída em 1976, pela Ferteco Mineração, adquirida no ano de 2001 pela Vale. Utilizava o método de alteamento a montante, possuía uma altura de 86 metros, comprimento de crista de 720 metros, os rejeitos dispostos ocupavam uma área de 249,5 mil metros quadrados. Segundo o cadastro nacional da Agência Nacional de Mineração (ANM), a barragem era avaliada como uma estrutura com médio porte de volume, baixa categoria de risco e dano potencial alto.



Figura 2: localização das estruturas via satélite e informações sobre a barragem 1.

Fonte: NASCIMENTO (2019).

O impacto estimado, segundo a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad), é de 300 campos de futebol, totalizando 290 hectares em 9 quilômetros de distância, entre o rio Paraopeba e a barragem de Brumadinho (Figura 3). O rejeito de minério da barragem atingiu a própria área administrativa da Vale S.A., comunidades, pousadas, áreas de cultivo, pastagens, estradas e bairros.

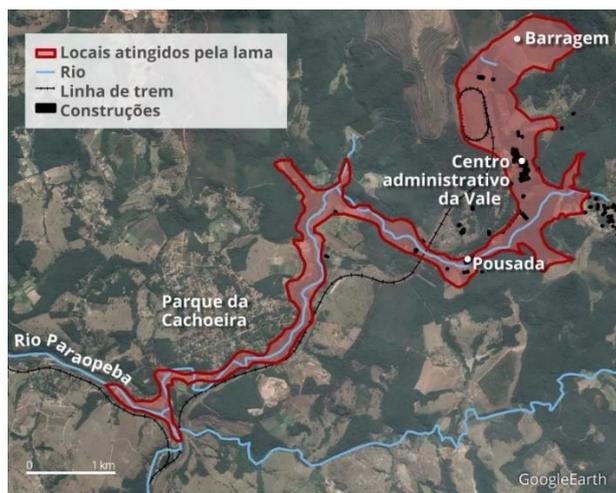


Figura 3: Área atingida pelo rejeito de minérios.

Fonte: MAURO (2019).

O rompimento da barragem I, causou 246 mortes no incidente e 24 pessoas ainda seguem desaparecidas, segundo a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (Cedec). Os rejeitos de minério atingiram, vários hectares de florestas nativas de acordo com o Ibama e a usina de beneficiamento ITM, vagões de trens e veículos da Vale; destruíram a área administrativa da Vale (Figura 4), incluindo o refeitório, onde várias das vítimas se encontravam no momento do rompimento de acordo com as vítimas e representantes da Vale.



Figura 4: Estruturas atingidas do Complexo de Brumadinho.

Fonte: MONTEIRO (2019).

3.2 Possíveis causas do rompimento da Barragem I

De acordo com o estudo realizado por Silva (2010), A Barragem I, do complexo de Brumadinho, era composta por 9 alteamentos (Quadro 1), todas implementadas por técnica de montante, formando uma praia de 150m (Figura 5). Do terceiro ao novo alteamento, foi utilizado o próprio rejeito depositado na praia para a construção, considerado um procedimento de risco e inseguro, sendo indicado a utilização de um solo estável na composição de novas camadas de acordo com a ANM.

Quadro 1: Descrição dos alteamentos da Barragem I.

Ano	Alteamento	EL. (m)	Altura máx. (m)	Tipo de alteamento
1976	Dique Inicial	874,0	18	-
1984		885,0	29	Linha centro/ Montante
1990		890,0	34	Montante
1991	3°.	893,5	37,5	Montante
1993	3°.	899,0	43	Montante
1995	4°.	905,0	49	Montante
1998	5°.	910,0	54	Montante
2000	6°.	916,5	60,5	Montante
2003	7°.	922,5	66,5	Montante
2004	8°.	929,5	73,5	Montante
2007	9°.	937,0	81	Montante

Fonte: SILVA (2010).

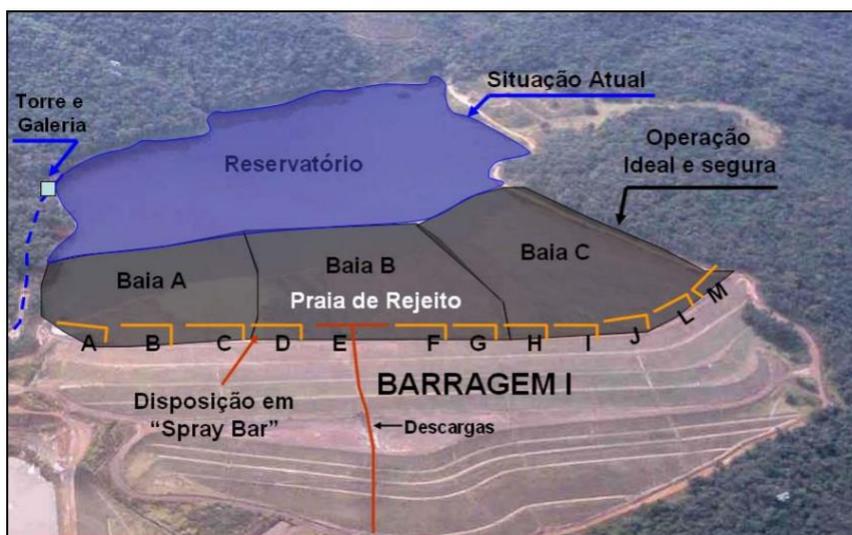


Figura 5: Áreas de estrutura da Barragem I.

