



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

RICARDO SILVA MELO DE LIRA

**SEGURANÇA DE BARRAGEM: AVALIAÇÃO DAS BARRAGENS DE
MINERAÇÃO NO BRASIL SEGUNDO DADOS DOS PARÂMETROS DE
CLASSIFICAÇÃO DA AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO E CRIAÇÃO DE
PLATAFORMA POWER BI**

Recife
2022

RICARDO SILVA MELO DE LIRA

**SEGURANÇA DE BARRAGEM: AVALIAÇÃO DAS BARRAGENS DE
MINERAÇÃO NO BRASIL SEGUNDO DADOS DOS PARÂMETROS DE
CLASSIFICAÇÃO DA AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO E CRIAÇÃO DE
PLATAFORMA POWER BI**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para o grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Samuel França Amorim

Recife

2022

Catalogação na fonte:
Bibliotecário Josias Machado, CRB-4 / 1690

L768s Lira, Ricardo Silva Melo de.

Segurança de barragem: avaliação das barragens de mineração no Brasil segundo dados dos parâmetros de classificação da Agência Nacional de Mineração e criação de plataforma Power Bi / Ricardo Silva Melo de Lira. – 2022.

84 f.: il., figs., tabs., abrev. e sigl.

Orientador: Prof. Dr. Samuel França Amorim.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Recife, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia civil. 2. Barragens de rejeitos. 3. Segurança de barragem.
4. Inteligência empresarial. 5. Classificação das barragens. I. Amorim, Samuel França (orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2022-285

RICARDO SILVA MELO DE LIRA

**SEGURANÇA DE BARRAGEM: AVALIAÇÃO DAS BARRAGENS DE
MINERAÇÃO NO BRASIL SEGUNDO DADOS DOS PARÂMETROS DE
CLASSIFICAÇÃO DA AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO E CRIAÇÃO DE
PLATAFORMA POWER BI**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências como requisito parcial para o grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 25/04/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD. Samuel França Amorim (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. MSc. Washington Moura de Amorim Junior (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. MSc. Pedro Eugenio Silva de Oliveira (Examinador Externo)
Universidade Católica de Pernambuco

RESUMO

O setor de mineração ganha cada vez mais destaque na economia nacional, e o seu desenvolvimento ocasiona um aumento na geração de rejeitos descartados nos processos de beneficiamento do minério. Com isso, as mineradoras utilizam as barragens com o propósito de depositar tal material de forma adequada, evitando, assim, impactos negativos ao meio ambiente e auxiliando na sua gestão. Contudo, acidentes recentes envolvendo barragens de rejeitos, como Mariana (2015) e Brumadinho (2019), levaram os órgãos reguladores e fiscalizadores a enrijecerem suas regras de segurança. Cabe salientar, que a Lei que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) é a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, anterior aos acidentes. Porém, com o passar dos anos, várias mudanças vêm ocorrendo na legislação de segurança, no desenvolvimento de instrumentos de melhoria na gestão dessas estruturas, bem como na aplicação de um sistema de classificação das barragens de rejeitos, a fim de obter informações de parâmetros relevantes e, consequentemente, permitindo identificar pontos positivos, negativos e de melhorias na segurança dessas estruturas. A partir disso, este trabalho tem como objetivo apresentar um levantamento da situação das barragens de rejeitos, através do estudo dos seus parâmetros de classificação. Tal análise será realizada por meio da ferramenta de Inteligência Empresarial (*Business Intelligence*) Power Bi da Microsoft, na busca de melhorar o gerenciamento das barragens de rejeito e auxiliando em estudos futuros. Chega-se à conclusão de que apesar das características das barragens de rejeitos se apresentarem, de maneira geral, em condições estáveis, os órgãos fiscalizadores e os proprietários necessitam aperfeiçoar o monitoramento e a fiscalização dessas estruturas, independentemente do método construtivo utilizado. Em casos mais críticos, o método a montante exibiu apenas 12,5% das estruturas com DPA alto e 26,3% com CRI alto. Logo, demonstra-se a necessidade de um cuidado maior em todos os tipos de métodos, a fim de evitar novos casos de rupturas que possam ocasionar grandes impactos ambientais, sociais e econômicos.

Palavras-chave: barragens de rejeitos; segurança de barragem; inteligência empresarial; classificação das barragens.

ABSTRACT

The mining sector is gaining increasing prominence in the national economy, this development causes an increase in the generation of discarded tailings in the processes of ore processing. As a part, mining companies use dams for the purpose of depositing such material properly, thus avoiding negative impacts on the environment and assisting in the management of these tailings. However, recent accidents involving tailings dams, such as Mariana (2015) and Brumadinho (2019), led regulators and inspectors to tighten their safety rules. It should be noted that the Law establishing the National Dam Safety Policy (PNSB) and creates the National Dam Safety Information System (SNISB) is Law No. 12,334, of September 20, 2010, prior to accidents. However, over the years, there have been several changes in safety legislation, and the development of instruments to improve the management of these structures, as well as in the implementation of a classification system for tailings dams, in order to obtain information on relevant parameters and consequently enabling the identification of positive, negative and improvements in the safety of these structures. With this, this work aims to present a survey of the situation of tailings dams, through the study of their classification parameters. Such an analysis will be carried out through the Business Intelligence Microsoft's Power Bi, in the quest to improve the management of tailings dams and assisting in future studies. It is concluded that, although the characteristics of tailings dams generally show in stable conditions, supervisory bodies and owners need to improve monitoring and the supervision of these structures independent of the constructive method used. In more critical cases, the upstream method exhibited only 12,5% of the structures with high DPA and 26,3% with high CRI. It soon shows the need for greater care in all types of methods, in order to avoid new cases of ruptures that may cause major environmental, social and economic impacts.

Keywords: tailings dams; dam safety; business Intelligence; classification of dams.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Barragem de rejeito, Cava da mina Córrego do Feijão, Brumadinho MG.....	18
Figura 2 – Método construtivo por etapa única.....	19
Figura 3 – Método construtivo a montante.....	20
Figura 4 – Método construtivo a jusante.....	21
Figura 5 – Método construtivo de linha de centro.....	22
Figura 6 – Rompimentos de barragens de rejeitos por década.....	25
Figura 7 – Rompimentos de barragens de rejeitos por continente entre 1910 e 2019.....	26
Figura 8 – Imagem de satélite antes e depois da ruptura.....	27
Figura 9 – Ruptura da Barragem I, (a) antes (b) durante (c) depois.....	28
Figura 10 – Jusante da Barragem I. Tempo de ruptura.....	29
Figura 11 – Números de volume de rejeitos e de mortos ao longo dos anos.....	29
Figura 12 – Critérios para cadastramento no PNSB.....	37
Figura 13 – Extração dos dados do SIGBM para o Excel.....	51
Figura 14 – Inserindo dados no Power Bi Desktop.....	51
Figura 15 – Inserindo dados no Power Bi Desktop.....	52
Figura 16 – Visualização dos dados do arquivo conectado.....	52
Figura 17 – Transformar dados.....	53
Figura 18 – Tratamento dos dados na ferramenta Power Query.....	53
Figura 19 – Configuração dos dados.....	54
Figura 20 – Localização das barragens e suas classificações.....	55
Figura 21 – Lista das barragens.....	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Número de barragens por classificação CRI.....	56
Gráfico 2 – Número de barragens por classificação DPA.....	57
Gráfico 3 – Número de barragens por estado.....	57
Gráfico 4 – Número de barragens por estado x CRI alto e médio.....	58
Gráfico 5 – Número de barragens por estado x DPA alto e médio.....	58
Gráfico 6 – Número de barragens por altura.....	59
Gráfico 7 – Número de barragens por método construtivo.....	59
Gráfico 8 – Número de barragens, comparação entre método construtivo e altura.....	59
Gráfico 9 – Número de barragens, comparação entre método construtivo e altura.....	60
Gráfico 10 – Número de barragens, comparação entre método construtivo e altura	60
Gráfico 11 – Número de barragens, comparação entre método construtivo e altura.....	60
Gráfico 12 – Número de barragens por auscultação.....	61
Gráfico 13 – Número de barragens com confiabilidade nas estruturas extravasora.....	62
Gráfico 14 – Número de barragens com percolação.....	63
Gráfico 15 – Número de barragens com deformação e recalque.....	64
Gráfico 16 – Número de barragens com deterioração dos taludes.....	65
Gráfico 17 – Número de barragens por documentação de projeto.....	66
Gráfico 18 – Número de barragens por relatórios de inspeção.....	66
Gráfico 19 – Número de barragens por manuais de procedimentos.....	67
Gráfico 20 – Não possui manuais de procedimentos por estado.....	68
Gráfico 21 – Número de barragens por estrutura organizacional.....	68
Gráfico 22 – Número de barragens por PAEBM.....	70
Gráfico 23 – Número de barragens – Não possui PAEBM por estado.....	70
Gráfico 24 – Número de barragens por volume no reservatório.....	71
Gráfico 25 – Impacto socioeconômico médio e alto x volume.....	71
Gráfico 26 – Número de barragens por impacto socioeconômico.....	72

Gráfico 27 – Número de barragens por impacto ambiental.....	72
Gráfico 28 – Relação entre DPA alto e método construtivo.....	73
Gráfico 29 – Relação entre CRI alto e método construtivo.....	73
Gráfico 30 – Relação entre CRI alto e DPA alto com método construtivo.....	74
Gráfico 31 – Relação entre CRI alto e DPA alto com altura.....	74
Gráfico 32 – Relação entre CRI alto e DPA alto com volume.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Casos de rompimentos de barragens de rejeitos.....	24
Tabela 2 – Classificação das Barragens de Rejeitos ou Resíduos na Mineração	39
Tabela 3 – Classificação da barragem quanto à Categoria de Risco.....	40
Tabela 4 – Faixas de Classificação da Categoria de Risco.....	40
Tabela 5 – Características Técnicas (CT).....	41
Tabela 6 – Estado de Conservação (EC).....	43
Tabela 7 – Plano de Segurança da Barragem (PSB).....	45
Tabela 8 – Dano Potencial Associado (DPA).....	47
Tabela 9 – Classificação da barragem quanto ao Potencial de Dano Ambiental..	48
Tabela 10 – Barragens com problemas identificados no extravasor, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas.....	62
Tabela 11 – Barragens com surgências nas áreas de jusante com carreamento de material ou vazão crescente ou infiltração do material contido, com potencial de comprometimento a segurança.....	63
Tabela 12 – Barragens com existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento a segurança.....	64
Tabela 13 – Barragens com depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento a segurança.....	65
Tabela 14 – Barragens que não possui unidade administrativa e responsável técnico qualificado pela segurança.....	69
Tabela 15 – Barragens com CRI alto e DPA alto.....	75
Tabela 16 – Principais conclusões dos resultados.....	77

LISTA DE SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ANA	AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
ANM	AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO
BI	BUSINESS INTELLIGENCE
BRE	BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT
BUREC	BUREAU OF RECLAMATION
CBDB	COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS
CNRH	CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS
CRI	CATEGORIA DE RISCO
CSB	COMISSÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS
DPA	DANO POTENCIAL ASSOCIADO
DNPM	DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL
FIR	FICHA DE INSPEÇÃO REGULAR
IBRAM	INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO
ICOLD	INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS
INAG	INSTITUTO NACIONAL DA ÁGUA
ISE	INSPEÇÕES DE SEGURANÇA ESPECIAIS
ISR	INSPEÇÕES DE SEGURANÇA REGULARES
LNEC	LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL
EOR	ENGINEER OF RECORD
PAE	PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL
PAEBM	PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA PARA BARRAGENS DE MINERAÇÃO
PNSB	POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS
PSB	PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS
RSB	REGULAMENTO PARA SEGURANÇA DE BARRAGENS
SEED	SAFETY EVALUATION ON EXISTING DAMS
SNISB	SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS
SIGBM	SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO

SNPC SERVIÇO NACIONAL DE PROTEÇÃO CIVIL
SOD SAFETY OF DAMS
USACE U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	16
1.2	OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	BARRAGEM DE REJEITO.....	17
2.1.1	Métodos Construtivos	18
2.1.1.1	Etapa única	19
2.1.1.2	Método de linha de montante.....	19
2.1.1.3	Método de linha de jusante	20
2.1.1.4	Método de linha de centro.....	21
2.1.2	Histórico de acidentes e incidentes	22
2.1.3	Engenheiro de Registro (EdR)	30
2.1.4	Descaracterização.....	30
2.2	SEGURANÇA DE BARRAGEM	32
2.2.1	Legislação do Estados Unidos sobre segurança de barragens	33
2.2.2	Legislação da Grã-Bretanha sobre segurança de barragens.....	34
2.2.3	Legislação de Portugal sobre segurança de barragens	35
2.2.4	Legislação brasileira sobre segurança de barragens	36
2.3	AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO	38
2.3.1	Classificação das barragens	38
2.3.2	Categoria de risco (CRI)	39
2.3.2.1	Características técnicas	40
2.3.2.2	Estado de conservação	42
2.3.2.3	Plano de Segurança de Barragens	43

2.3.3	Dano potencial associado (DPA)	46
2.4	<i>BUSINESS INTELLIGENCE (BI)</i>	48
3	MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1	FONTE E CONEXÃO DE DADOS	50
3.2	DADOS LIMPOS E TRANSFORMADOS.....	52
3.3	MODELAGEM DOS DADOS	53
3.4	VISUALIZAÇÃO DOS DADOS.....	54
4	RESULTADOS	55
5	CONCLUSÕES.....	76
6	REFERÊNCIAS.....	79

1 Introdução

No Brasil, milhões de pessoas dependem de barragens para o consumo de água e geração de energia, tornando os barramentos e hidroelétricas altamente e estrategicamente relevantes para o desenvolvimento do país. O mercado que envolve essas estruturas proporciona geração de empregos, viabilização da indústria, agropecuária, dentre outros benefícios. Essas barragens têm importância fundamental para a economia de municípios, estados e países.

Por definição, uma barragem seria qualquer estrutura construída para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos (BRASIL, 2020), essas estruturas chamam atenção de diversos setores pela sua diversidade de utilização.

O setor de mineração demonstra ser um dos principais beneficiados na utilização deste tipo de estrutura. No ano de 2020, a mineração como atividade de extração, aparece em crescimento como uma das principais áreas que movimenta o cenário econômico brasileiro, sendo gerados 180 mil empregos diretos no setor, além do faturamento de R\$ 208,9 bilhões (IBRAM, 2020), e de acordo com o ministro de Minas e Energia, Bento Albuquerque, o setor foi responsável por quase 2,5% do Produto Interno Bruto (PIB) neste mesmo ano (BRASIL, 2021).

Em 2021, com o crescimento para 5% do PIB, o setor se estabelece como uma dos maiores e mais importantes atividades econômicas no país (TASSO MENDONÇA, 2021). Deste período até 2025, o setor mineral tem estimativas de investimentos de US\$ 38 bilhões (IBRAM, 2021).

Com esse crescimento constante da mineração, há um avanço na construção de novas barragens de rejeitos. Entretanto, no quesito segurança, apenas na década de 90 no Brasil foi iniciado com o Comitê Brasileiro De Barragens (CBDB) a promoção de ações no Congresso Nacional para instituir uma Lei de Segurança de Barragens. Após estudos sobre o tema e discussões no setor legislativo, foi promulgada no país a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e a criação o Sistema Nacional de Informação sobre Segurança de Barragens (SNISB).

Contudo, o processo de implementação da Lei Nacional ocorria de forma lenta, passando por atualizações, à medida em que se estabelecia um novo conceito sobre o tema. Essas modernizações ganharam importância após a ocorrência de grandes

desastres, como os ocorridos na barragem da Samarco em Mariana no ano de 2015, e na barragem da Vale em Brumadinho em 2019. Estes casos serão detalhados no item 2.1.2 - Histórico de acidentes e incidentes, mostrando o quanto é necessário um acompanhamento detalhado sobre a segurança dessas barragens. Esses aspectos representaram uma mudança qualitativa importante na gestão das barragens de mineração, chamando atenção do poder público e da população.

Conforme definido no art. 7º da Lei nº 12.334/2010, redação dada pela sua alteração recente na Lei nº 14.066 de 30 de setembro de 2020, para qualquer barragem se adequar à lei de segurança de barragem e ser inseridas na PNSB deve conter pelo menos uma dessas características: altura do maciço, medida do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento do barramento, maior ou igual a 15 (quinze) metros; capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³; reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis; categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas; categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador.

Em janeiro de 2020, foi lançado pela ANM, o Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM) versão pública, onde permite que a população tenha acesso ao Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, consultar as informações das barragens de mineração do Brasil, visando uma maior transparência e interação com os dados (ANM, 2020).

Atualmente existem mais de 900 barragens de mineração, entretanto mais de 400 não estão inseridas no PNSB (ANM, 2022). A partir disso, a lei regulamentadora, visando facilitar o monitoramento de todas essas estruturas, implementou um sistema de classificação, a fim de determinar medidas de segurança adequadas, facilitando o gerenciamento das estruturas, e mostrando que uma boa coleta de dados ajudaria no processo de análise de decisões, tanto dos empreendedores dessas estruturas, como dos órgãos fiscalizadores.

1.1 Justificativa do trabalho

No Brasil, os dois grandes acidentes de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), envolvendo barragens de mineração causaram danos sociais, econômicos e ambientais, provocando um maior cuidado na fiscalização, e um controle mais detalhado neste tipo de estrutura. Esses desastres demonstraram para população a importância de um cuidado maior com os procedimentos adotados, garantindo padrões de segurança de barragens, e com isso cada região do país precisa avaliar suas barragens quanto aos critérios de classificação para se adequar às exigências da PNSB.

Diante desses casos recentes, nota-se que há uma problemática por parte dos responsáveis dessas estruturas, por não fornecerem aos órgãos fiscalizadores informações atualizadas de suas condições, ficando impossível de se ter uma análise crítica desses tipos de construção que influencia diretamente na segurança da população, sua economia e meio ambiente.

1.2 Objetivo geral e específicos

O presente trabalho foi desenvolvido objetivando alcançar uma análise dos aspectos da classificação atual referente ao estado de segurança das barragens de mineração do Brasil com base no banco de dados da Agência Nacional de Mineração (ANM), apresentando os dados existentes, discutindo a situação destas estruturas em relação ao seu órgão fiscalizador, e contribuindo para uma gestão de maior qualidade e eficiência. Para tanto foram estabelecidos como objetivos específicos:

- Buscar as características de segurança e dos critérios de classificação das barragens de rejeitos no Brasil.
- Distinguir as barragens de rejeitos de acordo com seus parâmetros.
- Sugerir o uso do *Business Intelligence* para beneficiar o gerenciamento das barragens.
- Realizar um levantamento quantitativo dos dados obtidos das barragens de rejeitos, auxiliando em estudos futuros.
- Criar uma plataforma de visualização e disponibilizar os dados de forma pública.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Barragem de rejeito

Os processos de beneficiamento realizados no setor de mineração consistem na separação do minério bruto. A parte que não apresenta valor econômico é disposta como rejeito (ARAÚJO, 2006, p. 4). Logo, as mineradoras necessitam armazenar esse material gerado, e a seleção do método utilizado para a disposição dos rejeitos depende de diversos fatores como a natureza do processo, as condições geológicas e topográficas da região, as propriedades mecânicas dos materiais e do poder de impacto ambiental do contaminante dos rejeitos (DUARTE, 2008, p.6).

As barragens, entre os métodos de acomodação, ainda são as mais escolhidas, apresentando um papel importante no setor de mineração, sendo consideradas o meio mais viável para depositar os rejeitos e com processo de construção em menor tempo (SOARES, 2010). Na Figura 1 podemos ver um exemplo deste tipo de barragem.

Em relação às normas vigentes sobre essas estruturas, a NBR 13.028 (2017) mostra as condições mínimas para elaboração de um projeto de barragens de mineração, com a finalidade de manter o material de uma maneira planejada e controlada, apontando às condições de segurança, operação e desativação, e diminuindo os impactos ao meio ambiente. No caso específico das barragens de rejeito de mineração, a NBR 13.028 as define como:

“barragens, barramentos, diques, cavas com barramentos construídos, associados às atividades desenvolvidas com base em direito mineral, construídos em cota superior à da topografia original do terreno, utilizados em caráter temporário ou definitivo para fins de contenção, acumulação, decantação ou descarga de rejeitos de mineração ou de sedimentos provenientes de atividades de mineração com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas, excluindo-se deste conceito as barragens de contenção de resíduos industriais” (ABNT, 2017).

Devido a esses fatores envolvidos na construção dessas estruturas, é necessário obter um planejamento adequado e buscar conhecimento sobre as características que envolvem este tipo de obra, em busca de evitar quaisquer danos imprevistos (SENNA e SILVA, 2017, p.9).

Figura 1 – Barragem de rejeito, Cava da mina Córrego do Feijão, Brumadinho MG



Fonte: VALE (2019)

2.1.1 Métodos Construtivos

De acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM), as barragens de mineração são construídas com aterro ou com os próprios rejeitos produzidos pelas atividades das minas. Para essas barragens, acaba sendo atrativo utilizar métodos construtivos por alteamentos, por causa da sua flexibilidade construtiva ao longo do tempo de uso, devido às mudanças na produção das mineradoras (SOARES, 2010).

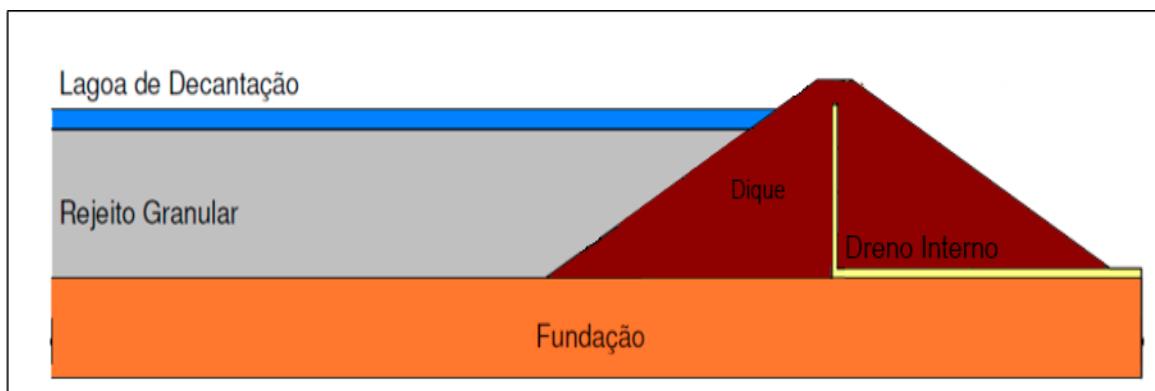
Para adequar a produção das mineradoras, as barragens passam por procedimentos de alteamentos, sendo construídas a partir de um dique de partida e suas alturas do maciço recebendo incrementos ao longo do processo, com a finalidade de aumentar a capacidade do barramento (ABNT, 2017). Este processo pode ser projetado e construído por meio de três métodos: alteamento a montante, a jusante e linha de centro.

Entretanto, existem barragens que foram construídas sem alteamentos, mas esse tipo de barragem não acompanha a produção das mineradoras, então acaba se tornando menos vantajoso para os proprietários. Apesar de economicamente mais atraente, os métodos por alteamento devem exigir uma incorporação das equipes de mineração e de projetistas durante todas as etapas da obra (SOARES, 2010).

2.1.1.1 Etapa única

O método por etapa única é quando o barramento é executado em um único dique, com a altura final do projeto sem receber alteamentos futuros o rejeito é depositado após a construção total da barragem (ver Figura 2). Este método só é indicado utilizar em locais onde há grande incidência de água pluvial.

Figura 2 – Método construtivo por etapa única



Fonte: Modificado de Albuquerque Filho (2004)

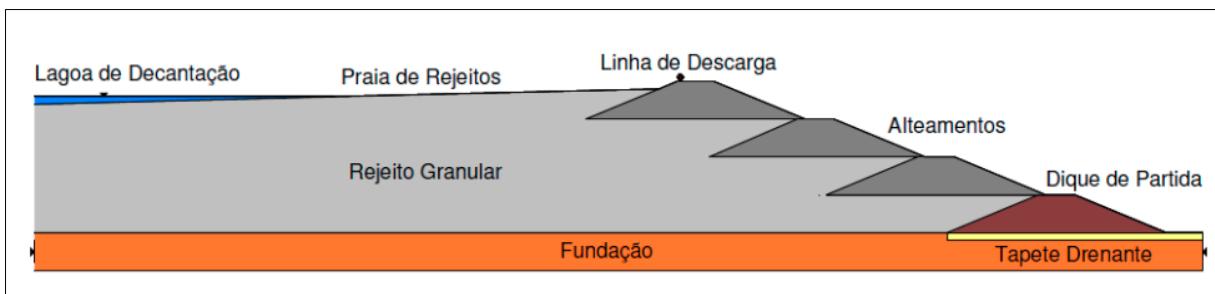
2.1.1.2 Método de linha de montante

Em relação à construção do barramento pelo método de linha de montante, de acordo com Soares (2010, p. 849).

