

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA TECNOLOGIA DE
SERGIPE**

CAMPUS ARACAJU

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ISABELA VICTORIA DOS SANTOS

**ANÁLISE ESTATÍSTICA SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS
FUNDAMENTADA NO RELATÓRIO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS
(RSB): ESTUDO DE ACIDENTES E INCIDENTES**

MONOGRAFIA

ARACAJU/SE

2023

ISABELA VICTORIA DOS SANTOS

**ANÁLISE ESTATÍSTICA SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS
FUNDAMENTADA NO RELATÓRIO DE SEGURANÇA DE
BARRAGENS (RSB): ESTUDO DE ACIDENTES E INCIDENTES**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, da Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Sergipe - Campus Aracaju.

Orientador: Professora M.Sc. Andrea Santana Teixeira Lins.

ARACAJU/SE

2023

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Geocelly Oliveira Gambardella / CRB-5 1815, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Santos, Isabela Victoria dos.

S237a Análise estatística sobre segurança de barragens fundamentada no relatório de segurança de barragens (RSB): estudo de acidentes e incidentes. / Isabela Victoria dos Santos. – Aracaju, 2023.

106 f. : il.

Orientadora: Prof^ª. Ma. Andrea Santana Teixeira Lins. Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Sergipe, 2023.

1. Análise Estatística. 2. Barragem. 3. Indicador. 4. Acidente. 5. Incidente. I. Lins, Andrea Santana Teixeira. II. Título.

CDU 627.43

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia N° 242

**ANÁLISE ESTATÍSTICA SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS
FUNDAMENTADA NO RELATÓRIO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS (RSB):
ESTUDO DE ACIDENTES E INCIDENTES**

ISABELA VICTORIA DOS SANTOS

Esta monografia foi apresentada às 09 h 27 do dia 09 de Janeiro de 2023 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHARELA EM ENGENHARIA CIVIL. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados.

Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.



Prof.ª M.Sc. Emiliana de Souza Rezende
Guedes

(IFS – Campus Aracaju)



Prof. M.Sc. Luiz Alberto Cardoso dos
Santos

(IFS – Campus Aracaju)



Prof.ª M.Sc. Andrea Santana Teixeira Lins

(IFS – Campus Aracaju)

Orientadora



Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa

(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

Dedico este trabalho a minha família e amigos, em especial a minha mãe que, apesar de todas as dificuldades, foi a maior incentivadora dos meus sonhos. Dedico também aos meus avós, que não estão aqui fisicamente, mas viverão para sempre em meu coração.

AGRADECIMENTOS

Ao pensar nesses anos de graduação, me veem inúmeras pessoas que contribuíram para que esse momento chegasse. Enquanto escrevo as palavras desse parágrafo, me veem inúmeras pessoas a cabeça e infelizmente sei que não irei conseguir citar todos diretamente, mas se você esteve comigo nos últimos anos, sinta-se agradecido(a).

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha mãe, que foi meu porto seguro em meio a todas as dificuldades, agradeço também aos meus outros familiares, que sempre me deram todo apoio.

Agradeço a minha professora orientadora, M.Sc. Andrea Santana Teixeira Lins, pelo cuidado, sabedoria e dedicação que foram essenciais durante a construção desta trajetória.

Aos meus amigos, colegas, monitores e todo mundo que já tirou um momento do seu tempo para me ajudar, as dificuldades não foram poucas. Em especial aos amigos do CAEC, do CREA Júnior, da AD Engenharia, da Ambev e da COHIDRO, todos vocês contribuíram muito para esse momento.

Queria agradecer ao meu namorado, por ter me acompanhado nessa jornada.

À coordenação do curso, pela atenção e cooperação.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram de algum modo para a realização desta pesquisa.

“As coisas nunca são uma linha reta, sempre tem
altos e baixos, o importante é sempre estar
aprendendo com as dificuldades, e sempre vendo nas
dificuldades, uma oportunidade”.

(LEMANN, Jorge Paulo)

RESUMO

SANTOS, Isabela Victoria dos. **ANÁLISE ESTATÍSTICA SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS FUNDAMENTADA NO RELATÓRIO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS (RSB): ESTUDO DE ACIDENTES E INCIDENTES**. 106 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - Campus Aracaju. 2023.

Resumo: Barragens são estruturas construídas com o objetivo de atender às demandas de armazenamento da sociedade, sejam elas para armazenamento de água ou rejeito. Devido a sua finalidade, essas estruturas apresentam um grande impacto econômico, social e ambiental sendo imprescindível, portanto, promover a sua segurança. Com a criação da legislação brasileira sobre segurança de barragens, tornou-se possível o estabelecimento de um histórico sobre os casos de acidentes e incidentes ocorridos com esses barramentos no país. Baseado nesse histórico, esse trabalho pretendeu analisar de maneira estatística os principais eventos e causas que provocam sinistros em barragens. Propõe-se, assim analisar, os barramentos por material e pelos indicadores de segurança de barragens como: dano potencial associado (DPA), categoria de risco (CRI), nível de perigo global da barragem (NPGb) e apresentação de plano de ação de emergência (PAE). Dos 23.280 barramentos cadastrados, 7.931 (34,07%) apresentavam a informação sobre o material constituinte, onde 6.133 (77,33%) são barragens de terra. Dos 90 acidentes ocorridos em barragens, 47 (52,22%) eram em barramentos de terra. Do mesmo modo, o maior número de barramentos que registraram incidentes foram os do tipo de terra.

Palavras-chave: Análise Estatística. Barragens. Indicadores. Acidentes. Incidentes.

ABSTRACT

Abstract: Dams are structures built with the aim of meeting society's storage demands, whether for water storage or waste. Due to their purpose, these structures have a great economic, social and environmental impact, therefore, promoting their safety is essential. With the creation of Brazilian legislation on dam safety, it became possible to establish a history of cases of accidents and incidents that occurred with these dams in the country. Based on this history, this work intended to statistically analyze the main events and causes that cause accidents in dams. It is therefore proposed to analyze the dams by material and dam safety indicators such as: associated potential damage (DPA), risk category (CRI), dam global danger level (NPGB) and presentation of an action plan for emergency (PAE). Of the 23,280 registered dams, 7,931 (34.07%) presented information about the constituent material, where 6,133 (77.33%) are earth dams. Of the 90 accidents that occurred in dams, 47 (52.22%) were in earth dams. Likewise, the largest number of buses that recorded incidents were those of the earth type.

Keywords: Statistical Analysis. Dams. Indicators. Accidents. Incidents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema representativo de elementos que formam um barramento	18
Figura 2 - Esquema representativo de um barramento	19
Figura 3 - Esquema representativo das estruturas extravasoras de uma barragem	20
Figura 4 - Barragem de Campo do Brito/SE	21
Figura 5 - Barragem Fernandinho em Nova Lima/MG.....	21
Figura 6 - Barragem Jacarecica II em Malhador/SE.....	23
Figura 7 - Usina Luiz Carlos Barreto de Carvalho em Rio Grande/SP	24
Figura 8 - Barragem Caraíbas em Salinas/MG	25
Figura 9 - Usina Hidroelétrica Itaipu Binacional - Trecho principal.....	25
Figura 10 - Usina Hidrelétrica do Funil/RJ do tipo abóboda com dupla curvatura	26
Figura 11 - Usina Hidroelétrica Itaipu Binacional - Trecho D	27
Figura 12 - Barragem do Salineiro na Ilha de Santiago, localizada no país de Cabo Verde na costa ocidental africana	27
Figura 13 - Corte esquemático do método de alteamento à jusante	29
Figura 14 - Corte esquemático do método de alteamento à montante	29
Figura 15 - Corte esquemático do método de alteamento de linha de centro	30
Figura 16 - Evolução do número de acidentes e incidentes registrados nos últimos 11 anos	36
Figura 17 - Pirâmide de Bird.....	36
Figura 18 - Casos de rompimento de barragens por tipo de material.....	37
Figura 19 - Modos de falhas possíveis conforme o tipo de barragem.....	38
Figura 20 - Exemplificação do processo de erosão por galgamento em barragens de terra.....	39
Figura 21 - Exemplificação do processo de erosão interna em barragens de terra	39
Figura 22 - Quadro de classificação quanto à categoria de risco e suas características.....	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Modelo de gráfico barra usado para a apresentação por indicador	45
Gráfico 2 - Distribuição das barragens classificadas por material no Brasil.....	54
Gráfico 3 - Barragens regulamentadas pela PNSB e que apresentam PSB	55
Gráfico 4 - Caracterização de barragens por material e faixas de altura (m)	56
Gráfico 5 - Caracterização de barragens por material e capacidade de armazenamento (hm ³)	57
Gráfico 6 - Classificação das barragens quanto a Categoria de Risco (CRI) relacionadas ao seu material construtivo	58
Gráfico 7 - Classificação das barragens quanto ao Dano Potencial Associado (DPA) relacionadas ao seu material construtivo	59
Gráfico 8 - Barragens que precisam apresentar Plano de Ação de Emergência e apresentam divididas por material	60
Gráfico 9 - Completude das informações cadastradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB)	62
Gráfico 10 - Completude das informações sobre os acidentes analisados.....	64
Gráfico 11 - Distribuição dos acidentes ocorridos em barragem por material	66
Gráfico 12 - Distribuição dos acidentes ocorridos em barragem por faixas de altura (m)	67
Gráfico 13 - Distribuição dos acidentes ocorridos em barragem por capacidade de armazenamento (hm ³)	67
Gráfico 14 - Componentes da estrutura de uma barragem mais afetados em acidentes	68
Gráfico 15 - Tipos de acidentes ocorridos com maior frequência.....	69
Gráfico 16 - Principais causas de acidentes em barragens	70
Gráfico 17 - Casos de acionamento do Plano de Ação de Emergência (PAE)	71
Gráfico 18 - Distribuição dos incidentes ocorridos em barragem por material	73
Gráfico 19 - Componentes da estrutura de uma barragem mais afetados em incidentes	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantitativo de barragem classificadas de acordo com o nível de perigo global da barragem (NPGB).....	61
Tabela 2 – Número de acidentes por material de barramento.....	65
Tabela 3 - Classificação de incidentes por material de barramento	72
Tabela 4 - Tipos de incidentes ocorridos com maior frequência.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS

- **Art.** - Artigo
- **hm³** - Hectômetros Cúbicos
- **MG** - Minas Gerais
- **m** - Metro
- **m³** - Metros Cúbicos
- **Nº** - Número
- **RJ** - Rio de Janeiro
- **SE** - Sergipe
- **SP** - São Paulo
- **UF** - Unidade Federativa

LISTA DE SIGLAS

- **CCR** - Concreto Compactado a Rolo
- **CRI** - Categoria de Risco
- **DPA** - Dano Potencial Associado
- **ISE** - Inspeção de Segurança Especial
- **ISR** - Inspeção de Segurança Regular
- **NPGB** - Nível de Perigo Global da Barragem
- **PAE** - Plano de Ação de Emergência
- **PNSB** - Política Nacional de Segurança de Barragens
- **PSB** - Plano de Segurança de Barragens
- **RSB** - Relatório de Segurança de Barragens

LISTA DE ACRÔNIMOS

- **ANA** - Agência Nacional de Águas
- **ANEEL** - Agência Nacional de Energia Elétrica
- **ANM** - Agência Nacional de Mineração
- **CBDB** - Comitê Brasileiro de Barragens
- **CNRH** - Conselho Nacional de Recursos Hídricos
- **ELETROBRÁS** - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
- **SERHMA** - Superintendência Especial de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado de Sergipe
- **SNISB** - Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

LISTA DE SÍMBOLOS

- **%** - Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 PRINCIPAL	16
2.2 SECUNDÁRIOS	16
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1 ASPECTOS GERAIS.....	17
3.1.1 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA BARRAGEM.....	17
3.1.2 APLICAÇÕES DO PROJETO DE BARRAGENS	20
3.1.2.1 BARRAGENS DE REGULARIZAÇÃO	20
3.1.2.2 BARRAGENS DE CONTENÇÃO	21
3.2 TIPOS DE BARRAGENS	22
3.2.1 BARRAGENS DE MATERIAIS SOLTOS	22
3.2.1.1 BARRAGENS DE TERRA.....	22
3.2.1.2 BARRAGENS DE ENROCAMENTO	23
3.2.2 BARRAGENS DE CONCRETO	24
3.2.2.1 BARRAGENS DE CONCRETO GRAVIDADE.....	24
3.2.2.2 BARRAGENS DE CONCRETO GRAVIDADE ALIVIADA	25
3.2.2.3 BARRAGENS DE CONCRETO EM ARCO	26
3.2.2.4 BARRAGENS DE CONCRETO EM CONTRAFORTES.....	26
3.2.3 BARRAGENS DE ALVENARIA	27
3.2.4 BARRAGENS DE REJEITO	28
3.2.4.1 MÉTODO DE JUSANTE	28
3.2.4.2 MÉTODO DE MONTANTE	29
3.2.4.3 MÉTODO DA LINHA DE CENTRO	30
3.3 LEGISLAÇÃO	30
3.3.1 PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS (PSB).....	31
3.3.2 CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM A CATEGORIA DE RISCO (CRI)	32
3.3.3 CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM O DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)	33

3.3.4 CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM O NÍVEL DE PERIGO GLOBAL DA BARRAGEM (NPGB).....	33
3.3.5 INSPEÇÃO	33
3.4 SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS (SNISB).....	34
3.4.1 RELATÓRIO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS (RSB).....	34
3.5 SEGURANÇA DE BARRAGENS: ACIDENTES E INCIDENTES.....	35
3.5.1 TIPOS DE RUPTURAS EM BARRAGENS	37
3.5.1.1 GALGAMENTO (<i>OVERTOPPING</i>)	38
3.5.1.2 EROÇÃO INTERNA OU INFILTRAÇÃO (<i>PIPING</i>).....	38
3.5.1.3 FALHA ESTRUTURAL OU FALHA NAS FUNDAÇÕES.....	39
3.5.1.4 RUPTURA DAS BARRAGENS EM CASCATA.....	39
4 METODOLOGIA.....	40
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESCOLHA DO MODO DE PESQUISA.....	40
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS BARRAGENS POR MATERIAL	41
4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS ACIDENTES REGISTRADOS EM BARRAGENS	45
4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS INCIDENTES REGISTRADOS EM BARRAGENS	49
4.5 ELABORAÇÃO DE MODELO DE FORMULÁRIO PARA COLETA DE DADOS SOBRE ACIDENTES E INCIDENTES EM BARRAGENS	51
5 RESULTADOS.....	53
5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS BARRAGENS POR MATERIAL	53
5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ACIDENTES REGISTRADOS EM BARRAGENS	62
5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS INCIDENTES REGISTRADOS EM BARRAGENS	71
5.4 MODELO DE FORMULÁRIO DE COLETA DE INFORMAÇÕES SOBRE ACIDENTES E INCIDENTES EM BARRAGENS.....	76
6 CONCLUSÃO.....	77
REFERÊNCIAS	80
APÊNDICE A	84
APÊNDICE B.....	89
APÊNDICE C	100

1 INTRODUÇÃO

A Lei Federal Nº 14.066, de 30 de setembro de 2020, conceitua barragem como “qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas”.

No Brasil essas estruturas são construídas com a finalidade de atender demandas de irrigação, abastecimento urbano, geração de energia elétrica, contenção de rejeitos de mineração, entre outras.

Os barramentos de cursos de água são essenciais, principalmente, em regiões onde a disponibilidade de água não é constante durante todo ano, seja para abastecimento urbano ou para garantir a produção de culturas, por meio da irrigação. Na geração de energia, os barramentos são conhecidos como hidroelétricas, sendo esta a principal fonte de energia no país devido à grande capacidade hídrica das bacias brasileiras. Já na mineração, as estruturas usadas são conhecidas como barragens de rejeito e são necessárias, uma vez que, o minério extraído do solo precisa passar por um processo de separação de impurezas e esse processo normalmente utiliza água e substâncias químicas, onde o resultado remanescente desse processo é denominado de rejeito, algo que não pode ser reaproveitado (ODILLA, 2019). Logo, essas estruturas são construídas a fim de evitar que esse material se disponha nos rios e em outros cursos d'água e os contamine.

No dia 20 de janeiro de 2019 os noticiários brasileiros anunciaram o acontecimento de uma grande catástrofe envolvendo este tipo de obra. A Barragem 1 da mina de ferro do Córrego do Feijão, localizada no município de Brumadinho (MG) e utilizada para a acumulação de rejeitos pela empresa mineradora VALE, que se encontrava em fase de descaracterização, rompeu e a massa de lama acumulada pela mesma atingiu o pé da Barragem IV, utilizada para acúmulo de água, alcançou o pátio de estocagem de minério de ferro e uma cantina. A lama também chegou a atingir casas, hotéis, estradas e pontes além de chegar ao Rio Paraopeba, causando impactos ambientais incalculáveis. Os impactos sociais, ambientais e econômicos gerados pelo rompimento mostraram a importância de monitorar e acompanhar essas estruturas, independentes da sua fase de operação (MELLO, SANDRONI e GUIDICINI, 2021).

No mundo há relatos de diversos acidentes em barragens. Um dos casos de maior impacto mundial foi o rompimento dos barramentos Ban Qiao e Shimatan no ano de 1975, na China que, segundo McCully (2001) apud Aguiar (2014), o acidente provocou o galgamento das duas barragens e, conseqüentemente, o rompimento de outros 62 barramentos menores que estavam localizados ao longo do rio, registrando a morte de 230.000 pessoas. Esse número exorbitante levou em consideração as mortes diretas e indiretas, estas últimas provocadas por doenças e pela fome decorrente do alagamento. Esse acidente mostra o “efeito dominó” ocasionado pelo acidente de um barramento maior, que influencia no acidente de outros sucessivos reservatórios localizados à jusante do barramento principal, podendo vir a causar danos cumulativos, ou seja, a falha de uma grande barragem pode impactar em outras menores, aumentando a proporção do acidente.

Como reflexo de vários acidentes, tanto no âmbito nacional como internacional, surgiu a preocupação com a estrutura física desses barramentos. Desta forma, começaram a ser debatidas maneiras para garantir a segurança deste tipo de obra. No Brasil, em 20 de setembro de 2010, foi aprovada a Lei Federal Nº 12.334, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e com ela a criação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), gerenciado pela Agência Nacional de Águas (ANA). No sistema, os órgãos fiscalizadores estaduais fornecem informações sobre os barramentos, independentes de serem de domínio público ou privado e são disponibilizados para consulta pública informações como o nome do barramento, localidade, uso principal e secundário, altura do terreno e da fundação e sua capacidade de armazenamento, além de classificá-las de acordo com a categoria de Dano Potencial Associado (DPA) e a sua Categoria de Risco (CRI), que leva em consideração algumas características técnicas e o impacto causado pela sua estrutura.

A fim de criar um histórico sobre a evolução legal referente aos barramentos no país e de levantar os acidentes e incidentes ocasionados anualmente, independente da sua categoria de dano, foi criado, dentro do sistema SNISB, um outro instrumento da Política Nacional de Segurança de Barragens estabelecido pela Lei Federal Nº 12.334/2010 que é o Relatório de Segurança de Barragens (RSB). Este documento tem por objetivo apresentar à sociedade a situação da evolução da segurança das barragens e como está sendo implementada a Política Nacional de Segurança de Barragens, incluindo a melhoria da gestão da segurança, criando a partir deste um histórico de informações, antes inexistentes.

2 OBJETIVOS

2.1 PRINCIPAL

Realizar uma análise estatística sobre a segurança de barragens tomando-se como base os dados apresentados nos Relatórios de Segurança de Barragens (RSBs), focando o estudo nos casos registrados de acidentes e incidentes de barragens ocorridos no país.

2.2 SECUNDÁRIOS

- Realizar o mapeamento das barragens cadastradas no sistema nacional de informações sobre barragens (SNISB) classificando-as por tipo de material e analisando-as quanto aos indicadores de segurança, sendo eles: categoria de risco (CRI), dano potencial associado (DPA) e classificação de nível de perigo global da barragem (NPGGB);
- Realizar um levantamento estatístico sobre a existência de um Plano de Ação de Emergência (PAE) nas barragens cadastradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) caracterizando-as por tipo de material;
- Realizar um levantamento estatístico sobre os acidentes registrados nos Relatórios de Segurança de Barragens entre os anos de 2014 e 2021, observando características como material, presença de plano de ação de emergência, principais causas e elementos da barragem atingidos;
- Realizar uma análise estatística sobre as principais causas de incidentes ocorridos nas barragens do país e registrados nos Relatórios de Segurança de Barragens nos anos de 2020 e 2021;
- Apresentar como produto final um formulário que facilite a coleta de informações sobre acidentes e incidentes para preenchimento pelos órgãos fiscalizadores, a fim de padronizar a coleta de dados sobre esses eventos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ASPECTOS GERAIS

Em geral, quando se inicia a concepção de projeto de um barramento deve-se analisar os diversos fatores relacionados com a obra propriamente dita. Assim sendo, é importante levar em consideração o ambiente em que a mesma será inserida, no que diz respeito às condicionantes naturais do local de implantação da obra e do reservatório, avaliando as características físicas do local, como balanço hídrico, relevo, condições geotécnicas e os impactos ambientais relevantes, bem como a análise do impacto na população que existe no entorno da obra.

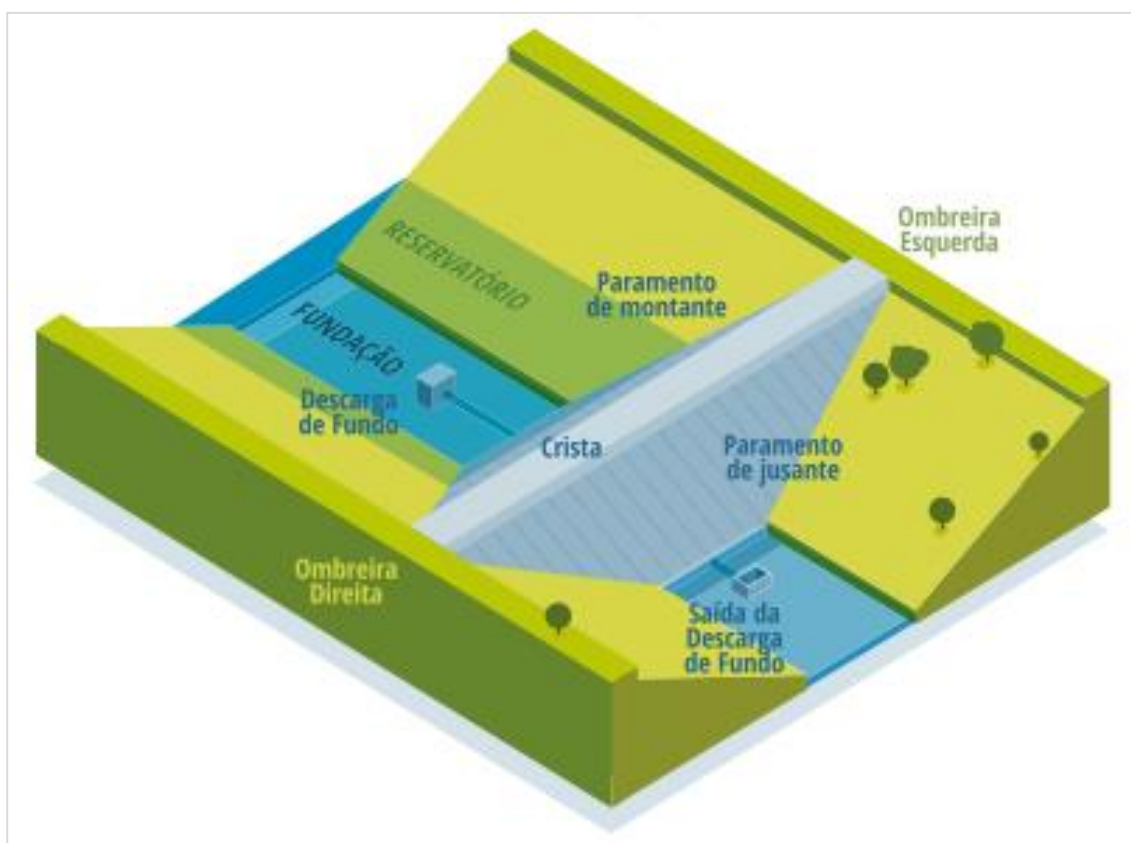
Dentro do estudo de viabilidade do projeto é preciso analisar o objetivo do projeto, definindo o tipo de obra, a fim de garantir sua segurança e atender a legislação vigente. Neste trabalho serão apresentados alguns conceitos relevantes para o entendimento da concepção da obra, além de reafirmar a importância de garantir a segurança, tanto de novos projetos, como de projetos já existentes.

Para tanto, julga-se necessário conhecer os elementos que compõe um barramento, e com esse propósito entender o funcionamento de sua estrutura, assim como as principais aplicações de projeto.

3.1.1 Principais Componentes de uma Barragem

A estrutura de uma barragem é composta por um conjunto de elementos com funções bem definidas, as quais trabalham para alcançar o objetivo da obra que é realizar a contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos. Dentre esses elementos, citam-se barramento (ou estrutura de retenção); fundação; crista; ombreiras; paramento (ou talude) de montante; paramento (ou talude) de jusante; descarga de fundo; borda livre; e, vertedor (Figura 1).

Figura 1 - Esquema representativo de elementos que formam um barramento



Fonte: ANA (2021a).

