



## Análise de risco em barramentos

João Paulo Alves Romeu <sup>a</sup>; José Otavio Serrão Eleutério <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Aluno de Graduação em Engenharia Civil, [joao.romeu@ufms.br](mailto:joao.romeu@ufms.br)

<sup>b</sup> Professor Orientador, Doutor, [otavio.eleuterio@ufms.br](mailto:otavio.eleuterio@ufms.br)

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

---

### RESUMO

No Brasil, as barragens desempenham um papel essencial em todo o território nacional. No entanto, antes da promulgação da Lei nº 12.334, em 20 de setembro de 2010, que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), os dados relativos a essas estruturas não estavam prontamente disponíveis. Isso tornava o controle da segurança em barragens uma tarefa complicada. Durante todas as fases de construção de uma barragem, a segurança deve ser considerada desde o início do projeto. A análise de risco desempenha um papel fundamental na definição dos planos de segurança, fornecendo dados cruciais para a elaboração de um projeto seguro e capaz de resistir aos possíveis eventos identificados estatisticamente, com base nas características do local onde a obra será realizada. Isso se traduz em uma redução significativa de incidentes e no objetivo de eliminar completamente acidentes em barragens. Este artigo tem como objetivo identificar as principais causas de incidentes e acidentes em barragens no Brasil, bem como analisar a evolução da atuação dos órgãos fiscalizadores no acompanhamento do estado dessas estruturas. Através dessas medidas, busca-se garantir a segurança das barragens e proteger o meio ambiente, além de resguardar a vida e o patrimônio das comunidades que dependem dessas estruturas para diversas finalidades, como abastecimento de água e geração de energia. É fundamental que o país continue aprimorando seu sistema de regulação e monitoramento, visando evitar tragédias e assegurar o bem-estar de seus cidadãos.

**Palavras-chave:** Barragem, Análise, Incidente, Acidente.

### ABSTRACT

In Brazil, dams play an essential role throughout the national territory. However, before the enactment of Law No. 12,334 on September 20, 2010, which established the National Policy on Dam Safety and created the National System of Information on Dam Safety, data related to these structures were not readily available. This made dam safety control a challenging task. Throughout all phases of dam construction, safety must be considered from the beginning of the project. Risk analysis plays a fundamental role in defining safety plans, providing crucial data for the development of a secure project capable of withstanding statistically identified potential events, based on the site's characteristics where the construction will take place. This translates into a significant reduction in incidents and the goal of completely eliminating dam accidents. This article aims to identify the main causes of incidents and accidents in dams in Brazil, as well as analyze the evolution of the supervisory authorities' actions in monitoring the state of these structures. Through these measures, the aim is to ensure dam safety, protect the environment, and safeguard the lives and property of the communities that rely on these structures for various purposes, such as water supply and power generation. It is crucial for the country to continue improving its system of regulation and monitoring to prevent tragedies and ensure the well-being of its citizens.

**Keywords:** Dam, Analysis, Incident, Accident.

---

## 1. INTRODUÇÃO

As barragens são estruturas amplamente utilizadas em todo o mundo para armazenar água ou rejeitos provenientes de atividades humanas. No entanto, devido ao potencial de risco que essas construções representam para a vida humana e o meio ambiente, é essencial adotar planos de segurança modernos que empreguem uma análise de riscos abrangente em todos os projetos de barragens. Para tal é essencial ter uma base de dados que disponibiliza informações atualizadas sobre a situação estrutural das barragens em funcionamento ou não, para assim poder garantir que os planos de segurança estejam de acordo com a realidade.

No Brasil, as diretrizes relacionadas à construção e segurança de barragens são elaboradas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Para os empreendedores interessados na construção de barragens, a ANA fornece guias práticos que contêm as diretrizes necessárias para a elaboração de todo o projeto. No entanto, é importante observar que, mesmo após a promulgação da Lei nº 12.334 de segurança de barragens, que estabelece a responsabilidade dos órgãos de fiscalização estaduais para coletar dados das barragens em seus respectivos territórios, muitas vezes os dados não são fornecidos de forma completa à ANA. Isso resulta em uma limitação significativa no acompanhamento dessas estruturas. Para ilustrar essa questão, o último Relatório de Segurança de Barragens (RSB) produzido pela ANA em 2022 indica que, dos 23.977 barramentos cadastrados no sistema, apenas 6.382 apresentam dados completos de boa ou ótima qualidade. Ao analisar os dados disponíveis sobre a segurança das barragens no Brasil, surge uma preocupação legítima, uma vez que, apesar do grande número de barragens cadastradas, os dados não são adequados para permitir que as agências estaduais e federais classifiquem as barragens e determinem quais delas requerem um acompanhamento mais rigoroso.