“eixo da obra se desloca para montante e há o aproveitamento dos rejeitos depositados como parte da estrutura de contenção. Os rejeitos são lançados a montante desde a crista do dique inicial, formando uma praia, a qual servirá como fundação para a construção do novo alteamento.” (ver Figura 3)

Este processo vai acontecer sucessivamente até chegar na altura do projeto final determinado pelo projetista da barragem (ARAÚJO, 2006).

Figura 3 – Método construtivo a montante



Fonte: Albuquerque Filho (2004)

Segundo Albuquerque Filho (2004), este método seria, entre os outros utilizados, o mais antigo e simples. Entretanto, a sua segurança mostra algumas deficiências por ter um controle construtivo abaixo dos outros métodos. As suas vantagens estariam em apresentar um custo menor na sua construção, pois os seus alteamentos são construídos de maneira mais rápida e com um menor volume nas suas etapas (SOARES, 2010).

De acordo com Machado (2007), geralmente sua construção é realizada de uma forma desorganizada, resultando em aterros com baixa qualidade, provocando uma instabilidade na estrutura por apresentar altos índices de vazios e levando a barragem a ter uma menor segurança.

“Nesse método construtivo ainda existe uma dificuldade na implantação de um sistema interno de drenagem eficiente para controlar o nível d’água dentro da barragem, constituindo um problema adicional com reflexos na estabilidade da estrutura” (DUARTE, 2008, p. 9)

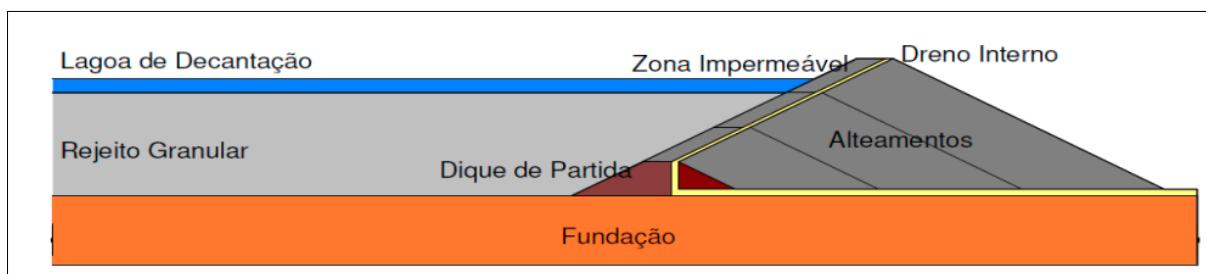
2.1.1.3 Método de linha de jusante

Em relação a construção do barramento pelo método de linha de jusante, de acordo com Duarte (2008, p. 9).

“etapa inicial consiste na construção de um dique de partida, normalmente de solo ou enrocamento compactado, em que os alteamentos subsequentes são realizados para jusante do dique de partida. Este processo continua sucessivamente até que a cota final prevista em projeto seja atingida.” (ver Figura 4)

O dique inicial deve ser dotado de drenagem interna (filtro vertical e tapete drenante), além de que o talude de montante seja impermeabilizado com argila compactada ou mantas plásticas específicas para impermeabilização (SOARES, 2010, p. 853).

Figura 4 – Método construtivo a jusante



Fonte: Albuquerque Filho (2004)

Para construção deste método, não é utilizado a praia com rejeito consolidada como fundações dos seus próximos alteamentos. Com isso, de acordo Albuquerque Filho (2004, p. 23), “a adoção de estruturas construídas pela técnica de alteamento para jusante possibilitou a execução de barragens de rejeitos de maior porte e com fatores de segurança mais satisfatórios”.

Segundo Soares (2010), este método expõe algumas desvantagens, como o seu custo elevado, pois além da necessidade de movimentar uma quantidade maior de material e compactá-lo, acaba se tornando um método de alteamento mais lento. Também não proporciona que no talude de jusante dos alteamentos, ocorra uma proteção superficial por meio de gramas e impossibilita a instalação de uma drenagem superficial, por acontecer a superposição dos rejeitos nestes taludes.

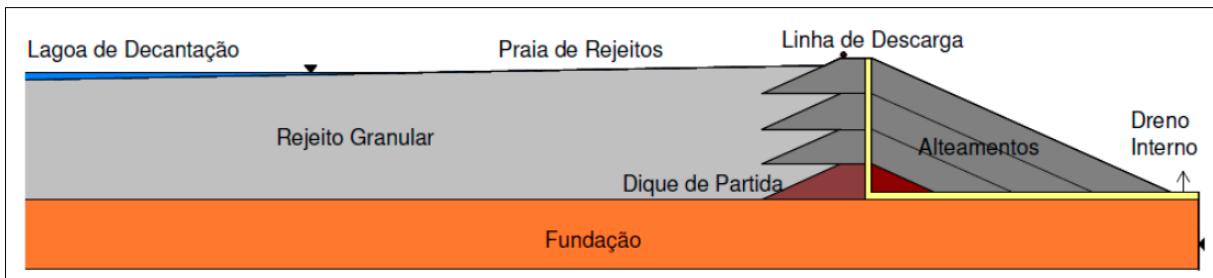
2.1.1.4 **Método de linha de centro**

Em relação a construção do barramento pelo método de linha de centro, de acordo com Albuquerque Filho (2004, p. 24).

“representa basicamente uma variação do método de jusante em que o alteamento da crista é realizado de forma vertical. O primeiro alteamento é executado lançando-se o aterro sobre o limite montante da praia e o talude de jusante do maciço do dique de partida, com os alteamentos subsequentes

devendo ser coincidentes a este eixo durante toda a vida útil da barragem.” (ver Figura 5)

Figura 5 – Método construtivo de linha de centro



Fonte: Albuquerque Filho (2004)

De acordo com Soares (2010, p. 855), o método apresenta como algumas das vantagens e desvantagens descritas abaixo:

Vantagens:

- Facilidade construtiva;
- Permite o controle da linha freática no talude de jusante.

Desvantagens:

- Área a montante é passível de escorregamentos;
- Não permite tratamentos da superfície do talude de jusante.

As barragens alteadas por este método, apresentam uma solução intermediária entre o método de montante e o de jusante, demonstrando vantagens desses dois métodos, tentando minimizar suas desvantagens (DUARTE, 2008). Segundo Lozano (2006, p. 14), o método apresenta uma operação complexa, necessitando de grandes investimentos para sua construção.

2.1.2 Histórico de acidentes e incidentes

O tema segurança deve sempre acompanhar toda a vida útil das barragens, buscando minimizar os riscos de acidente e incidentes nessas estruturas. De acordo com o Art. 2 da Resolução nº 144/2012, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), estes termos têm como conceito:

- Acidente: comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo de um reservatório ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou estrutura anexa;
- Incidente: qualquer ocorrência que afete o comportamento da barragem ou estrutura anexa que, se não for controlada, pode causar um acidente.

O motivo de ocorrer esses acidentes e incidentes nos barramentos frequentemente é relacionado a ineficiência da sua instrumentação e monitoramento por parte dos responsáveis. Também está atrelado às situações inadequadas no quesito de fiscalização, projeto, construção, operação, entre outras (DUARTE, 2008).

Com isso, ocasiona uma constância de casos de rompimentos dessas barragens ao longo dos anos em diversos países. O ICOLD (*International Commission On Large Dams*), no ano de 2001 apresentou no Bulletin 121, alguns casos de rompimentos de barragens de rejeitos pelo mundo (ver Tabela 1).

Tabela 1 – Casos de rompimentos de barragens de rejeitos

Mês e Ano	Ocorrência
Setembro de 1970	Mufilira, Zâmbia: 89 mortes, 68.000 m ³ derramados na área de mineração
Fevereiro de 1972	Buffalo Creek, EUA: 125 mortes, 500 casas destruídas
Novembro de 1974	Bafokeng, África do Sul: 3 milhões de m ³ de lodo seguiram por 45 km, resultando em 12 mortes.
Janeiro de 1978	Arcturus, Zimbábue: 20.000 m ³ , uma morte.
Julho de 1985	Stava, Itália: 269 mortes, rejeitos seguiram por 8 km
Fevereiro de 1994	Merriespruit, África do Sul: 17 mortos, 500.000 m ³ de lodo seguiram por 2 km.
Agosto de 1995	Omai, Guiana: 4.2 milhões de m ³ lodo cianeto
Setembro de 1995	Placer, Filipinas: 50.000 m ³ , 12 mortos.
Março de 1996	Marcopper, Filipinas: 1.5 milhões de toneladas de rejeitos.
Agosto de 1996	El Porco, Bolívia: 400.000 toneladas envolvidas
Outubro de 1997	Pinto Valley, EUA: liberação de 230.000 m ³ de rejeitos.
Abril de 1998	Aznalcóllar, Espanha: liberação de 4-5 milhões de m ³ água tóxica e lodo
Dezembro de 1998	Huelva, Espanha: liberação de 50.000 m ³ de resíduos industriais tóxicos e ácidos.
Abril de 1999	Placer, Surigao del Norte, Filipinas: 700.000 toneladas de rejeitos contaminados com cianeto foram derramadas. 17 casas destruídas.
Abril de 1999	Baia Maré, Romênia: 100.000 m ³ de cianeto contaminaram água com os rejeitos derramados.
Março de 2000	Borsa, Romênia: 22.000 toneladas de rejeitos contaminados por metais pesados foram liberadas, contaminando água e solo
Setembro de 2000	Mina de Aitik, Suécia: 1,8 milhões de m ³ de água liberada.
Outubro de 2000	Martin County Coal Corporation, Kentucky, EUA: 0,95 milhões de m ³ de rejeitos derramados nos rios a jusante, ocorrendo mortalidade de peixes e tornando água imprópria ao abastecimento.

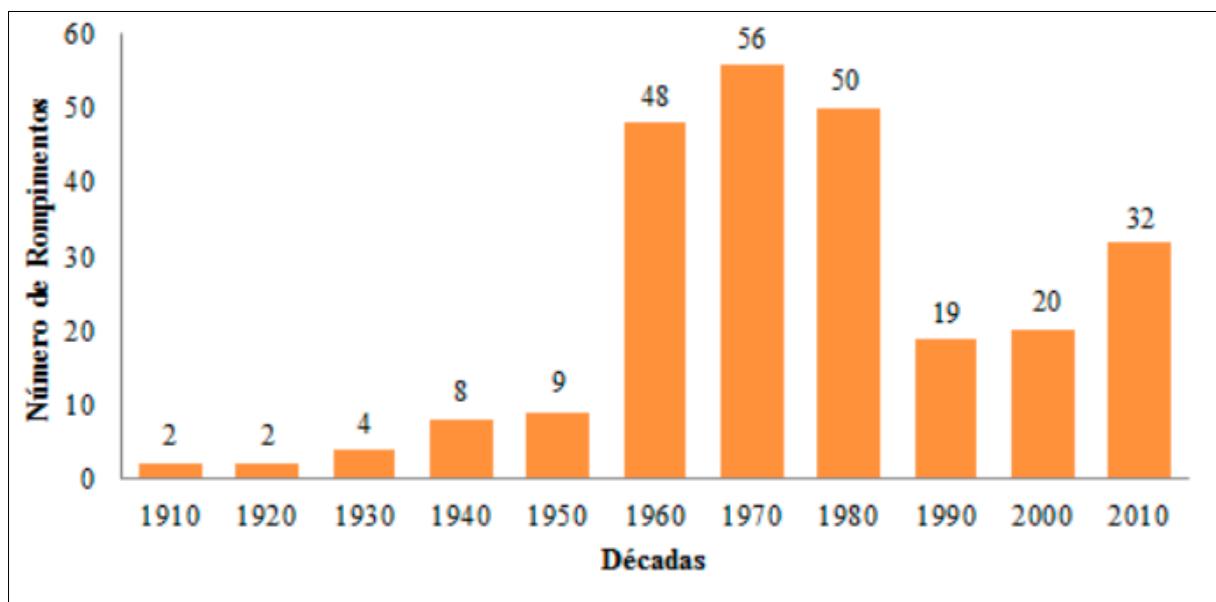
Fonte: Duarte (2008)

Podemos perceber a variedade de tipos de casos, em locais e com consequências diferentes. As barragens de rejeitos são estruturas que apresentam uma grande complexidade e que necessitam de cuidados em todos os processos que as envolvem, desde a sua elaboração no projeto, sua construção, manuseio e, eventualmente, em sua descaracterização.

Os casos de ruptura dessas barragens, ocorrem por danos físicos no barramento ou nas suas estruturas incorporadas, prejudicando a funcionalidade do empreendimento (GUIDICINI, SANDRONI e MELLOPODE, 2021). Os vários acidentes ocorridos com as barragens, despertam a atenção da comunidade técnica e de autoridades governamentais para a questão de segurança destas obras (SOARES, 2010, p. 832).

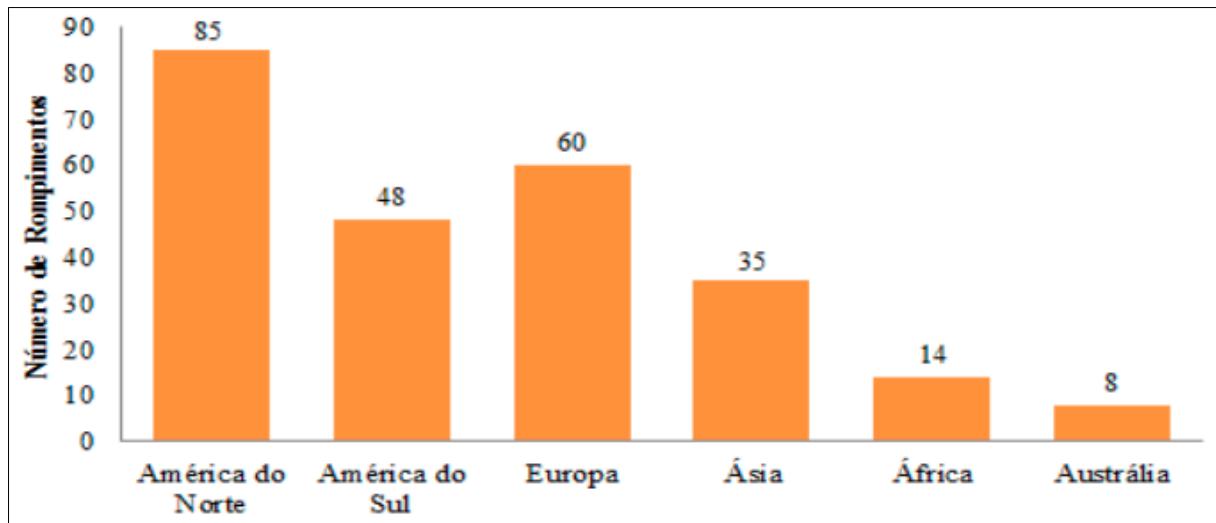
Portanto, segundo Magalhães Júnior et al (2020, p. 370-371), através dos trabalhos de Azam e Li (2010) que fornecem dados sobre os rompimentos desses barramentos entre as décadas de 1910 e 2000, e nos casos ocorridos a partir da década de 2010, buscou-se os dados disponibilizados pela *World Information Service on Energy* (WISE). No conjunto desses casos estudados percebeu-se que a grande parte ocorreu entre os anos de 1960 e 1980 (ver Figura 6), principalmente na América do Norte e na Europa (ver Figura 7).

Figura 6 – Rompimentos de barragens de rejeitos por década



Fonte: Magalhães Júnior et al (2020)

Figura 7 – Rompimentos de barragens de rejeitos por continente entre 1910 e 2019



Fonte: Magalhães Júnior et al (2020)

A partir desses números destacados são apresentados 4 casos de rompimentos que ganharam grande destaque midiático e acadêmico pelas circunstâncias em que ocorreram e pelos danos gerados (MAGALHÃES JÚNIOR et al, 2020).

A Barragem de Aznalcóllar, localizada na Espanha, que rompeu em 25 de abril de 1998, liberando mais de 5 milhões de m³ de rejeitos (MEHARG et al., 1999). A lama de rejeito atingiu o rio Agrio e, em sequência, o importante rio Guadiamar, que deságua no Parque Nacional de Doñana, considerado patrimônio mundial da humanidade pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). Os rejeitos atingiram cerca de 40 km do rio, impactando a biota aquática e diversas espécies de aves (MAGALHÃES JÚNIOR, 2020).

Outro caso importante de rompimento foi em 4 de agosto de 2014, da Barragem de Mount Polley localizada no Canadá. Foram liberados mais de 24 milhões de m³ de água e rejeitos (MARSHALL, 2017). O material prosseguiu até atingir o Lago Quesnel, que é um manancial de abastecimento de água e berço de reprodução de salmões vermelhos. A pesca, sendo uma das principais atividades econômicas da região, foi prejudicada, afetando várias cidades e comunidades que sofrem com os impactos do desastre até hoje (MAGALHÃES JÚNIOR, 2020).

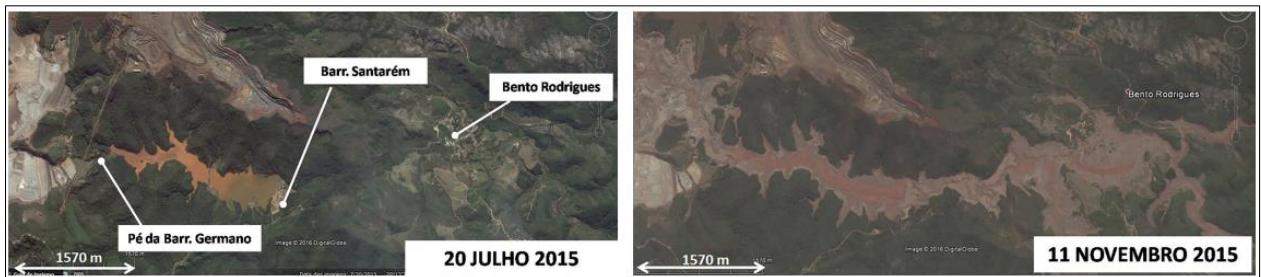
No Brasil, os casos que receberam maior repercussão aconteceram em Minas Gerais. O rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana, e da Barragem I – Córrego do Feijão, localizada em Brumadinho. Em 2015, a barragem do Fundão, de

propriedade da Samarco Mineração, acumulava um volume de cerca de 45 milhões de m³ de rejeito de minério de ferro, tendo como o seu método construtivo de alteamento a montante (GUIDICINI, SANDRONI e MELLOPODE, 2021). “O grande volume de material liberado percorreu mais de 600 km das cabeceiras da bacia do rio Doce até a sua foz no oceano Atlântico, sendo considerado um dos maiores desastres ambientais ocorridos no Brasil.” (MAGALHÃES JÚNIOR, 2020).

O rompimento deste barramento, ocasionou efeitos consecutivos devastadores a jusante. Na Figura 8, pode observar o avanço da onda de lama atingindo o pé da barragem Germano, em seguida a barragem de Santarém misturando-se com a água acumulada no local, o que aumentou a diluição do rejeito e, consequentemente, o aumento de sua velocidade atingindo o povoado de Bento Rodrigues (GUIDICINI, SANDRONI e MELLOPODE, 2021)

Este rompimento provocou graves danos ambientais, socioeconômicos, materiais e humanos, deixando 17 pessoas mortas e mais de 600 desabrigadas, além de milhares de pessoas sem água. (GRUPO DA FORÇA-TAREFA, 2016).

Figura 8 – Imagem de satélite antes e depois da ruptura



Fonte: (Guidicini, Sandroni e Mellopode, 2021)

Em 2019, aconteceu o rompimento da Barragem I, da Mina de Ferro do Córrego do Feijão, da Vale, situada em Brumadinho. A estrutura apresentava, também, método construtivo de alteamento a montante, suas unidades mais próximas a jusante foram atingidas pela onda de lama que se seguiu à ruptura (GUIDICINI, SANDRONI e MELLOPODE, 2021).

De acordo com WISE Uranium (2019), foram despejados 12 milhões de m³ de rejeitos para jusante, resultando em 270 vítimas entre mortos e desaparecidos. De acordo com o IEF, Instituto Estadual de Florestas (2019), o rejeito atingiu uma área total de 292,27 hectares chegando até o Rio Paraopeba, onde cerca de 150,07 hectares de vegetação foram impactados pelo rompimento.

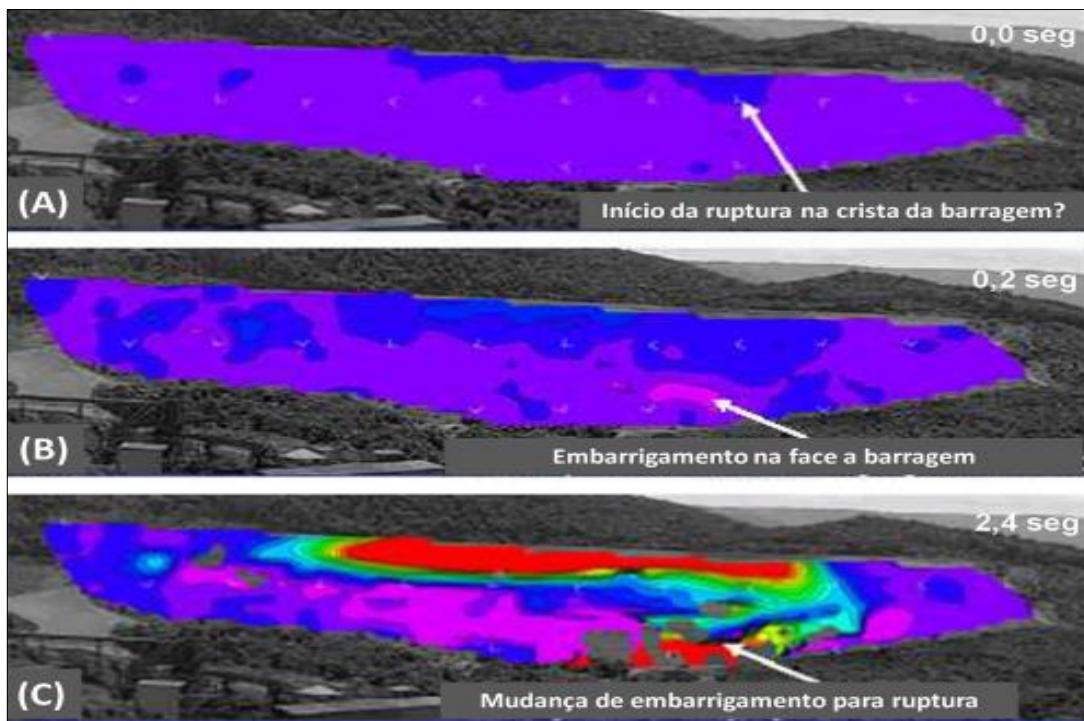
A Figura 9 e a Figura 10 demonstram, em sequência, desde o primeiro sinal de movimento, após apenas 0,2 segundos, o início do embarrigamento da face até a generalização da ruptura em 2,4 segundos depois. Com isso, denota a velocidade da ruptura e o tipo de movimento de fluxo de detrito ou corrida de terra pelo comportamento hidrodinâmico.

Figura 9 – Ruptura da Barragem I, (a) antes (b) durante (c) depois



Fonte: Robertson, et al (2019)

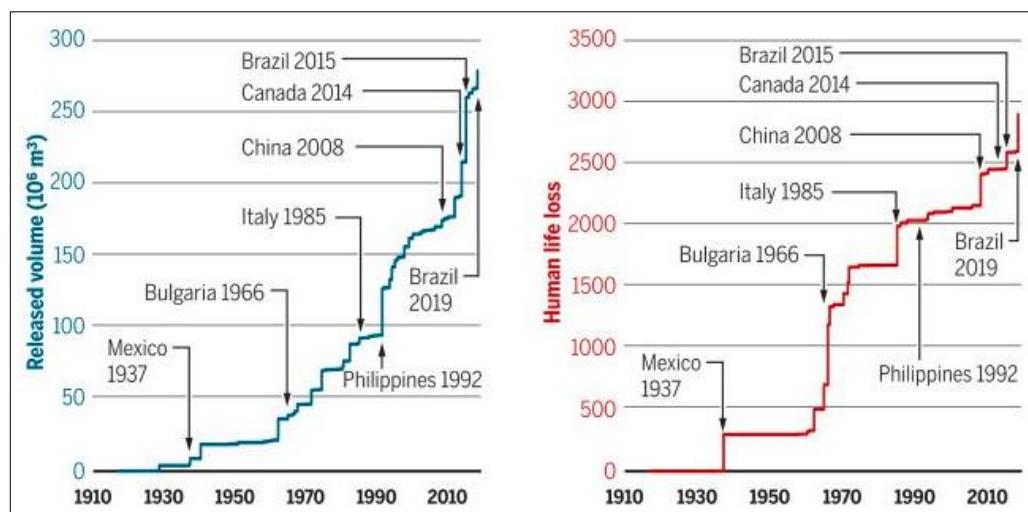
Figura 10 – Jusante da Barragem I. Tempo de ruptura



Fonte: Robertson, et al (2019)

A Figura 11 demonstra o aumento dos números de volume de rejeitos lançados e do número de perdas de vidas em casos de rompimentos de barragens de rejeitos ao longo dos anos. Os acidentes descritos mostram a necessidade das mineradoras de investir em métodos de disposição mais seguros e obterem um monitoramento adequado que proporcionem aos sistemas de alerta condições de salvar vidas. Assim evitando enormes impactos negativos nos âmbitos social, econômico e ambiental.

