MICHELE BISPO DE JESUS

**ASPECTOS DE GESTÃO FRENTE À POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE
BARRAGENS**

**SÃO PAULO
2021**

MICHELE BISPO DE JESUS

**ASPECTOS DE GESTÃO FRENTE À POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE
BARRAGENS**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Engenharia Hidráulica e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. José Rodolfo Scarati Martins

**SÃO PAULO
2021**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

de Jesus, Michele Bispo

Aspectos de gestão frente à Política Nacional de Segurança de Barragens /

M. B. de Jesus -- versão corr. -- São Paulo, 2021.

243 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental.

1.gestão de segurança de barragens 2. Política Nacional de Segurança de Barragens 3. gestão de riscos I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental II.t.

DEDICATÓRIA

Há uma história contada pelo saudoso Betinho, replicada com tanto carinho pelo meu pai:

Diz a lenda que havia uma imensa floresta onde viviam milhares de animais, aves e insetos. Certo dia uma enorme coluna de fumaça foi avistada ao longe e, em pouco tempo, embaladas pelo vento, as chamas já eram visíveis por uma das copas das árvores. Os animais assustados diante da terrível ameaça de morrerem queimados, fugiam o mais rápido que podiam, exceto um pequeno beija-flor. Este passava zunindo como uma flecha indo veloz em direção ao foco do incêndio e dava um voo quase rasante por uma das labaredas, em seguida voltava ligeiro em direção a um pequeno lago que ficava no centro da floresta. Incansável na sua tarefa e bastante ligeiro, ele chamou a atenção de um elefante, que com suas orelhas imensas ouviu suas idas e vindas pelo caminho, e curioso para saber porquê o pequenino não procurava também afastar-se do perigo como todos os outros animais, pediu-lhe gentilmente que o escutasse, ao que ele prontamente atendeu, pairando no ar a pequena distância do gigantesco curioso.

– Meu amiguinho, notei que tem voado várias vezes ao local do incêndio, não percebe o perigo que está correndo? Se retardar a sua fuga talvez não haja mais tempo de salvar a si próprio! O que você está fazendo de tão importante?

— Tem razão senhor elefante, há mesmo um grande perigo em meio aquelas chamas, mas acredito que se eu conseguir levar um pouco de água em cada voo que fizer do lago até lá, estarei fazendo a minha parte para evitar que a nossa mãe floresta seja destruída.

Em menos de um segundo o enorme animal marchou rapidamente atrás do beija-flor e, com sua vigorosa capacidade, acrescentou centenas de litros d'água às pequenas gotinhas que ele lançava sobre as chamas.

Notando o esforço dos dois, em meio ao vapor que subia vitorioso dentre alguns troncos carbonizados, outros animais lançaram-se ao lago formando um imenso exército de combate ao fogo.

Quando a noite chegou, os animais da floresta exaustos pela dura batalha e um pouco chamuscados pelas brasas e chamas que lhes fustigaram, sentaram-se sobre a relva que duramente protegeram e contemplaram um luar como nunca haviam notado.

Dedico este trabalho aos meus beija-flores: Celina (*in memoriam*), Carlos (*in memoriam*) e Sara, mais conhecidos como vovó, papai e mamãe. Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Ao trio que fez de mim quem sou hoje: Dona Celina (*in memoriam*), Carlos (*in memoriam*) e Sara.

À Alvaro, que, muito mais que meu marido, foi meu amigo, apoio e minha força nos muitos momentos que desistir parecia inevitável. Os seus abraços, seu olhar atencioso e sua crença me trouxeram até aqui. Te amo incondicionalmente.

À Alvaro, meu filho, meu Pitoco, minha fonte de alegria e de redescoberta da vida. Mamãe te ama muito!

À Milena e Fábio, meus irmãos, aqueles que estiveram sempre por mim e sempre cuidaram de mim, que demonstram diariamente seu amor por meio da preocupação com a caçula, ainda que distantes fisicamente.

À Marta, Paulo, Celinha, Pedrinho e Márcia, minha fonte de admiração desde criança. Sei até onde posso chegar hoje por me espelhar em vocês.

À Laís, Lorena, João Pedro, Luana, Lucas e Miguel, meus primos, por sempre me lembrarem como é bom SER família.

Aos meus sogros, que cuidam de mim como filha e que, ao cuidarem do meu filho com todo carinho do mundo, foram fundamentais para eu poder finalizar esta dissertação.

Aos meus amigos e amigas, que se tornaram uma extensão fundamental da minha vida, minha família de coração e porto seguro nesta caminhada da vida.

À UFBA, em especial aos professores Patrícia Borja, Luiz Roberto Santos Moraes e Lafayette Luz, por irem além do conhecimento técnico e me ensinarem valores que levarei por toda vida profissional.

Ao Professor Rodolfo, que, além de orientador, foi meu apoiador nesta trajetória, me dando, por diversas vezes, o suporte para que eu nunca deixasse de acreditar em mim.

À Sabesp, por me permitir conciliar o mestrado e trabalho, e por ser uma fonte diária de aprendizado.

À EMBASA, pelas informações fornecidas.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigada!

“All dams leak.”

William Mulholland, engenheiro-chefe do Departamento de Água e Abastecimento de Los Angeles, em 11 de março de 1928, enquanto inspecionava a barragem São Francisco. 24 horas depois a barragem rompeu.

“It is our choices, Harry, that show what we truly are, far more than our abilities.”

Albus Dumbledore. J.K. Rowling, Harry Potter e a Câmara Secreta

RESUMO

A ruptura de uma barragem, embora seja um acidente pouco frequente, pode estar associada a danos potenciais muito significativos no vale a jusante. A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), implementada pela Lei Federal nº 12.334/2010, foi um marco para o fomento da cultura de segurança de barragens. Entretanto, os acidentes ocorridos nos últimos 10 anos, em especial Mariana e Brumadinho, ressaltaram a importância de operar, monitorar e manter uma gestão adequada destas estruturas. Ao avaliar especificamente os empreendedores de barragens de usos múltiplos, verifica-se uma grande lacuna a ser preenchida por fiscalizadores e empreendedores.

Nesse sentido, esse trabalho tem como objetivos a compilação e consolidação dos principais elementos legais, institucionais, gerenciais e práticos ligados à gestão da segurança de barragens no ambiente nacional e formação de um painel atualizado sobre as ações empreendidas pelos proprietários e detentores destas estruturas, tanto do lado gerencial, quanto tecnológico. O estudo de caso foi necessário para possibilitar a análise de práticas já existentes em barragens de usos múltiplos, e que possam ser disseminadas. Nesse escopo, as experiências das companhias de saneamento Embasa e Sabesp foram obtidas para exemplificar as medidas de gestão que possam ser empregadas, de maneira a contribuir com a disseminação de informações relevantes para auxiliar no fortalecimento da cultura de segurança de barragens no Brasil.

Palavras-chave: Gestão de Segurança de Barragens; Política Nacional de Segurança de Barragens, gestão de riscos.

ABSTRACT

The dam break, although a rare accident, could be associated with significant potential damage in the downstream valley. The National Dam Safety Policy (PNSB), implemented by Federal Law No. 12,334/2010, was a milestone for the promotion of a dam safety culture. However, the accidents that occurred in the last 10 years, especially in Mariana and Brumadinho, highlighted the importance of operating, monitoring, and maintaining adequate management of these structures. When specifically evaluating developers of multiple-use dams, there is a broad gap to be filled by inspectors and developers.

In this sense, this work aims to compile and consolidate the main legal, institutional, managerial and practical elements related to dam safety management in the national environment and the formation of an updated panel on the actions taken by the owners and holders of these structures, both on the management side, as well as technological. The case study was necessary to enable the analysis of practices that already exist in dams with multiple uses, and that can be disseminated. In this scope, the experiences of the sanitation companies Embasa and Sabesp were obtained to exemplify the management measures that can be used to contribute to the dissemination of relevant information to help strengthen the dam safety culture in Brazil.

Keywords: Dam Safety Management; National Dam Safety Policy, risk management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distrito de Barra Longa, após o acidente	27
Figura 2 - O antes e depois da tragédia, nas imagens do satélite da SCCON/Planet, cedido pelo projeto MapBiomass	29
Figura 3 – Histórico dos marcos legais e regulatórios no Brasil antes da promulgação da PNSB.....	35
Figura 4 - Arranjo esquemático da Política Nacional de Segurança de Barragens. OBS: na figura do extinto DNPM hoje figura a ANM.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 5 - Tela inicial do Painel Interativo do SNISB em 10/10/2020.	45
Figura 6 – Barragens em cadastro das entidades fiscalizadoras federais ANA-ANEEL-DNPM.....	46
Figura 7 – Mapa Interativos das Barragens Cadastradas no SNISB.....	46
Figura 8 - Comparação entre o número de barragens constantes dos cadastros estaduais e o número de espelhos d'água com mais de 20 há em rios de domínio dos Estados, exceto SP, RN, PE, PB, MG e CE.	49
Figura 9 - Evolução anual do número de horas em cursos de capacitação.	51
Figura 10 – Percentual de elaboração da regulamentação relativa à PNSB pelos órgãos fiscalizadores.	51
Figura 11 - Evolução da quantidade de regulamentos sobre segurança de barragens.	52
Figura 12 - Evolução do número de barragens fiscalizadas por vistorias pelos órgãos fiscalizadores federais e estaduais.....	53

Figura 13- Distribuição espacial das 162 barragens A figura mostra a distribuição espacial das barragens inicialmente atribuídas ao DNOCS, CODEVASF e do extinto DNOS.....	56
Figura 14 - Mapa do SISB	67
Figura 15 – Classificação geral das barragens francesas, segundo a relação altura do barramento (m) e volume do reservatório (x 1000m ³).	81
Figura 16 - Probabilidade ocorrência de um dado evento de acordo com seu Tempo de Recorrência (TR) e tempo de exposição, em anos	95
Figura 17 - Tolerância geral e específica em relação ao risco	96
Figura 18 - a) Diretrizes de risco individual (a) e social; (b) para barragens existentes do USACE.....	98
Figura 19 - Propagação da onda de ruptura de barragem, positiva e negativa.	105
Figura 20 - Processo do FMEA	110
Figura 21 - Árvore de eventos da possibilidade de <i>overtopping</i> da barragem.....	112
Figura 22 - Relação entre a análise de risco, a avaliação de risco e o controle do risco.....	115
Figura 23 - Exemplo de vulnerabilidade das pessoas em risco de acordo com a hidrodinâmica da onda.	123
Figura 24 - Opção para gestão do risco.	126
Figura 25 - Fase de mitigação dos riscos.	127
Figura 26 – Zonas de reparação em remediação de barragens.....	133

Figura 27 – Rocha de grande dimensão bloqueando o fluxo de um túnel.....	137
Figura 28 - Colapso em túneis de hidrelétricas desde 1960, considerando anos de operação antes da falha e ano da falha	138
Figura 29 - Esquema de funcionamento da inspeção em barragens realizada por ROV.	141
Figura 30 - Visualização em 3D durante a inspeção por ROVs.....	141
Figura 31 - Falha geológica em um túnel sem revestimento	142
Figura 32 - Mapa do Túnel de Água de Päijänne	144
Figura 33 - Visão geral dos métodos de descomissionamento: retenção da barragem e alteração de sua função.....	153
Figura 34 - Visão geral dos métodos de descomissionamento: remoção parcial da barragem.....	153
Figura 35 - Visão geral dos métodos de descomissionamento: remoção total da barragem.....	154
Figura 36 - Vista a jusante de uma barragem demonstrando a mistura entre a água percolada do reservatório e o aquífero subterrâneo previamente existente.	157
Figura 37 - Sistema ilustrativo de coleta e medição de infiltração localizado à jusante de uma barragem de aterro	161
Figura 38 - Resultados da modelagem LSM mostrando a distribuição de fatalidades modeladas para o incidente de janeiro de 2019.	176
Figura 39 - vista da ombreira esquerda da barragem após sua ruptura.....	180

Figura 40 – Unidades operacionais dentro de áreas protegidas e/ou localizadas em áreas de alto valor de biodiversidade.....	182
Figura 41 - Vista de satélite da área do Parque Metropolitano de Pituaçu.....	199
Figura 42 - Vista de satélite da barragem de Pituaçu (em destaque) e vale imediatamente a jusante ocupado pela Comunidade do Bate-Facho	200
Figura 43 – Etapas das obras de reforço estrutural do vertedouro da barragem Pituaçu	200
Figura 44 - Reunião com a comunidade de Bate Facho, em Salvador/BA.....	202
Figura 45 – Tela inicial do SSD Sabesp.	218
Figura 46 – Esquemático do Sistema Cantareira.	219
Figura 47 – Dados do radar meteorológico – precipitação acumulada em 24 horas.	220

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição dos espelhos d'água quanto ao domínio, para fins de fiscalização da segurança de barragens.....	48
Tabela 2 - Empreendedores com mais de 25 barragens de usos múltiplos no país.	50
Tabela 3 - Nível de aceitação do risco de ruptura de barragem.	100
Tabela 4 – Parâmetros de danos indicados para edificações.....	123
Tabela 5 – Parâmetros de inundação em edificações.	124
Tabela 6 - Frequência recomendada de inspeções	140
Tabela 7 - Resumo das simulações hidrológicas das barragens.....	185
Tabela 8 - Barragens pertencentes à Superintendência Sul.....	195
Tabela 9 - Barragens pertencentes à Superintendência Norte. Fonte: (FONSECA, 2018).	196
Tabela 10 – Barragens pertencentes à Superintendência Metropolitana.	196
Tabela 11 – Cômputo das anomalias, por nível de resposta, de todas as superintendências da Embasa	198
Tabela 12 - Alcance do Programa Saneamento Sustentável e Inclusivo.....	221

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Divisão de responsabilidades na segurança de barragem segundo a PNSB 12.334/2010	36
Quadro 2 - Critérios gerais para classificações de barragens estabelecido pela resolução CNRH n.º 143, de 10 de julho de 2012.....	39
Quadro 3 - Responsáveis diretos pelas informações do SNISB.....	42
Quadro 4 - Procedimentos para fiscalização de barragens.	58
Quadro 5 – Comparativo dos documentos de regulamentação entre a ANA e o DAEE.	61
Quadro 6 – Comparativo da classificação de barragens entre a Resolução ANA n.º 236/2017 e a Portaria n.º 3907/2015.....	65
Quadro 7 – Comparativo dos volumes e descrições do PSB entre a Resolução ANA n.º 236/2017 e a Portaria DAEE n.º 3907/2015.	65
Quadro 8 – Periodicidade de elaboração da Revisão Periódica de Barragem definida pela Resolução ANA n.º 236/2017 e pela Portaria DAEE n.º 3907/2015.	66
Quadro 9 – Principais alterações das atualizações da Portaria DAEE n.º 3907/2015.	67
Quadro 10 - Glossário de termos sobre o tema Risco.....	90
Quadro 11 - Exemplos de fatores de vulnerabilidade.....	93
Quadro 12 - Fatores de risco para barragens.....	101

Quadro 13 - Exemplos de fatores de risco, por tipo e categoria, e condições de concretização de acontecimentos iniciadores	102
Quadro 14 – Ferramentas empregadas para a análise de risco de uma única barragem.....	117
Quadro 15 – Tipos de métodos de inspeção.....	138
Quadro 16 - Matriz qualitativa de risco.....	145
Quadro 17 - Sugestões de aspectos a serem avaliados para o descomissionamento de barragens.	146
Quadro 18 - Fenômenos correlacionados aos parâmetros de qualidade da água.	156
Quadro 19 - Regras gerais de coleta para cada estação climática.	159
Quadro 20 – Indicação dos potenciais fenômenos existentes no local a partir do acompanhamento da tendência de variação dos principais parâmetros avaliados.....	163
Quadro 21 - Legislação correlata à gestão de segurança de barragens no estado da Bahia	177
Quadro 22 - Distribuição das barragens por Diretoria	178
Quadro 23 - Anomalias – Barragem de Joanes I em 17/03/2016. Foto:(FONSECA, 2018).....	188
Quadro 24 - Valoração definida pela Embasa para a atribuição de nota.	190
Quadro 25 - Nível de resposta de cada anomalia.	191
Quadro 26 - Anomalias – Barragem de Joanes I em 17/03/2016.....	192

Quadro 27 - Mensuração do dano decorrente da ruptura de barragens.208

Quadro 28 – Frentes de serviço do Acordo de Empréstimo do Banco Mundial
vinculadas à gestão de segurança de barragens.....223

Quadro 29 – Unidades da Sabesp responsáveis pela condução dos serviços
vinculados ao Acordo de Empréstimo do Banco Mundial.230

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SIGLA	SIGNIFICADO
ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANM	Agência Nacional de Mineração
BIRD	Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
CBDB	Comitê Brasileiro de Barragens
CETESB	Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CNSB	Conselho Nacional de Segurança de Barragens
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
CRI	Categoria de Risco
CTIL	Câmara Técnica de Assuntos Legais e Institucionais
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DPA	Dano Potencial Associado
DPO	Diretoria de Procedimentos de Outorga e Fiscalização
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FCTH	Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica
FEMA	<i>Federal Emergency Management Agency</i>
FEMAR	Fundação de Estudos do Mar — Ministério da Marinha
FS	Fator de segurança
IICA	Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura
IICA	Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IT	Instrução Técnica
Meq	Miliequivalentes
NMN	Nível Máximo Normal
PAE	Plano de Ação de Emergência
PLANERB	Plano de Ações Estratégicas para a Reabilitação de Barragens da União
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PSB	Plano de Segurança de Barragens
RMS	Região Metropolitana de Salvador
RSB	Relatório de Segurança de Barragens
SEMA-PR	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos hídricos do Paraná

SIEPDEC	Sistema Estadual de Proteção e Defesa Civil do Estado de São Paulo
SINDEC	Sistema Nacional de Defesa Civil
SINIMA	Sistema Nacional de Informações sobre Meio Ambiente
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SISB	Sistema de Informações sobre Segurança de Barragens
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
TCE	Tribunal de Contas do Estado
TCU	Tribunal de Contas da União
USACE	U.S. Army Corps of Engineers
USBR	United States Bureau of Reclamation
ZAS	Zona de autossalvamento
ZSS	Zona de segurança secundária

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	26
1.1	Objetivos	32
1.2	Abordagem metodológica	32
2.	LEGISLAÇÃO CORRELATA À GESTÃO DE RISCO EM BARRAGENS	34
2.1	Legislação brasileira vigente	34
2.1.1	Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)	38
2.1.2	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)	44
2.1.3	Tribunal de Contas da União (TCU) e Tribunal de Contas dos estados (TCE)	54
2.1.4	Plano de Ações Estratégicas para a Reabilitação de Barragens da União (PLANERB)	55
2.1.5	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA)	57
2.1.6	Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE)	61
2.1.7	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA	73
2.1.8	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC	75
2.1.9	Acordo de Cooperação Técnica para Atuação Conjunta em Segurança de Barragens – ACT nº 31/2018	76
2.1.10	Sistema Estadual de Proteção e Defesa Civil do Estado de São Paulo — SIEPDEC	77
2.2	Legislação Internacional.....	78
2.1.1	EUA	78
2.1.2	França	80
2.1.3	Inglaterra e País de Gales	84
2.1.4	Portugal	85
2.1.5	Nova Zelândia	87
2.1.6	Canadá	89

3	RISCO	90
3.1	Conceitos	90
3.1.1	O conceito de risco	90
3.1.2	A tolerância ao risco	96
3.1.3	O risco e as barragens	98
3.2	Gestão de riscos	105
3.2.1	Os métodos de análise de riscos	106
3.2.2	A gestão de risco aplicada às barragens	114
3.2.3	A análise do risco	116
3.2.4	A avaliação/apreciação do risco	119
3.2.5	A mitigação do risco	125
3.3	Atividades de gestão de risco do ponto de vista do empreendedor..	131
3.3.1	Cobertura Vegetal	131
3.3.2	Inspeção subaquática	137
3.3.3	Descomissionamento de barragens	145
3.3.4	Qualidade da água percolada em barragens	155
3.3.5	Plano de Ação Emergencial (PAE)	165
4	ESTUDOS DE CASO	177
4.1	Embasa	177
4.1.1	Histórico de acidentes e incidentes na área de barragens	179
4.1.2	Meio Ambiente e barragens	181
4.1.3	Planos, procedimentos, registros e controles	183
4.1.4	Adoção do Índice Corporativo de Controle de Anomalias	186
4.1.5	Estudo de Caso - barragem Pituaçu	199
4.1.6	Custos associados à gestão de barragens	202
4.2	Sabesp	203
4.2.1	Situação Organizacional	207

4.2.2	Atendimento à PNSB	210
4.2.3	Acordo de Empréstimo com o BIRD	221
5	ANÁLISE CRÍTICA	231
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	236
7	REFERÊNCIAS	238

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O acesso à água é essencial ao desenvolvimento de conglomerados humanos estáveis, e a construção e operação de barragens permitem aumentar essa disponibilidade. O controle e a conservação desse escasso recurso, notadamente frente aos prováveis impactos decorrentes de alterações climáticas, é imperativo. As barragens são estruturas concebidas para diversas finalidades, entre elas, armazenamento de água: para abastecimento, dessedentação animal, geração elétrica, regularização de vazões, controle de cheias, irrigação e navegação.

No Brasil, em particular, o barramento de corpos hídricos foi o principal indutor do desenvolvimento do setor elétrico brasileiro a partir da década de 1950 (CBDB, 2011), e as barragens também foram uma das estruturas propulsoras da ampliação do serviço de abastecimento de água em grandes centros urbanos. Existem, no Brasil, 21.953 barramentos cadastrados (ANA, 2016b; 2021). Apesar do seu importante papel para a sociedade, é inevitável a consideração do risco associado a essas estruturas.

O barramento de um corpo hídrico para criação de lagos ou reservatórios é uma obra de engenharia e, como tal, é importante considerar todos os aspectos de segurança relacionados durante a sua concepção, construção, operação e desativação, visto que o seu dano potencial associado, ou seja, “dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem” (BRASIL, 2010), tende a aumentar, considerando a progressiva ocupação de vales a jusante.

Muitas iniciativas para fomentar a segurança de barragens no Brasil foram desenvolvidas ao longo das últimas décadas, culminando com a aprovação da Lei n.º 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens, marco legal para a definição de uma orientação e controle sobre essas estruturas, incentivando que elas sejam geridas segundo o princípio da prevenção.

Essa lei demandou dos empreendedores, detentores ou responsáveis por barragens, ou seja, aqueles que detêm o direito real sobre as terras onde se localiza a barragem (BRASIL, 2010), a gestão adequada dessas estruturas hidráulicas e os

seus componentes, promovendo o desenvolvimento de uma cultura de segurança de barragens no país.