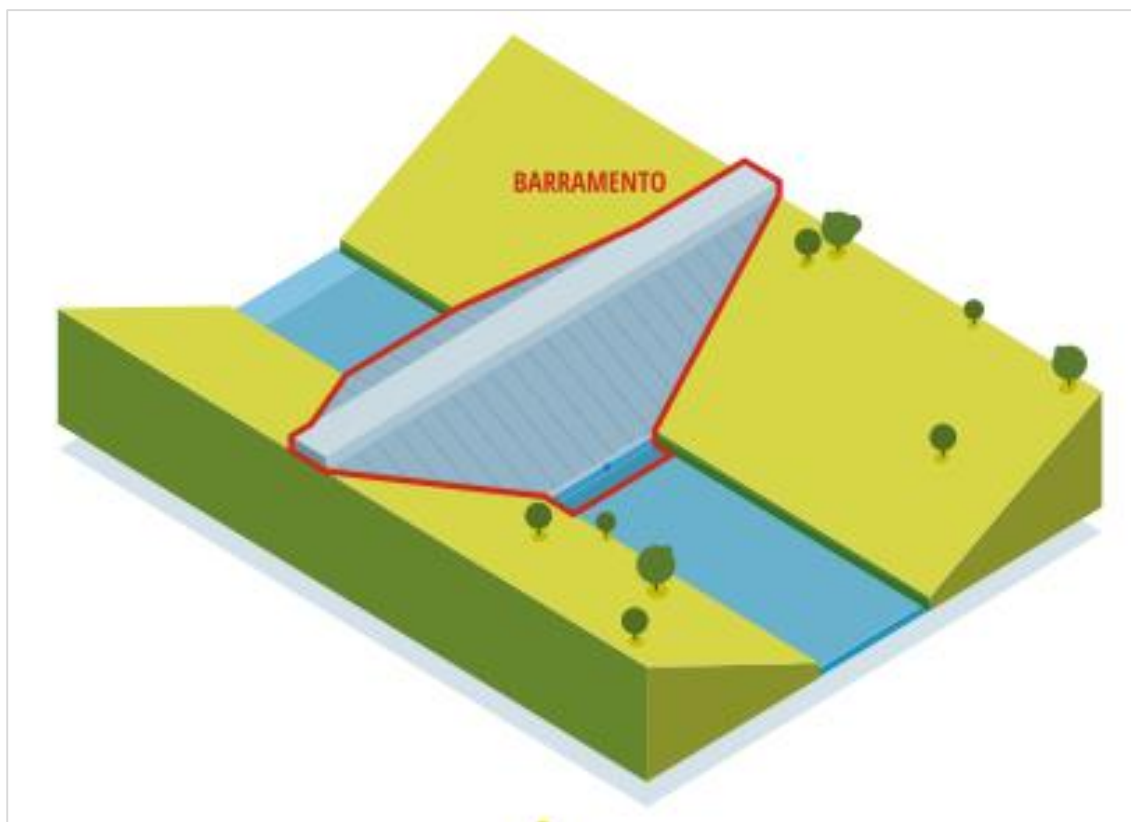
Segundo a ANA (2021a), o barramento é a estrutura construída transversalmente ao curso de água, geralmente apresentando uma forma trapezoidal, e que conjuntamente com a fundação e as ombreiras são responsáveis pela retenção do líquido/material barrado. Na Figura 2 pode-se observar como essa estrutura se posiciona na barragem.

A estrutura do barramento apresenta lados inclinados, denominados de paramentos, onde o lado que está em contato com o líquido/material barrado é o paramento ou talude de montante. Já o outro, do lado oposto, denomina-se paramento ou talude de jusante. O topo do barramento é chamado de coroamento ou crista da barragem, o qual liga transversalmente as duas ombreiras e permite o acesso a vários dos componentes da barragem, além de possuir inclinação para o reservatório, de modo a escoar a água da chuva.

As ombreiras do barramento estão localizadas em contato direto com a barragem, existindo uma à margem esquerda e outra à margem direita, onde a referência da margem direita de um curso de água é dada à direita de um observador que olhe para o barramento a partir da face de montante, ou seja, com as costas voltadas para o reservatório. As

ombreiras agem conjuntamente com a fundação e o barramento tem a função de assegurar que a água retida no reservatório não transpasse, devendo, portanto, existir uma boa ligação entre as ombreiras e o barramento.

Figura 2 - Esquema representativo de um barramento

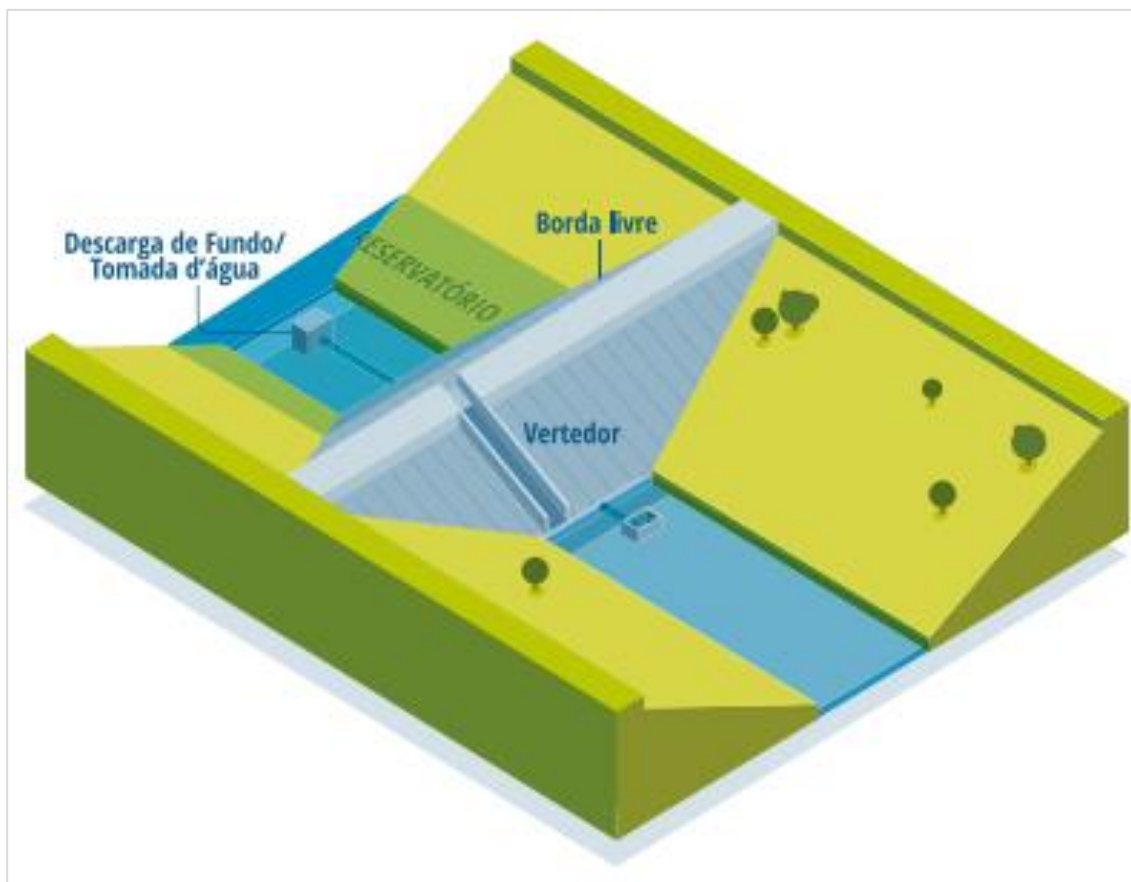


Fonte: ANA (2021a).

As barragens também apresentam estruturas extravasoras que são constituídas por vertedouros de superfície, com ou sem comportas, além de descargas de fundo e a borda livre. Os vertedouros são estruturas elaboradas para a evacuação de cheias. Por isso, quando a barragem atinge seu volume máximo, costuma-se ouvir a expressão que “a barragem verteu”. Já as descargas de fundo são estruturas aliadas ao esvaziamento do reservatório, para manutenção, limpeza ou outra situação que seja necessário o esvaziamento do mesmo.

Já a borda livre é a diferença entre a cota do coroamento da barragem e o seu nível máximo, cabendo ao vertedouro permitir a passagem das águas sem que o nível do reservatório ultrapasse a borda livre. A Figura 3 possibilita observar o esquema das estruturas extravasoras citadas acima.

Figura 3 - Esquema representativo das estruturas extravasoras de uma barragem



Fonte: ANA (2021b).

3.1.2 Aplicações do Projeto de Barragens

Existem inúmeras aplicações para as estruturas de uma barragem, muitas delas acabam por fim atendendo a mais de uma finalidade após a sua concepção. Elas atendem a objetivos públicos e privados e podem ser um empreendimento de grandes empresas do setor público e/ou privado, mas também de pequenos produtores de propriedades particulares. Costa (2016) define a aplicação de barramentos em dois grandes objetivos: regularização e contenção.

3.1.2.1 Barragens de Regularização

A barragem de regularização tem por finalidade regularizar o regime hidrológico de um rio, armazenando água para ser usada em períodos em que a afluência é menor que a demanda. Ela é destinada para abastecimento doméstico, industrial e/ou irrigação. Pode-se também realizar a elevação de água e destiná-la à geração de energia, além da criação de um lago para uso turístico (Figura 4).

Figura 4 - Barragem de Campo do Brito/SE



Fonte: Portal i9 Sergipe (2013).

3.1.2.2 Barragens de Contenção

A barragem de contenção tem por finalidade reter água de forma temporária, acumular sedimentos, resíduos ou rejeitos, gerados por indústrias e/ou mineradoras. Ela é destinada para controle de cheias ou retenção de carga sólida, e tem o objetivo de evitar que os materiais retidos danifiquem os cursos d'água à jusante (Figura 5).

Figura 5 - Barragem Fernandinho em Nova Lima/MG



Fonte: Vale (2021).

3.2 TIPOS DE BARRAGENS

A seguir serão apresentados os tipos principais de barramentos.

3.2.1 Barragens de Materiais Soltos

As barragens de materiais soltos, onde na literatura brasileira são conhecidas como barragens de aterro, variam de acordo com o tipo de material utilizado, podendo ser classificadas como barragem de terra, barragem de enrocamento ou barragem mista, onde esta última faz a utilização dos dois materiais. Elas são construídas através da colocação de camadas de material solto, que são compactadas (JESUS, 2011).

Desta forma, a fim de assegurar a segurança desses barramentos, faz-se necessário: garantir a impermeabilização da estrutura para evitar a perda de água através do corpo da barragem; garantir a estabilidade através da forma geométrica do corpo; realizar uma drenagem eficaz protegendo a barragem das subpressões; assegurar a percolação de água através de dispositivos de fundação; proteger o paramento de montante da ação destrutiva das ondas provenientes do reservatório; e, assegurar a longevidade do paramento de jusante sob ação das condições climáticas. Além disso, a geotecnia da estrutura deve apresentar uma boa resistência, incompressibilidade, ausência de contração no seu estado seco, boa plasticidade e aderência, um valor mínimo de rastejo e de permeabilidade, além de observar a erodibilidade.

3.2.1.1 Barragens de Terra

A barragem de terra é o tipo de barragem de aterro mais utilizada no país e para a sua construção são empregados materiais naturais, como argila, areia e silte. Assim, para a sua construção é conveniente analisar a disponibilidade de material próximo ao local de execução da obra.

Quando existe uma grande disponibilidade de material de baixa permeabilidade procura-se construir barragens homogêneas, que são barramentos constituídos praticamente com o mesmo material que possui uma permeabilidade reduzida, através de um processo de compactação. Essas estruturas precisam de taludes diferentes para atender ao princípio da estabilidade. Já a barragem homogênea modificada apresenta em sua composição a predominância de um único material, porém emprega-se uma pequena parcela de material permeável para construção de drenos que controlam a percolação e permitem taludes mais inclinados.

Quando não se consegue material suficiente para a construção de uma estrutura homogênea, executa-se o outro tipo de barragem: a barragem zoneada ou mista. Nesse tipo de estrutura, os materiais mais permeáveis são dispostos nas partes externas da seção transversal e os menos permeáveis estarão presentes na parte central e/ou de montante do barramento. A Figura 6 apresenta o reservatório da Barragem Jacarecica II, localizada no município de Malhador, no estado de Sergipe, e é classificada como sendo barragem de aterro de terra.

Figura 6 - Barragem Jacarecica II em Malhador/SE



Fonte: SERHMA (2022).

3.2.1.2 Barragens de Enrocamento

O aterro das barragens de enrocamento é feito com fragmentos de rochas ou cascalhos, compactados em camadas, e a estabilidade da obra é resultante do peso e da imbricação das partículas dos diferentes materiais constituintes. A estrutura da barragem deve possuir uma zona impermeável, formada por solos e filtros de material granular.

Na aplicação desse tipo de estrutura é importante observar as características do local, observando a disponibilidade de material rochoso para a execução, visando a localidade das pedreiras, a fim de facilitar o transporte do material. É necessário observar também a largura do vale na cota da crista da barragem, bem como garantir que as fundações e ombreiras sejam resistentes e estanques.

Para Costa (2016), as barragens de enrocamento se apresentam de duas formas. A primeira é a barragem com núcleo impermeável, onde a vedação de água é feita através de um núcleo argiloso, separando o enrocamento por zonas de transição, com o intuito de

evitar o carregamento do material mais fino para o interior do enrocamento. A segunda é a barragem com face impermeável, onde a vedação da água é garantida pela impermeabilização da face de montante da barragem, seja por uma camada de asfalto, placa de concreto ou chapa de aço. A Figura 7 apresenta a parte de enrocamento da Usina Luiz Carlos Barreto de Carvalho, localizada em Rio Grande, no estado de São Paulo.

Figura 7 - Usina Luiz Carlos Barreto de Carvalho em Rio Grande/SP



Fonte: FURNAS (2022).

3.2.2 Barragens de Concreto

Na análise de barragens de concreto podem ser observadas a geometria do barramento ou dos materiais utilizados na sua construção, sejam eles concreto convencional vibrado, concreto compactado com rolo ou concreto ciclópico. As barragens de concreto são classificadas de acordo com a sua geometria, como sendo: concreto gravidade, concreto gravidade aliviada, concreto em arco ou concreto em contrafortes.

3.2.2.1 Barragens de Concreto Gravidade

Para Costa (2016), tratam-se de estruturas maciças de concreto, com pouca armação, cuja característica física é ter sua estrutura trabalhando apenas à compressão. A estabilidade dessas barragens depende da sua massa e a resultante das forças é transmitida através da base (Figura 8).

Figura 8 - Barragem Caraíbas em Salinas/MG



Fonte: Possan (2020).

3.2.2.2 Barragens de Concreto Gravidade Aliviada

São também conhecidas como barragens gravidade vazadas por ser uma simplificação da barragem do item anterior, onde a diferença é que nesta são admitidos o uso de espaços vazios localizados em seu núcleo com a finalidade de reduzir o volume de concreto empregado. Esse tipo de barramento está submetido a cargas de tração, o que exige um uso maior de armaduras (Figura 9).

Figura 9 - Usina Hidroelétrica Itaipu Binacional - Trecho principal



Fonte: Possan (2020).

3.2.2.3 Barragens de Concreto em Arco

As barragens em arco, ou abóbada, possui uma geometria resistente a cargas uniformemente distribuídas devido a sua estrutura curvada à montante para a direção do reservatório. As pressões hidráulicas são transmitidas às ombreiras pelo efeito de arco, minimizando o uso de concreto nas estruturas (Figura 10).

Figura 10 - Usina Hidrelétrica do Funil/RJ do tipo abóboda com dupla curvatura



Fonte: Pulsar Imagens (2021).

3.2.2.4 Barragens de Concreto em Contrafortes

Nesse tipo de barramento os esforços solicitantes são transmitidos à fundação através de contrafortes, que são pilares que recebem o esforço do empuxo do paramento de montante. Esse tipo de construção torna-se maior e mais complexa que as outras estruturas anteriormente citadas, além de um elevado custo, fazendo-as serem pouco usuais. A Figura 11 apresenta o Trecho D da Usina Hidroelétrica Itaipu Binacional, onde a estrutura se apresenta em contrafortes.

Figura 11 - Usina Hidroelétrica Itaipu Binacional - Trecho D



Fonte: Possan (2020).

3.2.3 Barragens de Alvenaria

Esse tipo de barramento (Figura 12) é uma variação da barragem de gravidade. O concreto é substituído pela alvenaria de pedras, sendo estas rejuntadas manualmente com cimento, não necessitando de armaduras ou fôrmas (COSTA, 2016).

Figura 12 - Barragem do Salineiro na Ilha de Santiago, localizada no país de Cabo Verde na costa ocidental africana



Fonte: NRV (2013).

3.2.4 Barragens de Rejeito

As barragens de rejeito são estruturas muito comuns na região Sudeste do Brasil, mais precisamente no estado de Minas Gerais. Elas são utilizadas na contenção de rejeitos provenientes da atividade de mineração. Araújo (2006) apud Cardozo, Pimenta e Zingano (2016) afirma que os materiais empregados nesse tipo de barragem podem variar entre materiais arenosos não plásticos (rejeitos granulares) até solos de granulometria fina e de alta plasticidade (lamas). Uma grande particularidade em seu método construtivo é a realização em etapas, ou seja, elas são executadas à medida que os rejeitos são gerados. Vale salientar que se define como rejeitos os resíduos que não possuem qualquer possibilidade de tratamento e sua única opção é o descarte.

Dito isto, pode-se observar que esse tipo de estrutura tem um grande impacto ambiental, uma vez que muitos destes materiais são extremamente nocivos ao meio ambiente. Tal informação pode ser observada ao analisar os impactos ambientais causados pelos acidentes em Mariana (2015) e Brumadinho (2019), ambos tendo como estrutura barragens de rejeito, localizadas no estado de Minas Gerais.

Cardozo, Pimenta e Zingano (2016) classificam as metodologias construtivas desse tipo de barragem em três tipos: método de jusante, método de montante e método da linha de centro.

3.2.4.1 Método de Jusante

Esse método tem como finalidade o alteamento realizado sempre à jusante do barramento, ou seja, o lado para onde se dirige a corrente de água (Figura 13). Quando aplicado à mineração esse método tende a apresentar menos problemas, em virtude da geometria da barragem, pois a mesma apresenta certa constância e o controle das propriedades dos materiais de construção independe do ritmo de deposição dos rejeitos (CARDOZO, PIMENTA e ZINGANO, 2016).

Figura 13 - Corte esquemático do método de alteamento à jusante



Fonte: ANA (2021b).

3.2.4.2 Método de Montante

Esse método tem como finalidade o alteamento realizado sempre à montante do barramento, ou seja, voltado para a nascente do rio (Figura 14). Em muitos países esse método é proibido devido ao baixo controle construtivo, tornando-se crítico principalmente em relação à segurança. Nesse método o barramento é construído sobre o material de rejeito depositado, o que leva a uma maior dificuldade de controle das propriedades geotécnicas da zona em que é realizado o alteamento.

Figura 14 - Corte esquemático do método de alteamento à montante



Fonte: ANA (2021b).

3.2.4.3 Método da Linha de Centro

Esse método tem como finalidade o alteamento tanto à montante quanto à jusante do barramento, acompanhando um eixo vertical, chamado de linha de centro. Em relação aos riscos associados a sua construção trata-se de um método intermediário entre o de alteamento de jusante e de montante (Figura 15).

Figura 15 - Corte esquemático do método de alteamento de linha de centro



Fonte: ANA (2021b).

3.3 LEGISLAÇÃO

Os esforços para estabelecer uma legislação específica que tratasse do tema da segurança de barragens começou em São Paulo, após o rompimento de duas barragens no Rio Pardo, através do Decreto de Lei Nº 10.752/77 em 1977, mas este nunca foi regulamentado. Após essa tentativa, o primeiro documento brasileiro a ter uma estrutura de regulamento, voltado ao tema, surgiu no ano de 1983 quando o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) elaborou o documento “Diretrizes para a Inspeção e Avaliação de Segurança de Barragens em Operação”. Outro passo importante foi dado pelo Ministério da Integração com o apoio do PROÁGUA/SEMIÁRIDO, UNESCO e o Banco Mundial, em 2002, quando foi publicado o “Manual de Segurança e Inspeção de Barragens”, contendo normas de construção, operação e manutenção das barragens, assim como os procedimentos necessários em casos de emergência (MEDEIROS, 2020).

Entretanto, o ponto de partida para a atual legislação começou com o Projeto de Lei Nº 1.181, motivada pelo rompimento da Barragem de Cataguazes, em 2003. Este documento levou sete anos de tramitação na Câmara dos Deputados e, após aprovação no Senado Federal, resultou na Lei Federal Nº 12.334/2010 que estabelece a Política Nacional

de Segurança de Barragens (PNSB) destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, bem como cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Essa lei foi alterada em 2020 pela Lei Federal N° 14.066/2020, que se encontra atualmente em vigor.

A Lei Federal N° 14.066/2020 aplica-se a barragens que apresentam pelo menos, uma das características abaixo:

- 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 (três milhões de metros cúbicos);
- 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.

Além de estabelecer as diretrizes para elaboração de um Plano de Segurança de Barragens (PSB) e a implantação do Plano de Ação de Emergência (PAE), esta Lei Federal estabelece critérios de classificação de barragens de acordo com o Dano Potencial Associado (DPA) e a Categoria de Risco (CRI).

3.3.1 Plano de Segurança de Barragens (PSB)

O Plano de Segurança é um instrumento da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), onde para a sua elaboração a Lei Federal N° 12.334/2010 estabelece como sendo necessária a apresentação dos seguintes dados:

- Identificação do empreendedor e os dados técnicos referentes ao empreendimento;
- Manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem;
- Indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem;
- Plano de Ação de Emergência (PAE);

- Relatórios das inspeções de segurança regular e especial;
- Revisões periódicas de segurança;
- Identificação e avaliação dos riscos, com definição das hipóteses e dos cenários possíveis de acidente ou desastre;
- Mapa de inundação, considerado o pior cenário identificado;
- Identificação e dados técnicos das estruturas, das instalações e dos equipamentos de monitoramento da barragem.

A Agência Nacional de Águas (ANA), órgão responsável por fiscalizar as barragens abrangidas pela lei vigente, disponibiliza, em seu site, modelos para o empreendedor de como elaborar o Plano de Segurança de Barragens (PSB), onde o mesmo está dividido em seis volumes, sendo eles:

- Volume I - Informações Gerais;
- Volume II - Documentação Técnica do Empreendimento;
- Volume III - Planos e Procedimentos;
- Volume IV - Registros e Controles;
- Volume V - Revisão Periódica de Segurança de Barragem;
- Volume VI - Plano de Ação de Emergência (PAE).

3.3.2 Classificação de acordo com a Categoria de Risco (CRI)

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), através da Resolução N° 143, de 10 de julho de 2012, classifica as barragens quanto à categoria de risco que elas apresentam. Essa categoria leva em consideração aspectos da própria barragem que influenciam na possibilidade de ocorrência de acidentes, tais como:

- As características técnicas da barragem, como: a altura do barramento, o comprimento do coroamento, tipo de barragem quanto ao material de construção, tipo de fundação, idade da barragem e o tempo de recorrência da vazão de projeto do vertedouro;
- O estado de conservação da barragem;
- O atendimento ao plano de segurança da barragem (PSB).

3.3.3 Classificação de acordo com o Dano Potencial Associado (DPA)

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), através da Resolução N° 143, de 10 de julho de 2012, definiu dano potencial associado como sendo:

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

Os critérios gerais a serem utilizados para esse tipo de classificação é a existência de população à jusante com potencial de perda de vidas humanas, existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários, existência de infraestrutura ou serviços, existência de equipamentos de serviços públicos essenciais, existência de áreas protegidas definidas em legislação, natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados e o volume de armazenamento.

3.3.4 Classificação de acordo com o Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB)

A Agência Nacional de Águas, através da Resolução N° 236, de 30 de janeiro de 2017, estabelece que o nível de perigo global da barragem (NPGB) é dado em função do comprometimento da segurança do barramento decorrente do efeito das anomalias identificadas durante a inspeção de segurança regular, e classifica este nível de perigo de acordo com as seguintes orientações:

- Normal: quando determinada anomalia não compromete a segurança da barragem;
- Atenção: quando determinada anomalia não compromete de imediato a segurança da barragem, mas caso venha a progredir pode comprometê-la, devendo ser controlada, monitorada ou reparada;
- Alerta: quando determinada anomalia compromete a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências imediatas para a sua eliminação;
- Emergência: quando determinada anomalia representa alta probabilidade de ruptura da barragem.

3.3.5 Inspeção

A realização de inspeções é essencial em qualquer edificação, seja ela residencial ou não, e no caso das barragens isso não é diferente. É necessária a realização de visitas periódicas à estrutura para avaliar seu estado de conservação e apontar medidas necessárias

para assegurar a sua segurança. A Agência Nacional de Águas, através da Resolução N° 236, de 30 de janeiro de 2017, apresenta dois tipos de inspeções:

- Inspeção de Segurança Especial - ISE: atividade sob a responsabilidade do empreendedor que visa a avaliar as condições de segurança da barragem em situações específicas, devendo ser realizada por equipe multidisciplinar de especialistas nas fases de construção, operação e desativação;
- Inspeção de Segurança Regular - ISR: atividade sob responsabilidade do empreendedor que visa a identificar e a avaliar anomalias que afetem potencialmente as condições de segurança e de operação da barragem, bem como seu estado de conservação, devendo ser realizada regularmente com a periodicidade estabelecida na Resolução que a define.

3.4 SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS (SNISB)

A Lei N° 12.334/2010 cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). O sistema abrange um site coordenado pela Agência Nacional de Águas e tem por objetivo compreender a coleta, o tratamento, o armazenamento e a recuperação de informações das barragens em construção, operação e desativadas no Brasil. A implantação do sistema busca melhorar a gestão de informações sobre as barragens, servindo de apoio a empreendedores, órgãos fiscalizadores e a sociedade em geral.

O sistema atualmente é capaz de armazenar o registro detalhado das principais características das barragens, apresentando gráficos e mapas, além de armazenar informações como legislações, relatórios de segurança de barragens, guias e manuais.

3.4.1 Relatório de Segurança de Barragens (RSB)

O relatório de segurança de barragens é elaborado pela Agência Nacional de Águas anualmente. Após a sua elaboração o mesmo é enviado ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

As versões dos relatórios são disponibilizadas desde 2011 para consulta pública no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) e neles estão descritas as evoluções sobre as informações das barragens, desde o número de barramentos

cadastrados até a ocorrências de acidentes e incidentes informados à Agência Nacional de Águas pelos órgãos fiscalizadores.

3.5 SEGURANÇA DE BARRAGENS: ACIDENTES E INCIDENTES

A Lei Federal N° 12.334/2010 estabelece que a segurança de uma barragem é a condição que tem por objetivo manter a integridade estrutural e operacional do barramento, além da preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente.

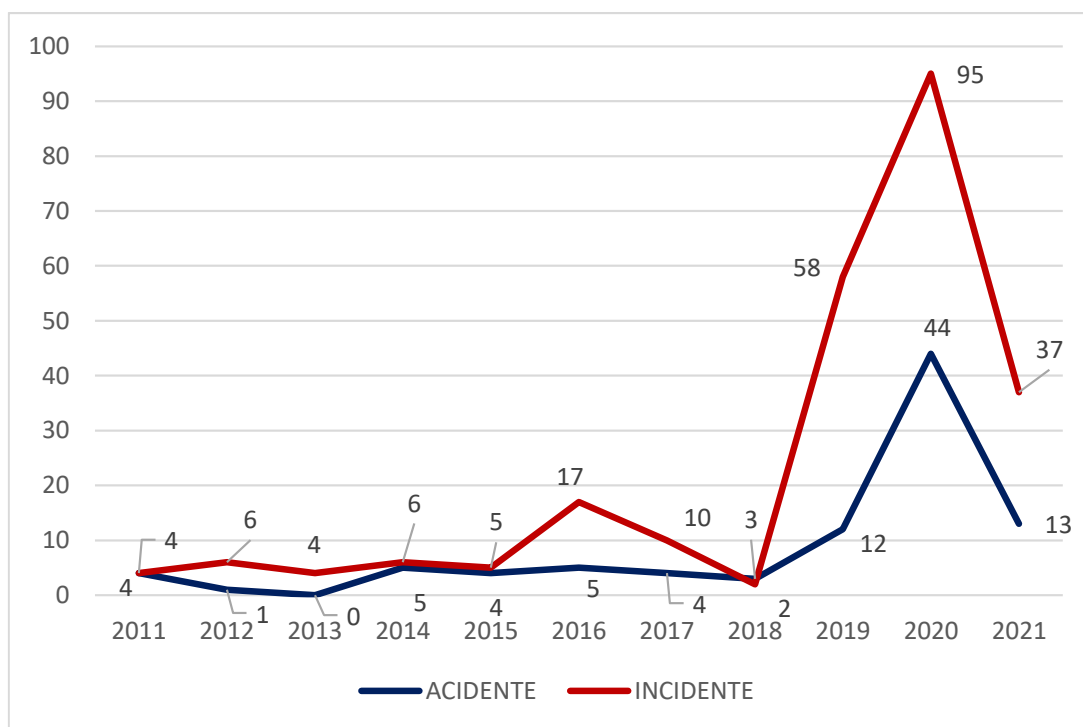
A forma mais eficiente de manter essa integridade é buscando evitar a ocorrência de acidentes e incidentes. A Agência Nacional de Águas é o órgão responsável pelo cadastramento das barragens no país, através do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), e busca compilar a ocorrência de acidentes no Brasil com uma periodicidade anual por meio do Relatório de Segurança de Barragens (RSB).