Figura 11 – Números de volume de rejeitos e de mortos ao longo dos anos



Fonte: Santamarina, et al (2019) apud Dave Petley (2019)

O controle de qualquer situação crítica cabe a responsabilidade pelo proprietário do empreendimento, levando a responder em casos que envolvem questões de prevenção de acidentes ou controle de perdas.

2.1.3 Engenheiro de Registro (EdR)

As equipes que identificam anomalias por meio de ações de monitoramento (inspeções visuais e leitura/coleta de dados da instrumentação) de barragens de rejeitos, são compostas por profissionais do próprio quadro de funcionários do empreendedor ou contratada especificamente com essa finalidade.

Como estratégia para auxiliar os responsáveis técnicos pelas estruturas, está sendo implementado nas mineradoras, o Engenheiro de Registro (EdR) ou “*Engineer of Record*” (EoR), “tendo como objetivos principais “verticalizar” as informações de gestão de risco (interlocução entre a área operacional e a área executiva) e executar a gestão técnica e de informações durante o ciclo de vida das estruturas” (IBRAM, 2019, p.38). Portanto, auxiliando no gerenciamento dessas estruturas, participando das inspeções e análises de segurança dos barramentos.

2.1.4 Descaracterização

Ao longo dos anos, no Brasil, vem crescendo a preocupação na utilização das barragens de alteamento a montante no processo de mineração. Após análises das administrações públicas responsáveis por essas estruturas sobre a forma de como foram executadas, também sobre os seus estados atuais e dos seus níveis de monitoramento e risco de rompimentos futuros, perceberam que essas barragens necessitavam passar por um processo descaracterização, que seria a realização de ações no barramento com o objetivo de fazê-la perder por completo as características de barragem. Ao final das obras, a estrutura fique totalmente estável e reintegrável ao ambiente local (VALE, 2020). No art. 18 da Lei federal 12.334/2010, mostrar que:

“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.”

De acordo com a NBR 13.028 (2017), essa desativação seria suspender sua operação quando o barramento não recebe aporte de rejeitos, podendo ser de maneira temporária ou definitiva. A partir dessa definição, as agências governamentais regulatórias junto com instituições ambientais, levantaram questionamentos relacionados a vida útil operacional das barragens de rejeitos. Este período entre o início da utilização e o fechamento da sua funcionalidade, precisa ser bastante discutido durante a fase de viabilidade do projeto, nesta fase deve ser elaborado um plano para o fechamento da barragem.

A etapa inicial deste plano é o descomissionamento da barragem, que seria a confirmação de que o barramento não é mais utilizado na fase operacional do empreendimento e, portanto, poderá sofrer o fechamento (VALE, 2020). Também, deve conter atividades desenvolvidas relacionadas com a segurança da barragem, como estabilidade do maciço, proteção do reservatório de rejeitos acumulados e do meio ambiente. Essas atividades devem ser executadas para possibilitar uma descaracterização adequada da estrutura, a fim de evitar casos de rupturas na barragem (SOARES, 2010).

Os rompimentos em Mariana e Brumadinho causaram mudanças no controle das barragens com método construtivo a montante, chamando atenção dos órgãos fiscalizadores e ocasionando alterações na regulamentação das barragens de mineração.

Essas mudanças levaram a inclusão da Resolução nº 13 na Portaria nº 70.389, decretando a proibição da construção ou alteamento de barragens pelo método de montante, onde se estabelece no Art. 8º, a determinação de prazos para as empresas concluírem o processo de descaracterização das estruturas construídas ou alteada por este método. Na legislação, era prevista a descaracterização dessas barragens até o dia 25 de fevereiro de 2022, mas foram reajustadas devido à complexidade das obras (ANM, 2019). Portanto, foram estabelecidos novos prazos descritos abaixo:

- Até 15 de setembro de 2022, para barragens com volume \leq 12 milhões m³, conforme Cadastro Nacional de Barragens de Mineração do SIGBM;
- Até 15 de setembro de 2025, para barragens com volume entre 12 milhões e 30 milhões m³, conforme Cadastro Nacional de Barragens de Mineração do SIGBM;

- Até 15 de setembro de 2027, para barragens com volume ≥ 30 milhões m³, conforme Cadastro Nacional de Barragens de Mineração do SIGBM.

No ano de 2021, de acordo com a ANM, 65 barragens a montante encontravam-se cadastradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), sendo que 17 delas ainda estavam em fase de elaboração do projeto executivo de descaracterização e 41 em fase de execução, com diferentes prazos de finalização, a depender das características e complexidade de cada barragem. Segundo ANM, até novembro de 2021 foram concluídos e aprovados processos de descaracterização e descadastradas no SNISB de apenas 8 barragens a montante (ANM, 2021).

Portanto, na busca de se adequar aos prazos, as mineradoras entraram numa corrida para descaracterizar suas barragens. Entretanto, esses proprietários depararam-se com falta de conhecimento técnico e de profissionais capacitados sobre o tema, ocasionando um aquecimento no mercado nacional de barragens de rejeitos.

2.2 Segurança de barragem

O tema segurança de barragens ganha cada vez mais destaque no cenário nacional e internacional, os vários acidentes ocorridos com essas estruturas despertam a atenção da comunidade técnica e de autoridades governamentais envolvidas na questão de segurança destas obras (SOARES, 2010, p. 832), como o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) e Comitê Internacional das Grandes Barragens (CIGB/ICOLD). A segurança dessas estruturas, apontam para contribuir para melhores condições estruturais e operacionais, com o objetivo de diminuir os riscos desses acidentes e/ou incidentes e que desempenhem a sua finalidade sem trazer impactos negativos ao seu redor (ANA, 2021).

Os cuidados com a segurança devem ser iniciados desde o projeto, aplicando na sua construção e manutenção até seu processo de desativação, caso venha a ser necessário. A barragem para ser segura precisa “atender aos critérios técnicos de segurança estrutural, ou seja, possuir adequação entre projeto, execução e manutenção, de tal forma que possa garantir o seu correto funcionamento.” (AGUIAR et al., 2015).

Com isso, é de responsabilidade dos setores envolvidos, como proprietário, operacional, projetistas e órgãos fiscalizadores, garantir essas condições adequadas de segurança dos barramentos. De acordo com Guia Básico de Segurança de Barragens (2001, p.18): “O proprietário deve assegurar que a operação da barragem e a sua manutenção sejam executadas por pessoas que tenham conhecimento e habilitação para tal.”

A relevância do cuidado em relação a segurança de barragens pelo Estado, de acordo com Menescal (2009, apud NEVES, 2018, p. 9):

“Não só devido à falta de cuidados, mas, também, ao envelhecimento natural das barragens, chegou-se a uma situação que precisa ser de imediato corrigida, sob o risco de causar elevados prejuízos à sociedade e ao patrimônio nacional. Somente com um grande esforço de melhoria da gestão da segurança, as barragens poderão atender às necessidades da população, sem representarem fonte permanente de riscos inaceitáveis. [...] Além disso, o tema envolve segurança pública, o que, pela Constituição Federal, é um assunto que necessita de intervenção do Estado.”

Com isso, para as barragens atenderem os requisitos de segurança, ao longo da sua vida útil, cabe a todos os setores envolvidos, participarem em conjunto para estabelecer ações de prevenção e controle, levando a melhorias no quesito de segurança.

2.2.1 Legislação do Estados Unidos sobre segurança de barragens

Em 1972, o Congresso Americano promulgou o “*National Inspection Act of 1972*”, autorizando o “*U.S Army Corps of Engineers*” (USACE), em organizar um programa nacional de inspeção de barragens. Com isso pode se constatar que 18% das 49.300 barragens catalogadas, nunca tinham passado por inspeções e que cerca de 20.000 estruturas estavam localizadas em áreas onde, em caso de ruptura, poderiam provocar perdas de vidas, danos a propriedades, edificações, entre outras estruturas (CBDB, 2015).

De acordo com o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), a continuidade do estudo sobre segurança de barragens ocorreu pelo “*Bureau of Reclamation*”

(BUREC), desenvolvendo os programas como “*Safety Evaluation on Existing Dams*” (SEED) e “*Safety of Dams*” (SOD).

O SEED é um manual com orientações e processos específicos de avaliação das barragens públicas e privadas. Entretanto, o SOD tem como objetivo de orientar aspectos referentes as execuções das ações para solucionar as dificuldades relacionadas à segurança de barragens (BUREC, 1995).

O USACE e o BUREC têm colaborado na preparação dos guias e programas de capacitação, em cumprimento ao acordo acertado entre Banco Mundial e Agência Nacional de Águas (ANA), sendo o USACE, através do Laboratório de Engenharia Civil (LNEC), localizado em Lisboa, os responsáveis pela preparação dos documentos (CBDB, 2015).

2.2.2 Legislação da Grã-Bretanha sobre segurança de barragens

Em 1930, foi criado o “*Reservoirs (Safety Provisions) Act*”, primeiro regulamento legislativo com relação a segurança das barragens, em defesa dos interesses públicos através da garantia de sua inspeção por engenheiro especialista em barragens, membro de um grupo de engenheiros constituído para atender aos objetivos (CBDB, 2015).

Este regulamento foi atualizado pelo “*The Reservoirs Act 1975*”, fazendo com que mais de 2.000 barragens britânicas fossem abrangidas na legislação, sendo incluído barragens com volume acumulado, superior a 25.000 m³ e altura superior a 7,5 m (CBDB, 2015).

De acordo com West et al (1998), este regulamento descreve os técnicos responsáveis pela estrutura, definindo as ações de inspeção (*inspecting engineer*) e supervisão do comportamento da obra (*supervising engineer*):

- Os “*inspecting engineers*” são nomeados pelo Governo britânico [...] tem sob a sua responsabilidade a supervisão da construção de barragens e a condução de inspeções formais. Estas inspeções deverão decorrer com intervalos máximos de 10 anos. Na opinião de alguns peritos na matéria, é este sistema de nomeação que constitui a base para a implementação correta da legislação britânica.

- O “*supervising engineer*” está encarregado do acompanhamento da exploração e da monitorização da obra e sua área envolvente, atividade que desenvolve com uma maior frequência e de preparar um relatório anual indicando as alterações ocorridas na infraestrutura e na exploração, que possam ter impacto na segurança da barragem e das populações e bens materiais a jusante.

Atualmente na Inglaterra, um dos países que formam a Grã-Bretanha, 80% das barragens têm altura inferior a 15 m e com idade média de 90 anos. Devido a formação de vilas e cidades nas áreas a jusante das barragens, o governo vem introduzindo programas de avaliação da segurança dessas estruturas, por meio de instituições como BRE (*Building Research Establishment*), a fim de obter conhecimento técnico e ferramentas tecnológicas atuais (CBDB, 2015).

2.2.3 Legislação de Portugal sobre segurança de barragens

Em Portugal, o governo instituiu um Regulamento para Segurança de Barragens, o Decreto-Lei nº 11/90 em 06 de janeiro vêm sendo aplicado nas estruturas que contemplem: altura maior que 15 m (da fundação a crista); altura menor que 15 m e com reservatório maior que 100.000 m³; que apresente risco elevado, considerado pelo órgão fiscalizador (RSB, 1990)

De acordo com West et al (1998), as entidades com a responsabilidade de aplicação da legislação existente são o INAG (Instituto Nacional da Água), o LNEC, o SNPC (Serviço Nacional de Proteção Civil), o proprietário e a CSB (Comissão de Segurança de Barragens). O INAG é o organismo da administração central com competência de controle de segurança de barragens recebendo a designação de Autoridade. A legislação inclui um glossário de termos e especifica requisitos vários em termos de projeto e planos de monitorização durante o tempo de vida da barragem, para além de aspectos de segurança a ter em consideração durante a fase de construção, exploração e descaracterização.

Por meio das Portarias nº 846/93 e nº 843/93, foram regulamentados documentos técnicos detalhados para aplicar no projeto de novas obras e na inspeção de barragens existentes, fornecendo informações importantíssimas para os trabalhos de projetistas e empreiteiros de barragens. Incluindo normas específicas sobre a fase de

construção, as ações térmicas no corpo da barragem e as ações sísmicas a considerar no dimensionamento das obras (West et al, 1998).

2.2.4 Legislação brasileira sobre segurança de barragens

No Brasil, só em 1977 que o Comitê Brasileiro de Grandes Barragens foi em busca do primeiro passo para uma legislação adequada sobre segurança de barragens. Essa tentativa foi realizada em decorrência do rompimento das barragens de Euclides da Cunha e Limoeiro, no rio Pardo no estado de São Paulo (GUIDICINI, SANDRONI e MELLOPODE, 2021, p. 157)

Apesar da diferença de anos, com atraso no tratamento deste tema em território nacional em comparação a países como Estados Unidos, Inglaterra, Portugal, entre outros, vários centros de controle de barragens produziram e organizaram bastante conteúdo de base teórica. A partir disso, em conjunto com as comunidades técnicas, esses centros de controle de barragens formaram o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), que faz a integração dos diversos órgãos fiscalizadores.

Apenas em 2003 que o tema começou a ser debatido no Congresso Nacional com o objetivo de criar uma legislação que envolvesse todo território nacional (SOUZA, 2019, p. 17). Após anos num processo lento de debates, o governo, na busca de obter resultados mais concretos na questão da segurança de barragens no Brasil, decretou no ano de 2010, a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), estabelecida pela Lei 12.334/2010, assumindo grande valor para diversos setores que estavam envolvidos no processo e que iriam projetar, construir e operar com um controle maior as barragens no Brasil.

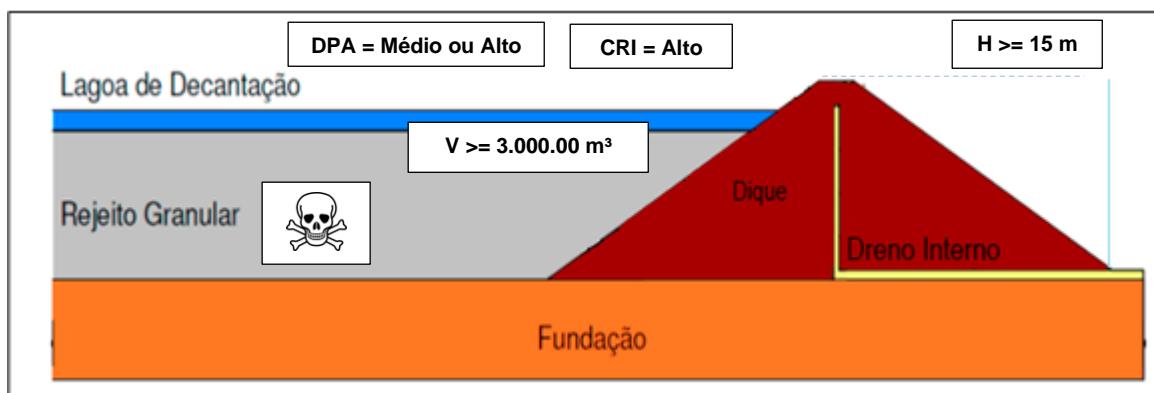
A partir dessa Política Nacional foi criada o SNISB, segundo o Art. 13, § 1º, tem o objetivo de registrar as condições de segurança de barragens em todo o território nacional e comprehende um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de suas informações, devendo contemplar barragens em construção, em operação e desativadas (BRASIL, 2010).

No dia 30 de setembro de 2020, a Lei Nº 14.066, promoveu alterações na Lei já estabelecida. Este novo regulamento acarretou modificações em alguns dos requisitos mínimos para o cadastramento das barragens no PNSB. De acordo com o Art. 1º, as estruturas que apresentem pelo menos uma das seguintes características deverá ser cadastrada no Política Nacional de Segurança de Barragens (BRASIL, 2020):

- I - Altura do maciço, medida do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento do barramento, maior ou igual a 15 (quinze) metros;
- II - Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos);
- III - Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- IV - Categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas;
- V - Categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador.

A Figura 12 demonstra os critérios utilizados no cadastramento de todas as barragens do Brasil no PNSB citados acima. O símbolo da caveira dentro na Figura 12 representa os reservatórios com resíduos perigosos.

Figura 12 – Critérios para cadastramento no PNSB



Fonte: Modificado de Albuquerque Filho (2004)

Essas mudanças e as demais descritas na Lei nº 14.066, ocorreram com objetivo de acompanhar a evolução da temática, trazendo melhores condições das estruturas e operações mais eficazes das barragens, na busca de prevenir os impactos que podem acontecer em casos de rompimento.

2.3 Agência Nacional de Mineração

Em 1934, houve a criação do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), por meio do Decreto nº 23.979, de 08 de março de 1934. Esse departamento foi o antecessor da Agência Nacional de Mineração (LIMA, 2018, p. 34).

A partir da sua invenção, entende-se que a trajetória da mineração brasileira passou por mudanças nas suas regularizações e nas instituições de administração ao longo dos tempos.

Portanto, em 2017, foi observado a necessidade de uma Portaria para normalizar este tipo de barragem. Logo, houve a criação da DNPM 70389, onde foi concebido o cadastramento nacional de barragens de mineração, o Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM), que tem como objetivo gerenciar essas estruturas em todo território nacional. Além disso, foi determinado ao DNPM, fiscalizar as atividades de pesquisa e lavra para o aproveitamento mineral e a segurança das barragens destinadas à disposição de rejeitos resultantes destas atividades, desenvolvidas com base pelo próprio setor e pelo Ministério de Minas e Energia (MME) (DNPM, 2017).

Com a lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017, ocorreu a substituição do DNPM pela ANM, sendo uma autarquia federal sob regime especial, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, com autonomia patrimonial, administrativa e financeira, e que envolve todo o território nacional (ANM, 2021), ainda alterando as Leis nº 11.046, de 27 de dezembro de 2004, e 10.826, de 22 de dezembro de 2003 e revogando a Lei nº 8.876, de 2 de maio de 1994, e dispositivos do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (BRASIL, 2017).

Em 07 de fevereiro de 2022, foi publicada uma nova Resolução nº 95, consolidando de todos os normativos referentes às barragens de mineração e sua adequação à nova legislação, apresentando novas determinações e regras para os processos de descaracterizações aplicadas a barragens construídas pelo método de alteamento a montante (ANM, 2022).

2.3.1 Classificação das barragens

Com o desenvolvimento da temática de segurança de barragens, os órgãos fiscalizadores tiveram que criar Resoluções e Portarias para se enquadrarem nos

avanços, destacando que a classificação era um dos temas discutidos. De acordo com a Lei Federal 12.334/2010, as barragens devem ser classificadas, por categoria de risco (CRI) e dano potencial associado (DPA), com base nos critérios estabelecidos pela ANM, no anexo V da Portaria nº 70.389.

Cada subdivisão desses critérios recebe uma pontuação determinada pelo órgão fiscalizador, com seu devido grau de importância para aquele critério. Após estabelecido esses valores é realizado uma soma, para encontrar a classificação da barragem. Segundo o Art. 5º da Portaria nº 70.389, depois de determinadas às pontuações e suas somas, as barragens são classificadas como estabelecido na Tabela 2 de matriz de classificação quanto a Categoria de Risco e ao Dano Potencial Associado, nas classes A, B, C, D e E.

Tabela 2 – Classificação das Barragens de Rejeitos ou Resíduos na Mineração

		DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
CATEGORIA DE RISCO		ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO		A	B	C
MÉDIO		B	C	D
BAIXO		B	C	E

Fonte: DNPM (2017)

Segundo Neves (2018), essas divisões das barragens por classe têm como objetivo ser uma ferramenta para auxiliar a tomada de decisões das ações de segurança nas estruturas.

2.3.2 Categoria de risco (CRI)

A classificação da barragem por categoria de risco é definida de acordo com critérios que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente, como as características técnicas, o estado de conservação e em relação à situação do plano de segurança da estrutura (DNPM, 2017). Usando como exemplo as Tabela 3 e Tabela 4, a Barragem Serrote, localizada no estado de Alagoas no Brasil, apresenta pontuações de Características técnicas (CT) = 6, Estado de Conservação (EC) = 0 e Plano de Segurança de Barragens (PSB) = 4, totalizando sua pontuação em relação a Categoria de Risco (CRI) = 10. Portanto, com esse valor é classificada como de baixo risco.

Tabela 3 – Classificação da barragem quanto à Categoria de Risco

CATEGORIA DE RISCO		
	Matrizes	Pontos
1	Características técnicas (CT)	6
2	Estado de Conservação (EC)	0
3	Plano de Segurança de Barragens (PSB)	4
PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT+EC+PSB		10

Fonte: DNPM (2017)

Tabela 4 – Faixas de Classificação da Categoria de Risco

FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	CATEGORIA DE RISCO	CRI
	ALTO	≥ 65 ou $EC^* \geq 10$
	MÉDIO	$37 < CRI < 65$
	BAIXO	≤ 37

(*) Pontuação (10) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTO e necessidade de providências imediatas pelo responsável da barragem.

Fonte: DNPM (2017)

2.3.2.1 Características técnicas

Para determinarmos o grau de influência das características das barragens para sua classificação, devemos ter conhecimento dos itens abaixo:

- a) Altura
- b) Comprimento
- c) Vazão de Projeto
- d) Método Construtivo
- e) Auscultação

É necessário ter o conhecimento das atuais medidas de altura e comprimento das estruturas estudadas. Em casos em que o barramento não sofreu alteamento, esses valores perduram ao longo do seu tempo de uso.

As barragens construídas pelo método de alteamento a jusante recebem pontuação “2”, por apresentar um maior controle na compactação, comparado ao método de alteamento a montante.

Entretanto, foi determinado pela PNSB que o alteamento a montante está proibido de serem projetadas ou executadas atualmente, por este motivo ocorreu alteração na Resolução nº 32/2020, para que sua pontuação fosse alterada para “10” (ANM, 2020).

Em casos de obter pontuação de barragem com método a montante, “o empreendedor é obrigado a manter sistema de monitoramento automatizado de instrumentação adequado à complexidade da estrutura, com acompanhamento em tempo real e período integral, seguindo os critérios definidos pelo projetista” (ANM, 2020).

Além desses critérios, é necessário ter conhecimento da vazão do projeto da barragem e a condição atual da instrumentação localizada tanto no maciço como na fundação da estrutura.

Com o conhecimento de todos esses critérios, podemos determinar a pontuação por cada coluna das características técnicas no quadro de matriz de classificação de risco abaixo:

Tabela 5 – Características Técnicas (CT)

Altura (a)	Comprimento (b)	Vazão de Projeto (c)	Método Construtivo (d)	Auscultação (e)
Altura ≤ 10m (0)	Comprimento ≤ 50 (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)
10m < Altura < 30m (1)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)
30m ≤ Altura ≤ 60m (4)	200 ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)
Altura > 60m (7)	Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento a montante ou desconhecido ou que já tenha sido alteada a montante ao longo do ciclo de vida da estrutura (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)
$CT = \sum (a \text{ até } e) =$				

Fonte: DNPM (2017)

2.3.2.2 Estado de conservação

Para determinarmos o grau de influência do estado de conservação das barragens para sua classificação, devemos ter conhecimento dos itens abaixo:

- f) Confiabilidade das Estruturas/Extravasoras
- g) Percolação
- h) Deformações e Recalques
- i) Deterioração de Taludes/Paramentos

Para obter as informações das condições atuais das barragens monitoradas, é necessário realizar Inspeções de Segurança Regulares (ISR), onde é preenchida uma Ficha de Inspeção Regular (FIR) que deve conter o quadro de Estado de Conservação, que descreve as deficiências, irregularidades ou anomalias que possam influenciar na segurança da barragem fiscalizada (DNPM, 2017).

Conforme determinado em lei, quando algum dos itens estabelecidos no estado de conservação chega em pontuação “10”, passam a ter Inspeções de Segurança Especiais (ISE) e modificam os procedimentos de segurança na barragem, como determinado pela Portaria nº 70.389.

Com o conhecimento do estado atual do barramento, podemos determinar a pontuação por cada coluna do estado de conservação no quadro de matriz de classificação de risco abaixo.

Tabela 6 – Estado de Conservação (EC)

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (f)	Percolação (g)	Deformações e Recalques (h)	Deterioração de Taludes/Paramentos (i)
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 paramentos (0)
Estruturas com problemas identificados e medidas corretivas em implantação (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 implantação (2)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de vegetação Arbustiva (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Existência de trincas e abatimentos sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Erosões superficiais, ferragem exposta, presença de vegetação arbórea, se 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)
$EC = \sum (f \text{ até } i) =$			

Fonte: DNPM (2017)

2.3.2.3 Plano de Segurança de Barragens

Para determinarmos o grau de influência do plano de segurança das barragens para sua classificação, devemos ter conhecimento dos itens abaixo:

- j) Documentação de Projeto;
- k) Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem;
- l) Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento;
- m) Plano de Ação Emergencial - PAE (Quando exigido pelo órgão fiscalizador);

- n) Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança.