Fonte: SILVA (2010).

De acordo com a VALE, foi realizada uma auditoria em 2018 pela Tüv Süd, a pedido da própria Vale, na barragem I do complexo de Brumadinho, foi emitido um laudo que identificava problemas no sistema de drenagem da estrutura (Figura 6, 7 e 8).

		CLASSIFICAÇÃO Restrita	AUDITORIA TÉCNICA DE SEGURANÇA 2018 - FASE VI B	
AUDITORIA TÉCNICA DE SEGURANÇA 2º CICLO 2018 COMPLEXO PARAÓPEBA - MINA Córrego Feijão BARRAGEM I			Nº VALE	PÁGINA
RELATÓRIO DE AUDITORIA TÉCNICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM LAUDO TÉCNICO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM / 2018			Nº TÜV SÜD BUREAU	REV.
			RC-SP-102/18	0

Foto 31 – Saída de drenagem interna com colóide.	Foto 32 – Saída de drenagem interna entupida com vegetação.

Figura 6: Demonstração de tubos de escoamento e drenagem obstruídos por vegetação.

Fonte: TÜV SÜD (2019).

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
		Nº VALE -	PÁGINA 167/265
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 12 – Surgência de água na canaleta próxima a segunda trincheira (da ombreira direita para esquerda) na bermã na EL. 899 m.

Figura 7: Demonstração de danos físicos nas canaletas de escoamento.

Fonte: TÜV SÜD (2019).

	 Bureau de Projetos	GRG – GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS	
		Nº VALE -	PÁGINA 168/265
REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM MINA CORREGO FEIJÃO – BARRAGEM I RELATÓRIO TÉCNICO		Nº TUV SUD BUREAU RC-SP-117/17	REV. 4



Foto 13 – Presença de coloide na saída do dreno interno que desagua no canal da segunda trincheira (da ombreira direita para esquerda) na bermã na EL. 899 m.

Figura 8: Presença de coloide na saída do dreno interno.

Fonte: TÜV SÜD (2019)

De acordo com o estudo de Oliveira (2012), o fenômeno de piping, é a ruptura hidráulica, que representa a perda de resistência e estabilidade do solo, através das pressões exercidas pela percolação de água. Esta ruptura hidráulica pode ocorrer de duas formas, quando o solo perde a resistência, consequência da perda de peso exercida pelo fluxo ascendente de um fluido. A segunda ocorrência, é através da erosão interna, ou seja, arrastamento das partículas de solo pelos fluidos.

Ainda, segundo o estudo de Oliveira (2012), o piping ocorre de forma crítica em uma barragem (Figura 9), a corrente freática poderá carrear os materiais que compõe o talude e a ombreira de jusante, caracterizando erosão interna e desestabilizando as estruturas principais da barragem, gerando o risco de rompimento.

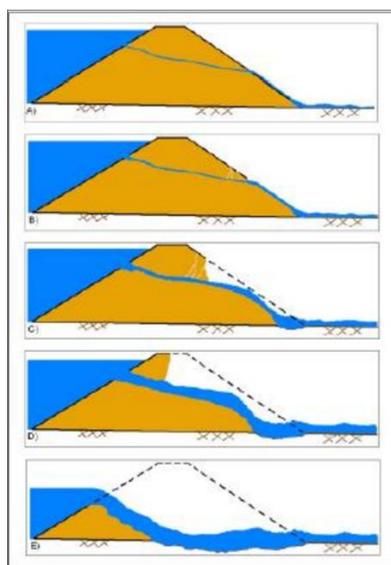


Figura 9: Processo de piping em uma barragem de terra.

Fonte: LARA (2016).

Segundo o estudo de Neto (2009), a liquefação, ocorre através da perda de atrito entre partículas, originado por uma mudança brusca da estrutura sob carregamentos rápidos (excesso de precipitação, cargas, abalos sísmicos, falhas no sistema de drenagem). Este evento, irá manter o solo granular e saturado, em um arranjo mais compacto entre partículas.

Ainda, de acordo com Neto (2009), a água que satura o solo, por estar em alta pressão, não irá permitir o atrito entre partículas sólidas, criando um fluxo entre

elas e reduzindo drasticamente a resistência ao cisalhamento do material e transformando-o em um fluido (Figura 10). Esta ocorrência se torna mais crítica, quando está relacionada à uma barragem de alteamento a montante, que utiliza o próprio rejeito para compor os diques periféricos.

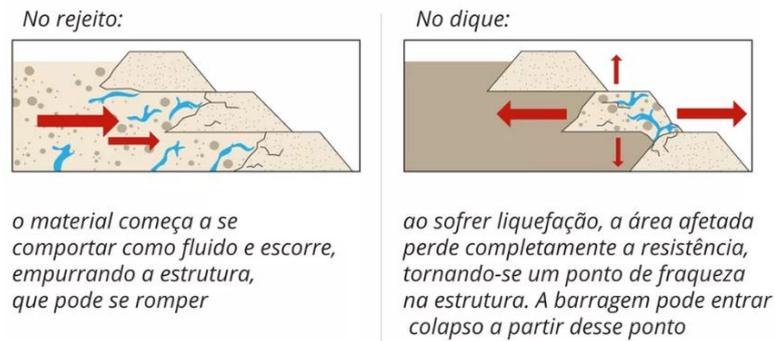


Figura 10: Processo de liquefação no rejeito e nos diques periféricos.