A ANA (2021a) conceitua acidente e incidente como sendo:

“Acidente é o comprometimento da integridade estrutural com liberação incontrolável do conteúdo de um reservatório, ocasionado pelo colapso parcial ou total da barragem ou de estrutura anexa. Já um incidente se refere a qualquer ocorrência que afete o comportamento da barragem ou estrutura anexa que, se não for controlada, pode causar um acidente. ”

Desta forma, um incidente (ou quase acidente) não tratado pode ocasionar um acidente. Manter registros desses acontecimentos é imprescindível, pois permite mapear os eventos ocorridos e analisar as principais causas e suas consequências. A Figura 16 apresenta a evolução dos dados de acidentes e incidentes relatados aos órgãos fiscalizadores entre os anos de 2011 e 2021.

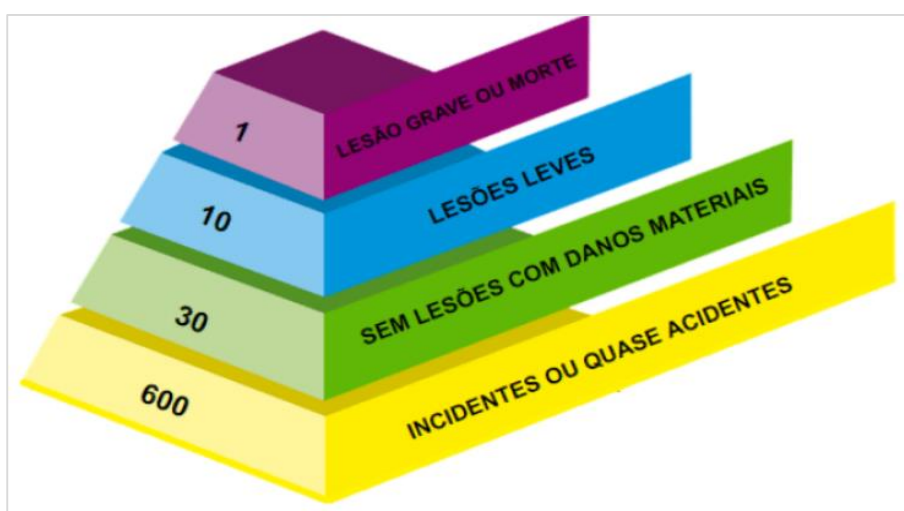
Figura 16 - Evolução do número de acidentes e incidentes registrados nos últimos 11 anos



Fonte: Modificado ANA (2022b).

Pode-se relacionar a análise de incidentes em barragens com a teoria de “Controle de Danos”, do Engenheiro Frank Bird Junior, a qual é bastante aplicada na área de segurança no trabalho e conhecida como Pirâmide de Bird. Costa e Costa (2022) citam a relação estatística desenvolvida por Bird em 1976, reafirmada por outros autores, demonstrando que para cada 600 quase acidentes, é possível a ocorrência de 30 eventos com perdas materiais, 10 com lesões leves e 1 com lesão grave ou morte (Figura 17).

Figura 17 - Pirâmide de Bird

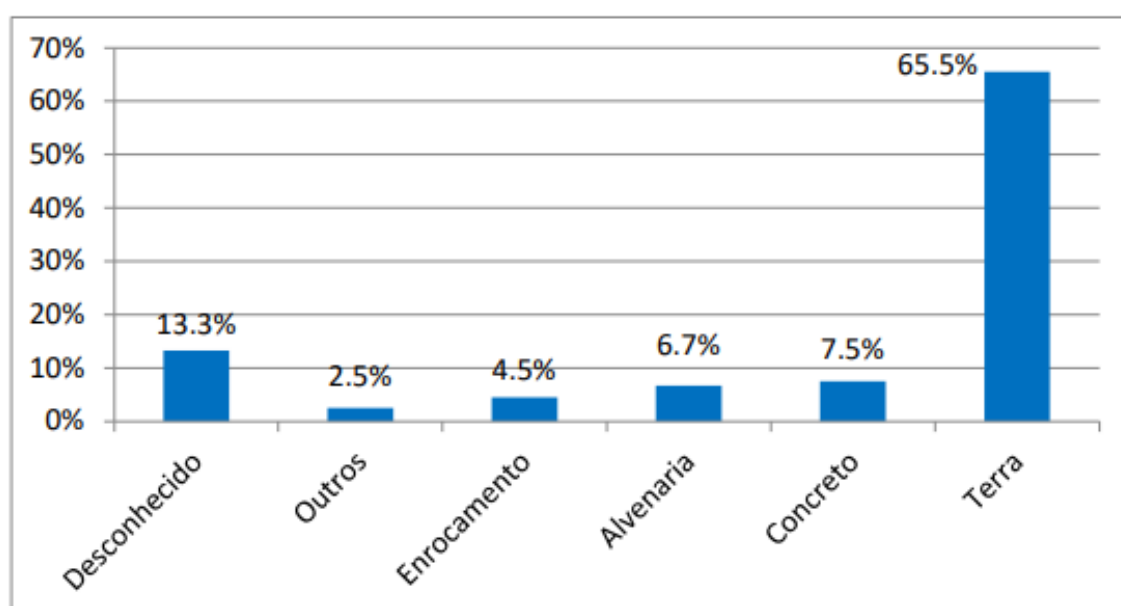


Fonte: Arizzi (2019).

3.5.1 Tipos de Rupturas em Barragens

Com o decorrer dos anos, em virtude da preocupação com a segurança dos barramentos construídos, tornou-se necessário o estudo das principais causas e consequências dos tipos de rupturas em barragens. Zhang et al. (2007) apud Rossi (2020) analisaram 900 casos de ruptura de barragens em 50 países e como resultado foi observado que, dentre os casos analisados, o tipo de barramento mais sujeito a falhas são compostos por terra, correspondendo a quase 66% da amostra total do seu estudo, como demonstrado na Figura 18.

Figura 18 - Casos de rompimento de barragens por tipo de material



Fonte: Adaptado de Zhang et al. (2007) apud Rossi (2020).

A ELETROBRÁS (2003) destaca que as causas de rupturas deverão ser analisadas para uma barragem, desprezando os casos impossíveis e concentrando-se nos casos possíveis, mesmo que eles apresentem baixa probabilidade, visto que a probabilidade da ruptura não é nula e, portanto, não pode ser desprezada. Com isso, ela indica que as principais causas de rupturas de barragens no Brasil podem ser caracterizadas por: rompimento de um dos taludes da barragem (montante ou jusante), ruptura da fundação, galgamento (normalmente por evento hidrológico extremo) ou ruptura por entubamento (*piping*), obtida em função de falhas no corpo da barragem. A Figura 19 apresenta as possíveis causas de rupturas, conforme o tipo de barragem.

Figura 19 - Modos de falhas possíveis conforme o tipo de barragem

Modo de Falha	Terra ou Enrocamento	Concreto em Gravidade	Concreto em Arco	Barragem em gravidade
Galgamento	X	X	X	X
Erosão interna/Infiltração	X	X	X	X
Deslizamento	X	X		X
Falhas nas fundações	X	X	X	X
Tombamento		X	X	
Falhas em equipamentos mecânicos	X	X	X	X

Fonte: Adaptado de USACE (2014) apud Rossi (2020).

A seguir serão apresentados os principais tipos de rupturas de barragens. As Figuras 20 e 21 apresentam a exemplificação de como ocorre os processos de galgamento e *piping*, respectivamente.

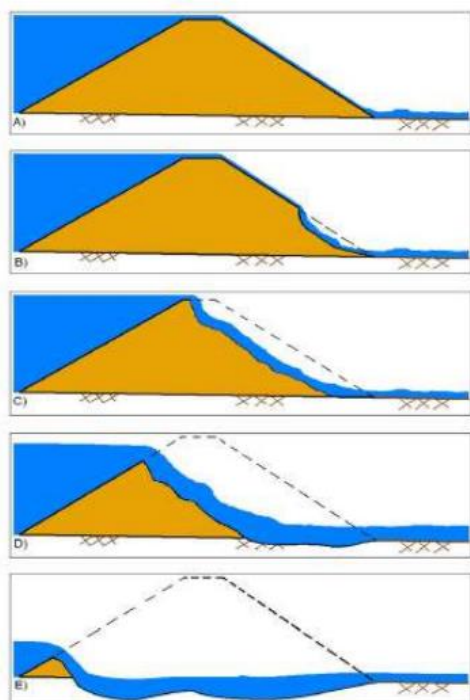
3.5.1.1 Galgamento (*Overtopping*)

A barragem apresenta uma falha por galgamento quando a mesma recebe um grande volume de água em seu reservatório, a qual não foi projetada para suportar, não sendo capaz de liberar todo o líquido através do vertedouro. Desta forma, ele ultrapassa o nível da crista da barragem e escoar por lugares não projetados para vertê-la. Collischonn (1997) apud Rossi (2020) caracteriza a falha por galgamento como uma ocorrência devido à má operação do reservatório durante a cheia ou pela formação de ondas dentro do reservatório causadas pelo deslizamento de uma grande quantidade de terra das encostas (Figura 20).

3.5.1.2 Erosão interna ou infiltração (*Piping*)

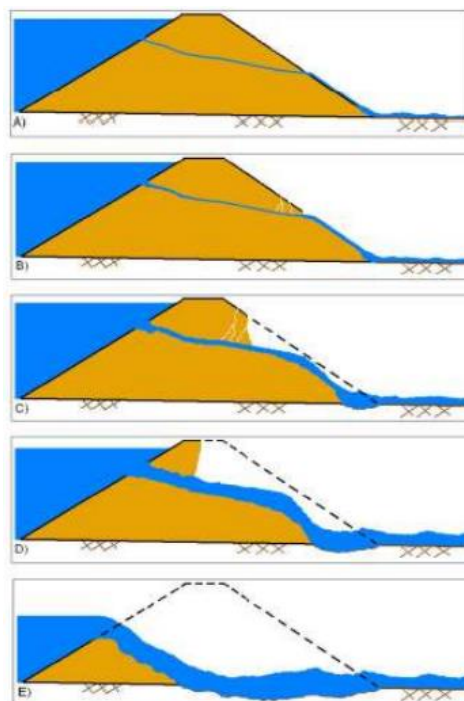
O *piping* é uma erosão causada por infiltração e é um modo de ruptura característico em barramentos constituídos de materiais soltos (terra e/ou enrocamento). Collischonn (1997) apud Rossi (2020) explica que, através da erosão interna, há a formação de uma brecha e com a movimentação da água através do barramento ou de sua fundação, elevam-se os volumes de água e material sólido, superando os seus limites de segurança (Figura 21).

Figura 20 - Exemplificação do processo de erosão por galgamento em barragens de terra



Fonte: USACE (2014) apud Rossi (2020).

Figura 21 - Exemplificação do processo de erosão interna em barragens de terra



Fonte: USACE (2014) apud Rossi (2020).

3.5.1.3 Falha Estrutural ou Falha nas Fundações

Esse tipo de falha pode ocorrer em qualquer condição hidrológica. FEMA (2013) apud Alves (2018) explica que, neste tipo de rompimento, toda a barragem, ou somente uma parte dela, rompe de forma imediata devido a problemas estruturais no próprio barramento ou em sua fundação. As principais causas de falhas nas fundações são ocasionadas pela deformidade das fundações e pela permeabilidade dos materiais presentes nas fundações e ombreiras, acarretando na movimentação do maciço e seu rompimento.

3.5.1.4 Ruptura das Barragens em Cascata

A ruptura em barragens sob o “efeito cascata” ou “efeito dominó” é dado pelo rompimento de um barramento à montante, por *piping* ou *overtopping*, que desencadeia o rompimento de outras barragens sucessivas, situadas à jusante desse barramento, pelo efeito de galgamento.

4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESCOLHA DO MODO DE PESQUISA

Esse trabalho teve como finalidade a realização de um estudo analítico sobre os acidentes e incidentes ocorridos em barragens no Brasil, divulgado pela Agência Nacional de Águas (ANA) em seus relatórios de segurança, mapeando os principais indicadores, predefinidos com base em uma análise bibliográfica da legislação vigente. Foi realizada também uma busca por padrões que caracterizam a incidência dessas ocorrências de acordo com as características construtivas desses barramentos e dos tipos de rupturas destacados na revisão bibliográfica.

O trabalho foi designado como estatístico pois procurou coletar, explorar e apresentar grandes quantidades de dados para descobrir padrões e tendências subjacentes. A área da estatística foi dividida entre o estudo da coleta de dados, definições de espaço amostral, variáveis e tipos de variáveis. A representação e interpretação dos resultados, obtidos através da análise foram apresentados em gráficos, que definiram a apresentação dos dados.

A classificação da pesquisa quanto aos objetivos abordados foi definida como descritiva e explicativa. A pesquisa descritiva tende a caracterizar o fenômeno ocorrido com as barragens durante os acidentes e incidentes mapeados. Enquanto, a pesquisa explicativa busca identificar fatores determinantes sobre os fenômenos ocorridos nos barramentos.

Quanto à natureza, a mesma é identificada por uma pesquisa aplicada, uma vez que ela visa gerar novos conhecimentos para aplicações práticas dirigidas à solução de problemas relacionados ao gerenciamento e mapeamento de informações sobre os acidentes no país. Com esse fim, foi adotada uma abordagem quantitativa, buscando traduzir as informações sobre os acidentes e incidentes em números e gráficos, os quais são utilizados para análise e obtenção dos resultados.

A pesquisa bibliográfica teve como base a legislação vigente, entre elas as leis federais e as resoluções de órgãos (federais e estaduais) que abrangem o tema de segurança em barragens. Além disso, foi realizada uma revisão literária existente sobre o assunto, realizada através de livros, teses, monografias e apostilas de cursos sobre

segurança de barragens disponibilizados pelo órgão regularizador, reunindo a abordagem de diversos autores.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS BARRAGENS POR MATERIAL

No sistema nacional de informações sobre segurança de barragens (SNISB), a ANA (2022a) disponibiliza o cadastro dos barramentos localizados no Brasil através de uma planilha eletrônica no formato xlsx. Essa foi a base de dados utilizada para análise desta parte da pesquisa, onde os dados coletados estão disponíveis para consulta pública pelo cidadão. A manipulação e processamento desses dados foi realizada com o auxílio do aplicativo de criação de planilhas eletrônicas da Microsoft (Excel).

No período de realização desta pesquisa, o cadastro comportava as informações de 23.280 barramentos. Devido ao objetivo da análise foi definido que o espaço amostral que melhor alcançariam os resultados pretendidos seria o de 7.931 (aproximadamente, 34,07%) barragens, pois essas eram as únicas barragens que apresentavam a informação do tipo de material construtivo utilizado no barramento, sendo este o parâmetro principal adotado para observar a distribuição dos indicadores. Sendo assim, não foram considerados neste estudo 15.349 barramentos.

Após a definição do parâmetro principal e do espaço amostral, baseado nos objetivos desse trabalho, foram escolhidos os principais indicadores da análise, sendo eles: distribuição da amostra; verificação de participação na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB); verificação da presença da documentação proveniente do Plano de Segurança de Barragem (PSB); definição de faixas de altura (m) e capacidade de armazenamento (hm^3); classificação dos barramentos quanto a Categoria de Risco (CRI), ao Dano Potencial Associado (DPA) e ao Nível de Perigo Global da Barragem (NPGGB); aderência ao Plano de Ação de Emergência (PAE); e, grau de completude das informações sobre os barramentos.

Essa primeira parte de resultados possui o objetivo específico de caracterizar os barramentos por material para tentar observar as tendências e os padrões que ajudam a compreender melhor a ocorrência de acidentes e incidentes, analisados no próximo capítulo. Por este motivo, o primeiro passo foi observar a distribuição dos barramentos por material para procurar entender o comportamento da amostra.

Foi importante definir também as faixas de altura (m) e a capacidade de armazenamento/volume (hm^3) das barragens a serem analisadas, pois isto ajudou a entender a natureza dos barramentos brasileiros, ou seja, se se tratam de pequenas ou grandes barragens. Essas mesmas faixas são as utilizadas pelos empreendedores na análise dos indicadores de Dano Potencial Associado (DPA) e Categoria de Risco (CRI).

As faixas de capacidade de armazenamento das barragens analisadas neste estudo estão baseadas no que está descrito no Art. 7º da Resolução N° 143/2012 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), onde estão definidas as faixas de classificação de barragens para acumulação de água e rejeito. Por esse motivo foi realizada uma adaptação que se encaixasse a ambos os casos. Então, a critério de análise, resolveu-se dividir a faixa que considera as barragens como pequenas, em três novas faixas. Sendo assim, para este trabalho, foram adotadas as seguintes faixas de capacidade de armazenamento:

- pequena até 1 hm^3 : reservatório com volume inferior a 1 hectômetro cúbico;
- pequena entre 1 e 3 hm^3 : reservatório com volume entre 1 e 3 hectômetros cúbicos;
- pequena entre 3 e 5 hm^3 : reservatório com volume entre 3 e 5 hectômetros cúbicos;
- média: reservatório com volume superior a 5 hectômetros cúbicos e igual ou inferior a 75 hectômetros cúbicos;
- grande: reservatório com volume superior a 75 hectômetros cúbicos e igual ou inferior a 200 hectômetros cúbicos;
- muito grande: reservatório com volume superior a 200 hectômetros cúbicos.

Em contrapartida, as faixas de altura dos barramentos se baseiam nas informações contidas na Figura 22, a qual também encontra-se disponível na Resolução N° 143/2012 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), e é utilizada para classificação das barragens de acordo com suas características técnicas para o indicador de Categoria de Risco (CRI).

Figura 22 - Quadro de classificação quanto à categoria de risco e suas características técnicas

Altura	Comprimento
$\text{Altura} \leq 15\text{m}$	$\text{Comprimento} \leq 50\text{m}$
$15\text{m} < \text{Altura} < 30\text{m}$	$50\text{m} < \text{Comprimento} < 200\text{m}$
$30\text{m} \leq \text{Altura} \leq 60\text{m}$	$200 \leq \text{Comprimento} \leq 600\text{m}$
$\text{Altura} > 60\text{m}$	$\text{Comprimento} > 600\text{m}$

Fonte: Modificado CNRH (2012).

Após a definição de como seriam diferenciadas as características físicas dos barramentos, foram analisados os indicadores relacionados à legislação da segurança de barragens. Nesta análise, pretendeu-se observar quantos dos barramentos do espaço amostral (7.931 barragens) estavam regulamentados pela Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), cujas premissas estão descritas no item 3.3 deste trabalho. Em seguida, foi verificado quantos desses barramentos apresentavam a documentação proveniente do Plano de Segurança de Barragens (PSB).

Esses fatores estão relacionados à análise da verificação, visto que a presença do Plano de Ação de Emergência (PAE) muitas vezes está condicionada à existência de um plano de segurança. As barragens que apresentam PSB, geralmente, encontram-se regulamentadas pela política nacional de segurança de barragens.

É de conhecimento que os empreendedores, ou seja, os responsáveis pelo barramento, são obrigados a apresentar um plano de ação de emergência para barragens que se encaixe nos seguintes critérios: dano potencial médio ou alto, categoria de risco alta ou para todas as barragens destinadas à acumulação ou à disposição de rejeitos de

mineração. Sendo assim, foi levantado o quantitativo de barragens que precisavam apresentar um plano de ação emergência, bem como quantas delas possuíam este documento. Objetivou-se também mensurar quantas barragens precisaram acionar esse plano quando da ocorrência de sinistros.

Antes dessa verificação, precisou ser observada a distribuição das barragens por material de acordo com a classificação da categoria de risco e do dano potencial associado, indicadores estes baseados em um conjunto de informações. Vale ressaltar que, para esse trabalho, foram usadas a categorização apresentada pela ANA (2022a).

A categoria de risco é um indicador que, como o nome já enfatiza, analisa o risco que o barramento apresenta, definido através das características físicas da barragem, seu estado de conservação e o atendimento ao plano de segurança. Esse indicador classifica o risco que a barragem fornece como: alto, médio, baixo, não se aplica ou não classificado. A categoria “não se aplica” significa que o barramento analisado não se aplica à categorização nesse indicador e a categoria “não classificado” significa que o barramento ainda não apresenta esta classificação.

O dano potencial associado é um indicador de análise de dano causado pelo barramento em caso de uma situação de emergência. Os critérios utilizados para a classificação desse indicador é a existência de populações, habitações ou infraestruturas à jusante do barramento, além do volume armazenado por estas obras. Esse indicador pode ser classificado como: alto, médio, baixo ou não classificado. A categorização em dano “não classificado” significa que o barramento ainda não apresenta esta classificação.

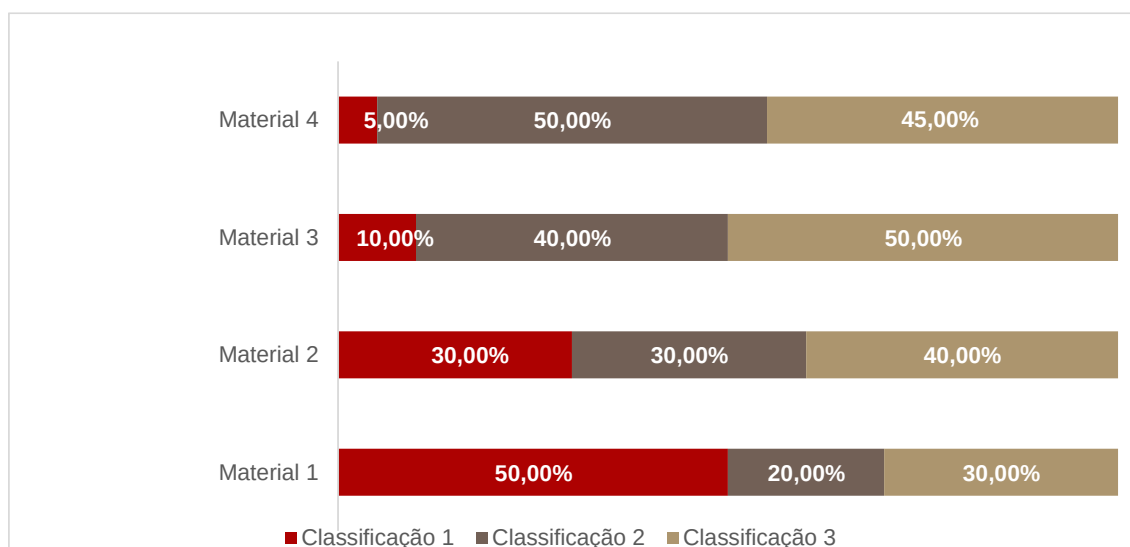
Um outro indicador relacionado à segurança do barramento, e analisado neste trabalho, é o de nível de perigo global da barragem que tem como base o comprometimento da segurança do barramento devido a anomalias. Como apresentado no item 3.3.4 desse estudo, o NPGB pode ser definido como estados de: normal, atenção, alerta e emergência.

Além dos indicadores de segurança, um indicador importante é o grau de completude das informações sobre os barramentos da amostra analisada neste trabalho. O sistema que comporta o cadastro das barragens é relativamente novo, comparado a idade dos barramentos brasileiros. Com isso, muitos empreendedores e órgãos fiscalizadores não possuem nem o histórico de eventos ocorridos e nem todas as informações técnicas sobre esses barramentos, até porque muitos estão construídos em

propriedades particulares. O grau dessa completude é definido pela própria ANA (2020) de acordo com critérios próprios e são separados nos seguintes tipos de completude: boa, ótima, média, baixa e mínima.

Após a análise de cada indicador foi gerado um gráfico do tipo barra, onde cada barra separa o parâmetro principal (material usado) de acordo com a classificação de cada indicador. Os percentuais de cada barra variam de 0 a 100%. O Gráfico 1 apresenta um modelo desse gráfico.

Gráfico 1 - Modelo de gráfico barra usado para a apresentação por indicador



Fonte: Autora (2022).

Para os gráficos que apresentam muitas informações foram gerados gráficos também do tipo barra, porém com uma tabela anexa à legenda, onde são apresentadas as porcentagens, pois a apresentação de todos os dados no gráfico dificulta a compreensão do mesmo. Por outro lado, foi observado que sem o uso da tabela, anexa ao gráfico, este não apresentaria as informações de forma clara, visto que a tabela ordena as barragens de acordo com o material de maior frequência para o indicador que está sendo analisado.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS ACIDENTES REGISTRADOS EM BARRAGENS

A criação do Relatório de Segurança de Barragens (RSB), como instrumento da Lei Federal N° 12.334/2010, permitiu que a Agência Nacional de Águas (ANA), junto as entidades fiscalizadoras, reunisse as informações sobre os acidentes e incidentes ocorridos no período de cada RSB e as apresentasse à sociedade dentro do relatório (ANA, 2015; ANA, 2016; ANA, 2017; ANA, 2018; ANA, 2019; ANA 2020; ANA

2021b; ANA, 2022b). Usando como base essas informações, foi elaborada a Planilha de Acidentes Relatados nos Relatórios de Segurança de Barragem (RSB) apresentada no Apêndice A desse trabalho.