A dificuldade em classificar os riscos que a barragem proporciona também é uma tarefa difícil, necessitando uma constante evolução na análise dos riscos. Nos últimos 20 anos, a comunidade dedicada à segurança de barragens passou por uma significativa transformação em sua abordagem metodológica para estudos de segurança, buscando incorporar uma análise de risco mais atualizada. Os primeiros passos dessa evolução incluíram a integração da aleatoriedade nas forças e nos comportamentos naturais nos cálculos de desempenho. Isso envolveu a consideração da

variabilidade hidrológica, das propriedades do material e das variações estatísticas nas possíveis consequências de acidentes ou falhas a jusante. (Baecher, 2016).

O objetivo desse trabalho é analisar estatisticamente o número de acidentes e incidentes e suas causas, baseado nos dados disponíveis a partir da promulgação da Lei nº 12.334 em 2010, para analisar quais foram as principais causas dos incidentes e acidentes.

Nos últimos 100 anos, aproximadamente 60% dos colapsos de barragens no mundo ocorreram devido a infiltração de água no corpo da estrutura. (Vasilieva, 2020). No Brasil, após 12 anos do primeiro relatório da ANA ser divulgado, é notável que a maioria das ocorrências nas barragens foram a erosão ocasionada principalmente por infiltração de água no maciço, ocasionando o fenômeno piping, que provoca o carreamento das partículas finas e abre vazios na estrutura. Os dados também mostram o aumento de casos em 2020, devido ao índice pluviométrico elevado. Ao analisar os relatórios anuais da ANA, um fato importante é constatado, para a grande maioria das barragens os dados da situação estrutural são insatisfatórios, isso ocorre devido à dificuldade dos agentes fiscalizadores para acessar os mais variados locais onde se encontram as estruturas. Destaca-se a importância dos relatórios, para a população ter a possibilidade de saber como os responsáveis estão tratando barragens em situação crítica.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho envolve as seguintes etapas:

- i) Revisão da literatura sobre as características dos barramentos;
- ii) Descrição das metodologias de análise de risco em barragens e barramentos, por meio de uma revisão bibliográfica em periódicos e normativas existentes;
- iii) Estudo de caso de um barramento com ocorrência de incidentes em vários relatórios da ANA;
- iv) Coleta de informações relacionadas aos dados disponibilizados pelas agências governamentais referentes a incidentes e acidentes em barragens no Brasil.

## 3. CARACTERÍSTICAS DOS BARRAMENTOS

As barragens podem ser categorizadas com base em seus materiais constituintes, resultando em quatro

principais classificações: barragens de terra, barragens de concreto, barragens de enrocamento e barragens mistas.

### 3.1 Barragens de terra

Barragens de terra são estruturas construídas com materiais terrosos, frequentemente utiliza-se o solo do próprio local de construção para reduzir os custos relacionados ao transporte de materiais. São empregadas para diversos fins, incluindo a regulação e armazenamento de água pluvial, a contenção de água de rios e a retenção de rejeitos provenientes de processos industriais. Duas estruturas se destacam no comportamento desses maciços terrosos, a fundação, que suporta toda a carga do maciço, e o corpo da barragem cuja finalidade é reter o volume de material desejado.

Barragens de terra podem ser classificadas em dois tipos: barragens de terra homogêneas, compostas quase exclusivamente por um único tipo de solo compactado; e barragens de terra zoneadas, onde solos diferentes são utilizados em sua construção, de acordo com as propriedades necessárias para as condições específicas do local.

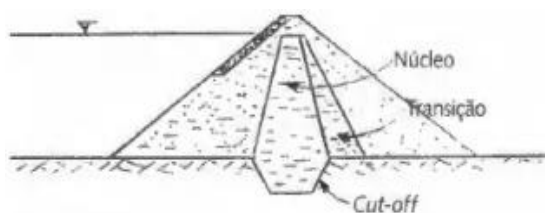


Figura 1 – Barragem de terra zoneada. Fonte: COSTA, 2012.

### 3.2 Barragens de Concreto

As barragens de concreto são estruturas compostas essencialmente por concreto, resultando da mistura de materiais granulares, cimento, aditivos químicos e água. Elas se dividem em três categorias principais:

- i) gravidade;
- ii) gravidade aliviada;
- iii) com contraforte;
- iv) com concreto rolado;
- v) com arcos.