Fonte: MELO (2019).

Segundo o estudo de Silva (2010), com foco em analisar o potencial de liquefação em barragens. A Barragem 1 da Mina de Córrego do Feijão, foi analisada em campo e diagnosticada como preocupante a técnica utilizada para realizar a disposição hidráulica e o gerenciamento de novas disposições.

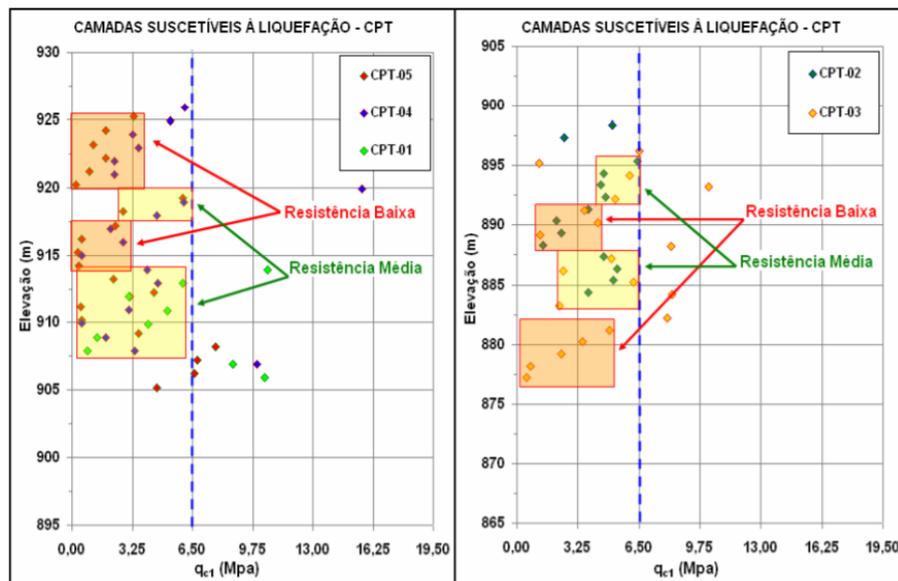


Figura 11: Identificação de camadas com baixa resistência.

Fonte: Silva (2010).

Nas análises realizadas por Silva (2010), foram obtidos resultados, determinando que nove camadas possuíam maior susceptibilidade à liquefação, com baixa resistência, menor que 3,25 Mpa (Figura 11).

3.3 Os impactos socioambientais potenciais

Segundo a Fundação Joaquim Nabuco, a lama, composta de minério de ferro, atingiu 205 quilômetros (Figura 12), ocupando uma área de 3,5 quilômetros quadrados em apenas 10 dias do rompimento da barragem e causando a destruição de 268,84 hectares. Segundo o IBAMA, 133,27 hectares de vegetação nativa de Mata Atlântica e 70,65 hectares de Áreas de Preservação Permanente (APP) foram devastados também pelo rejeito.