Em relação ao item de projeto, a Portaria descreve no Art. 9 que:

§ 5º O PSB de toda barragem de mineração construída após a promulgação da Lei n.º 12.334, de 2010, deve conter projeto “como construído” - “as built”

§ 6º O PSB de toda barragem de mineração construída antes da promulgação da Lei n.º 12.334, de 2010, que não possua o projeto "as built", deverá conter o projeto "como está" - "as is", no prazo máximo de três anos (alterado pela Resolução ANM nº 32/2020)

De acordo com a Portaria no Art. 9º:

§ 1º Quando se tratar de barragens com DPA alto, nos termos do Anexo V, ou quando exigido pelo DNPM, o PSB deverá, ainda, ser composto pelo volume V, referente ao Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM).

§ 2º Para as barragens com DPA médio, nos termos do Anexo V, quando o item “existência de população a jusante” atingir 10 pontos ou o item “impacto ambiental” atingir 10 pontos, o PSB deverá, também, ser composto pelo volume V, referente ao PAEBM

Segundo o Art. 2º da portaria, PAEBM é um documento técnico e de fácil entendimento elaborado pelo empreendedor, no qual identifica as possíveis emergências, estabelecendo ações a serem executadas nesses casos e definindo os agentes a serem notificados, com o objetivo de minimizar danos e perdas de vida (DNPM, 2017). Este plano deve ser adaptado à toda fase de vida útil da obra, às circunstâncias de operação e às suas condições de segurança, com isso é um documento datado que deve ser periodicamente revisado.

A portaria 70389 aponta que os proprietários das barragens de mineração devem implementar sistema de monitoramento de segurança com limite de 24 meses após emissão da regulamentação. Além disso, a complexidade do sistema de monitoramento depende da classificação DPA, sendo alta e com pontuação “10” nas colunas de “existência de população a jusante” e “método construtivo”, determina que aconteça um monitoramento integral, sendo de responsabilidade da empresa a escolha da tecnologia, dos instrumentos e dos processos utilizados.

Com a determinação dos itens estabelecidos das barragens fiscalizadas, podemos gerar a sua pontuação por cada coluna do plano de segurança no quadro de matriz de classificação de risco abaixo.

Tabela 7 – Plano de Segurança da Barragem (PSB)

Documentação de Projeto (j)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (k)	Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento (l)	Plano de Ação Emergencial – PAE (Quando exigido pelo órgão fiscalizador) (m)	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (n)
Projeto executivo e “como construído” (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Auditoria de Segurança (0)
Projeto executivo ou “como construído” (2)	Possui profissional técnico qualificado (próprio ou contratado) responsável pela segurança da barragem (1)	Possui apenas manual de procedimentos de monitoramento (2)	Não possui PAE (não é exigido pelo órgão fiscalizador) (2)	Emite regularmente apenas Relatórios de Auditoria de Segurança (2)
Projeto “como está” (3)	Possui unidade administrativa sem profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (3)	Possui apenas manual de Procedimentos de inspeção (4)	PAE em elaboração (4)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção e Monitoramento (4)
Projeto básico (5)	Não possui unidade administrativa e responsável técnico qualificado pela segurança da barragem (6)	Não possui manuais ou procedimentos formais para monitoramento e inspeções (8)	Não possui PAE (quando for exigido pelo órgão fiscalizador) (8)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção visual (6)
Projeto conceitual (8)	-	-	-	Não emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento e de Auditoria de Segurança (8)
Não há documentação de projeto (10)	-	-	-	-
PSB = \sum (j até n) =				

Fonte: DNPM (2017)

2.3.3 Dano potencial associado (DPA)

De acordo com o art. 2º da lei 14066 (2020), o Dano Potencial Associado (DPA) de uma barragem classifica como:

“dano que pode ocorrer devido ao rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, a ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e os impactos sociais, econômicos e ambientais”

Segundo a Portaria Nº 70.389, o método de classificação DPA, analisa e pontua os quatro itens a seguir:

- a) Volume Total do Reservatório;
- b) Existência de população a Jusante;
- c) Impacto ambiental;
- d) Impacto socioeconômico.

Cada item apresenta uma subdivisão com uma determinada pontuação referente a seu peso no valor final da classificação. Esses pesos na classificação para cada item determinado estão apresentados na Tabela 8 a seguir:

Tabela 8 – Dano Potencial Associado (DPA)

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
MUITO PEQUENO ≤1 milhão m ³ (1)	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes /residentes ou temporárias / transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	INSIGNIFICANTE (Área afetada a jusante da barragem encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais e a estrutura armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (Não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
PEQUENO 1 milhão a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (3)	POUCO SIGNIFICATIVO (Área afetada a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (2)	BAIXO (Existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômico- cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
MÉDIO 5 milhões a 25 milhões m ³ (3)	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (5)	SIGNIFICATIVO (Área afetada a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes, segundo a NBR 10004 da ABNT) (6)	MÉDIO (Existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômico- cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
GRANDE 25 milhões a 50 milhões m ³ (4)	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (10)	MUITO SIGNIFICATIVO (Barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe II A – Não Inertes, segundo a NBR 10004 da ABNT) (8)	ALTO (Existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômico- cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
MUITO GRANDE ≥50 milhões m ³ (5)	-	MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (Barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I- Perigosos segundo a NBR 10004 da ABNT) (10)	
DPA = \sum (a até d) =			

Fonte: DNPM (2017)

Com um estudo detalhado da sua pontuação em cada item das colunas, obtemos a classificação somando os pesos de cada coluna. O valor final dessa pontuação será relacionado por uma faixa de classificação de dano, apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 – Classificação da barragem quanto ao Potencial de Dano Ambiental

POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL		
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	POTENCIAL DE DANO AMBIENTAL	PONTOS
	ALTO	≥ 13
	MÉDIO	$7 < \text{PDA} < 13$
	BAIXO	≤ 7

Fonte: DNPM (2017)

2.4 *Business Intelligence (BI)*

O termo “*Business Intelligence*” (BI) foi usado pela primeira vez pelo Gartner Group (Silva, Almeida Silva e Gomes, 2014, p. 7), uma empresa criada no final da década de 70, por Gideon Gartner, que atua no ramo das pesquisas, consultorias, eventos e prospecções acerca do mercado de Tecnologia da Informação (TI) (GOMES, 2017). O BI combina análise empresarial, mineração e visualização de dados, práticas recomendadas para ajudar as organizações a tomar decisões impulsionadas por esses materiais e usar eles para gerar mudanças positivas na organização (TABLEAU, 2021).

O processo de implementação do BI é bastante importante para obter os objetivos estabelecidos. De acordo com Abukari (2003), existem seis passos para uma elaboração adequada:

- Identificar as necessidades a serem endereçadas na solução de BI, que devem estar ligadas aos objetivos e estratégias do negócio;
- Identificar as fontes de dados já existentes na organização;
- Extrair, transformar e carregar os dados para criar uma base multidimensional. O processo deve garantir que todas as informações relevantes sejam contempladas e consistentes;
- Ajudar a organização a escolher as ferramentas de apresentação para visualizar e analisar as informações resultantes;

- Criar relatórios padronizados, permitir análises sob demanda e mineração dos dados;
- Planejar uma implantação de forma abrangente para toda a corporação, de forma a garantir que os tomadores de decisão tenham informação adequada.

De acordo com Mathias (2018), existem diversas ferramentas de BI que servem para ajudar no planejamento e no desenvolvimento de ações para a obtenção de melhores resultados. As ferramentas citadas abaixo de acordo com as suas especificações podem auxiliar na coleta de dados, tratamento, análise e compartilhamento de informações:

- IBM Watson Analytics;
- Microsoft Power BI;
- Google Data Studio;
- BIRT;
- Jaspersoft;
- Project BI;
- Adobe Analytics.

A aplicação do “*Business Intelligence*” possibilita que a organização realize uma gestão mais inteligente. Entre os seus benefícios estão a identificação de custos desnecessários, a descoberta de oportunidades de negócios, relatórios acessíveis de dados, reações rápidas às demandas do mercado e otimização do trabalho (KNOW SOLUTIONS, 2021)

3 Materiais e métodos

Neste trabalho foi utilizado uma abordagem quantitativa referente às barragens de rejeitos do ano de 2021, com dados públicos disponibilizados pela Agência Nacional de Mineração (ANM). A variedade de informações existentes sobre as barragens pesquisadas levou a ser utilizado este método, com o objetivo de transformar essas informações em uma análise geral da gestão das barragens no cenário nacional. Foram avaliadas as barragens de mineração, em relação às suas

quantidades por estado, tipo de método construtivo, classificações e entre outros parâmetros.

Segundo a ANM (2022), são cadastradas e disponibilizadas publicamente no SIGBM informações de 913 barragens de mineração. Entretanto, para realizar o estudo foram selecionadas barragens que são registradas na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), por fornecer informações do Estado de Conservação e do Plano de Segurança.

Com isso, o estudo inicialmente contabilizaria 497 barragens cadastradas na PNSB. A extração dos dados dessas estruturas, dificultou na busca de análises mais rápidas, pois necessitava-se selecionar cada barragem para obter acesso às informações detalhadas delas.

Contudo, foi observado que algumas das barragens apresentavam informações duplicadas e/ou em branco prejudicando a análise futura, a partir disso foram usadas na pesquisa 378 barragens inseridas na PNSB e com dados atualizados. Para ser realizado um estudo adequado sobre as informações de classificação e dos parâmetros que as envolviam, foi necessário determinar a ferramenta a ser utilizada nesta análise.

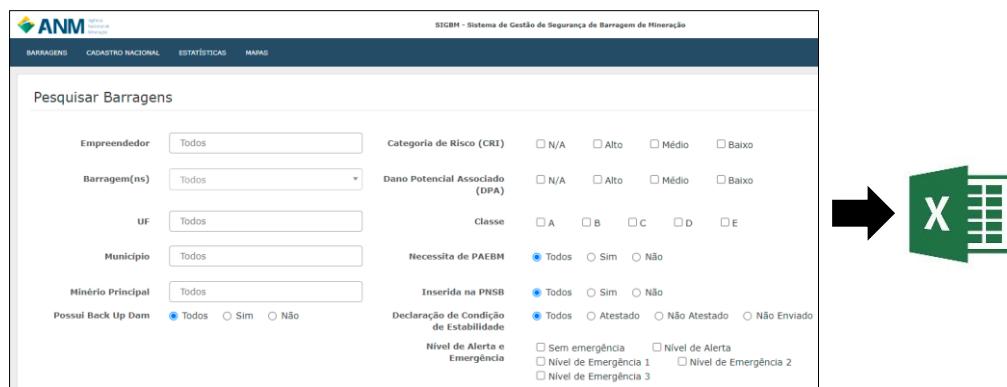
Dentro das ferramentas de BI citadas no item 2.4. *Business Intelligence* (BI), o Microsoft Power BI foi escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa. Como uma de suas principais características tem a possibilidade de integrar diferentes fontes de dados selecionados, para conseguir realizar uma análise quantitativa, facilitando a visualização e a leitura desses dados, por meio de planilhas, gráficos e painéis. Além disso, essa ferramenta de “*Business Intelligence*” possibilita a criação de dashboards e relatórios dinâmicos em questão de minutos (MATHIAS, 2018). Para conseguir chegar no projeto final do Power BI, foi necessário realizar 4 etapas descritas nos subitens abaixo:

3.1 Fonte e conexão de dados

Primeiramente, foi necessário preencher os dados extraídos individualmente do SIGBM numa pasta de trabalho do Excel (ver Figura 13). A seguir, foi necessário carregar os dados retirados do sistema da ANM no Power BI Desktop.

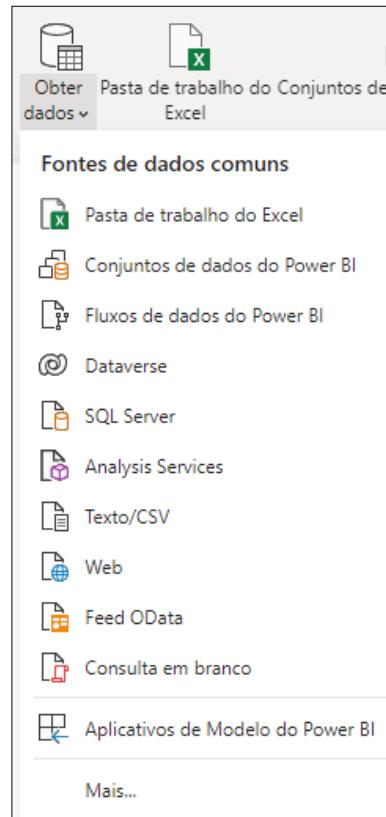
Neste passo, os dados foram conectados usando a opções Página Inicial, depois selecionando a opção de Obter Dados ou a seta para baixo (ver Figura 14). Dentro das opções que a categoria Arquivo oferece na busca dos dados, foi utilizado nessa pesquisa o preenchimento dessas informações encontradas e o seu carregamento no Power BI (ver Figura 15).

Figura 13 – Extração dos dados do SIGBM para o Excel



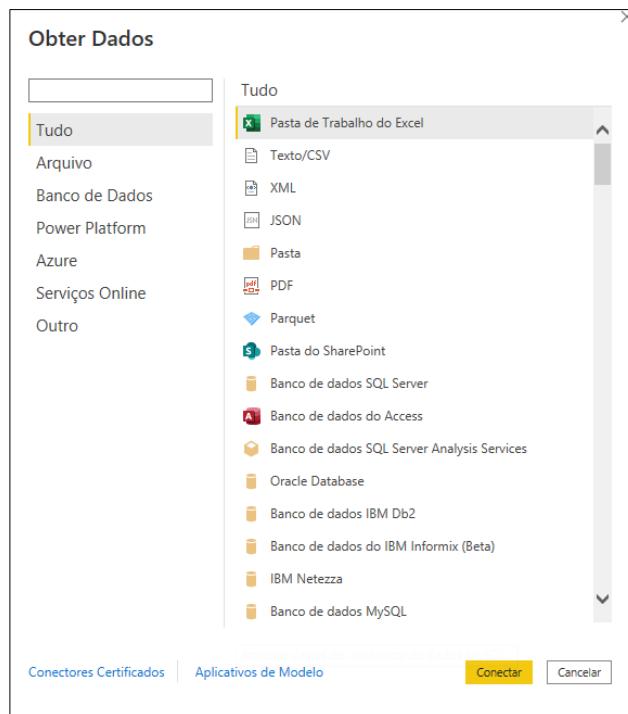
Fonte: Próprio autor

Figura 14 – Inserindo dados no Power Bi Desktop



Fonte: Próprio autor

Figura 15 – Inserindo dados no Power Bi Desktop



Fonte: Próprio autor

3.2 Dados limpos e transformados

Nesta próxima etapa, foi realizado uma transformação dos dados brutos encontrados. Selecionando a opção sinalada na Figura 16, podemos visualizar a tabela de dados extraídos do arquivo preenchidos a partir do SIGBM.

Figura 16 – Visualização dos dados do arquivo conectado

ID Barragem	Nome da Barragem	Nome do Empreendedor	Latitude	Longitude	Posicionamento	Municipio	UF	Minério Principal	Categoria de Risco
8421	5 (MAC)	VALE S.A.	-19,5837512	-43,533481	SUL DO EQUADOR	NOVA LIMA	MG	MINÉRIO DE FERRO	ALTO
8525	5 (MUTUCA)	VALE S.A.	-20,1344143	-43,563322	SUL DO EQUADOR	NOVA LIMA	MG	MINÉRIO DE FERRO	ALTO
8422	7B	VALE S.A.	-19,3802514	-43,5258725	SUL DO EQUADOR	NOVA LIMA	MG	MINÉRIO DE FERRO	BAIXO
8311	ALCINDÔ VIEIRA	VALE S.A.	-19,3428232	-43,1446628	SUL DO EQUADOR	ITABIRA	MG	MINÉRIO DE FERRO	BAIXO
9037	ALEMÃES	GERDAU ACOMINAS S/A	-20,252481	-43,451117	SUL DO EQUADOR	OUBRO PRETO	MG	MINÉRIO DE FERRO	BAIXO
9101	B	VALE S.A.	-20,07279	-43,55308	SUL DO EQUADOR	NOVA LIMA	MG	MINÉRIO DE FERRO	ALTO
8934	B1	NACIONAL DE GRAFITE LTDA	-20,5639	-45,08007	SUL DO EQUADOR	ITAPECRICA	MG	XISTO	BAIXO
8935	B2	NACIONAL DE GRAFITE LTDA	-20,65242	-45,07552	SUL DO EQUADOR	ITAPECRICA	MG	XISTO	BAIXO
8366	B3	VALE S.A.	-19,5243139	-43,224169	SUL DO EQUADOR	SÃO GONÇALO DO RIOABAIXO	MG	MINÉRIO DE FERRO	BAIXO
8215	B3/B4	VALE S.A.	-20,02514	-43,57157	SUL DO EQUADOR	NOVA LIMA	MG	MINÉRIO DE FERRO	ALTO
8936	B4	NACIONAL DE GRAFITE LTDA	-20,56163	-45,08543	SUL DO EQUADOR	ITAPECRICA	MG	XISTO	BAIXO
8216	B6	VALE S.A.	-20,53297	-43,57507	SUL DO EQUADOR	NOVA LIMA	MG	MINÉRIO DE FERRO	BAIXO
8217	B7	VALE S.A.	-20,03401	-43,57408	SUL DO EQUADOR	NOVA LIMA	MG	MINÉRIO DE FERRO	BAIXO
8277	BAIXO JOÃO PEREIRA	VALE S.A.	-20,56245	-43,54185	SUL DO EQUADOR	CONGONHAS	MG	MINÉRIO DE FERRO	BAIXO
8279	BARNABÉ	VALE S.A.	-20,553	-43,53304	SUL DO EQUADOR	CONGONHAS	MG	MINÉRIO DE FERRO	BAIXO
8281	BARNABÉ 1	VALE S.A.	-20,56025	-43,52564	SUL DO EQUADOR	CONGONHAS	MG	MINÉRIO DE FERRO	BAIXO
9267	BARRAGEM 2	NEXA RECURSOS MINERAIS S.A	-17,30384	-46,4942	SUL DO EQUADOR	PARACATU	MG	CALCÁRIO DOLOMÍTICO	BAIXO
9268	BARRAGEM 3	NEXA RECURSOS MINERAIS S.A	-17,3048	-46,4942	SUL DO EQUADOR	PARACATU	MG	CALCÁRIO DOLOMÍTICO	BAIXO
8502	BARRAGEM A	MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA	-19,859	-46,5646	SUL DO EQUADOR	ARAXÁ	MG	FOSFATO	BAIXO
8450	BARRAGEM A	MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA	-18,22445	-46,55553	SUL DO EQUADOR	PATOS DE MINAS	MG	FOSFATO	BAIXO
8506	BARRAGEM A0	MOSAIC FERTILIZANTES P&K LTDA	-19,8639006	-47,0145717	SUL DO EQUADOR	ARAXÁ	MG	FOSFATO	BAIXO
8875	BARRAGEM AROEIRA	NEXA RECURSOS MINERAIS S.A	-17,58216	-46,48522	SUL DO EQUADOR	VAZANTE	MG	MINÉRIO DE ZINCO	BAIXO

Fonte: Próprio autor

Selecionando o botão mostrado na Figura 17, o processo de transformação dos dados no setor chamado de “*Power Query*” no programa. Segundo a Microsoft (2022), é um mecanismo de preparação e transformação de dados, com uma interface gráfica para obter apenas as informações necessárias para a pesquisa (ver Figura 18).

Figura 17 – Transformar dados

Arquivo	Página Inicial	Ajuda	Ferramentas da tabela	
Colar Obter dados ▾ Conjuntos de dados do Power BI SQL Server	Pasta de trabalho do Excel Inserir dados Fontes recentes ▾	Transformar dados ▾ Atualizar dados	Gerenciar relações Nova medida Medida rápida Nova coluna Nova tabela	Gerenciar funções Exibir como ▾ Confidencialidade ▾
Área de Transferência	Dados	Consultas	Relações	Calculos
				Segurança
				Confidencialidade
				Compartilhar
				Campos >
				<input type="text" value="Pesquisar"/>

Fonte: Próprio autor

Figura 18 – Tratamento dos dados na ferramenta Power Query

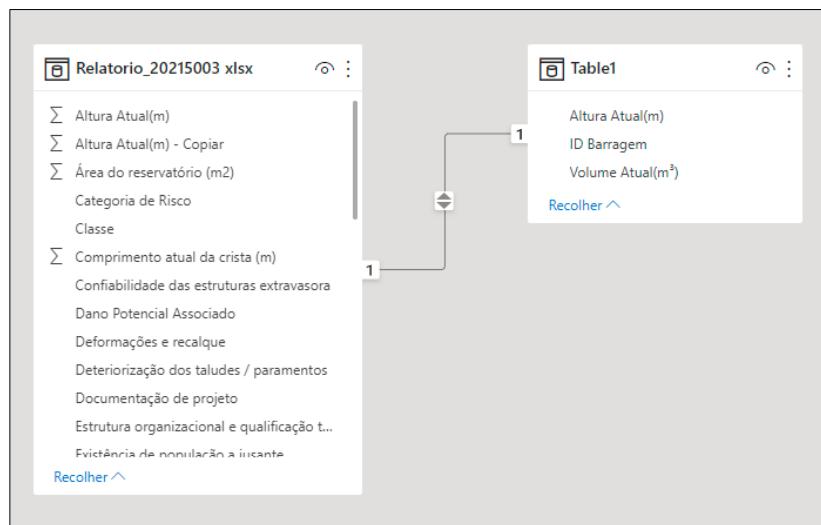
Fonte: Próprio autor

No processo de transformação, ocorreram principalmente remoções de colunas que não foram necessárias na manipulação e transformação destes dados em informação. Mudança da unidade de medida das coordenadas geográficas e mudança do “tipo” certo para cada dado utilizado, onde existem diferentes “tipo” de dados (números inteiros, números decimais, texto, data, entre outros).

3.3 Modelagem dos dados

Com os dados organizados, o próximo passo é a modelagem para interligar todos os dados preenchidos. Entretanto, como mostrado na Figura 19, foi utilizado um formato simplificado na busca das informações em um único local, que seria uma planilha obtendo todas as informações necessária para as análises futuras.

Figura 19 – Configuração dos dados



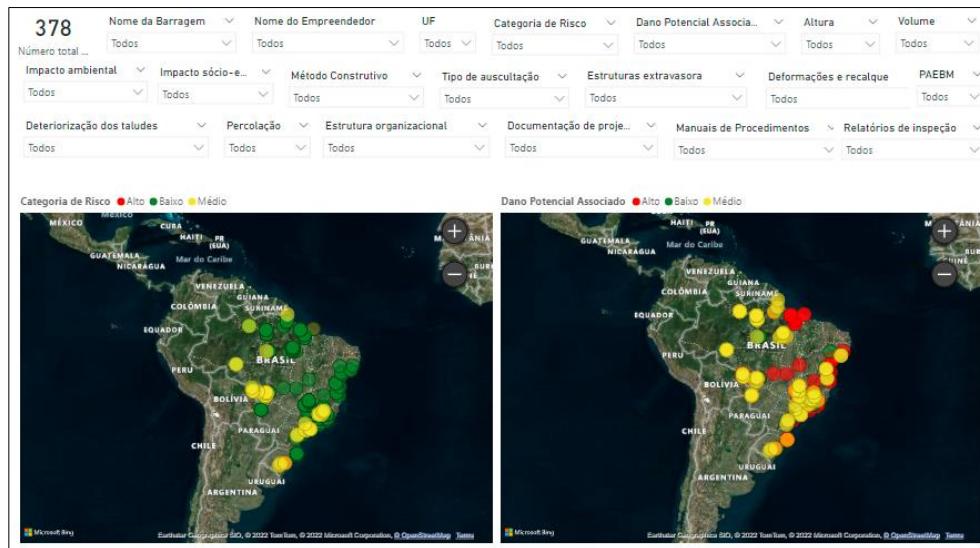
Fonte: Próprio autor

3.4 Visualização dos dados

Nesta etapa é desenvolvido o projeto final, para realizar uma análise quantitativa do estudo. Nela é criado os *Dashboard*, onde foi possível desenvolver a visualização dos dados obtidos por meio de gráficos, tabelas e mapas (ver Figura 20 e Figura 21). Foi possível chegar nos resultados das condições atuais das barragens descritas detalhadamente no item 4. Os Resultados, a partir da finalização das abas descritas, estão a seguir:

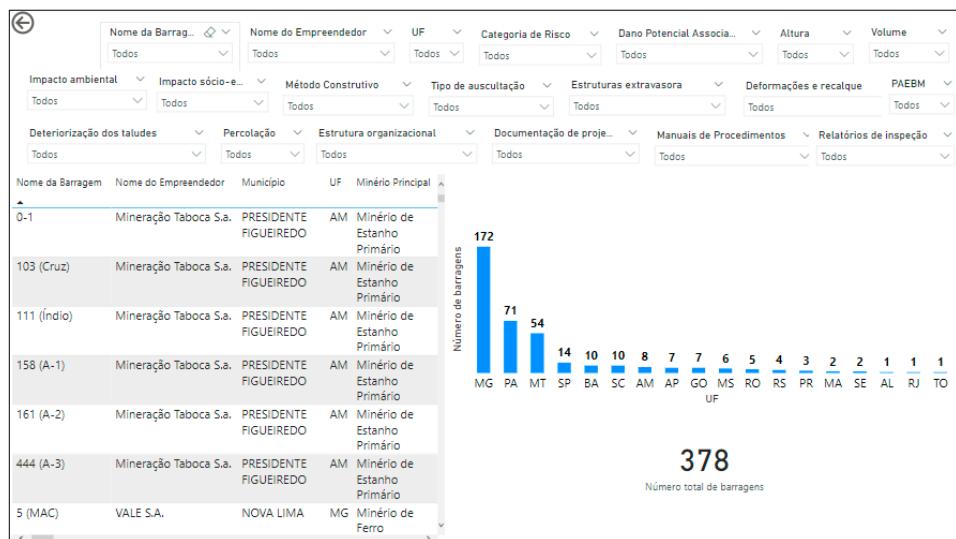
- Mapa: localiza as barragens de acordo com as suas coordenadas.
- Lista das barragens: mostra detalhadamente todas as informações e numera as barragens por estado.
- Classificação: demonstra as classificações de risco e dano potencial associado.
- Características técnicas: analisa as barragens por método construtivo, altura e volume do reservatório.
- Instrumentação: avalia as barragens a partir dos relatórios de inspeção e monitoramento das barragens.
- Estado de conservação: expõe as condições atuais das barragens.
- Plano de segurança: apresenta a documentação, PAEBM, estrutura organizacional e manuais de procedimentos.
- Impacto: exibe os impactos ambiental e socioeconômico.