Para a sua aplicação, a lei determinou como um dos seus instrumentos o Plano de Segurança da Barragem (PSB). Esse Plano engloba informações e ações acerca do empreendedor, dados técnicos da barragem, estrutura técnica da equipe de segurança da barragem, regras operacionais, manuais de procedimentos, relatórios de inspeção de segurança e o Plano de Ação de Emergência (PAE). Os processos de gestão de segurança da barragem são conduzidos a partir de um conjunto de ações preconizadas no Plano de Segurança de Barragem.

Em 5 de novembro de 2015 o rompimento da barragem de Fundão e o galgamento da barragem de Santarém, em Mariana/MG, pertencentes à empresa Samarco S/A, causaram um desastre ambiental de grandes proporções (Figura 1) (CTPNSB, 2016). A ruptura gerou uma onda que galgou a barragem Santarém, sem a romper, e atingiu a usina hidrelétrica (UHE) Risoleta Neves, conhecida como Candonga, que reteve uma parcela da lama — 9,6 milhões de metros cúbicos (FREITAS, 2020) — e teve avarias nas suas comportas. O desastre atingiu 663,2 km de corpo d'água nos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo.

Figura 1 — Distrito de Barra Longa, após o acidente

Fonte: (CTPNSB, 2016)

O “Relatório sobre a Avaliação das Causas de Ruptura da Barragem do Fundão em 5 de novembro de 2015”, elaborado pelo Ministério Público do Estado de Minas Gerais (MPMG) com apoio da *Norwegian Geotechnical Institute* (NGI) e da empresa brasileira “Geomecânica”, indicou por meio de provas documentais e testemunhais integrantes dos inquéritos civis públicos conduzidos pelo MPMG, que a ruptura da barragem ocorreu abruptamente na região próxima à ombreira esquerda, sem qualquer sinalização, se expandindo rapidamente para todo o corpo da barragem (MORGENSTERN; VICK; VIOTTI; WATTS, 2016).

Em 2013 o eixo da barragem foi recuado a partir da sua região central em direção à ombreira esquerda, de modo a possibilitar os trabalhos de reparo na galeria secundária que apresentava um vazamento significativo.

De acordo com os mesmos relatórios técnicos, os alteamentos da barragem continuaram nesta região do recuo para respeitar a carga hidráulica limite para esta galeria antes da sua plugagem, gerando uma geometria de curvas acentuadas e a formação de uma grande área de recuo.

Como consequência da mudança no eixo e a criação do recuo, a nova seção da barragem, acima da elevação de 864 m, passou a ter como fundação, rejeitos que eram menos resistentes e menos permeáveis do que o esperado (CTPNB, 2016).

A análise numérica realizada, usando o método dos elementos finitos, indica que as deformações de cisalhamento crescem gradualmente com o aumento da altura da crista da barragem numa zona localizada que potencialmente pode ser a zona onde a ruptura foi iniciada. Nessa zona, inicia-se um processo de instabilidade que leva rapidamente à liquefação dos rejeitos, primeiro localmente e, em seguida, de uma forma global. Em outras palavras, a resistência não drenada pós-liquefação dos rejeitos não era grande o suficiente para resistir às tensões de cisalhamento estático e uma ruptura global da barragem foi inevitável a partir do instante em que a instabilidade local inicial ocorreu.

Esse acidente ressaltou aos olhos da mídia e de toda a população brasileira o grande risco associado a essas estruturas e a vulnerabilidade dos vales a jusante, e ratificou o preconizado pela Lei n.º 12.334/2010 quanto à necessidade de se possuir e operacionalizar o Plano de Segurança de Barragens.

Em 25 de janeiro de 2019, a ruptura, dessa vez no município de Brumadinho/MG, da Barragem I da Mina Córrego do Feijão, levou a óbito 252 pessoas e deixou 18 pessoas desaparecidas em meio ao volume de lama depositado no vale a jusante (Figura 2). A barragem, pertencente à mineradora Vale, estava desativada

desde 2015 e encontrava-se em desenvolvimento do seu projeto de descomissionamento (VALE, 2019).

Conforme descrito por (LUMBROSO; DAVISON; BODY; PETKOVŠEK, 2021), os dados de sensoriamento remoto podem ter sinalizado os problemas da estrutura muito antes da ocorrência da ruptura, permitindo que a população a jusante tivesse sido colocada em estado de alerta e/ou ser movida para fora da área de perigo. Referenciando o estudo de (ROTTA; ALCANTARA; PARK; NEGRI *et al.*, 2020), uma análise temporal via satélite identificou um acúmulo de água na superfície da barragem durante um prolongado período, podendo ter intensificado a erosão por infiltração no topo do aterro e enfraquecido, por conseguinte, a estrutura da barragem, contribuindo ou diretamente causando a sua ruptura.

Figura 2 — O antes e depois da tragédia, nas imagens do satélite da SCCON/Planet, cedido pelo projeto MapBiomas

Fonte: (DIEGUEZ, 2019).

Conforme detalhado pelo Relatório Final da Comissão Parlamentar de Inquérito (CPI) da Câmara dos Deputados, divulgado em novembro de 2019, o rompimento ocorreu às 12h28'30" do dia 25/1/2019. Calcula-se que a velocidade da lama tenha chegado a 80 km/h, galgando outras barragens menores, B4 e B4A, e alcançando o rio Paraopeba às 15h50'. As sirenes de segurança existentes, não soaram para alertar os funcionários e moradores situados na zona de auto salvamento (ZAS).

Em depoimento à CPI, o diretor-executivo de ferrosos e carvão da Vale S.A. relatou que as anomalias existentes na barragem B1, embora pequenas, em conjunto poderiam se tornar maiores.

Em 2016, o estudo “Análise de Estabilidade — Projeto: Estudo de Liquefação Estática — Barragem B1 — Córrego do Feijão” apontou uma situação não segura da barragem B1, cujo fator de segurança não atendia às boas práticas de engenharia internacionalmente aceitas, bem como as determinações do licenciamento ambiental estadual e do Manual de Operações dessa barragem. O FS = 1,3 (condição não drenada), não atendia à diretriz técnica de $FS \geq 1,5$, apresentada pelo estudo ambiental da Vale e estabelecida no licenciamento ambiental, que autorizou o 10º alteamento da barragem (cota 942 m). O $FS \geq 1,5$ para a B1, também foi apresentado pela Vale no EIA/PCA, que subsidiou a emissão da LP+LI+LO n.º 007/2018, de 13/12/2018 (processo Semad n.º 245-2004-50- 2015), que autorizou a recuperação dos finos contidos na barragem. Nos 11 (onze) meses que antecederam o acidente, foi instalado um radar interferométrico, que acumulou leituras de deformações no maciço da barragem B1, em 17 (dezessete) áreas diferentes. A magnitude e localização das deformações foram confirmadas pela análise da empresa alemã *Airbus Defense and Space*, que comparou as imagens de alta resolução do satélite TerraSAR-X, adquiridas entre 08/02/2018 e 15/01/2019.

Os Planos de Segurança de Barragens no Brasil são hoje elaborados com uma abordagem orientada para a segurança. Entretanto, há outra abordagem, complementar a essa: a gestão integrada de riscos no âmbito da segurança do empreendimento, envolvendo além da segurança da barragem e suas estruturas civis propriamente ditas. Com este enfoque é possível estabelecer uma perspectiva integrada de todos os riscos aos quais o conjunto reservatório-barragem-vale a jusante está sujeito.

(ALMEIDA, 2003) menciona:

A estrutura organizacional da gestão do risco e da sua componente básica que é a segurança (prevenção) é cada vez mais a chave para um possível controle de certos tipos de acidentes tecnológicos, nomeadamente no domínio da engenharia. Em sistemas complexos, as causas físicas dos acidentes são identificáveis, mas o elo que falha é, cada vez mais, o da organização envolvente e de cultura de comunicação e decisão tendo em vista o controlo do risco [sic].

A segurança de barragens foi tradicionalmente constituída a partir de padrões já consolidados em engenharia, cujas disciplinas evoluem independentemente umas

das outras e não sob a ótica da análise integrada das diversas áreas de conhecimento relacionadas. Os procedimentos sistemáticos para identificar possíveis modos de falha — as análises de modos de falha em potencial — foram introduzidos recentemente na área de estudo em segurança de barragens. Eles permitem que modos de falhas, antes ignorados ou subavaliados, como falha em comportas e mau funcionamento de drenos em barragens de aterro compactado, sejam considerados segundo o peso que possuem para cada estrutura analisada. Assim, investimentos que antes eram direcionados a reduzir os riscos de baixa probabilidade e/ou consequência, podem ser aplicados em ações que, de fato, podem reduzir significativamente o risco global da estrutura (BOWLES, 2010).

Diversos estudos no mundo foram e estão sendo conduzidos visando desenvolver aplicações para essa ferramenta já consagrada à área de barragens. Como pontos positivos da abordagem orientada ao risco e sua gestão estão o tratamento integrado de ações, do desempenho e das consequências.

O conceito de risco é tratado considerando os parâmetros estatísticos do evento que traz ameaça à estrutura, à exposição temporal a esse evento e aos danos gerados pelo desenvolvimento do acidente. Adicionalmente, deve-se considerar a vulnerabilidade das estruturas ao evento como fator agravante ou mitigador do risco.

A ruptura de uma barragem, embora seja um acidente raro em termos relativos, pode estar associada a danos potenciais muito significativos. Embora quando bem projetada, construída e operada, a probabilidade de ocorrência seja muito baixa, o impacto associado à onda de inundação geralmente é grande, principalmente para grandes barragens com vales a jusante densamente ocupados. O prejuízo material não se resume à destruição da obra em si, visto que recursos são perdidos com a inundação do vale. No que diz respeito à possibilidade de perdas de vidas humanas, o dano se mostra ainda mais alto (VISEU, 2013).

Mesmo com todos os cuidados, a impossibilidade do estabelecimento do risco zero (ou nulo), para qualquer atividade, demanda o estabelecimento de medidas para seu controle. Assim, a importância das técnicas de gestão de riscos tem sido destacada em diversas áreas do conhecimento e em segurança de barragens não é diferente.

É dentro deste contexto complexo e multifacetado que se insere o propósito desta dissertação.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como **objetivo geral** compilar e consolidar os principais elementos legais, institucionais, gerenciais e práticos ligados à gestão da segurança de barragens no ambiente nacional e formar um painel atualizado sobre as ações empreendidas pelos proprietários e detentores destas estruturas, tanto do lado gerencial quanto tecnológico.

Com este propósito, pretende-se tornar acessível aos engenheiros e profissionais que atuam na área familiarizar-se rapidamente com as regras, procedimentos e informações referentes aos planos de segurança, bem como o tratamento da questão no ambiente corporativo.

Como **objetivos específicos**, este trabalho apresentará a compilação da legislação principal e acessória no Brasil e em alguns países no exterior; descrever os procedimentos usuais para implantação de sistema de gestão de risco de barragens nas empresas; apresentar as ferramentas tecnológicas atualmente utilizadas de forma a mapear os riscos potenciais; estimar impactos sobre o empreendimento, vale a jusante e sobre o negócio.

Como **objetivo específico** deste trabalho, a pesquisa conduz a uma crítica aos dispositivos existentes bem como aos procedimentos, de forma a contribuir para o aprimoramento, tanto da legislação como da organização das empresas para implantação de sistemas de gestão integrada de risco em aproveitamentos com barragens.

1.2 Abordagem metodológica

Este trabalho está organizado na forma de capítulos estruturados da mesma forma em que a pesquisa foi desenvolvida, compreendendo a revisão bibliográfica da legislação brasileira e internacional, a compilação dos principais conceitos sobre riscos e danos potenciais causados por barragens e estruturas hidráulicas correlatas e as ferramentas empregadas de gestão de risco de barragens empregadas.

A pesquisa realizada possui uma abordagem qualitativa, apresentando o estágio atual da gestão de segurança de barragens, através do levantamento de normas, procedimentos e tecnologias direcionadas para este fim. No que concerne à sua natureza, esta é uma pesquisa aplicada, conduzida por revisão bibliográfica, documental e realização de estudo de caso com companhias de saneamento básico.

O estudo de caso se fez necessário para possibilitar a análise de práticas já existentes, e que possam ser disseminadas, e exitosas na busca pela gestão segura das barragens. Nesse escopo, as experiências das companhias Sabesp e Embasa foram obtidas para exemplificar medidas de gestão que possam ser empregadas pelos empreendedores de barragens de usos múltiplos.

2. LEGISLAÇÃO CORRELATA À GESTÃO DE RISCO EM BARRAGENS

2.1 Legislação brasileira vigente

Com a publicação da política nacional de segurança de barragens (PNSB), houve uma mudança de paradigma, eliminando-se o vácuo institucional e estabelecendo uma cadeia completa de responsabilidades relacionadas à segurança das barragens construídas no Brasil.

A ocorrência de diversos acidentes de barragens no século XX ressaltou aos legisladores e órgãos reguladores a importância da criação de um instrumento legal que nivelasse os mecanismos de gestão de barragens, a atuação dos órgãos fiscalizadores e dos empreendedores. Em especial, o acidente da barragem de Cataguases, no Estado de Minas Gerais, em 2003, foi o estopim para a criação do Projeto de Lei nº 1.181/2003, proposto pelo Deputado Leonardo Monteiro, que resultou na Lei ordinária 12.334, de 20 de setembro 2010, alterada em 2020 pela Lei Federal nº 14.066/2020, que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

A PNSB, que abrange todas as barragens no território nacional destinadas à acumulação de água, contenção de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, se aplica a estruturas com altura do maciço igual ou superior a 15 (quinze) metros; considerada a partir do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo e a crista do coroamento; capacidade total do reservatório igual ou superior a 3 (três) hm³; reservatórios que contenham resíduos perigosos; dano potencial associado (DPA) categorizados como médio ou alto; ou, categoria de risco alto (CRI).

Estabelecendo aos órgãos ambientais integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) a atribuição de fiscalizadores, a PNSB define como seus instrumentos:

- a classificação das barragens conforme sua categoria de risco (CRI) e dano potencial associado (DPA);
- o Plano de Segurança de Barragem (PSB);
- o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);
- o Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (Sinima);
- o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;

- o Relatório de Segurança de Barragens (RSB).

Figura 3 — Histórico dos marcos legais e regulatórios no Brasil antes da promulgação da PNSB

Fonte: (CBDB, 2020).

Aos fiscalizadores foi atribuída a responsabilidade pela classificação das barragens a partir dos critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), a fiscalização e manutenção do cadastro das estruturas sob sua jurisdição e a definição pela obrigatoriedade de elaboração do Plano de Ação Emergencial (PAE) (BRASIL, 2010).

A PNSB estabelece também a obrigatoriedade de aviso imediato dos organismos fiscalizadores à ANA e ao SINPDEC sobre a não conformidade que possa desencadear em um risco imediato a segurança da estrutura sob sua fiscalização (SEDEC, 2020).

Para as barragens de usos múltiplos em rios federais a ANA é o órgão fiscalizador. No caso das barragens de rios estaduais do estado de São Paulo, Bahia, o DAEE, Inema exercem essa função, respectivamente. As estruturas destinadas à geração de energia elétrica são de competência da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e a de rejeitos minerais, da atual Agência Nacional de Mineração (ANM), antigo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) Quadro 1.

Quadro 1 - Divisão de responsabilidades na segurança de barragem segundo a PNSB 12.334/2010

Parte Envolvida	Papel/Obrigações
Empreendedor	Gestão de segurança da barragem
Órgão fiscalizador	-Regulamentar -Fiscalizar -Manter cadastro -Informar
Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico — ANA	-Elaborar relatório anual de Segurança de Barragem -Implementar Sistema de Informações -Demais obrigações dos fiscalizadores
Conselho Nacional de Recursos Hídricos — CNRH	-Regulamentar a classificação de barragens -Diretrizes para implementação da Lei

Fonte: (FCTH, 2018b), p.)

Aos empreendedores ficou estabelecida a obrigatoriedade da provisão de recursos para garantir a segurança da barragem, manter documentação técnica completa referente a todas as fases do ciclo de vida do empreendimento, manutenção de serviço técnico especializado, elaboração do PSB e atualização periódica do PSB, realizar as inspeções de segurança, elaborar as Revisões Periódicas de Segurança da barragem (RPSB) e do PAE, entre outros. Este último, quando couber (Figura 4).

A legislação ainda versa sobre as barragens não compatíveis com a legislação, sendo-lhes imputada a obrigação da recuperação ou desativação pelo empreendedor após submissão de projeto específico, avaliação e aprovação do fiscalizador.

A PNSB ainda alterou parcialmente as leis federais nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 que institui a Política Nacional de Recursos, e nº 9.984, de 17 de julho de 2000, que dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Figura 4 - Arranjo esquemático da Política Nacional de Segurança de Barragens. OBS: na figura do extinto DNPM hoje figura a ANM

Fonte: (ANA, 2013).

● Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020

Em 30 de setembro de 2020 foi sancionada a Lei Federal n.º14.066/2020, alterando a Lei n.º 12.334/2010. Suas principais alterações, no que afeta as barragens destinadas a usos múltiplos, foram:

- A altura do maciço das barragens aplicadas à lei passa a ser medida do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento do barramento, não mais do ponto mais baixo da fundação à crista;
- As barragens de CRI alto passam a ser incluídas na PNSB, independente do DPA;
- Ampliação da definição de barragem;
- Detalha a definição do empreendedor;

- Detalhou a definição de DPA, incluindo a graduação do dano de acordo com as perdas de vidas humanas e os impactos sociais, econômicos e ambientais;
- Incluiu a definição de categoria de risco, zona de segurança secundária (ZSS), mapa de inundação;
- Adicionou à definição da zona de autossalvamento (ZAS), termo referente a insuficiência de tempo para intervenção da autoridade competente;
- Inseriu a desativação e descaracterização das barragens nas fases da vida útil delas;
- Adiciona o uso de indicadores de segurança de barragens à fiscalização de barragens, com parâmetros a serem definidos pelo fiscalizador;
- Adiciona a obrigatoriedade da exigência de medidas para a redução da categoria de risco das barragens;
- Determina a ciência do Plano de Segurança de Barragens (PSB) por parte do cargo de maior hierarquia na estrutura da pessoa jurídica;
- Adiciona ao fiscalizador a obrigatoriedade de estabelecer um prazo ao empreendedor para corrigir as anomalias identificadas nos relatórios de inspeção de segurança e executar as ações indicadas na RPSB;
- Explicita a participação social e realização de audiências públicas para apresentação do PAE à população;
- Inclui a exigência ao empreendedor de fornecer ao órgão fiscalizador os dados da instrumentação periodicamente e em tempo real;
- Adiciona a alternativa de descaracterização de barragens que não atendem à PNSB;
- Determina que os órgãos fiscalizadores criem um sistema de credenciamento de pessoas físicas e jurídicas habilitadas para atestar a segurança de barragens. Esta prática também é realizada pela Inglaterra, País de Gales e França.

2.1.1 Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), como colegiado responsável pela implementação da gestão dos recursos hídricos no Brasil, é o responsável pela definição dos critérios gerais de classificação de barragens e estabelecimento de diretrizes para a implementação da PNSB. Após a promulgação

da PNSB, por meio da Resolução CNRH nº124, de 29 de junho de 2011, foi criado um Grupo de Trabalho (GT) para elaboração da proposição de resolução para regulamentar os arts. 7.º e 20.º da Lei nº12.334/2010, envolvendo os conselheiros do CNRH, representantes da Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, do governo federal, órgãos estaduais de recursos hídricos, da Câmara Técnica de Assuntos Legais e Institucionais (CTIL).

Em 10 de julho de 2012, a resolução CNRH nº143, regulamentou o Art. 7.º da PNSB, estabelecendo os critérios gerais a serem empregados para a classificação quanto a Categoria de Risco (CRI) - características técnicas, estado de conservação da barragem e Plano de Segurança de Barragem - e Dano Potencial Associado (DPA).

Quadro 2 - Critérios gerais para classificações de barragens estabelecido pela resolução CNRH n.º 143, de 10 de julho de 2012

Item	Critérios	
Categoria de risco (CRI)	características técnicas	<ul style="list-style-type: none"> - altura do barramento; - comprimento do coroamento da barragem; - tipo de barragem quanto ao material de construção; - tipo de fundação da barragem; - idade da barragem - tempo de recorrência da vazão de projeto do vertedouro;
	estado de conservação da barragem	<ul style="list-style-type: none"> - confiabilidade das estruturas extravasoras; - confiabilidade das estruturas de captação; - eclusa; - percolação; - deformações e recalques; - deterioração dos taludes.
	Plano de Segurança da Barragem (PSB)	<ul style="list-style-type: none"> - existência de documentação de projeto;

Item	Critérios
	<ul style="list-style-type: none"> - estrutura organização e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem; - procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento; - regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem; - relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação
Dano Potencial Associado (DPA)	<ul style="list-style-type: none"> - existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas; - existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos, ou comunitários; - existência de infraestrutura ou serviços; - existência de equipamentos de serviços públicos essenciais; - existência de áreas protegidas definidas em legislação; - natureza dos rejeitos ou resíduos armados; e, - volume.
Volume (Art. 7.º)	<ul style="list-style-type: none"> - pequena: reservatórios com volume $\leq 5 \text{ hm}^3$; - média: reservatórios com $5 \text{ hm}^3 \leq \text{volume} \leq 75 \text{ hm}^3$; - grande: reservatórios com $75 \text{ hm}^3 \leq \text{volume} \leq 200 \text{ hm}^3$; - muito grande: reservatórios com volume $\geq 200 \text{ hm}^3$

Fonte: adaptado de (CNRH, 2012).

Em sua resolução n.º 144, de 10 de julho de 2012, o CNRH regulamentou o Art. 20 da PNSB, estabelecendo as “[...] diretrizes para implementação da PNSB,

aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB)”.

Assim, foram definidos os mínimos critérios para a elaboração do PSB, pelo empreendedor, a listar:

- I. identificação do empreendedor;
- II. dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, inclusive, no caso de empreendimentos construídos após a promulgação da Lei n.º 12.334, de 2010, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem;
- III. estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;
- IV. manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem;
- V. regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;
- VI. indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem;
- VII. Plano de Ação de Emergência (PAE), quando exigido;
- VIII. relatórios das inspeções de segurança;
- IX. revisões periódicas de segurança.

O conteúdo mínimo do relatório de segurança de barragens (RSB), cujo órgão responsável pela coordenação de sua elaboração foi direcionado à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), contempla: os cadastros de barragens na base de dados dos órgãos fiscalizadores; o estágio de implementação da PNSB; a lista de barragens com CRI alto; principais ações em curso pelos empreendedores para aumento da segurança de suas barragens; relação de acidentes e incidentes ocorridos no período de competência do relatório com a correspondente análise dos empreendedores e órgãos fiscalizadores das causas, consequências e medidas adotadas; relação dos órgãos fiscalizadores que enviaram informações para a ANA, os recursos dos orçamentos fiscais da União e dos Estados previstos e investidos em ações na área.