Durante a elaboração dessa planilha foram levantadas algumas dificuldades, dentre as quais pode-se citar como sendo a principal delas a falta de padronização na forma como cada acidente é descrito. Ao observar as disposições dos dados contidos nestes relatórios, é importante ressaltar as seguintes considerações:

- Nos relatórios dos anos 2011 e 2012/2013 não foi possível a análise dos dados, pois não havia uma separação entre os acidentes e incidentes. Isso pode ter sido ocasionado pelo fato destas publicações se tratarem das primeiras edições, onde o número de eventos relatados ser reduzido e o sistema em uso ser novo;
- Nos relatórios dos anos 2014, 2015, 2016 e 2017 as informações foram apresentadas na forma de tabela e nela estão descritas as características do acidente, tais como: data, tipo de ocorrência, nome da barragem, Unidade Federativa (UF), empreendedor, fiscalizador e causa provável que gerou o evento;
- No relatório do ano de 2018, as informações começam a serem separadas em acidentes e incidentes, onde o evento é descrito de forma corrida, mas já apresentando um padrão básico em algumas de suas informações. Em geral, são apresentados: nome do barramento, altura, capacidade de armazenamento, material, data, localização do barramento, descrição de forma corrida sobre o fato, se possui ou não plano de ação de emergência, números de pessoas afetadas e vítimas fatais, além da fonte da informação;
- No relatório de 2019, a ANA começa a separar os acidentes e incidentes seguindo o padrão do RSB 2018, mas estratificando-os por estados da Federação;
- Nos relatórios dos anos 2020 e 2021, a ANA volta a apresentar os acidentes similarmente como no RSB do ano de 2018.

Como cada relatório é apresentado no formato pdf e as informações descritas variam de acordo com o ano do relatório e, como o objetivo era alcançar o maior espaço amostral possível, durante a elaboração da planilha apresentada no Apêndice A foi necessária a observação de todos os dados descritos nesses relatórios, afim de promover a melhor forma de análise dos mesmos.

Por fim, ficou definido que o melhor seria realizar o preenchimento de todas as informações disponíveis e para aqueles casos em que as informações não eram apresentadas, os espaços seriam deixados em branco. Essa variabilidade da quantidade de informações que estão apresentadas nos relatórios propiciou gerar um indicador que levasse em consideração a completude das informações apresentadas nesses documentos.

Para o desenvolvimento desse indicador foram definidas quais são as informações principais para caracterizar cada acidente, sendo elas: a identificação do empreendedor e de seu órgão fiscalizador, as características físicas do barramento (altura, capacidade de armazenamento e material), a localização da obra (município e estado), a data do evento, o local afetado na barragem devido a ocorrência do evento, o tipo de acidente, a causa, o número de pessoas atingidas e vítimas fatais, além da existência de um plano de ação de emergência. Essas informações somadas dão um total de 14 (quatorze) dados. Assim padronizou-se que ao contabilizar as informações constantes nos relatórios o acidente apresentar 11 ou mais dados, a completude de informações é tida como alta; se for entre 10 e 6 informações é tida como média; e, no caso de apresentar menos que 5 dados, a completude da informação é considerada baixa.

A segunda parte da análise dos acidentes possui o objetivo específico de caracterizá-los, de acordo com os atributos dos barramentos, observando qual o material dessas barragens, os principais tipos de ruptura, os elementos da barragem que mais são atingidos, o número de pessoas vitimadas ou impactadas e se os barramentos apresentam de plano de ação de emergência.

Ao analisar o material dos barramentos foi observada, novamente, uma falta de padronização das informações, pois uma barragem constituída por um mesmo material é apresentada nominalmente de várias maneiras. Por isso, foi realizada uma compilação dos dados, onde os barramentos descritos com materiais do tipo terra, terra homogênea, terra compactada, terra compactada solo-arenoso, terra e pedra argamassada e terra-enrocamento, foram considerados como sendo um único material e do tipo barragem de terra. O mesmo aconteceu com os materiais do tipo enrocamento e rocha alterada, sendo estes dois materiais considerados como sendo um único elemento: enrocamento.

Além de analisar o material, verificou-se também outras características físicas do barramento, sendo elas a altura (m) e a capacidade de armazenamento (hm^3). A definição das faixas dessas características estão apresentadas no item 4.2 desse estudo, onde estão

definidas as faixas de capacidade de armazenamento e os indicadores de faixas de altura (m), ambos empregados na análise de caracterização das barragens.

Outro indicador de característica física analisado foi a frequência em que os componentes da estrutura de uma barragem são mais afetados quando da ocorrência de acidentes. Durante a coleta dos dados foi necessária uma análise e identificação criteriosa dos mesmos, pois os dados estavam apresentados muitas vezes de forma implícita, na descrição do acidente. E, como já foi dito anteriormente, não há uma padronização na forma como os dados desses eventos são enviados à ANA e aos órgãos fiscalizadores e, por esse motivo, muitas vezes a informação pertinente a região da barragem afetada pelo acidente não é citada.

Após o levantamento dos componentes da barragem que são mais atingidos, analisou-se quais eram os principais tipos de acidentes que acontecem com maior frequência. E, assim como na análise dos indicadores anteriores, essa análise também foi realizada de forma criteriosa, visto que os dados e as nomenclaturas não estão padronizados. Dessa forma, foi feita a seguinte uniformização dos dados:

- rompimento por cheia - foi tratado como rompimento por galgamento;
- liquefação de efluentes e erosão interna - foi considerado com *piping*;
- desabamento - foi tratado como deslizamento de terra;
- abertura de brechas e presenças de fissuras - estes dois itens foram unificados como sendo um único evento.

Depois de analisar quais são os principais tipos de acidentes, buscou-se identificar quais seriam as principais causas geradoras desses eventos. Nesse caso, as informações também são apresentadas de diversas formas e, por isto, foram necessárias compilações e adaptações, com a finalidade de padronizar as informações e alcançar o objetivo de realmente apontar as reais causas geradoras. Nesta análise, a fim de padronizar as informações, foram definidos os seguintes itens:

- casos de fortes chuvas e aumento de volume de água, seja por volume de chuva ou rompimento de outra barragem;
- rompimento durante obra ou processo de manutenção;
- casos de infiltrações, erosões e redução da capacidade de armazenamento (sejam eles também causados pelo processo de erosão);

- obstrução do vertedouro, seja ele, por terra ou presença de vegetação;
- modificação da estrutura por motivo proposital;
- casos de projetos ou execução inadequados.

Posteriormente, foi analisado o indicador de segurança que diz respeito à existência de um plano de ação de emergência (PAE). Este indicador é de suma importância pois, em caso de ocorrência de acidentes em barragens, o PAE deve ser acionado. Na análise desse indicador não foi possível identificar, para os barramentos pertencentes à amostra desse estudo, se era obrigatória a apresentação de PAE ou não, mas sim se elas possuíam e se foram acionados.

Outra característica analisada sobre os acidentes foi o impacto que ele teve em relação ao número de vítimas atingidas e fatais. A análise desse indicador foi de difícil padronização, não sendo possível esboçar um gráfico para essa análise. No entanto, com o intuito de apresentar um número estimado de pessoas atingidas com os acidentes ocorridos nos barramentos brasileiros e publicados nos RSBs e por não ter uma padronização na forma dessas informações nos relatórios, visto que em alguns relatos são quantificadas as vítimas por número de famílias atingidas e em outros por número de propriedades, foi feita a seguinte consideração:

- quando o relatório informar o número de famílias atingidas serão consideradas quatro (4) pessoas por família;
- quando o relatório informar o número de propriedades atingidas serão consideradas oito (8) pessoas por propriedade.

Após a análise de cada indicador foram geradas tabelas e/ou gráfico de setor, sendo estes últimos os mais indicados quando se deseja visualizar uma porcentagem ou partes de um todo, que no caso desse trabalho são os indicadores relacionados a cada acidente.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS INCIDENTES REGISTRADOS EM BARRAGENS

Como já apontado no início desse trabalho, a escassez de informações sobre os acidentes e incidentes ocorridos em barragens é um problema recorrente no mundo. No Brasil, a criação do relatório de segurança de barragens foi a maneira encontrada para tentar compilar em um único documento essas informações. Assim, tal como realizado para os acidentes, esses relatórios de segurança foram usados como base para a elaboração da Planilha de Incidentes Relatados nos Relatórios de Segurança de Barragem (RSB)

apresentada no Apêndice B desse estudo, que compila os incidentes ocorridos nas barragens brasileiras.

Entretanto, como o número de incidentes é bem maior que o de acidentes e devido à falta de padronização das informações, para a realização da análise dos incidentes foram compilados apenas os eventos registrados nos relatórios dos anos de 2020 e 2021.

A Planilha de Incidentes Relatados nos Relatórios de Segurança de Barragem (RSB) apresentada no Apêndice B foi elaborada de forma objetiva, a fim de observar dados como o tipo de incidente, o material do barramento e o local afetado.

Assim como no caso dos acidentes, ao analisar o material dos barramentos foi observada uma falta de padronização das informações, pois uma barragem constituída por um mesmo material é apresentada nominalmente de várias formas. Sendo assim, foi realizada uma compilação dos dados, de maneira que os barramentos do tipo terra, terra homogênea, terra compactada, terra compactada e concreto, aterro de terra homogênea e terra/enrocamento, foram considerados como sendo um único material e do tipo barragem de terra. O mesmo aconteceu para os barramentos descritos como enrocamento, concreto e alvenaria. Desta forma, os barramentos de concreto e concreto convencional foram convencionados como sendo do tipo concreto. Já os de alvenaria, pedra arrumada e alvenaria de pedra foram considerados como sendo um único elemento: alvenaria.

Outro indicador analisado foi a frequência em que os componentes da estrutura de uma barragem são mais afetados no caso da ocorrência de um incidente. Durante a coleta das informações foi necessária uma análise e identificação criteriosa, pois os dados estão apresentados, muitas vezes, de forma implícita, na descrição do evento. E, como já foi dito anteriormente, não há uma padronização na forma como esses dados são enviados à ANA e aos órgãos fiscalizadores.

Após essa análise, foi observado os tipos de incidentes que acontecem com maior frequência. Como os dados e as nomenclaturas não estão padronizados nos RSBs foi feita a seguinte uniformização dessas informações:

- casos de desabamento - foram compilados como sendo colapso da estrutura;
- casos de trincas, fissuras, ravinamento entre outros - foram identificados como presença de anomalias ou patologias;

- casos de deslizamento e deslocamentos de massa - foram considerados como deslocamento de material no reservatório;
- vertimento da barragem - foi tratado como um caso de galgamento.

Após a análise de cada indicador foram geradas tabelas e/ou gráfico de setor, sendo estes últimos os mais indicados quando se deseja visualizar uma porcentagem ou partes de um todo, que no caso desse trabalho são os indicadores relacionados a cada incidente.

Para a exposição dos tipos de incidentes ocorridos nas barragens do país entre os anos de 2020 e 2021, como foram relatados muitos casos, a maneira mais adequada para realizar a sua apresentação foi em forma de tabela.

4.5 ELABORAÇÃO DE MODELO DE FORMULÁRIO PARA COLETA DE DADOS SOBRE ACIDENTES E INCIDENTES EM BARRAGENS

Durante o levantamento de dados e a análise das informações sobre os acidentes e incidentes ocorridos em barragens brasileiras foi observada uma falta de uma padronização na forma como essas informações e suas características são descritas.

Sendo assim, com o objetivo de padronizar os dados sobre os acidentes e incidentes para que, além de manter um histórico sobre esses eventos, seja realizado o mapeamento das principais causas e efeitos dos acidentes e incidentes foi elaborado um modelo de formulário denominado Coleta de Informações sobre Acidentes e Incidentes em Barragens, o qual leva em consideração as principais informações que devem constar nos RSBs sobre esses barramentos, de forma a minimizar as dificuldades encontradas durante o levantamento dessas informações nos relatórios publicados.

O modelo do formulário foi elaborado com o auxílio do aplicativo de criação de formulários eletrônicos do Google (Forms) pois o mesmo permite a exportação dos dados em formato de planilha e pode ser utilizado para a análise de dados, tal como foi realizado nesse trabalho.

A forma como as informações são apresentadas no modelo proposto de formulário está baseada na maneira como os dados já são apresentados nos RSBs. Entretanto, o modelo busca padronizar e compilar algumas informações que são similares, porém na maneira como elas estão publicadas nos relatórios estas informações são relatadas empregando terminologias variadas, o que acaba dificultando a realização de uma análise para rebuscada. Semelhantemente, a maneira adotada no modelo de formulário para

relatar os tipos de acidentes e incidentes também está baseada na compilação das informações obtidas pelo presente estudo.

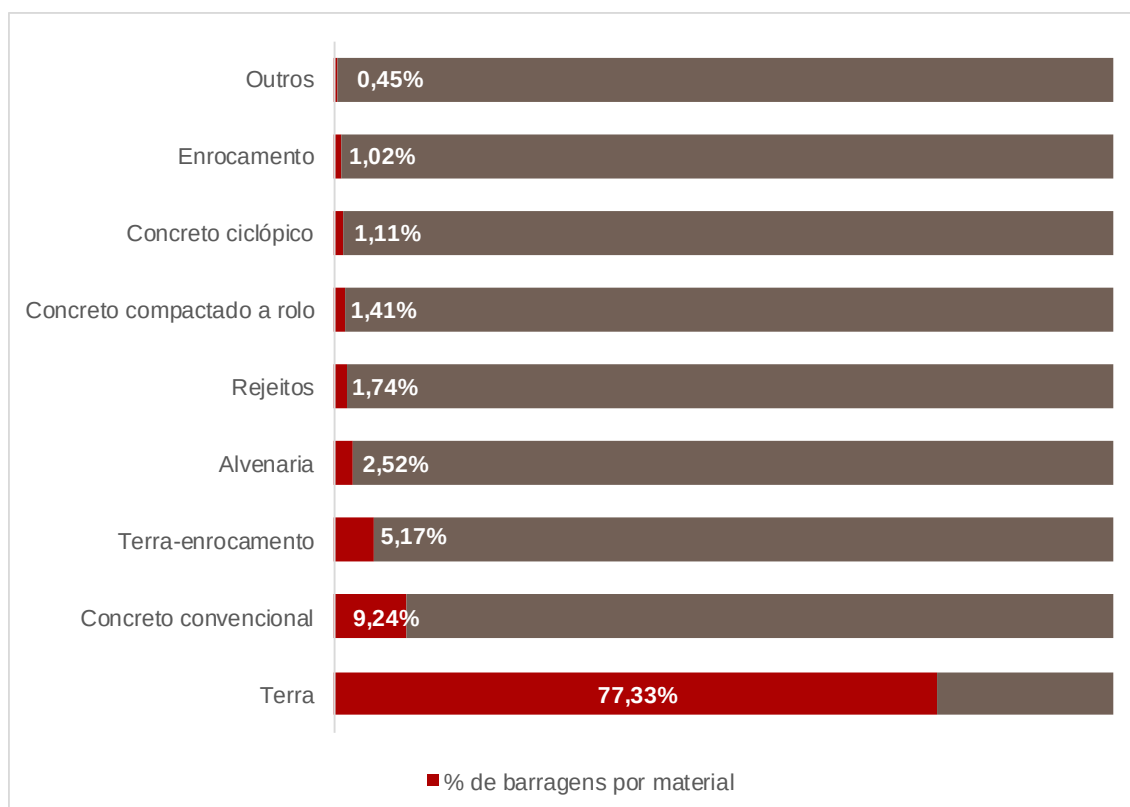
5 RESULTADOS

Como dito anteriormente, o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) foi criado com o objetivo de subsidiar a coleta, o tratamento, o armazenamento e a recuperação de informações das barragens localizadas no país. Deste modo, esse trabalho tem por objetivo tratar e apresentar estas informações e, conseqüentemente, realizar um estudo dos acidentes e incidentes ocorridos nos barramentos do país. Essa análise foi dividida visando facilitar a compreensão da escolha do espaço amostral, iniciando com uma análise macro, destacando particularidades, que induzirá uma análise micro, que se correlaciona com os objetivos geral e específicos desse estudo.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS BARRAGENS POR MATERIAL

Atualmente a ANA (2022a) dispõe de um cadastro com um total de 23.280 barramentos. Entretanto, apenas 7.931 (aproximadamente, 34,07%) apresentam a informação sobre o material empregado em sua construção, sendo este o conjunto amostral utilizado nesse trabalho. Com isso, pode-se observar no Gráfico 2 que dos barramentos que apresentam a informação sobre o material, o maior número deles é constituído pelo tipo terra, totalizando 6.133 (77,33%) dos barramentos. Esse número aumenta quando a análise é feita através das barragens do tipo materiais soltos, materiais estes descritos no item 3.2.1 desse trabalho, totalizando 6.624 (83,52%) dos barramentos. Sendo este número proveniente da soma dos tipos de barramentos constituídos por terra, terra-enrocamento e enrocamento com, respectivamente, 6.133 (77,33%), 410 (5,17%) e 81 (1,02%) barramentos.

A partir dessas informações pode-se observar que embora o espaço amostral tenha sido reduzido, no país predomina-se a construção de barragens com materiais soltos e sendo estas obras, em sua grande maioria, pequenas barragens, estas apresentam uma execução mais simplificada, com um menor controle tecnológico e empregando materiais disponíveis *in loco*. Estas particularidades desses barramentos fazem com que eles sejam os mais utilizados em áreas rurais seja para abastecimento de água, intensificação da produção agrícola, obtenção de açudes em regiões secas, entre outras aplicações, o que justifica, de certa forma, a popularidade desse tipo de barramento.

Gráfico 2 - Distribuição das barragens classificadas por material no Brasil

Fonte: Autora (2022).

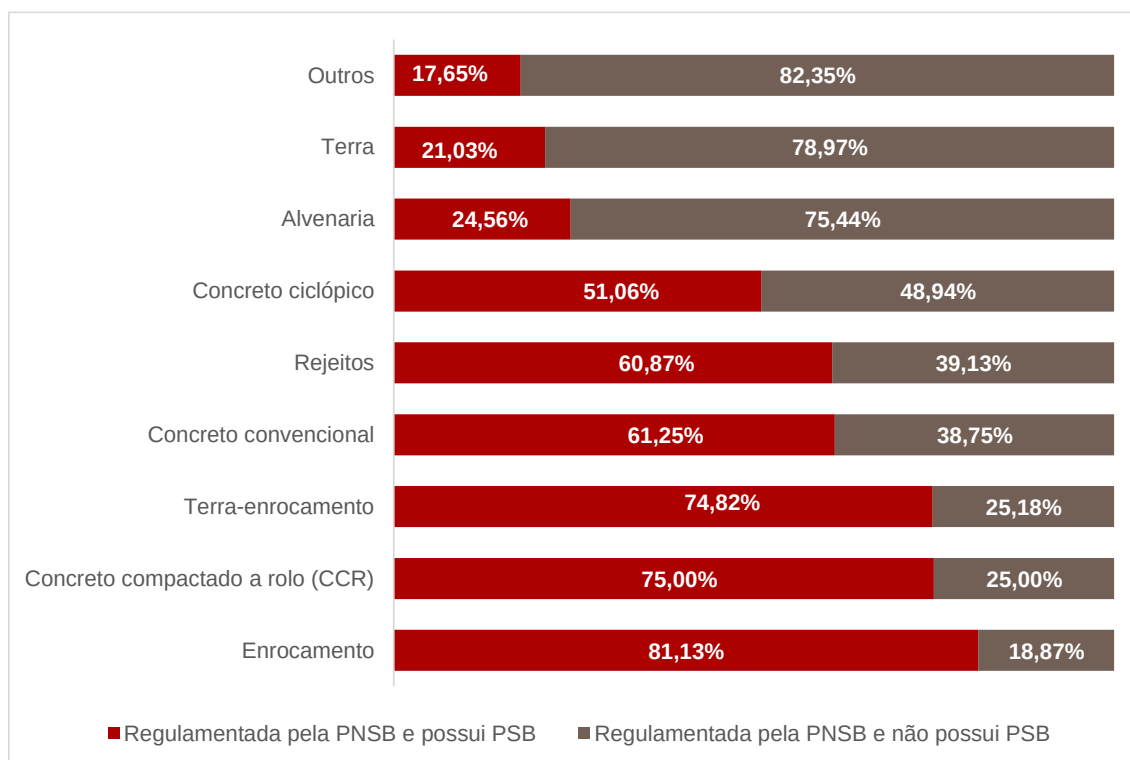
Dos barramentos analisados, 4.046 (51,02%) se encaixam nos parâmetros definidos na Lei Federal Nº 14.066/2020 e estão regulamentados pela Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Por outro lado, 2.630 (33,16%) não fazem parte da política. Os barramentos restantes (1.255) não foram classificados, o que corresponde a 15,82% da amostragem.

Quando se observa a presença, ou não, da documentação proveniente do Plano de Segurança (PSB), constata-se que 6.636 (83,67%) das barragens brasileiras, que possuem classificação de acordo com o material usado na sua concepção, não apresentam esse plano. Isso leva a conclusão que apenas 1.295 (16,33%) das barragens brasileiras apresentam um PSB.

Abrindo esse indicador por material e observando os barramentos que se encaixam na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e apresentam Plano de Segurança (PSB) obtém-se o Gráfico 3. Levando-se em consideração que para a construção desse gráfico foram analisadas apenas as 4.046 barragens participantes da PNSB, pode-se observar que as barragens que mais apresentam Plano de Segurança

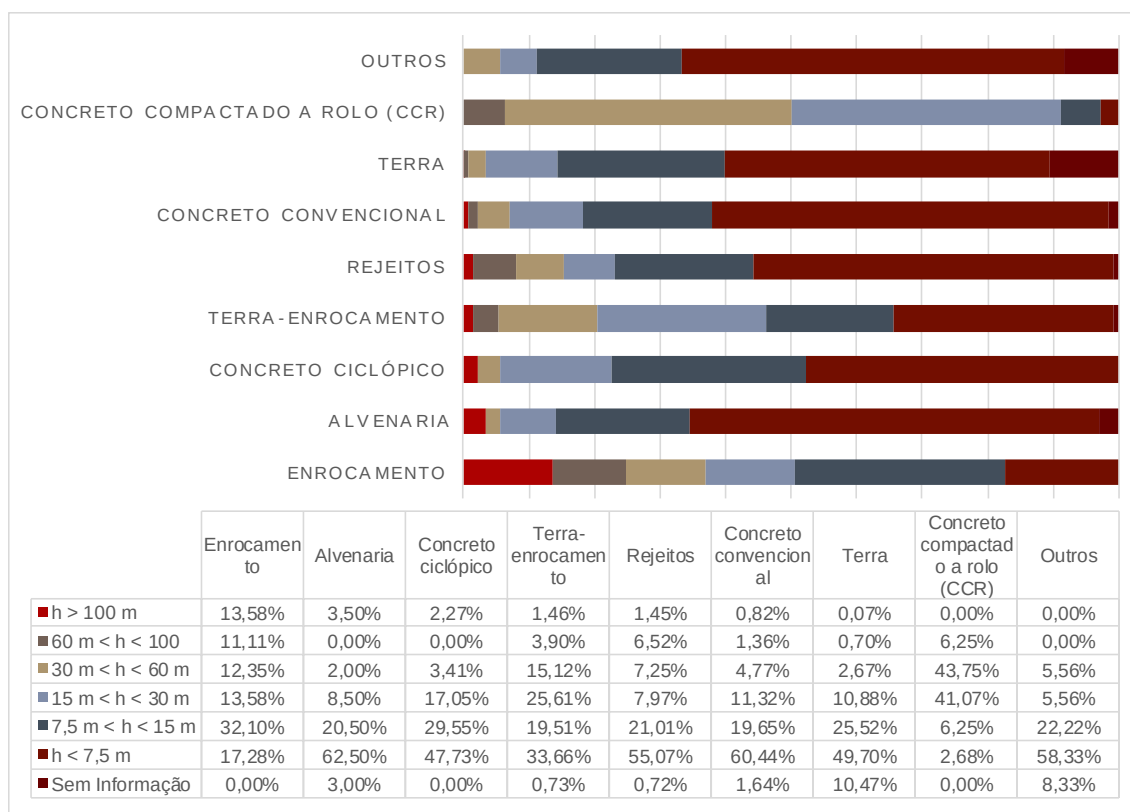
(PSB) são as do tipo enrocamento. Verifica-se que para as barragens de terra, que apresentam um espaço amostral muito maior (um total de 6.133 obras), apenas 3.124 (50,94%) são participantes da PNSB, onde apenas 21,03% possuem documentação pertinente ao Plano de Segurança.

Gráfico 3 - Barragens regulamentadas pela PNSB e que apresentam PSB



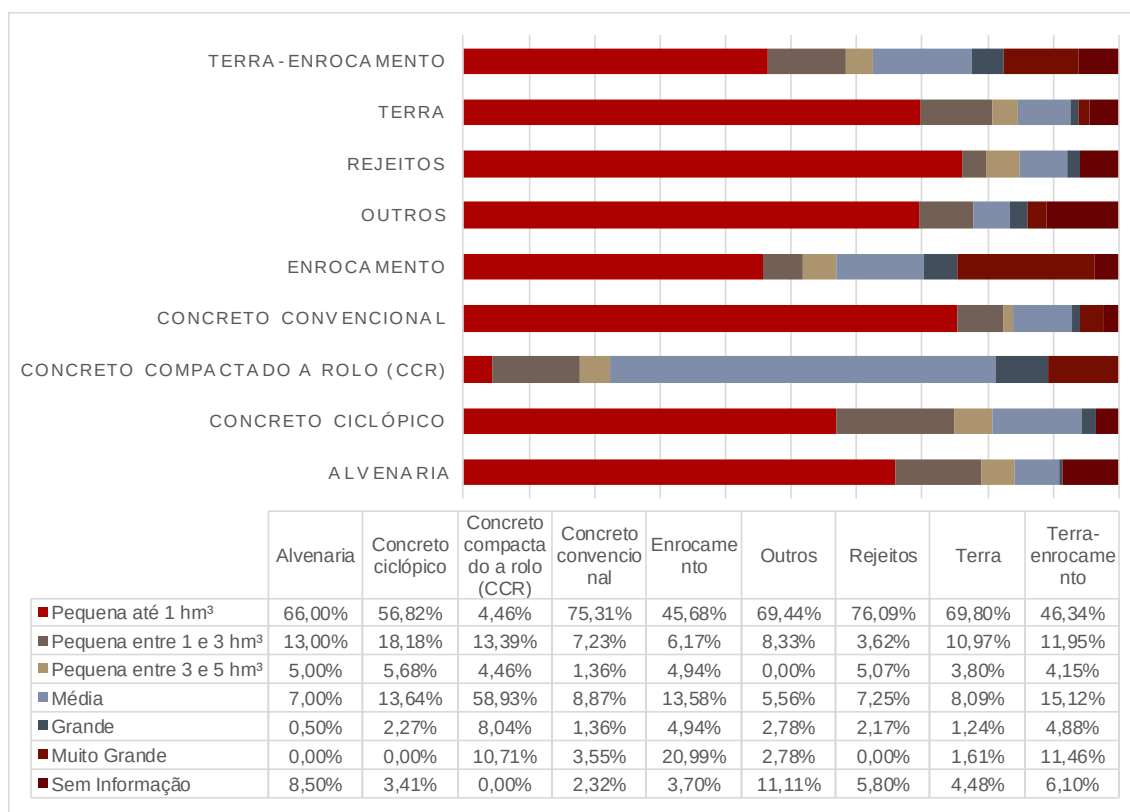
Fonte: Autora (2022).