Figura 20 – Localização das barragens e suas classificações



Fonte: próprio autor

Figura 21 – Lista das barragens



Fonte: próprio autor

4 Resultados

A organização desses dados, informando as propriedades das classificações das barragens de rejeitos no Brasil, permite uma análise detalhada dessas categorias e influência em um modelo de gestão mais adequada por parte dos proprietários e dos órgãos fiscalizadores.

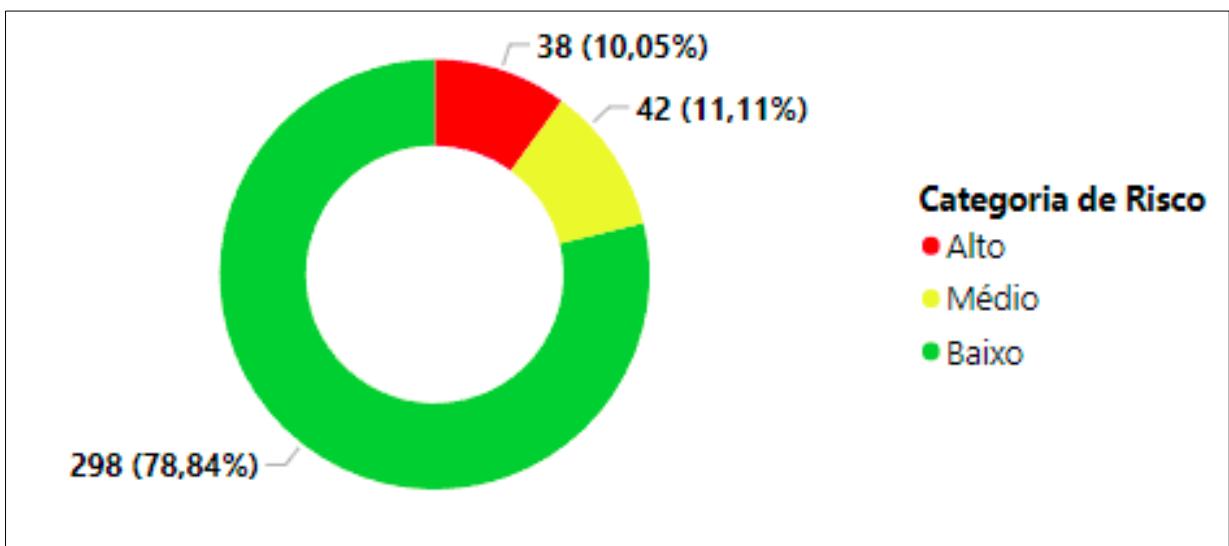
Com a utilização do Power BI produzido e divulgado de maneira pública no primeiro link do item 6 Referências, demonstrando dados específicos da situação atual de cada

estrutura, foi possível obter uma análise dessas barragens. Os dados mostraram que 298 dos barramentos apresentam uma classificação de risco baixa (ver Gráfico 1), e em relação ao dano potencial se apresenta em grande maioria com níveis alto e médio, com valores, respectivamente, de 200 e 149 (ver Gráfico 2).

A distribuição desses barramentos abrange em quase todo território nacional, entretanto existe uma maior concentração em Minas Gerais (MG) com 172 estruturas, seguido de Pará (PA) e Mato Grosso (MT), com respectivamente 71 e 54 (ver Gráfico 3), mostrando assim uma dependência do país em relação a essas regiões no quesito de produção de minério. Entretanto, em oito estados e no Distrito Federal não se apresentam barragens cadastradas na PNSB e fiscalizadas pela ANM.

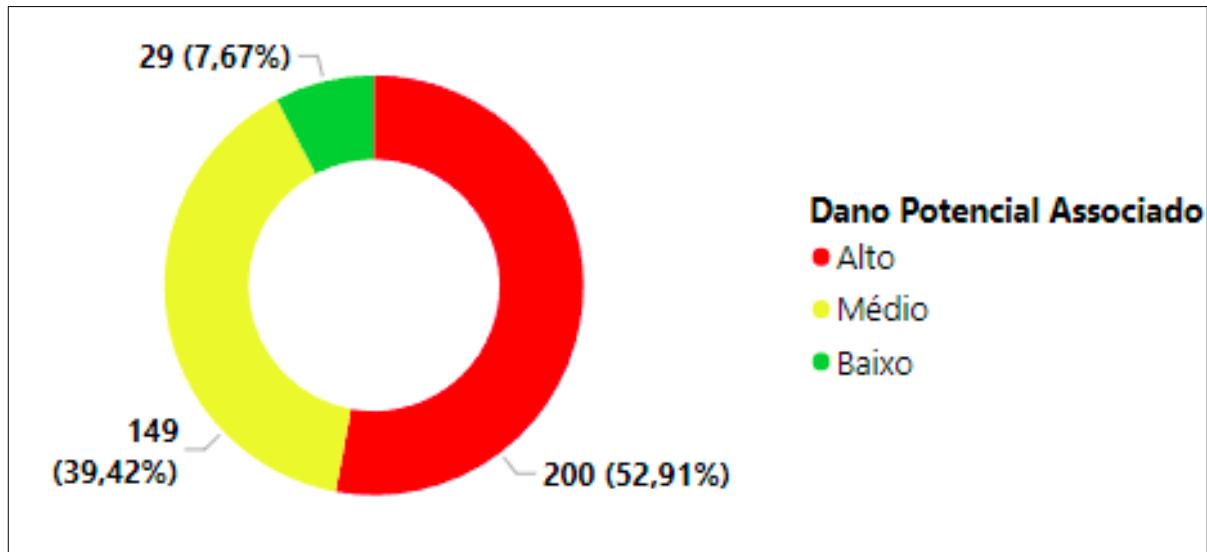
As barragens com categoria de risco alto e médio apresentam números menores do que as de baixo risco (ver Gráfico 1), entretanto em comparação com a quantidade de estruturas com dano potencial associado alto e médio são bem elevados em relação a potencial baixo (ver Gráfico 2). Isto demonstra que as barragens podem apresentar um grau de risco baixo em sua grande maioria, mas em casos de possíveis rupturas podem acontecer grandes desastres.

Gráfico 1 – Número de barragens por classificação CRI



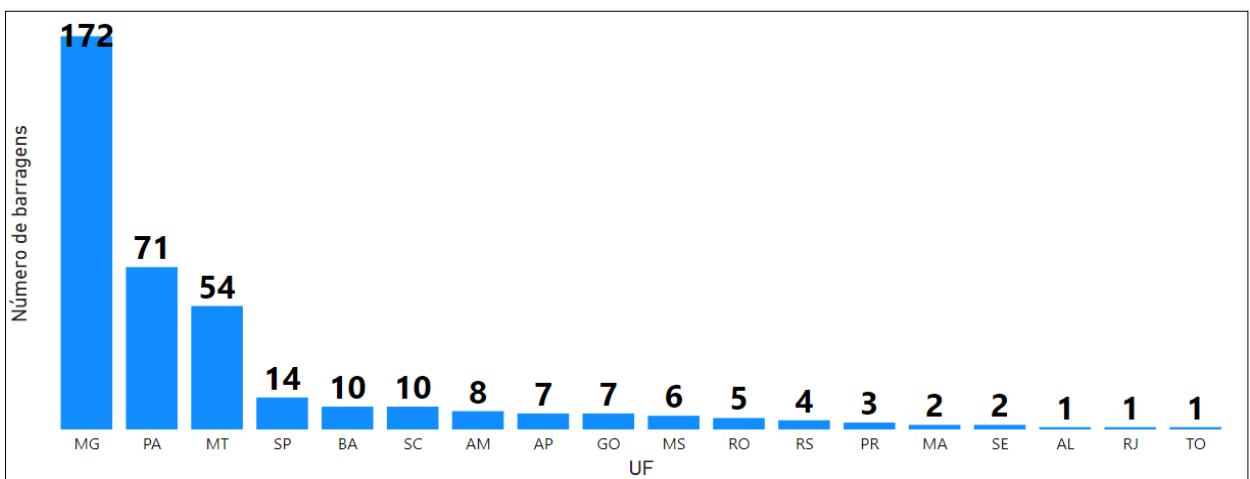
Fonte: Próprio autor

Gráfico 2 – Número de barragens por classificação DPA



Fonte: Próprio autor

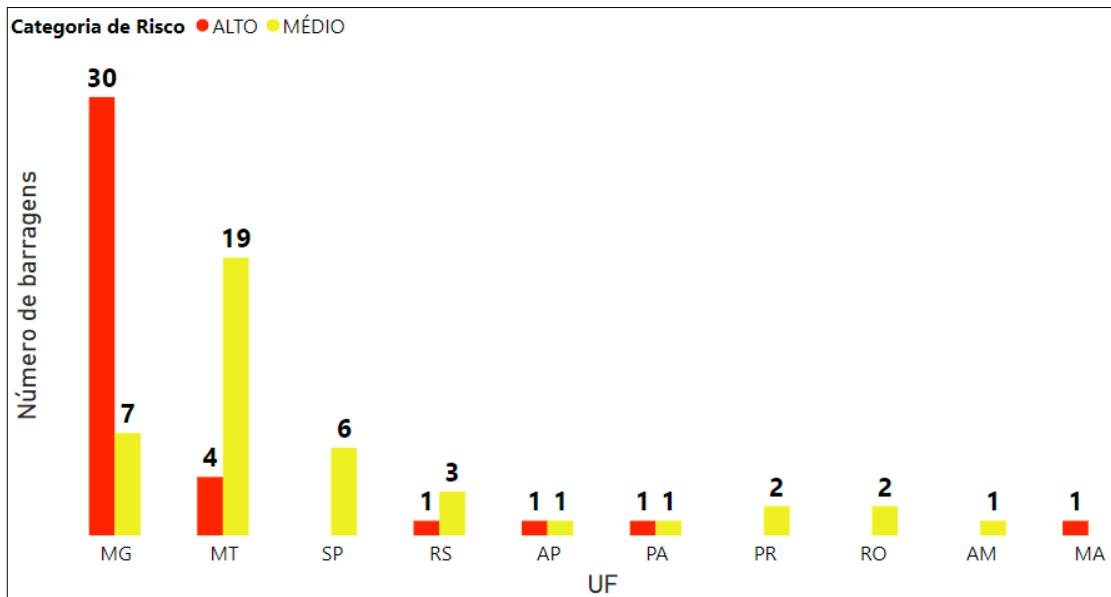
Gráfico 3 – Número de barragens por estado



Fonte: Próprio autor

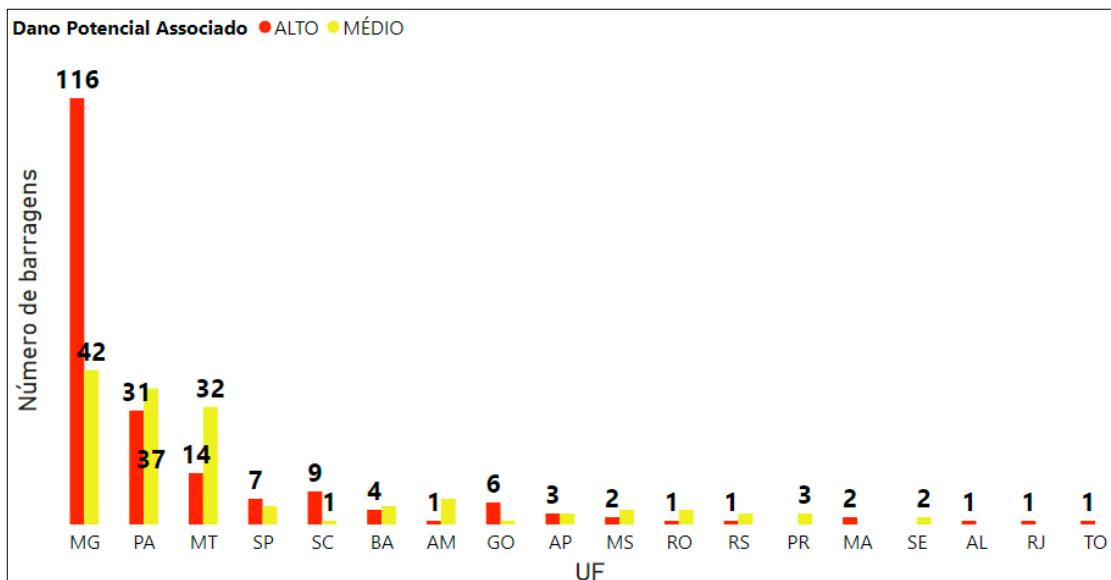
O Gráfico 4 demonstra que o estado de Minas gerais, em relação ao CRI, apresenta 30 barragens com nível alto e 7 com nível médio. Já o estado do Mato Grosso exibe 19 estruturas com CRI médio e 4 com CRI alto, sendo assim a maioria do país com essas características, evidenciando a necessidade de investimento do Brasil nesses estados, a fim de evitar novos casos de desastres.

Gráfico 4 – Número de barragens por estado x CRI alto e médio



Fonte: Próprio autor

Gráfico 5 – Número de barragens por estado x DPA alto e médio

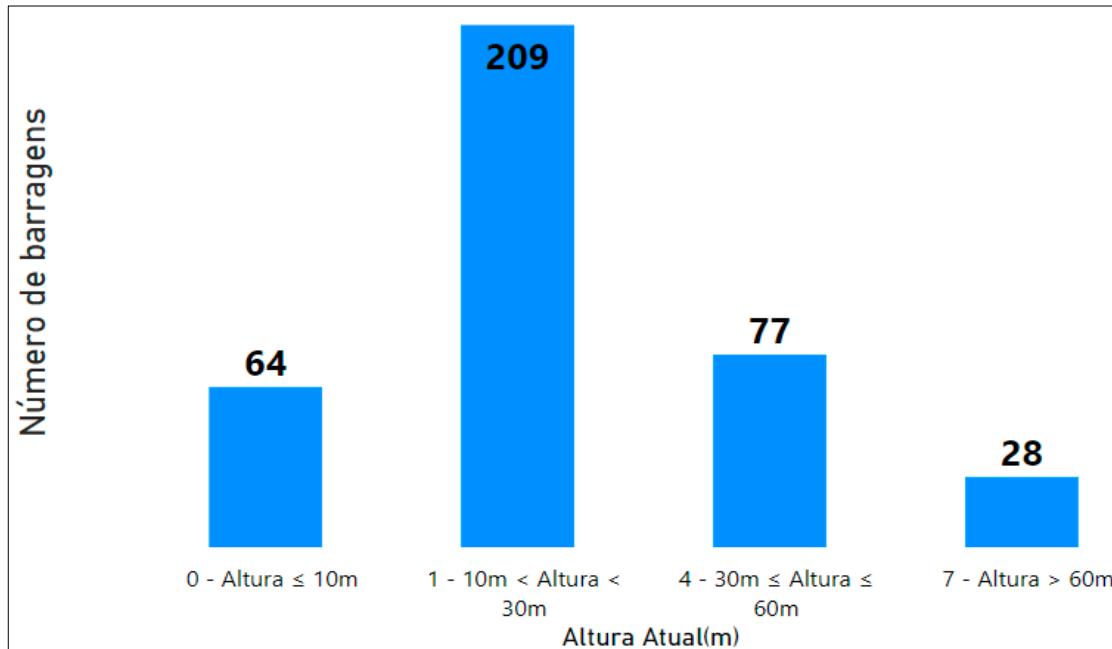


Fonte: Próprio autor

O Gráfico 6 exibe que 209 barramentos foram construídos com alturas entre 10 e 30 m. De acordo com as características técnicas das barragens estudadas, é perceptível uma grande quantidade de barragens de rejeitos construídas pelo método de etapa única e por alteamento a jusante, apresentando dados respectivamente de 186 e 109 barragens (ver Gráfico 7). Do Gráfico 8 ao Gráfico 11, mostra-se um comparativo das alturas com os métodos construtivos, percebe-se que a grande maioria das estruturas usadas nesses métodos são entre 10 e 60m, onde os números

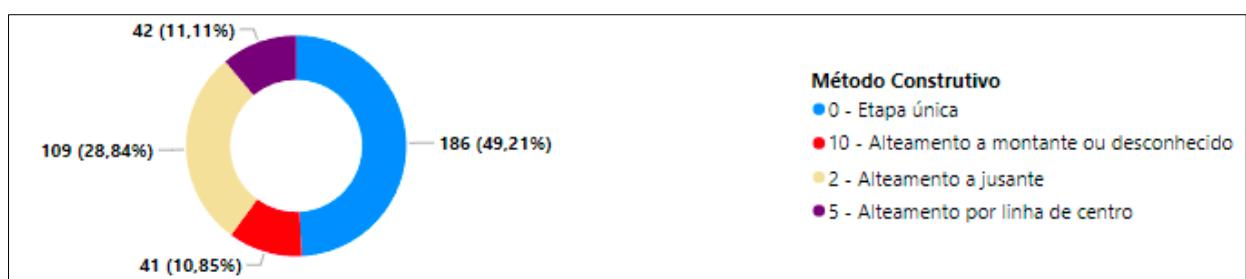
antes da altura refere-se ao peso utilizado na soma para obtenção da classificação CRI.

Gráfico 6 – Número de barragens por altura



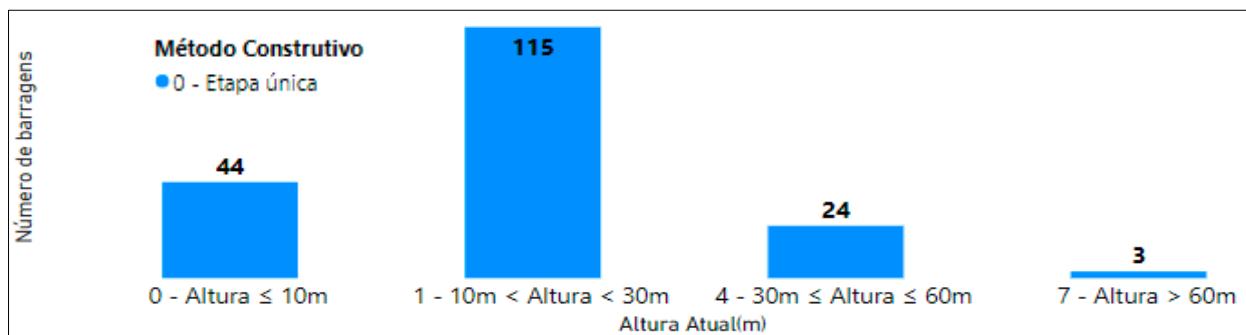
Fonte: Próprio autor

Gráfico 7 – Número de barragens por método construtivo



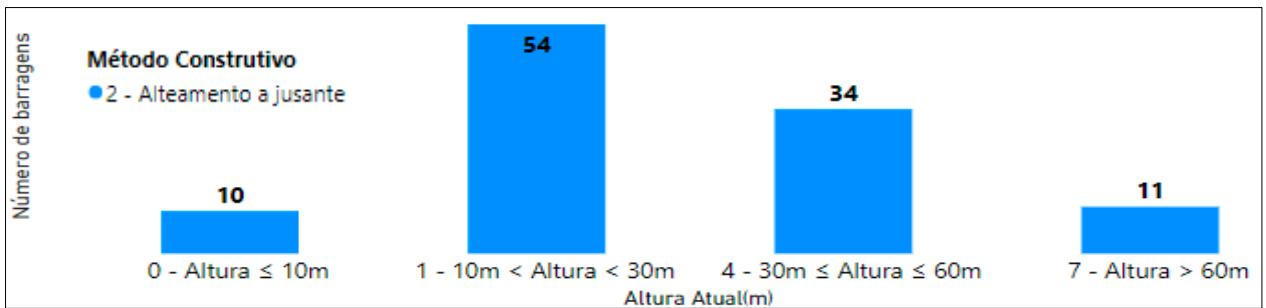
Fonte: Próprio autor

Gráfico 8 – Número de barragens, comparação entre método construtivo e altura



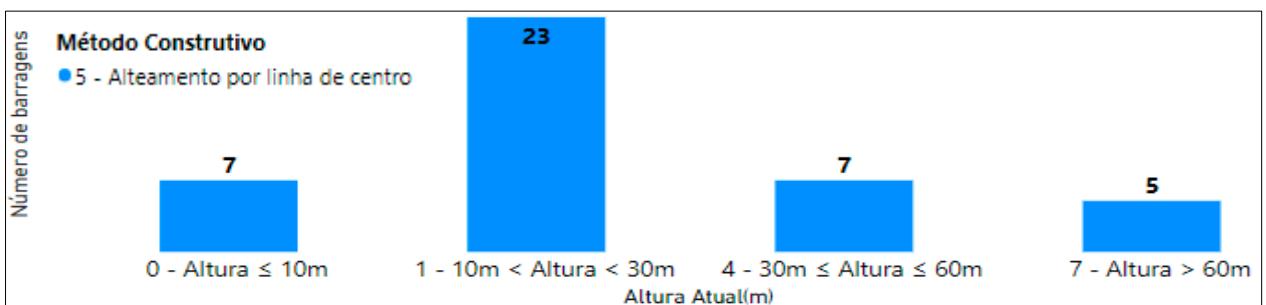
Fonte: Próprio autor

Gráfico 9 – Número de barragens, comparação entre método construtivo e altura



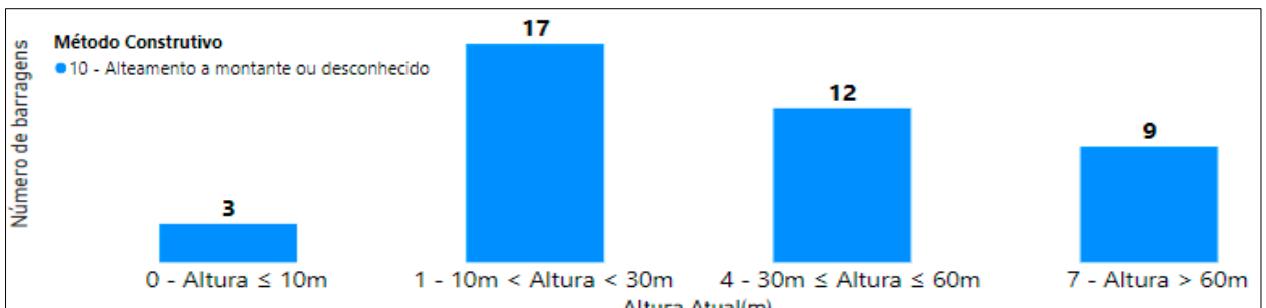
Fonte: Próprio autor

Gráfico 10 – Número de barragens, comparação entre método construtivo e altura



Fonte: Próprio autor

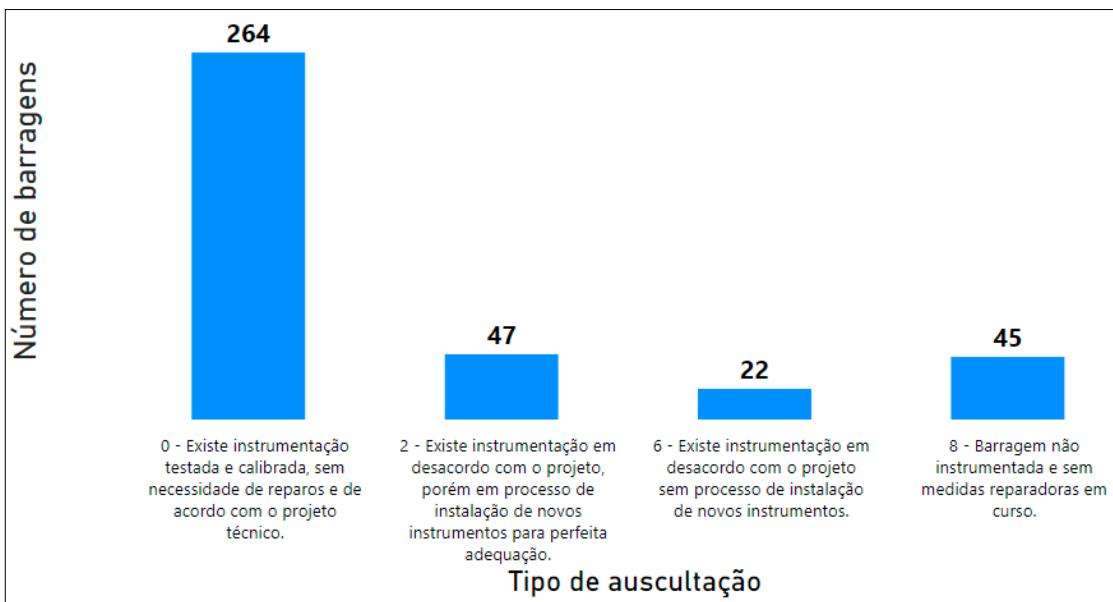
Gráfico 11 – Número de barragens, comparação entre método construtivo e altura



Fonte: Próprio autor

Em relação ao monitoramento das barragens de rejeitos, foram observados dados positivos com 311 estruturas com a existência de instrumentação testada e calibrada ou que estão em processo de instalação de novos instrumentos, entretanto ainda demonstram a existência de 67 barragens que necessitam de reparos, instalação de novos instrumentos ou estão inutilizadas (ver Gráfico 12).