No caso do SNISB, também tratado nesta resolução, a nº 144/2012 também define as atribuições da ANA, enquanto gestora, e dos empreendedores e órgãos fiscalizadores no SNISB, sistema responsável pela coleta, armazenamento, tratamento, gestão e disponibilização por coletar, armazenar, tratar, gerir e disponibilizar à sociedade as informações relacionadas à segurança das barragens do país.

A resolução determinou ainda a integração do SNISB ao Sistema Nacional de Informações sobre Meio Ambiente (SISNAMA), ao Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental, ao Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais, ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), entre outros.

Quadro 3 - Responsáveis diretos pelas informações do SNISB.

Responsável	Competência
ANA (gestora)	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolver plataforma informatizada para sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações, devendo contemplar barragens em construção, em operação e desativadas; - Estabelecer mecanismos e coordenar a troca de informações com os demais órgãos fiscalizadores; - Definir as informações que deverão compor o SNISB em articulação com os demais órgãos fiscalizadores; - Disponibilizar o acesso a dados e informações para a sociedade por meio da Rede Mundial de Computadores.
Órgãos fiscalizadores	<ul style="list-style-type: none"> - Manter cadastro atualizado das barragens sob sua jurisdição; - Disponibilizar permanentemente o cadastro e demais informações sobre as barragens sob sua jurisdição e em formato que permita sua integração ao SNISB, em prazo a ser definido pela ANA em articulação com os órgãos fiscalizadores; - Manter atualizada no SNISB a classificação das barragens sob sua jurisdição por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume.
Empreendedores	<ul style="list-style-type: none"> - Manter atualizadas as informações cadastrais relativas às suas barragens junto ao respectivo órgão fiscalizador;

Responsável	Competência
	- Articular-se com o órgão fiscalizador, com intuito de permitir um adequado fluxo de informações.

Fonte: adaptado de (CNRH, 2012).

Em 29 de julho de 2016 a resolução CNRH n.º 178 alterou os artigos 9º a 15 da resolução n.º 144, modificando o conteúdo e prazos do Relatório de Segurança de Barragens (RSB). O Grupo de Trabalho Permanente tem como objetivo analisar o relatório elaborado pela ANA e propor as recomendações para a melhoria da segurança de barragens. Antes no âmbito da Câmara Técnica de Assuntos Legais e Institucionais (CTIL), passou para a Câmara Técnica de Análise de Projeto (CTAP). Posteriormente, foi criada a Câmara Técnica de Segurança de Barragens (CTSB), em vigor.

Em 29 de janeiro de 2019, o CNRH enviou a moção n.º 72 direcionada aos órgãos e entidades fiscalizadoras de segurança de barragem, em decorrência do acidente com a barragem no Córrego do Feijão, no município de Brumadinho, recomendando a imediata fiscalização das barragens classificadas como CRI ou DPA alto, de acordo com o descrito no Relatório de Segurança de Barragens de 2017.

Em 20 de novembro de 2020 o CNRH publicou a sua resolução n.º 223, que altera a sua resolução n.º 144/2012, estabelecendo diretrizes para implementação da PNSB. Dentre as principais atualizações realizadas está a possibilidade de concessão pelo órgão fiscalizador do acesso do empreendedor ao SNISB para atualizar as informações que lhe couber, a determinação sobre a alimentação contínua do SNISB pelos fiscalizadores, incluindo a documentação e cadastro das suas barragens reguladas. O CNRH também ampliou os órgãos a serem informados sobre as suas recomendações de melhoria de segurança das barragens. Foram acrescentados o Poder Executivo Federal e os poderes legislativo e executivo estaduais e distrital. Os artigos 11 e 14 da antiga resolução CNRH n.º 144/2012 foram revogados. Ressalta-se que o artigo 14 dispõe sobre a instituição permanente de um grupo de trabalho no âmbito da câmara técnica de assuntos legais e institucionais com o objetivo de analisar o relatório elaborado pela ANA e propostas recomendações para melhoria da segurança de barragens.

2.1.2 Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)

Em sua Resolução nº 742, de 17 de outubro de 2011, a ANA, seguindo o art. 9.º da PNSB, deliberou sobre as inspeções de segurança regulares de barragem, estabelecendo sua periodicidade, conteúdo mínimo, nível de detalhamento e qualificação da equipe responsável. Prosseguindo com as determinações da PNSB, em atendimento aos seus art.8.º, 10 e 19, a resolução ANA nº 91, de 2 de abril de 2012, dispôs sobre o Plano de Segurança da Barragem (PSB) e Revisão Periódica de Segurança da Barragem (RPSB), com a definição da sua periodicidade de atualização, qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento.

Em 2016, a ANA lançou sua Resolução nº 132, de 22 de fevereiro de 2016, imbuída de sua atribuição enquanto órgão fiscalizador, estabeleceu os critérios de classificação de barragens quanto ao Dano Potencial Associado (DPA), complementando os critérios já estabelecidos pela Resolução CNRH nº 143/2012 (ANA, 2016c).

Em 2017, a ANA, enquanto autoridade do poder público responsável pelas ações de fiscalização da segurança das barragens abrangidas pela PNSB, exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico, publicou sua resolução n.º 236, revogando as resoluções 91/2012 e 742/2011, estabelecendo “[...] 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 e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência”, incorporando ainda o disposto nos art. 11 e 12 da PNSB.

- **Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB)**

Instituído pela Lei Federal nº 12.334/2010, o SNISB teve por objetivo ser um sistema descentralizado de coleta, tratamento, armazenamento das barragens vinculadas à PNSB, sejam elas em construção, operação e as estruturas já desativadas. Sob coordenação da ANA, fornecendo amplo acesso das informações a toda a sociedade, o SNISB hoje é composto pelo registro detalhado das principais características das barragens, contendo gráficos e mapas. Também são constantes no sistema as legislações existentes correlatas a guias, manuais e o RSB. Aos

fiscalizadores ficou a incumbência do envio e manutenção do cadastro das barragens sob sua jurisdição, com identificação dos respectivos empreendedores.

No Painel interativo, presente no sítio eletrônico: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/graficos/datazen>, é possível que qualquer interessado acesse as informações ali inseridas pelos órgãos fiscalizadores.

Figura 5 - Tela inicial do Painel Interativo do SNISB em 10/10/2020.

Fonte: (SNISB, 2021).

Visualmente, também é possível acessar o mapa das barragens cadastradas no sistema, com a indicação de sua categoria de risco, uso destinado, localização e principais características da estrutura (Figura 6 e Figura 7). No SNISB há também diversos materiais voltados à capacitação dos fiscalizadores e publicações relativas à PNSB, tais quais: Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens; Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens para entidades fiscalizadoras; Produtos do Contrato executado entre a ANA e o Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD), contendo definições e boas práticas para a estruturação da PNSB no Brasil; Documentos produzidos em parceria ou pela Defesa Civil e Plano de Ações Estratégicas para Reabilitação de Barragens.

A partir da atualização da PNSB, pela Lei nº14.066/2020, promulgada em 30 de setembro, o SNISB também deverá incorporar em seu registro todos os PSB existentes (incluindo o PAE), a manutenção de informações sobre incidentes, acidentes e desastres de barragens. A retirada de uma estrutura do sistema só poderá ocorrer após sua total descaracterização. Adicionalmente, o SNISB deverá também ser incorporado ao Sistema Nacional de Informações e Monitoramento de Desastres (SINIDE), conforme previsto na Lei nº 12.608/2012.

Figura 6 – Barragens em cadastro das entidades fiscalizadoras federais ANA-ANEEL-DNPM.

Fonte: (ANA, 2015).

Figura 7 – Mapa Interativos das Barragens Cadastradas no SNISB.

Fonte: (SNISB, 2021).

- **Relatório de Segurança de Barragens (RSB)**

2011

Um dos instrumentos da PNSB, o RSB foi publicado pela primeira vez em 2013, referente ao ano de 2011. Elaborado pela ANA, que, além de suas atribuições de fiscalizador, também foi designada coordenadora da elaboração do RSB, encaminhando posteriormente à apreciação do CNRH que, no que lhe concerne, encaminhará posteriormente ao Congresso Nacional.

Esta primeira versão, inserida como linha de base para acompanhamento da implementação da PNSB, antecipou-se ao estabelecimento das diretrizes do CNRH, publicadas somente em 2012. Utilizando o estudo “Mapeamento dos Espelhos d’Águas do Brasil”, foram identificados todos os espelhos d’água do país, naturais e artificiais, com superfície maior ou igual a 20 hectares, utilizando imagens de satélite dos anos 2003 a 2006. O trabalho realizado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, contou com a cooperação do Ministério da Integração Nacional (MI) e apoio da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A Agência ainda realizou uma série de pesquisas junto a órgãos fiscalizadores para subsidiar o primeiro RSB (23 dos 31 fiscalizadores responderam à época).

Em 2011 foram contabilizadas 13.529 barragens, sendo 256 de resíduos industriais, 264 de rejeitos de mineração, 1.261 para geração de energia elétrica e 11.748 de usos múltiplos. Dessas estruturas, 6.896 não tinham indicação dos empreendedores, revelando a lacuna institucional existente no país.

No ano de 2011, somente a ANA e os órgãos estaduais dos estados da Bahia e do Ceará designaram uma equipe técnica destinada a elaborar normativos, implementar instrumentos e fiscalizar o cumprimento da PNSB.

O DNPM (atual ANM), a ANEEL, os estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Piauí, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima, Rio de Janeiro e o Distrito Federal, incorporaram à estrutura existente nos seus organogramas as atividades relacionadas ao tema. Os estados do Maranhão, Paraná, Pará, Santa Catarina, Sergipe e Tocantins não haviam definido como estruturar sua atuação.

Se atendo apenas às barragens para usos múltiplos da água, objeto deste estudo, a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) e Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS),

possuíam respectivamente 389 e 327 estruturas. Na Tabela 2 há a indicação de todos os empreendedores com mais de 25 barragens.

Tabela 1 - Distribuição dos espelhos d'água quanto ao domínio, para fins de fiscalização da segurança de barragens.

Unidade da Federação	Espelhos d'água	Espelhos d'água de reservatórios artificiais	Usos múltiplos		Geração de energia hidrelétrica	
			Em curso d'água de domínio da União	Em curso d'água de domínio da UF	Em curso d'água de domínio da União	Em curso d'água de domínio da UF
Acre	25	13	-	13	-	-
Alagoas	82	42	2	40	-	-
Amapá	199	4	-	3	-	1
Amazonas	5.971	41	1	28	-	12
Bahia	1.322	237	3	219	9	6
Ceará	1.351	1.195	4	1.191	-	-
Distrito Federal	10	6	2	3	1	-
Espírito Santo	129	30	-	28	1	1
Goiás	716	249	8	228	6	7
Mato Grosso	1.824	243	2	219	6	16
Mato Grosso do Sul	2.297	65	-	59	3	3
Minas Gerais	788	338	3	275	27	33
Pará	1.280	78	-	76	1	1
Paraíba	440	432	36	396	-	-
Paraná	105	54	-	33	8	13
Pernambuco	237	224	6	217	1	-
Piauí	308	85	2	82	1	-
Rio de Janeiro	125	13	-	7	1	5
Rio Grande do Norte	667	559	26	533	-	-
Rio Grande do Sul	3.009	2.457	2	2.444	-	11
Rondônia	217	39	-	34	-	5

Unidade da Federação	Espelhos d'água	Espelhos d'água de reservatórios artificiais	Usos múltiplos		Geração de energia hidrelétrica	
			Em curso d'água de domínio da União	Em curso d'água de domínio da UF	Em curso d'água de domínio da União	Em curso d'água de domínio da UF
Roraima	354	17	-	16	1	-
Santa Catarina	81	45	-	27	4	14
São Paulo	366	240	4	178	23	35
Sergipe	46	21	1	19	1	-
Tocantins	454	101	-	96	1	4
TOTAL	22.800	6.896	103	6.531	95	157

Fonte: (ANA, 2013).

Figura 8 - Comparação entre o número de barragens constantes dos cadastros estaduais e o número de espelhos d'água com mais de 20 há em rios de domínio dos Estados, exceto SP, RN, PE, PB, MG e CE.

Fonte: (ANA, 2013).

2019

Após a primeira edição, houve as edições 2012/2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019. Esta última, retratada em resumo aqui, apresenta o avanço alcançado na implementação da PNSB nos últimos 09 anos e os pontos de melhoria ainda existentes.

Em relação às barragens destinadas a usos múltiplos, ao contrário das estruturas destinadas à geração de energia elétrica e as de mineração, há ainda diversas lacunas a serem preenchidas, a começar pela classificação das barragens.

Hoje, apesar de haver 19.388 cadastradas no SNISB, 11.767 estão sem informações mínimas para a sua classificação. Das 5.285 estruturas enquadradas, 3.717 possuem identificação dos empreendedores, com destaque para o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), com 234 estruturas, e a Vale S/A, com 115 barragens.

Tabela 2 - Empreendedores com mais de 25 barragens de usos múltiplos no país.

Número de barragens	Nome do empreendedor	UF de Localização
389	CODEVASF	MG, BA, PI
327	DNOCS	AL, BA, CE, MA, MG, PB, PE, PI, RN, SE
69	INCRA	CE, MG, PB, RS, SP
64	Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH)	CE
60	DNOS/MI	BA, CE, MA, MG, PE, RJ, RN, RS, SC
54	VALE S.A.	Nacional
47	SUCOCITRICO CUTRALE LTDA	SP
41	CI DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP)_	SP
39	CERB	BA
36	FISCHER S.A.	SP
31	AGROINDÚSTRIA BRASCAN CATTLE S/A	MG
25	P.M. SÃO JOSÉ DO RIO PRETO	SP
25	DÉCIO BRUXEL E OUTROS	MG
25	Agropecuária Schwanck	RS

Fonte: (ANA, 2013).

Das 44 entidades passíveis de atuação fiscal, 33 reportaram possuir barragens em seu cadastro. Em 2019 houve um aumento de 67% de pessoas atuando nos organismos fiscalizadores, totalizando 235 funcionários. Desses, 80 atuam exclusivamente na área, ou seja, apenas 34% para um contingente de 5.285

estruturas hoje enquadradas. Esse aumento significativo, possivelmente motivado pelo acidente em Brumadinho - MG, vem acompanhado também de uma melhoria na qualificação dos técnicos. Hoje, 70% dos órgãos fiscalizadores possuem contingente considerado adequado pelo Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens para Entidades Fiscalizadoras.

Houve também um aumento expressivo na qualificação da equipe técnica dessas entidades. Importante observar que os dois picos apresentados na Figura 9,, correspondem aos anos seguintes a acidentes de grandes proporções e de comoção nacional: Mariana e Brumadinho, ambos em Minas Gerais.

Figura 9 - Evolução anual do número de horas em cursos de capacitação.

Fonte: (ANA, 2020).

Figura 10 – Percentual de elaboração da regulamentação relativa à PNSB pelos órgãos fiscalizadores.

Fonte: (ANA, 2020).

Figura 11 - Evolução da quantidade de regulamentos sobre segurança de barragens.

Fonte: (ANA, 2020).

Em relação à fiscalização, imediatamente após o acidente com a Barragem I da Mina do Córrego do Feijão, em Brumadinho - MG, em 29 de janeiro, o CNRH publicou a Moção nº 72, recomendando a imediata fiscalização das barragens com o CRI ou DPA alto, indicadas no RSB de 2017. Assim, houve um aumento significativo das vistorias *in loco*, superior ao dobro das realizadas no ano anterior (Figura 12). Em decorrência dessas vistorias, 500 empreendedores foram autuados em referência às 1.716 barragens, um número superior a 400% do realizado em 2018.

Figura 12 - Evolução do número de barragens fiscalizadas por vistorias pelos órgãos fiscalizadores federais e estaduais.

Fonte: (ANA, 2020).

O RSB também pontua o vazio regulamentar existente para estabelecer critérios e procedimentos para a descaracterização e/ou descomissionamento das estruturas.

- **Manuais do Empreendedor sobre Segurança de Barragens:**

Produtos do contrato firmado entre a ANA e o BIRD, os manuais do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, foram produzidos pelo Consórcio COBA S.A./COBA Ltda., com o apoio do Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal (Agrupamento COBA/LNEC).

Com foco na orientação aos empreendedores de barragens destinadas à acumulação de água para diversos usos, esse produto é composto por oito manuais:

- Volume I – Instruções para apresentação do Plano de Segurança da Barragem;
- Volume II – Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem;
- Volume III – Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem;

- Volume IV – Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE;
- Volume V – Diretrizes para a Elaboração de Projetos de Barragens;
- Volume VI – Diretrizes para a Construção de Barragens;
- Volume VII – Diretrizes para a Elaboração do Plano de Operação Manutenção e Instrumentação de Barragens;
- Volume VIII – Guia Prático de Pequenas Barragens.

A partir da publicação desse manual, os empreendedores tiveram orientações adicionais e mais detalhadas para a elaboração e implementação do Plano de Segurança de Barragens (PSB) e sua gestão adequada. Adicionalmente, os modelos presentes nos volumes do guia auxiliam os empreendedores a elaborar um documento com uma formatação mais adequada, e incluir mais detalhadamente as informações dos estudos associados ou de documentos associados aos volumes do PSB. Apesar de o manual ser destinado a barragens de acumulação de água para usos múltiplos, com os devidos ajustes e particularidades, outros empreendedores também poderão se beneficiar dessas orientações gerais.

Destaca-se no próprio manual que ele é uma referência, e que os PSBs sempre devem ser revisados, complementados, detalhados e aprimorados a partir das ferramentas disponíveis e da legislação vigente(ANA, 2016a).

2.1.3 Tribunal de Contas da União (TCU) e Tribunal de Contas dos estados (TCE)

Além das atribuições dos distintos órgãos descritas na PNSB, o Tribunal de Contas da União (TCU) e os tribunais de conta do estado (TCE) também atuam em prol da segurança de barragens no que tange a fiscalização da aplicação do dinheiro público por meio da realização de inspeções e auditorias por solicitação do Congresso Nacional, entidades da administração direta ou indireta, ou por deliberação própria (TCE, 2021; TCU, 2021).

O TCU, por meio do Acórdão nº 1257/2019, de 5 de junho de 2019, emitiu uma série de recomendações e determinações aos organismos envolvidos com a segurança de barragens, com vistas a fortalecer a implantação da PNSB. Neste mesmo ano, o Tribunal também organizou o Seminário Internacional sobre Segurança de Barragens (TCU, 2019). Nas esferas estaduais, os tribunais de contas do Paraná,

Bahia, Espírito Santo, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Rio Grande do Norte, entre outros, também apresentam um protagonismo crescente na implantação da PNSB, cobrando dos estados e municípios a existência de mecanismos de proteção e preparação para contingências no setor de barragens, principalmente no que compete à atuação das defesas civis.

2.1.4 Plano de Ações Estratégicas para a Reabilitação de Barragens da União (PLANERB)

Ainda no contexto federal, foi elaborado o PLANERB, plano destinado a diagnosticar e resgatar a segurança estrutural das barragens de usos múltiplos do antigo Departamento Nacional de Obras de Saneamento – DNOS - extinto na década de 90 – da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF e do Departamento Nacional de Obras contra as Secas – DNOCS (MI, 2018a). As barragens de geração de energia elétrica, as que pertenciam anteriormente ao DNOS e agora estão vinculadas à ANEEL, e as utilizadas para abastecimento urbano, adequaram-se à PNSB por outros meios (MI, 2018a; b).

A origem dessa demanda foi o passivo oriundo do resultado de distintos trabalhos conduzidos pelo Ministério da Integração Nacional (MI): o Cadastro Nacional de Barragens (2004) e o Mapeamento de Espelhos D'água do Brasil (2008), etc., evidenciando a persistência e até o agravamento de alguns problemas em barragens (MI, 2018a; b).

O Plano de Ações Estratégicas para Reabilitação de Barragens (PLANERB) foi elaborado pela consultoria internacional *GNFidg* e *GNF engineering*, conforme a Solicitação de Propostas SDP n. 038/2015, e foi componente do Projeto de Cooperação Técnica BRA/IICA/13/001 – Projeto de Desenvolvimento do Setor de Água – Interáguas – MI (DE VITO; SILVEIRA; BEEKMAN, 2019).

Os trabalhos foram desenvolvidos entre 2017 e 2018, compreenderam 162 barragens e contemplaram o diagnóstico estrutural, jurídico, cadastral e ambiental das estruturas, inspeções locais, a elaboração de um plano de ação estratégica para reabilitação – incluindo fichas administrativas e técnicas -, bem como a elaboração do PSB (MI, 2018b) (DE VITO; SILVEIRA; BEEKMAN, 2019).

Preliminarmente foi proposta a classificação das barragens a partir do cruzamento da categoria de risco (CRI) e dano potencial associado (DPA) modificado. O CRI e DPA originalmente concebidos fornecem as classes das barragens conforme a PNSB, porém o escopo do trabalho exigiu um maior range de classificação para conduzir o plano de ação para a recuperação das barragens, visto que a PNSB não considerou seu estado de conservação e periculosidade (DE VITO; SILVEIRA; BEEKMAN, 2019). A modificação e adição de alguns critérios que compõem a CRI e o DPA permitiram priorizar os investimentos de acordo com a urgência imposta pelas anomalias das barragens. Assim, surgiu o Índice de Risco (IR), composto pelo produto entre CRI e DPA modificados (MI, 2018a), contemplando a adição e/ou modificação de parâmetros que influenciam a periculosidade das barragens.

56

baseados em risco e eficiência, com o fito de priorizar as medidas que mais reduzem os riscos com o menor custo estimado, de forma a alcançar mais rapidamente a redução do risco total do conjunto considerado de barragens. As informações de ação a realizar e custo associado ao serviço foram classificados pelo algoritmo de cálculo do programa, evidenciando a necessidade de recuperar o talude de muitas estruturas e de investir em instrumentos para monitoramento das barragens. Ao final, o investimento necessário para as ações do PLANERB alcançou R\$ 80.178.137,00 (US\$ 20.717.864,86) , em intervenções, e um custo anual de R\$ 8.516.258,00 (US\$ 2.200.583,46) em manutenção (MI, 2018a).

2.1.5 Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA)

Imediatamente após o acidente em Brumadinho, o Conselho Ministerial de Supervisão de Respostas a Desastres, da Casa Civil da Presidência da República do Brasil, emitiu uma recomendação por meio da Resolução n.º 1, de 28 de janeiro de 2019, solicitando a diversos organismos a intensificação do empenho na atuação em segurança de barragens.