Antes de iniciar a análise dos barramentos pelos indicadores de categoria de risco e dano potencial associado foi feita uma análise das duas características físicas dessas obras (faixas de altura e de capacidade de armazenamento), as quais estão apresentadas nos Gráfico 4 e 5, respectivamente. Através da análise da amostra total (7.931 barramentos), pode-se observar que quanto à faixa de altura (maior distância entre a fundação e a crista da barragem) a grande maioria das barragens brasileiras encontrarem-se na faixa que as define como apresentando altura menor do que 7,5 metros, o que corresponde a 3.910 (49,30%) barramentos. Por conseguinte, quando se analisa a capacidade de armazenamento, o maior número das barragens se classificam como pequenas (suportando até 1 hm³), perfazendo um total de 5.377 barramentos, o que corresponde a 67,80% da amostra.

Gráfico 4 - Caracterização de barragens por material e faixas de altura (m)

Fonte: Autora (2022).

Quando se verifica o indicador por material pode-se observar que os barramentos com maior porcentagem de armazenamento (grande ou muito grande) e altura (maior que 100 metros) são constituídos por enrocamento. No entanto, considerando as características mais comuns das barragens, que são aquelas que apresentam altura menor que 7,5 metros e pequena capacidade de armazenamento (suportando até 1 hm³), têm-se com menor frequência os barramentos de Concreto Compactado a Rolo (CCR).

Gráfico 5 - Caracterização de barragens por material e capacidade de armazenamento (hm³)

Fonte: Autora (2022).

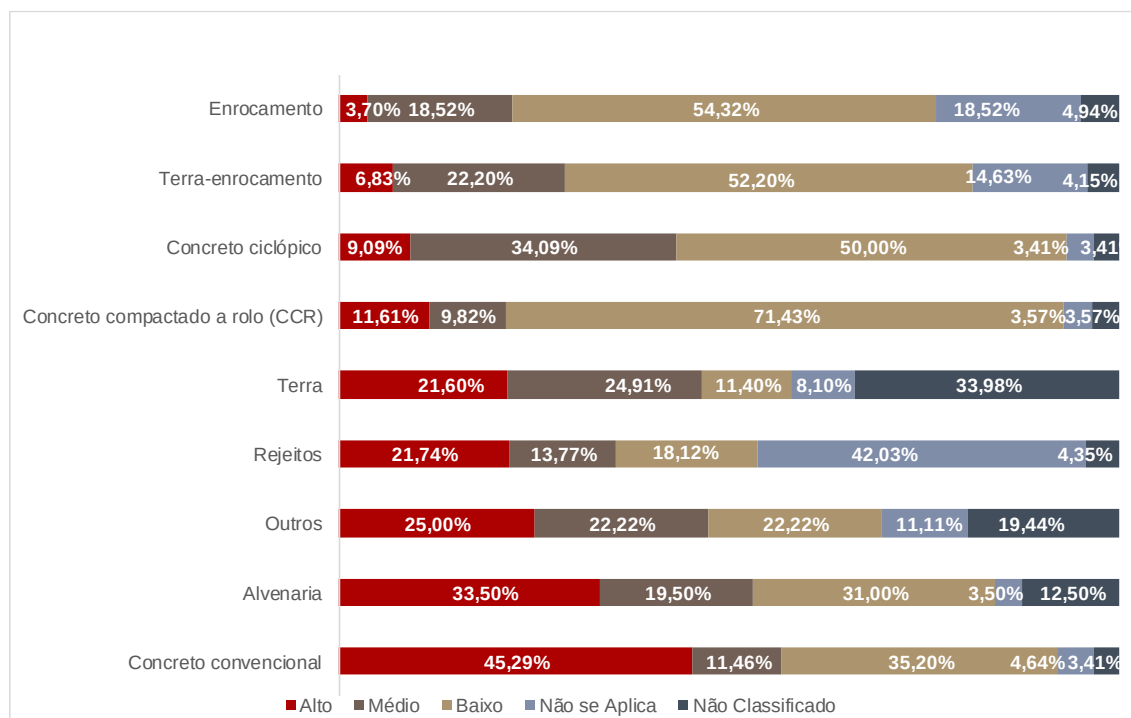
Como se sabe, a categoria de risco de uma barragem é um indicador que depende das características construtivas e de conservação desse tipo de obra. Na legislação vigente, os barramentos que possuem CRI alto precisam apresentar um plano de ação de emergência. Ao analisar este indicador por elemento construtivo (Gráfico 6), verifica-se que a grande maioria das barragens brasileiras definidas por terem categoria de risco alta (733 barramentos ao total) são constituídas em concreto convencional, perfazendo 45,29% (332 barragens).

Verificou-se também, observando o Gráfico 6, que dentre todas as barragens analisadas, as barragens de rejeito são as que apresentaram o maior percentual como sendo não aplicável a sua classificação quanto a categoria de risco relacionada ao seu material construtivo, visto que do total de 138 barragens de rejeito em 58 delas (42,03%) este indicador não se aplica.

Pode-se observar também no Gráfico 6 que os barramentos de terra são os que apresentam o maior percentual quanto à falta de classificação do indicador categoria de risco, apresentando 2.084 (33,98%) barragens. A explicação para isso deve-se a falta de informações sobre esses barramentos, pois quando se analisa o indicador de completude

de informações por material (informação apresentada no Gráfico 9), as barragens de terra são as que se apresentam com o maior percentual com relação ao nível mínimo de completude de informações (26,84%).

Gráfico 6 - Classificação das barragens quanto a Categoria de Risco (CRI) relacionadas ao seu material construtivo

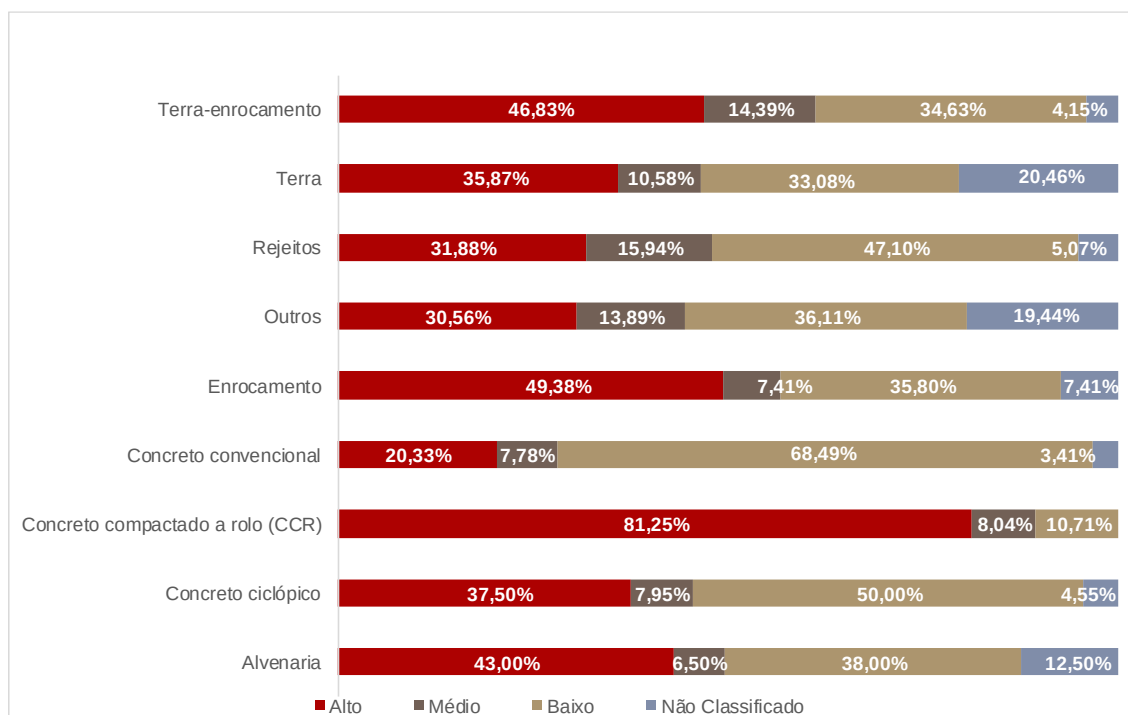


Fonte: Autora (2022).

Sabe-se que o indicador de dano potencial associado quantifica o estrago que a barragem pode causar se vier a romper. De acordo com o Gráfico 7, as barragens que apresentam um DPA alto são aquelas constituídas de concreto compactado a rolo. Tal como mostrado nos Gráficos 4 e 5, as barragens construídas empregando CCR constituem-se, em sua grande maioria, por apresentar alturas mais elevadas (entre 15 e 60 metros) e capacidade de armazenamento média (entre 5 e 75 hm³).

Destaca-se os barramentos que apresentam maior peso nesse estudo, que são os do tipo materiais soltos, já citados anteriormente, pois eles correspondem a 6.624 (83,52%) barramentos da amostra total. Desses barramentos, as barragens de terra, terra-enrocamento e enrocamento apresentam alto índice ao dano potencial associado (35,87%, 46,83% e 49,38%, respectivamente), valores considerados significativos para este indicador.

Gráfico 7 - Classificação das barragens quanto ao Dano Potencial Associado (DPA) relacionadas ao seu material construtivo



Fonte: Autora (2022).

A legislação define como obrigatória a apresentação de um Plano de Ação de Emergência (PAE) para barramentos que apresentam as seguintes características: alta categoria de risco, dano potencial associado alto ou médio e para qualquer barragem usada para acumulação ou disposição de rejeitos. Com isso, apreciando o espaço amostral, observa-se que 4.598 (57,98%) das barragens analisadas se encaixam nessas condicionantes. No entanto, apenas 957 (12,07%) apresentam o PAE.

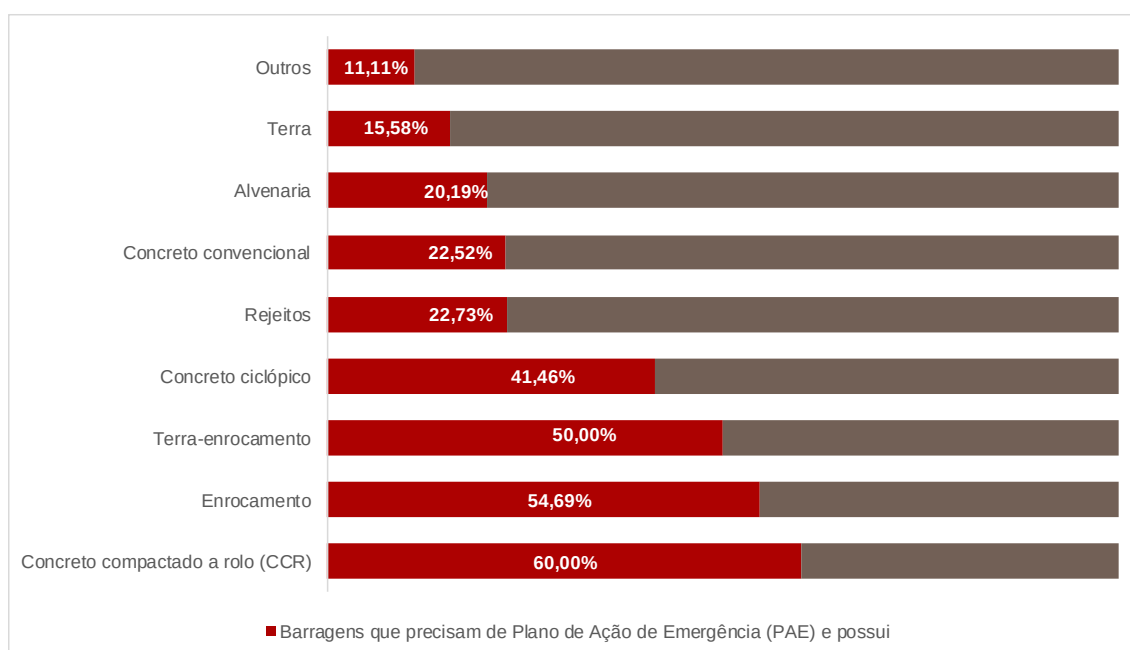
Relacionando o número de barramentos que possuem um PAE com o número de barramentos que devem possuir este documento, verifica-se que apenas 20,81% dos barramentos atendem à legislação vigente, valor esse considerado extremamente baixo para a relevância desse tipo de obra. Logo, fica demonstrado que os empreendedores ainda não estão em acordo ao disposto na legislação, ou seja, em caso de emergência eles não estão preparados para agir.

Embora a Lei Federal N° 14.066/2020 afirme que, independente da classificação de dano potencial e critério de risco do barramento, todas as barragens de rejeito precisam apresentar um PAE, observa-se no Gráfico 8 que as barragens de rejeito apresentam uma baixa adesão quanto à existência deste documento, perfazendo apenas 22,73%. De todos

os materiais os que apresentam uma condição mais satisfatória são os barramentos constituídos de concreto compactado a rolo, enrocamento e terra-enrocamento, respectivamente nesta ordem. Entretanto, o resultado ainda não é satisfatório, pois o maior percentual é de 60,00% (para os barramentos de CCR).

Além disso, observa-se que dos barramentos que apresentam o maior peso no resultado do indicador referente à obrigatoriedade de possuir um PAE, devido ao alto número de barragens (3.293 do total de 4.598 barramentos), são aqueles constituídos por serem de terra. No entanto, estes números são preocupantes, visto que apenas 513 (15,58%) dos barramentos de terra apresentam um plano de ação de emergência.

Gráfico 8 - Barragens que precisam apresentar Plano de Ação de Emergência e apresentam divididas por material



Fonte: Autora (2022).

Outro indicador de segurança dos barramentos é o de Nível de Perigo Global da Barragem (NPGGB), visto que este indicador gradua os barramentos de acordo com o nível de comprometimento da sua segurança. Dos barramentos analisados, apenas 8,50% apresentam a informação de sua classificação quanto a este indicador. Entretanto, vale ressaltar que é importante identificar, por tipo de barramento, o número de barragens que se enquadram nos estados de emergência ou alerta.

Sendo assim, a Tabela 1 apresenta, por tipo de barramento, o número de barragens classificadas quanto ao indicador NPGB, bem como a porcentagem que este quantitativo representa da amostra total.

Analisando a Tabela 1, verifica-se que os barramentos de rejeito (138 barramentos) não apresentam uma classificação para o indicador NPGB e as barragens de alvenaria são as que mais apresentam, em termos de percentual, o seu indicador NPGB em estado alerta ou emergência.

Tabela 1 - Quantitativo de barragem classificadas de acordo com o nível de perigo global da barragem (NPGB)

Rank	Material do Barramento	Nº Total de Barragens	Emergência		Alerta		Atenção		Normal	
			Qtd de Barragens	%	Qtd de Barragens	%	Qtd de Barragens	%	Qtd de Barragens	%
1	Alvenaria	200	1	0,50%	13	6,50%	28	14,00%	9	4,50%
2	Concreto compactado a rolo (CCR)	112	0	0,00%	5	4,46%	19	16,96%	6	5,36%
3	Concreto ciclópico	88	0	0,00%	3	3,41%	6	6,82%	2	2,27%
4	Terra	6133	0	0,00%	92	1,50%	239	3,90%	183	2,98%
5	Terra-enrocamento	410	1	0,24%	2	0,49%	12	2,93%	9	2,20%
6	Concreto convencional	733	0	0,00%	4	0,55%	25	3,41%	7	0,95%
7	Enrocamento	81	0	0,00%	0	0,00%	1	1,23%	2	2,47%
8	Outros	36	0	0,00%	0	0,00%	3	8,33%	2	5,56%
9	Rejeitos	138	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Total de Barragens		7931	2		119		333		220	

Quantitativo de Barragens Classificadas	674
Porcentagem de Barragens Classificadas	8,50%

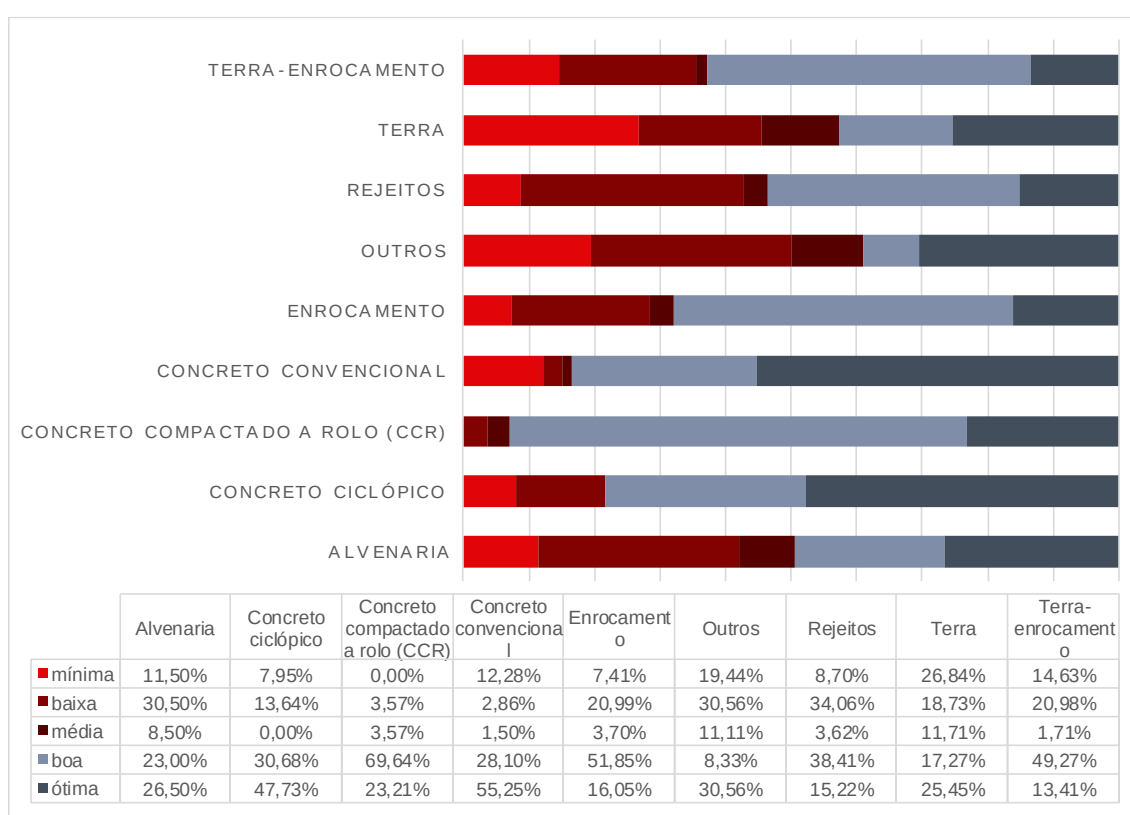
Fonte: Autora (2022).

A Tabela 1 também permite observar que menos de 9% das barragens, separadas por material, apresentam sua classificação quanto ao indicador NPGB, e essa falta de informação não é um problema particular desse indicador.

A criação do sistema nacional de informações sobre segurança de barragens (SNISB) se deu no ano de 2010, o que significa que ele possui pouco mais de 12 anos. Ao observar esse sistema, verifica-se que a falta de informações sobre os barramentos também é um problema. Desde a sua implantação, o SNISB evoluiu bastante, apresentando mudanças quase que diariamente, inclusive durante o período de elaboração desse trabalho. A ANA (2022a) classifica a completude de informações de cada um dos seus barramentos e ao analisar esse indicador, para a amostra desse trabalho, pode-se esboçar o Gráfico 9.

Os barramentos de concreto (CCR, convencional e ciclópico) são os que mais apresentam uma completude de informação considerada como boa ou ótima. Essa constatação pode estar diretamente relacionada à exigência que o método construtivo desses barramentos requer. Por outro lado, os barramentos com menor completude de informações (baixa ou mínima) são os da categoria “outros” materiais, seguido dos barramentos constituídos de terra, rejeito, alvenaria, terra-enrocamento e enrocamento, nessa ordem.

Gráfico 9 - Completude das informações cadastradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB)



Fonte: Autora (2022).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ACIDENTES REGISTRADOS EM BARRAGENS

Nos relatórios de segurança de barragens (RSBs), para os anos de 2014 a 2021, foram compiladas as informações disponíveis sobre os 90 acidentes que ocorreram nesse período, dentre eles estão apontadas as características físicas dos barramentos, o tipo de evento, a causa, o número de pessoas atingidas, dentre outras informações.

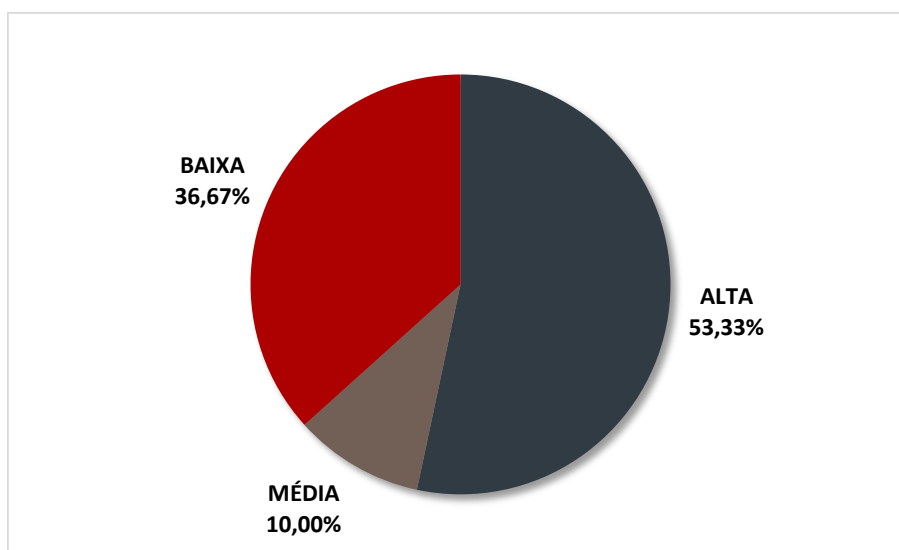
Desde a publicação da primeira edição do relatório (que ocorreu no ano 2012 como os dados referentes a 2011) até a versão mais recente (relatório publicado em 2022

com os dados referentes a 2021) ocorreram mudanças na forma em que esses dados são apresentados. Analisando os relatórios dos últimos 11 anos, percebe-se que não há uma padronização na descrição dos acidentes ocorridos, visto que os fatos são relatados de diversas formas, muitas vezes faltando informações importantes para a análise do evento.

Nesse trabalho não foram analisados os acidentes em barragens publicados nos relatórios entre os anos de 2011 a 2013 visto que, conforme dito acima, não foi possível distinguir nos relatórios se o evento ocorrido era um acidente ou incidente, pois até o ano de 2013 não havia diferenciação no relato desses eventos publicados nos relatórios. Desta forma, para não gerar distorção na análise dos dados desse trabalho, os acidentes ocorridos neste período (05 ao total) foram desconsiderados.

Outro item importante que vale destacar é que a forma de obtenção das informações é bastante diversificada, visto que o relato do acidente é feito pela ANA com base nas informações recebidas pelas entidades fiscalizadoras. Por outro lado, é importante para o entendimento do acidente que sejam apresentadas o máximo de informações possíveis. Ressalta-se, mais uma vez, uma falta de padronização para o registro do evento, o que dificulta muitas vezes o seu entendimento.

Para avaliar a completude dos dados apresentados nos acidentes relatados e analisados nesse trabalho, foi criado o indicador de completude de informações, descrito no item 4.3 da metodologia deste trabalho. No Gráfico 10 pode-se observar que 53,33% (48 acidentes) da amostra analisada apresenta um bom número de informações, ou seja, uma alta completude de informações, outros 36,67% (33 casos) apresentam uma baixa completude e 10% (9 casos) uma completude média das informações.

Gráfico 10 - Completude das informações sobre os acidentes analisados

Fonte: Autora (2022).

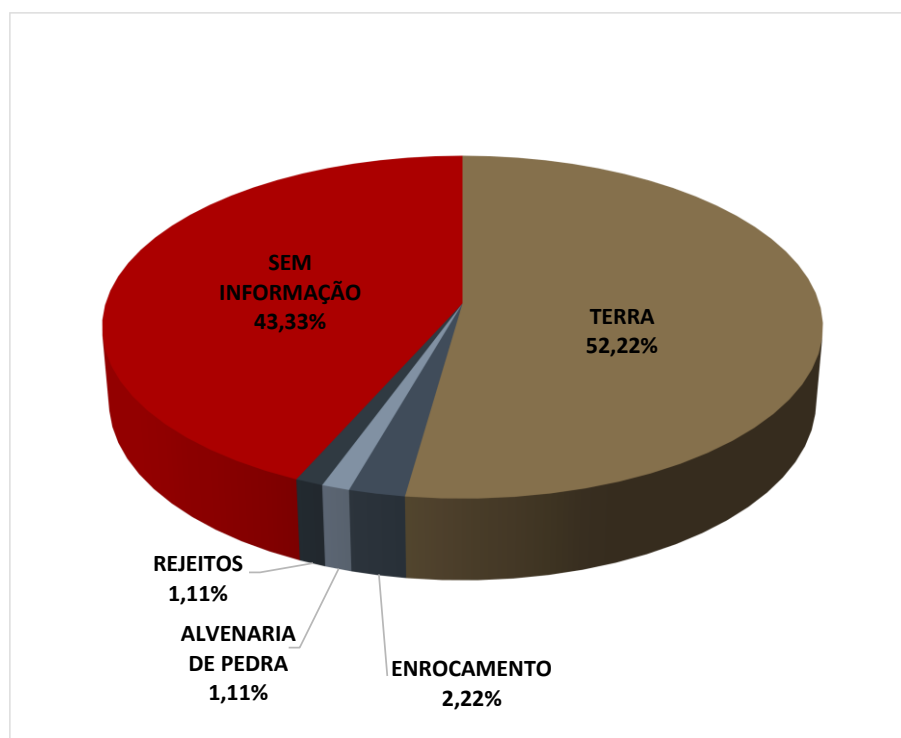
Por outro lado, dos acidentes relatados que informaram a característica do material usado no barramento, apenas 56,67% (51 acidentes) apresentaram esta informação. Essa afirmação pode ser constatada através da Tabela 2. Nesta tabela é possível notar que os barramentos do tipo terra aparecem subdivididos em: terra, terra homogênea, terra compactada, terra compactada solo-arenoso, terra e pedra argamassada e terra-enrocamento. No entanto, todos esses barramentos podem ser agrupados e considerados como barramentos do tipo terra. Esse tipo de uniformização facilitaria a análise dos resultados. O mesmo pode ser observado para o barramento tipo enrocamento, pois ora aparece como enrocamento ora como rocha alterada. A ausência de padronização na forma em que as informações são descritas nos relatórios dificulta a interpretação dos dados e, por conseguinte, a análise estatística dos eventos.