Gráfico 12 – Número de barragens por auscultação



Fonte: Próprio autor

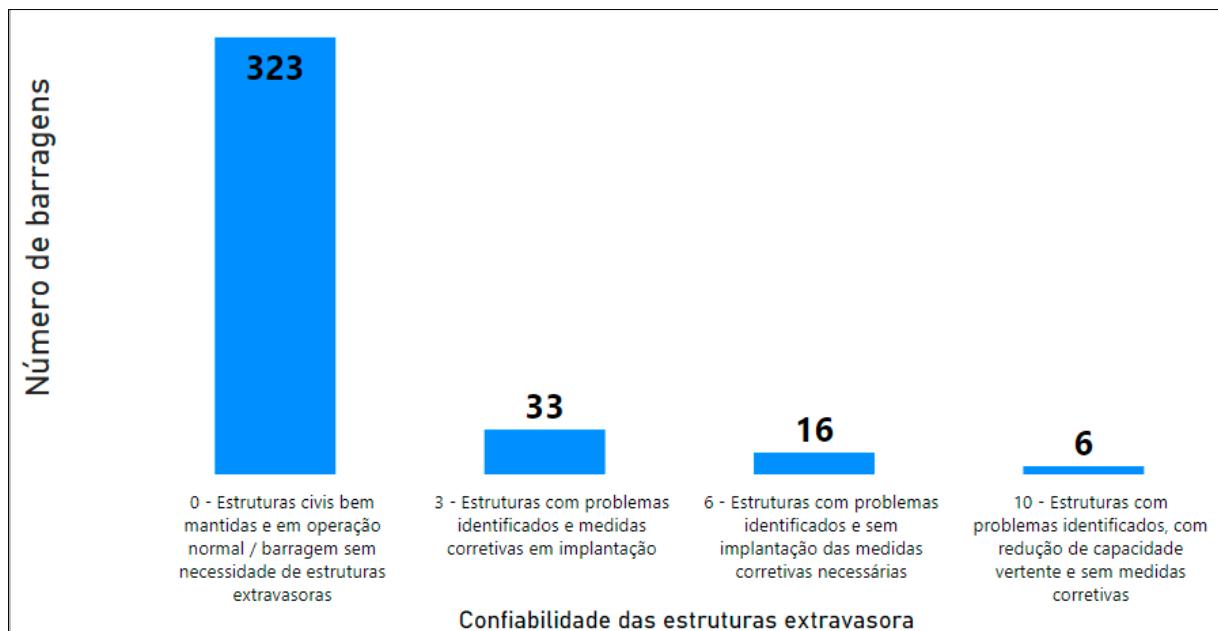
No quesito Estado de Conservação, os barramentos apresentaram de maneira geral boas condições de funcionamento (ver Gráfico 13 a Gráfico 16), apenas 22 barragens exibiram problemas identificados e sem medidas corretivas nas suas estruturas extravasoras (ver Gráfico 13). A Tabela 10 detalha as 6 estruturas que apresentam problemas identificados no extravasor, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas.

O Gráfico 14 mostra que 18 estruturas demonstram problemas de umidade ou surgências sem ações de correção e somente 6 expondo um comprometimento a segurança. A Tabela 11 mostra os 6 barramentos com surgências nas áreas de jusante com carreamento de material ou vazão crescente ou infiltração do material contido.

Já no Gráfico 15, em relação as trincas e abatimentos, revelaram números baixo de situações sem monitoramento (13) e comprometendo a estrutura (8). A Tabela 12 evidencia as 8 barragens que apresentam trincas, abatimentos ou escorregamentos.

Entretanto, no Gráfico 16 pode-se destacar uma quantidade relativa de barragens demonstrando falhas na proteção dos seus taludes (148). A Tabela 13 descreve as 6 estruturas com depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, e sulcos profundos de erosão.

Gráfico 13 – Número de barragens com confiabilidade nas estruturas extravasora



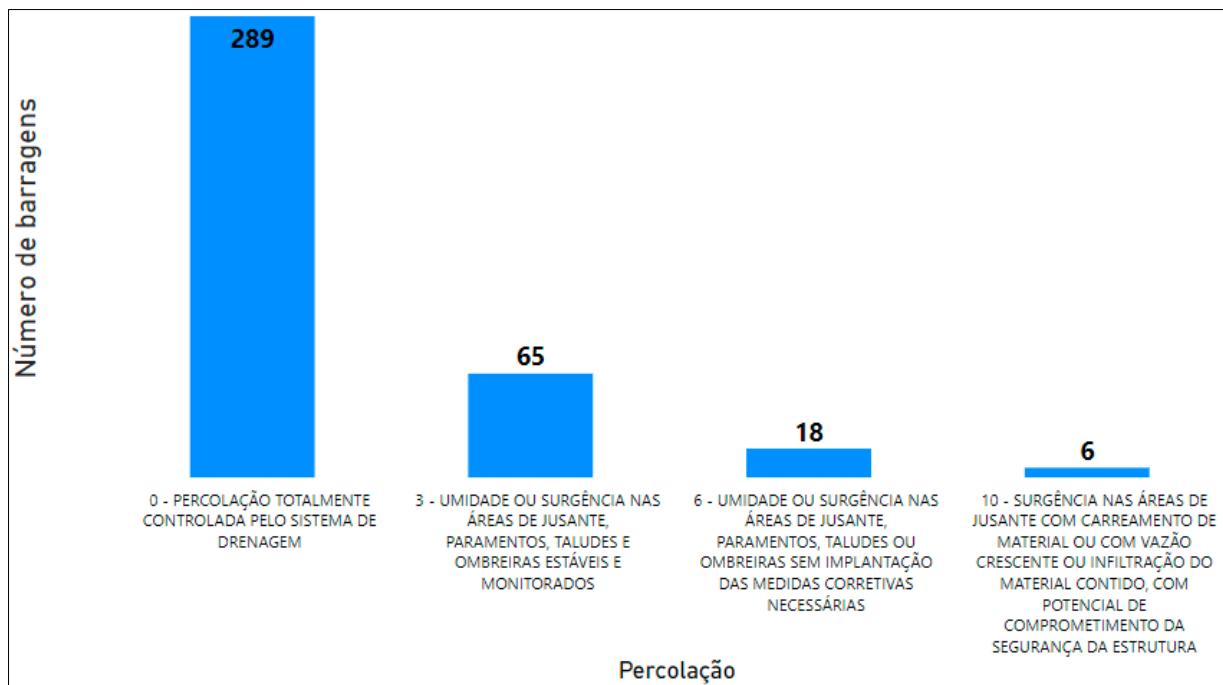
Fonte: Próprio autor

Tabela 10 – Barragens com problemas identificados no extravasor, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas

Nome da Barragem	Nome do Empreendedor	Município	UF
6	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG
Barragem II Mina Engenho	Massa Falida de Mundo Mineração Ltda.	RIO ACIMA	MG
Barragem Mina Engenho	Massa Falida de Mundo Mineração Ltda.	RIO ACIMA	MG
Lagoa do Pirocaua	MINERACAO AURIZONA S/A	GODOFREDO VIANA	MA
Santa Bárbara	VALLOUREC TUBOS DO BRASIL LTDA.	BRUMADINHO	MG
Dique de Pedra	VALE S.A.	OURO PRETO	MG

Fonte: Próprio autor

Gráfico 14 – Número de barragens com percolação



Fonte: Próprio autor

Tabela 11 – Barragens com surgências nas áreas de jusante com carreamento de material ou vazão crescente ou infiltração do material contido, com potencial de comprometimento a segurança

Nome da Barragem	Nome do Empreendedor	Município	UF
Barragem II Mina Engenho	Massa Falida de Mundo Mineração Ltda.	RIO ACIMA	MG
Barragem Mina Engenho	Massa Falida de Mundo Mineração Ltda.	RIO ACIMA	MG
Forquilha II	VALE S.A.	OURO PRETO	MG
Forquilha IV	VALE S.A.	OURO PRETO	MG
Forquilha I	VALE S.A.	OURO PRETO	MG
Forquilha III	VALE S.A.	OURO PRETO	MG

Fonte: Próprio autor

Gráfico 15 – Número de barragens com deformação e recalque



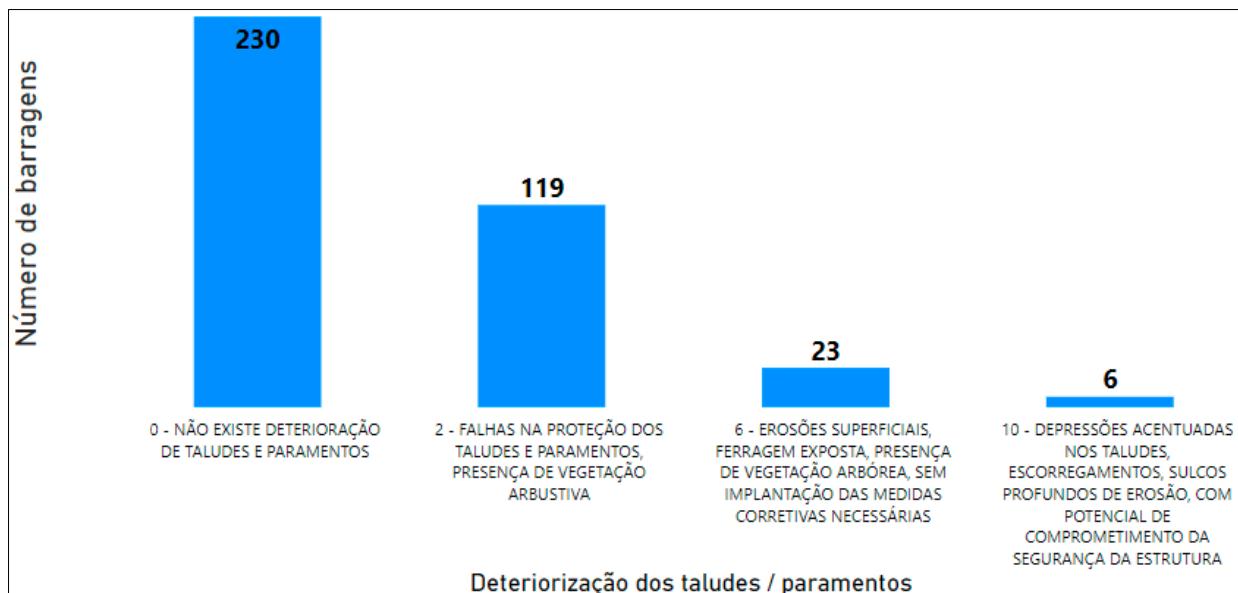
Fonte: Próprio autor

Tabela 12 – Barragens com existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento a segurança

Nome da Barragem	Nome do Empreendedor	Município	UF
7a	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG
Barragem II Mina Engenho	Massa Falida de Mundo Mineração Ltda.	RIO ACIMA	MG
Barragem Mina Engenho	Massa Falida de Mundo Mineração Ltda.	RIO ACIMA	MG
Forquilha II	VALE S.A.	OURO PRETO	MG
Forquilha IV	VALE S.A.	OURO PRETO	MG
Capitão do Mato	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG
Forquilha I	VALE S.A.	OURO PRETO	MG
Forquilha III	VALE S.A.	OURO PRETO	MG

Fonte: Próprio autor

Gráfico 16 – Número de barragens com deterioração dos taludes



Fonte: Próprio autor

Tabela 13 – Barragens com depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento a segurança

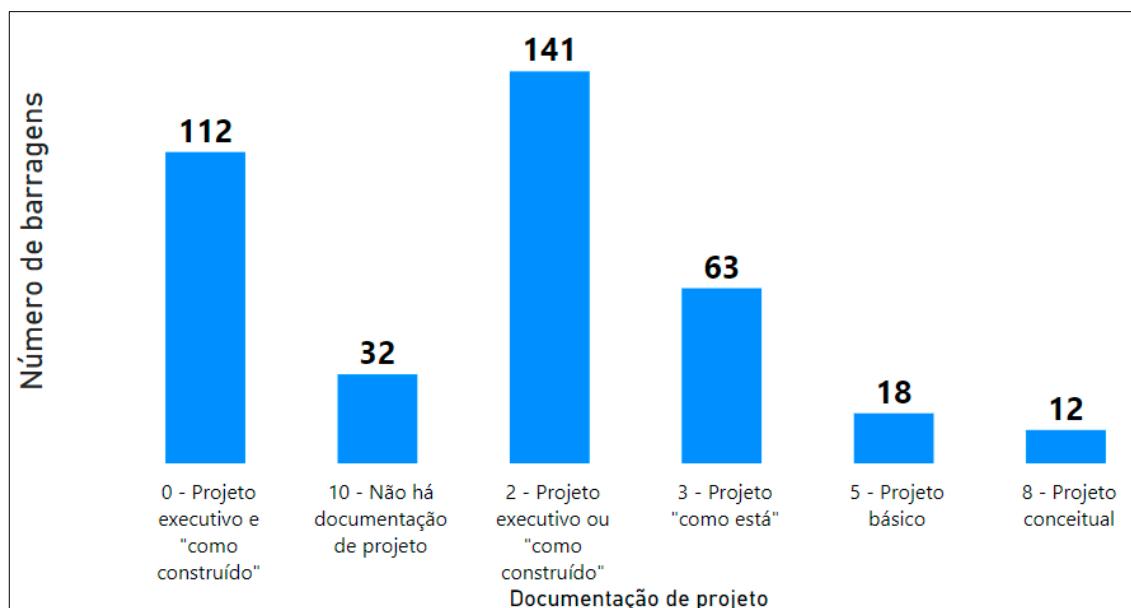
Nome da Barragem	Nome do Empreendedor	Município	UF
Barragem II Mina Engenho	Massa Falida de Mundo Mineração Ltda.	RIO ACIMA	MG
Barragem Mina Engenho	Massa Falida de Mundo Mineração Ltda.	RIO ACIMA	MG
Forquilha II	VALE S.A.	OURO PRETO	MG
Forquilha IV	VALE S.A.	OURO PRETO	MG
Forquilha I	VALE S.A.	OURO PRETO	MG
Forquilha III	VALE S.A.	OURO PRETO	MG

Fonte: Próprio autor

De acordo com os dados obtidos, 316 barragens de rejeitos estão regularizadas em relação aos seus projetos, sendo estes executivos e/ou “como construído”, ou “como está”. Contudo, as outras 62 estruturas que não apresentam documentação de projeto, ou só exibem um projeto básico ou conceitual, deverão conter o projeto “como está”, num prazo máximo de três anos a partir da alteração pela Resolução ANM nº 32/2020 (ver Gráfico 17).

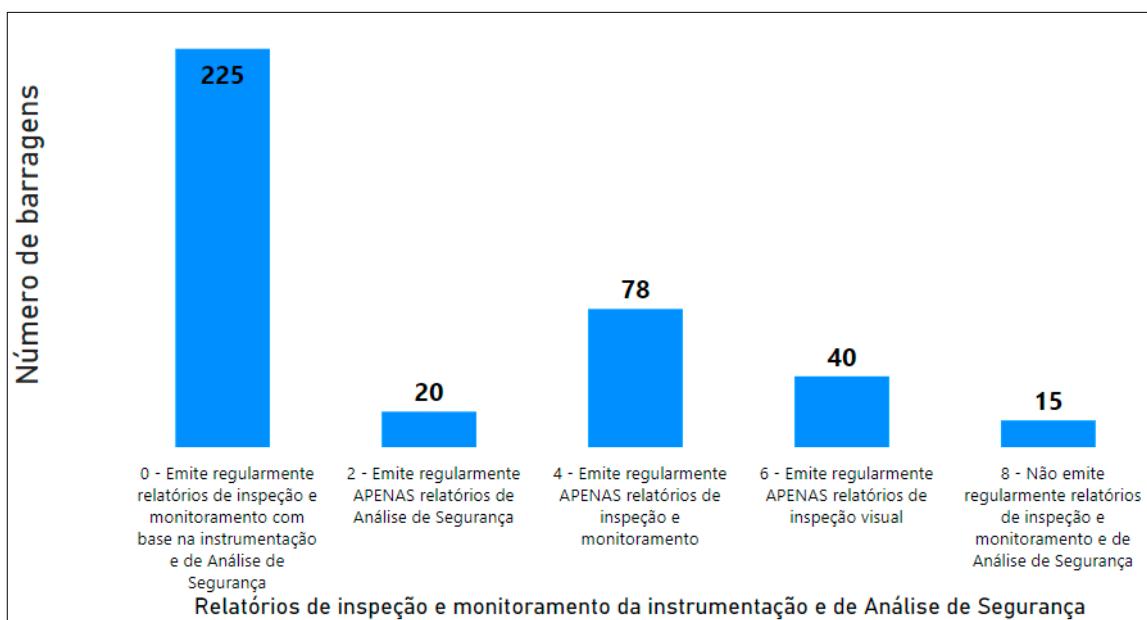
A partir desses dados, foi perceptível a grande quantidade de barragens que estão regulares em relação a emissão dos seus relatórios de inspeções, com cerca de 225 delas emitindo regulamente e com monitoramento baseado na instrumentação (ver Gráfico 18).

Gráfico 17 – Número de barragens por documentação de projeto



Fonte: Próprio autor

Gráfico 18 – Número de barragens por relatórios de inspeção

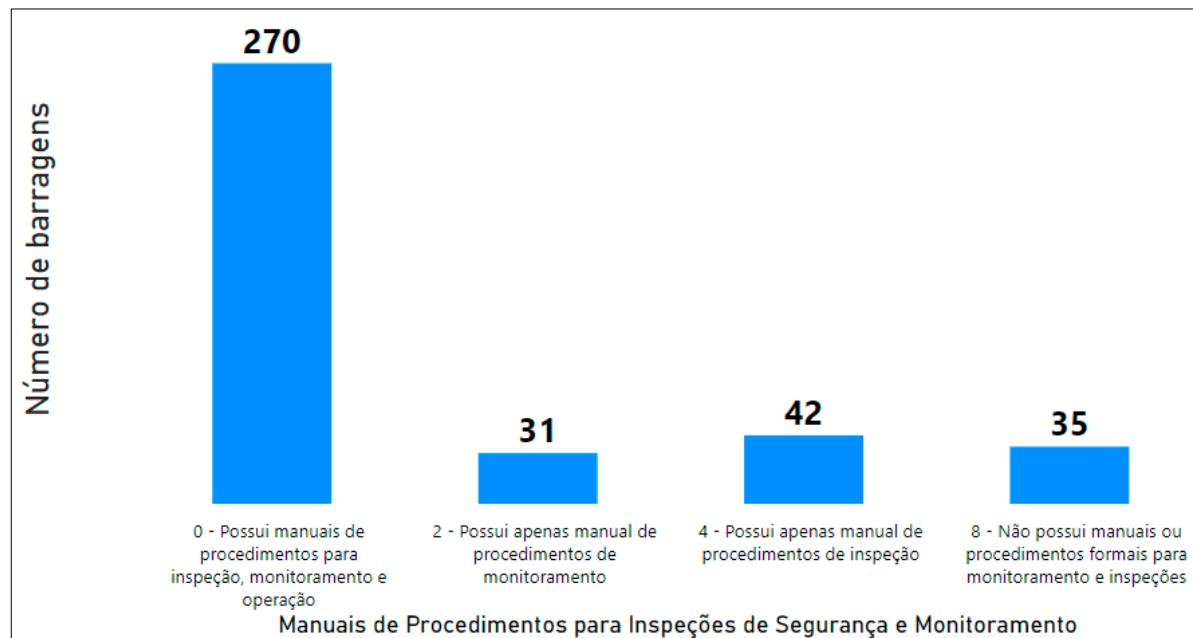


Fonte: Próprio autor

O Gráfico 19 demonstra a situação das barragens analisadas em relação aos manuais de procedimentos para inspeções de segurança e monitoramento, foi constatado que 35 barragens não possuem manuais ou procedimentos, estas estruturas encontram-se, na sua maioria, no Mato Grosso (MT) e em Minas Gerais (MG), com 9 barragens para cada estado (ver Gráfico 20).

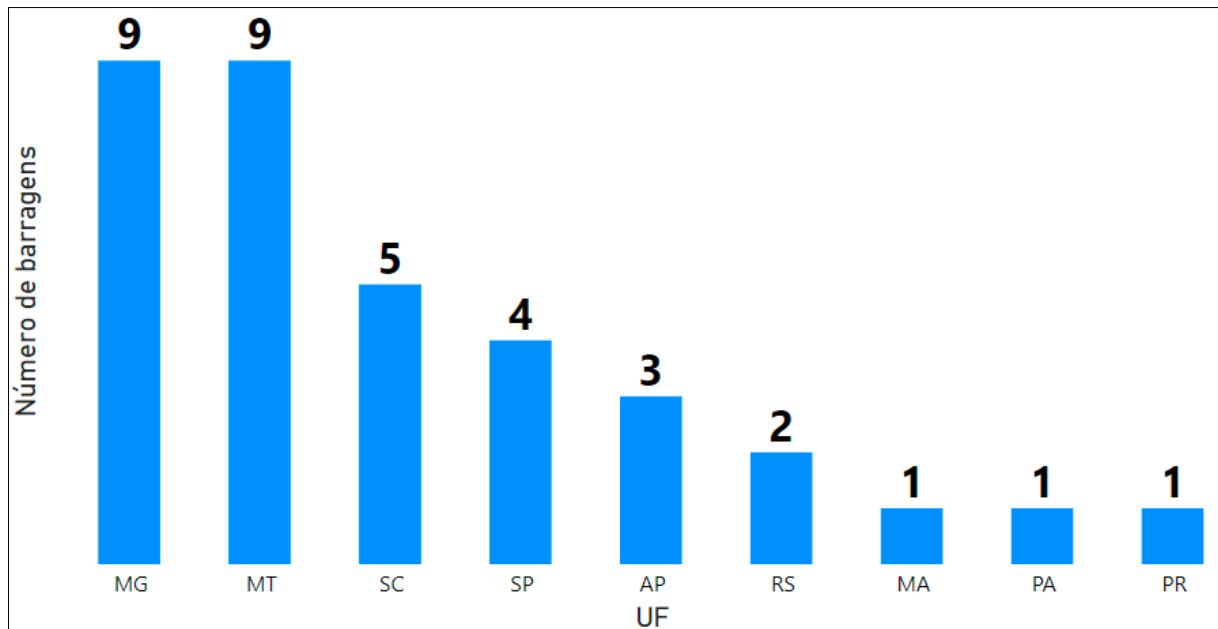
Em relação às estruturas organizacionais qualificadas na equipe de segurança das barragens, apenas 2 possuem unidade administrativa sem profissional técnico qualificado responsável pela segurança da estrutura e 9 não possuem unidade administrativa (ver Gráfico 21). A Tabela 14 especifica as 9 barragens que não possuem unidade administrativa e o responsável técnico qualificado pela segurança.