O CONFEA, no que lhe concerne, determinou e orientou que suas regionais (CREA) fiscalizem o exercício do trabalho profissional do engenheiro, conforme suas atribuições. Com representação no Conselho Nacional de Segurança de Barragens (CNSB), o CONFEA dispôs sobre a figura do engenheiro de segurança de barragens, detentor de curso de especialização ao nível de pós-graduação (CONFEA, 2004). Ao Conselho também coube o estímulo ao treinamento e capacitação desses profissionais, bem como regulamentar, no prazo de um ano, a habilitação de engenharia em segurança de barragens, exceto para o engenheiro civil, cuja atribuição já está contemplada na legislação vigente (CONFEA, 2004).

Em 2019, o CONFEA emitiu a Nota Técnica 001/2019 com orientações quanto à operacionalização dos procedimentos para verificação do exercício profissional na fiscalização de barragens (Quadro 4).

Quadro 4 - Procedimentos para fiscalização de barragens do CONFEA/CREA.

O QUE FISCALIZAR	PROCEDIMENTOS	QUANTO À SEGURANÇA
Barragens (mineração, águas e resíduos) (Dimensões conforme art.1º da Lei n.º 12.334, de 2010)	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar os seus Responsáveis Técnicos e as respectivas ARTs. referente aos seguintes documentos: <ul style="list-style-type: none"> -Estudo de viabilidade; -Estudos hidrológicos; -Estudos de Investigação Geotécnica; -Estudos de Avaliação Geofísica; -Projeto geométrico; -Projetos de sondagem geológica, geotécnica (fundações, barragens, estradas, túneis, etc.); -Projeto de investigação geológica de superfície e de subsuperfície; -Projeto de mecânica dos solos; -Projeto de obras de terra; -Projeto de terraplenagem; -Projeto de drenagem superficial e profunda; -Projeto de desapropriação; 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar a existência dos Responsáveis Técnicos e suas respectivas ARTs. para os seguintes documentos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ PSB ▪ PAE ▪ RISR ▪ RCIE ▪ RPSB ▪ DCE ▪ PAEBM ▪ PPRA ▪ PGR ▪ Mapa de Inundação (Conforme a Lei n.º 12.334 de 2010, Portaria DNPM n.º 70.389, de 2017, NR n.º 22)

O QUE FISCALIZAR	PROCEDIMENTOS	QUANTO À SEGURANÇA
	<ul style="list-style-type: none"> -Projetos ambientais (EIA, RIMA, PCA, PRAD, PPRA e outros); -Licenças ambientais; -Projeto de rede de distribuição de energia elétrica; -Projeto Básico da Barragem -Projeto Executivo da Barragem -Levantamentos topográficos; -Projetos de aerofotogrametria, sensoriamento remoto, fotointerpretação e georreferenciamento; -Projeto de instalação da instrumentação de controle de estabilidade; -Execução de sondagens; -Locação da obra; -Execução das obras; -Execução da obra por subempreiteiros ou prestadores de serviços técnicos (terraplenagem, fabricação de concreto usinado, proteção de taludes, obras de 	

O QUE FISCALIZAR	PROCEDIMENTOS	QUANTO À SEGURANÇA
	<p>drenagem superficial e profunda);</p> <p>-Execução de controles tecnológicos (concreto, aço, solo, outros).</p> <p>-Fiscalização das obras;</p> <p>-Projeto “As Built”;</p> <p>-Plano de Operação da Barragem;</p> <p>-Plano de Monitoramento Geotécnico;</p> <p>-Livro de Ordem;</p> <p>• Verificar a existência de placas de obra;</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa empreendedora. • Empresas prestadoras de serviços. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar: <ul style="list-style-type: none"> ▪ -Registro ou vistos no Crea; ▪ -Seus RTs; ▪ -ART de cargo ou função de execução; 	-
<ul style="list-style-type: none"> • Equipamentos • Instalações e Sistemas 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar a responsabilidade técnica pelos serviços de operação e/ou manutenção em sistemas, instalações e equipamentos, Programas e Planos de Segurança do Trabalho 	-

Fonte: (CONFEA-CREA, 2019).

2.1.6 Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE)

O DAEE, enquanto órgão fiscalizador das barragens de acumulação de água de domínio do Estado de São Paulo, promulgou sua Portaria DAEE nº 3907, após 05 anos da publicação da PNSB, em 15 de dezembro de 2015 (Quadro 5;Quadro 6;Quadro 7;Quadro 8). O instrumento regulamentou a Lei Federal nº 12.334/2010, indicando os critérios e os procedimentos para a classificação, a implantação e a revisão periódica de segurança de barragens, e foi reti-ratificada em 27 de junho de 2017, adicionando ao Art.2º, inciso IV, o conceito de empreendedor como o agente, privado ou do governo, que opera a barragem.

Quadro 5 – Comparativo dos documentos de regulamentação da PNSB entre a ANA e o DAEE

Lei Federal n.º 12.334/2010	Resolução ANA n.º 236/2017	Portaria DAEE n.º 3907/2015
Art. 7.º - As barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).	Capítulo I - Art.4.º Capítulo VII - Art.30 e 31	Capítulo II - seções I, II, III, IV e V Capítulo V - seção I
Art. 8.º § 1º-A periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento dos planos de segurança deverão ser estabelecidos pelo órgão fiscalizador.	Capítulo II - seções I, II Capítulo VII - Art.30 e 31	Capítulo III - seções I e II Capítulo V - seção I OBS.: a Portaria não menciona o nível de detalhamento.
Art. 9º — As inspeções de segurança regular e especial terão a sua	Capítulo III - seções I, II	Capítulo III - seção II, Art. 14

Lei Federal n.º 12.334/2010	Resolução ANA n.º 236/2017	Portaria DAEE n.º 3907/2015
<p>periodicidade, a qualificação da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento definidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem.</p> <p>§ 1º — A inspeção de segurança regular será efetuada pela própria equipe de segurança da barragem, devendo o relatório resultante estar disponível ao órgão fiscalizador e à sociedade civil.</p> <p>§ 2º — A inspeção de segurança especial será elaborada, conforme orientação do órgão fiscalizador, por equipe multidisciplinar de especialistas, em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem, nas fases de construção, operação e desativação, devendo considerar as alterações das condições a montante e a jusante da barragem.</p>	<p>Capítulo IV - seções I, II</p> <p>Capítulo VII - Art.30 e 31</p>	<p>Capítulo V - seção I</p> <p>OBS.: a Portaria não menciona o nível de detalhamento.</p>
<p>Art. 10. Deverá ser realizada Revisão Periódica de Segurança de Barragem com o objetivo de verificar o estado geral de segurança da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, a atualização dos dados hidrológicos e as alterações das condições a montante e a jusante da</p>	<p>Capítulo V - seções I, II</p> <p>Capítulo VII - Art.30 e 31</p>	<p>Capítulo IV - seções I e II</p> <p>Capítulo V - seção I</p> <p>OBS.: a Portaria não menciona o nível de detalhamento.</p>

Lei Federal n.º 12.334/2010	Resolução ANA n.º 236/2017	Portaria DAEE n.º 3907/2015
<p>barragem.</p> <p>§ 1º — A periodicidade, a qualificação técnica da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento da revisão periódica de segurança serão estabelecidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem.</p>		
<p>Art. 11. O órgão fiscalizador poderá determinar a elaboração de PAE em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem, devendo exigi-lo sempre para a barragem classificada como de dano potencial associado alto.</p>	<p>Capítulo VI - seções I, II, III, IV e V</p> <p>Capítulo VII - Art.30 e 31</p>	<p>Capítulo III - Art. 11</p>
<p>Art. 16. O órgão fiscalizador, no âmbito de suas atribuições legais, é obrigado a:</p> <p>I - Manter cadastro das barragens sob sua jurisdição, com identificação dos empreendedores, para fins de incorporação ao SNISB;</p> <p>II - Exigir do empreendedor a anotação de responsabilidade técnica, por profissional habilitado pelo Sistema Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CONFEA) / Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CREA), dos estudos, planos, projetos,</p>	<p>Capítulo VII - Art.30 e 31</p>	<p>Capítulo V - Seção II (Art. 21)</p>

Lei Federal n.º 12.334/2010	Resolução ANA n.º 236/2017	Portaria DAEE n.º 3907/2015
<p>construção, fiscalização e demais relatórios citados nesta Lei;</p> <p>III - exigir do empreendedor o cumprimento das recomendações contidas nos relatórios de inspeção e revisão periódica de segurança;</p> <p>IV - Articular-se com outros órgãos envolvidos com a implantação e a operação de barragens no âmbito da bacia hidrográfica;</p> <p>V - Exigir do empreendedor o cadastramento e a atualização das informações relativas à barragem no SNISB.</p> <p>§ 1º O órgão fiscalizador deverá informar imediatamente à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e ao Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC) qualquer não conformidade que implique risco imediato à segurança ou qualquer acidente ocorrido nas barragens sob sua jurisdição.</p> <p>§ 2º — O órgão fiscalizador deverá implantar o cadastro das barragens a que alude o inciso I no prazo máximo de 2 (dois) anos, a partir da data de publicação desta Lei.</p>		

Fonte: (ANA, 2018) ; (DAEE, 2015).

Quadro 6 – Comparativo da classificação de barragens entre a Resolução ANA n.º 236/2017 e a Portaria n.º 3907/2015

Categoria de Risco	Dano Potencial Associado					
	Resolução ANA n.º 236/2017			Portaria DAEE n.º 3907/2015		
	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C	A	A	B
Médio	A	C	D	B	B	C
Baixo	A	D	D	C	C	D

Fonte: (ANA, 2017; DAEE, 2015).

Quadro 7 – Comparativo dos volumes e descrições do PSB entre a Resolução ANA n.º 236/2017 e a Portaria DAEE n.º 3907/2015

Resolução ANA n.º 236/2017		Portaria DAEE n.º 3907/2015	
Volume I	Informações Gerais	Volume I	1. Informações Gerais
Volume II	Documentação Técnica do Empreendimento		2. Documentação Técnica e Legal
Volume III	Planos e Procedimentos	Volume II	Planos e Procedimentos
Volume IV	Registros e Controles		
-	-	Volume III	Plano de Ação de Emergência – PAE
Volume V	Revisão Periódica de Segurança de Barragem	Volume IV	Tomo 1 – Revisão Periódica de Segurança da Barragem. Tomo 2 – Resumo Executivo
Volume VI	Plano de Ação de Emergência	-	-

Fonte: (ANA, 2017; DAEE, 2015).

Quadro 8 – Periodicidade de elaboração da Revisão Periódica de Barragem definida pela Resolução ANA n.º 236/2017 e pela Portaria DAEE n.º 3907/2015

Classe	Resolução ANA n.º 236/2017		Portaria DAEE n.º 3907/2015	
	Abrangência do PSB	Periodicidade da RPSB	Abrangência do PSB	Periodicidade da RPSB
A	Volumes I, II,	5 anos	Volumes I, II, III e IV	4 anos
B	III, IV, V e VI	7 anos		6 anos
C	Volumes I, II, III, IV e V	10 anos		8 anos
D	Volumes I, II, III, IV e V	12 anos	Volumes I, II e IV	10 anos

Fonte: (ANA, 2017; DAEE, 2015).

Em 2017 o DAEE realizou o levantamento das barragens outorgadas no estado de São Paulo e enquadradas na PNSB por meio da contratação de empresa especializada. A conclusão do serviço, em 2018, resultou em 143 barragens enquadradas na lei das 7.145 outorgadas pelo órgão. Dessas 143 estruturas, 5 não possuíam outorga. No mesmo ano, o DAEE criou o Sistema de Informações sobre Segurança de Barragens (SISB) e realizou a classificação preliminar das barragens sob sua fiscalização (DAEE, 2018).

O SISB surgiu em decorrência da necessidade do Departamento de compilar satisfatoriamente a quantidade de barragens outorgadas sob sua responsabilidade de fiscalização. Foi também um motivador o desconhecimento acerca de barragens existentes e não outorgadas.

O projeto que culminou com o SISB contou ainda com a adequação da base de dados do DAEE relativos ao tema, execução de levantamentos e inspeções de campo, e treinamento de sua equipe técnica. O Sistema poderá ser acessado em: <https://sisb.daee.sp.gov.br/>.

Figura 14 - Mapa do SISB

Fonte: (DAEE, 2020a).

Em 2019, o DAEE intensificou suas ações junto aos empreendedores para a realização de auto cadastramento e solicitação de cronogramas dos PSBs. Na área da educação sobre segurança de barragem, o DAEE, em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), iniciou o Curso de Especialização em Segurança de Barragens (DAEE, 2018).

● **Portaria DAEE n.º 7385, de 24 de dezembro de 2020 e Portaria n.º 1634, de 10 de março de 2021**

Em sequência à promulgação da alteração da PNSB pela Lei Federal n.º 14.066/2020, o DAEE publicou a Portaria n.º 7385/2020, revogada em março de 2021 pela Portaria n.º 1634, com alterações significativas em relação a 3907/2015 (Quadro 9).

Quadro 9 – Principais alterações da atualização da Portaria DAEE n.º 3907/2015

Característica	Portaria DAEE n.º 7385/2020	Portaria DAEE n.º 1634/2121
Considerações	-	<ul style="list-style-type: none"> Adiciona à CNRH n.º 223, de 20/11/2020 e revoga a resolução CNRH n.º 178/2016, a qual também alterava a resolução CNRH n.º 144/2012.

Característica	Portaria DAEE n.º 7385/2020	Portaria DAEE n.º 1634/2121
Altura do maciço	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inserida a definição da altura do maciço da barragem. ▪ Utiliza a altura contada a partir do encontro do pé do talude de jusante com o terreno, quando anteriormente era utilizada a medida da cota mais baixa da fundação até a crista da barragem. 	-
Definição de Segurança da barragem, empreendedor, Gestão de Risco, dano potencial associado a barragem, acidente, incidente, categoria de risco (CRI), zona de autossalvamento, desastre	<ul style="list-style-type: none"> ▪ As definições foram ajustados e estão semelhantes à nova redação da PNSB. 	-
Definição de área afetada	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ área a jusante ou a montante, potencialmente comprometida por eventual ruptura da barragem, cujos limites deverão ser definidos e justificados pelo empreendedor.
Plano de ação emergencial (PAE)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lei Federal n.º12.334/2010 revisada em 2020, Art. 11 inciso I - obrigatória elaboração do PAE para barragens de DPA médio ou alto. ▪ Detalha os locais nos quais o PAE deverá ser disponibilizado, incluindo aí a inserção no SNISB e no SISB No artigo 16,1 inciso 3, 	-

Característica	Portaria DAEE n.º 7385/2020	Portaria DAEE n.º 1634/2121
	informa que, “em situações específicas, e conforme sua orientação, as entidades e órgãos de proteção e defesa civil e os representantes da população da área potencialmente afetada devem ser ouvidos na fase de elaboração do PPA. Quanto às medidas de segurança e aos procedimentos de evacuação, em caso de emergência”.	
Categoria de risco (CRI)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Especifica os aspectos da barragem que podem influenciar sua classificação pela CRI. ▪ Inclui a obrigatoriedade do empreendedor de apresentar, no prazo e na forma estipulada, todas as medidas que levem à redução da categoria de risco da barragem. 	-
Matriz de risco	Não sofreu alteração	-
PSB	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Para novas barragens, detalha a quem o empreendedor deverá disponibilizar o PSB elaborado. ▪ Determina a assinatura de manifestação de ciência acerca do conteúdo dos estudos e relatórios, pelo titular de cargo de maior hierarquia na estrutura da pessoa jurídica. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Adiciona à portaria a Instrução Técnica CTH n.º 1, a qual estabelece procedimentos para elaboração revisão e apresentação de plano de segurança de barragem simplificado.
SISB	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dispõe sobre a obrigatoriedade da inserção dos dados referentes a segurança de barragens no 	-

Característica	Portaria DAEE n.º 7385/2020	Portaria DAEE n.º 1634/2121
	sistema de informação sobre segurança de barragens do DAEE (SISB).	
Barragens não outorgadas ou não cadastradas	<ul style="list-style-type: none"> Discorre sobre as aplicações das penalidades para estas estruturas, segundo descrito nos artigos de 11 a 13, da Lei estadual n.º 7663/1991 e seus regulamentos. 	-
Conteúdo mínimo do plano de segurança de barragens	<ul style="list-style-type: none"> Determina que todos os volumes exigidos sejam entregues em um único PDF com índice remissivo. Só serão aceitos desenhos e relatórios em arquivos separados, caso conste no corpo do texto, e dos anexos, um resumo do conteúdo 	-
Anexo III Volume 2 - planos procedimentos e Estudos complementares	<ul style="list-style-type: none"> Este item continua sendo dividido em instruções a depender do tipo de operação do vertedor, mas o segundo passa a contemplar a operação com comportas: com comportas ou de superfície de soleira livre (sem comportas) ou operados com comportas. Quanto ao conteúdo exigido, a nova Portaria passa a ser mais detalhada. Para barragens com vertedores operados com comportas, passa a exigir explicitamente procedimentos operacionais em regime de cheias e em situações de emergência. Foram removidos os itens: <ul style="list-style-type: none"> Planejamento das manutenções; 	<p>Adiciona:</p> <ul style="list-style-type: none"> o item 2.1 e seus subitens; ao item 2.3.1 a definição da vazão de percolação e recalques; o Item 3.3, referente à avaliação da segurança geológico-geotécnica. <p>Retira:</p> <ul style="list-style-type: none"> o item referente aos estudos de estabilidade e seus subitens;

Característica	Portaria DAEE n.º 7385/2020	Portaria DAEE n.º 1634/2121
	<ul style="list-style-type: none"> ○ Plano de monitoramento e instrumentação; ○ Planejamento das inspeções de segurança da barragem; e, ○ Fichas e relatórios de Inspeção de Segurança de Barragens, acompanhado de relatório fotográfico. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Para barragens com vertedor de superfície de soleira livre (sem comportas) ou operados com comportas, o conteúdo exigido passou a ser mais detalhado, incluindo itens de manutenção que devem conter planejamento, plano de monitoramento, procedimentos utilizados, fichas de inspeção, planos de adequação e planejamento de inspeções de segurança conforme abrangência e instruções do Volume II - "Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem", elaborado pela ANA. ▪ Consta neste volume, também, o item de Informações/Estudos Complementares. Nele devem estar os relatórios dos estudos de <i>dam-break</i>, com mapas de inundação e de risco hidrodinâmico; avaliação da segurança hidrológico-hidráulica da barragem conforme IT DPO 11/2017; e estudos de estabilidade. 	

Característica	Portaria DAEE n.º 7385/2020	Portaria DAEE n.º 1634/2121
<p>Anexo III</p> <p>Volume 3 - plano de ação de emergência</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Praticamente todo o conteúdo que era anteriormente exigido pela 3907/2015 foi modificado ou especificado. ▪ Considerando o item 9.2., o empreendedor obrigatoriamente deve entrar em contato com o poder público e a defesa civil para cumprimento do item. 	-
<p>Anexo III</p> <p>Volume IV - revisões periódicas e resumo executivo</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O Volume IV é composto por diversos relatórios (relatórios de inspeção, relatórios de reavaliação hidráulico-hidrológica, reavaliação do PAE, relatório de revisão periódica, etc.), mas ainda assim é exigido que seja entregue em um único documento. ▪ O Plano de Adequação e Melhorias (PAM) deve conter cronograma para execução de ações e melhorias estruturais apontadas nas inspeções de segurança ou por indicação do DAEE em 6, 12 ou 18 meses, de acordo com a ordem de prioridade.. 	-
<p>Anexo II</p> <p>Pontuação para classificação do Dano Potencial Associado – DPA</p>	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Houve mudança na definição do impacto ambiental. Anteriormente a situação classificada como significativa agora é pouco significativo. ▪ Impacto socioeconômico: inclui medidas quantitativas para

Característica	Portaria DAEE n.º 7385/2020	Portaria DAEE n.º 1634/2121
		avaliação do impacto socioeconômico.
Exigência das ART	-	Exigência do recolhimento da ART para os estudos, planos, projetos, construção, inspeção e demais relatórios citados na Portaria.
Anexo IV - Formulário Técnico da Barragem	-	Adiciona o item danos potenciais no fator de distância menor ou igual a 25 km para levantamento qualitativo das edificações, equipamentos urbanos e estruturas a jusante da barragem
Anexo V - Ficha Técnica do Empreendimento	-	No item reservatório, a indicação do “nível de máxima de cheia”, onde anteriormente era indicado um TR de 1.000 anos, agora refere-se ao “TR devido” para cada estrutura.

Fonte: (DAEE, 2020b) (DAEE, 2021).

2.1.7 Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA

A regulação e fiscalização das barragens de usos múltiplos do estado da Bahia é realizada pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA. O órgão, segundo o Relatório de Segurança de Barragens (RSB), publicado todos os anos entre 2012 e 2019, teve um papel de destaque entre os fiscalizadores de barragens de usos múltiplos. Em 2019, o RSB destacou o número significativo de barragens fiscalizadas pelo INEMA/BA, conjuntamente às barragens do setor de geração de energia hidrelétrica e rejeitos de mineração (ANA, 2020).

As barragens sob fiscalização do INEMA, em geral, possuem seus PSB, RPSB e PAE, a despeito das barragens de usos múltiplos vinculadas aos demais

fiscalizadores estaduais, o que aponta para a necessidade de uma intensificação da ação desses órgãos frente à questão de segurança de barragens. (ANA, 2018; 2019).

Segundo a compilação de informações do INEMA no RSB 2019, o órgão atua de forma crescente e robusta desde o início de implementação da PNSB. A fiscalização do órgão acontece por meio de inspeções próprias e pelo extrato de inspeção, enviado pelos empreendedores até 31 de janeiro de cada ano. Em seu *site* há uma estrutura para cadastro, consulta e *download* de informações das barragens sob sua fiscalização.

- **2018 (ANA, 2019):**

- Publicação das portarias: INEMA n.º 16.481/2018 (atualização da regulamentação do Plano de Segurança de Barragem com inclusão do Plano de Ação de Emergência - PAE) e n.º 16.482/2018 (atualização da regulamentação da Inspeção de Segurança Regular e inclusão da Inspeção de Segurança Especial);
- Identificação adicional de 89 empreendedores para regularização de barramentos e cruzamento de informações do Cadastro Estadual Florestal de Imóveis Rurais (CEFIR);
- Emissão de 135 notificações e 1 auto de infração;
- Investimento declarado de R\$ 14.230.324,57 para recuperação das estruturas, em decorrência dos regulamentos, notificações e ofícios emitidos pelo órgão.

- **2019(ANA, 2020):**

- Desenvolvimento de ações de cadastro, classificação e fiscalização da segurança das barragens de acumulação de água e resíduo industrial;
- Contabilização de um total de 387 barragens fiscalizáveis pelo órgão, sendo que 359 estão enquadradas na PNSB. A classificação é realizada de acordo com os critérios estabelecidos na Resolução CNRH n.º 143/2012;
- Emissão de 135 notificações e 16 autos de infração;
- Investimento declarado de R\$ 10.029.261,39 por parte dos investidores para recuperação das estruturas, em decorrência dos regulamentos, notificações e ofícios emitidos pelo órgão;

- Inspeções de Segurança Regular (ISR) de 154 barragens, sendo 137 estruturas com Plano de Ação Emergencial (PAE) e 29 Relatórios de Revisão Periódica de Segurança de Barragens (RPSB).