As barragens de concreto de gravidade são blocos maciços de concreto, com uma quantidade limitada de armadura em relação ao volume de concreto. A força predominante atuante é a compressão, e sua estabilidade é garantida pelo peso próprio elevado da estrutura. (COSTA, 2012). Embora a produção seja dispendiosa devido à grande quantidade de concreto necessária, elas geralmente têm custos de manutenção mais baixos. (MARANGON, 2004).

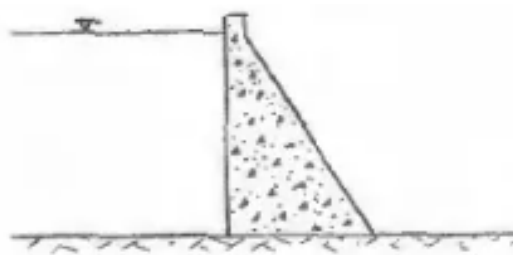


Figura 2 – barragem de concreto de gravidade. Fonte: COSTA, 2012.

Por outro lado, as barragens de concreto aliviado são estruturas de concreto não maciças e apresentam uma seção vazada para reduzir o peso próprio e o consumo de concreto. No entanto, elas experimentam forças de tração significativas, exigindo armaduras mais robustas e maior uso de aço. (COSTA, 2012). As barragens de concreto com contrafortes consistem em placas de concreto apoiadas em contrafortes, resultando em menores custos com concreto, mas maiores despesas com formas e armaduras. Já as barragens de concreto rolado, diferenciam-se em relação às barragens de gravidade com relação ao concreto que é compactado por rolos durante a aplicação. Por último as barragens de concreto tipo arco, requerem uma quantidade relativamente menor de concreto devido à sua seção esbelta, com a altura consideravelmente maior que a largura. São geralmente usadas em locais de vales com passagens estreitas.

De maneira geral, as barragens de concreto são empregadas para fins de regulação e retenção de água, seja de fontes naturais ou artificiais. Cada tipo de barragem tem suas características distintas e considerações de custo e manutenção associadas.

### 3.3 Barragens de Enrocamento

As barragens de enrocamento são separadas em duas categorias, as que contêm um núcleo impermeável, onde o material predominante é rochoso e a estanqueidade do material retido é garantida por um núcleo argiloso, que pode ficar centralizado ou inclinado na seção. Já em barragens de enrocamento de face impermeável, o material responsável por reter o fluido é aplicado na face do montante, pode ser feito com concreto ou uma chapa de aço (COSTA, 2012). As barragens de enrocamento em geral são utilizadas para fins de regularização e retenção de água de curso natural e ou artificial.

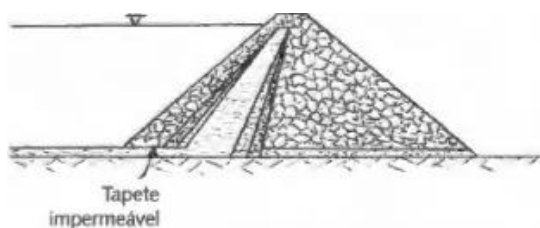


Figura 3 – Barragem de enrocamento com núcleo inclinado. Fonte: COSTA, 2012.

### 3.4 Barragens mistas

É considerada uma barragem mista, as barragens que contém em sua seção (materiais diferentes em sua seção) ou comprimento longitudinal (dois tipos ou mais de barramentos empregados). Essas barragens são empregadas conforme o projeto, viabilizando menores custos e maior eficiência. A barragem mista em geral é utilizada para fins de regularização e retenção de água de curso natural e ou artificial.

## 4. ANÁLISE DE RISCO EM BARRAMENTOS DE TERRA

Todas as estruturas são projetadas para resistir, ao longo de sua vida útil, a condições potencialmente perigosas, que geralmente resultam de falhas humanas ou, quando originadas pela natureza, são frequentemente imprevisíveis e aleatórias. No caso de uma barragem de terra, os riscos podem se originar de falhas humanas nas fases de projeto, construção ou manutenção, bem como de imprevistos relacionados a eventos climáticos que possam afetar a barragem. A natureza, por sua vez, pode representar riscos significativos, especialmente com o aumento da recorrência de eventos climáticos críticos.

De acordo com a ABNT, risco é definido como a combinação de influências e fatores internos e externos que tornam incerto o cumprimento dos objetivos estabelecidos (ABNT NBR ISO 31000:2009).

Em projetos de grande porte, como a construção de barragens de terra, os planos de segurança são absolutamente essenciais. Esses planos devem ser meticulosos e rigorosos devido aos riscos constantes que representam para a integridade da barragem, a segurança das pessoas e a preservação do meio ambiente. Ao desenvolver um plano de segurança que será seguido durante todas as fases de construção e durante a vida útil da barragem, é crucial considerar minuciosamente os riscos envolvidos.

Para barramentos de terra, a análise de risco pode ser descrita como a utilização das informações disponíveis para identificar e estimar os riscos que podem gerar danos à estrutura, às pessoas e ao meio ambiente, onde através de estudos de probabilidade

pode-se quantificar os riscos, assim associando cada risco a uma consequência (CNPGB, 2005).

As incertezas envolvidas em um projeto de barramento fazem parte da análise de risco, pois o risco trata das probabilidades ligadas às condições perigosas do barramento, e as incertezas tratam da falta de informações e da dificuldade de prever o risco. Baecher (2016), divide as incertezas em aleatórias e epistêmicas, onde as incertezas aleatórias estão ligadas a natureza, a eventos que não podemos prever sua ocorrência, como terremotos e grandes inundações, eventos que podem ocorrer independentemente do que as pessoas sabem ou não sabem. Já as incertezas epistêmicas, Baecher (2016) define como incertezas na mente, a falta de conhecimento devido à falta de dados, gerando falhas na caracterização de modelos responsáveis por analisar riscos e seus possíveis danos.

No Brasil, a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). De acordo com o artigo 7º dessa lei, cuja redação foi atualizada pela Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020, as barragens devem ser classificadas pelos agentes fiscalizadores com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

O primeiro parágrafo do artigo 7º especifica que a classificação por categoria de risco (CRI) deve considerar as características técnicas, os métodos construtivos, o estado de conservação, a idade do empreendimento e o atendimento ao Plano de Segurança da Barragem, além de outros critérios definidos pelo órgão fiscalizador. Esta classificação resulta em três categorias: alto, médio ou baixo. O segundo parágrafo define que a classificação por categoria de dano potencial associado (DPA) deve ser feita com base no potencial de perdas de vidas humanas e nos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes de uma ruptura da barragem, também resultando nas categorias alto, médio ou baixo.

Através da Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012, publicada no Diário Oficial da União (DOU), o CNRH fornece uma metodologia para determinar o CRI e o DPA utilizando matrizes de classificação. Os coeficientes dessas matrizes variam de acordo com a característica de utilização da barragem. As equações 1 e 2 são utilizadas para calcular o CRI e o DPA, respectivamente:

$$CRI = CT + EC + PS$$

Onde:

CT = características técnicas;

EC = estado de conservação;

PS = plano de segurança de barragens.

$$DPA = \sum \text{coeficientes da matriz}$$

Para classificar a barragem de acordo com seu CRI e DPA, o CNRH disponibiliza as seguintes relações apresentadas na tabela 1.

Classificação de segurança da barragem	
Categoria de risco	CRI
Alto	$\geq 60$ ou $EC = 8$
Médio	35 a 60
Baixo	$\leq 35$
Dano potencial associado	DPA
Alto	$\geq 16$
Médio	$10 < DPA < 16$
Baixo	$\leq 10$

Tabela 1: Faixas de classificação. Fonte: adaptado de BRASIL, 2012, p. 151.

#### 4.1 RECOMENDAÇÕES DA ANA PARA O CONTROLE DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

Nas Diretrizes para a Elaboração de Projetos de Barragens, a ANA estabelece instruções para a elaboração de um plano de monitoramento e instrumentação de barragens, esse plano deve ser baseado nas grandezas que devem ser monitoradas. As seguintes disposições para a elaboração de um plano de monitoramento são fornecidas

- i) Justificar a escolha das grandezas em função das ações que a ocasionam, bem como os efeitos dessas ações nas estruturas;
- ii) Especificar os instrumentos a serem utilizados, indicando em projeto a localização de implantação de cada instrumento;
- iii) Estabelecer procedimentos para a coleta e trabalho dos dados obtidos nos instrumentos;
- iv) Indicar a frequência em que os dados devem ser coletados durante a vida útil da estrutura;
- v) Estabelecer os procedimentos para garantir a funcionalidade dos instrumentos durante seu uso.

Para barragens de terra de altura superior a 100 m a tabela 2 apresenta quais os instrumentos mais comuns a serem utilizados para monitorar determinada grandeza de acordo com a ANA

Grandeza	Instrumentos comuns
Poropressões no aterro	Piezômetros hidráulicos, pneumáticos e elétricos
Recalques do aterro	Medidores de recalque inclinômetro
Deslocamentos superficiais	Marcos geodésicos
Subpressões na fundação	Piezômetros de fundação
Vazões de percolação	Medidores de vazão
Carreamento de material por percolação	Medidores de turbidez
Pressões totais e poropressões nas interfaces	Células de pressão total e piezômetros hidráulicos, elétricos ou pneumáticos

Tabela 2: Instrumentos comuns. Fonte: Diretrizes Para Elaboração de Projetos de Barragens. -- Brasília: ANA, 2016.

#### 4.2 IMPORTÂNCIA DA ANÁLISE DE RISCO EM OBRAS DE GRANDE PORTE

Projetos de grande porte demandam a criação de planos de segurança minuciosamente elaborados, visto que qualquer falha pode representar riscos à vida das pessoas, à infraestrutura circundante e ao meio ambiente. No contexto de uma barragem, é imperativo realizar uma análise abrangente dos riscos que ameaçam a integridade da estrutura. Essa análise deve ser detalhada e minuciosa para determinar os fatores de segurança aplicados nos cálculos e estimativas na fase de planejamento, com o objetivo de prever como a estrutura responderá a eventos perigosos e como as condições de trabalho e exposição afetarão sua vida útil. Falhas em obras de grande porte devem ser evitadas a todo custo, uma vez que, para além das perdas econômicas, os danos ao meio ambiente e as perdas de vidas humanas são de valor inestimável e irrecuperável.

O próprio conceito de 'risco' implica na probabilidade de ocorrência de eventos, que podem ser resultado de diversos fatores, isolados ou em conjunto, criando condições perigosas que precisam ser devidamente consideradas. Durante a fase de elaboração de projetos de grande porte, esses riscos são identificados e tratados em uma análise de riscos. Esta análise visa compreender todas as situações possíveis que poderiam comprometer a integridade da obra, bem como estimar a frequência com que essas situações podem ocorrer. Por exemplo, em um caso de barragem de terra, a análise de riscos pode revelar que a probabilidade de uma inundação

causada por chuvas ocorrer a cada cinco anos. A análise de riscos desempenha um papel fundamental na elaboração dos planos de segurança e projetos.

### 4.3 MENSURAÇÃO DE RISCO COM BASE NOS DADOS DA ANA

A fim de realizar a caracterização das condições de segurança em um barramento de terra, seguindo as diretrizes de segurança estabelecidas pelo PNSB no Brasil, iremos analisar o caso do barramento Jaburu 1 (Figura 4), do empreendedor COGERH, em operação para controle de vazão, essa barragem fica no município de Ubajara - CE, sendo seu maciço constituído de terra, segundo o RSB retem atualmente 138,12 hm<sup>3</sup> de água, possui DPA e CRI alto, possui um plano de segurança e um PAE, ela está entre as 119 barragens que preocupam a ANA segundo o relatório de 2022, preocupa a agencia devido a ocorrência de percolação no maciço da fundação e erosão regressiva no canal de restituição do vertedouro da barragem. Em 2019, foram realizados serviços de injeção de calda de cimento para conter a percolação. No ano seguinte, em 2020, ocorreu um novo evento de percolação. Em 2021, houve um aumento constatado na percolação. No final desse ano e no início de 2022, foi desenvolvido um projeto e conduzida uma nova campanha de injeções de calda de cimento na fundação da barragem, com perfurações feitas a partir da crista. Durante todo o ano de 2022, a barragem permaneceu sujeita a monitoramento diário quanto à percolação e ao carreamento de material pela fundação. Além disso, encontra-se em fase de desenvolvimento um projeto para reforço estrutural e melhoria na drenagem a jusante, a fim de controlar a percolação na fundação. Também foi elaborado um projeto de recuperação do canal de restituição, que, no entanto, depende de financiamento para a execução das obras no vertedouro.



Figura 4 - Reservatório Jaburu 1, 3°51'53"S 41°06'53"W. Google Earth, 2023.

Todas as barragens de terra e enrocamento enfrentam o desafio da percolação em seus maciços, fundações e ombreiras. Controlar a percolação é essencial para prevenir subpressões excessivas, a

instabilidade do talude a jusante, a possibilidade de piping através do maciço e/ou da fundação, bem como a erosão do material devido à migração por meio de juntas abertas nas fundações e ombreiras. Quando realizamos obras paliativas em estruturas desse tipo, a análise de riscos deve levar em consideração o histórico da obra, a compreensão das características da fundação e do maciço, bem como a avaliação de eventos futuros, como sismos ou o evento mais provável na região, como fortes chuvas sobrecarregando o sistema.

No caso específico da Barragem Jaburu 1, seu maciço está localizado em uma área de solo sedimentar, onde predominam rochas areníticas, que são mais suscetíveis à percolação e à formação de cavernas.(Sousa, 2013). Em uma recente entrevista, o engenheiro Francisco Teixeira, na ocasião, diretor da Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) do governo do Estado do Ceará, destacou a necessidade de maior atenção para a barragem, uma vez que ela se aproxima do seu quinquagésimo aniversário. Devido à geologia local, Teixeira ressaltou que estão em andamento intervenções para reforçar a estrutura da barragem, com a ANA acompanhando de perto a fiscalização dessas ações.

## 5. ESTATÍSTICAS DE ACIDENTES E INCIDENTES EM BARRAMENTOS

Na última década, a sociedade brasileira tem sido despertada para a preocupação com a segurança de barragens devido a grandes acidentes que ocorreram. Dois eventos notáveis incluem o colapso da barragem do Fundão em 2015 e o desastre na barragem da Mina Córrego do Feijão em 2019. Ambas as barragens eram usadas para conter rejeitos resultantes de atividades mineradoras. A ANA fica responsável por realizar o relatório anual de segurança das barragens (RSB) que se enquadram, o relatório utiliza os dados coletados pelo PNSB, com esse relatório é possível saber quais barramentos precisam de mais atenção. Segundo o último relatório entregue em 2022, 23977 barragens estão cadastradas no sistema da ANA, desse total 1235 estão classificadas com DPA e CRI alto, sendo que 119 barragens são consideradas críticas e preocupam o órgão fiscalizador. Desde que o PNSB foi instaurado pela lei 12.334 (2010), os dados de acidentes e incidentes relatados ao órgão são apresentados no RSB.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Das 119 barragens que preocupam os órgãos fiscalizadores de acordo com o último relatório disponibilizado pela ANA, temos a classificação quanto ao material na tabela 3 e figura 5, nota-se que as barragens de terra são as que mais apresentam motivos para chamar a atenção dos órgãos

fiscalizadores, mas isso se deve também ao fato de que esse tipo de barragem é a mais empregada no país.

Tipo de barragem	Quantidade
Terra	57
Sem informação	49
Alvenaria	6
Terra - enrocamento	3
Concreto convencional	3
Enrocamento	1

Tabela 3 - Tipo de material. Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2022 /Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - Brasília: ANA, 2011 - 2023

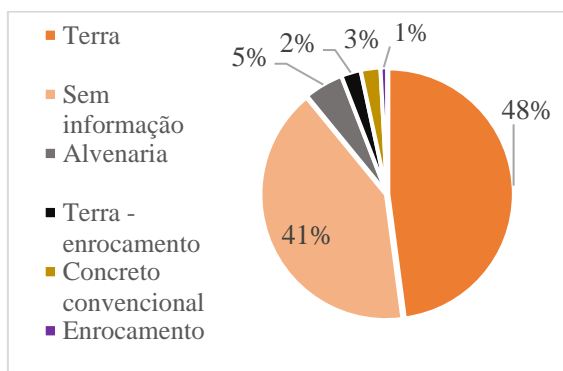


Figura 5 - Tipo de material. Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2022 /Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - Brasília: ANA, 2011 - 2023.

Ao analisar o relatório de 2022, podemos quantificar a quantidade de barragens preocupantes por estado, conforme ilustrado na tabela 4 e na figura 6. O estado do Pará despontou como o que apresentou o maior número de barragens em situação crítica, principalmente devido à presença de patologias, muitas vezes agravada pela falta de dados confiáveis. Isso ocorre em grande parte devido à inacessibilidade desses locais para os fiscais responsáveis pela monitorização. Vale ressaltar que muitas barragens em estados com poucos preocupantes carecem de dados, carecem de estudos geotécnicos na etapa de projetos, então mesmo não constando na lista de barragens que preocupam a agência, são barragens que exigem atenção.

A coluna 4 da tabela 4 apresenta a relação, expressa em porcentagem, entre a quantidade de barragens preocupantes e o total de barragens cadastradas por estado. Esse dado permite avaliar de forma normalizada um índice de barragens preocupantes por estado.

Estado (UF)	Barragens cadastradas	Barragens que preocupam	% barragens que preocupam
PA	547	35	6,40%
MG	1101	14	1,27%
PE	502	13	2,59%
RS	10106	10	0,10%
ES	601	9	1,50%
CE	386	5	1,30%
GO	1132	5	0,44%
SP	844	5	0,59%
AP	43	3	6,98%
MA	101	3	2,97%
RN	756	3	0,40%
TO	894	3	0,34%
BA	789	2	0,25%
DF	136	2	1,47%
PI	63	2	3,17%
RJ	87	2	2,30%
AC	359	1	0,28%
AL	147	1	0,68%
MS	1894	1	0,05%

Tabela 4 - Barragens preocupantes por estado. Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2022 /Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - Brasília: ANA, 2011 - 2023

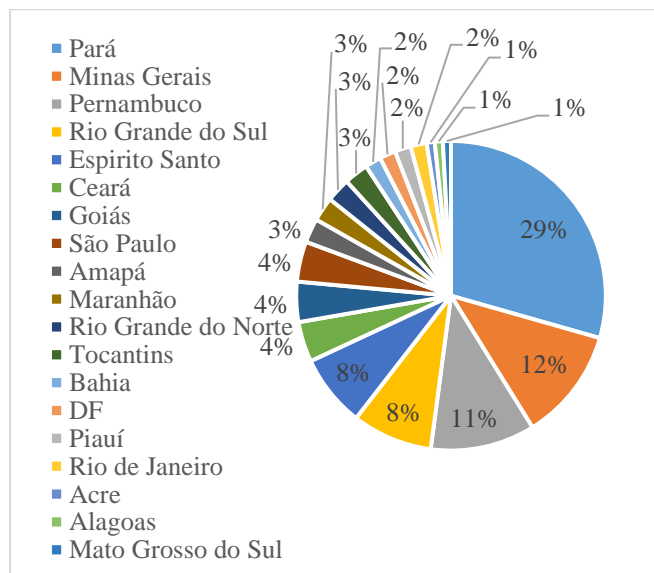


Figura 6 - Porcentagem de barragens que preocupam por estado. Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2022 /Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - Brasília: ANA, 2011 - 2023.

A ANA disponibiliza dados sobre os problemas observados em incidentes e acidentes nas barragens preocupantes, dados estes estão apresentados na Tabela 5. Notavelmente, a erosão do talude desponta como a ocorrência mais frequente. Esse fenômeno complexo resulta da interação de diversos fatores que também são relatados de forma isolada, como galgamentos, vegetação inadequada, e piping causado por percolação de água no maciço, entre outros, culminando no desprendimento e arrastamento de material do maciço da barragem.

Causa	Ocorrência
Erosão do talude	48
Vegetação inadequada	37
Ruptura de talude	32
Apresentando anomalias	27
Percolação	26
Irregular	20
vertedouro obstruído	15
Falta de dados	11
Erro de projeto e execução	11
Recalque do maciço	10
Falta de cobertura vegetal	10
Em processo de regularização	6
Abandonada	3
Galgamento	3
Método construtivo preocupa	3
Estabilidade não atestada	3
Acúmulo de água na jusante	1
Estruturas irregulares construídas sob a barragem	1

Tabela 5 – Ocorrências em incidentes a acidentes nas barragens que preocupam. Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2022 /Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - Brasília: ANA, 2011 - 2023.

Em 2020, observamos um significativo aumento no número de rompimentos de barragens no Brasil, conforme indicado na figura 7. Essa tendência pode ser atribuída, em grande parte, às elevadas precipitações ocorridas naquele ano, juntamente com as alterações no sistema de fiscalização, que resultaram do acidente ocorrido na Mina Córrego do Feijão em 2019. Em 2020, os estados de Minas Gerais e Goiás lideraram as estatísticas ao registrarem o maior número de rompimentos de barragens, como ilustrado na tabela 6 figura 8.

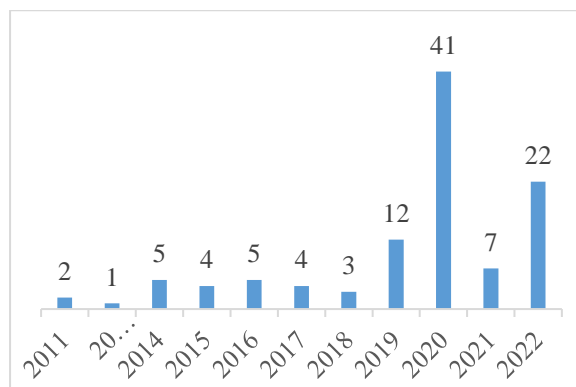


Figura 7 - Rompimentos no período 2011 – 2020. Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2022 /Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - Brasília: ANA, 2011 - 2023.

Estado (UF)	Rompimentos
MG	14
GO	10
ES	5
PE	5
CE	3
BA	2
SC	2
AP	1
PB	1
RN	1
RJ	1

Tabela 6 – Rompimentos por estado em 2020. Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2022 /Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - Brasília: ANA, 2011 - 2023.