Tabela 2 – Número de acidentes por material de barramento

Rank	Material do Barramento	Qtd de Barragens	%
1	Terra	27	52,94%
2	Terra homogênea	14	27,45%
3	Terra Compactada	3	5,88%
4	Terra Compactada Solo-Arenoso	1	1,96%
5	Terra e pedra argamassada	1	1,96%
6	Terra-Enrocamento	1	1,96%
7	Enrocamento	1	1,96%
8	Rocha Alterada	1	1,96%
9	Alvenaria de Pedra	1	1,96%
10	Rejeitos	1	1,96%
11	Total	51	100,00%

Fonte: Autora (2022).

Ao compilar os dados da Tabela 2, a fim de padronizar as informações, se obtém o Gráfico 11. Durante a análise, percebe-se que a maior parte dos barramentos que sofreram acidentes são os do tipo terra, o que corresponde a 52,22% da amostra e equivale a 47 acidentes. Mas, vale ressaltar que esse espaço amostral compreende apenas os 51 acidentes que apresentaram a informação sobre o tipo de material do barramento. Contudo, a falta de informação para os 39 acidentes restantes apresenta um impacto significativo nesse resultado, pois por não ter condições de identificar o tipo de material do barramento dentre esses 39 acidentes, não se pode garantir que não houve mais casos de barragem de terra que sofreram acidentes dentre estes 39 acidentes.

Gráfico 11 - Distribuição dos acidentes ocorridos em barragem por material

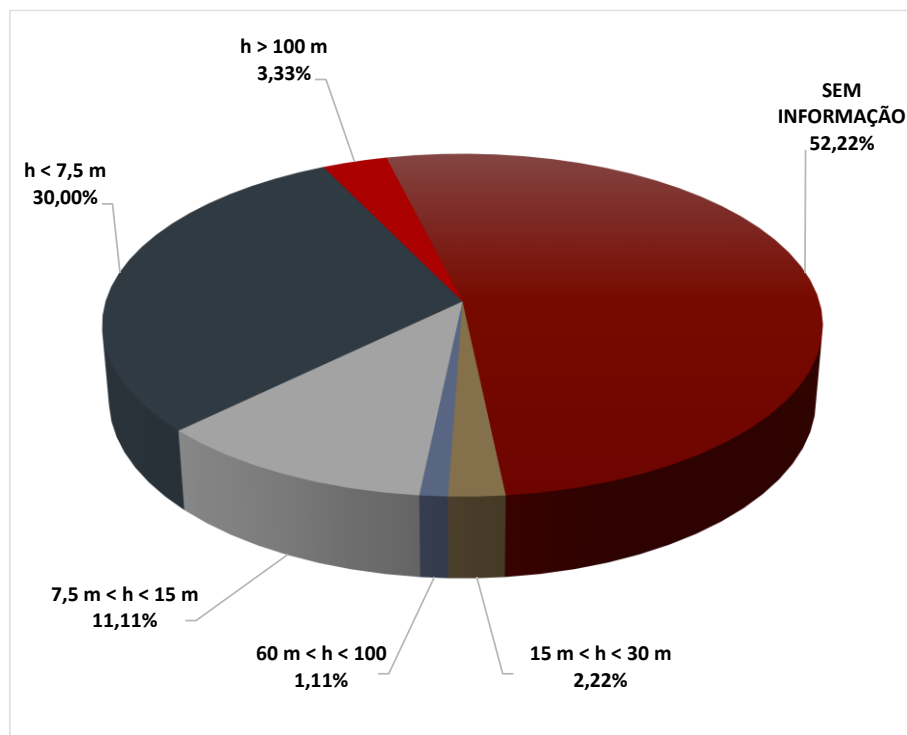
Fonte: Autora (2022).

Além de categorizar a amostra de acordo com o material, pode-se observar também as características físicas dos barramentos, sendo elas as faixas de altura (m) e as faixas de capacidade de armazenamento (hm^3). Dessa forma, o Gráfico 12 permite observar que em 27 (30,00%) dos casos de acidentes ocorridos, os barramentos apresentam uma altura menor que 7,5 metros. Resultado similar foi apresentado no Gráfico 4, quando foi analisado qual a faixa de altura com maior número de barramentos construídos.

Já o Gráfico 13 compara as faixas de capacidade de armazenamento (hm^3). Percebe-se também que a maior frequência de acidentes (34,44%) é registrada em barramentos de baixa capacidade (pequena até 1 hm^3). Resultado similar foi apresentado no Gráfico 5, quando foi analisada qual a faixa de capacidade de armazenamento apresenta um maior número de barragens.

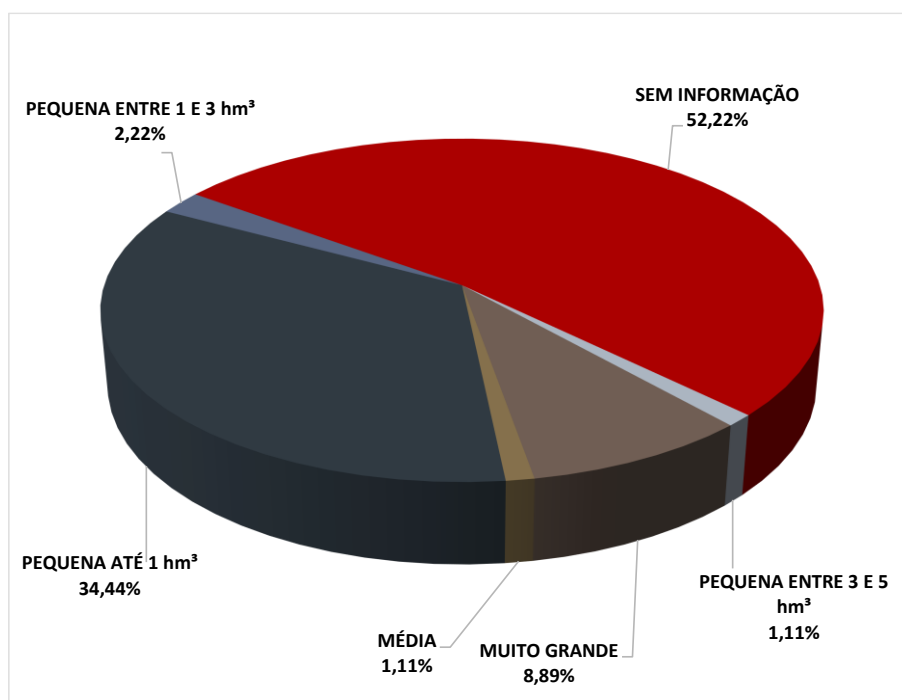
Observando os Gráficos 12 e 13, é importante destacar a quantidade de barramentos que não apresentam a informação tanto da sua altura quanto da sua capacidade de armazenamento. Assim, em ambos os gráficos, 52,22 % dos barramentos que sofreram acidentes não relatam estas duas informações (47 barragens).

Gráfico 12 - Distribuição dos acidentes ocorridos em barragem por faixas de altura (m)



Fonte: Autora (2022).

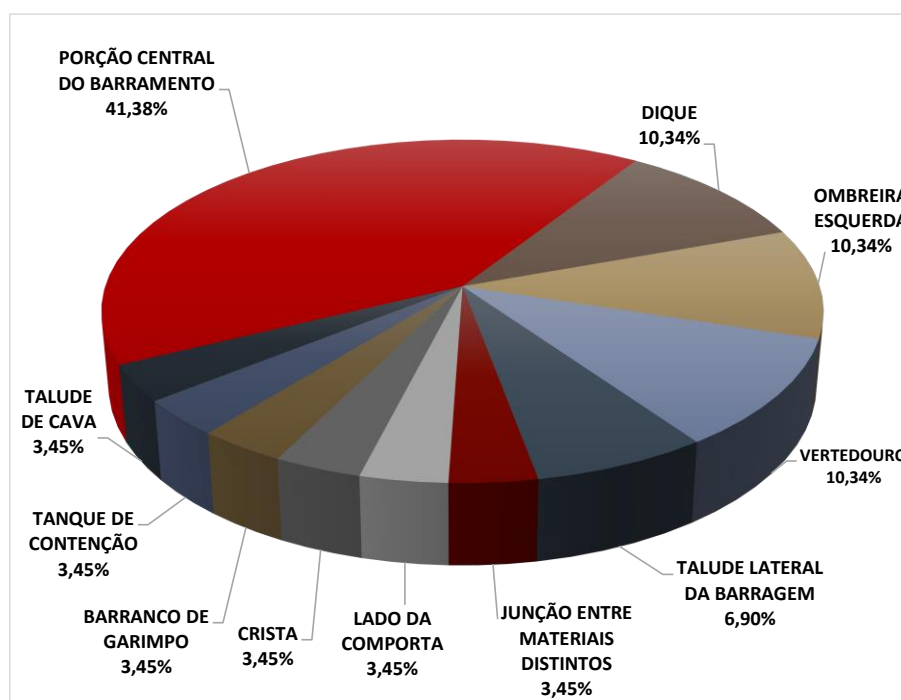
Gráfico 13 - Distribuição dos acidentes ocorridos em barragem por capacidade de armazenamento (hm³)



Fonte: Autora (2022).

Com base nos acidentes ocorridos, foi realizado um levantamento dos componentes da estrutura de uma barragem que foram afetados com maior frequência. Na maioria das vezes essa informação não está descrita de forma objetiva no relatório e foi necessário o uso de interpretação da autora para a realizar uma padronização das respostas. Da amostra total só foi possível identificar esta informação em 29 (32,22%) dos casos. Estes dados foram utilizados para construção do Gráfico 14 e nele é possível observar que o local da barragem que apresenta maior frequência de acidentes é na porção central do barramento, correspondendo a 12 casos, o que equivale a 41,38%. Em seguida, foram observados que os locais mais afetados, depois da porção central do barramento, são o dique, a ombreira esquerda e o vertedouro, ambos com uma frequência de 10,34% (equivalente a 3 casos para cada uma dessas partes da estrutura da barragem), e correspondendo a uma probabilidade quatro vezes menor de ocorrência de acidente nestas partes se comparadas com a parte da estrutura da barragem anteriormente descrita (porção central do barramento).

Gráfico 14 - Componentes da estrutura de uma barragem mais afetados em acidentes

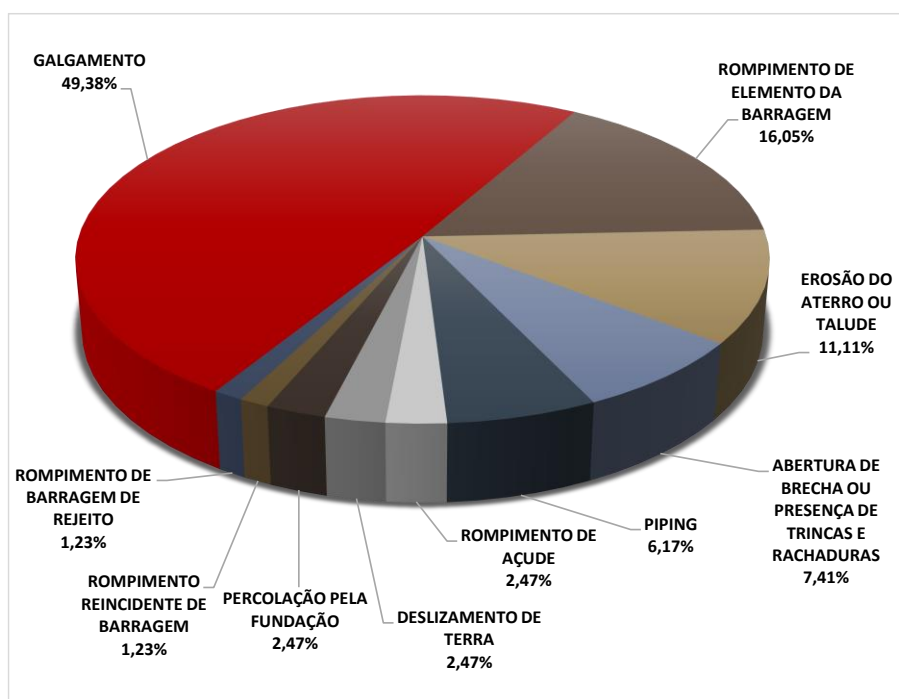


Fonte: Autora (2022).

Outro dado analisado foi o tipo de evento ocorrido. Para esse levantamento as informações precisaram passar por uma compilação criteriosa com o intuito de padronizar os dados, que estão descritos sem nenhuma sistemática nos relatos desses eventos nos RSBs. Em apenas 66 casos foi possível a identificação do tipo de acidente ocorrido

(evento 01), onde desse total 15 apresentaram mais de um evento, conforme disponibilizado no Apêndice A, sendo nomeado pela autora com a designação de evento 02. Sendo assim, o espaço amostral utilizado para elaboração do Gráfico 15 foi de 81 eventos. O tipo de acidente com maior incidência dentre os eventos 01 e 02 foi o galgamento, com uma frequência de 40 vezes, o que equivale a 49,38% dos eventos, seguido pelo rompimento de elemento da barragem (13 eventos) e da erosão do aterro ou talude (9 eventos).

Gráfico 15 - Tipos de acidentes ocorridos com maior frequência



Fonte: Autora (2022).

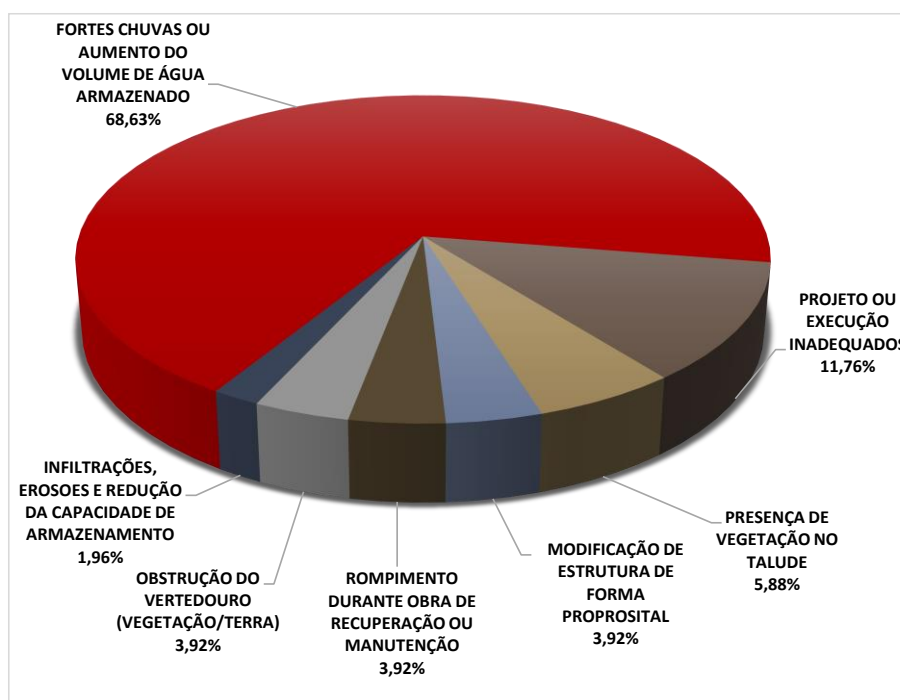
Após a análise dos principais eventos ocorridos, foi importante identificar quais as principais causas que levaram a sua ocorrência. Este levantamento também foi realizado de maneira criteriosa, pois não havia uma padronização dos dados, e em alguns casos foi necessária uma compilação das informações para uma melhor análise. Foi possível a identificação da causa da ocorrência do acidente (causa 01) em 40 registros, sendo que destes 11 apresentaram uma segunda causa (causa 02). Sendo assim, o espaço amostral dessa análise compreendeu-se na soma das causas 01 e 02, ou seja, 51 causas.

No Gráfico 16 pode-se observar que a principal causa apontada para a ocorrência dos acidentes são as fortes chuvas ou o aumento do volume de água armazenado, compreendendo 68,63% (35 eventos). Esta causa se deu por diversos motivos, dentre eles

o rompimento de outra barragem à montante. Na sequência, vem a falta de um projeto ou a execução inadequada do barramento, correspondendo a 6 casos (11,76%).

De todos os 90 acidentes analisados, apenas um informou sobre a reincidência do acidente na barragem. Essa informação gera uma dúvida sobre a ocorrência de outros acidentes recorrentes nas barragens analisadas. Este fato se deve, mais uma vez, pela falta de padronização no relato das informações dos acidentes enviadas para a ANA.

Gráfico 16 - Principais causas de acidentes em barragens



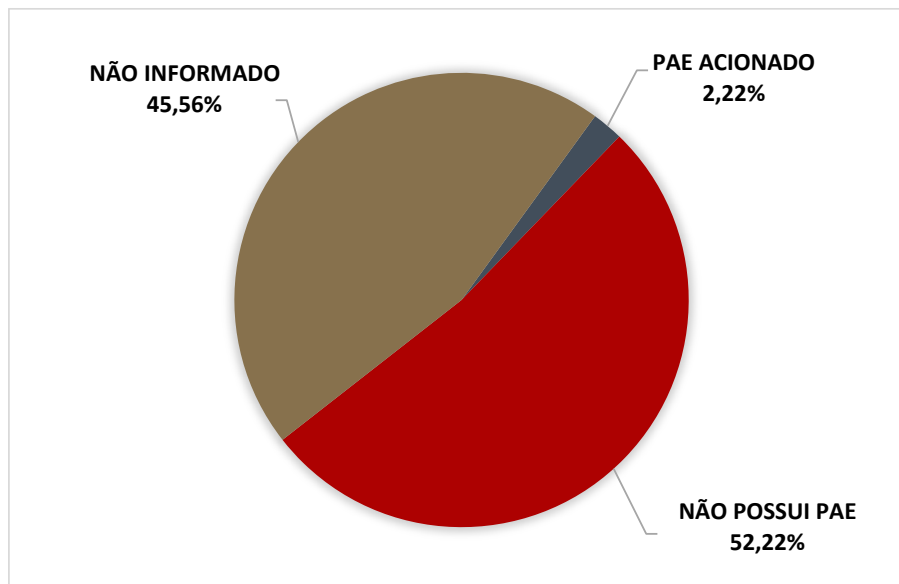
Fonte: Autora (2022).

Como se sabe, a principal causa de acidentes nesse tipo de obra é o aumento do volume armazenado no barramento, seja ele ocasionado pela chuva ou pelo rompimento de outra barragem. Por esse motivo, foi identificado no espaço amostral analisado quais os acidentes estavam ligados ao rompimento de outros barramentos. Dos 90 acidentes estudados, 21 (23,33%) estavam ligados a outro acidente, ou seja, o acidente ocorreu devido ao “efeito cascata” gerado pelo rompimento de outras barragens situadas à montante.

Uma outra análise realizada foi a verificação da existência de um plano de ação de emergência, bem como o seu acionamento no momento do acidente. No Gráfico 17 pode-se observar que dos 90 acidentes estudados apenas 2 tiveram o seu PAE acionado (2,22%), sendo um deles o acidente do rompimento da barragem de rejeito de

Brumadinho/MG. Contudo, como foi apresentado anteriormente, a maioria dos barramentos não possui um PAE ou não apresenta a informação da sua existência.

Gráfico 17 - Casos de acionamento do Plano de Ação de Emergência (PAE)



Fonte: Autora (2022).

Dos 90 acidentes analisados e que apresentavam a informação sobre o número de pessoas afetadas, foram estimadas que cerca de 39.955 pessoas foram afetadas (sendo 39.520 pessoas somente no acidente ocorrido em Brumadinho/MG) e 272 mortes.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS INCIDENTES REGISTRADOS EM BARRAGENS

Nos relatórios de segurança de barragens (RSBs), para os anos de 2020 e 2021, foram compiladas as informações disponíveis sobre 132 incidentes, sendo destes 95 registrados em 2020 e 37 em 2021. Assim, foram reunidas informações como o material do barramento, o período de ocorrência, o local afetado e o tipo de incidente ocorrido.

Como já apontado anteriormente, não há uma padronização nesses relatórios na maneira como são descritos os acidentes em barramentos, o mesmo acontecendo para os incidentes. Isto ocorre pelo fato de que os relatos desses eventos variam em função da fonte da informação e, apenas para lembrar, as informações sobre cada acidente ou incidente são coletadas pelas entidades fiscalizadoras desse tipo de obra.

Essa constatação pode ser evidenciada ao se analisar a descrição do material constituinte do barramento para cada incidente ocorrido. Dos 132 incidentes analisados, 94 (71,21%) deles apresentam a informação sobre o material. A falta de padronização das

respostas pode ser observada na Tabela 3 onde é possível notar que os barramentos do tipo terra aparecem subdivididos em: terra, terra homogênea, terra compactada, terra compactada e concreto, aterro de terra homogênea e terra/enrocamento, podendo ser todos esses diferentes tipos agrupados em um único tipo de barragem que é de terra. O mesmo acontece para os barramentos dos tipos enrocamento, concreto e alvenaria. Assim, os barramentos de concreto e concreto convencional foram compilados como sendo barragens de concreto, e os barramento de alvenaria, pedra arrumada e alvenaria de pedra considerados como sendo barramentos do tipo alvenaria. A ausência de padronização na forma em que essas informações são apresentadas nos relatórios dificulta a interpretação e a análise estatística desses eventos.

Tabela 3 - Classificação de incidentes por material de barramento

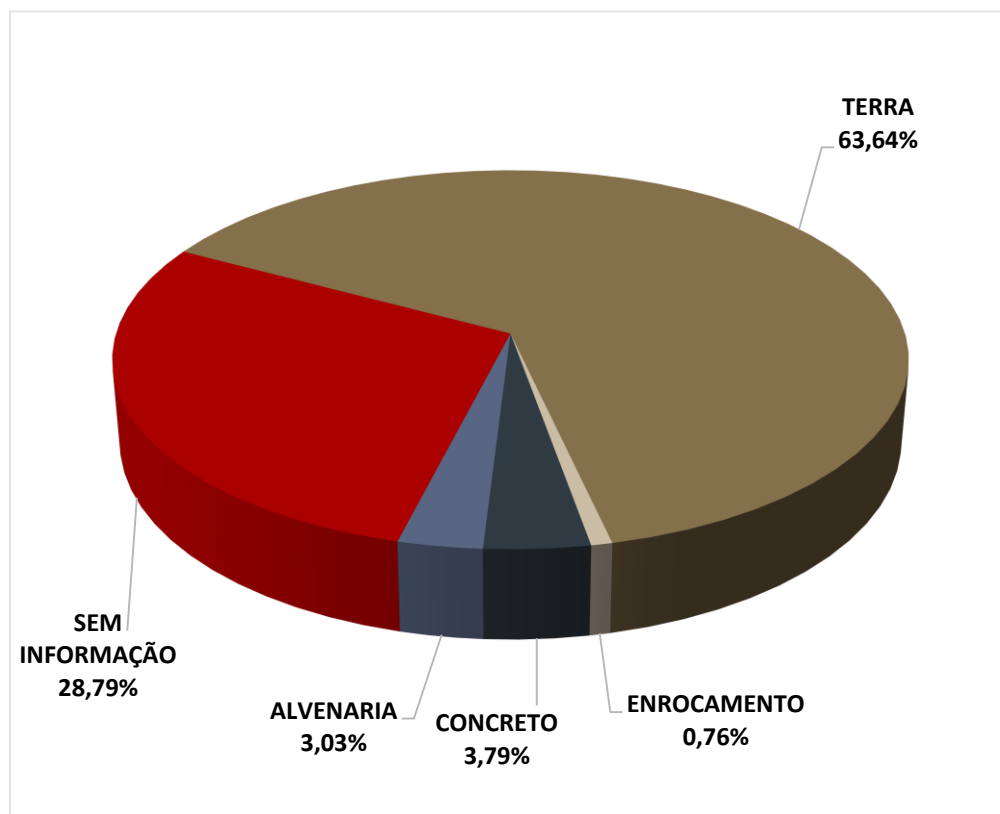
Rank	Material do Barramento	Qtd de Barragens	%
1	Terra homogênea	34	36,17%
2	Terra	21	22,34%
3	Terra Compactada	17	18,09%
4	Aterro de Terra Homogênea	9	9,57%
5	Concreto	3	3,19%
6	Concreto Convencional	2	2,13%
7	Terra/Enrocamento	2	2,13%
8	Alvenaria	2	2,13%
9	Terra Compactada e Concreto	1	1,06%
10	Alvenaria de Pedra	1	1,06%
11	Pedra Arrumada	1	1,06%
12	Enrocamento	1	1,06%
13	Total	94	100,00%

Fonte: Autora (2022).

Ao compilar os dados da Tabela 3, a fim de padronizar as informações, se obtém o Gráfico 18. Analisando esse gráfico, percebe-se que a maior parte dos barramentos que sofreram incidentes, durante o período analisado nesse estudo, são os do tipo terra, correspondendo a 63,64% da amostra (84 incidentes). Para os incidentes, o número de barramentos que não apresentam a informação sobre o seu material constituinte é menor do que para o caso dos acidentes (Gráfico 11), correspondendo a 28,79% (38 incidentes).

Ao comparar o Gráfico 11 com o Gráfico 18, ambos correspondendo à análise da distribuição por material dos barramentos considerando, respectivamente, os acidentes e os incidentes, pode se afirmar que o tipo de barramento que apresenta mais casos de acidentes e incidentes são os barramentos do tipo de terra, as quais são as barragens mais executadas no país.

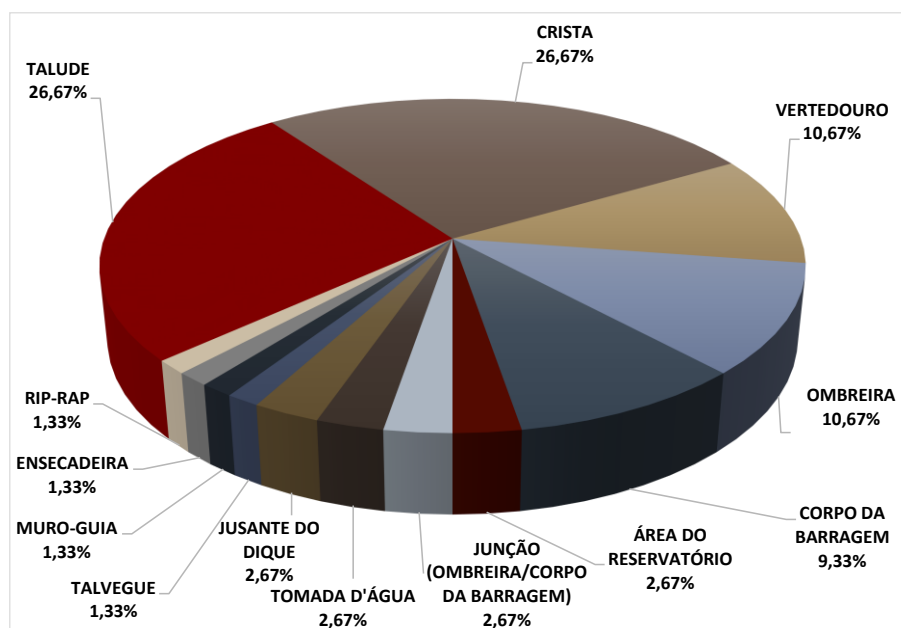
Gráfico 18 - Distribuição dos incidentes ocorridos em barragem por material



Fonte: Autora (2022).