2.1.8 Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC

Em 2010, a lei federal n.º 12.340/2010 (atualizada pela Lei n.º 12.983/2014) instituiu o Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC) e dispôs:

[...] sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados e Municípios voltados à execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres e de resposta e de recuperação em áreas atingidas por desastres e sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil [...] (BRASIL, 2010).

. A lei também dispôs sobre o Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil, de responsabilidade do organismo municipal de proteção e defesa civil, seu conteúdo mínimo e prazo de elaboração. Esse Plano é composto pela identificação do cenário de risco; definição do sistema de monitoramento e alerta; definição de um sistema de alarme; estabelecimento de rotas de fuga e de pontos de encontro; e, plano de comunicação a autoridades e serviços de emergência. Sua implementação, no que lhe concerne, deverá contemplar a realização de simulados e de audiências públicas (SEDEC, 2016).

Instituída pela Lei Federal nº 12.608/2012, a PNPDEC lançou como instrumento o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), ampliando as ações de proteção e defesa civil para além dos órgãos de proteção e defesa civil, envolvendo diversos atores institucionais, promovendo sua articulação, considerando seus deveres e competências.

A lei também instituiu o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC), a quem compete o auxílio na formulação, implementação e execução do Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil; a proposição de normas para implementação e execução da PNPDEC; a expedição de procedimentos para implementação, execução e monitoramento da PNPDEC; a proposição de procedimento para atendimento às pessoas mais vulneráveis em situação de desastre; e o acompanhamento do cumprimento das disposições legais e regulamentares de proteção e defesa civil (BRASIL, 2019).

O Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), instrumento da PNPDEC, e a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), tem o papel

de coordenar o SINPDEC e promover a articulação dos órgãos e entidades da administração pública federal, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, assim como pelas entidades públicas e privadas de atuação significativa na área de proteção e defesa civil, com o intuito de alcançar uma atuação coordenada e integrada na gestão de riscos e na resposta aos desastres no país. A atuação da SEDEC para o risco de ruptura de barragens se dá pelo código sd 2.0.0 da Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) (SEDEC, 2020).

2.1.9 Acordo de Cooperação Técnica para Atuação Conjunta em Segurança de Barragens – ACT n° 31/2018

O rompimento da barragem de Fundão, em Mariana/MG, evidenciou o ambiente de desarticulação dos órgãos competentes, demandando que dialogassem mais entre si, e buscassem atuar de forma complementar e coordenada, culminando com o Acordo de Cooperação Técnica para Atuação Conjunta em Segurança de Barragens – ACT n.º 31/2018, que provém da parceria entre instituições federais – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Agência Nacional de Mineração (ANM), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA) e Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) – para o desenvolvimento e execução de ações conjuntas e coordenadas da PNSB e da PNPDEC, com o propósito maior de salvaguardar vidas humanas, bens materiais e meio ambiente em situações relacionadas à segurança de barragens.

O Acordo iniciado em janeiro de 2019, tem a finalidade de promover a cooperação mútua entre seus participantes, tendo como objetivos (SEDEC, 2020): recebimento e compartilhamento de comunicado e denúncias sobre segurança de barragens; atuação conjunta em caso de emergência de segurança de barragens; apoio ao reconhecimento Federal de Emergência ou Estado de Calamidade Pública; compartilhamento de dados e informações; transferência de conhecimento e cursos e treinamento.

A ANA, desde 2012, junto ao Ministério da Integração - MI (hoje Ministério do Desenvolvimento Regional), e com a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil – SEDEC, por meio do Centro Nacional de Gerenciamento Riscos e Desastres – CENAD, atua para o melhor atendimento da PNSB. Essa parceria culminou com o

Acordo de Cooperação (2013), para a atuação em casos de emergência envolvendo segurança de barragens (SEDEC, 2020).

Em 2018, próximo ao término da vigência do Acordo e com os resultados positivos alcançados, a ANA e a SEDEC continuaram as ações conjuntas e realizaram um novo Acordo, integrando todas as entidades fiscalizadoras de segurança de barragem na esfera federal (ANA, ANEEL, ANM e IBAMA), além da SEDEC (SEDEC, 2020).

O ACT criou o Grupo de Informações de Emergências em Barragens, com a finalidade do intercâmbio de informações técnicas de forma rápida e segura durante emergências em barragens, cujos gestores têm acesso a situações emergenciais, decidem ações em conjunto e informam a alta cúpula do governo federal (SEDEC, 2020).

A atuação do grupo se dá via aplicativo de mensagem instantânea sempre que surge uma situação de risco importante ou algum acidente em barragens. Em 2019, iniciou-se a elaboração de uma plataforma com o propósito de reunir, organizar e compartilhar informações relevantes para emergências, a exemplo de mapas georreferenciados, imagens de drone, dentre outras, mantendo-as disponíveis aos técnicos participantes do Grupo, principalmente ao alcance daqueles em atividades de campo, durante emergências (SEDEC, 2020).

2.1.10 Sistema Estadual de Proteção e Defesa Civil do Estado de São Paulo — SIEPDEC

A Política e o Sistema Estadual de Proteção e Defesa Civil (SIEPDEC) do Estado de São Paulo, inicialmente definidas no Decreto Estadual de São Paulo nº 40.151, de 16 de junho de 1995, foram reorganizadas no Decreto nº 64.592, de 14 de novembro de 2019.

O SIEPDEC, formado pelos organismos estaduais, regionais, municipais, setoriais e demais entes de apoio nas ações de proteção e defesa civil, tem por objetivo o planejamento e promoção da defesa contra desastres, incluindo o auxílio aos municípios para a identificação e avaliação das ameaças, e o fomento à formação das Coordenadorias Municipais de Proteção e Defesa Civil – COMPDEC e de Núcleos de Proteção e Defesa Civil (NUPDEC). O Sistema também tem o propósito de atuar em situações de desastre ou em sua iminência, monitorar os eventos potencialmente

causadores de desastres (meteorológicos, hidrológicos, geológicos, etc.), e produzir alerta antecipado em situações de potencial desastre natural.

- **Publicação “Barragens no Estado de São Paulo”**

Produto do Grupo de Trabalho formado pela Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA), Casa Militar do Gabinete do Governador (CMIL), Companhia Ambiental de São Paulo (CETESB), Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e Instituto Geológico (IG), a publicação foi elaborada em consequência do acidente de Brumadinho com o intuito de mapear a situação atual das estruturas do estado e disseminar recomendações para melhorar a gestão de barragens (SIMA, 2019).

O grupo definiu estratégia de trabalho e desenvolveu atividades que permitiram estabelecer um quadro geral sobre as barragens no estado de São Paulo, contemplando: a legislação sobre a PNSB; a situação das barragens no Estado; os tipos e métodos construtivos e de instrumentação das barragens; aspectos relacionados à redução, disposição e aproveitamento de rejeitos de mineração; considerações sobre a desativação/descomissionamento de barragens; e aspectos associados aos Planos de Ação de Emergências.

Segundo apresentado no estudo, 57 barragens apresentam CRI e DPA altos segundo os critérios da PNSB, e são barragens de água de usos múltiplos. Tal quantidade é decorrente do não fornecimento de dados pelos empreendedores durante o auto cadastramento, resultando na maior classificação possível, conforme preconizado na Portaria DAEE nº 3907/2015. As 95 barragens classificadas como CRI e DPA mais baixos são destinadas principalmente à geração de energia elétrica, conforme descrito em seu instrumento de outorga.

2.2 Legislação Internacional

2.1.1 EUA

A construção das barragens de propriedade do governo federal pelo *U.S. Army Corps of Engineers* (USACE), remonta ao começo do século XIX, sendo concebidas para melhorar as condições de navegação no rio Ohio. Após a Guerra Civil (1861-1865), a atuação do USACE foi ampliada e, somente entre os anos de 1884 e 1906

foram aprovadas 30 barragens privadas ao longo do Rio Mississippi. Autorizado pelo Congresso Nacional, o *Corps of Engineers* construiu represas de armazenamento no alto rio Mississippi e represas regulatórias para auxiliar a navegação no rio Ohio (USBR, 2005).

O *Bureau of Reclamation* (então chamado *Reclamation Service*) foi criado em 1902 pelo Congresso. A partir disso houve um aumento expressivo do número de barragens de sua propriedade, destinadas principalmente ao armazenamento de água. Já as estruturas pertencentes ao USACE foram construídas com foco na navegação e controle de cheias.

Em 1906, a Lei Geral de Barragens incorporou a regulamentação relativa à produção de energia hidrelétrica, exigindo que os empreendedores de barragens destinadas a este fim mantivessem e operassem as estruturas auxiliares de navegação às suas custas. Hoje, a maioria das estruturas do USBR e USACE têm como função secundária a geração de energia hidrelétrica.

A partir da lei estabelecida, a autoridade reguladora federal foi fortalecida. Em 1910, a emenda à Lei Geral de Barragens vinculou a exigência da energia hidrelétrica às demandas de melhoria das hidrovias. Assim, o USACE passou a considerar na avaliação das licenças de construção de barragens a possibilidade de geração hidrelétrica pelo represamento.

Hoje as barragens dos Estados Unidos são avaliadas sob as perspectivas estruturais, hidráulica-hidrológica e sísmica. Após o 11 de setembro de 2001, os planos de ação emergencial foram revistos e a avaliação sobre as ações de terrorismo e vandalismo foram incorporadas, trabalhando com a hipótese de interrupção abrupta do suprimento de água, contaminação intencional da água, submetidos a fiscalização da *Environmental Protection Agency* (EPA), e *Federal Bureau of Investigation* (FBI) (BELLEZZIA, 2017).

A *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) elaborou o Guia Federal para Segurança de Barragens, com diretrizes que se aplicam às práticas de gestão para segurança de barragens de todas as agências federais responsáveis pelo planejamento, projeto, construção, operação ou regulamentação das estruturas do país.

2.1.2 França

As obrigações do proprietário (ou empreendedor) são definidas em poucas leis, especialmente uma lei sobre água, leis e decretos de segurança pública. Do ponto de vista legal, ele é o responsável por qualquer dano que as barragens, diretamente ou não, possam criar em caso de acidente ou incidente. Os órgãos públicos (governo francês e seus representantes) supervisionam a ação do proprietário, inclusive concedendo a autorização para a construção de uma barragem, independentemente do tamanho, mediante a apresentação de uma ficha técnica do empreendimento pelo proprietário (CLUB, 2014; ICOLD, 2014).

A regulamentação francesa foi modificada em 2015 e todos os regulamentos vinculados à área de barragens encontram-se no seu Código Ambiental, configurando-o como o principal documento orientador para os projetos de novas barragens ou a verificação da segurança das barragens existentes (DES BARRAGES ET RESERVOIRS, 2020).

A regulamentação francesa distribui as barragens em três classes - A, B e C - de acordo com a sua altura (H), contando a partir do nível do solo, e o volume normal (V) do reservatório. O índice C é assim calculado: $C = H^2 \times \sqrt{V}$, onde H está em metros e V em milhões de metros cúbicos.

- Classe A: barragens com altura (H) maior ou igual a 20 m e com índice C maior ou igual a 1500;
- Classe B: barragens não pertencentes à classe A e com altura (H) entre 10 m e 20 m e com índice C superior ou igual a 200;
- Classe C: barragens não classificadas nas classes A e B e com altura (H) superior a 5 m e índice C maior ou igual a 20; e, barragens não classificadas nas classes A, B e com altura (H) superior a 2 m e $V > 50\,000\text{ m}^3$ e com pelo menos um habitante dentro de 400 m a jusante da barragem.

Quando há alguma situação particular que represente um nível especial de risco, as autoridades podem modificar a classe de uma barragem. Além disso, as barragens com altura superior a 20 m e com reservatório acima de 15 hm^3 (e outras barragens quando necessário), estão sujeitas a um regulamento de planejamento de emergência.

Figura 15 – Classificação geral das barragens francesas, segundo a relação altura do barramento (m) e volume do reservatório (x 1000 m³).

Fonte: (DES BARRAGES ET RESERVOIRS, 2020).

No país existem cerca de 220 barragens de classe A, 420 de classe B, 2000 barragens de classe C e várias dezenas de milhares de barragens não classificadas, mas com altura superior a 2 m.

As entidades envolvidas na gestão de segurança de barragens são:

- Administração pública:
 - Ministério da Ecologia, Desenvolvimento Sustentável e Energia (MEDDE): possui um comitê composto por especialistas altamente qualificados e independentes dedicados exclusivamente a opinar sobre os projetos de novas barragens ou de manutenção/reparos de barragens existentes, desde que acima de 20 m;
 - Direção Regional da Ecologia, Planejamento, Habitação (DREAL): responsável pela fiscalização das estruturas;
 - Defesa Civil: responsável pela elaboração dos planos de emergência associados às estruturas mais altas.
- Proprietários;

- Engenheiros civis: há um procedimento oficial para a qualificação das empresas de consultoria em engenharia na área de barragens, vigente desde 2010.

O projeto de barragens não possui regras pré-definidas na legislação, porém há previsão de atualização da legislação para incorporar regras oficiais para os carregamentos.

Os projetos envolvendo as barragens acima de 20 m, considerando o nível do solo, são examinados pelo Comitê Técnico Permanente de Barragens e, posteriormente, são encaminhados para aprovação das autoridades locais ou do ministério. Os projetos submetidos incluem diversas matérias, tais como: geologia, terremoto, inundações, materiais e avaliação de risco. A avaliação desse Comitê e as publicações do Comitê Nacional Francês de Grandes Barragens (CFBR) compõem as regras utilizadas nos projetos do país.

O Comitê Técnico Permanente de Barragens também emite o parecer sobre o Programa de Construção de Barragens e do seu Primeiro Enchimento, direcionado a estruturas com altura superior a 20 m, e define o profissional que irá supervisionar a construção.

A Direção Regional da Ecologia, Planejamento, Habitação (DREAL) acompanha as principais etapas da obra e aprova os programas de monitoramento e de enchimento do reservatório.

A legislação determina as obrigações do empreendedor segundo a classe das barragens. As barragens de classe A ou classe B devem ter uma revisão de segurança que identifique vários cenários de rompimento de barragens, suas probabilidades, consequências e o impacto às pessoas e bens. Esse documento deve ser revisado a cada 10 (dez) anos, para a classe A, e a cada 15 anos, para a classe B.

O empreendedor (ou proprietário da barragem) deve possuir toda a documentação técnica da barragem, incluindo os registros de operação, manutenção, eventos excepcionais e incidentes. O monitoramento, e respectivo registro, é obrigatório, salvo quando isento pela autoridade responsável.

O empreendedor deve realizar inspeções visuais periódicas, contemplando visitas técnicas detalhadas anuais, para barragens de classe A, e a cada 5 anos, para as barragens de classe B. Anualmente, o empreendedor deve publicar relatório de fiscalização, monitoramento e operação das barragens. A cada dois anos, esse

relatório deve incluir uma análise detalhada dos resultados fornecidos pelo monitoramento. Na ocorrência de qualquer evento que afete potencialmente a segurança da barragem, o empreendedor deve informar a autoridade correspondente.

Para barragens de classe A e B, é imperativa a realização de um estudo inicial de avaliação de risco, contendo uma revisão geral de segurança, e identifica os vários cenários para rompimento, a probabilidade desses eventos, as consequências e a gravidade sobre pessoas e propriedades. Esse documento é revisado a cada dez anos.

A DREAL inspeciona as barragens de classe A anualmente, e as de classe B, a cada 5 (cinco) anos, mantendo um arquivo atualizado com todos os documentos relevantes e aprovados formalmente por ela (*as built*, relatórios de inspeção e de monitoramento, etc.).

A autoridade local pode impor ao proprietário um diagnóstico da segurança da barragem e impor a reparação, reabilitação, descomissionamento ou determinar medidas de segurança como a manutenção do reservatório a um nível baixo. Com foco na segurança, a autoridade local pode executar as medidas necessárias à custa do proprietário.

Os Planos de Ação Emergenciais (PAE) são obrigatórios às estruturas com alturas superiores a 20 m, considerando o nível do solo e reservatórios acima de 15 hm³, e sua estrutura será determinada a partir dos estudos de análise de riscos. Essa análise estima os limites e os atraso da inundação após o rompimento da barragem e examina o risco de terremoto, deslizamentos ou eventos extremos de chuva. Para as estruturas menores o PAE pode ser exigido caso a autoridade local defina sua necessidade.

É obrigação do empreendedor manter infraestrutura de segurança, monitoramento e comunicação local; sistema de alarmes para as autoridades e população (ex.: sirenes na área atingida pela mancha de inundação em até quinze minutos após o rompimento da barragem). Esse sistema deverá ser testado a cada 3 meses e ampla divulgação à população sobre as medidas contempladas no PAE.

O PAE classifica as situações que afetam a segurança em três estágios: vigilância reforçada, 'preocupação séria' e emissão do alarme (ativação das sirenes e informação das autoridades). Não há regras técnicas sobre o descomissionamento.

2.1.3 Inglaterra e País de Gales

O Reino Unido é constituído por 04 países: Inglaterra, País de Gales, Escócia e Irlanda do Norte. Na Inglaterra e no País de Gales, os reservatórios são regulamentados pelo “*Reservoirs Act*”, de 1975, alterada pelo “*Flood and Water Management Act 2010*”, cujas normas são aplicadas pela Agência Ambiental da Inglaterra.

O “*Reservoirs Act*”, de 1975, regula os reservatórios com volume igual ou superior a 25 000 m³. Os empreendedores (proprietários ou operadores) desses reservatórios são obrigados a registrá-los na Agência Ambiental, e ela classifica-os como de 'alto risco' ou 'baixo risco'. As estruturas classificadas como de alto risco são sujeitas a inspeção e supervisão. Os reservatórios de baixo risco devem ser registrados, mas não estão sujeitos ao mesmo grau de inspeção e supervisão (ICOLD, 2014).

Para os reservatórios de alto risco, a Lei de Reservatórios também define painéis de engenheiros supervisores ou inspetores, denominados engenheiros de reservatório. Esses profissionais são recomendados pelo Instituto de Engenheiros Civis, quanto à sua adequação e competência, e são pré-qualificados pelo Departamento do Meio Ambiente, Alimentos e Assuntos Rurais (Defra) para inspecionar, supervisionar, acompanhar e determinar aos empreendedores as ações a serem tomadas para redução do risco de rompimento da barragem durante toda sua vida útil. Toda a atividade deve ser custeada pelo empreendedor.

O cumprimento das recomendações indicadas no relatório de inspeção é monitorado pela Agência Ambiental que possui um registro de reservatórios regulamentados e atua como um repositório para os vários relatórios e certificados preenchidos pelos engenheiros de reservatório na execução de suas funções. Os relatórios de inspeção devem conter uma avaliação das condições das estruturas de retenção, vertedouros; saída e instalações de entrada são entregues ao empreendedor e à Agência Ambiental.

O empreendedor é responsável pelo monitoramento diário do reservatório, sempre de acordo com as recomendações efetuadas pela fiscalização ou por seu engenheiro supervisor. Há ainda o instrumento do relatório de supervisão - ou declaração anual -, emitido pelo engenheiro supervisor. Esse relatório detalha a operação do empreendedor e o atendimento às determinações dadas pelo engenheiro (ou por um engenheiro inspetor).

A figura do engenheiro de construção só é necessária na fase de construção ou de alteração do barramento/reservatório. Este profissional, também componente do painel de engenheiros, é o responsável pela segurança em todos os trabalhos, emitindo os certificados necessários para cada fase da obra para a Agência de Meio Ambiente.

2.1.4 Portugal

Portugal, semelhante aos demais países europeus, utiliza um conjunto de normas aplicadas a todas as fases de vida da barragem: concepção, projeto, construção, operação e descomissionamento. Todas essas normas versam sobre o sistema integrado, composto por reservatório, barragem e vale a jusante (MEDEIROS; PINTO, 2014).

O primeiro documento legal português a lidar com a segurança de barragens data de 1968, voltado a regulamentar as pequenas barragens de terra (ICOLD, 2014). O Primeiro Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) publicado em 1990 e atualizado em 2007, por meio do Decreto Lei nº 344/2007 (APA, 2018).

Em 2018, com a publicação do decreto-lei nº 21/2018, ao RSB foi agregado o Regulamento de Pequenas Barragens (RPB). Assim, o espectro de atuação do RSB incorpora a barragens com altura igual ou superior a 15 m, ou barragens com altura igual, ou superior a 10 m que formem um reservatório superior a 1 hm³.

Considerando que:

- X: perigo da barragem, dada pela equação $X = H^2\sqrt{V}$;
- Y: população do vale a jusante afetada pela onda de inundação, avaliada em função do número de edificações residenciais permanentes. A extensão do vale a jusante será dada pela seção do rio no qual a vazão de ruptura é igual à vazão do descarregador de cheias. Para barragens cuja altura seja ≤ 15 metros e $X < 100$, a extensão considerada será igual a 10 km.

Sendo:

- H: altura da barragem, em metros;
- V: volume do reservatório em hm³.

Tem-se:

- Classe I: $Y \geq 10$ e $X \geq 1000$;
- Classe II: $Y \geq 10$ e $X < 1000$; ou $0 < Y < 10$, independentemente do valor de X ; ou existência de infraestruturas, instalações e bens ambientais importantes;
- Classe III: $Y=0$, independentemente do valor de X .

As normas vinculadas à anterior RSB foram modificadas para os chamados Documentos Técnicos de Apoio, elaborados pela Agência Portuguesa do Meio Ambiente, a autoridade nacional de segurança de barragens de Portugal, por meio da constituição da Comissão dos Regulamentos de Barragens, que envolveu diversos especialistas de barragens e representantes da Autoridade Nacional de Proteção Civil, da Agência Portuguesa do Ambiente, da Associação Portuguesa dos Projetistas e Consultores, da Direção-Geral da Agricultura e do Desenvolvimento Rural, da EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva, S.A., da EDP – Gestão da Produção de Energia, do Instituto Superior Técnico e do Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC.

Os Documentos Técnicos de Apoio incorporaram toda a *expertise* das normas antes vigentes e adicionaram-lhes o desenvolvimento adquirido na área de segurança de barragens nas últimas décadas. Neles estão descritas recomendações a elaboração de projeto, construção, operação, monitoramento, inspeção e descomissionamento de barragens.

Além do RSB, a segurança de barragens também é tratada pela Lei da Água, originalmente publicada em 2005 (decreto-lei nº 58/2005), e alterada em 2012 (decreto-lei nº 130/2012).

O RSB estabelece as formas de controle da segurança de barragens, envolvendo as etapas de projeto: construção, primeiro enchimento do reservatório, operação e descomissionamento (abandono e demolição), incluindo todas as etapas as atividades de monitoramento e os planos de ação emergenciais.

