

Pós-Graduação

Segurança de Processos



SEGURANÇA DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE ÁGUA À LUZ DO SISTEMA DE GESTÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSO BASEADO EM RISCOS

Alyson A. Vivan, Jorge Alberto R. de Castro, Juliana M. Valpassos, Luiz Claudio Silva e Renato C. B. Cid

RESUMO

Este trabalho apresenta os critérios de classificação nacional de barragens de contenção de água no Brasil e sua correlação com os riscos e danos potenciais a fim de avaliar a gestão de segurança de barragens de contenção de água no Brasil à luz do sistema de gestão de Segurança de Processo Baseado em Riscos (RBPS, do CCPS), visando contribuir com sugestões para o seu aprimoramento, pois a aplicação do RBPS ao contexto das barragens ajuda a criar um ambiente de gestão proativa. Este trabalho proporciona uma análise abrangente sobre barragens de contenção de água, abordando diversos dos seus aspectos, em especial a prevenção contra acidentes, que neste contexto corresponde à liberação incontrolável do conteúdo do reservatório ocasionado por um colapso parcial ou total da barragem ou de alguma estrutura anexa. O trabalho está suportado por uma revisão narrativa baseada em conteúdo nacional e estrangeiro proveniente de livros, artigos acadêmicos, legislação e documentos de agências reguladoras e comitês de barragens publicados preferencialmente nos últimos dez anos. Apresenta aspectos gerais das barragens brasileiras; compara os conceitos de segurança de barragem no Brasil e no mundo; identifica as causas e consequências mais frequentes dos acidentes num intervalo de 10 anos no Brasil. Ao comparar seus elementos de gestão de segurança, as lacunas e as melhorias potenciais apresentadas neste trabalho, tais como a integração de elementos de gestão ausentes na PNSB; a utilização intensiva dos guias de boas práticas da PNSB como ferramentas fundamentais na gestão de segurança de barragens; e o refinamento do elemento de gestão "Comunicação com as Partes Interessadas", representam informações valiosas para gestores de barragens e para formuladores de políticas públicas no Brasil, catalisando mudanças positivas que contribuem para um ambiente mais seguro e sustentável.

Palavras-chave: Barragens de contenção de água. Segurança de barragens. Acidentes de barragens. Classificação de barragens. Segurança de processo baseado em riscos.

ABSTRACT

This work presents the national classification criteria and their correlation with risks and potential damages and aims to evaluate the safety management of water containment dams in Brazil considering the Risk-Based Process Safety management system (RBPS, from CCPS), aiming to contribute with suggestions for its improvement, as the application of the RBPS to the context of dams helps to create an environment of pro-active management. This work provides a comprehensive analysis of water containment dams, addressing several of their aspects, in particular accident prevention, which in this context corresponds to the uncontrollable release of reservoir contents caused by a partial or total collapse of the dam or some structure attached. The work is supported by a narrative review based on national and foreign content from books, academic articles, legislation and documents from regulatory agencies and dam committees published preferably in the last ten years. Presents general aspects of Brazilian dams; compares dam safety concepts in Brazil and around the world; identifies the most frequent causes and consequences of accidents over a 10-year period in Brazil. When comparing their safety management elements, the gaps and potential improvements highlighted in this study, such as the integration of management elements absent in the PNSB; the intensive use of the PNSB's best practice guides as fundamental tools in dam safety management; and the refinement of the management element "Communication with Stakeholders", represent valuable insights for dam managers and public policy formulators in Brazil. These findings catalyze positive changes contributing to a safer and more sustainable environment.

Keywords: *Water containment dams. Dam safety. Dam accidents. Classification of dams. Risk-based process safety.*

1. INTRODUÇÃO

Algumas invenções ajudaram sobremaneira a evolução da humanidade, dentre as quais se destacam as barragens para armazenamento de água. Tais construções possibilitaram uma melhor qualidade de vida, pois dispor de água é uma condição básica para uma sociedade se desenvolver.

Embora inequívoco que as barragens de contenção de água sejam estruturas importantes para a gestão e utilização dos recursos hídricos de uma nação, elas envolvem riscos e impactos, pois já ao serem construídas demandam o alagamento de grandes áreas para a formação do reservatório, impactando a flora, a fauna, a relocação de comunidades etc. Além disso, elas podem liberar acidentalmente grandes massas de água em curto tempo, levando a consequências humanas, ambientais, sociais e patrimoniais muito severas, o que torna fundamental a implementação de medidas de segurança e fiscalização adequadas (SILVA, L. C et al; 2023).

Em virtude deste risco e impacto potencial, é interessante verificar se as ferramentas de gestão dos riscos de ruptura de barragens são adequadas e o quão alinhadas estão com outros sistemas reconhecidamente maduros no mundo, como exemplo a indústria Química e Petroquímica.

Ao comparar os elementos de gestão de segurança de barragens com o Segurança de Processo baseado em Riscos (RBPS) do CCPS, as lacunas e as melhorias potenciais apresentadas neste trabalho representam informações valiosas para gestores de barragens e para formuladores de políticas públicas no Brasil, catalisando mudanças positivas que podem contribuir para um ambiente mais seguro e sustentável.

A justificativa para aplicar a comparação entre a gestão de barragens requerida pela Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e o Risk Based Process Safety (RBPS) do CCPS é baseada na:

- a) **Ampla aplicabilidade do RBPS:** O RBPS, originado em 1998 com base na gestão de segurança de processo (PSM) do CCPS, transcendeu seu escopo original e se tornou uma referência abrangente para diversas indústrias. Sua aplicabilidade generalizada e reconhecimento internacional o tornam uma ferramenta robusta e adaptável para a análise de segurança em diferentes contextos.

- b) **Enfoque abrangente de segurança:** O RBPS aborda não apenas aspectos técnicos, mas também culturais e organizacionais relacionados à segurança. Isso o diferencia como uma abordagem holística que vai além de meros requisitos regulamentares, contribuindo para uma gestão de riscos mais eficaz e uma cultura de segurança mais sólida.
- c) **Reconhecimento internacional do CCPS:** O prestígio do CCPS, bem como o reconhecimento internacional do RBPS, valida sua credibilidade como uma referência confiável em gestão de segurança.
- d) **Aplicação prática em setores afins:** O fato de que o RBPS é seguido por indústrias químicas, petroquímicas e petroleiras sugere sua aplicação prática em setores que compartilham semelhanças em termos de riscos e complexidades operacionais. Essa experiência prática pode ser transferida para a gestão de barragens, proporcionando insights valiosos.
- e) **Abordagem de risco baseada em princípios:** O RBPS possui uma abordagem baseada em princípios de gestão de risco, o que se alinha com a necessidade de uma análise de segurança de barragens centrada no gerenciamento de riscos. Isso facilita a identificação de lacunas e áreas de melhoria na gestão de barragens.
- f) **Consideração do ICOLD e seus membros:** A escolha pelo RBPS para o objetivo deste trabalho não exclui a consideração de outras abordagens e padrões relevantes, como os do ICOLD e seus membros.

Em resumo, a aplicação do RBPS neste trabalho é justificada pela sua adaptabilidade, abordagem abrangente de segurança, reconhecimento internacional, e aplicação prática em setores afins.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar a gestão de segurança de barragens de contenção de água no Brasil à luz do sistema de gestão de Segurança de Processo Baseado em Riscos (RBPS, do CCPS) a fim de apresentar sugestões de aprimoramento do sistema de gestão de segurança de barragens de contenção de água no Brasil.

1.2 Objetivos Específicos

- a) Apresentar os aspectos gerais das barragens brasileiras.
- b) Apresentar e comparar os conceitos de segurança de barragem no Brasil e no mundo.
- c) Identificar as causas e consequências mais frequentes dos acidentes com barragens de contenção de água ocorridos nos últimos 10 anos no Brasil.
- d) Apresentar os critérios de classificação de barragens, e sua correlação com os riscos e danos potenciais.
- e) Comparar os instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens do Brasil (PNSB) com o sistema de gestão de Segurança de Processo Baseado em Risco (RBPS, do CCPS).
- f) Avaliar a gestão de segurança de barragens de contenção de água no Brasil à luz destes dois sistemas de gestão.
- g) Apresentar sugestões de aprimoramento do sistema de gestão de segurança de barragens de contenção de água.