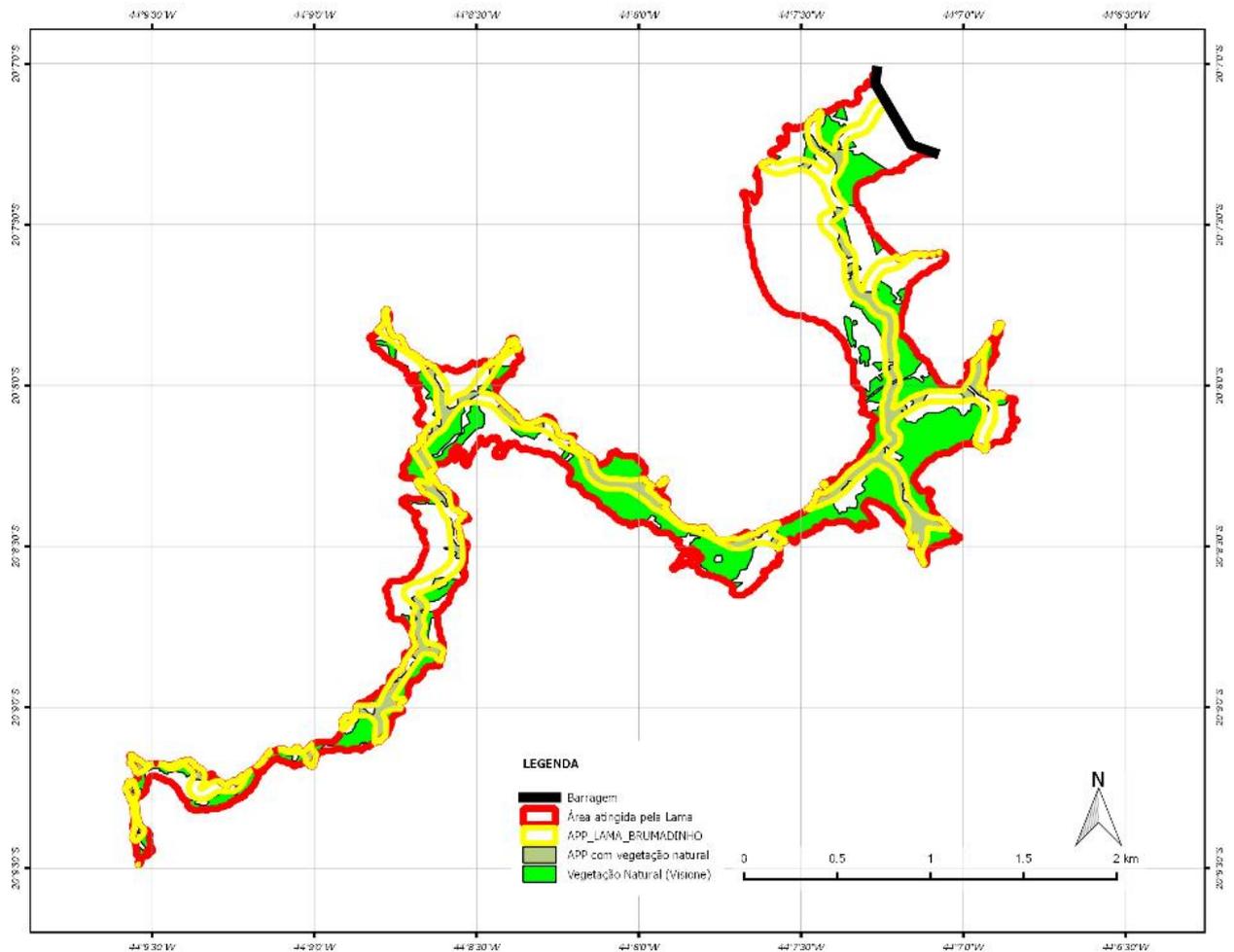


Figura 12: Áreas atingidas pelo rejeito de minério da barragem.

Fonte: IBAMA (2019).

Segundo o professor Allaoua Saad, do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências da UFMG, o rejeito de minério, não é tóxico e segundo informativo da VALE, é composto por materiais inertes, em maioria por sílica e não apresenta componentes tóxicos.

O principal corpo de água afetado, foi o rio Paraopeba (Figura 13), em uma análise, realizada por técnicos da Fundação SOS Mata Atlântica, não foi encontrada vida aquática em 305 quilômetros de extensão do rio e afluentes. Nesta mesma análise, foram encontrados ferro, cromo, cobre e manganês, na água do Rio Paraopeba, e os valores de turbidez são 3,6 vezes superiores ao demandado pela legislação, sendo considerada imprópria, para qualquer atividade humana.

O governo de Minas Gerais, declarou logo após análises que, a água do rio Paraopeba não deverá ser consumida em 21 municípios e que é necessário manter distância de 100 metros das margens do rio para evitar riscos à saúde, afetando também todo o abastecimento da região.

Também foi reportado, através dos dados do IBGE, que a produção da indústria extrativa de Brumadinho, teve uma redução de 14,8% em fevereiro em relação a janeiro de 2019.



Figura 13: Imagem do rio atingido, o Paraopeba.

Fonte: ROLIM (2019).

3.4 Medidas Preventivas

A Lei Federal nº 12.334 de 20/09/2010 define uma relação de parceria entre os empreendedores, donos da barragem e o Poder Público, para que seja realizado de forma correta, a integração da Política Nacional de Segurança das Barragens, atribuindo as atividades de cada parte para melhor realizar a fiscalização, alterações e intervenções no projeto.

Cada barragem deverá ter um Plano de Segurança de Barragem, que é idealizado e realizado pelo dono da barragem, seguindo as normativas apresentadas pela Agência Nacional de Mineração, como definido pela Portaria nº 70.389/2017.

A partir do Plano de Segurança, a Agência Nacional de Mineração irá propor a frequência das inspeções, análises e mudanças, sendo realizadas pelo próprio empreendedor, enquanto também irá ocorrer as inspeções dos agentes públicos.

Os resultados gerados pelas atividades do empreendedor deverão ser registrados e alterações comunicadas à Agência, para que seja possível evitar futuros acidentes.

As atividades definidas pela Agência, para barragens construídas pelo método de alteamento a montante, são: Execução de investigação na barragem, reservatório e a área de impacto das estruturas, utilizando métodos de geofísica e microssísmica, ferramentas capazes de identificar a ocorrência de liquefação no interior da barragem.

Outra ferramenta importante, na prevenção de rompimentos de barragem, segundo a ANM, são as várias classificações, baseadas em diversos parâmetros, realizada pelo empreendedor e oficializada pela Agência Nacional de Mineração. Definindo caráter de risco, dano potencial, características técnicas e uma classificação final.

As características técnicas observadas (Quadro 2), são a altura, o comprimento e a vazão do projeto. A altura e comprimento irão definir o dimensionamento da barragem e a quantidade de resíduos comportados por ela. A vazão do projeto é definida como o tempo hábil da estrutura, a eficiência e

estabilidade dos materiais da estrutura quanto ao tempo que foi planejado para aquela barragem existir.

Quadro 2: Classificação quanto as características técnicas da barragem.

Altura	Comprimento	Vazão de projeto
Altura inferior a 15m (0)	Comprimento inferior a 50m (0)	Cheia máxima provável ou decamilenar (0)
Altura entre 15m e 30m (1)	Comprimento entre 50m e 200m (1)	Milenar (2)
Altura entre 30m e 60m (4)	Comprimento entre 200m e 600m (2)	500 anos (5)
Altura superior a 60m (7)	Comprimento superior a 50m (3)	Inferior a 500 anos ou desconhecida (10)

Fonte adaptada: ANM (2018).