Analisando os incidentes ocorridos, foi realizado um levantamento dos componentes da estrutura de uma barragem que foram afetados com maior frequência. Na maioria das vezes essa informação não está descrita de forma direta no relatório e foi necessário o uso de interpretação da autora como uma forma de padronização das respostas, tal como realizado no caso dos acidentes. Da amostra total só foi possível identificar esta informação em 71 (53,79%) casos, com 4 desses casos atingindo em mais de um local no barramento. Sendo assim, a amostra utilizada para construção do Gráfico 19 foram 75 locais. Ao analisar este gráfico, verifica-se que o local da barragem que apresenta maior frequência de incidentes é na crista e no talude (seja ele de montante e/ou jusante), ambos com 20 casos cada um (26,67%), seguidos pelo vertedouro e ombreira, ambos com 8 casos cada um (10,67%).

Gráfico 19 - Componentes da estrutura de uma barragem mais afetados em incidentes



Fonte: Autora (2022).

Outro dado analisado foi o tipo de evento ocorrido. Nesse levantamento as informações precisaram passar por uma compilação criteriosa a fim de padronizar os dados, que estão relatados nos RSBs sem nenhuma sistemática na descrição do evento. Foi possível a identificação de pelo menos um tipo de incidente para cada um dos 132 casos registrados (incidente 01) onde destes 37 apresentaram mais de um evento, sendo que 6 desses possuem um número de três eventos, conforme disponibilizado no Apêndice B, sendo nomeados pela autora estes últimos eventos como sendo incidentes 02 e 03, respectivamente. Sendo assim, o espaço amostral utilizado para elaboração da Tabela 4 foi de 175 eventos.

Observando a Tabela 4, verifica-se que foram identificados 24 tipos diferentes de registros de incidentes, onde o maior índice deles foi por galgamento da estrutura, com 43 eventos (24,57%). Nesses casos, a estrutura chegou a realizar o evento de galgar. Embora esses eventos tenham sido classificados como sendo incidentes nos RSBs, vale ressaltar que registros em barragens do tipo colapso da estrutura, ruptura, desabamento e galgamento já podem ser considerados como sendo acidentes. Contudo, como o objetivo desse estudo é usar como base os dados apresentados nos relatórios de segurança de barragens (RSBs), e neles documentos esses eventos estão definidos como sendo do tipo incidente, assim foi considerado.

Além do evento galgamento da estrutura, efetivamente ocorrido, pode-se observar que também foram registrados 19 casos (10,86%) em que foi verificado a ocorrência do evento de risco de galgamento. Ratifica-se que essa é a principal causa de ocorrência de acidentes em barragens, tal como pode ser observado no Gráfico 15 do item 5.2 desse trabalho.

Tabela 4 - Tipos de incidentes ocorridos com maior frequência

Rank	Tipo de Incidente	Qtd de Eventos	%
1	GALGAMENTO DA ESTRUTURA	43	24,57%
2	TIPO DE EVENTO NÃO IDENTIFICADO	17	9,71%
3	PERCOLAÇÃO DE ÁGUA NO MACIÇO OU SURGÊNCIAS	14	8,00%
4	PRESENÇA DE ANOMALIAS OU PATOLOGIAS	14	8,00%
5	RISCO DE ROMPIMENTO	13	7,43%
6	DESLOCAMENTO DE MATERIAL NO RESERVATÓRIO	12	6,86%
7	RISCO DE GALGAMENTO	10	5,71%
8	RÁPIDO ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO COM RISCO DE GALGAMENTO	9	5,14%
9	EROSÃO	8	4,57%
10	TRANSBORDAMENTO (LATERAL/CRISTA)	7	4,00%
11	RUPTURA (ROTACIONAL/PARCIAL)	5	2,86%
12	OBSTRUÇÃO/PRESENÇA DE VEGETAÇÃO	4	2,29%
13	PIPING	4	2,29%
14	COLAPSO DE ESTRUTURA	2	1,14%
15	INUNDAÇÃO DA CASA DE FORÇA	2	1,14%
16	ROMPIMENTO DE ELEMENTO	2	1,14%
17	VAZAMENTO DE REJEITO	2	1,14%
18	ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO	1	0,57%
19	CARREAMENTO DE SÓLIDOS DE PILHA DE REJEITOS	1	0,57%
20	DETERIORIZAÇÃO DA LAJE DE TRANSIÇÃO	1	0,57%
21	DISPARO ACIDENTAL DAS SIRENES	1	0,57%
22	ESVAZIAMENTO DE RESERVATÓRIO	1	0,57%
23	FALHA NA DRENAGEM SUPERFICIAL	1	0,57%
24	RETIRADA DE TERRA	1	0,57%
25	Total	175	100,00%

Fonte: Autora (2022).

O segundo evento com maior ocorrência é o “tipo de evento não identificado” (17 eventos). Desse número, 16 eventos foram classificados pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e não apresentavam a descrição do tipo de incidente ocorrido, apenas a sua classificação de criticidade em: gravidade desprezível, gravidade extremamente prejudicial, gravidade não identificada, gravidade prejudicial e gravidade levemente prejudicial. O outro evento (01 evento) foi identificado pela ANM (Agência Nacional de Mineração) e também não apresentou a descrição do evento, apenas a informação que houve uma declaração de emergência do tipo 2.

5.4 MODELO DE FORMULÁRIO DE COLETA DE INFORMAÇÕES SOBRE ACIDENTES E INCIDENTES EM BARRAGENS

Como já foi sinalizado anteriormente, a falta de informações, bem como de suas padronizações, no relato dos eventos de acidentes e incidentes, foram as maiores dificuldades encontradas na realização da coleta dos dados apresentados tanto nos RSBs como no SNISB, o que gerou grandes dificuldades na efetivação das análises e levantamentos estatísticos discurridos nesse trabalho.

Assim, levando-se em consideração o que foi apontado nesse estudo, foi elaborado um modelo de formulário denominado de Formulário de Coleta de Informações sobre Acidentes e Incidentes em Barragens, disponível no Apêndice C desse trabalho, com o objetivo de padronizar as informações para o relato dos eventos de acidentes e incidentes ocorridos em barragens no país, auxiliando na coleta dessas informações e propiciando estudos futuros mais acurados sobre estas obras que têm grande relevância devido aos impactos econômico, social e ambiental que podem causar no caso da ocorrência desses sinistros.

6 CONCLUSÃO

Diante dos dados levantados, esse trabalho objetivou realizar uma análise estatística sobre os acidentes e incidentes ocorridos em barragens descritos nos Relatórios de Segurança de Barragens (RSBs) elaborados pela ANA.

Partindo dessa premissa, inicialmente foram levantadas as características sobre os barramentos cadastrados no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) com o intuito de categorizá-los de acordo com o seu material constituinte.

Até o fim deste trabalho, tem-se no Brasil cadastrados 23.280 barramentos, sendo que destes apenas 7.931 (34,07%) apresentavam a informação sobre o material constituinte. Dos barramentos categorizados por material pode-se constatar que no país há uma predominância de barragens de terra, com cerca de 6.133 barramentos, o que corresponde a 77,33%.

Foram levantados os indicadores de segurança dos barramentos, sendo eles a categoria de risco e o dano potencial associado, relacionando-os com o material constituinte da barragem. Foi observado que os barramentos que possuem o maior peso na análise (os do tipo de terra) também são os que menos apresentam informações sobre a classificação na categoria de risco, pois cerca de 2.084 barramentos (33,98%) não estavam classificados para esse indicador. Quando observado o dano potencial associado ao barramento, verifica-se que cerca de 35,87% das barragens do tipo terra apresentam um alto dano potencial associado, sendo este número considerado significativo, já que estes barramentos se constituem a maior representação da amostra estudada.

Foi constatado também que menos de 9% dos barramentos possuem sua classificação quanto ao indicador NPGB, sendo esse valor muito diminuto.

Após a categorização das barragens cadastradas no SNISB foram analisados os 90 acidentes ocorridos entre os anos de 2014 a 2021, apresentados nos relatórios de segurança de barragens. Dos 90 acidentes, 51 deles (56,67%) informaram o material do barramento envolvido na ocorrência, onde 47 destes barramentos eram de terra (52,22%). Assim, pode-se afirmar que no Brasil a maioria das barragens são de terra, podendo ser homogêneas ou não. Isso significa que a maioria dos acidentes em barragens ocorrem em barragens de terra, visto que há uma maior disponibilidade desse material *in loco* e, por se tratarem de pequenos barramentos, muitos deles situados em propriedades particulares,

são executados com menor controle tecnológico, se comparado com as barragens de concreto.

Constatou-se com a realização desse trabalho, em atendimento a um dos seus objetivos, que o local mais afetado da estrutura de uma barragem devido a ocorrência de acidentes é a porção central do barramento, representando 41,38% da amostragem. Outro dado analisado foi o tipo de evento que gerou o acidente, tendo o galgamento da estrutura como o maior evento causador de acidentes, representando 49,38% da amostra, que está diretamente relacionado com a causa principal que culminou com a ocorrência do acidente que são as fortes chuvas e/ou o aumento do volume de armazenamento de água, correspondendo a 68,63%.

O plano de ação de emergência também está diretamente ligado a ocorrência de acidentes, pois nele constam as informações pertinentes de como proceder em caso de sinistros. A legislação atual exige que barramentos que apresentam características do tipo alta categoria de risco, dano potencial associado alto ou médio ou se tratar de barragem para acumulação ou disposição de rejeitos devem possuir PAE. Observando o cadastro dos barramentos, disponível no SNISB, foi constatado que 4.598 barragens devem apresentar PAE, mas desse número apenas 957 (20,81%) possuem. Analisando os 90 acidentes ocorridos entre os anos 2014 a 2021, apenas duas (2) barragens apresentam um plano de ação de emergência e precisaram acionar esse plano quando ocorreu o sinistro, sendo uma delas a barragem de rejeito de Brumadinho/MG.

Após a análise dos acidentes, foram analisados os casos de incidentes registrados nos RSBs dos anos de 2020 e 2021, totalizando 132 incidentes. Similarmente ao caso dos acidentes, o maior número de barramentos que registraram incidentes foram os do tipo de terra. Entretanto, quando foram analisados os componentes da estrutura de uma barragem que são mais afetados nos casos de incidentes, verificou uma maior variabilidade de informações, afetando predominantemente a crista e o talude, ambos com 26,67%. Os tipos de incidentes também apresentaram uma maior diversificação de informações, onde o tipo de incidente mais relatado também é o de galgamento da estrutura (24,57%).

Durante o desenvolvimento desse trabalho, percebeu-se que a falta de completude das informações publicadas nos RSBs e na base de dados do cadastro do SNISB dificultou uma análise mais criteriosa dos indicadores avaliados nessa pesquisa, limitando os dados da amostragem. Um outro item importante a destacar é a falta de padronização no registro

das informações sobre os acidentes e/ou dos incidentes ocorridos em barragens pelos órgãos fiscalizadores, responsáveis por essa atividade.

Levando-se em consideração a falta de informações disponíveis tanto nos RSBs como no SNISB, ressalta-se que podem ter ocorridos casos de acidentes e incidentes que não apresentaram todas as informações pertinentes sobre esses eventos, deixando de serem analisados e, portanto, de fazerem parte desse estudo estatístico.

Dessa forma, como produto desse trabalho, a fim de propor uma melhor gestão dos dados publicados pela ANA, devido à ausência de padronização das informações sobre acidentes e incidentes, para que possam subsidiar análises mais consistentes sobre esses eventos, foi elaborado um modelo de formulário (Apêndice C) para ser preenchido pelos órgãos fiscalizadores e empreendedores. Atualmente, a apresentação das informações sobre os acidentes e incidentes em barramentos, publicados pela ANA, cria um histórico sobre os fatos, porém ainda não permite o mapeamento dos principais problemas relacionados a esses eventos.

Durante a análise dos incidentes registrados nos RSBs foram identificadas informações interessantes sobre a ausência de descarga de fundo em alguns barramentos. Essa informação, somada à informação sobre a presença, ou não, de instrumentação nos barramentos pode ser de grande auxílio, visto que tanto os equipamentos de monitoramento (instrumentação) quanto a descarga de fundo são peças-chaves para a verificação da integridade e segurança destas obras de engenharia.

Como proposta para trabalhos futuros, recomenda-se a elaboração da análise dos incidentes que ocorreram entre os anos 2014 a 2019, bem como a análise do RSB do ano de 2022 que será publicado em 2023.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Base de Dados**. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). 2022a. Disponível em: <<https://www.snisb.gov.br>>. Acesso em: 28 junho 2022.

———. **Entenda o Relatório de Segurança de Barragens: versão síntese em linguagem simplificada**. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). 2021a. Disponível em: <[snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/RSB_LinguagemSimples](https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/RSB_LinguagemSimples)>. Acesso em: 21 setembro 2022.

———. **Relatório de Segurança de Barragens 2014**. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). 2015. Disponível em: <<https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/anteriores/2011/rsb-2011>>. Acesso em: 21 setembro 2022.

———. **Relatório de Segurança de Barragens 2015**. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). 2016. Disponível em: <<https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/anteriores>>. Acesso em: 21 setembro 2022.

———. **Relatório de Segurança de Barragens 2016**. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). 2017. Disponível em: <<https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/anteriores>>. Acesso em: 21 setembro 2022.

———. **Relatório de Segurança de Barragens 2017**. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). 2018. Disponível em: <<https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/anteriores>>. Acesso em: 21 setembro 2022.

———. **Relatório de Segurança de Barragens 2018**. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). 2019. Disponível em: <<https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/anteriores>>. Acesso em: 21 setembro 2022.

———. **Relatório de Segurança de Barragens 2019**. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). 2020. Disponível em: <<https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/anteriores>>. Acesso em: 21 setembro 2022.

———. **Relatório de Segurança de Barragens 2020**. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). 2021b. Disponível em: <<https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/anteriores>>. Acesso em: 21 setembro 2022.

———. **Relatório de Segurança de Barragens 2021**. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). 2022b. Disponível em: <<https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2021>>. Acesso em: 21 setembro 2022.

———. **RESOLUÇÃO Nº 236, de 30 de janeiro de 2017**. 2017. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2017/236-2017.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2022.

AGUIAR, Daniel Prenda de Oliveira. **Contribuição ao estudo do Índice de Segurança de Barragens - ISB**. 2014. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, Campinas, 2014. 166 f. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/02cb/5f9d70342f562103717a857681e5175260ef.pdf>>. Acesso em: 14 abril de 2022.

ALVES, Maria Eduarda Pereira. **Simulação de Rompimento de Barragens em Cascata com o Modelo MGB**. 2018. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2018. 128 f. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/196355/001095507.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 04 outubro 2022.

ARIZZI, Thaiz. **Pirâmide Bird e sua importância para a Saúde Ocupacional**. Close Care, 2019. Disponível em: <<https://blog.closecare.com.br/a-importancia-da-piramide-bird-para-a-saude-ocupacional/>>. Acesso em: 21 setembro 2022.

BRASIL. **Lei Federal Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm>. Acesso em: 14 abril de 2022.

----- . **Lei Federal Nº 14.066, de 30 de setembro de 2020**. 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14066.htm>. Acesso em: 14 abril de 2022.

CARDOZO, F. A. C.; PIMENTA, M. M.; ZINGANO, A. C. **Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração - uma revisão**. HOLOS, [S. l.], v. 8, p. 77-85, 2016. DOI: 10.15628/holos.2016.5367. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/5367>. Acesso em: 14 maio. 2022.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CNRH. Diário Oficial da União. **RESOLUÇÃO Nº 143, de 10 de julho de 2012**. 2012. Disponível em: <<https://cnrh.mdr.gov.br/resolucoes/1922-resolucao-n-143-de-10-de-julho-de2012/file>>. Acesso em: 20 maio 2022.

COSTA, M. A. F. da; COSTA, M. de F. B. da. ACIDENTE E INCIDENTE: DESMISTIFICANDO O DESCOMPASSO CONCEITUAL EXISTENTE. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S. l.], v. 8, n. 5, p. 31-51, 2022. DOI: 10.51891/rease.v8i5.5282. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/5282>. Acesso em: 16 set. 2022.

COSTA, Walter Duarte. **Geologia de barragens**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

ELETRORÁ. **Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidroelétricas**. 2003. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/geracao/Manuais%20para%20Estudos%20e%20Projetos%20de%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20Energia/Crit%C3%A9rios%20de%20Projetos.pdf>>. Acesso em: 04 outubro 2022.

FURNAS. **Usina Luiz Carlos Barreto de Carvalho**. 2022. Disponível em: <<https://www.furnas.com.br/subsecao/123/usina-luiz-carlos-barreto-de-carvalho?culture=pt#carrossel>>. Acesso em: 21 setembro 2022.

JESUS, Rafael Diegues. **Optimização da forma estrutural de uma barragem**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil com Especialização em Estruturas) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2011. 168 f. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/61502/1/000148778.pdf>>. Acesso em: 17 abril 2022.

MEDEIROS, Carlos Henrique de A. C. **Unidade 1: Diretrizes, Legislação e Regulamentação**. Curso de Segurança de Barragens (320h), 2020. Disponível em: <<http://dspace.agencia.gov.br:8080/conhecerhana/2179>>. Acesso em: 27 maio 2022.

MELLO, Flavio Miguez de; SANDRONI, Sandro Salvador; GUIDICINI, Guido. **Lições aprendidas com acidentes e incidentes em barragem e obras anexas no Brasil - Relatos**. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens, 2021. 792 p. Disponível em: <<http://cbdb.org.br/acidentes-e-incidentes>>. Acesso em: 14 abril. 2022.

NRV. **Barragem do Salineiro e Rede de Adução**. 2013. Disponível em: <<https://www.nrv-norvia.com/pt/projetos/barragem-do-salineiro-e-rede-de-aducao>>. Acesso em: 21 setembro 2022.

ODILLA, Fernanda. **Brumadinho: Quais são os tipos de barragem e por que a Vale construiu a menos segura na mina Córrego do Feijão?**. 2019. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-47048439>>. Acesso em: 14 abril 2022.

PORTAL i9 SERGIPE. **Barragem de Campo do Brito**. 2013. Disponível em: <<https://www.i9sergipe.com.br/15647/barragem-de-campo-do-brito/>>. Acesso em: 21 de setembro de 2022.

POSSAN, Edna. **Unidade 10: Barragens de Concreto**. Curso de Segurança de Barragens (320h), 2020. Disponível em: <<http://dspace.agencia.gov.br:8080/conhecerhana/2179>>. Acesso em: 27 maio 2022.

PULSAR IMAGENS. **Vista de drone da Usina Hidrelétrica do Funil única tipo abóboda com dupla curvatura Sistema Furnas Eletrobrás**. 2021. Disponível em: <<https://www.pulsarimagens.com.br/foto/foto?assunto=Vista%20de%20drone%20da%20Usina%20Hidrel%C3%A9trica%20do%20Funil%20%C3%BAnica%20tipo%20ab%C3%B3boda%20com%20dupla%20curvatura%20Sistema%20Furnas%20Eletrob&autor=171&codigo-imagem=01AVM116&codigo=448486&pagina=1&posicao=3&ordenar=1>>. Acesso em: 21 setembro 2022.

ROSSI, Carlo Lucca Coutinho Ungaretti. **Proposta de abordagem simplificada para avaliação dos efeitos oriundos da ruptura de barragens**. 2020. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2020. 214 f. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/211245>>. Acesso em: 04 outubro 2022.

SERHMA - Superintendência Especial de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. **Acervo SERHMA**, 2022.

VALE. **Vale conclui obras de descaracterização da barragem Fernandinho e da estrutura de contenção de Fábrica**. 2021. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/vale-conclui-obras-de>>

descaracterizacao-da-barragem-fernandinho-e-da-estrutura-de-contencao-de-fabrica.aspx>. Acesso em: 21 setembro 2022.

APÊNDICE A

PLANILHA DE ACIDENTES RELATADOS NOS RELATÓRIOS DE SEGURANÇA DE BARRAGEM (RSB)

Entre os anos 2014 a 2021

ANO RSB	Nome do Barramento	Empreendedor	Fiscalizador	h (m)	v (km³)	Material do Barramento	Município	UF	Data do Evento	Local Afetado	Evento 01	Evento 02	Causa 01	Causa 02	Nº de Pessoas Afetadas	Nº de Vítimas Fatais	Possui PAE	Relacionado a outro acidente?	Completeness das Informações
2021	Barragem do Pirocua	Mineração Aurizona S.A	ANM	7	0,16	Terra homogênea	Godofredo Viana	MA	25/03/2021	dique	galgamento		fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado			0	não		ALTA
2021	Barragem em Jussape	Prefeitura Municipal de Jussape	INEMA/BA	7	1,237	Alvenaria de Pedra	Jussape	BA	26/12/2021	porção central do barramento	galgamento		fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado			0	não		ALTA
2021	Barragem Quatis dos Fernandes		INEMA/BA			Terra	Vitória da Conquista	BA	25/12/2021	porção central do barramento	galgamento		fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado			0	não	sim	ALTA
2021	Barragem do Iguaí		INEMA/BA			Terra	Vitória da Conquista	BA	25/12/2021	porção central do barramento	galgamento		fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado			0	não	sim	ALTA
2021	Barragem de Goiatuba na Vila Betânia	Prefeitura Municipal de Goiatuba	SEMAD/GO	2,5	0,007	Terra homogênea	Goiatuba	GO	03/11/2021	ombreira esquerda	galgamento		modificação de estrutura de forma proposital		0	0	não		ALTA
2021	Curral de Dentro 01	Tarcísio Fernando Félix da Assenção	IGAMMG	7	0,6	Terra	Curral de Dentro	MG	28/12/2021	ombreira esquerda	galgamento	abertura de brecha ou presença de trincas e rachaduras	fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado		284	0	não	sim	ALTA
2021	Curral de Dentro 02	Luciano Félix da Assenção	IGAMMG	5	0,5	Terra	Curral de Dentro	MG	28/12/2021	porção central do barramento	galgamento		fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado		284	0	não	sim	ALTA
2021	Curral de Dentro 03	Cecília Macia Rodrigues e Lopes	IGAMMG	2	0,14	Terra e pedra argamassada	Curral de Dentro	MG	28/12/2021	junção entre materiais distintos	galgamento	abertura de brecha ou presença de trincas e rachaduras	fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado		284	0	não		ALTA
2021	Curral de Dentro 04	Arício	IGAMMG	3	0,04	Terra	Curral de Dentro	MG	28/12/2021	porção central do barramento	galgamento	abertura de brecha ou presença de trincas e rachaduras	fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado		284	0	não	sim	ALTA
2021	Curral de Dentro 05	Charles W. Fernandes	IGAMMG	3	0,04	Terra	Curral de Dentro	MG	28/12/2021	porção central do barramento	galgamento	abertura de brecha ou presença de trincas e rachaduras	fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado		284	0	não	sim	ALTA
2021	Curral de Dentro 06	Giulena	IGAMMG	3	0,06	Terra	Curral de Dentro	MG	28/12/2021	porção central do barramento	galgamento	abertura de brecha ou presença de trincas e rachaduras	fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado		284	0	não	sim	ALTA
2021	barragem Matucho	Companhia de Saneamento de Minas Gerais - Copasa	IGAMMG			Terra homogênea	Visconde de Rio Branco	MG	03/08/2021	talude lateral da barragem	Rompimento de elemento da barragem					0	não		ALTA
2021	Rompimento de comporta	José Carlos Martins	IATPR	3,5	0,023	Terra	Pirai do Sul	PR	27/10/2021	lado da comporta	Rompimento de elemento da barragem				0	0	não		ALTA
2020	PCH Serra das Agulhas	Sigma Energia S.A.	ANEEL	20,5	3,95	Terra-Enrocamento	Mangabeiras	MG	25/01/2020		galgamento		fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado			0	sim		ALTA
2020	Barragem Ban Jesus I	Engepro Engenharia Ltda	INEMA/BA			Terra	Mata de São João	BA	25/03/2020		galgamento	erosão do aterro ou talude	fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado			0	não		ALTA
2020	Barragem Sahu	Superintendência de Desenvolvimento Industrial e Comercial - SUDIC	INEMA/BA	0,01032		Terra	Simões Filho	BA	04/05/2020		galgamento	erosão do aterro ou talude	fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado			0	não		ALTA
2020	barragem Postal em Quiterianópolis	Prefeitura Municipal de Quiterianópolis	SRHCE	11	2,2	Terra homogênea	Quiterianópolis	CE	16/03/2020		galgamento	erosão do aterro ou talude	fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado	obstrução do vertedouro (vegetação/terra)		0	não	sim	ALTA
2020	Rompimento de barramentos em Hidrolândia		SRHCE			Terra homogênea	Hidrolândia	CE	25/03/2020		rompimento de açude		fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado			0	não	sim	ALTA
2020	Galgamento 1	Gusto Pontini	AGERHES	5		Terra homogênea	Rio Novo do Sul	ES	19/01/2020		galgamento	erosão do aterro ou talude	fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado		8	0	não	inconclusivo	ALTA
2020	Galgamento 2	Gusto Pontini	AGERHES	4		Terra homogênea	Rio Novo do Sul	ES	19/01/2020		galgamento	erosão do aterro ou talude	fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado		8	0	não	inconclusivo	ALTA
2020	Galgamento 3	Gusto Pontini	AGERHES	4		Terra homogênea	Rio Novo do Sul	ES	19/01/2020		galgamento	erosão do aterro ou talude	fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado			0	não		ALTA
2020	Galgamento 4	Vagner Luis Moser Vique	AGERHES	2,5		Terra homogênea	Rio Novo do Sul	ES	19/01/2020		galgamento	erosão do aterro ou talude	fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado		5	0	não		ALTA
2020	Barragem do condomínio Paquetá	Associação do Condomínio Paquetá	SEMAD/GO	6	0,027	Terra homogênea	Castilho	GO	29/01/2020	porção central do barramento	Rompimento de elemento da barragem				2 famílias	0	não	sim	ALTA

[illegible]

[illegible]