O descomissionamento (ou abandono) de uma barragem deverá ser solicitado mediante apresentação de projeto e de proposta de controle de segurança para as estruturas remanescentes, contemplando a periodicidade e características das inspeções a serem realizadas e dos seus respectivos relatórios. Poderão, ainda, ser demandadas a manutenção/instalação de instrumentos de auscultação dessas estruturas. A análise das leituras deverá confrontar o estado atual com os referenciais indicados pelo estudo de estabilidade apresentados no projeto de

descomissionamento. O projeto, ainda, deverá conter a justificativa para o descomissionamento, a descrição do método de retirada das estruturas, estudos hidráulicos para avaliar as consequências do descomissionamento sobre a área de influência do reservatório e de sua jusante, e medidas de mitigação para as consequências negativas decorrentes do abandono.

2.1.5 Nova Zelândia

As informações sobre as barragens que existem na Nova Zelândia estão incompletas e, atualmente, não há sistema em vigor a nível nacional para coletar dados, monitorar e manter a integridade estrutural de barragens do país, decorrendo em uma grande inespecificidade das atividades relacionadas à segurança que os proprietários dessas estruturas devem realizar (DAMS, 2017).

O país possui uma legislação pertinente que contém todas as responsabilidades legais que afetam a construção e operação contínua de barragens: lei de construção de 2004; lei de Gestão de Recursos de 1991 (RMA); lei de Saúde e Segurança no Trabalho de 2015 (HSWA) e diretrizes de Segurança de Barragens da Nova Zelândia.

Apesar dessa legislação, não há um quadro regulamentar consistente e eficaz para dar pleno efeito a essa estrutura. A Lei de Construção exige que as autoridades regionais mantenham um cadastro de barragens em sua região, demandando aos proprietários de barragens a classificação do impacto potencial de suas estruturas e a elaboração dos denominados programas de garantia de segurança de barragens (NZSOLD, 2015).

Devido à ausência de regulamento específico relativo à segurança de barragens no país, algumas autoridades regionais emitem seus próprios regulamentos, levando a diferentes definições sobre a conformidade de barragens. Assim, barragens que apresentam o mesmo nível de risco possuem diferentes requisitos de segurança, de acordo com sua localização.

Alguns dos regulamentos mais recentes referem-se às Diretrizes de Segurança de Barragens da Nova Zelândia (2015), emitida pelo *New Zealand Society on Large Dams* (NZSOLD). As Diretrizes representam um corpo de trabalho colaborativo realizado pela engenharia de barragens especialistas em construção, especialistas em segurança de barragens, proprietários de barragens e outras partes interessadas.

As diretrizes são consistentes com as diretivas do *International Commission on Large Dams* (ICOLD), e foram revisadas internacionalmente, representando boas práticas. Contudo, as diretrizes não têm poder de lei, o que significa que o conselho de melhores práticas não é juridicamente vinculativo.

Assim, uma proposição de requisitos regulatórios nacionais pós-construção foi elaborada pelo Ministério de Negócio, Inovação e Trabalho (MBIE), com o objetivo de estabelecer o gerenciamento das barragens proporcional ao risco que representam à comunidade.

O regulamento propõe a criação de uma estrutura para a classificação de barragens, de acordo com o dano potencial associado, bem como responsabilizar os proprietários pela gestão de segurança de suas barragens; especificar critérios e padrões para a garantia da gestão segura das barragens; garantir a existência de procedimentos adequados para a garantia da gestão segura das barragens e garantir que os reguladores tenham melhores informações sobre o número, tamanho, localização e propriedade de barragens que teriam dano potencial associado significativo.

Em 2019, o Ministério da Construção Civil da Nova Zelândia promoveu uma consulta pública junto à população para apresentar a proposta de regulamentação, e recolher contribuições para aumentar a garantia da gestão adequada das barragens do país.

As estruturas consideradas classificáveis possuem as seguintes características: altura igual ou superior a 4 metros e volume igual ou superior a 20.000 m³ e altura menor que 4 metros, mas com volume igual ou superior a 30.000 m³.

Com base no atual Inventário de Barragens da Nova Zelândia (NZID), a classificação proposta limite capturaria cerca de 900 barragens, ou cerca de 27% das barragens, incluindo todas as barragens de dano potencial alto conhecidas (89) e cerca de 110 barragens de médio dano potencial. No entanto, a nova regulamentação irá ainda abarcar outras 1.562 barragens que necessitam de um melhor detalhamento das informações disponíveis, e 3.284 barragens que não possuem informações básicas de altura e volume.

Adicionalmente, grande parte das informações apresentadas pelos proprietários de barragens como prova do cumprimento dos regulamentos propostos,

precisarão ser preparados ou assinados por um 'Engenheiro Reconhecido', cuja atribuição está definida na seção 149 da Lei de Construção do país.

2.1.6 Canadá

A regulamentação de concepção, projeto, construção, operação, manutenção e descomissionamento de barragens no Canadá é uma responsabilidade da província a qual a estrutura se insere. O país possui mais de 14 mil barragens, sendo 1 mil classificadas como “grandes” e cadastradas na Comissão Canadense de Barragens. Sem a figura de uma agência federal ou programa nacional voltado à segurança de barragens, o Canadá se distingue do modelo europeu de gestão dessas estruturas (DAM ASSOCIATION, 2016).

A atuação do governo federal é direcionada ao estabelecimento de requisitos regulamentares de aspectos, tais como: aprovação de barragens a serem construídas em águas navegáveis; barragens localizadas em águas fronteiriças com os EUA (por Comissões Conjuntas Internacionais) e barragens construídas e operadas pela indústria nuclear canadense (via Comissão de Segurança Nuclear). Ele também regula as barragens através de legislações transversais ao tema, como a Lei de Pesca, Lei de Espécies em Risco, Lei de Proteção Ambiental e a Lei de Segurança e Controle Nuclear.

Conforme a *Canadian Dam Association* (2016), cada província possui regulamentação própria, com diretrizes para informar os empreendedores de barragens sobre funções e responsabilidades, requisitos regulatórios, processos e procedimentos, bem como metodologias para garantia de conformidade. Províncias como Alberta, British Columbia, Ontário e Québec têm vários graus de requisitos regulamentares específicos. Algumas jurisdições podem se basear na legislação relacionada ao gerenciamento de recursos hídricos e fazer referência às melhores práticas da indústria publicadas pela *Canadian Dam Association*. Não há regulamentação local para as barragens pertencentes ao governo federal.

3 RISCO

3.1 Conceitos

3.1.1 O conceito de risco

Antes de conceituar propriamente o *risco*, é necessário verificar a sua distinção em relação ao termo *perigo*. Enquanto o último trata-se de um “[...] um fenômeno natural que ocorre em épocas e região conhecidas que podem causar sérios danos nas áreas sob impacto”, o *risco* refere-se à percepção da vulnerabilidade perante a situação iminente de perigo (KOBİYAMA; MENDONÇA; MORENO; MARCELINO *et al.*, 2006).

(ZUFFO, 2010) descreve que o perigo potencial passa a ser um risco quando o componente de previsibilidade é inserido (risco criado). No que lhe concerne, ele é dinâmico, visto que depende de fatores como modo de intervenção, frequência e intensidade de ocorrência VEYRET & RICHEMOND (2003)¹ *apud* (ZUFFO, 2010).

Diversas palavras versam sobre a discussão do risco, sendo necessário conhecê-las para, de fato, compreender a explicação a seguir.

Quadro 10 - Glossário de termos sobre o tema Risco

Glossário de termos	
Risco	Percepção de um perigo possível, mais ou menos previsível por um grupo social ou por um indivíduo que tenha sido exposto a ele. Deve-se conhecer os acontecimentos que podem se produzir, assim como sua probabilidade de ocorrência.
Incerteza	Define a possibilidade de ocorrer um acontecimento perigoso sem se conhecer sua probabilidade. Em sociologia, emprega-se o termo “probabilidade subjetiva”.

¹ VEYRET, Y. e RICHEMOND, N. M. de, 2003, **Definições e Vulnerabilidades do Risco**, in “Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente”, organizadora: Yvette Veyret, tradutor: Dilson Ferreira da Cruz, Editora Contexto, São Paulo, SP, Brasil, pgs 25-46.

Glossário de termos	
Indeterminação	Situação em que um acontecimento desconhecido poderia acontecer, ou seja, são desconhecidas todas as variáveis possíveis de ocorrência.
Álea	Acontecimento possível; pode ser um processo natural, tecnológico, social, econômico e sua probabilidade de realização. Se vários acontecimentos são possíveis, fala-se de um conjunto de áleas. O termo utilizado em inglês é <i>hazard</i> (álea natural). Usa-se também o termo perigo, mais especificamente quando trata de riscos tecnológicos.
Perigo	Empregado para definir as consequências objetivas de uma álea sobre um indivíduo, um grupo de indivíduos, sobre a organização do território ou sobre o meio ambiente. Fato potencial e objetivo.
Alvo	Elementos ou sistemas que estão sob a ameaça de áleas de natureza variada. Trata-se de pessoas, bens, equipamentos, meios ambientes. Ameaçados pela álea, esses diferentes elementos são susceptíveis de sofrer danos e prejuízos.
Vulnerabilidade	Magnitude do impacto previsível de uma álea sobre os alvos. Mede os impactos danosos do acontecimento sobre os alvos afetados. Pode ser humana, socioeconômica e ambiental.
Crise	Realização concreta, material de uma álea cuja amplitude excede a capacidade de gestão espontânea da sociedade que sofre o evento.
Catástrofe (do grego	É definida em função da amplitude das perdas causadas às pessoas e aos bens. Não há necessariamente correlação entre importância de uma álea e a magnitude dos danos.

Glossário de termos	
<i>katastrophê</i> , devastação)	

Fonte: Adaptado de Veyret & Richemond, (2003), pag.24 *apud* (ZUFFO, 2010).

A vulnerabilidade é inversamente proporcional à resiliência de um sistema, indicando sua fragilidade perante a ação de uma álea, ou seja, o impacto sofrido, bem como o tempo e o recurso dispendidos para o retorno do sistema à situação anterior a essa ação. A determinação do grau de vulnerabilidade é o primeiro passo para segurar qualquer bem e, em sequência, buscar sua redução (ZUFFO, 2010).

Os desastres estão diretamente relacionados aos graus de uma vulnerabilidade das comunidades afetadas, tanto do ponto de vista humano, quanto de infraestrutura, sendo muito mais relevante do que a magnitude de um evento. Assim, mesmo que uma dada álea mantenha a sua frequência, as ações empenhadas para a redução do grau de vulnerabilidade diminuem os efeitos danosos que essa álea causa ((ZUFFO, 2010).

Como exemplo do impacto da vulnerabilidade na composição do risco efetivo, seguem os dois últimos grandes acidentes de barragens ocorridos no Brasil, ambos no estado de Minas Gerais: Mariana, em 2015, e Brumadinho, em 2019. Atendo-se à quantidade de pessoas atingidas no vale a jusante, enquanto a ruptura da barragem de Fundão, em Mariana, liberou 34 milhões de metros cúbicos de lama, a barragem B1 da Mina do Córrego do Feijão, em Brumadinho, liberou 12 milhões de metros cúbicos. Entretanto, o acidente em Mariana levou a óbito 19 pessoas e o de Brumadinho, até o momento (20/07/2019), 248 mortos, sendo que 22 pessoas ainda estão desaparecidas.

Quadro 11 - Exemplos de fatores de vulnerabilidade.

Fatores de vulnerabilidade	Aspectos relativos aos fatores
Fatores físicos ou ambientais de avaliação da vulnerabilidade.	Conhecimento e percepção do risco. Fatores socioeconômicos da avaliação da vulnerabilidade.
Conhecimento de crises e catástrofes passadas.	Grau de aceitação do risco em função do nível de conhecimento, do nível econômico e da educação Ausência ou existência de uma educação para o risco e de preparação para a crise.
Intensidade do último acontecimento mais importante registrado.	Tecido social do bairro.
As zonas de impacto das áreas.	Presença de hospitais, postos de corpo de bombeiros.
As zonas onde os trabalhos de organização do território (aterros viários, contenção de encostas, etc.) foram feitos.	Existência de escolas, universidades, casas de repouso e, mais globalmente, equipamentos sociais de acolhimento ao público.
Natureza dos processos naturais, antrópicos, industriais em causa...	Densidade da população. Estrutura etária, situação sanitária.
Presença de obras de infraestruturas	Rede de água, eletricidade e gás.
Acessibilidade: redes de comunicação, telefone e de informação disponíveis.	-
Meios e terminais de transporte. Estado da malha rodoviária.	-

Fonte: Veyret & Richemond (2003) *apud* (ZUFFO, 2010).

Há, também, ao se avaliar os fatores que compõem o risco, dada uma probabilidade, a exposição de determinada população, ou seja, o tempo que a população está submetida à ação daquele perigo. A título de exemplo, uma barragem, cujo tempo de retorno utilizado para dimensionamento do vertedor é igual a 1.000 anos e que possui vida útil de 50 anos, tem uma probabilidade inferior a 5% de ocorrência desse evento. Se essa mesma estrutura tiver uma vida útil de 100 anos a probabilidade de ocorrência de uma chuva de tempo de retorno de 1.000 anos é próxima a 10%.

$$\text{Probabilidade de ocorrência do evento} = [1 - (1 - 1/Tr)^n]$$

Sendo:

- Tr: tempo de retorno do evento, em anos; e,
- n: exposição da população ao evento, em anos.

(ZUFFO, 2010) explica que uma álea não gera automaticamente um risco, visto que esse se relaciona a uma determinada probabilidade de ocorrência. Pode-se concluir, então, que uma álea não cria um risco. O risco está inscrito em um determinado contexto social, econômico, cultural, e é subjetivo. Sua percepção e aceitação relaciona-se a fatores sociais e culturais, tais como amigos, familiares, companheiros de trabalho e oficiais públicos.

Figura 16 - Probabilidade ocorrência de um dado evento de acordo com seu Tempo de Recorrência (TR) e tempo de exposição, em anos

Fonte: (TUCCI, 2012).

As pessoas toleram melhor os riscos oriundos de atividades voluntárias, como conduzir um veículo ou utilizar um celular, visto que elas têm a sensação de controle dos fatores de risco. Para ilustrar o peso dessa sensação, os riscos voluntários são 1000 vezes mais tolerados que os riscos involuntários (não “controlados” pela população), ainda que as atividades que os originem sejam geradoras de inúmeros benefícios, como é o caso das barragens Slovic (2000) *apud* (ZUFFO, 2010).

O risco possui diversos conceitos a depender da esfera em que é avaliado. (ICOLD, 2005) define o risco como a medida da probabilidade e severidade de um efeito adverso à vida, saúde, propriedade ou meio ambiente. Segundo Viseu (VISEU; MARIA, 2009), para a engenharia, o risco é considerado o valor esperado de perdas ou danos advindos de um dado acontecimento em um dado tempo. Ou seja, é a análise combinada entre a probabilidade de ocorrência e o impacto resultante dessa ocorrência.

$$\text{Risco} = \text{probabilidade de ocorrência durante a exposição} \times \text{impacto resultante}$$

A probabilidade de ocorrência reflete a incerteza associada ao evento. Em sentido quantitativo, a probabilidade é um valor entre 0 e 1 de que um determinado evento ocorra, enquanto o impacto traduz-se como o efeito causado por esse evento, dada a efetivação de sua ocorrência.

A complexidade do risco é tão grande quanto maior for a complexidade do objeto de análise. A exemplificar, para o risco de ruptura das barragens de terra, o número de eventos (causas) que podem desencadear os efeitos culminando com a ruptura é elevado.

Há ainda algumas concepções de risco que o subdividem em potencial e efetivo, sendo suas definições, respectivamente, “a quantificação da consequência de um acidente, independente da probabilidade da sua ocorrência” e o cruzamento entre o risco potencial e sua probabilidade de ocorrência ICOLD (2005)² *apud* (CALDEIRA, 2008). Esse último conceito incorpora a incerteza associada ao evento, a sua probabilidade de ser efetivado.

$$\text{Risco Efetivo} = \text{risco potencial} \times \text{probabilidade de ocorrência} \times \text{vulnerabilidade}$$

A inexistência de risco zero, ou, em outras palavras, de probabilidade de ocorrência nula, demanda a sua gestão, visando sua redução.

Segundo Zuffo (2010):

O primeiro passo em direção à gestão do risco consiste na identificação precisa dos danos potenciais, geralmente realizado por especialistas. Esta fase foi denominada por Veyret e Richemont (2003) como “conversão em risco”, ou seja, a transformação de um perigo ou álea (termo originário, provavelmente, como desdobramento da palavra aleatório, ou seja, algo que repousa sobre um acontecimento incerto, fortuito) em um risco.

3.1.2 A tolerância ao risco

Segundo Bowles (2012), a tolerância ao risco vai do socialmente aceitável ou negligenciável, em que o grau de risco é considerado insignificante, visto que as pessoas já se habituaram à convivência com ele (Figura 17). Um exemplo amplamente conhecido é o uso de aparelhos celulares. No outro extremo, estão os riscos considerados inaceitáveis pela sociedade, independente dos benefícios que podem ser trazidos, de tal forma que esses devem ser minimizados para que determinada atividade possa ser aceita/tolerada pela sociedade.

Figura 17 - Tolerância geral e específica em relação ao risco

² ICOLD, CIGB. **Risk assessment in dam safety management: A reconnaissance of benefits, methods and current applications.** ICOLD Bulletin, v. 130, 2005.

Fonte: BOWLES (2011).

Em meio a isso estão as atividades cujo risco é considerado tolerável pela sociedade devido aos benefícios trazidos, porém desde que esses riscos sejam devidamente gerenciados e reduzidos até um patamar considerado tão baixo quanto seja possível para o status tecnológico vigente, em inglês, este patamar é denominado *As low as reasonably practicable* - ALARP (BOWLES, 2012). Esse princípio se baseia no entendimento de que uma redução do risco além desse patamar viria conjugado a custos muito elevados, sem uma correspondência equivalente de benefícios alcançados. Bowles (2003) *apud* (LUMBROSO; DAVISON; BODY; PETKOVŠEK, 2021) define que o ALARP deve se basear inicialmente na quantificação do risco, prosseguida pela avaliação das alternativas estruturais e não-estruturais que possam ser empregadas na redução do risco, sendo utilizado pelo USBR em suas Diretrizes de Proteção Pública (USBR, 2003), e na legislação correlata do Reino Unido.

O risco tolerável difere do aceitável no que diz respeito à necessidade do emprego ou não de ações de medidas de controle. Em outras palavras, o risco aceitável refere-se àquele que a sociedade não demanda nenhum emprego de medidas de controle. Já o risco tolerável, desde que mantido sob controle, a sociedade está disposta a aceitar, pois determinada atividade traz grandes benefícios (BAPTISTA, 2009).

A Figura 18 exemplifica as tolerâncias aos riscos existentes de acordo com a probabilidade anual de perda de vidas humanas expostas. Ao entrar na avaliação

específica do risco de ruptura de uma dada barragem, a tolerância ao risco será tão menor quanto maior for o número potencial de dano (mortes causadas). É importante observar que, à medida que o número potencial de mortes aumenta, em caso da ruptura da estrutura, é necessário que a probabilidade dessa ruptura seja minimizada, ou seja, mais ações devem ser empregadas com o intuito de aumentar a segurança dessa estrutura, assim como ações direcionadas a salvaguardar a segurança das vidas expostas (minimizar a vulnerabilidade) (BOWLES, 2012).

Figura 18 - Diretrizes de risco individual: (a) social; (b) para barragens existentes do USACE

Fonte: BOWLES (2011).

3.1.3 O risco e as barragens

Apesar de pouco frequente – probabilidade estimada da ordem de 10^{-4} – a ruptura de uma barragem, quando ocorre, pode acarretar consequências graves para o vale a jusante, de tal forma que a noção de risco nesse caso possui dois aspectos:

o risco em si da ruptura da barragem – relacionado aos modos de ruptura e as condições de segurança da estrutura, e o risco que o vale a jusante está sujeito no caso da ruptura da barragem (VISEU, 2013). Este último é dependente do risco de ruptura da barragem conjugado com as consequências da onda de inundação no vale.

No caso de vales a jusante de barragens, a equação que geralmente se enquadra no levantamento do risco será, segundo (VISEU, 2013):

$$R_{VALE} = P_{EVENTO} \times P_{RUPTURA/EVENTO} \times P_{N/RUPTURA} \times N$$

Onde:

R_{VALE} – risco do vale a jusante;

P_{EVENTO} – probabilidade de ocorrência de um evento adverso;

$P_{RUPTURA/EVENTO}$ – probabilidade de ruptura da barragem em decorrência do evento;

$P_{N/RUPTURA}$ – probabilidade de n vidas impactadas em decorrência da ruptura da barragem;

N – número de vidas expostas.

Pela observação da equação, depreende-se que a minimização do risco, dado um certo número de vidas expostas, poderá ser em decorrência da redução de uma das três probabilidades apresentadas. Considerando um evento adverso de origem natural, por exemplo, o qual não é possível administrar a probabilidade de sua ocorrência, ficará, então, a cargo da gestão integrada de riscos a mitigação das outras duas variáveis: $P_{RUPTURA/EVENTO}$ e $P_{N/RUPTURA}$.

Segundo (STEWART) (2000), o nível de aceitação do risco de ruptura de uma barragem vai de 10^{-4} (pessoa/ano), considerado muito preocupante, a 10^{-8} ou menos, que se traduz em uma estrutura com um ótimo funcionamento (Tabela 3).

Tabela 3 - Nível de aceitação do risco de ruptura de barragem.

Probabilidade anual de ruptura (por pessoa por ano)	Avaliação de risco
10^{-4}	Muito preocupante
10^{-5}	Preocupante
10^{-6}	Aceitável
10^{-7}	Boa performance
10^{-8}	Grande performance

Fonte: (STEWART), 2000.

● Fatores de risco em barragens

Os riscos associados a incidentes e acidentes em um barramento e que, em uma situação extrema, podem culminar com sua ruptura, estão relacionados, predominantemente, com a deficiência das estruturas hidráulicas de descarga (incluindo mau funcionamento dos órgãos de descargas, dimensionamento incorreto das cheias e dimensionamento incorreto das estruturas), e do maciço do barramento (incluindo sua fundação e ombreiras).

Os fatores de risco são eventos que possuem potencial direto ou indireto para desencadear uma falha em um ou mais componentes da barragem, ou seja, uma deficiência com capacidade para comprometer a função atribuída a um determinado componente ou subsistema. Enquanto alguns fatores são de fácil identificação, a maioria é de difícil detecção. Ademais, a ocorrência de uma falha pode ser originada da conjunção de dois ou mais fatores. Também deve ser considerado que vários anos podem se passar entre o acontecimento iniciador e o estado limite resultante (BAPTISTA, 2009).

Para compreensão adequada, caracteriza-se estados limites como:

[...] estados idealizados que separam o comportamento satisfatório do comportamento insatisfatório. Os estados limites de utilização relacionam-se às falhas que comprometam quesitos e/ou aparência de desempenho da função da barragem. Os estados limites últimos reportam-se a modos de colapso ou outro tipo de rupturas estruturais, ou, ainda, a estados de antecederem o colapso, associados às diferentes componentes das obras. Ressalta-se que a distinção dos estados limites de utilização e último está relacionada à sua origem, extensão e magnitude e da sua progressão previsível (BAPTISTA, 2009).

Os fatores de risco atuantes em uma barragem podem ser classificados inicialmente como intrínsecos e extrínsecos. O intrínseco é relacionado às características do barramento: sua construção, manutenção, materiais componentes, idade, etc.; enquanto os extrínsecos podem ser de origem natural, os decorrentes da operação e os sociais (ZUFFO, 2010).

Abaixo, segue uma lista de alguns fatores de risco que podem desencadear o colapso de uma barragem, segundo sua categoria:

Quadro 12 - Fatores de risco para barragens.

Categoria		Fator de risco (exemplos)
Extrínseco	Condições naturais	Cheias extraordinárias, rompimento de barragem a montante, entulhos, abalos sísmicos
	Operacionais	Falha das comportas, vertedouro inadequado, falha no dispositivo de acionamento das comportas. Crescimento de árvores e arbustos, obstrução de equipamentos destinados à drenagem da água, comprometimento do canal de restituição.
	Sociais	Sabotagem, queda de equipamento no barramento
Intrínsecos		Fissuras longitudinais e/ou transversais, erosão interna, escorregamento do talude, instabilidade no aterro e/ou fundação, assentamento da crista, idade

Fonte: adaptado de Zuffo (2010, 2005)

A identificação dos fatores de risco - caracterização de ocorrências excepcionais ou anomalias decorrentes das deteriorações das barragens - envolve também a probabilidade de ocorrência desses fatores. Esta análise envolve a determinação da probabilidade de ruptura, que, por sua vez, considera:

- As características da estrutura;

- Seu comportamento e estado de manutenção;
- As causas de ruptura mais prováveis, por tipo de barragem.

Segundo Do Carmo (2013), a partir de uma avaliação dos acidentes de barragens do século XX, foram elencadas como as principais causas: deficiências construtivas; cheias de grandes proporções; atos de sabotagem e operações militares; exploração inadequada da bacia de contribuição, que pode acarretar um hidrograma de cheia acima do dimensionado no projeto da barragem; ocorrência de sismos que originem solicitações hidrodinâmicas excessivas e/ou provoquem escorregamentos de encostas e perda da estabilidade ou resistência do corpo da barragem, das fundações e/ou das margens.

Quadro 13 - Exemplos de fatores de risco, por tipo e categoria, e condições de concretização de acontecimentos iniciadores

CATEGORIA	TIPO	EXEMPLO	CONDIÇÕES
AÇÕES	Ações acidentais	Bombardeamento (ou outros atos de guerra, ou sabotagem)	Algumas condições podem determinar que ações se constituam como acontecimentos iniciadores. De uma maneira geral, as ações podem assumir valores superiores aos suportados pelas estruturas, tendo em conta
		Impacto de aeronaves (ou outros atos acidentais)	
		Onda resultante da ruptura de uma barragem a montante	
		Onda resultante da perda de estabilidade global dos taludes da albufeira	

CATEGORIA	TIPO	EXEMPLO	CONDIÇÕES
		Precipitação intensa (sobre o sistema)	os critérios de dimensionamento: I.Por terem sido ignoradas; II.Por terem sido quantificadas de forma deficiente; III.Por serem superiores (ou mais graves) ao definido nas normas e regulamentação aplicáveis quando da execução do projeto; IV.Por terem sofrido alterações com o tempo não antecipadas.
		Cheias	
		Sismos	
	Ações variáveis	Cheias	
		Sismos	
		Ventos	
		Neve	
		Temperatura	
		Sobrecarga rodoviária	
		Pressão hidrostática	
		Pressão das terras	
	Ações permanente	Pressão hidrostática	
		Pressão das terras	
		Peso próprio	
		Assentamentos	
PROPRIEDA DE DOS MATERIAIS	Vários tipos (função da estrutura em causa)	Composição granulométrica (*)	Do mesmo modo, as propriedades dos materiais e a geometria podem ser insuficientes para suportar as ações (ou as funcionalidades podem ser afetadas), tendo em conta
		Plasticidade (*)	
		Peso próprio (*)	
		Índice de vazios (*)	
		Parâmetros de resistência ao corte (*)	

CATEGORIA	TIPO	EXEMPLO	CONDIÇÕES
GEOMETRIA		Deformabilidade (*)	os critérios de dimensionamento: I. Por terem sido alteradas em relação ao previsto; II. Por terem sido avaliadas ou definidas de forma deficiente;
		Coeficiente de permeabilidade (*)	
		Outros	
	(função da estrutura em causa)	Folga (*)	III. Por serem inferiores (resistências) ao definido nas normas e regulamentação aplicáveis quando da execução do projeto ou não cumprirem os requisitos de serviço (funcionalidades); IV. Pelas estruturas terem sido construídas de forma deficiente (ou equipamentos terem sido fabricados e/ou montados de modo inadequado); V. Por terem sofrido alterações não antecipadas.
		Largura do coroamento (*)	
		Inclinação dos taludes e largura de bermas (*)	
		Outros (ex: relativos à geometria dos zonamentos internos) (*)	

Fonte: Baptista (2009) (*) Exemplos associados ao corpo de uma barragem de terra.

- **Onda de ruptura (*Dam-Break*)**

A onda de ruptura de uma barragem pode apresentar uma altura e velocidade de propagação muito significativa. Quando se considera áreas urbanizadas ou áreas de interesse relevantes do ponto de vista ambiental, o impacto pode resultar em uma

destruição significativa da infraestrutura existente, tais como estradas, pontes, habitações, hospitais, igrejas e órgãos públicos. Além disso, e mais importante, está a possibilidade da ocorrência de perdas de vidas, caso a população não seja avisada em tempo hábil e/ou com os mecanismos de alerta não apropriados.

A Figura 19 representa a propagação da onda de ruptura de uma barragem, que acontece em uma frente de onda negativa e uma frente de onda positiva. Considerando a barragem como ponto de partida, a onda negativa desloca-se no sentido do reservatório e a onda positiva no sentido da jusante. A propagação das duas ondas está relacionada ao nível da água do reservatório no momento da ruptura, sendo que, para onda positiva, aspectos como a rugosidade e altura da lâmina da água no canal da jusante, também impactam sua propagação (FCTH (FCTH, 2018b), 2018a).

Figura 19 - Propagação da onda de ruptura de barragem, positiva e negativa.

Fonte: (FCTH, 2018a).

3.2 Gestão de riscos

Segundo Zuffo (2010), a busca pela segurança é fundamental para o alcance das políticas de sustentabilidade recomendadas pelo Relatório Brundtland (1987) e na Conferência do Rio de Janeiro (Eco 92), precavendo-se “contra as degradações do meio ambiente, sérias ou irreversíveis, mediante modificações na produção, venda ou utilização de produtos e serviços, na execução de certos tipos de atividades, segundo uma abordagem científica e técnica”.

Mesmo com todos os cuidados, a impossibilidade do estabelecimento do risco zero (ou nulo) para qualquer atividade demanda medidas para seu controle, e isso motivou o surgimento de técnicas de gestão de riscos em diversas áreas do conhecimento, auxiliando na identificação, caracterização e quantificação de riscos (VISEU, 2009).

O risco onipresente, ainda que indesejado, torna-se muitas vezes um fator de crescimento econômico, uma vez que a gestão de risco requer a organização e articulação de diversos atores, gerando condições propícias ao desenvolvimento econômico e social (ZUFFO, 2010). Exploração de petróleo e gás *offshore* e as indústrias químicas, nucleares e aeroespaciais já difundiram e aperfeiçoaram essas técnicas ao longo de décadas e continuam a fazê-las (BAPTISTA, 2008).

O processo de gestão de riscos compreende duas principais fases: avaliação propriamente dita e, quando necessária, a mitigação dos riscos. Estas, por sua vez, são subdivididas em etapas: Avaliação: 1) Análise do risco - *O que pode originar o risco? A ruptura estrutural ou hidrológica? Eventos naturais extremos como terremotos ou furacões?* 2) Quantificação do risco - *Qual a probabilidade de ocorrência de determinado evento que pode ocasionar a ruptura? Quais são os danos potenciais derivados?* Mitigação do Risco: 1) Redução do Risco; 2) Resposta ao Risco.

A primeira parte, trata-se da identificação e quantificação do risco, enquanto a avaliação trará aos riscos mapeados a percepção do grau de tolerância dado. Uma vez avaliado o risco, efetua-se a sua apreciação comparando o seu valor com critérios de aceitabilidade e de tolerabilidade pré-estabelecidos para alcance do risco considerado aceitável. Refere-se, portanto, ao nível de risco que a sociedade considera como tolerável, não se afigurando necessária à sua redução (VISEU, 2013). Finalmente, podem ainda ser dirigidos esforços no sentido da mitigação do risco residual (DE MELO, 2014).

Por último, a gestão do risco visa consubstanciar as duas primeiras etapas com o intento de encontrar a solução mais aceitável para um determinado caso Do Carmo (2013).

3.2.1 Os métodos de análise de riscos

As primeiras análises baseadas em riscos para barragens foram realizadas nos anos 80 e foram base para o desenvolvimento da análise de risco dos anos 90, com

uma estrutura de risco moderna, que incorpore os seguintes itens: identificação dos eventos ou sequências de eventos que podem levar à falha da barragem e avaliação de sua probabilidade (relativa) de ocorrência; identificação dos possíveis modos de falha que podem resultar dos acontecimentos iniciadores; avaliação da probabilidade de ocorrência de um modo específico de falha da barragem, devido a um nível específico de carga e determinação das consequências da falha para cada modo de falha potencial (STEWART).

A análise de risco é feita por meio da estimativa da probabilidade de ruptura utilizando uma das técnicas de análise de riscos, dentre as disponíveis na literatura técnica de gestão de riscos. A identificação dos modos de ruptura é composta pela identificação dos eventos de início, dos estados limite (nomeadamente os modos de falha), e de suas possibilidades de ocorrência. Para tanto é necessário decompor o sistema (neste caso, barragem ou reservatório) em partes menores subsequentes, os chamados subsistemas, até alcançar o ponto mais elementar da análise, as componentes.

O evento de início é um episódio (ou vários) que possui potencial para ocasionar uma falha em um determinado componente ou subsistema. A característica diversa dos eventos iniciadores – vários tipos de evento podem ocasionar o mesmo modo de falha – indica uma das grandes dificuldades dessa análise. Entretanto, o estabelecimento da sucessão de eventos corretos nessa etapa permitirá o desencadeamento das demais com uma estrutura correta que culminará com os modos de falha de um determinado componente ou subsistema.

A análise de risco pode ser realizada usando uma abordagem qualitativa ou quantitativa. Em qualquer uma das abordagens, devem ser documentadas uma identificação abrangente, descrição, discussão e avaliação de fatores que tornam os eventos mais ou menos prováveis para ocorrer cada potencial modo de falha. Após essa fase, a magnitude das consequências relacionadas a uma potencial falha também é caracterizada (quantificada), discutida e documentada (FEMA, 2015).

A análise de riscos possui diversos métodos para sua determinação, sendo as metodologias mais difundidas na área de estudos de barragens, as matrizes de riscos, a análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA), a análise dos modos de falhas, efeitos e criticidade (FMECA), a árvore de eventos (ETA) e as árvores de falhas (FTA) (CALDEIRA, 2008).

A análise de riscos basicamente é desenvolvida genericamente nas seguintes fases: definição do sistema e objetivo do estudo; levantamento das informações; definição da metodologia que será empregada e, conseqüentemente, do método de análise de riscos que será utilizado e formação de um grupo de trabalho multidisciplinar de especialistas nas áreas correlatas (CALDEIRA, 2008).

3.2.1.1 Métodos qualitativos

Os métodos qualitativos de análise de risco baseiam-se na identificação do risco, ou seja, na caracterização dos eventos que podem originar falhas na barragem. Os índices de risco, as matrizes de ordenação, análise dos modos e dos efeitos das falhas (FMEA), são exemplos desse método (VISEU, 2008). Ao integrar a componente numérica, referente às probabilidades dos modos, bem como às conseqüências de uma ruptura, alguns autores passam a considerar esses métodos como semiquantitativos. Neste caso, está a variante do FMEA, o FMECA (análise dos modos, dos efeitos e da criticidade das falhas) (CALDEIRA, 2008).

Embora as boas práticas indiquem que esses métodos sejam tão minuciosos quanto possível, a sua subjetividade é um ponto que pesa negativamente ao avaliar os métodos de abordagem qualitativa, visto que o resultado da avaliação é afetado pela experiência técnica da equipe, assim como por preocupações preexistentes. Ou seja, a subjetividade dessa análise pode fazer com que determinado componente seja exhaustivamente avaliado, visto que ele é familiar aos técnicos que estão desenvolvendo a análise, em detrimento de outros quesitos, por serem desconhecidos ou menos frequentes (CALDEIRA, 2008).

3.2.1.1.1 Índices de riscos

Os índices de risco é um método que permite a agregação de um grande volume de dados com foco na indicação dos riscos em uma escala de impacto. A realização de um índice de risco envolve as seguintes atividades: definição do objetivo; seleção de indicadores representativos para os objetos de análise. No caso, o sistema reservatório-barragem-vale; atribuição de pesos aos indicadores; agregação dos indicadores para medir as conseqüências (impacto) e validação do risco (CALDEIRA, 2008).

Geralmente, são utilizadas as características construtivas e operacionais da barragem para composição dos indicadores, sendo os mais usuais: tipo, dimensões, idade, fundação e tipo de descarregador da estrutura, sismicidade da região, cheia de projeto, existência de instrumentação, inspeções visuais periódicas, situação da manutenção da barragem (VISEU, 2008).

Na simplicidade da ferramenta, repousam suas vantagens, sendo esse método interessante para aplicar a um conjunto de barragens e determinar quais estruturas terão suas intervenções priorizadas. Entretanto, a perda de informação no processo de agregação dos indicadores, bem como a subjetividade na atribuição de critérios para a seleção dos indicadores e de sua ponderação são pontos sensíveis a serem observados (CALDEIRA, 2008).

3.2.1.1.2 Análise de modo de falhas e efeitos – FMEA

A análise de modo de falhas e efeitos - FMEA (*failure mode and effect analysis*) é um método de análise pelo qual se avalia como os efeitos (falhas) em um componente elementar ou subsistema impacta outros componentes, ou todo o sistema (neste caso, a barragem). Essa é uma importante ferramenta na busca mais aprofundada das fontes de risco para sistemas complexos, como é o caso de uma barragem (STEWART). Para que essa técnica seja aplicada com sucesso, necessita-se que as informações levantadas sobre o empreendimento sejam confiáveis e tão aprofundadas quanto seja possível (CALDEIRA, 2008).

O FMEA é baseado nos seguintes conceitos principais: falha: quando o componente deixa de realizar uma função necessária; modo de falha - efeito pelo qual uma falha é detectada em um componente do sistema; causa da falha - eventos que levam aos modos de falha; efeito do modo de falha - consequências associadas à falha do componente. E, segundo Caldeira (2008), tem por objetivo: identificar os efeitos e a cadeia de eventos causados por cada modo de falha dos componentes selecionados do sistema (barragem); identificar a importância de cada modo de falha na operação da barragem; avaliar o impacto na segurança da barragem; classificar os modos de falha identificados, hierarquizando-os segundo à facilidade de sua detecção e controle.

O FMEA é um método indutivo, sequencial e hierárquico. Os efeitos de uma falha em um nível é o modo de falha do nível superior. A Figura 20 indica o processo básico do FMEA:

Figura 20 - Processo do FMEA

Fonte: Caldeira (2008).

O uso do FMEA é limitado pelo tempo e recursos. A ferramenta é mais bem destinada a componentes considerados críticos por análises anteriores ou por outros critérios, como segurança. É frequentemente usada em conjunto com Análise por Árvore de Falhas (ETA) (ALMEIDA et. al., 2003).

3.2.1.2 Métodos quantitativos e semiquantitativos

A análise quantitativa de riscos se baseia na atribuição de valores numéricos às probabilidades e consequências potenciais. Esse tipo de análise tem o fito de quantificar as perdas possíveis decorrentes de um evento iniciador (futuro) e de falha incerta da barragem. Isso implica diferentes tipos de incerteza na previsão do desempenho futuro da barragem, incluindo as condições de carregamento dela devido a diferentes fontes e fatores de risco, como naturais, ação humana e comprometimento estrutural da barragem. A análise por árvore de eventos (ETA,

event tree analysis) e árvore de falhas (FTA – *fault tree analysis*) são os métodos mais empregados em barragens com essa característica (VISEU; ALMEIDA, 2009).

A análise quantitativa, por sua vez, apresenta-se como uma abordagem complementar para avaliar a segurança das barragens. Esses métodos permitem analisar de forma detalhada eventos raros, porém de grandes consequências, e a incorporação de sua probabilidade (CALDEIRA, 2008). O autor ainda destaca como benefícios à utilização destes métodos, como: o aumento da probabilidade de identificação de interações complexas entre acontecimentos, sistemas e operadores; a compreensão comum do problema, facilitando a comunicação entre os vários intervenientes; a focalização na quantificação da incerteza; o estabelecimento de uma imagem mais ajustada do que a comunidade de peritos sabe ou ignora sobre um tema em particular (com a consequente percepção de necessidade de investigação em diversas áreas, como as relativas a determinados fenômenos físicos e a erros humanos) e uma mais adequada gestão dos riscos, proporcionada pela identificação dos cenários de acidente dominantes, de modo que os recursos não sejam desperdiçados em assuntos que contribuem de modo insignificante para o risco.

Para sua execução, pode ser utilizada a via indutiva ou dedutiva. Na primeira, parte-se de um acontecimento iniciador (causas) no componente elementar de um subsistema para daí se identificar os efeitos (falhas). Exemplos de métodos indutivos é o FMEA e o ETA. Já na via dedutiva, parte-se do efeito (falha) para a investigação dos possíveis acontecimentos iniciadores (causas) que possam ter gerado essa situação. O FTA se enquadra como exemplo desta via.

3.2.1.2.1 Análise do modo de falhas, efeitos e criticidade – FMECA

O modo de falha, análise de efeitos e criticidade (FMECA) amplia o FMEA, a partir da classificação dos modos de falha, incorporando valores (criticidade) de probabilidade de ocorrência e gravidade das consequências. Isso fornece uma base sólida para priorizar ações corretivas ou preventivas.

A análise de criticidade permite classificar a importância dos modos de falha atribuindo índices de criticidade para a probabilidade de sua ocorrência, e a severidade das consequências desta. Uma abordagem qualitativa que não exige dados detalhados de frequência pode ser escolhida (ALMEIDA *et. al.*, 2003).

Na maioria dos casos, procede-se a uma análise qualitativa dos modos de falha e de seus efeitos. Então, são incorporadas a probabilidade de ocorrência (0 a 100%) e a severidade (sem impacto a catastrófico). Para a severidade são avaliados, individualmente, os efeitos em pessoas, no ambiente, para o empreendimento, economia e infraestrutura (CALDEIRA, 2008).

3.2.1.2.2 Análise por árvore de eventos – ETA

A análise por árvore de eventos – ETA (*event tree analysis*) é um método indutivo que liga os acontecimentos iniciadores aos efeitos indesejados que estes podem causar (diagrama de causa-efeito), podendo ser incorporadas as probabilidades tanto das causas quanto dos efeitos. Também, ilustra efeitos intermediários e finais que podem ocorrer a partir de um acontecimento inicial (CALDEIRA, 2008).

A árvore de eventos desagrega a falha em partes mais simples de análise, e combina os resultados dessas partes para encontrar o nível de segurança do sistema global. Segundo Caldeira (2008), o nível de desagregação dependerá:

[...] da disponibilidade de dados sobre as componentes em estudo, de modelos ou de técnicas analíticas para sua análise, de parâmetros e de hipóteses específicas para avaliação, da extensão dos conhecimentos da equipe envolvida e da grandeza das probabilidades associadas ao modo de ruptura em estudo.

A utilização da ETA pode incluir subsistemas para também avaliar as consequências do evento (custos, por exemplo), não apenas se atendo aos aspectos de resposta da barragem. Com um processo similar, pode-se também realizar uma árvore de consequência, com a sequência de acontecimentos decorrentes da ruptura da barragem. Assim, a ETA estende desde a ruptura da barragem até a análise do efeito da onda de inundação, por exemplo (CALDEIRA, 2008).

As árvores de eventos são geralmente aplicadas binariamente, só admitindo a ocorrência de determinado evento ou não. Os trajetos oriundos do acontecimento iniciador são denominados ramos, que encaminham a sequência de eventos até o ponto final (efeito final).

Figura 21 - Árvore de eventos da possibilidade de *overtopping* da barragem

Fonte: Caldeira (2008).

Para cada ramo da árvore de eventos é atribuída uma probabilidade, e o produto da probabilidade dos ramos de cada trajeto indica a probabilidade do evento. No caso das barragens, as probabilidades a serem consideradas podem ser levantadas a partir de dados históricos relativos a acidentes e incidentes.

Os principais passos que compõem a árvore de eventos que culminam na ruptura são 1) Elaboração da lista dos modos de ruptura possíveis; 2) Determinação dos modos de ruptura mais prováveis; 3) Organização destes modos em árvore; 4) Indicação das probabilidades de cada ramo da árvore; 5) Determinação da probabilidade geral da ruptura (CALDEIRA, 2008).

3.2.1.2.3 Análise por árvore de falhas – FTA

A análise por árvore de falhas - FTA (*fault tree analysis*) é um diagrama lógico que ilustra graficamente as combinações de falhas que podem levar a um evento indesejável. É uma análise dedutiva que quantifica a probabilidade de uma falha (por exemplo, uma falha no componente da barragem), de acordo com regras de cálculo específicas. Não são avaliadas todas as possíveis falhas, mas sim as que podem estar fortemente correlacionadas com o evento de início (VISEU; ALMEIDA, 2009).

A FTA consiste em três etapas sucessivas: a definição do evento topo, a confecção da árvore e a análise. O evento de início é a falha em si, devendo ser detalhado nos subsistemas sequenciais os eventos anteriores (CALDEIRA, 2008).

3.2.2 A gestão de risco aplicada às barragens

A gestão de riscos aplicada às barragens passou a ser difundida na década de 90, valendo-se da grande experiência de utilização dessas técnicas em outras áreas e da bibliografia existente. Entretanto, assim como em demais áreas, foi e ainda é necessária sua adaptação às especificidades das barragens e seus componentes (BAPTISTA, 2009).