Com os aspectos técnicos definidos, será observado o estado de conservação da barragem, no momento em que foi realizada a classificação, podendo ser alterada posteriormente, caso os parâmetros obtidos sejam diferentes. Nesta fase da classificação, são analisadas as estruturas ao redor da barragem, a capacidade de percolação dos sistemas de drenagem, deformações e recalques na praia e camadas, deterioração e falhas dos taludes (Quadro 3).

Quadro 3: Classificação quanto ao estado de conservação da barragem.

Confiabilidade das estruturas extravasoras	Percolação	Deformações e recalques	Deterioração dos taludes e parâmetros
Estruturas civis bem mantidas e em operação normal / barragem sem necessidade de estruturas extravasoras. (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem. (0)	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura. (0)	Não existe deterioração de taludes e parâmetros. (0)

Estruturas com problemas identificados e medidas corretivas em implementação. (3)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes e ombreiras estáveis e monitorados. (3)	Existência de trincas e abatimentos com medidas corretivas em implementação. (2)	Falhas na proteção dos taludes e parâmetros, presença de vegetação arbustiva. (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implementação das medidas corretivas necessárias. (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem implementação das medidas corretivas necessárias. (6)	Existência de trincas e abatimentos sem medidas corretivas em implementação. (6)	Erosões superficiais, ferragem exposta, presença de vegetação arbórea, sem implantação das medidas corretivas necessárias. (6)
Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas. (10)	Surgência nas áreas de jusante com carreamento de material ou com vazão crescente ou infiltração do material contido, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura. (10)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura. (10)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura. (10)

Fonte adaptada: ANM (2018).

Além da definição do quadro geral da estrutura, para compor uma média final que irá enquadrar a barragem como de risco baixo, médio ou alto, deverá ser também quantificado o estado em que se encontra o plano de segurança, pois é um documento de essencial importância na contenção e prevenção da escalabilidade dos danos ao ocorrer um rompimento, vazamento ou defeito em demais estruturas pertencentes à barragem. Também é utilizado como ferramenta de avaliação da equipe técnica presente, relatórios e qualidade dos procedimentos de segurança utilizados no dia-a-dia (Quadro 4).

Quadro 4: Plano de segurança da barragem.

Existência de documentação de projeto.	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem.	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento.	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem.	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação.
Projeto executivo e “como construído”. (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem. (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento. (0)	Sim ou vertedouro tipo soleira livre. (0)	Emite regularmente os relatórios. (0)
Projeto executivo ou “como construído”. (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem. (4)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção. (3)	Não. (6)	Emite os relatórios sem periodicidade. (3)
Projeto básico. (4)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem. (8)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento. (5)		Não emite os relatórios. (5)
Anteprojeto ou projeto conceitual. (6)		Não possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento. (6)		
Inexiste documentação de projeto. (8)				

Fonte adaptada: ANM (2018).

Para melhor quantificar o potencial de dano da estrutura, é avaliado e estimado, um possível rompimento e a quantidade de vidas humanas, impactos ambientais e socioeconômicos envolvidos nele, através do volume total do reservatório, que contém os rejeitos minerais e a presença dos elementos que compõe cada item impactado (Quadro 5).

Quadro 5: Classificação quanto ao dano potencial da barragem.

Volume total do reservatório.	Potencial de perdas de vidas humanas.	Impacto ambiental.	Impacto socioeconômico.
Inferior a 5 milhões de m ³ . (1)	Inexistente. (0)	Significativo. (3)	Inexistente. (3)
Entre 5 a 75 milhões de m ³ . (2)	Pouco frequente. (4)	Muito significativo. (5)	Baixo. (3)
Entre 75 e 200 milhões de m ³ . (3)	Frequente. (8)		Alto. (3)
Superior a 200 milhões de m ³ . (5)	Existente. (12)		

Fonte adaptada: ANM (2018).

Finalizando, a classificação final de risco será realizada pela soma da pontuação de características técnicas, estado de conservação e plano de segurança (Quadro 6). A Barragem I, foi classificada através desses parâmetros como de baixo risco pela ANM (Agência Nacional de Mineração).

Quadro 6: Pontuação total da classificação de risco da barragem.

Pontuação total (Somatório de CT + EC + PS)	
Classificação de risco	
Categoria de risco	Somatório
Alto	Superior a 65 pontos.
Médio	Entre 37 e 65 pontos.

Baixo	Inferior a 37 pontos.
CT: características técnicas; EC: estado de conservação; PS: plano de segurança.	

Fonte adaptada: ANM (2018).

O dano potencial obtido pela pontuação da Barragem I, foi de alto potencial (Quadro 7), devido à grande quantidade de fauna, flora, corpos de água e principalmente atividades humanas, que eram realizadas no composto da Mina do Feijão.

Quadro 7: Dano potencial total da barragem.

Pontuação total do dano potencial associado	
Alto	Superior a 13 pontos.
Médio	Entre 7 e 13 pontos.
Baixo	Inferior a 7 pontos.
Dano potencial associado = (volume total do reservatório) + (existência de população a jusante) + (impacto ambiental) + (impacto socioeconômico).	

Fonte adaptada: ANM (2018).

A última inspeção realizada, segundo a ANM, foi em 24/02/2016, sendo notificado também, pelo Sistema Integrado de Gestão e Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM), que não havia problemas ou risco a estabilidade e segurança da barragem.

Foi também reportado pela ANM, que a força de trabalho desta, vem sendo reduzida desde de 2010, apesar dos aumentos das competências e atribuições. Sendo em 2016, realizado pelo TCU (Tribunal de Contas da União), que a fiscalização é realizada de forma precária no Brasil, admitindo a baixa capacidade orçamentária, financeira e de recursos humanos da Agência.

Outras medidas preventivas que são de atribuição do empreendedor na composição do plano de emergência (VALE S.A.²), são:

• ² VALE S. A. **Paebm - Plano de ação de emergência para barragens de mineração**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/paebm-wbh34-17-vale-rte-0039_rev2-plano-de-acao-de-emergencia-para-barragens-de-mineracao.pdf. Acesso em: 9 jul. 2019.

- Providenciar a elaboração e atualizar o plano de ação de emergência;
- Promover treinamentos internos e manter os respectivos registros das atividades;
- Participar de simulações de situações de emergência, em conjunto com as prefeituras e organismos de defesa civil;
- Designar formalmente um coordenador para executar as ações descritas no plano de ação de emergência;
- Detectar, avaliar e classificar as situações de emergência em potencial, de acordo com os níveis de resposta;
- Declarar situação de emergência e executar as ações descritas no plano de ação de emergência;
- Executar as ações previstas no fluxograma de notificação;
- Alertar a população potencialmente afetada;
- Notificar as autoridades públicas em caso de situação de emergência;
- Emitir declaração de encerramento da emergência;
- Providenciar a elaboração do relatório de encerramento de eventos de emergência.

Ainda, segundo o estudo realizado por Pirete da Silva (2009), foi recomendada algumas diretrizes para melhorar a segurança da Barragem I e teriam sido efetivas na redução da liquefação da barragem, de acordo com o que foi observado nas análises e testes, sendo elas:

- Definir uma segregação hidráulica homogênea dos rejeitos ao longo do maciço, para compor a base dos novos diques de alteamento.
- Definir pontos de disposição únicos, para evitar formação de espaços vazios e camadas de materiais finos com baixa resistência, melhorando o adensamento e ressecamento do material.
- Utilização da barragem para conter rejeitos de minério e não, rejeitos de minérios e água.
- Formação de uma praia de rejeitos, para afastar o reservatório do maciço.
- Implementação de uma estrutura hidráulica, que viabilize o controle do nível de água do reservatório.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido através da observação do processo de rompimento da Barragem I, do complexo de Brumadinho - MG, que era localizada no ribeirão Ferro-Carvão, na região do Córrego do Feijão, identificada pelas coordenadas de latitude $20^{\circ} 07' 08''$ e longitude $44^{\circ} 07' 12''$, representada pela figura 20.



Figura 14: Complexo de Brumadinho, sede da Barragem I da VALE S.A.

Fonte: GOOGLE EARTH (2019).

4.2 Metodologia

Como meios metodológicos foram realizadas pesquisas bibliográficas, envolvendo reportagens, artigos científicos, portarias e leis de legislações vigentes, manuais de classificação da ANM e utilização da ferramenta Google Earth.

Para representar e compor um cenário de rompimento de uma barragem por método de alteamento a montante, é necessário pesquisar todas as informações disponíveis referentes ao acontecimento, como: história da barragem, classificações, laudos técnicos, estudos realizados sobre e na barragem, reportagens noticiando os fatos ocorridos, notas das instituições envolvidas no rompimento e análises disponíveis dos efeitos gerados pelo rompimento.

Após o estabelecimento das informações, envolvendo a barragem, para entendimento do acontecimento, foi realizado um estudo sobre os laudos apresentados da barragem e enquadramento dos possíveis fenômenos resultantes das falhas estruturais da barragem. Os fenômenos determinados foram a liquefação do rejeito de minério e o “piping”.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os laudos apresentados pela empresa Tüv Süd, representados pelas figuras 6, 7 e 8, demonstram que, em determinada área da barragem, que estava saturada por água, havia um dreno seco e múltiplos com trincas permitindo vazão irregular, assim como presença e acúmulo de coloide na saída do dreno interno.

Estes drenos, realizam a retirada de água de dentro do maciço da barragem, evitando a possibilidade de ocorrência da liquefação do material, o rejeito de minério de ferro SILVA (2010).

Considerando, os aspectos mostrados, pode-se ter surgido condições ideais para dois fenômenos acontecerem nas barragens, piping e liquefação. Ambos com capacidade de resultar em um rompimento de uma barragem de terra, segundo NETO (2009) e SILVA (2010).

O tempo decorrente da realização deste laudo, até a data do incidente, foram de três meses, possibilitando problemas agravantes da drenagem da água interna e acúmulo da água, comprometendo o estado de saturação do material dentro da barragem sendo determinada como possível causa para o acidente, de acordo com NETO (2010).

Assim, é evidenciado a importância da fiscalização constante das estruturas e componentes de uma barragem com rejeitos, tanto por parte dos empreendedores como dos órgãos responsáveis. O tempo de 2 anos, sem fiscalização por parte da ANM, pode ter influenciado diretamente no acontecido.

Através dos mecanismos requisitados pela Agência Nacional de Mineração para o empreendedor é possível evitar situações graves como a ocorrente em Brumadinho mas é necessário de recursos humanos e econômicos para que se consiga estabelecer um regime de fiscalização adequado para todas as barragens existentes no Brasil, principalmente, as de método de montante a alçamento por seu histórico quadro de acidentes.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi compilado, as informações que compõe todo o processo de rompimento, formado pelas possíveis causas, impactos ambientais e socioeconômicos, gerados pelo acidente e histórico da barragem apresentado por laudos técnicos.