Gráfico 19 – Número de barragens por manuais de procedimentos



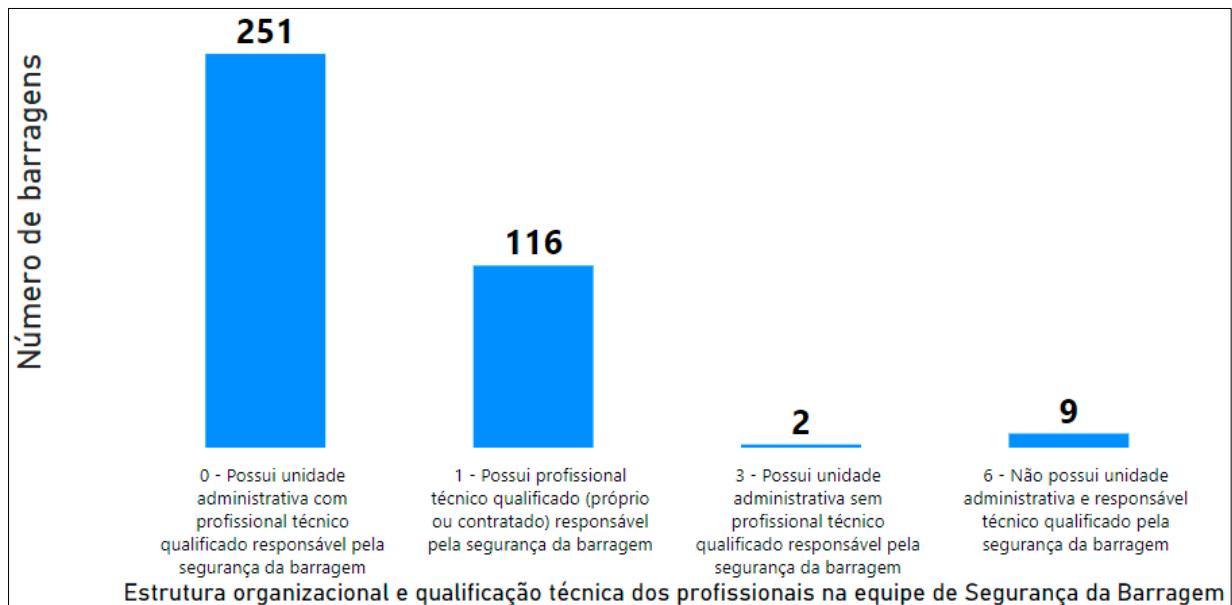
Fonte: Próprio autor

Gráfico 20 – Não possui manuais de procedimentos por estado



Fonte: Próprio autor

Gráfico 21 – Número de barragens por estrutura organizacional



Fonte: Próprio autor

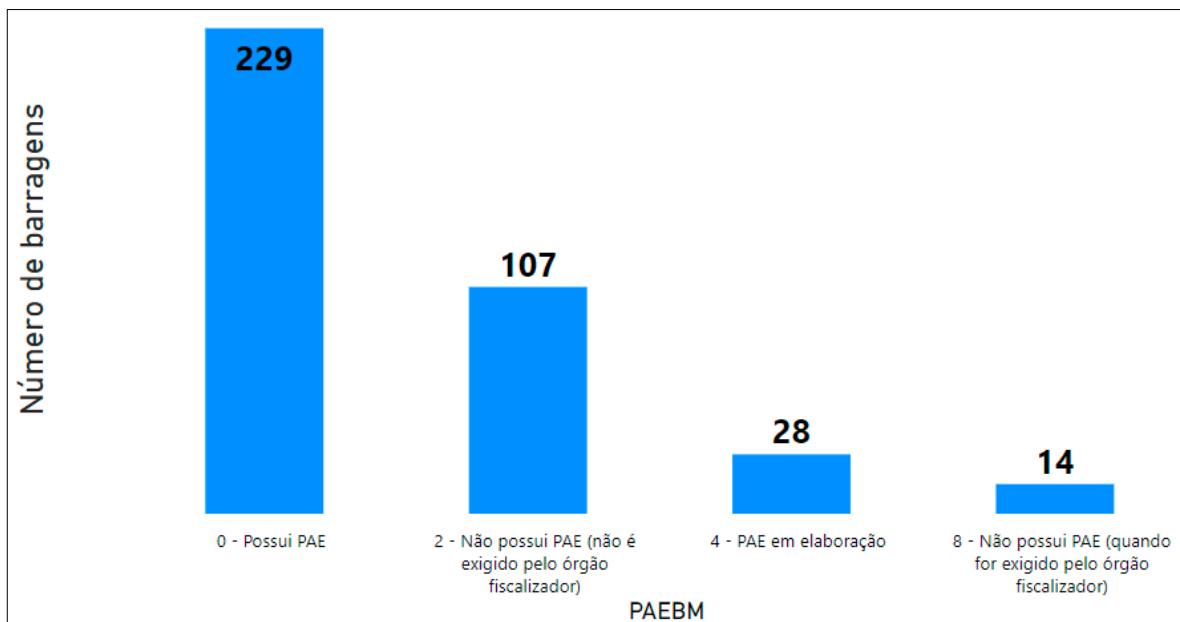
Tabela 14 – Barragens que não possui unidade administrativa e responsável técnico qualificado pela segurança

Nome da Barragem	Nome do Empreendedor	Município	UF
B5	Euromaqinas Mineração Ltda	NOVA LACERDA	MT
Bacia de Rejeitos	Reginaldo Luiz de Almeida Ferreira Me	NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO	MT
Barragem 1	João de Pinho Novo Filho	POCONÉ	MT
Barragem II Mina Engenho	Massa Falida de Mundo Mineração Ltda.	RIO ACIMA	MG
Barragem Mina Engenho	Massa Falida de Mundo Mineração Ltda.	RIO ACIMA	MG
Dique B3 Ipê	EMICON MINERACAO E TERRAPLENAGEM LIMITADA	BRUMADINHO	MG
Dique B4 Ipê	EMICON MINERACAO E TERRAPLENAGEM LIMITADA	BRUMADINHO	MG
Mario Cruz	DEV MINERACAO S.A. - EM RECUPERACAO JUDICIAL	PEDRA BRANCA DO AMAPARI	AP
Planta	PROMETALICA MINERACAO EIRELI	RIO BRANCO	MT

Fonte: Próprio autor

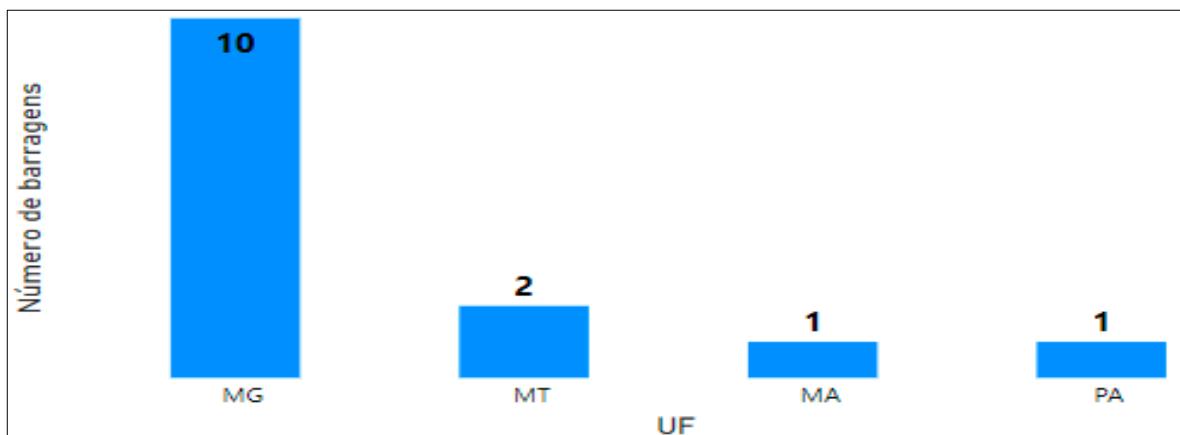
O Gráfico 22 demonstra a situação das barragens analisadas em relação ao plano de ação emergencial, foi constatado que apenas 14 barragens não possuem PAE quando é obrigatório pelo órgão fiscalizador, estas estruturas encontram-se 10 em Minas Gerais (MG), 2 no Mato Grosso (MT), 1 no Maranhão (MA) e 1 na Paraíba (PA) (ver Gráfico 23).

Gráfico 22 – Número de barragens por PAEBM



Fonte: Próprio autor

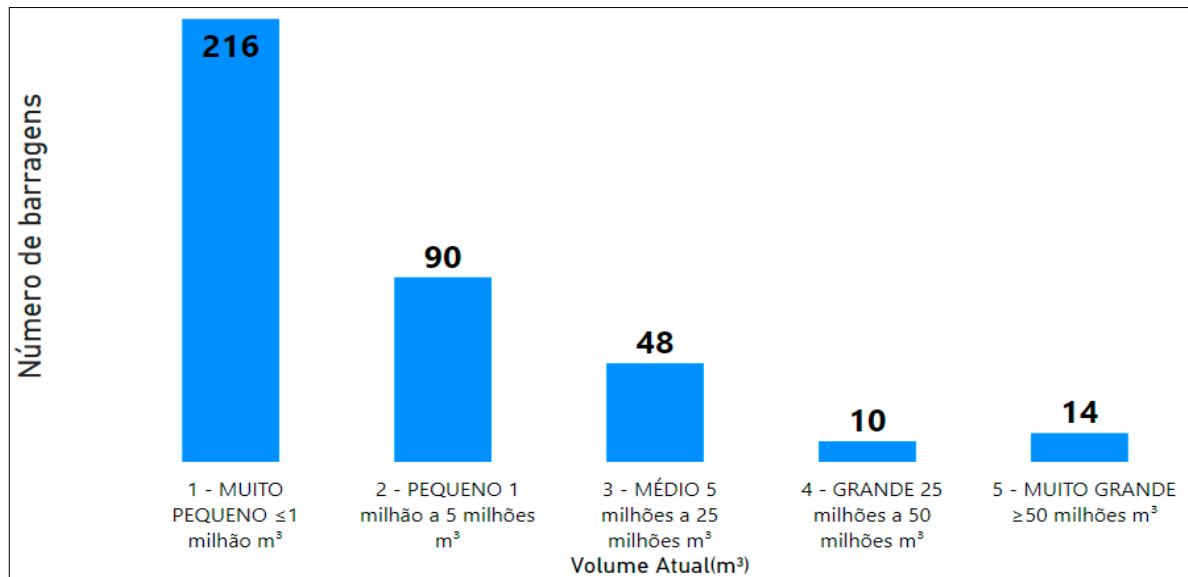
Gráfico 23 – Número de barragens – Não possui PAEBM por estado



Fonte: Próprio autor

Em relação aos parâmetros de Dano Potencial Associado, segundo a DNPM (2017) no quesito volume atual, as barragens de rejeitos são divididas por muito pequeno, pequeno, médio, grande e muito grande. Cerca de 216 barragens de rejeitos encaixam como muito pequeno, com volume de reservatório menor que 1 milhão m³ (ver Gráfico 24).

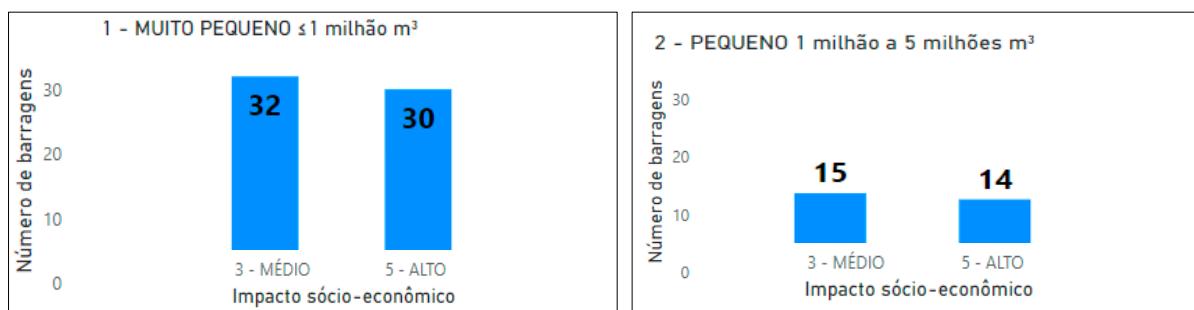
Gráfico 24 – Número de barragens por volume no reservatório



Fonte: Próprio autor

No Gráfico 25 temos uma análise referente ao impacto socioeconômico alto e médio com o volume atual do reservatório, esse impacto tem uma relação com a concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômica e cultural na área afetada a jusante da barragem (DNPM, 2017). A partir destes dados, observou-se que as regiões onde apresentam uma maior área de instalações dificulta a implementação de barragem com volumes de reservatórios maiores.

Gráfico 25 – Impacto socioeconômico médio e alto x volume

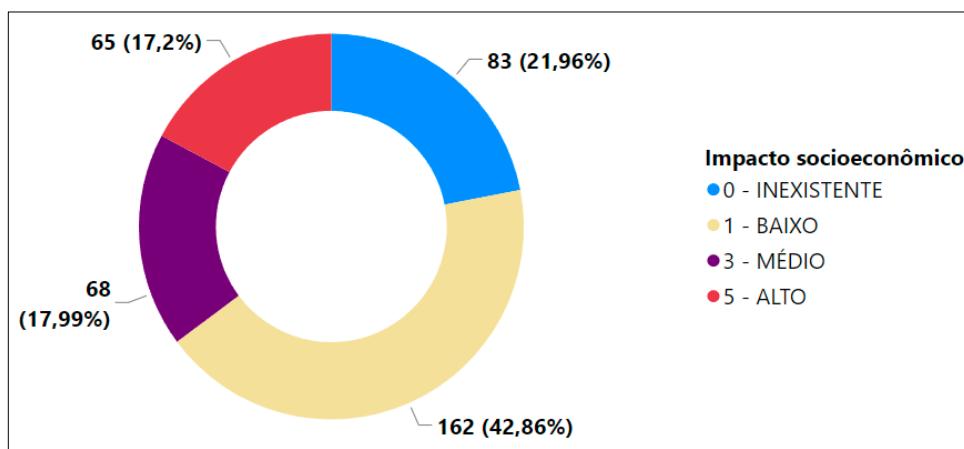




Fonte: Próprio autor

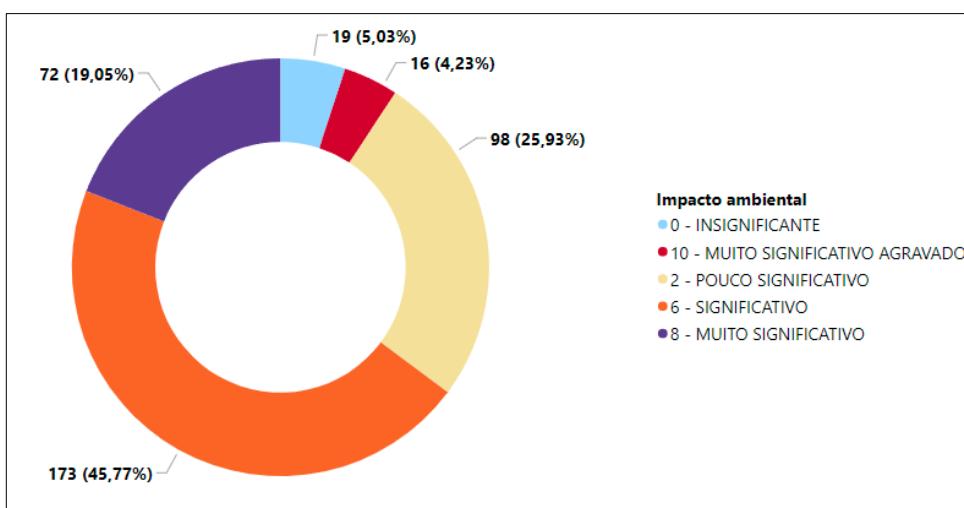
Segundo o Gráfico 26, apenas 65 das barragens de rejeito exibem um impacto socioeconômico alto. Além disto, o Gráfico 27 apresenta que somente 16 dos barramentos armazenam rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I-Perigosos segundo a NBR 10004 da ABNT.

Gráfico 26 – Número de barragens por impacto socioeconômico



Fonte: Próprio autor

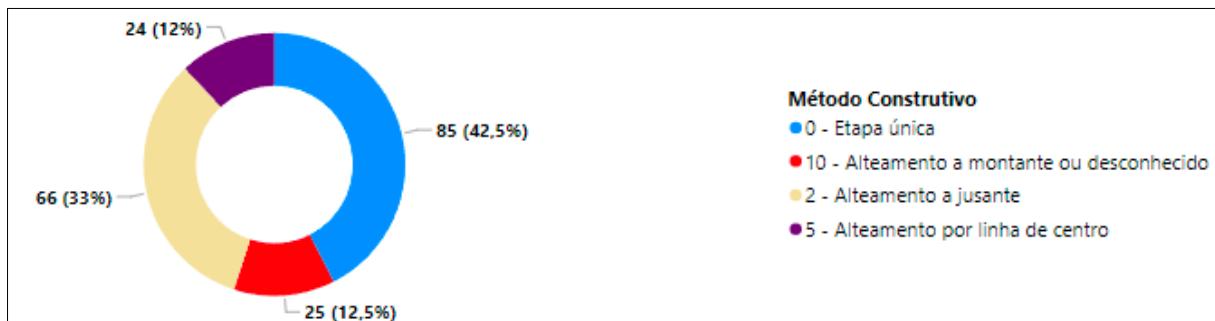
Gráfico 27 – Número de barragens por impacto ambiental



Fonte: Próprio autor

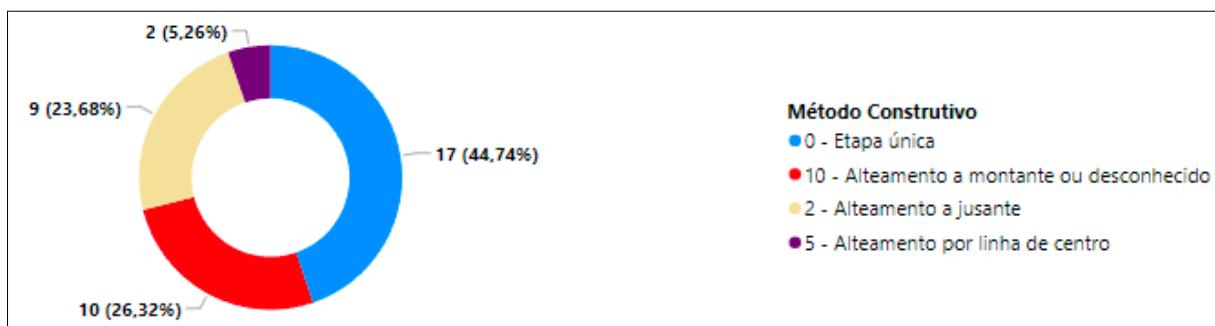
Em relação ao método de alteamento utilizado nas barragens, os órgãos públicos dão a devida importância para os alteamentos a montante, entretanto pelos resultados obtidos percebemos que os outros métodos apresentam quantidades relevantes referente às suas classificações (ver Gráfico 28 e Gráfico 29).

Gráfico 28 – Relação entre DPA alto e método construtivo



Fonte: Próprio autor

Gráfico 29 – Relação entre CRI alto e método construtivo



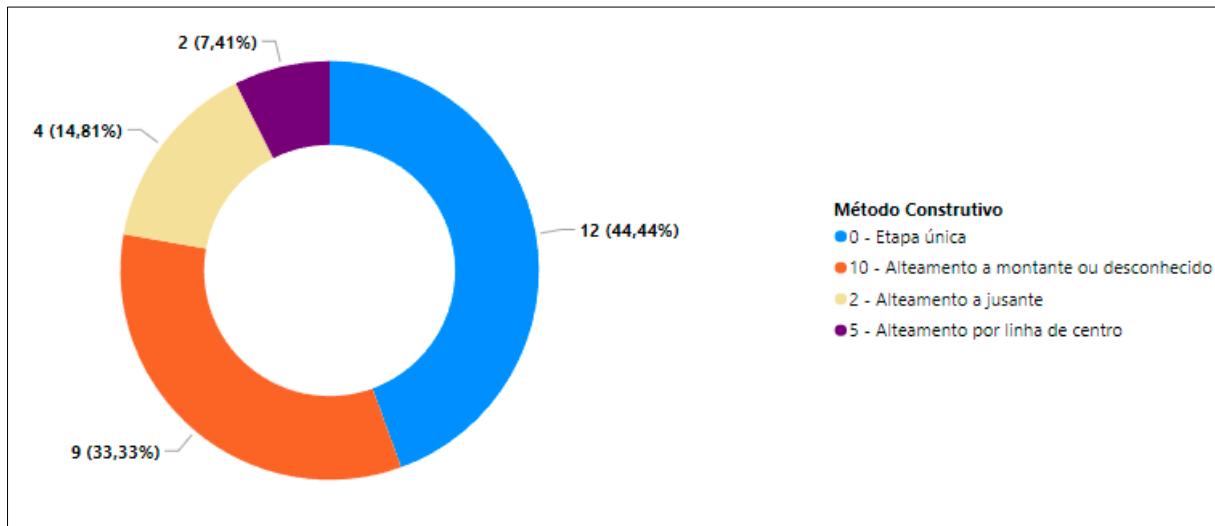
Fonte: Próprio autor

Analizando as 27 barragens que apresentam classificação CRI alta e DPA alta, sendo consideradas as situações mais críticas de segurança. Foram realizados nos Gráficos 30 a 32 uma comparação dessas estruturas com itens de método construtivo, altura e volume.

A partir disso, resultou que a maior parte são dos métodos de etapa única e alteamento a montante, com respectivamente 12 e 9 estruturas. Também, que 20 dos barramentos com maiores alturas (acima de 30 m), exibem nos níveis mais altos na classificação. Todavia, as estruturas com volumes muito grande e grande demonstram números menores, respectivamente 2 e 1, em comparação com as barragens de volume pequeno (4) ou muito pequeno (13).

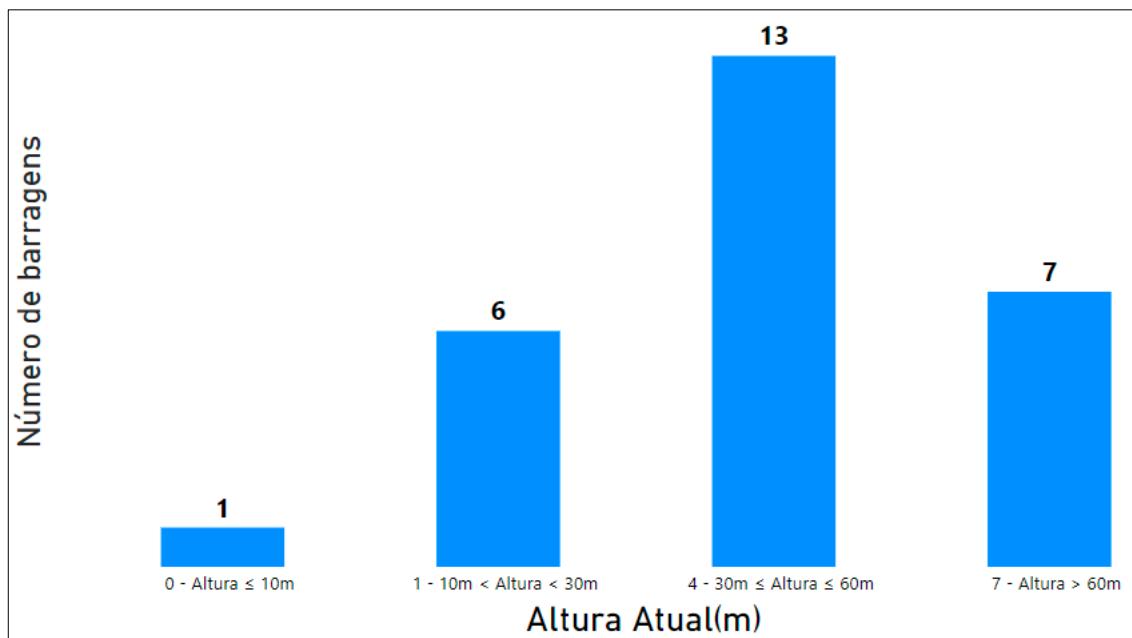
Os resultados obtidos foram detalhados na Tabela 15, onde mostram-se os seus nomes, proprietários, municípios e o estado que estão localizados esses barramentos de maiores riscos e danos potenciais alto. Que das 27 barragens apenas uma se encontra no Maranhão (MA), a outras 26 em Minas Gerais (MG).