ANO RSB	Nome do Barramento	Empreendedor	Fiscalizador	h (m)	v (km³)	Material do Barramento	Município	UF	Data do Evento	Local Afetado	Evento 01	Evento 02	Causa 01	Causa 02	Nº de Pessoas Afetadas	Nº de Vítimas Fatais	Possui PAE	Relacionada a outro acidente?	Completeness das Informações
2018	barragem CGH Agronar	Grupo Bom Futuro	ANEEL	4		Terra	São José do Rio Claro	MT	04/02/2018				fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado			0			MÉDIA
2018	Fazenda Boa Sorte	DANIEL ANVERSA - FAZENDA BOA SORTE	SEMA/PA	10	0,53	Terra	Paragominas	PA	12/04/2018				fortes chuvas ou aumento do volume de água armazenado			2		sim	ALTA
2018	Rompimento de 2 barragens na Fazenda Bom Jardim	Vinícius Romano Cândido	SECIMA/GO	10	0,34	Terra	Piracanjuba	GO	23/04/2018					projeto ou execução inadequados					MÉDIA
2017	Rincho dos Kroef		SEMA/RS					RS	06/01/2017		galgamento								BAIXA
2017	Cacimba Nova	Ministério da Integração Nacional	ANA					PE	16/02/2017		Percolação pela fundação								BAIXA
2017	Barreiros	Ministério da Integração Nacional	ANA					PE	03/03/2017		Percolação pela fundação								BAIXA
2017	Lageado	Luciano Loureiro	IMASUL/MS					MS	01/12/2017		galgamento								BAIXA
2016	Fundão	Samarco S.A.	DNPM					MG	05/11/2016		piping								BAIXA
2016	Alto Grande	PM de Araci	INEMA/BA					BA	04/01/2016		galgamento								BAIXA
2016	Fazenda Felícia (2 barragens)	Alcides Bastão de Oliveira	SECIMA/GO					GO	20/02/2016										BAIXA
2016	Fazenda Guaviróva	Ivo Polinário	AGUAS PARANA.PR					PR	20/08/2016		galgamento								BAIXA
2016	Balneário Ayrton Senna		IMASUL/MS					MS			galgamento								BAIXA
2015	Barragem de Pesque-Pague		IMASUL/MS					MS	12/12/2014		galgamento								BAIXA
2015	UHE Cachoeira Caldeirão	EDP - Energias do Brasil SA	ANEEL					AP	07/05/2015		galgamento								BAIXA
2015	PCH Inxu	Inxu Geradora e Comercializadora de Energia Elétrica S/A	ANEEL					MT	06/05/2015		piping								BAIXA
2015	Propriedade de Nei Zampieri	Nei Carlos Pedro Zampieri	SDS					SC	15/07/2015		piping								BAIXA
2014	Agropecuária Buritis	Agropecuária Buritis S	SEMA/MT					MT	22/02/2014										BAIXA
2014	Fazenda Boa Vista do Urú	Sr. Rosenval Alves Moreira	SEMARH/GO					GO	05/03/2014		Galgamento								BAIXA
2014	UHE Santo Antônio do Jari	Energias do Brasil SA	ANEEL					AP	29/03/2014		Galgamento								BAIXA
2014	Vacaro	Indústria de maçãs Vacaro	SDS/SC					SC	27/06/2014		Galgamento								BAIXA
2014	B1 e B2	Mineradora Herculanô D	DNPM					MG	10/09/2014		piping								BAIXA

APÊNDICE B

PLANILHA DE INCIDENTES RELATADOS NOS RELATÓRIOS DE SEGURANÇA DE BARRAGEM (RSB)

Anos de 2020 e 2021

ANO RSB	Nome do Barramento	Material do Barramento	Data Inicial	Data Final	Local Afetado 01	Local Afetado 02	Tipo de Incidente 01	Tipo de Incidente 02	Tipo de Incidente 03
2021	barragem Brejinho Tonhão	Terra	29/12/2021		talude de jusante e/ou montante		deslocamento de material no reservatório		
2021	Barragem Parque Fazenda Monjolo e Fazenda Paiol	Terra	16/02/2021	26/02/2021	corpo da barragem		Colapso de estrutura		
2021	Barragem do Caatinga	Terra	20/02/2021	16/12/2021	vertedouro		Rápido enchimento do reservatório com risco de galgamento	risco de galgamento	
2021	Barragem Fazenda Águas Clara	Terra homogênea	07/12/2021	em andamento	crista		Colapso de estrutura		
2021	Barragem Tanque	Enrocamento	25/6/2021	25/6/2021	corpo da barragem		Percolação de água no maciço ou surgências		
2021	Barragem Brejo Grande	Terra homogênea	24/9/2021	em andamento	ombreira direita e/ou esquerda	talude de jusante e/ou montante	Percolação de água no maciço ou surgências	deslocamento de material no reservatório	ruptura (rotacional/parcial)
2021	Barragens Lago do Atalaia Montante	Terra homogênea	29/11/2021	sem info			Assoreamento do reservatório	deslocamento de material no reservatório	
2021	Barragem B4	Terra homogênea	08/12/2021	sem info		talude de jusante e/ou montante	ruptura (rotacional/parcial)	deslocamento de material no reservatório	
2021	Barragem de Crisólita	Concreto	11/12/2021	sem info	ombreira direita e/ou esquerda		ruptura (rotacional/parcial)	deslocamento de material no reservatório	
2021	Barragem B1	Terra homogênea	02/12/2021	sem info	ombreira direita e/ou esquerda	talude de jusante e/ou montante	presença de anomalias ou patologias	erosão	
2021	Barragem represa do Ricardo	Terra homogênea	19/02/2021	sem info			galgamento da estrutura		
2021	Barragem Fazendas Klem	Terra homogênea	29/04/2021	sem info	corpo da barragem		Percolação de água no maciço ou surgências		
2021	Córrego Berlin	Terra homogênea	09/02/2021	11/02/2021	talude de jusante e/ou montante		piping	risco de galgamento	
2021	Piúma Norte	Terra homogênea	12/11/2021	13/11/2021			risco de galgamento		

ANO RSB	Nome do Barramento	Material do Barramento	Data Inicial	Data Final	Local Afetado 01	Local Afetado 02	Tipo de Incidente 01	Tipo de Incidente 02	Tipo de Incidente 03
2021	Piúma Sul	Terra homogênea	12/11/2021	13/11/2021			risco de galgamento		
2021	Barragem Zanol	Terra homogênea	22/12/2021	24/12/2021			risco de galgamento		
2021	Barragem 04 Monsenhor	Terra homogênea	14/01/2021	14/01/2021	crista		galgamento da estrutura		
2021	Barragem 03 Monsenhor	Terra homogênea	14/01/2021	14/01/2021			galgamento da estrutura		
2021	Barragem 02 Monsenhor	Terra homogênea	14/01/2021	14/01/2021	área do reservatório		galgamento da estrutura		
2021	Barragem 01 Monsenhor	Terra homogênea	14/01/2021	14/01/2021	aterro do barramento		galgamento da estrutura		
2021	Barragem no leito do rio Piracanjuba	Terra homogênea	12/02/2021	12/02/2021	aterro do barramento		galgamento da estrutura		
2021	Barragem da Fazenda Laje	Terra homogênea	19/03/2021	19/03/2021			galgamento da estrutura		
2021	SEM IDENTIFICAÇÃO	Terra homogênea	25/06/2021	15/11/2021	junção (ombreira/corpo da barragem)		Percolação de água no maciço ou surgências		
2021	SEM IDENTIFICAÇÃO	Terra homogênea					falha na drenagem superficial	presença de anomalias ou patologias	
2021	SEM IDENTIFICAÇÃO	Terra	16/06/2021	27/09/2021			Risco de Rompimento	Percolação de água no maciço ou surgências	presença de anomalias ou patologias
2021	SEM IDENTIFICAÇÃO	Pedra Arrumada	01/07/2021	30/08/2021			Esvaziamento de Reservatório		
2021	Vazamento no barramento 01 – lago das garças.	Terra					Percolação de água no maciço ou surgências		
2021	Irregularidade em talude de barragem	Terra			talude de jusante e/ou montante		presença de anomalias ou patologias		

ANO RSB	Nome do Barramento	Material do Barramento	Data Inicial	Data Final	Local Afetado 01	Local Afetado 02	Tipo de Incidente 01	Tipo de Incidente 02	Tipo de Incidente 03
2021	Retirada de terra em talude de barragem				talude de jusante e/ou montante		retirada de terra		
2021	0 Risco de rompimento de tanque escavado				área do reservatório		risco de rompimento		
2021	Enchimento inesperado.	Terra	13/01/2021				Rápido enchimento do reservatório com risco de galgamento		
2021	Galgamento de barragem	Terra					galgamento da estrutura		
2021	Rachadura em parede da tomada d'água	Terra			tomada d'água		presença de anomalias ou patologias		
2021	Risco de rompimento de barragem	Terra					risco de rompimento		
2021	PCH Joasal	Alvenaria de Pedra			crista		incidente de gravidade desprezível		
2021	PCH Coronel Domiciniano.	Concreto Convencional	23/12/2021		crista		incidente de gravidade desprezível		
2021	Santa Cecília (Elevatória)	Concreto Convencional	27/12/2021		vertedouro		incidente de gravidade desprezível		
2020	Ipanema I	concreto	03/04/2020	10/07/2020	junção (ombreira/corpo da barragem)		piping	Percolação de água no maciço ou surgências	
2020	Jati	Terra	09/09/2020	21/08/2020	tomada d'água		rompimento de elemento		
2020	UHE Belo Monte		02/07/2020		Jusante do Dique		incidente levemente prejudicial		
2020	UHE Belo Monte		02/09/2020		vertedouro		incidente levemente prejudicial		
2020	UHE Belo Monte		16/04/2020		Jusante do Dique		incidente levemente prejudicial		

ANO RSB	Nome do Barramento	Material do Barramento	Data Inicial	Data Final	Local Afetado 01	Local Afetado 02	Tipo de Incidente 01	Tipo de Incidente 02	Tipo de Incidente 03
2020	PCH Coronel Dominiciliano		24/01/2020		crista		incidente de gravidade desprezível		
2020	PCH Francisco Gross		25/01/2020		talude de jusante e/ou montante		incidente levemente prejudicial		
2020	PCH Fruteiras		18/01/2020		ombreira direita e/ou esquerda		incidente levemente prejudicial		
2020	PCH Madame Denise		25/01/2020		ombreira direita e/ou esquerda		incidente levemente prejudicial		
2020	PCH Neblina		25/01/2020		crista		incidente de gravidade desprezível		
2020	PCH Passo do meio		24/07/2020		vertedouro		incidente de gravidade extremamete prejudicial		
2020	PCH Poço Fundo		12/02/2020				incidente de gravidade não identificada		
2020	PCH Vargínia		25/01/2020		vertedouro		incidente de gravidade prejudicial		
2020	PCH Verzea Alegre		25/01/2020		vertedouro		incidente de gravidade prejudicial		
2020	PCH Verde 8		19/10/2020		crista		incidente de gravidade desprezível		
2020	Barragem Santo Antônio	Terra homogênea	17/09/2020	17/09/2020			deslocamento de material no reservatório		
2020	Unidade I	Terra/Enrocamento	13/08/2020	13/08/2020	talude de jusante e/ou montante		vazamento de rejeito	erosão	
2020	Barragem 02	Terra homogênea	02/12/2020	02/12/2020	Talvegue (junto a ombreira direita)		deslocamento de material no reservatório		
2020	Barragem Pedra Lisa	Terra homogênea	25/03/2020	15/05/2020	muro-guia	ombreira direita e/ou esquerda	deslocamento de material no reservatório	erosão	

ANO RSB	Nome do Barramento	Material do Barramento	Data Inicial	Data Final	Local Afetado 01	Local Afetado 02	Tipo de Incidente 01	Tipo de Incidente 02	Tipo de Incidente 03
2020	Barragem Fazenda Palmeira	Terra	03/11/2020	03/11/2020			risco de rompimento		
2020	Barragem Rio dos Macacos	Terra	07/05/2020	11/05/2020		corpo da barragem	risco de rompimento	presença de anomalias ou patologias	
2020	Erosão do Talude	Terra homogênea	19/01/2020	23/01/2020	corpo da barragem		Percolação de água no maciço ou surgências		
2020	Barragem 1 - Fazenda Santa Cruz	Terra homogênea	20/01/2020	30/01/2020			risco de rompimento	galgamento da estrutura	
2020	Barragem Clube do Povo	Terra/Enrocamento	29/01/2020	01/02/2020		rip-rap	galgamento da estrutura	presença de anomalias ou patologias	
2020	Barragem do Bairro Campo Belo	Terra homogênea	29/01/2020	30/01/2020			galgamento da estrutura	obstrução/presença de vegetação	
2020	Barragem do Condomínio Associação do Residencial Campo Belo	Terra homogênea	29/01/2020	30/01/2020		talude de jusante e/ou montante	galgamento da estrutura		
2020	Barragem 1 - Complexo Monsenhor	Terra homogênea	29/01/2020	30/01/2020			galgamento da estrutura		
2020	Barragem 2 - Complexo Monsenhor	Terra homogênea	29/01/2020	30/01/2020			transbordamento (lateral/crista)		
2020	Barragem 3 - Complexo Monsenhor	Terra homogênea	29/01/2020	30/01/2020			galgamento da estrutura		
2020	Barragem 4 - Complexo Monsenhor	Terra homogênea	29/01/2020	30/01/2020			galgamento da estrutura		
2020	Barragem da Bica	Terra homogênea	29/01/2020	29/01/2020		talude de jusante e/ou montante	galgamento da estrutura	obstrução/presença de vegetação	erosão
2020	Barragem na Avenida Samambaia	Terra homogênea	23/02/2020	03/03/2020			galgamento da estrutura		
2020	Barragem no município de Goianira	Terra homogênea	22/04/2020	30/04/2020			risco de rompimento	galgamento da estrutura	obstrução/presença de vegetação

ANO RSB	Nome do Barramento	Material do Barramento	Data Inicial	Data Final	Local Afetado 01	Local Afetado 02	Tipo de Incidente 01	Tipo de Incidente 02	Tipo de Incidente 03
2020	Barragem ao lado do antigo frigorífico	Terra homogênea	23/03/2020	26/03/2020			galgamento da estrutura		
2020	Barragem 01 Ribeirão Cunha	Aterro de Terra Homogênea	01/02/2020	01/03/2020			galgamento da estrutura		
2020	Barragem 02 Ribeirão Lameiral	Aterro de Terra Homogênea	01/02/2020	01/03/2020			galgamento da estrutura		
2020	Barragem 02 : Pescados	Aterro de Terra Homogênea	02/02/2020	09/02/2020	crista	talude de jusante e/ou montante	transbordamento (lateral/crista)	obstrução/presença de vegetação	
2020	Barragem da Mariana	Aterro de Terra Homogênea	07/02/2020	08/02/2020	crista		risco de rompimento	transbordamento (lateral/crista)	
2020	Barragem das Palmeiras	Aterro de Terra Homogênea	07/02/2020	09/02/2020			galgamento da estrutura	transbordamento (lateral/crista)	presença de anomalias ou patologias
2020	Barragem do Parque Municipal Negrinho Carrilho	Aterro de Terra Homogênea	07/02/2020	09/02/2020			galgamento da estrutura	transbordamento (lateral/crista)	presença de anomalias ou patologias
2020	Barragem Parque Municipal Rodopiano Neves	Aterro de Terra Homogênea	04/01/2020	05/01/2020			galgamento da estrutura		
2020	Barragem Pontalina Clube	Aterro de Terra Homogênea	04/01/2020	05/01/2020			galgamento da estrutura		
2020	Barragem Chácara São Lorenzo	Aterro de Terra Homogênea	04/01/2020	05/01/2020			galgamento da estrutura		
2020	Barragem Barriguda	Terra	26/03/2020				deteriorização da laje de transição	erosão	
2020	Barragem Nilo Coelho	Alvenaria	27/03/2020	12/05/2020			risco de rompimento	erosão	
2020	Poço Grande	Alvenaria	25/03/2020	20/05/2020		vertedouro	galgamento da estrutura	erosão	
2020	Aldeia Verde	Terra	05/04/2020	07/04/2020			piping	presença de anomalias ou patologias	

ANO RSB	Nome do Barramento	Material do Barramento	Data Inicial	Data Final	Local Afetado 01	Local Afetado 02	Tipo de Incidente 01	Tipo de Incidente 02	Tipo de Incidente 03
2020	Barragem das Larajeiras	Concreto				ombreira direita e/ou esquerda	deslocamento de material no reservatório		
2020	Barragem da Estrada da Palma	Terra					presença de anomalias ou patologias		
2020	Barragem de Caatinga	Terra Compactada	29/01/2020	06/02/2020			Rápido enchimento do reservatório com risco de galgamento	risco de galgamento	
2020	Barragem de Ladainha	Terra Compactada e Concreto			talude de jusante e/ou montante		Percolação de água no maciço ou surgências		
2020	Dom Orione	Terra Compactada	24/01/2020	24/01/2020			Rápido enchimento do reservatório com risco de galgamento	risco de galgamento	
2020	Barragem do Pântano	Terra Compactada	30/05/2020	30/05/2020		vertedouro	galgamento da estrutura	erosão	
2020	Barragem Onori Francischini I	Terra	17/02/2020				galgamento da estrutura		
2020	Barragem Onori Francischini II	terra	17/02/2020		crista		galgamento da estrutura		
2020	Barragem Onori Francischini III	Terra	17/02/2020				Rápido enchimento do reservatório com risco de galgamento	risco de galgamento	
2020	Barragem Onori Francischini IV	Terra	17/02/2020				Rápido enchimento do reservatório com risco de galgamento	risco de galgamento	
2020	Barragem do lago	Terra	17/02/2020				Rápido enchimento do reservatório com risco de galgamento	risco de galgamento	
2020	Barragem Jorgem Francisco da Silva	Terra Compactada	24/01/2020	24/01/2020	crista		galgamento da estrutura		
2020	Barragem João Teixeira dos Santos Filho I	Terra Compactada	31/01/2020	31/01/2020	crista		galgamento da estrutura		
2020	Barragem João Teixeira dos Santos Filho II	Terra Compactada	31/01/2020	31/01/2020	crista		galgamento da estrutura		

ANO RSB	Nome do Barramento	Material do Barramento	Data Inicial	Data Final	Local Afetado 01	Local Afetado 02	Tipo de Incidente 01	Tipo de Incidente 02	Tipo de Incidente 03
2020	Barragem João Teixeira dos Santos Filho III	Terra Compactada	31/01/2020	31/01/2020	crista		galgamento da estrutura		
2020	Barragem João Teixeira dos Santos Filho IV	Terra Compactada	31/01/2020	31/01/2020	crista		galgamento da estrutura		
2020	Barragem João Teixeira dos Santos Filho V	Terra Compactada	31/01/2020	31/01/2020	crista		galgamento da estrutura		
2020	Barragem João Teixeira dos Santos Filho VI	Terra Compactada	31/01/2020	31/01/2020	crista		galgamento da estrutura		
2020	Barragem Joelson Camelós VII	Terra Compactada	31/01/2020	31/01/2020	crista		galgamento da estrutura		
2020	Barragem Joelson Camelós VIII	Terra Compactada	31/01/2020	31/01/2020	crista		galgamento da estrutura		
2020	Barragem Joelson Camelós IX	Terra Compactada	31/01/2020	31/01/2020	crista		galgamento da estrutura		
2020	Barragem Usina Ariadnópolis	Terra Compactada	16/04/2020		talude de jusante e/ou montante		Percolação de água no maciço ou surgências		
2020	Barragem Pesque e Pague Roberto Rocha de Paiva				talude de jusante e/ou montante		galgamento da estrutura	ruptura (rotacional/parcial)	
2020	Barragem						transbordamento (lateral/crista)		
2020	Barragem José Carlos Pereira Neto						Rápido enchimento do reservatório com risco de galgamento		
2020	Barragem Ilton Rocha de Freitas						Rápido enchimento do reservatório com risco de galgamento		
2020	Barragem Clube Bem ti vi					talude de jusante e/ou montante	deslocamento de material no reservatório	Percolação de água no maciço ou surgências	
2020	Anomalias na Estrutura da barragem	Terra Compactada	11/12/2020	11/12/2020			presença de anomalias ou patologias	risco de rompimento	

ANO RSB	Nome do Barramento	Material do Barramento	Data Inicial	Data Final	Local Afetado 01	Local Afetado 02	Tipo de Incidente 01	Tipo de Incidente 02	Tipo de Incidente 03
2020	Anomalias na Estrutura da barragem	Terra Compactada	16/03/2020				presença de anomalias ou patologias	risco de rompimento	
2020	Fazenda Gorduras	Terra Compactada	09/03/2020				ruptura (rotacional/parcial)		
2020	UHE Pitinga						Percolação de água no maciço ou surgências		
2020	Fazenda são José						risco de rompimento		
2020	Granjeiro				ensecadeira		rompimento de elemento		
2020	Jaburu I						piping		
2020	PCH São Joaquim						inundação da casa de força		
2020	Barragem no Corrego da samambaia						galgamento da estrutura		
2020	PCH Ponte Queimada I						inundação da casa de força		
2020	Sul Inferior				talude de jusante e/ou montante		deslocamento de material no reservatório		
2020	B I A Ipê				talude de jusante e/ou montante		Percolação de água no maciço ou surgências		
2020	São João Energia				talude de jusante e/ou montante		deslocamento de material no reservatório		
2020	B3/B4						carreamento de sólidos de pilha de rejeitos		
2020	Forquilhas I				ombreira direita e/ou esquerda		presença de anomalias ou patologias		

ANO RSB	Nome do Barramento	Material do Barramento	Data Inicial	Data Final	Local Afetado 01	Local Afetado 02	Tipo de Incidente 01	Tipo de Incidente 02	Tipo de Incidente 03
2020	Anglo Gold Ashanti						disparo acidental das sirenes		
2020	Barragem dos Alemães						vazamento de rejeito		
2020	Barragem Norte/Laranjeiras						declaração de emergência tipo 2		
2020	Barragem Campos e Berion				talude de jusante e/ou montante		Percolação de água no maciço ou surgências	risco de rompimento	
2020	Barragem de Moxoto						transbordamento (lateral/crista)		
2020	SEM IDENTIFICAÇÃO						galgamento da estrutura		

APÊNDICE C

MODELO DE FORMULÁRIO DE COLETA DE INFORMAÇÕES SOBRE ACIDENTES E INCIDENTES EM BARRAGENS

Formulário de Coleta de Informações sobre Acidentes e Incidentes em Barragens

*Obrigatório

1. NOME DO BARRAMENTO *

2. MUNICÍPIO/UF *

3. EMPREENDEDOR *

4. FISCALIZADOR *

5. POSSUI CADASTRO SNISB *

Marcar apenas uma oval.

☐ SIM

☐ NÃO

6. SE A RESPOSTA ANTERIOR FOI SIM. QUAL O NÚMERO DO CADASTRO SNISB?

7. QUAL O MATERIAL DO BARRAMENTO? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ CONCRETO
- ☐ ENROCAMENTO
- ☐ TERRA
- ☐ REJEITO
- ☐ ALVENARIA
- ☐ OUTRO

8. QUAL A ALTURA DO BARRAMENTO? (METROS)

9. QUAL A CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DO BARRAMENTO? (HM³)

INFORMAÇÕES SOBRE A OCORRÊNCIA

10. TIPO DE OCORRÊNCIA *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ ACIDENTE
- ☐ INCIDENTE
- ☐ NÃO IDENTIFICADO

11. O BARRAMENTO JÁ APRESENTOU OUTRO CASO DE ACIDENTE/INCIDENTE? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ SIM
- ☐ NÃO
- ☐ NÃO INFORMADO

12. DATA DE INÍCIO DA OCORRÊNCIA *

Exemplo: 7 de janeiro de 2019

13. DATA DO FIM DA OCORRÊNCIA (CASO AINDA ESTEJA EM ANDAMENTO DEIXAR EM BRANCO)

Exemplo: 7 de janeiro de 2019

14. COMO FICOU SABENDO DA OCORRÊNCIA? *

Marcar apenas uma oval.

☐ COMUNICAÇÃO DO EMPREENDEDOR

☐ NOTICIÁRIOS

☐ DEFESA CIVIL

☐ ORGÃO ESTADUAL OU MUNICIPAL

☐ Outro: _____

15. SE FOI UM ACIDENTE. QUAL O TIPO DE ACIDENTE?

Marque todas que se aplicam.

☐ ROMPIMENTO DE ELEMENTO DA BARRAGEM

☐ GALGAMENTO

☐ PIPING OU EROSÃO INTERNA

☐ ABERTURA DE BRECHA

☐ FALHA DE ELEMENTO ESTRUTURAL

☐ Outro: _____

16. SE FOI UM INCIDENTE. QUAL O TIPO DE INCIDENTE?

Marque todas que se aplicam.

- ☐ COLAPSO DA ESTRUTURA
- ☐ GALGAMENTO
- ☐ PIPING OU EROSÃO INTERNA
- ☐ DESLOCAMENTO DE MATERIAL DO RESERVATÓRIO
- ☐ ESVAZIAMENTO DO RESERVATÓRIO
- ☐ RÁPIDO ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO
- ☐ PRESENÇA DE INFILTRAÇÕES OU SURGÊNCIAS
- ☐ PRESENÇA DE ANOMALIAS OU PATOLOGIAS
- ☐ RISCO DE ROMPIMENTO
- ☐ RISCO DE GALGAMENTO
- ☐ TRANSBORDAMENTO (LATERAL OU CRISTA)
- ☐ RUPTURA
- ☐ Outro: _____

17. QUAL ELEMENTO DA BARRAGEM FOI ATINGIDO? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ TALUDE
- ☐ CRISTA
- ☐ VERTEDOURO
- ☐ OMBREIRA
- ☐ CORPO DA BARRAGEM
- ☐ ÁREA DO RESERVATÓRIO
- ☐ TOMADA D'ÁGUA
- ☐ ENSECADEIRA
- ☐ RIP-RAP
- ☐ JUNÇÃO ENTRE DOIS MATERIAIS OU ELEMENTOS
- ☐ DESCARGA DE FUNDO
- ☐ DIQUE
- ☐ COMPORTA
- ☐ Outro: _____

18. POSSUI RELAÇÃO COM OUTRO ACIDENTE/INCIDENTE ? (EFEITO CASCATA)

Marcar apenas uma oval.

- ☐ SIM
- ☐ NÃO
- ☐ NÃO INFORMADO

19. POSSÍVEL CAUSA DO EVENTO (ACIDENTE OU INCIDENTE) *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ FORTES CHUVAS OU AUMENTO DO VOLUME DE ÁGUA ARMAZENADO
- ☐ MODIFICAÇÃO DE ESTRUTURA OU DE PROJETO
- ☐ DURANTE OBRA DE RECUPERAÇÃO OU MANUTENÇÃO
- ☐ INFILTRAÇÕES, EROSOES E REDUÇÃO DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO
- ☐ ERRO NO DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA
- ☐ PROBLEMA NÃO SOLUCIONADO
- ☐ Outro: _____

20. DESCRIÇÃO DA OCORRÊNCIA *

INFORMAÇÕES ADICIONAIS

21. N° DE VITIMAS FATAIS *

22. N° DE PESSOAS ATINGIDAS *

23. PAE (PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA) *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ POSSUI E FOI AÇIONADO
- ☐ POSSUI, MAS NÃO FOI AÇIONADO
- ☐ NÃO POSSUI

24. BARRAGEM POSSUI OUTORGA? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ SIM
- ☐ NÃO
- ☐ DESCONHECIDO

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários