

SUBMETIDO 25/06/2021

APROVADO 03/12/2021

PUBLICADO ON-LINE 16/12/2021

PUBLICADO 30/03/2023

EDITORA ASSOCIADA

Mirella Leôncio Motta e Costa

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6107>

ARTIGO ORIGINAL

Gerenciamento de risco de barragens do estado do Paraná: uma abordagem bibliográfica

 Ariane Busch Salibe ^[1]

 Andressa Gobbi ^{[2]*}

[1] salibeariane@gmail.com

Núcleo de Educação a Distância (NEAD),
Faculdade Educacional Araucária
(UNIFACEAR), Brasil

[2] andressagobbi@yahoo.com.br

Departamento de Engenharia Civil,
Universidade Estadual de Ponta Grossa
(UEPG), Brasil

RESUMO: O gerenciamento de risco de barragens identifica, avalia, trata e monitora riscos, tendo como objetivo minimizar ou mesmo eliminar a possibilidade de impactos negativos desse tipo de empreendimento na vida de pessoas e do meio ambiente. Neste estudo, uma revisão bibliográfica analítica foi realizada para identificar a classificação dos riscos das barragens do Paraná, Brasil, com base em uma análise quantitativa e qualitativa desses riscos e na análise do gerenciamento de segurança dessas barragens. Nas diversas literaturas encontradas, foram verificadas informações atualizadas sobre: fiscalização e classificação das barragens paranaenses realizadas por órgãos como o Instituto de Água e Terra (IAT), a Agência Nacional de Águas (ANA), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a Agência Nacional de Mineração (ANM); a existência de diversos métodos quantitativos e qualitativos que podem ser utilizados para determinar falhas em barragens, sendo a Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (*Failure Mode and Effect Analysis – FMEA*) a técnica que se destaca; e a identificação de práticas adequadas para um gerenciamento eficaz. Essa revisão possibilitou concluir que a identificação, classificação e fiscalização das barragens no estado do Paraná são realizadas pelo IAT, que apresenta relatórios anuais das condições das barragens para conhecimento público e segurança da população. Além disso, pode-se concluir que a aplicação de uma metodologia apropriada para análise de riscos é a forma mais adequada de prevenir uma catástrofe com possíveis perdas de vida.

Palavras-chave: barragens; falha; ruptura; segurança.

Risk management of dams in the state of Paraná: a bibliographical approach

ABSTRACT: Dam risk management identifies, evaluates, treats and monitors risks, with the objective of minimizing or even eliminating the possibility of negative impacts of this type of enterprise on the lives of people and the environment. In this study, an analytical bibliographic review was carried out to identify the classification of such risks in dams in Paraná, Brazil through a quanti-qualitative risk analysis and the analysis of safety management of

*Autor para correspondência.

such dams. Among the various literature found that reported updated information, such as the inspection and classification of Paraná dams by an agency such as Institute of Water and Land (IAT), National Water Agency (ANA), National Electric Energy Agency (ANEEL) and National Mining Agency (ANM); the existence of several quanti-qualitative methods that can be used to determine failures in dams, the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) being the technique that stands out; and the identification of appropriate practices for effective risk management. This review made possible to conclude that the identification, classification and inspection of dams in the State of Paraná are carried out by the IAT, which presents annual reports on the conditions of such dams for public knowledge and the safety of the population. Furthermore, it is possible to conclude that applying an adequate methodology for risk analysis is the best way to prevent a catastrophe with possible loss of life.

Keywords: *break; dams; failure; security.*

1 Introdução

Barragens são estruturas construídas transversalmente, que possuem a função de conter o curso e reter grande volume de água ou de rejeitos industriais, entre outros materiais. Essas estruturas não estão livres de falhas ou rupturas e devem ser constantemente avaliadas e gerenciadas quanto ao risco sobre pessoas ou ao meio ambiente (SOUZA, 2016).

A ruptura de barragens pode ocasionar a liberação descontrolada do material armazenado, com consequências que podem ser desde a perda do material retido até catástrofes, ceifando, inclusive, vidas humanas que trabalham e/ou residem nas proximidades dessas estruturas (FREITAS; SILVA, 2019).

As barragens podem ser construídas com estruturas de terra ou de concreto. Ambas são passíveis de ruptura. As causas mais frequentes de ruptura de barragens de terra são verificadas quando ocorre galgamento (a água apresenta ação erosiva no aterro da estrutura da barragem) e *piping* (erosão interna causada por percolação da água). Além disso – ainda que menos provável –, a ruptura pode ser ocasionada por instabilidade estática e liquefação das fundações da barragem. No caso de barragens de estrutura de concreto, o deslizamento é o principal fator de acidentes (SOUZA, 2016).

Levantar e processar informações disponíveis em relação às condições das barragens para assegurar a viabilidade da obra, consultar normas, manuais, diretrizes e recomendações técnicas são essenciais para garantir a segurança dessas construções.

A ocorrência, no Brasil, de graves acidentes dessa ordem relacionados com o gerenciamento inadequado tem feito com que estudos nessa área ganhem destaque. Tragédias como as que ocorreram com a barragem do Fundão em Mariana, em 5 de novembro de 2015, e com a barragem de mineração Brumadinho, em 25 de janeiro de 2019, ambas em Minas Gerais, são exemplos de omissão que causaram sérios danos ambientais e socioeconômicos, os quais devem ser previstos e evitados.

A Confederação Nacional de Municípios (CNM, 2019) destaca que é necessário monitorar barragens, como prevenção, para que desastres similares ao de Mariana não ocorram mais, pois, dependendo de sua dimensão, os efeitos negativos de rompimentos ou transbordamentos nessas estruturas atingem diretamente os municípios, causando danos e prejuízos econômicos, materiais, ambientais e humanos.

O objetivo geral deste trabalho é um levantamento dos assuntos relacionados ao gerenciamento de risco, aplicado à segurança tanto para barragens de concreto como para barragens de terra e enrocamento, no estado do Paraná. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a classificação dos riscos de falhas, análise quantitativa e qualitativa dos riscos provenientes e gerenciamento de riscos nas barragens desse estado.

O texto está estruturado em três partes, além desta introdução e das considerações finais. A seção 2 trata do referencial teórico, em especial da Política Nacional de Segurança de Barragens, da classificação de riscos de falhas em barragens, da análise quantitativa e qualitativa dos riscos e do gerenciamento dos riscos; a seção 3 trata da metodologia aplicada para a elaboração da revisão bibliográfica, compreendida no intervalo de 2009 a 2020; a seção 4 apresenta os principais resultados encontrados e a discussão do trabalho.

2 Referencial teórico

O aumento de demanda de recursos naturais está associado ao desenvolvimento ou evolução da humanidade. Assim, com base em conhecimento de Engenharia, constroem-se barragens com a intenção de se reterem água e rejeitos de materiais provenientes de indústrias (MARTINI, 2018). O armazenamento e regulação de água por barragens e reservatórios se caracteriza como um recurso hídrico imprescindível que traz benefícios importantes, como o abastecimento de água para a população, a irrigação, a hidroeletricidade, a mitigação de enchentes, entre outros (SANTANA; GARCIA; GARCIA, 2015).

A Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020 (BRASIL, 2020), alterou alguns dispositivos da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 (BRASIL, 2010), estabelecendo a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) – considerando serem essas construções destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais – e criando o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), cabendo aos órgãos fiscalizadores, de acordo com o art. 16, inciso I, “manter cadastro das barragens sob sua jurisdição, com identificação dos empreendedores, para fins de incorporação ao SNISB”.

A nova lei modificou, de forma muito relevante, a exigência do Plano de Ação Emergencial (PAE). No estado do Paraná, o PAE, além de ser entregue nas prefeituras de cada município abrangido na mancha de inundação, na Defesa Civil, e no empreendimento, deve estar disponível no site eletrônico da empresa, garantindo seu acesso à população.

A lei supracitada define a responsabilidade dos atores envolvidos, considerando os impactos causados pelas barragens sobre a população afetada, residente à montante e à jusante, e detalhando os papéis do empreendedor e a quem caberá garantir os recursos necessários à segurança de barragens. A lei esclarece também que o empreendedor é o agente privado ou governamental com direito real sobre as terras onde se localizam a barragem e o reservatório e à exploração da barragem, seja em benefício próprio ou da coletividade (BRASIL, 2010).

Para garantir condição de segurança das barragens durante a sua vida útil, é necessário empregar medidas de gerenciamento de risco e controle dessa condição. Essas medidas poderão anular a possibilidade de ocorrência de acidentes, principalmente se houver

ajuda complementar da defesa civil, que, em caso de acidente, pode atenuar os danos ocasionados (ANA, 2016).

Os riscos são considerados como a medida – extensão, volume, nível de gravidade – de danos decorrentes da combinação entre a frequência com que ocorre certo acidente e a extensão das consequências ou efeitos associados ao cenário (CETESB, 2011). A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2011) esclarece que o risco passa a ser aceitável quando se implantam medidas de redução e, paralelamente, se estabelece um programa de gerenciamento de risco que seja capaz de reduzir a possibilidade de acontecer um evento com diversas fatalidades.

Quanto às fatalidades decorrentes do rompimento de barragens, a ICOLD – *International Commission on Large Dams*¹, comissão citada no relatório do Tribunal de Contas do Estado do Paraná (TCE/PR, 2019), afirma que “a maioria de acidentes com ruptura de barragens com vítimas fatais envolve estruturas com uma altura inferior a 30 metros, localizadas em fazendas privadas, constituindo esse porte de barramento o de maior risco”. O estado do Paraná tem barragens que, em sua maioria, apresentam dimensões inferiores a 30 metros, colocando-se fortemente na linha de probabilística para catástrofes, exigindo um programa de gerenciamento de risco efetivo (TCE/PR, 2019).

[1] Comissão Internacional de Grandes Barragens.

A potencialização dos riscos de barragens paranaenses pode ocorrer devido ao grave déficit institucional, carência orçamentária e de pessoal, ausência de gestão, planejamento e execução das atribuições e omissão no cumprimento das competências e da legislação, além da grave omissão na fiscalização (TCE/PR, 2019).

Dias *et al.* (2016) e Freitas e Silva (2019) citam que os fatores que influenciam ou que podem ser o motivo de colapso das estruturas de barragens podem estar associados ao projeto ou à localização imprópria e ao processo de construção e de operação negligenciado, conduzindo ao comprometimento da estabilidade física da estrutura.

Destaca-se que a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) deve ser observada desde a concepção da barragem até a retirada do comissionamento e usos futuros, em todas as etapas do processo: planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento, primeiro vertimento, operação e desativação (BRASIL, 2010).

Silva e Silva (2020) relatam serem sete os instrumentos da referida Política: Classificação de Risco (CRI) e Dano Potencial Associado (DPA); Plano de Segurança; Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB); Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (SISNAMA); Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental; Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais; e Relatório de Segurança de Barragens.

2.1 Classificação de riscos de falhas em barragens

A classificação das barragens é realizada conforme suas características estruturais (altura) e volume do reservatório, podendo ser utilizados, como parâmetro, os danos potenciais, no caso de detecção de ruptura (SILVA; SILVA, 2020).

O Art. 7º da Lei nº 12.334/2010 (BRASIL, 2010) estabelece que as barragens são classificadas por Categoria de Risco (CRI) alto, médio ou baixo em função das características técnicas, estado de conservação do empreendimento e atendimento ao plano de segurança das barragens. São também classificadas quanto à categoria de

Dano Potencial Associado (DPA) em alto, médio ou baixo, em função do potencial de perdas de vidas humanas; dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes de rupturas de barragens; e em função do volume do reservatório (a graduação do volume do reservatório está ligada ao Dano Potencial Associado) (BRASIL, 2010).

As barragens de grande porte são aquelas: i) construídas com mais de 15 metros de altura; ii) com altura de 5 a 15 metros em que o comprimento da crista seja maior que 500 metros; iii) cujo volume do reservatório seja maior que 3 milhões de metros cúbicos; iv) cuja capacidade de descarga seja maior que 2 mil metros cúbicos por segundo; v) com fundações pouco usuais (BRASIL, 2010).

A responsabilidade de classificar as barragens é das entidades fiscalizadoras, atividade que deve ocorrer na fase inicial da implementação da PNSB. Para as barragens submetidas à PNSB, a classificação define a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do plano de segurança de barragens a ser elaborado pelo empreendedor. É a partir da classificação que se determinam quais barragens devem ser submetidas a ações de acompanhamento, fiscalização e recuperação.

A fiscalização de barragens no Paraná é realizada pelos seguintes órgãos ambientais: Instituto Água e Terra (IAT): emite o licenciamento para execução da atividade e faz a fiscalização do empreendimento; Instituto de Águas do Paraná (IAP): emite a outorga para uso da água e fiscaliza as barragens de atividades como abastecimento, aquicultura, irrigação, entre outras; Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL): fiscaliza barragens para fins de geração de energia elétrica; Agência Nacional de Mineração (ANM): fiscaliza barragens de rejeitos de atividade de mineração.

A fiscalização da segurança de barragens de usos múltiplos (exceto para o aproveitamento hídrico, como, por exemplo, a hidrelétrica de Itaipu) realizada pelo IAT atua na avaliação da segurança das barragens para reduzir incidentes e acidentes. O IAT classifica as barragens por categoria de risco, em relação ao tipo de material, à altura, ao comprimento, ao material de construção, ao tipo de fundação, à idade e à vazão da barragem, e também quanto ao dano potencial associado, que se refere ao volume do reservatório, ao potencial de perdas de vidas humanas e aos impactos ambientais e socioeconômicos (IAT, 2020a).

No estado do Paraná, a Portaria Águas Paraná 046/2018 (IAT, 2018) 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 (PSB), das Inspeções de Segurança Regular (SR) e Especial (SE), da Revisão Periódica de Segurança da Barragem (RPSB) e do Plano de Ação de Emergência (PAE) (TCE/PR, 2019).

No Brasil são diversas as barragens registradas e classificadas pelos órgãos competentes. De acordo com o relatório da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), existem 24.092 barragens cadastradas no país, sendo que sua maior concentração é observada no estado do Rio Grande do Sul (10.694), seguido pelo estado de São Paulo (7.171). O estado do Paraná apresenta 2.542 barragens cadastradas e fiscalizadas, sendo que 391 apresentam empreendedor identificado (IAT, 2020a).

Em contradição à ANA (2018), o TCE/PR (2019) estima a existência de 800 barragens no Paraná e destaca a ausência de cadastramento integral e seguro. Afirma ainda que essa estimativa pode estar subestimada, logo equivocada, visto que existem mais de duas barragens/açudes por município e sabendo-se que há um total de 399 municípios paranaenses.

Com relação às barragens de rejeito, a ANM (2023) relata haver 923 barragens no Brasil, das quais apenas três estão localizadas no Paraná. Uma dessas barragens pertence ao município de Campo Largo (extração de ouro primário) e duas ao município de Cerro Azul (extração de fluorita).

2.2 Análise quantitativa e qualitativa dos riscos provenientes de barragens

Diante de um cenário que apresenta ausência de cadastramento de barragens por diversos motivos, torna-se interessante entender o que é uma análise de risco e seus principais métodos.

O risco pode ser definido como a possibilidade de acontecer algo, sendo ele o produto da possibilidade/probabilidade multiplicado pela consequência (ICOLD, 2011). É importante ressaltar que o risco está presente em qualquer obra de engenharia, ocasionado pela impossibilidade de se determinar por completo o comportamento de certos materiais como o solo, por exemplo. Com base nesse fato, as barragens devem ser constantemente monitoradas, com o objetivo de gerenciar ou minimizar os riscos.

A análise de risco é a primeira etapa da gestão de risco (USBR, 2019). É na análise do processo que os possíveis modos de falhas, desempenho da estrutura e as diferentes consequências são identificados. Nessa etapa é possível obter-se uma estimativa quantitativa e qualitativa da probabilidade de ocorrência e da magnitude das consequências dos potenciais acontecimentos.

Melo (2014) relata que as análises de risco podem ser de natureza qualitativa ou quantitativa. Nas análises qualitativas, pode-se utilizar uma forma descritiva ou escala de ordenação numérica para demonstrar a probabilidade de danos e a magnitude de seus potenciais consequências. As análises quantitativas são baseadas em valores numéricos das consequências potenciais e suas probabilidades, observando-se, com base nos valores apresentados, a magnitude real das consequências no cenário em estudo.

Observam-se importantes limitações na aplicação de análise de risco, independentemente de a análise ser qualitativa ou quantitativa. Segundo Melo (2014), a análise qualitativa tende a mostrar resultados subjetivos, enquanto a análise quantitativa apresenta aplicação subjetiva na área de estudo de barragens, em virtude da dificuldade na caracterização analítica causada pelas incertezas no processo. Deve-se citar também a análise semiquantitativa, que utiliza ferramentas da análise quantitativa e adota escalas de probabilidade para obter parâmetros com resultados numéricos.

Eckhoff (2016) ressalta que os métodos utilizados nas análises de risco de barragens são um total de 37, mas que, desse total, apenas 6 são realmente apropriados. Esses métodos são descritos a seguir.

- 1) Análise do Perigo e da Operacionalidade (HAZOP): técnica qualitativa que estimula a imaginação dos participantes a identificar potenciais perigos e problemas de operabilidade. Essa técnica possibilita identificar e avaliar problemas que podem representar riscos às pessoas ou equipamentos ou impedir uma operação eficiente (ECKHOFF, 2016).

- 2) **Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA):** consiste em uma análise que se inicia pela identificação e compreensão dos modos possíveis de ruptura de um sistema, seguida de uma avaliação do comportamento global desse sistema (ECKHOFF, 2016). Baseando-se nessa técnica, é possível uma identificação prévia de todas as formas de ruptura catastrófica, podendo os especialistas antecipar uma intervenção corretiva, minimizando ou eliminando os riscos.
- 3) **Análise de Criticidade dos Modos de Falha e dos seus Efeitos (FMECA):** técnica que tem como objetivo identificar, sistematicamente, todas as formas em que uma planta de processos pode apresentar falhas. É através de um processo de criticidade que os modos de ruptura são ordenados e as recomendações formuladas para a tomada de medidas preventivas e mitigadoras (ECKHOFF, 2016).
- 4) **Análise por Árvore de Eventos (ETA):** técnica de análise quantitativa que permite modelar os prováveis resultados de um evento. Iniciando um evento, serão identificadas todas as possíveis consequências e a probabilidade de sua ocorrência. Os eventos, as consequências e as probabilidades são representadas na forma de uma árvore de eventos, o que permite desagregar as sequências de ruptura de forma lógica e coerente. A análise tem como base os dados obtidos e cálculos de confiabilidade (MELO, 2014).
- 5) Segundo Eckhoff (2016), há também a **Análise por Árvore de Falhas (AAF)**, técnica de identificação de perigo e análise que parte de um evento topo escolhido para o estudo e estabelece combinações e condições que poderiam causar a ocorrência de eventos. O objeto da AAF é o sistema; os focos são o evento topo e as sequências de eventos. As técnicas auxiliares utilizadas para identificar os eventos são APR, HAZOP e “*what if*”. A AAF é uma ferramenta aberta que comporta as mais diferentes explicações dos acidentes, a partir de falhas ativas existentes nas organizações. As probabilidades de falhas operarem a favor dos acidentes são apresentadas em forma de diagrama de árvore, no qual as hipóteses passam a explicar os acidentes.
- 6) Por fim, conforme cita Ruppenthal (2013), o *Noeud Papillon* (Nó de Borboleta) trata da junção de dois métodos anteriores de análise de risco, AAF e ETA, através de um evento central.

Complementando, ainda se tem a APR – Análise Preliminar de Risco, técnica de Identificação de Perigo e Análise de Risco que consiste em identificar eventos perigosos, causas e consequências e estabelecer medidas de controle. É preliminar por ser a primeira abordagem do objeto de estudo, sendo, muitas vezes, suficiente para estabelecer medidas de controle de risco. É composta dos seguintes passos: reunir dados necessários; efetuar análise preliminar de riscos; e registrar os resultados (RUPPENTHAL, 2013).

Outra técnica de análise geral é “*what if*”, que consiste em um procedimento qualitativo, cuja aplicação é simples e útil para uma abordagem em primeira instância de detecção exaustiva de riscos. Essa análise pode ser utilizada na fase de processo, no projeto ou na fase pré-operacional. A finalidade do “*what if*” é testar possíveis omissões em projetos, procedimentos e normas e ainda aferir comportamento e capacitação pessoal nos ambientes de trabalho, com o objetivo de proceder à identificação e ao tratamento de riscos (RUPPENTHAL, 2013).

Os projetos de barragens apresentam diversos fatores e variáveis que dificultam a utilização de uma análise de risco quantitativa. Já as análises qualitativas e semiquantitativas estão sendo utilizadas com maior frequência.

No Brasil, conforme relatado por Lauriano (2009), a metodologia mais utilizada, principalmente para barragens de rejeitos, é a FMEA. Nessa análise, especialistas de áreas diversificadas, como geologia, geotecnia, hidrologia, hidráulica, estruturas, meio ambiente, gestão institucional, entre outras, trabalham em grupos, para implementação de todas as etapas do empreendimento.

O Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2019) considera que, independentemente do método de análise de risco selecionado, a aplicação de um processo estruturado e racional de gestão de risco obriga a um conhecimento aprofundado do projeto, construção, operação e fechamento, contribuindo imensamente para se entenderem os possíveis modos de falha das estruturas e seus gatilhos (eventos iniciadores), permitindo tomada de decisão consciente.

2.3 Gerenciamento de riscos de barragens no Paraná

Define-se gerenciamento de riscos como uma metodologia que tem como objetivo aumentar a confiança na capacidade de uma organização ou empreendedor em prever, priorizar e superar obstáculos, conseguindo, assim, atingir suas metas. É a área de atuação que busca administrar as possibilidades de falhas, buscando evitar que estas aconteçam (RUPPENTHAL, 2013).

No contexto atual, gestão de risco de barragens consiste na aplicação sistemática, coordenada e integrada de política, procedimentos e práticas para a tarefa de identificação, análise, avaliação, mitigação e controle do risco (MELO, 2014).

No estado do Paraná, o IAP, recém-renomeado IAT (Instituto Água e Terra), é responsável por introduzir um programa de mapeamento e gerenciamento de possíveis acidentes ambientais que colocam em risco a segurança do meio ambiente e a integridade física das pessoas, trabalhadores e moradores em torno das barragens. Segundo o IAT (2020b), o Art. 2º da portaria IAP159 de 10 de agosto de 2015 dispõe que o Programa de Gerenciamento de Risco (PGR) deve ser apresentado por todos os empreendimentos cuja atividade possa apresentar impacto à população.

O PGR é exigido para todas as barragens e deve ser fornecido pelos empreendedores em um prazo de 90 dias, contados a partir da emissão da Portaria IAT nº 296, emitida em 30 de setembro de 2020 (IAT, 2020b). Denomina-se empreendedor pessoa física ou jurídica que detenha a outorga, licença, concessão, autorização ou qualquer outro ato que lhe confira o direito de operação da barragem e do respectivo reservatório, ou aquele com real direito sobre as terras onde a barragem se localiza, caso não haja alguém que a explore oficialmente.

De acordo com a Federação da Agricultura do Estado do Paraná (FAEP, 2020), a maioria das barragens do Paraná apresenta porte pequeno e, caso essas construções não sejam adequadamente mantidas, podem apresentar riscos de rompimento em situações de chuvas intensas ou por não suportarem mais reservar a água armazenada.

No gerenciamento de barragens paranaenses, algumas práticas são recomendadas para garantir seu bom funcionamento e, conseqüentemente, a segurança da população, merecendo destaque a necessidade de se regularizarem todas as

documentações e de se manter atualizado o Plano de Ação de Emergência (PAE) da barragem (IAT, 2020b).

Outras práticas de gerenciamento importantes, segundo o IAT (2020b), são: não cultivar plantas de médio a alto porte na barragem (independentemente de este cultivo ser nos taludes, na crista ou num raio de 10 metros do pé da barragem – para as barragens de terra e enrocamento, as áreas de taludes e cristas devem ser revestidas com grama, brita ou concreto), para evitar deslizamento; a crista da barragem deve contar com um sistema de drenagem, para inviabilizar futuras infiltrações; o vertedouro deve ser constantemente desobstruído de restos vegetais, para não se interromper o escoamento de água; ter atenção a trincas, buracos, afundamentos e erosões, que são sinais de problema estrutural na barragem; remover plantas aquáticas que podem comprometer a qualidade da água e a vazão do vertedouro; atentar para a presença de formigueiros e tocas de animais, fatores que também representam risco à estrutura do empreendimento; e realizar acompanhamento das variações de volume do reservatório através de medidores de vazão e de régua de controle de nível.

3 Método da pesquisa

Este estudo se constituiu de uma revisão bibliográfica de caráter analítico, a respeito de riscos nas barragens no Paraná, voltada para os identificar e classificar; da análise quantitativa e qualitativa desses riscos; e da análise do gerenciamento de segurança de barragens no Paraná. A coleta de artigos relacionados ao tema foi realizada entre os dias 15 e 28 de outubro de 2020, com leitura e elaboração concomitante do texto do trabalho.

Para a pesquisa, foram utilizados livros, artigos de revistas, relatórios e documentos diversos, sendo a internet o principal veículo para se ter acesso ao material necessário. A consulta aos artigos foi realizada na base de dados SciELO (*Scientific Electronic Library Online*) e no Google Acadêmico, sendo utilizadas as palavras-chave gerenciamento, risco, falhas, análises, classificação, barragens e Paraná. Definiram-se como critério de inclusão bibliografias publicadas entre os anos de 2009 e 2020, para se formar um texto com conhecimento atualizado da real situação das barragens no Paraná.

Após serem selecionadas as bibliografias, conforme critérios previamente determinados, foram cumpridos os seguintes passos: leitura exploratória; seleção e escolha dos textos que atendessem ao objetivo do tema; leitura e análise dos textos; e, para concluir, a elaboração e redação da revisão bibliográfica.

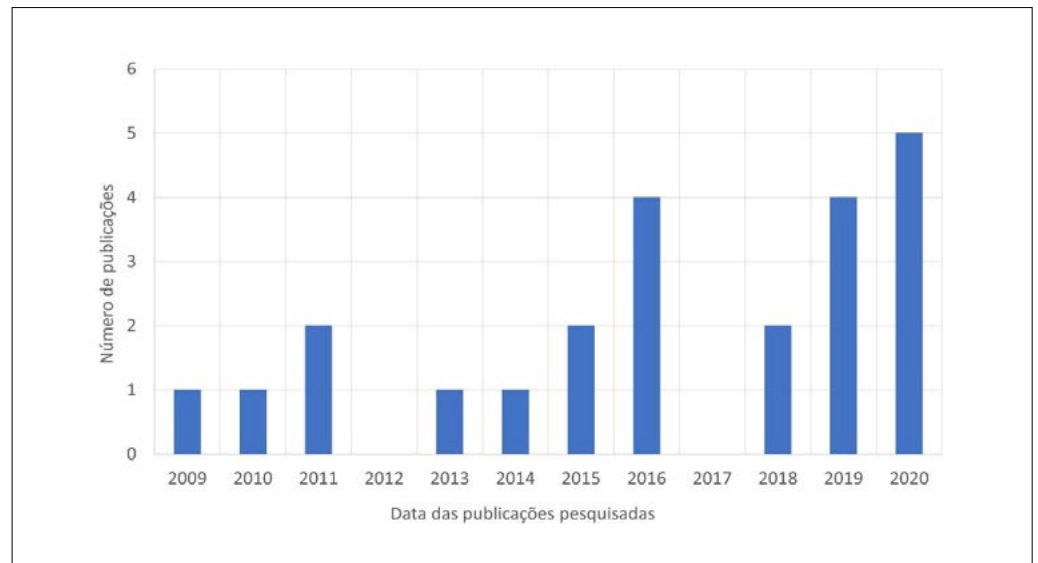
A partir das etapas citadas, obteve-se o material do estudo agrupando-se os temas mais abordados nas seguintes categorias: classificação de riscos de falhas em barragens; análise quantitativa e qualitativa dos riscos provenientes de barragens; e, por fim, gerenciamento de riscos de barragens no Paraná.

4 Resultados e discussão

Das diversas literaturas (livros, artigos de revistas, relatórios e documentos) encontradas na busca inicial, foram selecionadas 23 publicações para leitura e fichamento. Todas as literaturas selecionadas eram publicações brasileiras, independentemente do idioma publicado.

O período de publicação das literaturas utilizadas na elaboração do texto ficou compreendido entre os anos de 2009 e 2020. Observou-se que o maior número de publicações ficou concentrado nos anos de 2016, 2019 e 2020, conforme indica o gráfico da Figura 1.

Figura 1 ►
Publicações sobre gerenciamento de risco de barragens observadas entre os anos de 2009 e 2020.
Fonte: dados da pesquisa



Com base nas literaturas utilizadas para este estudo, foi possível determinar o que se tem de conhecimento e de dados recentes que relatam a real situação do gerenciamento das barragens no estado do Paraná. Observou-se que ocorreu uma maior preocupação quanto à classificação e monitoramento das barragens paranaenses após as tragédias ocorridas nas barragens de Mariana e Brumadinho, ambas cidades do estado de Minas Gerais.

Interessante destacar a existência de um maior número de publicações em anos seguintes à ocorrência de uma tragédia. O desmoronamento da barragem de Mariana, que ocasionou o óbito de 19 pessoas – moradores e funcionários da própria mineradora –, ocorreu na data de 5 de novembro de 2015, e, como mostra a Figura 1, o número de publicações no ano de 2016 cresceu acentuadamente (200%). Da mesma forma, o desastre industrial, humanitário e ambiental de Brumadinho, que acabou com a vida de 259 pessoas, despertou, nos especialistas da área, a necessidade de ampliar seu conhecimento sobre o assunto barragens e, associado a isso, aperfeiçoar técnicas de análises de riscos e de falhas de gerenciamento, gerando publicações específicas da área no ano de 2020.

O site do IAT (IAT 2020a, 2020b) merece destaque por apresentar detalhadamente todas as barragens do Paraná que estão cadastradas e fiscalizadas. Além disso, esse site viabiliza o cadastramento das que se encontram irregulares, descrevendo todas as etapas do processo de regularização.

Entre as classificações apresentadas pelo IAT (2020a), existem 10 barragens no Paraná com alto potencial de dano associado e alto risco. Essas barragens estão localizadas nos municípios de Cascavel (Barragem – Lago Paulo Gorski), Manoel Ribas (Barragem – Lago Favoretto), General Carneiro (Barragem – São Bento), Jaguariaíva (Barragem – Sítio Carneiro), Imbituva (Barragem – Engenho Novo), Imbituva (Barragem – Parque Ambiental de Imbituva), Cerro Azul (Barragem – Lajeado Grande), Sertanópolis (Barragem – Pelizaro), Laranjeiras do Sul (Barragem – Parque Aquático Municipal de Laranjeiras do Sul) e Balsa Nova (Barragem – Balsa Nova). Dados preciosos como esse merecem divulgação e atenção, para garantir fiscalização constante dos empreendedores e dos órgãos oficiais.

Observa-se que todas as 23 literaturas citadas neste estudo apresentam informações sobre as barragens paranaenses em geral, não havendo citação de estudos específicos para uma determinada barragem nem análises de risco aplicadas a elas. Esse fato demonstra a carência de pesquisas aplicadas às barragens, que gerem informações úteis e que possam ser aplicadas na prática.

Sobre a fiscalização das barragens, o relatório do Tribunal de Contas do Estado do Paraná (TCE/PR, 2019) expõe falhas na fiscalização das barragens pelo IAT, sendo elas causadas por déficit institucional, carência orçamentária e de pessoal, ausência de gestão, planejamento e execução das suas atribuições, omissão do cumprimento das competências e da legislação e grave omissão na fiscalização. Pode-se concluir, pela denúncia do TCE/PR, a existência de uma gerência descoordenada que, somada à omissão dos empreendedores, pode vir a resultar em graves danos humanitários e ambientais futuros. Não é suficiente elaborar leis; é fundamental providenciar para que sejam cumpridas com eficácia.

Na busca de literatura sobre classificação, fiscalização, análise de risco e gerenciamento de barragens, foi possível constatar que a maioria dos artigos publicados, independentemente do tipo de pesquisa ou da instituição em que a pesquisa é realizada, prioriza barragens de rejeito do estado de Minas Gerais. Provavelmente, a especial atenção dada às barragens mineiras é motivada pelos acontecimentos passados, que refletem um “problema real”. Estudos de caso individualizados direcionados às barragens de água devem, todavia, ser realizados em todos os estados onde houver sua construção e funcionamento, e nunca superestimada sua segurança.

Com relação à legislação de barragens, verificou-se a existência de bibliografias atualizadas, demonstrando a preocupação com a possível ocorrência de novos acidentes semelhantes aos já ocorridos. A experiência serviu de exemplo para se aperfeiçoarem critérios de elaboração de projetos e construções e para criar uma forma de controle e inspeção de barragens. Literaturas importantes que relatam sobre legislação de segurança de barragens são República Federativa do Brasil, ICOLD – *International Commission on Large Dams*, ANA e ANEEL.

O aprimoramento da legislação de segurança de barragens é algo bastante complexo e deve atender a todas as condições específicas relativas a esse tipo de obra de engenharia, abrangendo também geotécnica e geologia, sendo, assim, produzida muita literatura no assunto específico.

Pôde-se verificar, na pesquisa de literatura sobre análise de risco, que o assunto desperta interesse em acadêmicos de pós-graduação para elaboração de TCCs, dissertações e teses e livros didáticos, entre outros artefatos dessa natureza. A partir do conhecimento adquirido pela revisão bibliográfica, verificou-se também que há muito a ser feito. Com relação ao assunto propriamente dito, sabe-se que o tipo de análise e de avaliação depende do contexto e dos objetivos do empreendedor e que a implementação do tipo de análise de risco (quantitativa, semiquantitativa e/ou qualitativa) enfrenta sérias dificuldades, devido ao caráter singular das barragens.

De acordo com as literaturas citadas, o método mais utilizado para análise de risco de barragens é o FMEA. Métodos qualitativos como o FMEA identificam os potenciais modos de falha e avaliam os riscos associados, possibilitando realizar ações corretivas, reduzindo significativamente a incidência de falhas. Métodos quantitativos não devem, porém, ser desconsiderados, porque enumeram as chances de ocorrência de uma falha (probabilidade em termos quantitativos). Vale considerar, entretanto, que muitos fatores não são quantificáveis, como o trauma da perda de um ente querido. Aplicar diferentes metodologias para um mesmo caso pode ser bastante eficaz e resultar em maior segurança.

Observa-se que a aplicação de metodologia de análise de risco é fundamental para manter as barragens seguras, além de ser procedimento indispensável no gerenciamento de segurança de barragens.

Conclui-se que a avaliação e o gerenciamento de riscos de barragens são áreas pouco exploradas do conhecimento, provavelmente por serem relativamente novas, não havendo muitas ferramentas literárias a serem utilizadas.

5 Conclusões

Conforme os dados levantados, o gerenciamento de risco de barragens é muito importante dentro de um sistema que exige constante atenção e atualização de conhecimentos.

A identificação, classificação e fiscalização das barragens no estado do Paraná é responsabilidade da ANA. Relatórios anuais das condições das barragens são realizados e apresentados para conhecimento público, todavia, considerando os dados contraditórios fornecidos por órgãos públicos como a ANA e o TCE/PR, fica evidente a necessidade de se contratarem profissionais técnicos capacitados para realizar a identificação (cadastramento) e fiscalização de uma grande quantidade de barragens no estado do Paraná. Sempre que possível, os empreendedores deveriam contratar profissionais especializados para capacitar técnicos que atuem no campo para cadastrar barragens e viabilizar a análise de risco e seu gerenciamento.

Sugere-se também que pesquisas sejam realizadas na área de análise de risco de falhas de barragens paranaenses, para que, dessa forma, sejam elevados os níveis de segurança de trabalhadores e moradores de seu entorno.

O estudo e a aplicação de análises de riscos são uma forma concreta para se verificarem as condições de segurança de barragens, exigindo pessoal treinado para seu exercício. Pesquisas direcionadas à segurança de barragens no estado do Paraná merecem destaque não só nesse estado mas também no país, a fim de se fornecer e ampliar conhecimento para ações de segurança preventivas nessas estruturas.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Instruções para apresentação do Plano de Segurança da Barragem**. Brasília, DF: ANA, 2016. Disponível em: https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/instrucoes-para-apresentacao-plano-seguranca-barragens. Acesso em: 21 nov. 2020.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório de segurança de barragens 2017**. Brasília, DF: ANA, 2018. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2017>. Acesso em: 21 nov. 2020.

ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **SIGBM – Sistema de Gestão de Segurança de Barragem de Mineração**. Brasília, DF: ANM, 2023. Disponível em: <https://app.anm.gov.br/sigbm/publico/classificacaonacionaldabarragem>. Acesso em: 24 mar. 2023.

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. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm. Acesso em: 21 out. 2020.

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). Brasília, DF: Presidência da República, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14066.htm. Acesso em: 21 jan. 2022.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Norma Técnica P4.261**. Risco de acidente de origem tecnológica – método para decisão e termos de referência. 2. ed. São Paulo: CETESB, 2011. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/p4-261-risco-de-acidente-de-origem-tecnologica-metodo-para-decisao-e-terminos-de-referencia>. Acesso em: 25 jan. 2022.

CNM – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. **Diagnóstico de segurança das barragens brasileiras**. Brasília: CNM, 2019. 25 p. Disponível em: <https://www.cnm.org.br/biblioteca/exibe/13714>. Acesso em: 25 jan. 2021.

DIAS, R. E. S. A.; SOUZA, D. O. O.; COSTA, M. F.; DIAS, N. T. C.; DIAS, A. C. S. A. Gestão de risco de barragens de rejeitos de mineração: prevenção nas etapas de planejamento e operação do empreendimento. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 13., 2016, Poços de Caldas. **Anais** [...]. Poços de Caldas: GSC Eventos Especiais, 2016.

ECKHOFF, R. K. Review of some methods of hazard and risk analysis. *In*: ECKHOFF, R. K. **Explosion hazards in the process industries**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2016. Cap. 11, p. 501-521. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803273-2.00011-6>.

FAEP – FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DO PARANÁ. Barragem em propriedade rural exige regularização. **Boletim Informativo**, ano 35, n. 1522, p. 6-7, out. 2020. Disponível em: <https://www.sistemafaep.org.br/arquivo/index.html?catalog=BI1522&startPage=6>. Acesso em: 26 out. 2020.

FREITAS, C. M.; SILVA, M. A. Acidentes de trabalho que se tornam desastres: os casos dos rompimentos em barragens de mineração no Brasil. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, v. 17, n. 1, p. 21-29, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5327/Z1679443520190405>.

IAT – INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Dashboard de barragens do estado**. Curitiba: IAT, 2020a. Disponível em: <https://geo.iat.pr.gov.br/portal/apps/op dashboard/index.html#/9df1dafca2624101b43f5347e71ad684>. Acesso em: 21 nov. 2020.

IAT – INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Gerenciamento de riscos**. Curitiba: IAT, 2020b. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Programa-de-Seguranca-de-Barragens>. Acesso em: 21 out. 2020.

IAT – INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Portaria 046/2018**. Curitiba: IAT, 2018. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files_documento/2020-09/portaria_46_2018_seguranca_de_barragens_instituto_das_aguas_do_parana.pdf. Acesso em: 21 out. 2020.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Guia de boas práticas: gestão de barragens e estruturas de disposição de rejeitos**. Brasília: IBRAM, 2019. 144 p. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2019/09/arte_gestao_barragem_ibram_web.pdf. Acesso em: 12 jan. 2022.

ICOLD – INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **Improving tailings dam safety: critical aspects of management, design, operation and closure**. Paris: ICOLD, 2011. 180 p. (Bulletin, 139).

LAURIANO, A. W. **Estudo de ruptura da Barragem de Funil: comparação entre os modelos FLDWAV e HEC-RAS**. 2009. 251 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <https://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/656M.PDF>. Acesso em: 12 jan. 2022.

MARTINI, B. D. **Sistema WEB para gestão de segurança de barragens**. 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/10611>. Acesso em: 12 jan. 2022.

MELO, A. V. **Análises de risco aplicadas a barragens de terra e enrocamento: estudo de caso de barragens da CEMIG GT**. 2014. 244 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9RWH45>. Acesso em: 13 jan. 2022.

RUPPENTHAL, J. **Gerenciamento de riscos**. Santa Maria: Rede e-Tec Brasil, 2013.

SANTANA, H. L.; GARCIA, P. R.; GARCIA, G. F. Segurança de barragens, monitorada por instrumentação. **Revista Brasileira de Ciências, Tecnologia e Inovação**, Uberaba, v. 1, n. 2, p. 1-8, 2015. DOI: <https://doi.org/10.18554/rbcti.v1i2.3685>.

SILVA, E. L.; SILVA, M. A. Segurança de barragens e os riscos potenciais à saúde pública. **Saúde em Debate**, v. 44, p. 242-261, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042020E217>.

SOUZA, D. H. C. **Análise probabilística e de sensibilidade dos parâmetros de um estudo de rompimento hipotético: barragem de terra.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/321785>. Acesso em: 12 nov. 2020.

TCE/PR – TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO PARANÁ. **Relatório de Auditoria com objetivo de avaliar a fiscalização da segurança das barragens nos órgãos responsáveis no Estado do Paraná.** Cidade: TCE/PR, 2019. 185 p. Disponível em: <https://www1.tce.pr.gov.br/multimedia/2019/6/pdf/00337404.pdf>. Acesso em: 30 out. 2020.

USBR – UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION. **Best practices in dam and levee safety risk analysis.** Washington, D.C.: USBR, 2019. Disponível em: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/methodology.html>. Acesso em: 14 out. 2020.