2. METODOLOGIA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) adotou a metodologia de revisão narrativa, abrangendo fontes nacionais e estrangeiras.

Para alcançar uma análise abrangente e fundamentada, foi conduzida uma busca sistemática de literatura em diversas bases de dados, entre elas destacam-se o Google Acadêmico, o portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Biblioteca do SENAI, a legislação brasileira, agências reguladoras nacionais, o Sistema Nacional de Informações de Segurança de Barragens (SNISB), o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), o *Center for Chemical Process Safety* (CCPS), a *Federal Emergency Management Agency* (FEMA), o *International Commission on Large Dams* (ICOLD), o *US Bureau of Reclamation* (USBR) e o *US Army Corps of Engineers* (USACE).

A metodologia adotada buscou uma abordagem abrangente e atualizada sobre o tema proposto, incorporando perspectivas nacionais e internacionais para enriquecer a análise crítica, assim como embasar as conclusões do trabalho e permitir sua reprodutibilidade. A Tabela 1 apresenta o resultado esperado para cada objetivo específico:

Tabela 1 – Resultados esperados por objetivo específico

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	RESULTADOS ESPERADOS
Apresentar os aspectos gerais das barragens brasileiras.	Conhecer o que é uma barragem; seus principais componentes; suas aplicações mais usuais no Brasil; os tipos de materiais de construção mais frequentemente aplicados; o quanto as barragens utilizadas para a contenção de água representam do total inventariado do Brasil, bem como a sua distribuição.
Apresentar e comparar os conceitos de segurança de barragem no Brasil e no mundo.	Obter uma visão geral sobre o conceito e algumas diferentes abordagens de segurança de barragens e seus objetivos, abordando eventuais convergências e especificidades relevante.
Identificar as causas e consequências mais frequentes dos acidentes com barragens de contenção de água ocorridos nos últimos 10 anos no Brasil.	Conhecer alguns dos grandes acidentes históricos de barragens de contenção de água no mundo; conhecer os resultados estatísticos dos acidentes de barragens na última década no Brasil; destacar as causas e as consequências mais comuns destes acidentes, e analisar criticamente tais resultados.
Apresentar os critérios de classificação e sua correlação com os riscos e danos potenciais.	Apresentar exemplos de marcos regulatórios de diferentes países, e compará-los ao modelo brasileiro; no contexto brasileiro, apresentar os critérios para a classificação de barragens por categoria de risco (CRI), dano potencial associado (DPA), volume, Nível de Perigo e Nível de Perigo Global (NPGGB), bem como os requisitos que derivam desta classificação.

(Continuação)

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	RESULTADOS ESPERADOS
Comparar os instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens do Brasil (PNSB) com o sistema de gestão de Segurança de Processo Baseado em Risco (RBPS, do CCPS).	Apresentar os instrumentos da PNSB e os elementos do RBPS e compará-los.
Avaliar a gestão de segurança de barragens de contenção de água no Brasil à luz destes dois sistemas de gestão.	A partir da comparação entre os sistemas de gestão, identificar possíveis aplicações do RBPS à gestão de segurança de barragens no Brasil.
Apresentar sugestões de aprimoramento do sistema de gestão de segurança de barragens de contenção de água.	A partir da identificação das possíveis aplicações do RBPS à gestão de segurança de barragens no Brasil, propor sugestões de aprimoramento e identificar seus benefícios.

Fonte: Autores, 2023.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

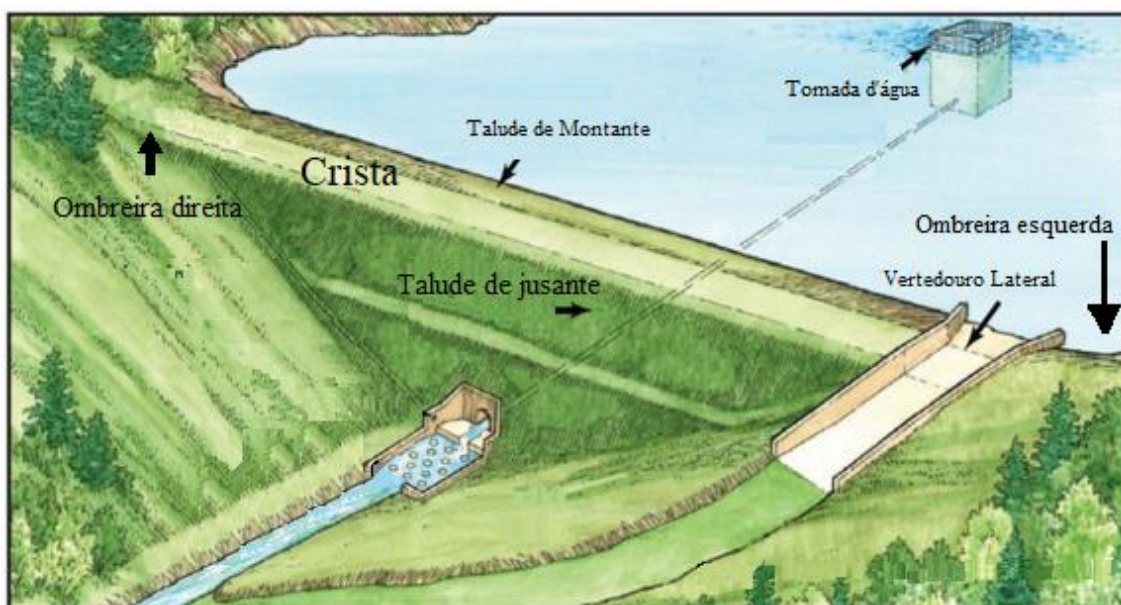
3.1 Aspectos gerais das barragens brasileiras

3.1.1 Definição de barragem e suas partes

Uma barragem é uma estrutura geralmente transversal a um curso de água, permanente ou temporária, para fins de contenção e/ou acumulação de água, de líquidos ou de misturas não newtonianas (líquidos e sólidos misturados). São construídas para irrigação, produção de energia elétrica, abastecimento público, regularização de cheias, contenção de resíduos sólidos, abastecimento de indústrias agropecuárias, piscicultura e recreação, entre outros (ANA, 2016).

Os principais componentes de uma barragem são: o barramento, a fundação, as ombreiras (local onde o barramento encosta no terreno natural), as estruturas extravasoras, as estruturas de adução e o reservatório. Na Figura 1 é mostrado um croqui esquemático com a estrutura típica de uma barragem de terra.

Figura 1 – Estrutura típica de uma barragem



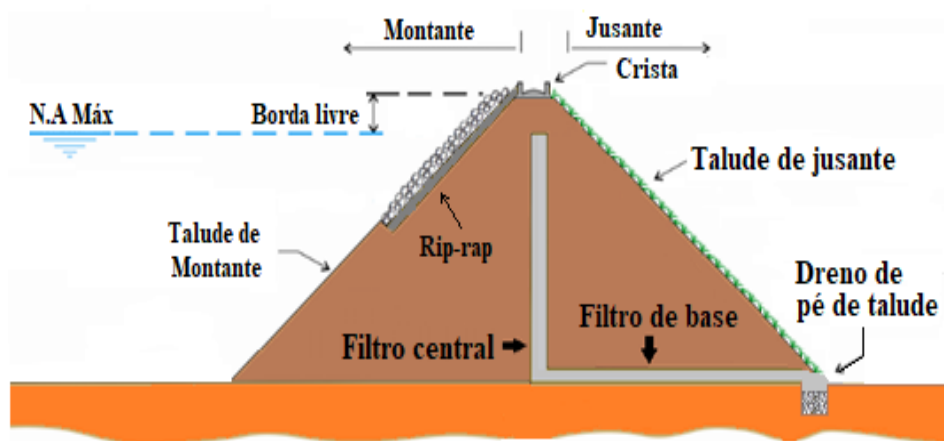
Fonte: Adaptado de FEMA, 2023.

A seção transversal do barramento de uma barragem de terra tem o formato trapezoidal (Figura 2), sendo a base o lado maior que está em contato com o terreno natural, chamado de fundação; os lados inclinados são chamados de taludes de montante (em contato com o reservatório) e talude de jusante (na saída do curso hídrico). O lado menor,

lado de cima do trapézio, é denominado de coroamento ou crista da barragem. O coroamento (ou crista) liga transversalmente as duas margens e permite o acesso a vários dos componentes das barragens. O coroamento deve possuir inclinação para o reservatório, de modo a escoar a água das chuvas; e ser, eventualmente, coberto com um pavimento para permitir o tráfego de veículos (ANA, 2016).

As ombreiras (direita e esquerda) são as áreas do talude em contato com o terreno natural. As ombreiras, assim como o talude de montante, e a área de montante da fundação são as estruturas em contato com a água, e devem estar em perfeita ligação com o terreno natural, de modo a impedir a passagem da água, fato que poderia contribuir para a perda de integridade do barramento.

Figura 2 – Seção transversal típica, de uma barragem de terra homogênea



Fonte: Autores, 2023.

Os vertedouros são estruturas responsáveis pelo extravasamento das águas de uma barragem, estando em contato direto com o fluxo afluente de água. Responsável também pelo controle do nível de água no reservatório, que faz uma relação direta com a estabilidade do barramento, e com a possibilidade de colapso da estrutura, haja vista o fato da maioria dos desastres envolvendo barragens ocorrer por ocasião de galgamentos. Galgamento é quando o órgão extravasor não consegue suportar o volume afluente de água (entrada de água que advêm da bacia hidrográfica) fazendo com que o nível de água do reservatório se eleve rapidamente, passando por cima da crista da barragem. Esse fato é quase sempre catastrófico.

3.1.2 Tipos de barragens mais comumente utilizadas no Brasil

A seguir são apresentados os tipos de barragens mais utilizados no Brasil segundo as definições da ANA e do SINB (Sistema nacional de segurança de Barragens), bem como são descritos sucintamente seus materiais e suas principais aplicações.

a) Barragem de terra

As barragens de terra são estruturas essencialmente constituídas por materiais terrosos naturais existentes no local. No momento do projeto, serão avaliados todos os materiais disponíveis na referida área e que podem servir para a execução do barramento. Nesse momento são avaliadas as características técnicas, relativas por exemplo a angulação dos taludes e espessura do corpo da barragem, de modo que ela se mantenha estável; também nesse momento é avaliada a necessidade de importação de material, como por exemplo terras argilosas, com intuito de melhorar as características plásticas do maciço. Por se tratar de estruturas com taludes pequenos, isto é, com altura da crista reduzida (geralmente inferiores a 15m), acabam por ser economicamente viáveis e constituem a maioria das barragens existentes no país.

b) Barragem de seção homogênea ou mista

A construção de barragens de seção homogênea é menos usual, devido a indisponibilidade de obtenção de solos com características relativamente homogêneas no local da obra. Nas barragens mistas, ou seja, compostas por diferentes materiais e de diferentes granulometrias, são utilizados materiais mais permeáveis para os espaldares (parte do talude de montante que sofre o golpe das ondas do reservatório), protegendo assim o barramento de possíveis efeitos erosivos. Os materiais menos permeáveis, e por conseguinte mais plásticos, costumam ser utilizados na parte inferior do talude de montante além do talude de jusante. A utilização dos materiais e localização no barramento são definidos em projeto, o qual poderá ser alterado à medida que se executam as escavações em campo e se descobrem quais os materiais disponíveis na área de construção da barragem.

c) Barragem de terra-enrocamento

Nas barragens construídas com terra-enrocamento, pelas características dos materiais, os taludes podem ser mais íngremes do que nas barragens de terra, o que permite reduzir consideravelmente o volume de material empregado para construção da barragem. Os materiais são dispostos no maciço, de forma que os impermeáveis fiquem posicionados nos taludes, principalmente o de montante, e os materiais rochosos e/ou arenosos fiquem localizados nos núcleos, fazendo assim a função dos filtros.

A rocha do enrocamento dos taludes de montante e de jusante deve ser resistente, não deve se modificar em virtude de fatores climatológicos. A largura mínima do núcleo impermeável deve ser da ordem de 30% da carga hidráulica do reservatório, e maior ou igual a 3 m no topo da barragem, por razões construtivas (ANA, 2016).

d) Barragens de alvenaria

Esse tipo de barragem é utilizado em vales íngremes, que necessitam de alturas de talude consideráveis, e quando os solos existentes apresentem baixas características plásticas (solos pobres), fato que impossibilita o uso de barragens de terra e/ou de terra enrocamento. Barragens em alvenaria são bastante edificadas em lugares onde a confecção ou obtenção de concreto seja difícil. A alvenaria é constituída de material impermeável como pedra, ou tijolos maciços cozidos argamassados.

e) Barragens em concreto

As barragens de concreto são caracterizadas como sendo as estruturas mais seguras, em se tratando de erros construtivos, ou mesmo por fatores externos como chuvas com elevados tempos de recorrência, podendo gerar um galgamento ou até mesmo sismos. Por se tratar de estruturas bastante robustas, são as utilizadas em usinas hidroelétricas.

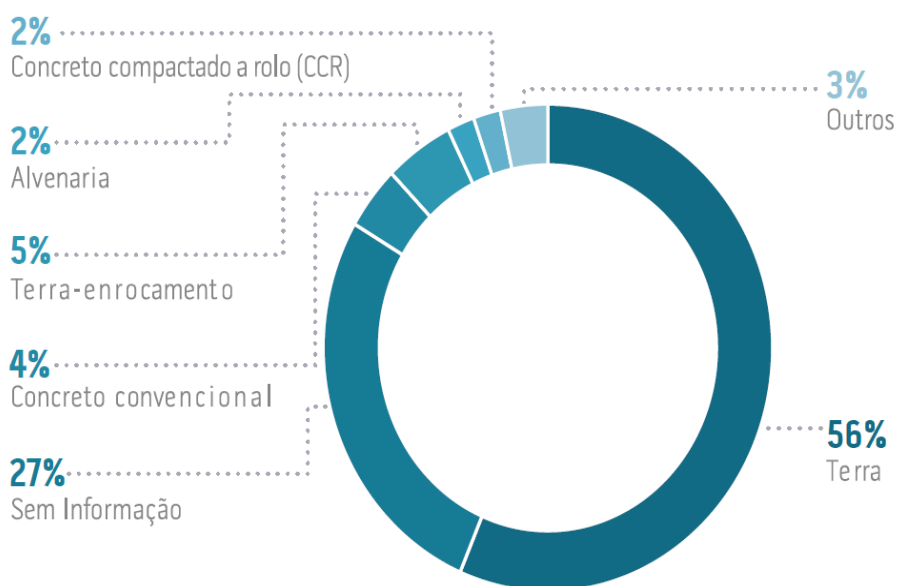
Especial importância deve ser dada ao dimensionamento das estruturas extravasoras, das estruturas de tomada de água, de operação, de bombeio, contrafortes etc. Todas essas estruturas devem ser corretamente dimensionadas do ponto de vista hidráulico, uma vez que podem representar um elevado risco de segurança para a obra como um todo (ANA, 2016).

3.1.3 Distribuição dos Tipos de Barragens no Brasil

Assim como ocorre em outras partes do mundo, as características físicas das barragens brasileiras são determinadas pelo tipo de projeto escolhido, a utilidade que se pretende dar a estrutura (captação de água, geração de energia elétrica etc.) e pelos insumos disponíveis no local, de modo a tornar a obra de construção da barragem o mais eficiente possível e economicamente viável.

No Brasil, são mais utilizadas as barragens mistas de solo e rocha, por ser um dos métodos construtivos mais simplificados. Além disso, as barragens de terra e de terra enrocamento representam 61% do total das barragens registradas no SNISB (Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens), como pode ser observado na Figura 3 (RSB ANA, 2022).

Figura 3 – Distribuição das barragens brasileiras por material de construção



Fonte: RSB ANA, 2022.

3.2 Conceitos de segurança de barragem

A Tabela 2 apresenta diferentes definições para segurança de barragem.

Tabela 2 – Definições de segurança de barragem

Referência	Definição de Segurança de Barragem
PNSB	Condição que visa a manter a sua integridade estrutural e operacional e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente.
Banco Mundial	Refere-se aos fatores que influenciam as operações seguras da estrutura da barragem e das estruturas adjacentes, e o potencial da barragem de afetar negativamente a vida humana, a saúde humana, a propriedade e o meio ambiente ao seu redor. Isso significa que a segurança de barragens também se preocupa com a adequação das operações e manutenção da barragem, bem como seus planos para lidar com emergências e limitar o impacto negativo das barragens existentes na vida humana, saúde humana, propriedade e meio ambiente.
FEMA	É a arte e a ciência de garantir a integridade e viabilidade das barragens de modo que não apresentem riscos inaceitáveis para o público, a propriedade e o meio ambiente. Requer a aplicação coletiva de princípios e experiência de engenharia e uma filosofia de gerenciamento de risco que reconheça que uma barragem é uma estrutura cuja função segura não é explicitamente determinada por seu projeto e construção originais. Também inclui todas as ações tomadas para identificar ou prever deficiências e consequências relacionadas a falhas e documentar, divulgar e reduzir, eliminar ou remediar, na medida do razoavelmente possível, quaisquer riscos inaceitáveis.

Fonte: SILVA L.C. *et al*, 2023.

Das definições apresentadas acima, destacam-se aspectos convergentes e complementares, tais como:

a) Convergências:

- Preservação de Vidas e Meio Ambiente como componentes essenciais da segurança de barragens. As definições reconhecem que uma barragem segura não deve apresentar riscos inaceitáveis a esses aspectos.
- Gestão de Riscos incorporada como um elemento fundamental da segurança de barragens. Isso inclui a avaliação contínua das operações, manutenção e ações corretivas necessárias para garantir a integridade da barragem.
- Ênfase na Integridade Estrutural e Operacional da barragem para garantir a segurança.

b) Complementares:

- Escopo da Segurança: A definição do Banco Mundial transcende ao incluir a adequação das operações, manutenção da barragem e planos de emergência, reconhecendo que a segurança vai além da estrutura física da barragem.
- Gerenciamento de Riscos e Ações Corretivas: A FEMA salienta o gerenciamento proativo de riscos, enfatizando a documentação, divulgação e redução ativa ou eliminação de riscos inaceitáveis, o que implica em ações corretivas contínuas e transparência no processo de gestão de riscos.
- Abordagem Adaptativa: Adotada pela FEMA ao afirmar que a função segura de uma barragem não é determinada apenas por seu projeto e construção originais, o que implica em uma filosofia de gerenciamento de risco dinâmica, capaz de se adaptar às mudanças nas condições ao longo do tempo.

3.3 Acidentes históricos envolvendo barragens

A seguir são mostrados alguns acidentes de barragens no mundo, suas prováveis causas e as consequências, de acordo com o ICODS (INTERAGENCY COMMITTEE ON DAM SAFETY), órgão do departamento de segurança do governo dos Estados Unidos.

3.3.1 Barragem de “Puentes”, Espanha, 1802

Em 1802, a barragem de “Puentes”, na região sudeste de Múrcia, Espanha, se localizava a pouco mais de 11 quilômetros da cidade de Lorca, e era a mais longa do país, com 286,5 metros de crista de ponta a ponta (de ombreira a ombreira) e 50 metros de altura. A barragem foi planejada para substituir uma que havia colapsado em 1648 e após uma forte chuva em 1802, o talude colapsou, liberando uma torrente de água de 12 metros de altura em direção a “Lorca”. A onda destruiu mais de 800 casas, além de muitos edifícios industriais e agrícolas, e 608 pessoas morreram na enchente.

3.3.2 Barragem de “South Fork, Pennsylvania”, 1889

Construída com rocha e terra compactada, a barragem de “South Fork” ficava a cerca de 13 quilômetros a leste de “Johnstown, Pensilvânia”. A estrutura original de 280 metros de comprimento, tinha 22 metros de altura, e foi construída em 1852. Em 1889 uma violenta tempestade inundou a área com chuvas torrenciais, o suficiente para

causar o colapso da barragem no último dia de maio de 1889. Uma onda formada pela liberação de 20 milhões de toneladas de água percorreu todo o vale de jusante, impactando várias cidades, e resultando em mais de 2.000 mortes.

3.3.3 Barragem de St. Francis, California, 1928

Concluída em 1926, a represa St. Francis tinha 21 metros de comprimento, e ficava a cerca de 64 quilômetros a noroeste de “*Los Angeles*”. Sua finalidade era armazenar água para a rede de aquedutos da cidade. A estrutura de concreto tinha 62,5 metros de altura. Durante a construção, a altura da barragem foi aumentada em 6 metros e o efeito desse aumento não foi devidamente considerado. Como consequência da sobrecarga, alguns anos após a conclusão, em 1928, a barragem rompeu catastroficamente, resultando na morte de cerca de 400 pessoas.

3.3.4 Barragem de “Banqiao”, China, 1975

A barragem de “*Banqiao*” foi construída na China em meados de 1950 e possuía 118 metros de altura. A estrutura foi construída com argila compactada, e com um filtro interior em areia. O reservatório criado pela barragem tinha capacidade de 600 bilhões de litros. Em 1975, um forte tufão atingiu a região, com consequências devastadoras. Este evento foi tão severo que 140 centímetros de chuva caíram em três dias, em uma área que normalmente recebia tinha 81 centímetros de chuva em um ano inteiro, ocasionando o rompimento da barragem e liberando uma onda de 10 metros de altura e 11,3 quilômetros de largura. Segundo uma estimativa, cerca de 230.000 morreram.

3.3.5 Barragem de Brumadinho, Brasil, 2019

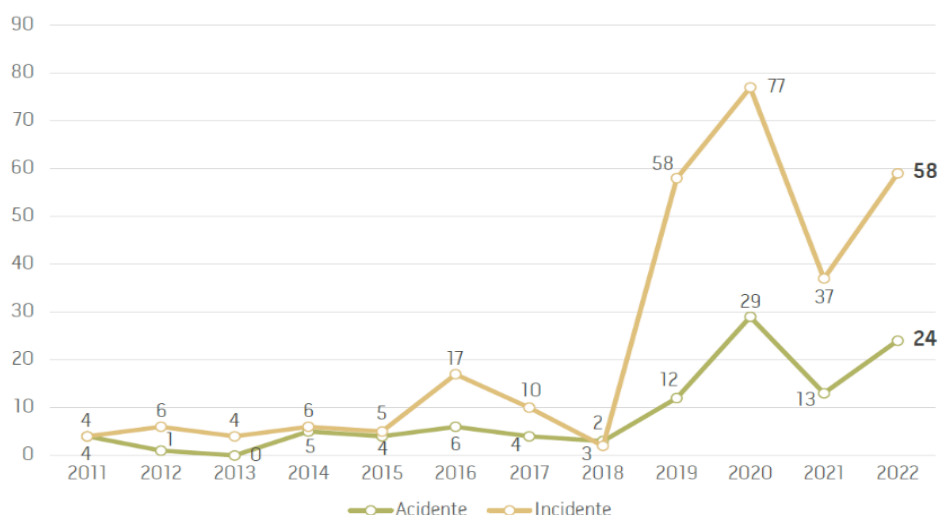
A barragem de Brumadinho, no Brasil, foi construída para conter o derramamento tóxico das operações de mineração de extração de minério de ferro. Seu talude colapsou em janeiro de 2019, liberando uma torrente de resíduos tóxicos que engoliu cidades à jusante, resultando em 270 mortes. Um sistema de alarme foi instalado para alertar os moradores sobre qualquer perigo iminente, mas naquele dia não funcionou. A mineradora Brasileira Vale era a operadora da mina e, em 2021, foi condenada a pagar uma indenização de US\$ 7 bilhões, valor que ainda pode aumentar.

3.4 Acidentes e incidentes ocorridos no Brasil na última década

De acordo com o art. 2º da Lei Federal nº 12.334, considera-se acidente 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 normal da barragem ou das suas estruturas anexas que, se não for controlada, pode causar um acidente.

O Relatório de segurança de barragens da Agência Nacional de Águas (ANA) do ano de 2022 traz uma memória dos eventos ocorridos no Brasil na última década, como mostra a Figura 4, porém não menciona as razões do considerável aumento de patamar ocorrido a partir de 2019 tanto para os registros de acidentes quanto para os incidentes.

Figura 4 – Eventos ocorridos no Brasil na última década (incidentes e acidentes)



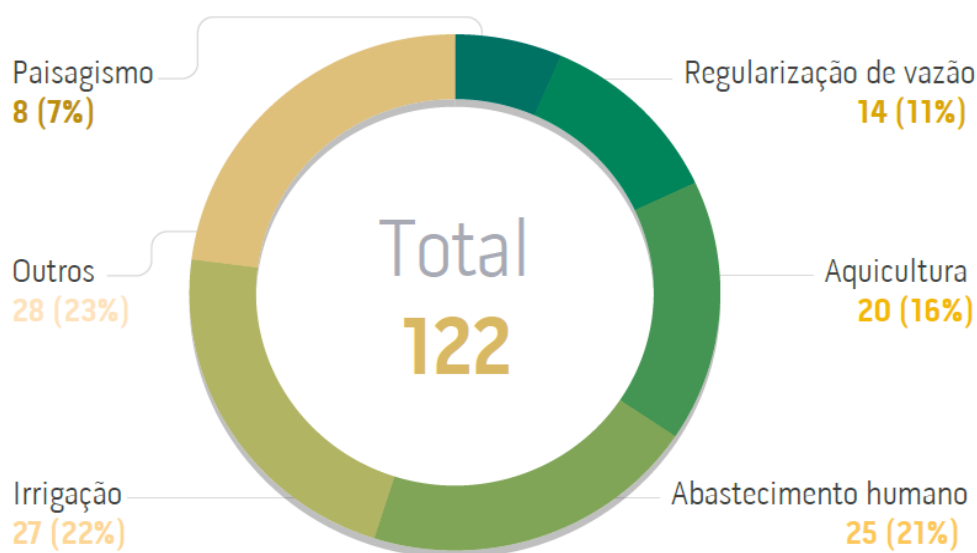
Fonte: RSB ANA, 2022.

O Relatório de segurança de barragens da ANA destaca ainda que:

Os modos de falha decorridos nos acidentes correspondem a: rompimento de barragem sem ocorrência de galgamento (67%), rompimento juntamente com o evento de galgamento (25%), e apenas galgamento (8%). Com relação ao material de sua estrutura, a maior parte das barragens que apresentaram acidentes é constituída de terra (75%), englobando terra homogênea e terra enrocamento, seguida de concreto convencional e terra com concreto (somando-se 8%), e 17% das fichas de acidentes não continham a informação a respeito do material da estrutura (RSB ANA, 2022).

Como pode ser observado, a maior quantidade de ocorrências de rompimento diz respeito a colapso sem galgamento. Infelizmente, os dados são bastante pobres sobre o real ponto iniciador desse tipo de sinistro, fato que impossibilita a obtenção de conclusões sobre o real motivo do evento. O que pode se avaliar através dos dados do relatório é que, a maioria dos sinistros diz respeito a estruturas de terra, e/ou, estruturas mistas de terra enrocamento. Outro ponto de destaque observado no relatório é a maioria das estruturas do país serem de terra enrocamento e serem destinadas a irrigação, como mostra a Figura 5 a seguir.

Figura 5 – Eventos ocorridos no Brasil na última década por tipos de uso das barragens



Fonte: RSBC ANA, 2022.

Com relação as ocorrências de acidentes e incidentes registradas no ano de 2022, os fiscalizadores reportaram 24 acidentes e 58 incidentes com barragens no período de análise, (RSB ANA, 2022). Dos 24 acidentes registrados em 2022, nenhum causou fatalidade. Entretanto, alguns geraram maior relevância, em virtude dos impactos negativos gerados, como o rompimento da barragem Fazenda São Sebastião (Ouro Fino, MG) o qual carregou resíduos e impactou de maneira definitiva áreas de preservação ambiental, além de cursos hídricos e propriedades de terceiros.

Dentre as anomalias e mecanismos de falhas mais recorrentes que desencadearam os acidentes no ano de 2022 foram verificadas (Figura 6): vertedouro insuficiente para

descarregar a vazão efluente (29%), englobando manilhas com baixa capacidade extravasadora; escorregamento do talude (25%); modo de falha devido ao processo de “*piping*” (8,3%); e talude danificado (29%), o que abrange processos erosivos, trincas e fissuras (RSB ANA, 2022).

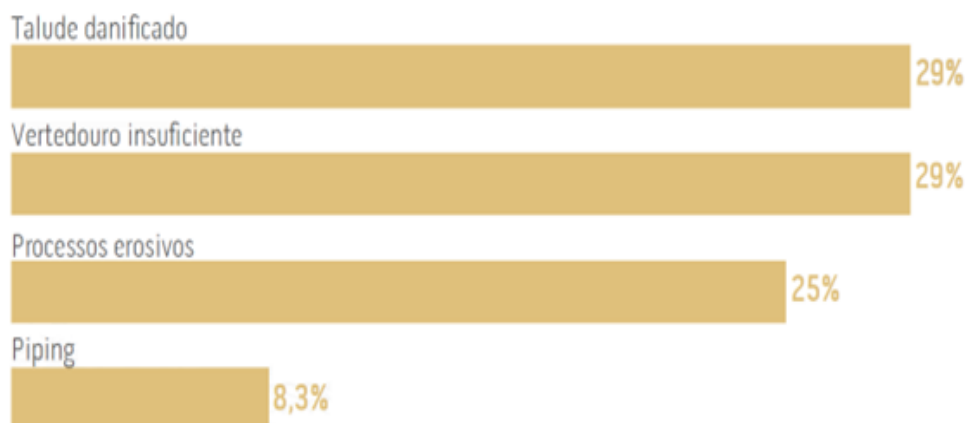
Figura 6 – Acidentes ocorridos no Brasil no ano de 2022, por evento iniciador



Fonte: RSB ANA, 2022.

Nos eventos de rupturas e falhas graves, como galgamento, foram relatados processos erosivos em 25% das ocorrências, situados principalmente no talude, crista, aterro, extravasores e ombreiras, além de episódios associados a chuvas intensas em 17% dos eventos (RSB ANA, 2022). A Figura 7 mostra o resumo dos acidentes ocorridos em 2022, por tipo de anomalia.

Figura 7 – Principais anomalias em barragens com acidentes no ano de 2022



Fonte: RSB ANA, 2022.

O RSB de 2022 acrescenta que:

Considerando as estruturas das barragens onde aconteceram as falhas e anomalias, a maioria se deu no maciço, em 92% dos acidentes, e 42% no vertedouro, havendo ocorrências de falhas em ambos os locais em diversos relatos (RSB ANA, 2022.)

Dentre as consequências decorrentes dos eventos citados, na maioria dos casos houve enxurrada, caracterizada por inundação brusca das regiões de jusante, com danos ambientais diversos, prejuízos econômicos, destruição de rodovias, perda de acessos a locais próximos dos acidentes e impactos negativos diversos a moradores das regiões (RSB ANA, 2022).

3.5 Classificação de barragens

Como demonstrado, acidentes catastróficos envolvendo barragens ocorrem com certa frequência em todo o mundo. Isso fez com que começassem a surgir regulamentos sobre o tema, de modo a cadastrar as barragens e mapear quais estruturas representavam maior risco, devendo ser fiscalizadas. A seguir se mostrará os conceitos utilizados para classificação de barragens no Brasil e em alguns países do mundo.

Em 2010, através da Lei Federal nº 12.334, foi instituída a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e foi criado o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), o qual se aplica às barragens destinadas à acumulação de água, e a disposição final ou temporária de rejeito, e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características, conforme alteração pela Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020 (BRASIL, 2020):

- I. Altura do maciço, medida do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista do coroamento do barramento, maior ou igual a 15 (quinze) metros;
- II. Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos);
- III. Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;

- IV. Categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas;
- V. Categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador.

No Brasil, são quatro as entidades federais fiscalizadoras de segurança de barragens:

- a) ANA – Agência Nacional de Águas, responsável pela fiscalização de barragens para acumulação de água, localizadas em rios federais;
- b) ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, responsável pela fiscalização de barragens para geração de energia;
- c) IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, responsável pela fiscalização de barragens para fins de disposição de resíduos industriais, exceto os nucleares;
- d) CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear.

A PNSB define empreendedor como o agente privado ou governamental que explore a barragem para benefício próprio ou da coletividade, sendo também o responsável legal pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações para garanti-la. Dentre essas ações, é obrigatória a classificação da barragem quanto ao DPA (Dano Potencial Associado) e CRI (Categoria de Risco), de acordo com a Resolução nº 143/2012 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

A Categoria de Risco considera características técnicas, o estado de conservação do empreendimento e o atendimento ao plano de segurança da barragem; e se baseia nas seguintes documentações e inspeções:

- a) Cadastro da barragem;
- b) Visita a campo;
- c) Relatório de inspeção do empreendedor;
- d) Relatório de vistoria do fiscalizador;
- e) Plano de segurança da Barragem;
- f) Projeto da barragem;
- g) Imagens do Google Earth ou outro.

O Dano Potencial Associado, por sua vez, considera o potencial de perdas de vida humana, além dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes de uma possível ruptura da barragem. O DPA é fundamental para enquadrar ou não uma barragem na

Política Nacional de Segurança de Barragens e terá também influência no plano de segurança da barragem, nas inspeções e revisões periódicas, e no plano de emergência.

O Anexo A dispõe sobre a metodologia de classificação das barragens de acúmulo de água no Brasil, que varia conforme a nota da categoria de risco, da seguinte maneira:

- a) Categoria de risco baixo: nota inferior ou igual a 35.
- b) Categoria de risco médio: nota entre 35 e 60.
- c) Categoria de risco alto: nota superior ou igual a 60.

Cabe salientar ainda que, em se tratando do estado de conservação da estrutura (EC), se qualquer das colunas receber nota igual ou superior a 8, a barragem será automaticamente classificada como Categoria de Risco Alto.

3.6 . Política Nacional de Segurança de Barragens do Brasil (PNSB)

A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) do Brasil é um conjunto de requisitos estabelecidos pelo governo brasileiro para promover a segurança das barragens no País. Ela foi estabelecida pela Lei Federal nº 12.334/2010, atualizada em 2020 pela Lei Federal nº 14.066/2020 e regulamentada pelo Decreto nº 11.310/ 2022. Sua importância reside na:

- a) Garantia da segurança da população: As barragens, quando malconservadas ou operadas de forma inadequada, podem representar um risco significativo para as comunidades localizadas a jusante.
- b) Proteção do meio ambiente: Vazamentos ou rupturas de barragens podem causar danos ambientais graves, afetando rios, fauna, flora e ecossistemas.
- c) Assegurar a integridade das estruturas: A PNSB estabelece critérios técnicos e padrões de segurança que as barragens devem atender. Isso inclui a realização de inspeções regulares, manutenção adequada e monitoramento contínuo para garantir que as estruturas estejam em boas condições.
- d) Transparência e participação pública: A política promove a transparência nas informações relacionadas às barragens, garantindo o acesso público a dados relevantes. Além disso, ela prevê a participação das comunidades

afetadas no processo decisório, especialmente quando novas barragens estão sendo planejadas ou construídas em determinadas regiões.

- e) Responsabilização dos empreendedores: A PNSB estabelece responsabilidades claras para os empreendedores que constroem e operam barragens. Eles são obrigados a adotar medidas para garantir a segurança das estruturas e são responsáveis por eventuais danos causados por falhas na barragem.
- f) Para assegurar o cumprimento desses objetivos, a PNSB prevê a classificação das barragens de acordo com seu potencial de dano e estabelece requisitos específicos para cada classe. Barragens de alto potencial de dano, por exemplo, estão sujeitas a padrões mais rigorosos de segurança, inspeções mais frequentes e monitoramento mais intensivo.

A Tabela 3 apresenta os instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e as considerações dos autores sobre cada um deles.

Tabela 3 – Instrumentos da PNSB

INSTRUMENTO	CONSIDERAÇÕES
Sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado	Leva em conta aspectos técnicos, construtivos e de segurança, bem como o potencial de danos em caso de falha da barragem. A classificação ajuda as autoridades a priorizar ações de segurança e monitoramento
Plano de Segurança da Barragem, incluído o Plano de Ação de Emergência (PAE)	Documento detalhado que descreve procedimentos específicos para garantir a segurança da barragem. Ele inclui estratégias para prevenir acidentes e um plano de ação para lidar com emergências, como vazamentos ou rupturas. Serve para orientar a resposta imediata em caso de falha na barragem, protegendo vidas humanas, propriedades e o meio ambiente, além de minimizar danos em situações de emergência.
Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB)	Sistema informatizado utilizado para coletar, armazenar e compartilhar dados relacionados à segurança de barragens no Brasil. Ele serve como uma plataforma centralizada para monitorar o estado das barragens, incluindo informações sobre classificação de risco, dados técnicos, planos de segurança e outras informações relevantes.

(Continuação)

INSTRUMENTO	CONSIDERAÇÕES
Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (SINIMA)	Plataforma informatizada utilizada para coletar, organizar e disponibilizar dados relacionados ao meio ambiente no Brasil. Ele serve como um sistema integrado para armazenar informações sobre áreas protegidas, licenciamento ambiental, monitoramento de recursos naturais, entre outros aspectos ambientais. O SINIMA é essencial para o planejamento, gestão e fiscalização ambiental, fornecendo dados cruciais para a tomada de decisões e políticas públicas voltadas para a proteção e conservação do meio ambiente.
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	Registro nacional no Brasil que abrange diversas atividades, incluindo aquelas potencialmente poluidoras ou que utilizam recursos naturais, bem como atividades e instrumentos de defesa ambiental, tais como áreas degradadas que passam por recuperação.
Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais	Registro nacional obrigatório para empresas e instituições que desenvolvem atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos naturais no Brasil. Ele reúne informações sobre o uso e a preservação dos recursos ambientais, permitindo o monitoramento e controle das atividades que impactam o meio ambiente.
Relatório de Segurança de Barragens	Documento emitido anualmente pela Agência Nacional de Águas (ANA) que compila informações sobre a segurança das barragens no Brasil, cruciais para orientar políticas públicas e aprimorar regulamentações relacionadas ao tema. Ele inclui dados sobre a classificação de risco e o potencial de dano associado a cada barragem, bem como detalhes sobre inspeções, monitoramento e ações de segurança realizadas ao longo do ano. O relatório serve como uma ferramenta de transparência, permitindo que o público, especialistas e autoridades avaliem o estado das barragens no país e compreendam as medidas tomadas para garantir sua segurança.
Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)	Plataforma que coleta, armazena e compartilha dados sobre os recursos hídricos do Brasil. Ele reúne informações sobre a quantidade, qualidade, uso e disponibilidade da água em diversas regiões do país. O SNIRH é essencial para a gestão eficiente dos recursos hídricos, ajudando na tomada de decisões relacionadas à distribuição de água, controle de poluição, prevenção de enchentes e planejamento sustentável, garantindo assim o uso responsável e a preservação dos recursos hídricos no Brasil.

(Continuação)

INSTRUMENTO	CONSIDERAÇÕES
Monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência	O monitoramento envolve: – O estado das barragens: inclui inspeções regulares para avaliar a integridade estrutural, condições de operação e eventuais sinais de deterioração. – Recursos Hídricos: envolve medições da quantidade de água, níveis dos reservatórios, qualidade da água e padrões de uso para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos. – Área de Influência: monitoramento das condições ambientais, comunidades locais, flora, fauna e ecossistemas na área em torno da barragem.
Guias de boas práticas em segurança de barragens	Documentos técnicos elaborados por especialistas em engenharia de barragens, geotecnia, hidrologia e áreas correlatas, geralmente em colaboração com agências reguladoras e organizações acadêmicas, que contêm orientações, recomendações e padrões técnicos que as empresas e entidades responsáveis pelas barragens devem seguir para garantir a segurança dessas estruturas.

Fonte: Autores, 2023.

3.7 Sistema de Gestão de Segurança de Processo baseado em Risco (RBPS, do CCPS)

O Sistema de Gestão de Segurança de Processo Baseado em Risco (*Risk-Based Process Safety*, RBPS) é uma metodologia desenvolvida pelo *Center for Chemical Process Safety* (CCPS) para melhorar a segurança em indústrias químicas e de processos. Ele se concentra em identificar e gerenciar riscos por meio de uma abordagem sistemática e baseada em princípios, em vez de depender apenas de normas e regulamentos específicos. O RBPS é baseado em 20 elementos de gestão, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Elementos de gestão do RBPS

ELEMENTO DE GESTÃO	CONSIDERAÇÕES
Cultura de Segurança de Processo	Promover uma mentalidade de segurança em toda a organização, incentivando práticas seguras e um ambiente de trabalho em que a segurança é algo relevante e natural
Conformidade com Padrões	Assegurar que as operações estejam em conformidade com a legislação, regulamentos, normas e padrões relevantes para garantir a segurança e prevenir incidentes
Competência em Segurança de Processo	Garantir que os trabalhadores tenham a formação e habilidades necessárias para planejar e executar suas atividades e garantir assim níveis adequados de qualidade e segurança
Participação da Força de Trabalho	Incluir os trabalhadores nas decisões de segurança, encorajando-os a contribuir com ideias e feedback para melhorar práticas seguras
Comunicação com as Partes Interessadas	Estabelecer canais de comunicação claros.
Gestão do Conhecimento de Processo	Capturar, documentar e compartilhar conhecimento sobre processos e riscos para garantir que a equipe esteja bem-informada sobre os sistemas e as operações
Identificação de Perigos e Análise de Risco	Identificar possíveis perigos, avaliar riscos associados e implementar medidas para mitigar esses riscos
Procedimentos Operacionais	Desenvolver e seguir procedimentos operacionais claros e precisos para garantir operações seguras e padronizadas
Práticas de Trabalho Seguro	Estabelecer práticas de trabalho seguro, incluindo uso adequado de equipamentos de proteção pessoal e procedimentos específicos para tarefas de alto risco
Integridade de Ativos e Confiabilidade	Manter a integridade dos equipamentos e ativos para garantir operações seguras e evitar falhas inesperadas
Gestão da Contratada	Garantir que empresas contratadas também sigam padrões de segurança, integrando-os eficazmente na cultura de segurança da organização
Garantia de Desempenho e Treinamento	Garantir que os trabalhadores sejam treinados adequadamente e monitorar regularmente o desempenho para identificar oportunidades de melhoria

(Continuação)

ELEMENTO DE GESTÃO	CONSIDERAÇÕES
Gestão de Mudança	Implementar um processo formal para gerenciar mudanças nas operações, avaliando os impactos à segurança e ajustando procedimentos conforme necessário
Prontidão Operacional	Estar preparado para responder a situações de emergência operacional
Condução das Operações	Realizar operações diárias com foco na segurança, seguindo procedimentos e práticas seguras
Gestão de Emergências	Estabelecer planos e procedimentos detalhados para responder a emergências, garantindo a segurança das pessoas e do meio ambiente
Investigação de Incidente	Conduzir investigações detalhadas após incidentes para entender as causas, aprender com eles e implementar medidas preventivas
Medição e Métrica	Estabelecer indicadores e métricas para monitorar o desempenho em segurança, permitindo a avaliação sistemática e a melhoria contínua
Auditoria	Realizar auditorias regulares para avaliar a aderência ao sistema de gestão implantado
Análise da Gestão e Melhoria Contínua.	Analisar sistematicamente a eficácia do sistema de gestão, identificar oportunidades de melhoria e implementar ações corretivas para aprimorar continuamente a segurança das operações

Fonte: Autores, 2023.

4. AVALIAÇÃO DA GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL À LUZ DO SISTEMA DE GESTÃO DE SEGURANÇA DE PROCESSO BASEADO EM RISCO (RBPS, DO CCPS)

A Tabela 5 apresenta a correspondência entre os instrumentos da PNSB e os elementos de gestão do RBPS.

Tabela 5 – Correspondência entre a PNSB e os elementos do CCPS

ELEMENTO DE GESTÃO RBPS	INSTRUMENTOS PNSB
Cultura de Segurança de Processo	Guias de boas práticas em segurança de barragens
Conformidade com Padrões	Plano de Segurança da Barragem, incluído o Plano de Ação de Emergência (PAE) Guias de boas práticas em segurança de barragens
Competência em Segurança de Processo	-
Participação da Força de Trabalho	-
Comunicação com as Partes Interessadas	Sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (SINIMA) Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais Relatório de Segurança de Barragens Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)
Gestão do Conhecimento de Processo	Plano de Segurança da Barragem, incluído o Plano de Ação de Emergência (PAE) Monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência Guias de boas práticas em segurança de barragens
Identificação de Perigos e Análise de Risco	Sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado Plano de Segurança da Barragem, incluído o Plano de Ação de Emergência (PAE) Monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência
Procedimentos Operacionais	Plano de Segurança da Barragem, incluído o Plano de Ação de Emergência (PAE) Guias de boas práticas em segurança de barragens

(Continuação)

ELEMENTO DE GESTÃO RBPS	INSTRUMENTOS PNSB
Práticas de Trabalho Seguro	Plano de Segurança da Barragem, incluído o Plano de Ação de Emergência (PAE) Monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência Guias de boas práticas em segurança de barragens
Integridade de Ativos e Confiabilidade	Plano de Segurança da Barragem, incluído o Plano de Ação de Emergência (PAE) Monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência Guias de boas práticas em segurança de barragens
Gestão da Contratada	Plano de Segurança da Barragem, incluído o Plano de Ação de Emergência (PAE) Monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência Guias de boas práticas em segurança de barragens
Garantia de Desempenho e Treinamento	Plano de Segurança da Barragem, incluído o Plano de Ação de Emergência (PAE)
Gestão de Mudança	-
Prontidão Operacional	-
Condução das Operações	Plano de Segurança da Barragem, incluído o Plano de Ação de Emergência (PAE) Guias de boas práticas em segurança de barragens
Gestão de Emergências	Plano de Segurança da Barragem, incluído o Plano de Ação de Emergência (PAE) Guias de boas práticas em segurança de barragens
Investigação de Incidente	Plano de Segurança da Barragem, incluído o Plano de Ação de Emergência (PAE) Relatório de Segurança de Barragens
Medição e Métrica	Plano de Segurança da Barragem, incluído o Plano de Ação de Emergência (PAE) Relatório de Segurança de Barragens Monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência
Auditoria	Monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência
Análise da Gestão e Melhoria Contínua.	-

Fonte: Autores, 2023.

Analisando os dados da Tabela 5, percebe-se que os 10 instrumentos da PNSB estão contidos nos elementos de gestão do RBPS, porém, o inverso não procede, pois os elementos abaixo não tiveram correspondências na PNSB:

- Competência em Segurança de Processo.
- Participação da Força de Trabalho.
- Gestão de Mudança.
- Prontidão Operacional.
- Análise da Gestão e Melhoria Contínua.

Percebe-se também que os guias de boas práticas em segurança de barragens da PNSB apresentam correspondência com 9 dos 20 elementos do RBPS, o que demonstra serem eles um importante instrumento da PNSB. Os guias encontram correspondência com os elementos do RBPS elencados a seguir:

- Cultura de Segurança de Processo.
- Conformidade com Padrões.
- Gestão do Conhecimento de Processo.
- Procedimentos Operacionais.
- Práticas de Trabalho Seguro.
- Integridade de Ativos e Confiabilidade.
- Gestão da Contratada.
- Condução das Operações.
- Gestão de Emergências.

Ao analisar os elementos do RBPS que mais contêm instrumentos correspondentes, destaca-se o elemento “Comunicação com as Partes Interessadas”, que contém 7 dos 10 instrumentos da PNSB. São eles:

- Sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado.
- Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).
- Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (SINIMA).

- Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental.
- Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais.
- Relatório de Segurança de Barragens.
- Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

5. SUGESTÕES DE APRIMORAMENTO

A influência dos elementos de gestão do RBPS (*Risk-Based Process Safety*) na PNSB (Política Nacional de Segurança de Barragens) pode trazer aprimoramentos significativos para a gestão de segurança de barragens no Brasil, e pode resultar em uma política mais robusta, abrangente e alinhada com as melhores práticas internacionais em segurança de barragens.

As sugestões a seguir visam o mencionado aprimoramento:

a) Integração de Elementos ausentes na PNSB:

Propõe-se avaliar a inclusão dos elementos ausentes na PNSB, como Competência em Segurança de Processo, Participação da Força de Trabalho, Gestão de Mudança, Prontidão Operacional e Análise da Gestão e Melhoria Contínua, a fim de garantir uma abordagem abrangente na gestão nacional de segurança de barragens.

b) Ênfase nos Guias de Boas Práticas:

Destaca-se a importância dos guias de boas práticas da PNSB, que apresentam correspondência com 9 dos 20 elementos do RBPS. Sugere-se promover a utilização intensiva desses guias como ferramentas fundamentais na gestão de segurança de barragens, visando aprimorar as práticas operacionais e a conformidade com padrões.

c) Refinamento do Elemento "Comunicação com as Partes Interessadas":

Embora o elemento "Comunicação com as Partes Interessadas" abranja 7 dos 10 instrumentos da PNSB, sugere-se aprimorar ainda mais esse elemento de gestão, fortalecendo a qualidade do Relatório Anual de Segurança de Barragens da ANA, que aborda superficialmente as informações sobre os acidentes, incidentes, suas causas e consequências.

É importante um intercâmbio de informações da ANA com outras Agências, em especial a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), para aprimoramento dos relatórios anuais, bem como implantar a elaboração e disponibilização de relatórios de investigação de acidentes relevantes.

6. CONCLUSÃO

A influência do RBPS na PNSB pode resultar em uma gestão mais eficiente de riscos, levando à redução de anomalias, incidentes e acidentes em barragens.

Isto pode favorecer uma abordagem mais abrangente na gestão nacional de segurança de barragens, incorporando aspectos essenciais de todos os 20 elementos de gestão do RBPS. Sendo eles baseados em boas práticas internacionais em segurança de processos, ao alinhar a PNSB a esses padrões, o Brasil se beneficia ao adotar estratégias e procedimentos que foram testados e validados globalmente, fortalecendo a credibilidade das práticas de segurança brasileiras em nível internacional.

A ênfase do RBPS na comunicação com as partes interessadas pode promover uma maior transparência na gestão de barragens, o que não apenas fortaleceria a confiança da sociedade, mas também facilitaria uma comunicação mais eficaz entre órgãos reguladores, proprietários de barragens e outras partes interessadas, melhorando a coordenação em situações críticas.

A influência dos elementos do RBPS na PNSB pode facilitar a cooperação internacional em questões de segurança de barragens. Alinhando-se a padrões internacionais, o Brasil pode participar de trocas de conhecimento, experiências e tecnologias com outros países, fortalecendo sua posição no cenário global.

O RBPS promove a cultura de melhoria contínua em segurança de processos. Ao integrar essa abordagem na PNSB, o Brasil estabelece um ambiente propício para a evolução constante das práticas de segurança, garantindo que a gestão nacional seja adaptada para enfrentar novos desafios e ameaças.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Manual do empreendedor sobre segurança e Barragens**. Brasília, 2016. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/ManualEmpreendedor/DiretrizesParaElaboracaoProjetosBarragens.PDF/>>. Acesso em: 25 out. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Manual do empreendedor sobre segurança de barragens**: guia de orientação e formulários para inspeções de segurança de barragem. Brasília, DF: ANA, 2016b. v. 2, 222 p. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/publicacoes/ManualEmpreendedor>. Acesso em: 2 nov. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Manual do empreendedor sobre segurança de barragens**: diretrizes para a elaboração de projeto de barragens. Brasília, DF: ANA, 2016c. v. 5, 160 p. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/publicacoes/ManualEmpreendedor>. Acesso em: 25 out. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Relatório de segurança de barragens 2022**. Brasília, DF: ANA, 2015. 128 p. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-debarragem/2022>. Acesso em: 15 de out. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Portal HIDROWEB**. Brasília, DF: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb>. Acesso em: 21 nov. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br>. Acesso em: 21 nov. 2023.

ASSOCIATION OF STATE DAM SAFETY OFFICIALS - ASDSO. **About ASDSO**. Lexington, [s. n.], 2019. Disponível em: <https://damsafety.org/about>. Acesso em: 2 nov. 2023.

BRASIL. **Lei Federal 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. Brasília, Presidência da República.[2010]. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=12334&ano=2010&ato=c3ec3Yq1keVpW-Tdb6>. Acesso em 02 de nov. 2023.

BRASIL. **Lei Federal 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). Brasília, Presidência da República.[2000]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2020/lei/114066.htm. Acesso em 02 de nov. 2023.

BRASIL. **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. Brasília, Ministério do Meio Ambiente.[2012]. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=127856>. Acesso em: 02 de nov.2023.

BRASIL. **Resolução nº 236 de 30 de janeiro de 2017.** Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. Brasília, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.[2017]. Disponível em: https://participacao-social.ana.gov.br/api/files/Resolucao_236_para_consulta_publica-1635356466005.pdf. Acesso em: 02 de nov.2023.

BRASIL. **Resolução n 742 de 17 de outubro de 2011.** Estabelece a periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das inspeções de segurança regulares de barragem, conforme art. 9º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010. Brasília, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.[2011]. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/AGENCIAS/ANA/RE0742-171011.PDF>. Acesso em: 02 de nov.2023.

CALIFORNIA DEPARTMENT OF WATER RESOURCES. **Oroville spillway.** Sacramento. Disponível em: https://pixel-cadwr.photoshelter.com/gallery/C001#4kzdtuppo/Y114_1478_9KEZ_zcsdcDTx49L/Oroville-Spillway-Incident-amp-Recovery. Acesso em: 02 nov. 2023.

COMITÊ INTERNACIONAL DE GRANDES BARRAGENS. **As barragens e a água no mundo.** [S.1], 2023. Disponível em: <http://www.cbdb.org.br/documentos>. Acesso em: 25 out. 2023.

DUFFAUT, Pierre. The traps behind the failure of Malpasset arch dam, France, in 1959. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, v. 5, issue 5, p.335-341, October 2013

INTERAGENCY COMMITTEE ON DAM SAFETY- ICODS. Departamento de Segurança Interna dos Estados Unidos. Federal Emergency Management Agency- FEMA. **Federal Guidelines for Dam Safety (FEMA 93).** Disponível em: <https://www.fema.gov/media-library/data/20130726-1502-20490-5785/fema-93.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2023.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS- ICOLD. Commission Internationale des Grands Barrages- CIGB. **World register of dams.** Disponível em: http://www.icoldcigb.net/GB/world_register/world_register_of_dams.asp. Acesso em: 02 nov.2023.

INTERNATIONAL WATER POWER. **Chinese dam safety: philosophy and practice.** Dartford: Compelo, 1999. Disponível em: <http://www.waterpowermagazine.com/features/featurechinese-dam-safetyphilosophy-and-practice/>. Acesso em: 15 de nov. 2023.

MELLO, F. M. *A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, X e XI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens* - Rio de Janeiro/RJ: CBDB.

PEREIRA, L.F. **Segurança de barragens no Brasil: um breve comparativo com a legislação internacional e análise da influência da cobertura do solo de APPs sobre manchas de inundação: estudo de caso da PCH Pedra Furada, Ribeirão – PE.** 2019.118f. Dissertação (Mestrado), Recursos Hídricos e Tecnologia Ambiental, UNESP, Ilha Solteira, 2019.

SILVA, L. C. MATTOS, U. A. O. SILVA, J. C. **Dams safety: An analysis of safety anagment and the difficulties of its supervision.** Ciência e Natura, Santa Maria, v. 45, e6 2023. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X72372>.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. U.S. Army Corps of Engineers Headquarters Website. **Federal credit program opens for dam safety projects.** Disponível em: <https://www.usace.army.mil/Media/News-Releases/News-Release-ArticleView/Article/3532074/75-billion-federal-credit-program-opens-for-dam-safety-projects/>. Acesso em: 15 nov. 2023.

ANEXO A – QUADRO PARA CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA.

QUADRO PARA CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA		
NOME DA BARRAGEM:		
NOME DO EMPREENDEDOR:		
DATA:		
II.1-CATEGORIA DE RISCO		Pontos
1 Características Técnicas (CT)		
2 Estado de Conservação (EC)		
3 Plano de Segurança de Barragens (PS)		
PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC +PS		
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	CATEGORIA DE RISCO	CRI
	ALTO	≥ 60 ou $EC^* \geq 8$ (*)
	MÉDIO	35 a 60
	BAIXO	≤ 35
(*) Pontuação (maior ou igual a 8) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providencias imediatas pelo responsável da barragem.		
II.2 - DANO POTENCIAL ASSOCIADO		Pontos
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO	DPA
	ALTO	≥ 16
	MÉDIO	$10 < DPA < 16$
	BAIXO	≤ 10
RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO		
	CATEGORIA DE RISCO	Alto/Médio/Baixo
	DANO POTENCIAL ASSOCIADO	Alto/Médio/Baixo

Fonte: Resolução 143/2012 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.