As informações dispostas, apresentaram como possíveis causas para o rompimento da barragem a montante, os fenômenos de liquefação e “piping”, ambos atuantes na desestabilização interna da estrutura e que possuíam ambiente favorável para ocorrência neste estudo de caso.

Através do quadro geral apresentado neste documento, é possível observar, que, apesar da qualidade de classificação, planejamento e normas, atualmente, no Brasil, a fiscalização de barragens de rejeitos de mineração no Brasil, é considerada precária, pela própria ANM, sendo também um dos fatores de causalidade dos recentes rompimentos ocorridos.

Sabendo que o Brasil, possui 717 barragens de rejeitos de mineração, sendo, 88 destas, com método de construção de alteamento a montante e desconhecido, é possível que ocorra novos rompimentos, devido à falta de recursos humanos da Agência Nacional de Mineração, para realizar todas suas atribuições, seja na fiscalização ou capacidade de intervenção de desastres.

É necessário também, reavaliar, diante as circunstâncias apresentadas, as legislações vigentes sobre a construção de barragens através do método de alteamento a montante e de alto dano potencial. Assim como, promover melhoria entre as interações do Poder Público e o empreendedor.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

• AGUIAR, Plínio. **Especialistas da UFJF avaliam causas e impactos do rompimento da barragem em Brumadinho**, [S. l.], 29 jan. 2019. Disponível em: <https://noticias.r7.com/sao-paulo/especialistas-apontam-que-metodo-em-brumadinho-e-barato-e-inseguro-29012019>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• ALBERTO, Fellype. Especialistas da UFJF avaliam causas e impactos do rompimento da barragem em Brumadinho. **Especialistas da UFJF avaliam causas e impactos do rompimento da barragem em Brumadinho**, [S. l.], p. 1-1, 30 jan. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2019/01/30/especialistas-da-ufjf-avaliam-causas-e-impactos-do-rompimento-da-barragem-em-brumadinho.ghtml>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• ANM. **Manual de fiscalização**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/manual-de-fiscalizacao-para-barragens-de-mineracao-anm-versao-2018/@@download/file/Manual%20de%20Fiscaliza%C3%A7%C3%A3o%20para%20Barragens%20de%20Minera%C3%A7%C3%A3o%20ANM%20-%20vers%C3%A3o%202018.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2019.

• ANM. **Perguntas e Respostas sobre Barragens de Mineração e o caso de Brumadinho**. [S. l.], 20 fev. 2019. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/perguntas-e-respostas-sobre-barragens-de-mineracao-e-o-caso-de-brumadinho/@@download/file/FAQ%20ANM%20-%20Rev-20-02-2019.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2019.

• BBC. **Brumadinho: O que se sabe sobre o rompimento de barragem que matou ao menos 115 pessoas em MG**, [S. l.], 29 jan. 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-47002609>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• CARNEIRO, Gustavo Severino Guimarães. **Estudo das causas, impactos e medidas corretivas do rompimento de uma barragem de rejeitos, usando o caso da barragem de Mariana – MG**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/22203/3/EstudoCausasImpacto.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2019.

• Central Globo de Jornalismo. **Vale diz que drena e monitora estrutura de 2ª barragem em Brumadinho**, [S. l.], 26 jan. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/26/vale-diz-que-drena-e-monitora-estrutura-de-2a-barragem-em-brumadinho.ghtml>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• CPRM. **Serviço Geológico do Brasil divulga primeiro boletim diário de monitoramento do Rio Paraopeba**, [S. l.], 28 jan. 2019. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/publique/Noticias/Servico-Geologico-do-Brasil-divulga-primeiro-boletim-diario-de-monitoramento-do-Rio-Paraopeba-5445.html>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• DA SILVA, Jandira Maciel; PINHEIRO, Tarcísio Márcio Magalhães. **[Artigo] Rupturas de barragens de rejeitos: um crime contra a humanidade?**, [S. l.], 6 fev. 2019. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/artigo-rupturas-de-barragens-de-rejeitos-um-crime-contra-a-humanidade>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• DE OLIVEIRA, Pedro Henrique de Abreu. **Problemas hidrogeológicos em barragens envolvendo o mecanismo de retroerosão tubular**. 2012. Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/5389/1/OLIVEIRA%2C%20P.H.A.pdf>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• ESTADÃO. **Barragem em Brumadinho tem volume de 12,7 milhões de m³ de rejeito de mineração**, [S. l.], 25 jan. 2019. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2019/01/25/barragem-em-brumadinho-tem-volume-de-1-milhao-de-m-de-rejeito-de-mineracao.htm>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• FREITAS, Raquel. **Dissertação de 2010 na Ufop apontava possibilidade de liquefação em barragem de Brumadinho**, [S. l.], p. 1-1, 6 fev. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/02/06/dissertacao-de-2010-na-ufop-apontava-possibilidade-de-liquefacao-em-barragem-de-brumadinho.ghtml>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **O retrato da qualidade da água na bacia do rio Paraopeba após o rompimento da barragem Córrego do Feijão – Minas Gerais. Observando os Rios**, [S. l.], p. 1-23, 1 fev. 2019. Disponível em: https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/03/Expedicao-Paraopeba_Relatorio.pdf. Acesso em: 9 jul. 2019.