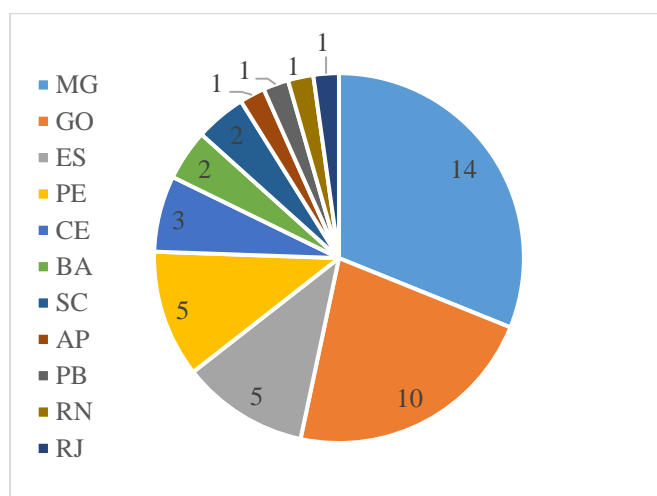


Figura 10 - Rompimentos por estado em 2020. Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2022 /Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - Brasília: ANA, 2011 - 2023.



## 7. CONCLUSÃO

Em resumo, esta análise de risco em barramentos, com foco especial em barragens de terra, revela a importância crucial da fiscalização e monitorização contínuas dessas estruturas em nosso país. As agências reguladoras desempenham um papel vital nesse processo e os relatórios anuais que apresentam oferecem insights valiosos sobre a segurança dessas estruturas.

Além disso, a aplicação da análise probabilista de acidentes em barragens fornece uma abordagem fundamentada e holística para avaliar os riscos associados a essas estruturas. Esse método, com seu foco na probabilidade de ocorrência de incidentes, auxilia na identificação de áreas críticas que exigem atenção imediata.

Por fim, não podemos subestimar o impacto dos trágicos acidentes envolvendo barragens em Minas Gerais na conscientização da sociedade sobre a importância da segurança dessas estruturas. Esses eventos serviram como catalisadores para um aumento substancial no interesse público pela necessidade de maior transparência e responsabilidade na gestão de barragens. À medida que continuamos a avançar, é imperativo que todas as partes interessadas, incluindo o governo, as agências reguladoras, a indústria e a sociedade em geral, permaneçam comprometidas em garantir a segurança das barragens. Somente por meio da colaboração, da aplicação de métodos robustos de análise de risco e da transparência nos dados sobre a situação das barragens, podemos garantir que os barramentos permaneçam seguros em todo o Brasil.

## 8. REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2011 / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2013.

Agência Nacional de Águas (Brasil). Relatório de Segurança de Barragens 2012-2013 / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2015.

Agência Nacional de Águas (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2014 / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2015.

Agência Nacional de Águas (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2015 / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2016.

Agência Nacional de Águas (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2016 / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2017

Agência Nacional do Águas (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2017 / Agência Nacional de Águas. – Brasília : ANA, 2018.

Agência Nacional de Águas (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2018 / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2019.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2019 / Agência Nacional de Águas e Saneamento básico. -- Brasília: ANA, 2020.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2020 / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - - Brasília: ANA, 2021.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2021 / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. – Brasília : ANA, 2022.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Relatório de segurança de barragens 2022 / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - - Brasília: ANA, 2023.

Agência Nacional de Águas (Brasil). Diretrizes Para Elaboração de Projetos de Barragens. – Brasília: ANA, 2016.

Agência Nacional de Águas (Brasil). Diretrizes para a construção de barragens. – Brasília: ANA, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 31000: Gestão de riscos - Diretrizes. Rio de Janeiro, p.17. 2009.

BAECHER, Gregory B. Uncertainty in dam safety risk analysis. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, v. 10, n. 2, p. 92-108, 2016. DOI: 10.1080/17499518.2015.1102293

SOUSA, L. N. Avaliação do comportamento da fundação de barragem em Rocha Arenítica: estudo de caso da Barragem Jaburu I. 2014. 97 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão de Recursos Hídricos)-Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

VASILIEVA, E., & Fedorov, V. The improvement of safety and reliability of Ground dams and small pond dams. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 962. 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042015.

BRASIL. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967

(Código de Mineração). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 01 de outubro de 2020, P. 3.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 de setembro de 2010, P. 1.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012. Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Diário Oficial da União: seção 1. p. 149. Brasília, DF, 13 jul. 2012. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=107&data=04/09/2012>>. Acesso em: 10 jun. 2024.

COSTA, Walter Duarte da. Geologia de Barragens. – São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

MARANGON, Márcio. Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2004.

SERPA, E. Atenção! Açude Jaburu sob cuidados especiais da engenharia. Diário do Nordeste. Ceará, 31 de março de 2022. Disponível em: <<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/opiniaao/colunistas/egidio-serpa/atencao-acude-jaburu-sob-cuidados-especiais-da-engenharia-1.3211328>>. Acesso em: 10 de setembro de 2023.