Gráfico 30 – Relação entre CRI alto e DPA alto com método construtivo



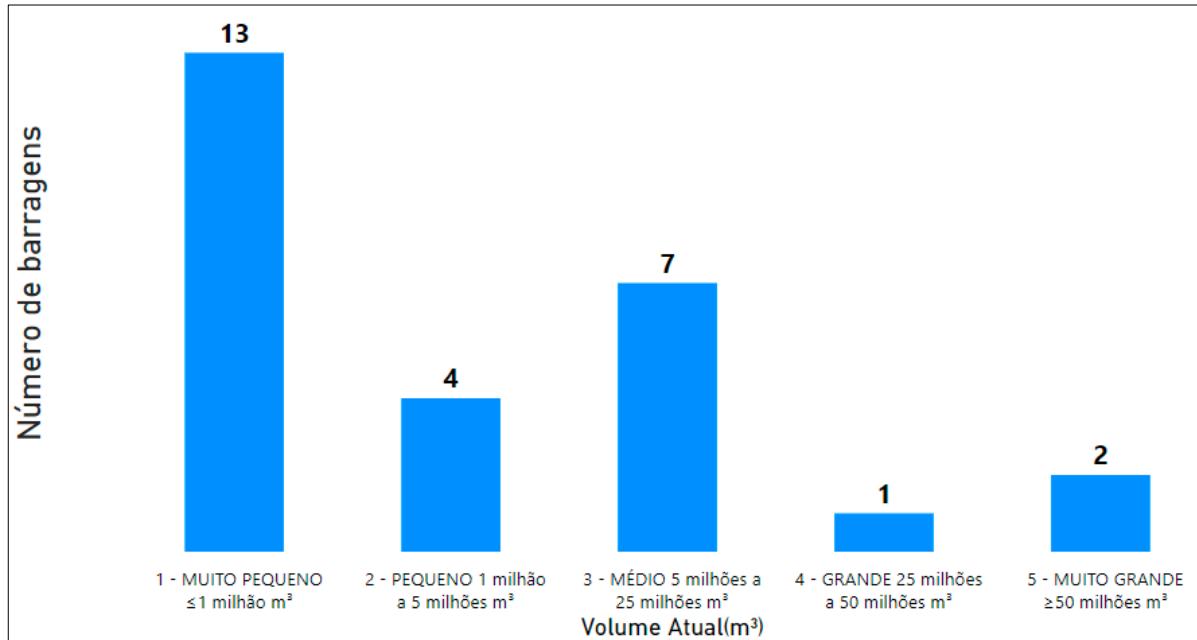
Fonte: Próprio autor

Gráfico 31 – Relação entre CRI alto e DPA alto com altura



Fonte: Próprio autor

Gráfico 32 – Relação entre CRI alto e DPA alto com volume



Fonte: Próprio autor

Tabela 15 – Barragens com CRI alto e DPA alto

Nome da Barragem	Nome do Empreendedor	Município	UF	Método Construtivo	Altura Atual(m)	Volume Atual(m³)
5 (MAC)	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	7 - Altura > 60m	3 - MÉDIO 5 milhões a 25 milhões m³
5 (Mutuca)	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	2 - Alteamento a jusante	4 - 30m ≤ Altura ≤ 60m	3 - MÉDIO 5 milhões a 25 milhões m³
6	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	0 - Etapa Única	1 - 10m < Altura < 30m	1 - MUITO PEQUENO ≤ 1 milhão m³
7a	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	0 - Etapa Única	4 - 30m ≤ Altura ≤ 60m	1 - MUITO PEQUENO ≤ 1 milhão m³
Área IX	VALE S.A.	OURO PRETO	MG	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	1 - 10m < Altura < 30m	1 - MUITO PEQUENO ≤ 1 milhão m³
B	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	0 - Etapa Única	4 - 30m ≤ Altura ≤ 60m	1 - MUITO PEQUENO ≤ 1 milhão m³
B3/B4	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	4 - 30m ≤ Altura ≤ 60m	2 - PEQUENO 1 milhão a 5 milhões m³
Barragem II Mina	Massa Falida de Mundo Mineração Ltda.	RIO ACIMA	MG	0 - Etapa Única	4 - 30m ≤ Altura ≤ 60m	1 - MUITO PEQUENO ≤ 1 milhão m³
Barragem Mina Engenho	Massa Falida de Mundo Mineração Ltda.	RIO ACIMA	MG	0 - Etapa Única	4 - 30m ≤ Altura ≤ 60m	1 - MUITO PEQUENO ≤ 1 milhão m³
Borrachudo II	VALE S.A.	ITABIRA	MG	0 - Etapa Única	1 - 10m < Altura < 30m	1 - MUITO PEQUENO ≤ 1 milhão m³
Capitão do Mato	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	0 - Etapa Única	4 - 30m ≤ Altura ≤ 60m	2 - PEQUENO 1 milhão a 5 milhões m³
Dicão Leste	VALE S.A.	MARIANA	MG	0 - Etapa Única	1 - 10m < Altura < 30m	1 - MUITO PEQUENO ≤ 1 milhão m³
Forquilha I	VALE S.A.	OURO PRETO	MG	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	7 - Altura > 60m	3 - MÉDIO 5 milhões a 25 milhões m³
Forquilha II	VALE S.A.	OURO PRETO	MG	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	7 - Altura > 60m	3 - MÉDIO 5 milhões a 25 milhões m³
Forquilha III	VALE S.A.	OURO PRETO	MG	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	7 - Altura > 60m	3 - MÉDIO 5 milhões a 25 milhões m³
Forquilha IV	VALE S.A.	OURO PRETO	MG	5 - Alteamento por linha de centro	7 - Altura > 60m	2 - PEQUENO 1 milhão a 5 milhões m³
Grupo	VALE S.A.	OURO PRETO	MG	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	4 - 30m ≤ Altura ≤ 60m	2 - PEQUENO 1 milhão a 5 milhões m³
Lagoa do Pirocaua	MINERACAO AURIZONA S/A	GODOFREDO	MA	0 - Etapa Única	0 - Altura ≤ 10m	1 - MUITO PEQUENO ≤ 1 milhão m³
Maravilhas II	VALE S.A.	ITABIRITO	MG	2 - Alteamento a jusante	7 - Altura > 60m	5 - MUITO GRANDE ≥ 50 milhões m³
Marés I	VALE S.A.	BELO VALE	MG	0 - Etapa Única	1 - 10m < Altura < 30m	1 - MUITO PEQUENO ≤ 1 milhão m³
Marés II	VALE S.A.	BELO VALE	MG	5 - Alteamento por linha de centro	1 - 10m < Altura < 30m	1 - MUITO PEQUENO ≤ 1 milhão m³
Norte/Laranjeiras	VALE S.A.	BARÃO DE COCAIS	MG	0 - Etapa Única	4 - 30m ≤ Altura ≤ 60m	4 - GRANDE 25 milhões a 50 milhões m³
Pontal	VALE S.A.	ITABIRA	MG	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	7 - Altura > 60m	5 - MUITO GRANDE ≥ 50 milhões m³
Santa Bárbara	VALLOURCEC TUBOS DO BRASIL LTDA.	BRUMADINHO	MG	2 - Alteamento a jusante	4 - 30m ≤ Altura ≤ 60m	1 - MUITO PEQUENO ≤ 1 milhão m³
Santana	VALE S.A.	ITABIRA	MG	2 - Alteamento a jusante	4 - 30m ≤ Altura ≤ 60m	3 - MÉDIO 5 milhões a 25 milhões m³
Sul Inferior	VALE S.A.	BARÃO DE COCAIS	MG	0 - Etapa Única	4 - 30m ≤ Altura ≤ 60m	1 - MUITO PEQUENO ≤ 1 milhão m³
Vargem Grande	VALE S.A.	NOVA LIMA	MG	10 - Alteamento a montante ou desconhecido	4 - 30m ≤ Altura ≤ 60m	3 - MÉDIO 5 milhões a 25 milhões m³

Fonte: Próprio autor

5 Conclusões

No Brasil, com o crescimento da mineração, as barragens de rejeitos ganharam cada vez mais espaço como solução para destinação dos resíduos em sua maioria tóxicos ou contaminantes. Desta forma, compreender os parâmetros relacionados a classificação de risco e de danos potenciais associados dessas estruturas torna-se fundamental para uma gestão adequada.

A respeito do esforço e desenvolvimento alcançado pelas entidades fiscalizadoras e dos proprietários dessas estruturas em relação a temática de segurança, induziu-se a necessidade de uma melhoria no monitoramento desses barramentos, mesmo com as dificuldades persistentes na procura de dados confiáveis.

Portanto, os proprietários nessa busca de diminuir o déficit no conhecimento sobre os incidentes e acidentes com rupturas em barragens, e a fim de atender os prazos determinados pela ANM, em relação aos processos de desativação de barramentos a montante, atualmente existente em todo mundo uma corrida por montar equipes capacitadas e com treinamento técnico adequado para atividades de operação, manutenção e na elaboração de manuais ou procedimentos para monitoramento e inspeções de segurança não apenas nas estruturas construídas com alteamento a montante, como também em outros métodos.

Com isso, deve se produzir um estudo detalhado e atendendo todas as boas práticas da engenharia da necessidade de realizar o processo de descarterização ou apenas o descomissionamento desses barramentos, também deve se preocupar em manter uma estabilidade da estrutura até a conclusão do projeto.

Apesar dos casos de rompimento em Mariana e Brumadinho que foram os responsáveis pelos maiores danos ambientais, econômicos e sociais no Brasil, os índices de maiores riscos dos impactos ambientais e socioeconômicos de modo geral se apresenta com percentuais menores. Contudo, cabe as autoridades e os responsáveis pelas barragens investirem cada vez mais em sistemas de auscultação mais eficiente e com monitoramento regulares de leituras e análises, também numa organização das suas documentações sobre o histórico dessas estruturas por meio dos EDR. Com isso, aperfeiçoando suas ações preventivas de segurança, a fim de evitar novos casos de desastres.

Esse estudo facilita a localização de situações de barragens onde apresentam-se situações com deficiências no seu estado de conservação, com isso ajuda num

cuidado maior por parte dos órgãos de fiscalização. De todas as barragens da base de dados, 5,8% apresentaram-se com problemas identificados e sem medidas corretivas nas suas estruturas extravasoras, 23,5% com umidade ou surgências sem ações de correção expondo um comprometimento a segurança, e 5,5% com trincas e abatimentos sem monitoramento e comprometendo a estrutura, sendo muito mais frequente o problema de falhas na proteção dos seus taludes que atinge cerca de 39,1% das estruturas. Além dessas informações, a Tabela 16 mostra outras importantes conclusões sobre os dados obtidos.

Tabela 16 – Principais conclusões dos resultados

Principais conclusões	
Instrumentação	Apenas 12,4% dos barramentos não têm instrumentação e sem medidas reparadoras. Demostrando o avanço do monitoramento dessas estruturas.
Análise de segurança.	Somente 2,9% dessas estruturas não passam por uma avaliação detalhada por um profissional técnico qualificado responsável pela segurança da estrutura, prejudicam assim a emissão regular de relatórios de inspeção e monitoramento.
Método construtivo	O alteamento a montante não é a metodologia mais utilizada (apenas 10,85%) da maioria das barragens, e cerca de 70,7% das barragens alteadas a montante tem entre 10 e 60 m de altura.
Método construtivo	Cerca de 78% das barragens estão construídas pelo método de etapa única e linha de jusante.
Classificação	Os barramentos que se apresentam com DPA alto e CRI alto, as alteadas a montante representam apenas de 33,33%. Portanto, na maioria dos casos que apresentaram altos níveis de risco ou dano potencial foram das alteadas a jusante e de etapa única.
Documentação	A elaboração de projetos e plano de ação emergencial, em 83,6% das barragens de rejeitos estão regularizadas em relação aos seus projetos. E apenas 3,7% das estruturas não apresentam PAEBM quando exigido pelo órgão fiscalizador.

Fonte: Próprio autor

A ferramenta de *business intelligence* (Power BI) utilizada permitiu organizar adequadamente todas as informações importantes tanto para os órgãos fiscalizadores, empreendedores ou empresas contratadas para realizar algum serviço

nessas barragens. Como possibilita a integração dos dados de parâmetros de 7,1% das barragens que apresentam com classificações CRI alto e DPA alto, disponibilizados no cadastramento das estruturas a fim de obter informações e gerar conhecimento necessários sobre essas estruturas, auxiliar nas tomadas de decisões e para beneficiar novos estudos sobre segurança dessas barragens mais críticas.

Na busca de melhorias para próximas pesquisas, cabe o desenvolvimento de um Power BI ou em outras ferramentas, associando um histórico das informações dessas barragens e o detalhamento dos dados disponibilizados no SIGBM. Será um diferencial nos serviços de controle, evitando custos desnecessários em regiões menos preocupantes e ter a capacidade de reagir rapidamente em relação as necessidades específicas de cada estrutura. Também, auxilia na descoberta de oportunidades de negócios para empresas que prestam serviços de EdR, elaboração de projeto, plano de ação emergencial e entre outros.

6 Referências

Link do Power BI.

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiODgwNmE4YmYtNmY1My00MWY0LTliNTQtYzAxMjg0NWI2NTQxliwidCI6ImUyZjc3ZDAwLTAxNjMtNGNmNi05MmlwLTQ4NGJhZmY5ZGY3ZCJ9&pageName=ReportSectiona7b549150997a0eb8719>

ABNT. NBR 13028: Mineração Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água. Requisitos, Rio de Janeiro, p. 16. 2017.

ABNT. NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação, Rio de Janeiro, p. 71. 2004.

Aguiar, D. P. O., Fais, L. M. C. F., Genovez, A. I. B., Filho, J. G. D. (2015), **Contribuição ao estudo do índice de segurança de barragens – ISB**. RBRH vol. 20 nº.2 Porto Alegre abr./jun. 2015 p. 360 – 368, Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/157/b157490568045e9865623db2927a7df8_1af5d1d5a1cb03e1cda36b1704bb0f0c.pdf. acesso realizado em: 23 set. 2021

Albuquerque filho, L. H. (2004), **Avaliação do comportamento geotécnico de barragens de rejeitos de minério de ferro através de ensaios de piezocone**, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp103082.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021.

DNPM (2017), **Portaria nº 70.389**. Ministério de Minas e Energia, de 17 de maio de 2017

ANM (2019), **Resolução nº 13**, Ministério de Minas e Energia, de 8 de agosto de 2019

ANM (2020), **Resolução nº 32**, Ministério de Minas e Energia, de 11 de maio de 2020

ANM (2022), **Resolução nº 95**, Ministério de Minas e Energia, de 7 de fevereiro de 2022

ANM. **Institucional**, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/acesso-a-informacao/institucional>. Acesso em: 27 ago. 2021.

ANM. **Barragens de mineração**, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens>. Acesso em: 28 set. 2021.

ANM, **90% das barragens de mineração a montante já têm projetos de descaracterização**, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/noticias/90-das-barragens-de-mineracao-a-montante-ja-tem-projetos-de-descaracterizacao>. Acesso em: 14 set. 2021.

ANM. (2021), **SIGBM - Sistema de Gestão de Segurança de Barragem de Mineração**. Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>. Acesso em: 03 set. 2021.

ANM. (2021), **REPORT TRIMESTRAL DESCARACTERIZAÇÃO DE BARRAGENS A MONTANTE – NOVEMBRO.** Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/boletim-de-barragens-de-mineracao/arquivos/nota_tecnica_2021_descaracterizacao-3.pdf
Acesso em: 03 fev. 2022.

ANA, Agência Nacional de Águas (2021). **Relatório de Segurança de Barragens 2020**, Brasília. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2020/rsb-2020.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2021.

Araújo, C. B. (2006), **Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://docplayer.com.br/3306129-Contribuicao-ao-estudo-do-comportamento-de-barragens-de-rejeito-de-mineracao-de-ferro-cecilia-bhering-de-araujo.html>. Acesso em: 29 ago. 2021.

BRASIL (2010), **Lei nº 12.334**. Congresso Nacional, 20 de setembro de 2010

BRASIL (2017), **Lei nº 13.575**. Congresso Nacional, de 26 de dezembro de 2017

BRASIL (2020), **Lei nº 14.066**. Congresso Nacional, de 30 de setembro de 2020

BRASIL, **Desempenho do setor mineral em 2020 supera expectativas**, Ministério de Minas e Energia, de 19 de fevereiro de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2021/02/desempenho-do-setor-mineral-em-2020-supera-expectativas>. Acesso em: 19 fev. 2021.

BUREC, (1995). **Safety Evaluation of Existing Dams**. A Manual For The Safety Evaluation of Embankment and Concrete Dams. A Water Resources Technical Publication, USA: Dever, Colorado. Disponível em: <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/SEED.pdf>. Acesso em: 16 set. 2021.

CBDB (2001), **GUIA BÁSICO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS**, (Comitê Brasileiro de Barragens) Comissão Regional de Segurança de Barragens Núcleo Regional de São Paulo.1999. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/2842418-Guia-basico-de-seguranca-de-barragens-guia-basico-de-seguranca-de-barragens.html>>, Acesso realizado em: 29 out. 2021.

CBDB, **A legislação de segurança de barragens: Um breve histórico e desafios**, 2015. Disponível em: <http://cbdb.org.br/a-legislacao-de-seguranca-de-barragens-um-breve-historico-e-desafios>. Acesso em: 28 out. 2021.

CNRH (2012), **Resolução nº 144**, Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional de Recursos Hídricos, de 10 de julho de 2012

Duarte, A. P. (2008), **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em:<<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUDB->

8AUPNJ/1/classifica_o_das_barragens_de_conten_o.pdf>. Acesso em: 17 out. 2021.

Grupo da Força Tarefa (2016), **Relatório: Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG**, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: https://www.agenciaminas.mg.gov.br/ckeditor_assets/attachments/770/relatorio_final_ft_03_02_2016_15h5min.pdf. Acesso em: 22 out. 2021

GUIDICINI. G., SANDRONI, S. S., MELLO, F. M., **Lições aprendidas com acidentes e incidentes em barragens e obras anexas no brasil**, Comitê Brasileiro de Barragens, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <http://cbdb.org.br/acidentes-e-incidentes>. Acesso em: 26 nov. 2021.

GUIDICINI. G., SANDRONI, S. S., MELLO, F. M., **Lições aprendidas com acidentes e incidentes em barragens e obras anexas no brasil relatos**, Comitê Brasileiro de Barragens, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <http://cbdb.org.br/acidentes-e-incidentes>. Acesso em: 26 nov. 2021

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração (2020). **Relatório anual de atividades - janeiro a dezembro de 2020**. Disponível em: <https://ibram.org.br/relatorios-de-atividades/>. Acesso em: 15 set. 2021.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração (2021). **Infográfico: Dados do setor mineral 1º trimestre 2021**. Disponível em: <https://ibram.org.br/publicacoes/?txtSearch=&checkbox-section%5B%5D=1236>. Acesso em: 16 out. 2021.

ICOLD, International Commission On Large Dams (2001), **Tailings dams risk of dangerous occurrences – Lessons learnt from practical experiences, Bulletin 121**. Disponível em: <https://ussdams.wildapricot.org/resources/Documents/ICOLD%202001%20Bulletin%20121.pdf>. Acesso realizado em: 12 ago. 2021.

IEF, Instituto Estadual de Florestas (2019), **Sisema mantém atuação ambiental 6 meses após o rompimento da Barragem da Vale**. Disponível: <http://www.ief.mg.gov.br/noticias/2788-sisema-mantem-atuacao-ambiental-seis-meses-apos-o-rompimento-da-barragem-da-vale>. Acesso realizado em 23 abr. 2022.

Lozano, F. A. E. (2006), **Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3145/tde-14122006-123702/publico/Selecaolocaisbarragensrejeitos.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2021

Machado, W. G. F. (2007), **Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos da mineração**. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-31032008-154124/publico/DissertacaoWillianGladstoneMachado.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2021.

Neves, L. P. (2018). **Segurança de barragens – Legislação federal brasileira em segurança de barragens comentada.** Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5097591/mod_folder/content/0/seg_barragens.pdf?forcedownload=1. Acesso realizado em: 19 ago. 2021.

Piton, R., **O Framework do Power BI: 4 etapas para implementar qualquer projeto**, 2019. Disponível em: <https://rafaelpiton.com.br/blog/framework-power-bi-etapas-implementar/>. Acesso em: 11 dez. 2021.

Robertson, P. K. et al. (2019). **Report of the Expert Panel on the Technical Causes of the Failure of Feijão Dam I.** Disponível em: <https://bdrb1investigationstacc.z15.web.core.windows.net/assets/Feijao-Dam-I-Expert-Panel-Report-ENG.pdf>. Acesso em: 19 out. 2021.

SAFF Engenharia, **Conceituação de Engenharia de Registros (“EoR”)**, 2020. Disponível em: <https://saffengenharia.com.br/conceituacao-de-engenharia-de-registros-eor/>. Acesso em: 17 set. 2021.

Soares, L. (2010). **Barragem de rejeitos**, 2020. Rio de Janeiro: CETEM, 5ª Edição, Capítulo 19, pág. 831–896. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/769/1/CCL00410010.pdf>. Acesso realizado em: 12 ago. 2021.

Tasso Mendonça, **A importância da mineração na economia brasileira**, 2021. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/opiniao/a-importancia-da-mineracao-na-economia-brasileira/#:~:text=A%20minera%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9%20respons%C3%A1vel%20por,de%20insumos%20diretamente%20ao%20agroneg%C3%B3cio>. Acesso em: 15 fev. 2022.

VALE, Vale iniciará depósito de rejeitos na cava de Feijão, 2019. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/vale-iniciara-deposito-de-rejeitos-na-cava-de-feijao.aspx>. Acesso em: 12 set. 2021.

VALE, Descaracterização de Barragens, 2020. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/business/mining/de-characterization/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 06 abr. 2022.

West, M. S., Costa Miranda, J. e Matos, E. (1998), **Avaliação de Segurança de Barragens uma comparação entre as abordagens britânica e portuguesa**, 1998. Disponível em: <https://www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/114.pdf>, acesso realizado em: 10 out. 2021.

WISE Uranium, **The Brumadinho tailings dam failure**, 2021. Disponível em: <https://www.wise-uranium.org/mdafbr.html>. Acesso em: 27 out. 2021.

Senna e Silva, L. C. R. (2017). **Barragens de Rejeitos na Indústria Mineral Brasileira**. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20626/8/BarragensRejeitosInd%C3%B3Astria.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2022.

LIMA, J. C. A. (2018). **APLICAÇÃO DAS PORTARIAS DA AGÊNCIA NACIONAL DA MINERAÇÃO (ANM) COMO NORMA DE CARÁTER OBRIGATÓRIO ÀS RELAÇÕES LABORAIS DA ATIVIDADE MINERÁRIA.** Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13762/1/JCAL22112018.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2022.

Magalhães Junior, A. P. et al. (2020). **Panorama dos rompimentos de barragens de rejeitos de minério no mundo.** Caderno de Geografia, v.30, n.61. p. 368-390. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/22380/16633>. Acesso em: 10 fev. 2022.

AZAM, S.; LI, Q. **Tailings Dam Failures: A Review of the Last One Hundred Years. Waste Geotechnical News**, v. 28, n. 4, p. 50-53, 2010.

WISE Uranium Project. Chronology of major tailings dam failures. Disponível em: <https://www.wise-uranium.org/mdaf.html>. Acesso em: 22 jan. 2022

MEHARG, A. A.; OSBORN, D.; PAIN, D. J.; SÁNCHEZ, A.; NAVESO, M. A. **Contamination of DonÄana food-chains after the Aznalcóllar mine disaster. Environmental Pollution**, v. 105, n.3, p. 387-390, 1999.

MARSHALL, J. Rompimentos de barragens de rejeitos no Brasil e no Canadá: uma análise do comportamento corporativo. Caderno Eletrônico de Ciências Sociais, v. 5, n.1, p. 27-46, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/index.php/cadecs/article/view/17793>. Acesso em 13 fev. 2022.

DAVE PETLEY. Tailings dam failures: an interesting perspective article in Science. 2019. Disponível em: <https://blogs.agu.org/landslideblog/2019/05/13/tailings-dam-failures/>. Acesso em: 19 fev. 2022.

IBRAM (2019) GUIA DE BOAS PRÁTICAS, Gestão de Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeitos.

Microsoft (2022). **O que é o Power Query?.** Disponível em: <https://docs.microsoft.com/pt-br/power-query/power-query-what-is-power-query>. Acesso em: 05 mar. 2022

Mathias, L. (2018). **Ferramentas de BI: conheça as 8 melhores para utilizar na sua empresa.** Disponível em: <https://mindminers.com/blog/ferramentas-de-bi/>. Acesso em: 21 fev. 2022.

Tableau, (2021). **O que é business intelligence? Seu guia sobre o BI e por que ele é importante.** Disponível em: <https://www.tableau.com/pt-br/learn/articles/business-intelligence>. Acesso em: 01 fev. 2022.

Know Solution, (2021). **O que é Business Intelligence (BI)?**. Disponível em: <https://www.knowsolution.com.br/o-que-e-business-intelligence-bi/>. Acesso em: 22 fev. 2022.

Gomes, C. F. S.; Silva, R. A.; Almeida Silva, F. C. (2014). **BUSINESS INTELLIGENCE: SISTEMA DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO ESTRATÉGICA**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271847291_BUSINESS_INTELLIGENCE_SISTEMA_DE_APOIO_A_TOMADA_DE_DECISAO_ESTRATEGICA. Acesso em: 02 fev. 2022.

Gomes, P. C. T. (2017). **O que é o Gartner e qual sua importância para a TI?**. Disponível em: <https://www.opservices.com.br/o-que-e-o-gartner/>. Acesso em: 21 fev. 2022.