• GOOGLE EARTH. **Barragem Brumadinho**. [S. l.], 14 jul. 2019. Disponível em: <https://www.google.com/maps/search/brumadinho+barragem+/@-20.1311809,-44.1414837,6907m/data=!3m1!1e3>. Acesso em: 14 jul. 2019.

• IBAMA. **Rompimento de barragem da Vale em Brumadinho (MG) destruiu 269,84 hectares**, [S. l.], 30 jan. 2019. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/noticias/730-2019/1881-rompimento-de-barragem-da-vale-em-brumadinho-mg-destruiu-269-84-hectares>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• LARA, PEDRO GUILHERME DE. *In*: Dissertação de mestrado, 2016, FLORIANÓPOLIS, SC. **Metodologia probabilística de previsão de brecha de ruptura de barragens** [...]. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/304011831_Metodologia_probabilistica_de_previsao_de_brecha_de_ruptura_de_barragens Probabilistic_approach_to_dam_breach_modeling . Acesso em: 9 jul. 2019.

• Mauro, Alexandre. **Área atingida por lama da Vale em Brumadinho corresponde a cerca de 300 campos de futebol, diz governo de MG**, [S. l.], p. 1-1, 29 jan. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/29/area-atingida-por-lama-da-vale-em-brumadinho-corresponde-a-cerca-de-300-campos-de-futebol-diz-governo-de-mg.ghtml>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• MELO, Luísa. **Entenda o que é a liquefação, fenômeno que pode levar barragens ao colapso**. [S. l.], 7 fev. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/02/07/entenda-o-que-e-a-liquefacao-fenomeno-que-pode-levar-barragens-ao-colapso.ghtml>. Acesso em: 14 jul. 2019.

• MONTEIRO, Juliane. **Fotos mostram como era área administrativa da Vale destruída após barragem se romper em Brumadinho**, [S. l.], 3 fev. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/02/03/fotos-mostram-como-era-area-administrativa-da-vale-destruida-apos-barragem-se-romper-em-brumadinho.ghtml>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• NASCIMENTO, Pablo. **Sobe para 110 o número de mortos em barragem de Brumadinho**. [S. l.], 31 jan. 2019. Disponível em: <https://noticias.r7.com/minas-gerais/sobe-para-110-o-numero-de-mortos-em-barragem-de-brumadinho-31012019>. Acesso em: 14 jul. 2019.

• NETO, JOÃO PIMENTA FREIRE. *In*: Dissertação de mestrado, 2009, OURO PRETO. **Estudo da liquefação estática em rejeitos e aplicação de metodologia de análise de estabilidade** [...]. [S. l.: s. n.], 2009. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3232/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_%20EstudoLiquefa%c3%a7%c3%a3oEst%c3%a1tica.PDF. Acesso em: 9 jul. 2019.

• REUTERS. **Tudo indica que barragem se rompeu por liquefação, diz autoridade de Minas Gerais**, [S. l.], p. 1-1, 1 fev. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/02/01/tudo-indica-que-barragem-se-rompeu-por-liquefacao-diz-autoridade-de-minas-gerais.ghtml>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• ROLIM, Cadu. **Rio Paraopeba está contaminado em ao menos 305 km, afirma ONG.** [S. l.], 14 fev. 2019. Disponível em: <https://noticias.r7.com/brasil/rio-paraopeba-esta-contaminado-em-ao-menos-305-km-afirma-ong-14022019>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• SACONI, João Paulo; VENTURA, Manoel. **Barragem de Brumadinho tinha baixo risco de acidente, mas alto potencial de danos.** [S. l.], 25 jan. 2019. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/barragem-de-brumadinho-tinha-baixo-risco-de-acidente-mas-alto-potencial-de-danos-23401587>. Acesso em: 14 jul. 2019.

• SILVA, Washington Pirete da. **Estudo do potencial de liquefação estática de uma barragem de rejeito alteada para montante aplicando a metodologia de Olson (2001).** 2010. Mestrado Profissional (Engenharia Geotécnica) - Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010. Disponível em: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Acesso em: 9 jul. 2019.

• TAJRA, Alex. **Prefeito: sem mineração, Brumadinho não poderá pagar ‘serviços essenciais’.** [S. l.], 1 fev. 2019. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2019/02/01/nao-vamos-conseguir-atender-aos-servicos-essenciais-diz-prefeito.html>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• TÜV SÜD. **Laudo aponta problemas no sistema de drenagem na barragem da Vale em Brumadinho.** [S. l.], 5 fev. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/02/05/fotos-mostram-defeitos-na-drenagem-da-barragem-da-vale-em-brumadinho-aponta-professor.ghtml>. Acesso em: 14 jul. 2019.

• VALE S. A.² **Paebm - Plano de ação de emergência para barragens de mineração.** [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/paebm-wbh34-17-vale-rte-0039_rev2-plano-de-acao-de-emergencia-para-barragens-de-mineracao.pdf. Acesso em: 9 jul. 2019.

• VALE S.A.¹ **Esclarecimentos sobre a Barragem I da Mina de Córrego do Feijão.** [S. l.], 25 jan. 2019. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/Esclarecimentos-sobre-a-barragem-I-da-Mina-de-Corrego-do-feijao.aspx>. Acesso em: 9 jul. 2019.

• VEJA. **Veja antes e depois de Brumadinho e imagens aéreas da lama na cidade.** [S. l.], 26 jan. 2019. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/brasil/veja-antes-e-depois-de-brumadinho-e-imagens-aereas-de-lama-na-cidade/>. Acesso em: 9 jul. 2019.