O objetivo da gestão integrada de riscos, no caso das barragens, é aumentar a segurança da estrutura e diminuir a vulnerabilidade das pessoas, ecossistemas e infraestrutura no vale a jusante. Para tanto, suas ações devem considerar (CARMO, 2013):

- Avaliação social e econômica da vulnerabilidade e dos riscos;
- Instalação de sistemas de controle, previsão e alerta;
- Implementação de programas de emergência e evacuação;
- Um modelo de gestão de riscos apropriado à população local, com resposta adequada ao risco imposto e com medidas efetivas para a prevenção de desastres.

Essa abordagem, complementar às práticas já sedimentadas de segurança de barragens, traz diversos benefícios, dentre os quais pode-se destacar o aprofundamento do conhecimento acerca dos subsistemas de uma barragem, seus componentes e o modo como eles interagem e que podem culminar em incidentes e

acidentes. Assim, no campo de conhecimento de barragens, cita-se como aplicação da análise de riscos em progresso o suporte complementar à avaliação de segurança da estrutura por meio da indicação probabilística dos modos de ruptura; avaliação de consequências, considerando as incertezas relacionadas aos modos de falha dos componentes dos subsistemas da barragem; instrumento de auxílio na tomada de decisões sobre o custo-benefício de determinada intervenção para a mitigação de um ou mais riscos; suporte a hierarquização de um determinado portfólio de barragem para a priorização das estruturas a intervir; estabelecimento de critérios de aceitabilidade e tolerância a riscos frente à probabilidade de determinado modo de falha da estrutura, resultando em incidentes ou acidentes, a partir do histórico encontrado em literatura, e; como ferramenta experimental em programas técnicos de governo ou de empreendedores para incorporação futura desta técnica na legislação de segurança de barragens (BAPTISTA, 2009).

O processo de análise do risco associado a barragem envolve, inicialmente, a caracterização intensiva dos incidentes ou acidentes (consequências) que podem ocorrer a partir das deteriorações das barragens identificadas. Com foco na mitigação do risco de ruptura da barragem (interno), e do vale a jusante (externo), é que se insere a gestão integrada de riscos, que por sua vez, é composta de três partes indissociáveis, consecutivamente: a análise do risco, sua avaliação e gestão.

Figura 22 - Relação entre a análise de risco, a avaliação de risco e o controle do risco

Fonte: FEMA, 2015.

3.2.3 A análise do risco

A análise de risco permite que se compreenda a origem e a extensão da incerteza quanto às condições sob as quais uma barragem será obrigada a operar, assim como a insegurança na resposta da barragem dada essas condições (VISEU; ALMEIDA, 2009).

Sendo composta por três linhas principais (identificação e definição de sistemas e perigos; seleção de cenários e determinação do risco), a análise de risco identifica a extensão e probabilidade de consequências de uma falha na barragem (VISEU; ALMEIDA, 2009). Dada essa identificação do risco, sua quantificação, ou seja, a probabilidade da ocorrência de um incidente - e em casos extremos, ruptura - dado

um determinado modo de falha, poderá ser construída a partir do histórico de acidentes e acidentes existentes na literatura (VISEU, 2013).

Importante salientar que a análise da segurança de um barramento não pode apenas se pautar em sua situação extrema, ou seja, ruptura total. Apesar dessa situação representar o pior dos cenários e o mais devastador para o vale a jusante, há diversos acidentes e incidentes que devem ser avaliados, visto que representam também perigos, tais como operação deficiente de comportas ou galgamentos (VISEU, 2013).

Quadro 14 – Ferramentas empregadas para a análise de risco de uma única barragem

Ferramenta	Observações	Procedimentos
Registro de riscos e registro de criticalidade de riscos <i>(método qualitativo)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Método não padronizado. ▪ A informação detalhada é requerida, porém a sequência de eventos que pode levar à falha não é tratada explicitamente. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificação de eventos indesejáveis (tais como as consequências da falha de um sistema ou subsistema, materialização dos estados limite do sistema, etc.); 2. Identificação dos efeitos de eventos indesejáveis; 3. Identificação dos riscos; 4. Identificação das medidas de controle. Em sua versão semiquantitativa, além da identificação, a criticalidade dos eventos indesejáveis, identifica também seus efeitos e riscos.

<p>Análise de modo de falhas e efeitos (FMEA) / Análise do modo de falhas, efeitos e criticidade (FMECA)</p> <p><i>(Método quantitativo ou semiquantitativo)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Padronizado; ▪ Método de grande disseminação nas áreas científica e industrial. É um método indutivo que promove o conhecimento do risco por meio de um raciocínio sistemático e lógico, sem recorrer a fórmulas matemáticas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificação dos modos de falhas e dos possíveis eventos iniciais; 2. Identificação dos efeitos (no subsistema em análise, em outros subsistemas e no próprio sistema); 3. Identificação das medidas de controle (detecção, prevenção e mitigação). Em sua versão semiquantitativa (FMECA), além da identificação do método promove a avaliação da criticalidade dos modos de falhas e consequências;
<p>Análise de árvore de eventos (ETA)</p> <p><i>(Método quantitativo)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Padronizado. ▪ É possivelmente o método mais apropriado para a análise risco quantitativa na área de barragens, embora possa também ser aplicado em sua versão qualitativa. ▪ É um método indutivo que através de construções gráficas e procedimentos lógicos permite, a partir de um 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificação dos eventos iniciais; 2. Identificação da sequência lógica de eventos secundários causados pelos eventos iniciais; 3. Quantificação da probabilidade de todos os ramos de análises; 4. Identificação das consequências de cada ramo; 5. Quantificação da probabilidade das

	evento inicial específico, a definição e análise de toda a sequência lógica dos eventos (quer conduza ou não à falha).	consequências de cada ramo; 6. Quantificação do risco.
Análise de árvore de falhas (FTA) (Método quantitativo)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Padronizado. ▪ É frequentemente usado depois de um acidente porque analisa somente a sequência de eventos que conduz à falha. É um método dedutivo e gráfico que, a partir de uma falha, identifica toda a sequência de eventos que causou a falha. 	1. Identificação da falha 2. Identificação da sequência de eventos que pode conduzir à falha; 3. Quantificação das probabilidades de falha. Este método também pode ser usado para a análise das consequências da falha.

Fonte: adaptado de Pimenta *et. al.* (2013).

3.2.4 A avaliação/apreciação do risco

A avaliação de riscos visa entender e julgar a importância do risco, incluindo a comparação do seu nível estimado com a aceitação de critérios de risco. O principal resultado dessa fase é a tomada de decisões a partir dos resultados da análise de risco. O processo de apoio a decisões baseadas em risco requer uma declaração do proprietário: princípios, valores e preferências de gerenciamento de segurança, bem como os do público, incluindo a consideração das condições financeiras, legais e regulamentares vigentes (VISEU; ALMEIDA, 2009).

Uma vez identificados e quantificados os riscos para uma barragem existente, eles são avaliados de acordo com diretrizes de risco toleráveis. A avaliação não determinará as decisões a serem tomadas para a segurança de barragens. Essas decisões precisam ser tomadas pelo empreendedor em conjunto com o órgão regulador e demais *stakeholders* após todos os fatores relevantes terem sido

adequadamente avaliados e ponderados. Entretanto, ela fornecerá os subsídios para que as partes possam tomar as decisões ciente dos riscos associados (BOWLES, 2010).

A etapa de avaliação de risco é o ponto nas quais as restrições sociais (sistema de leis, aversão ao risco social e políticas das partes interessadas), assim como julgamentos, influenciam no processo de decisão, explicitamente ou implicitamente. A importância dos riscos estimados e as consequências sociais, ambientais e econômicas associadas serão julgadas para determinar se são necessárias ações para reduzir riscos e identificar uma gama de alternativas para gerenciar os riscos (VISEU; ALMEIDA, 2009).

3.2.4.1 Quantificação de impactos

Os riscos associados à ruptura ou falha de uma barragem são, geralmente, elevados, e resultam em perdas de vida, desequilíbrio de ecossistemas, destruição de propriedades e infraestrutura, além de diversos outros prejuízos a longo prazo.

Conforme o Plano Nacional de proteção da Infraestrutura do FEMA (*Federal Emergency Management Agency*), as consequências de uma ruptura de barragem podem ser divididas em quatro principais categorias (FEMA, 2015):

- Segurança e saúde pública: impacto à vida humana e bem-estar (mortes, injúrias e doenças);
- Perdas econômicas diretas e indiretas: custo para resposta à crise e para recuperação a jusante, custos a longo prazo para reparação de danos ambientais, custos para reconstruir infraestrutura local;
- Psicológicos: efeito na moral pública e na confiança nas instituições econômicas e políticas nacionais. Isso é decorrente da mudança na percepção da população após um acidente de grandes proporções que abala a sensação de segurança e do bem-estar público;
- Impactos na governança: efeito na capacidade do governo e da indústria de garantir uma economia ordenada, fornecer serviços públicos essenciais mínimos, garantir saúde e segurança pública.

A quantificação dos impactos geralmente é uma tarefa difícil de ser realizada. Entretanto, a estimativa das consequências de uma ruptura de barragem é

fundamental para uma eficiente gestão dos riscos associados à população diretamente e indiretamente afetada. Assim, a mitigação do risco e o seu controle residual são fundamentais para evitar o colapso neste abastecimento.

3.2.4.2 Vale a jusante

A vulnerabilidade está associada ao grau de perda de um dado elemento ou um conjunto de elementos em uma área afetada pelo risco, sendo a escala expressa de 0 (sem perda) até 1 (total perda). O produto dos elementos expostos ao risco associado à vulnerabilidade resulta nas consequências. A necessidade de minimizar os riscos aos quais uma população está exposta em um vale a jusante, dada uma ruptura de barragens, suscita questões sobre a apropriada avaliação do potencial de perda de vidas.

Dada uma determinada população de risco (PAR), ou seja, a população que se encontra em uma área inundável, a população ameaçada (TPAR) é a que se encontra na zona de criticidade da hidrodinâmica da onda e que não há tempo hábil para evacuação ou resgate. O grau de ameaça é dado de acordo com a intensidade da inundação em um determinado local (Zhang *et. al.*, 2016).

Três parâmetros estão diretamente relacionados à perda de vidas: evacuação, severidade da inundação e profundidade da água (Zhang *et. al.*, 2016). Dado que a severidade da inundação e a profundidade da água estão condicionados às características de ruptura da barragem, a organização da evacuação é um elemento fundamental no momento da gestão integrada de riscos para o vale a jusante.

Há diversos métodos para avaliar a vulnerabilidade de perdas de vidas humanas frente a uma inundação, categorizados como empíricos e mecanicistas, sendo os últimos mais precisos que os primeiros. A avaliação desta vulnerabilidade geralmente se baseia nos dados históricos de fatalidade para estabelecer um critério matemático. A partir de levantamentos de rupturas históricas de barragens, a característica das ondas, os danos no vale a jusante, a avaliação das características de ocupação, geografia local e infraestrutura existente e danificada, estudos mapearam valores de referência para a elaboração futura de planos de ação emergencial e permitem um detalhamento melhor do grau de ameaça que uma dada população está sujeita.

O nível de perigo associado a um fluxo, conforme indicado por Abt *et. al.*, 1989; Reiter, 2000; Kelman, 2002 (*apud* MARTÍNEZ-GOMARIZ *et. al.*, 2016), está relacionado ao cruzamento das variáveis hidráulicas profundidade e velocidade, as quais irão determinar o impacto às pessoas, ao ambiente e à infraestrutura local. No caso das pessoas, é necessário levantar o que acarreta a perda de estabilidade física de um ser humano, visto que esta é uma das causas mais importantes que resulta em perdas de vida (ZHANG *et. al.*, 2016). A expressão quantitativa desse nível de perigo (profundidade X velocidade) está em um intervalo entre 0,5 e 1,0.

Assim, considera-se um escoamento seguro para as pessoas aquele que não provoca seu arraste:

$$(y.v) = y_{m\acute{a}x}(m) \times v_{m\acute{a}x}(m.s^{-1}) = 0,5 - 1,0$$

Em que:

$$y_{m\acute{a}x} = \textit{profundidade m\acute{a}xima do escoamento}$$

$$v_{m\acute{a}x} = \textit{velocidade m\acute{a}xima do escoamento}$$

A partir desta consideração da avaliação dos valores (y.v), é possível indicar se um fluxo apresenta perigo baixo para uma dada população sujeita a ele. Entretanto, as pessoas possuem características e condições físicas distintas, de tal forma que é necessário estabelecer o máximo de segurança para pessoas cuja situação seja mais vulnerável.

A hidrodinâmica da onda entre 0,64 m²/s e 1,26 m²/s é suficiente para causar a perda de estabilidade do ser humano (ZHANG *et. al.*, 2016). Essa variação ocorre devido as diferentes características físicas existentes. De modo geral, quanto mais alta e mais pesada é a pessoa, maior é a capacidade de manter a estabilidade frente a inundações. Assim, depreende-se que homens possuem maior estabilidade do que mulheres e estas mais do que crianças. Há, ainda, que se avaliar a condição especial dos idosos e de alguns portadores de necessidades especiais, pelo comprometimento inerente da estabilidade que já possuem. Geralmente, verifica-se que em uma zona cuja hidrodinâmica da onda seja igual ou maior de 7 m²/s e velocidade maior que 2 m/s, a taxa de mortalidade é assumida em 100% (ZHANG *et. al.*, 2016). A Figura 23 ilustra o risco associado à hidrodinâmica da onda.

Figura 23 - Exemplo de vulnerabilidade das pessoas em risco de acordo com a hidrodinâmica da onda.

Fonte: U.S. Bureau of Reclamation (VISEU; ALMEIDA, 2009).

O tempo total demandado para uma evacuação consiste no tempo de aviso, tempo de resposta e o tempo de evacuação propriamente dito. Assim, uma dada população a uma distância da barragem e altura em relação à onda de inundação precisa ter um tempo disponível superior ao demandado. Para pessoas muito próximas da barragem e expostas a uma hidrodinâmica da onda elevada, é indicado o abrigo em edificações em pavimentos superiores à altura da onda, visto que geralmente o tempo de evacuação disponível para outra zona é maior que o tempo de chegada da onda.

Entretanto, para tal indicação, é necessário também avaliar se a edificação suportará a força da água ou se ela colapsará, visto que a profundidade e velocidade da onda de inundação também gera instabilidade em edificações. O grau de instabilidade e, conseqüente risco de colapso é dependente da característica construtiva da edificação (ZHANG *et. al.*, 2016). Como pode ser observado na **Tabela 4**, os parâmetros de estabilidade de uma edificação frente à hidrodinâmica do fluxo estão diretamente relacionados ao tipo de construção.

Tabela 4 – Parâmetros de danos indicados para edificações

Tipo de construção	Dano da inundação	Dano Parcial	Danos graves
Estrutura de madeira não ancorada	$dv < 2 \text{ m}^2/\text{s}$	$dv \geq 2 \text{ m}^2/\text{s}$	$dv \geq 3 \text{ m}^2/\text{s}$
Estrutura de madeira ancorada	$dv < 3 \text{ m}^2/\text{s}$	$dv \geq 3 \text{ m}^2/\text{s}$	$dv \geq 7 \text{ m}^2/\text{s}$
Alvenaria, concreto e tijolo	$dv < 3 \text{ m}^2/\text{s}$ ou $v < 2 \text{ m/s}$	$dv \geq 3 \text{ m}^2/\text{s}$, e $v \geq 2 \text{ m/s}$	$dv \geq 7 \text{ m}^2/\text{s}$

Fonte: adaptado de (ZHANG *et. al.* 2016).

Além das características da construção, que nortearão o conhecimento de sua estabilidade perante a onda de inundação, também deve-se avaliar a quantidade de pavimentos, sua posição e altura da onda neste local, de forma a dirigir as pessoas para edificações que forneçam de fato condições de abrigo Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros de inundação em edificações.

Pavimentos da construção	Sem inundação	Parcialmente inundado	Totalmente inundadas
1 pavimento	0 m	1-3 m	>3 m
2 pavimentos	0-3 m	3-6 m	>6 m
3 pavimentos	0-6 m	6-9 m	>9 m
Maior que 3 pavimentos	0-9 m	>9 m	não contemplado neste estudo

Fonte: adaptado de (ZHANG *et. al.* 2016).

3.2.4.3 Empreendimento e Economia

Ao se falar em quantificação de impactos de um determinado evento, o primeiro ponto a ser destacado é o número de vítimas diretamente afetadas (mortes, feridos e/ou danos). Porém, eventos como ruptura de barragens comumente geram impactos que extrapolam sua abrangência geográfica direta, ou seja, o alcance da mancha de inundação. Há, ainda, que se considerar os impactos indiretos, decorrentes da perda de função (temporária ou permanente) dos serviços locais e do empreendimento que gerou o dano, nesse caso, as barragens. O impacto de uma ruptura de barragem pode causar danos e consequentes custos indiretos extremamente elevados, sejam eles monetários ou não (ZUFFO, 2010).

Segundo a (FEMA, 2011) (*Federal Emergency Management Agency*), nos EUA, as consequências econômicas diretas da ruptura de uma barragem abrange a perda das funcionalidades às quais se destina, podendo ser uma ou mais das indicadas: suprimento de água para agricultura; geração de Energia; controle de cheias; abastecimento público, industrial e para dessedentação animal; recreação e pesca e manutenção da vida aquática. Em segundo lugar há os custos associados às ações de emergência e remediação do dano no vale a jusante e, por último, os custos de reparo e substituição dos ativos atingidos.

O impacto econômico indireto refere-se às mudanças impostas no comércio e economia local, que reflete na relação que possui com a economia regional, nacional e, quiçá, mundial. Muitas vezes, esse impacto indireto representa uma grande parte das consequências econômicas.

3.2.5 A mitigação do risco

A mitigação de risco é o objetivo final do processo de avaliação de risco e razão da execução de todos os procedimentos anteriores. Caso o risco estimado seja considerado não tolerável, são propostas alternativas para reduzi-lo. Essas alternativas são incorporadas à análise de riscos que deverá ser reavaliada para estimar os novos impactos. Assim, após as iterações necessárias e possíveis da análise de risco, o empreendedor e demais tomadores de decisão terão a sua disposição as alternativas adequadas e suas estimativas de custos a considerar para aumentar a segurança geral do sistema integrado reservatório-barragem-vale a jusante (SLUNGA, 2001).

(BOWLES, 2010) explica que as opções de gestão do risco podem ser agrupadas em 05(cinco) categorias, sendo que estas não necessariamente sejam exclusivas ou apropriadas para todos os casos de análise (Figura 24):

1. Prevenção do risco: implica na não construção de uma barragem ou no descomissionamento de uma barragem existente;
2. Redução do risco de ocorrência: realizado por medidas estruturais, bem como por um sistema de gestão de segurança da barragem, com monitoramento e inspeções periódicas;
3. Redução do risco das consequências: realizado por medidas não-estruturais, geralmente, como a utilização de sistemas de alerta efetivos ou estruturais, como a realocação da população exposta ao risco;
4. Transferência do risco: por exemplo, venda da estrutura para outrem;
5. Retenção (ou aceite) do risco residual: realizada após ter sido realizadas as reduções possíveis do risco ou sua transferência. Pode ser necessário ainda segurar o risco residual realizando uma apólice de seguro.

Figura 24 - Opção para gestão do risco.

Fonte: (BOWLES, 2010).

Assim, a mitigação do risco está relacionada tanto com a redução da probabilidade da sua materialização (ocorrência de um acidente), quanto com a redução do seu dano (risco no vale a jusante). Do Carmo (2013) apresenta as ações envolvidas na fase de mitigação do risco:

Figura 25 - Fase de mitigação dos riscos

Fonte: adaptado de Do Carmo (2013).

3.2.5.1 PAE – Plano de ação emergencial

Nos últimos 30 anos, vários países incorporaram uma nova abordagem de segurança em relação às barragens e desenvolveram regulamentos sobre esse assunto, criando um sistema de classificação de barragens de acordo com o risco potencial a jusante, e estabelecendo o PAE para barragens com um risco significativo (ICOLD, 2011).

Um plano de ação emergencial (PAE) é um documento formal que identifica possíveis condições de emergência em uma barragem, e especifica ações pré-planejadas e simuladas a serem seguidas para minimizar as consequências do mau funcionamento ou ruptura de barragem, em relação à população localizada no vale a jusante

O PAE especifica as ações que os empreendedores da barragem deverão realizar para minimizar ou controlar os problemas da barragem. O PAE também

contém procedimentos e informações para guiar o empreendedor da barragem nas ações a serem empregadas em uma emergência (VISEU; ALMEIDA, 2009).

O PAE é um documento fundamental para os empreendedores e para a defesa civil local, visto que ele direciona a ação, no caso de uma barragem falhar devido a um evento natural (como uma grande tempestade ou terremoto), de um acidente operacional ou de um evento causado pelo homem, para que esta ação seja célere e efetiva (ICOLD, 2011).

Inicialmente, o PAE foi aplicado a barragens de médio e grande porte, porém, conforme o Icold (2011), atualmente também é aplicado a pequenas barragens, visto que, segundo histórico do USBR (*United States Bureau of Reclamation*), no período de 1970 a 1997, 87% das vítimas de falhas em barragens foram em decorrência de erros pequenos. Destaca-se, ainda, que 99% das vítimas estavam localizadas ao longo dos 24 km a jusante das barragens.

No Brasil, a Política Nacional de Segurança de Barragens dispõe o PAE como um dos elementos constantes no Plano de Segurança de Barragens, sendo obrigatório para barragens cujo dano potencial associado, ou seja, “dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem” (BRASIL, 2010).

No Brasil, o documento deve contemplar, no mínimo: identificação e análise das possíveis emergências; procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem; procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em emergência, com indicação do responsável pela ação e estratégia, meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência.

3.2.5.2 Reservatório – Barramento

Dada uma situação potencial ou efetivamente emergencial em uma barragem, é necessário implementar medidas mitigadoras para minimizar o nível do risco. No caso da barragem em si, o foco das medidas é a redução da probabilidade de ocorrência de um acidente, aplicando medidas estruturais, como substituição de equipamentos eletromecânicos, por exemplo, e medidas não-estruturais, tradicionalmente associadas ao monitoramento da barragem (auscultação e inspeções).

É fundamental que as falhas que possam prejudicar a segurança da barragem possam ser detectadas em tempo hábil, pelo menos sua maioria, pois essa etapa é o *input* para os procedimentos necessários em uma situação emergencial. Assim, um sistema robusto de monitoramento da barragem, com resposta tão rápida quanto seja necessária, é imperativo. Por robusto, entende-se um sistema que integre as inspeções visuais regulares, instrumentação adequada, coleta de dados, sua avaliação e gestão (VISEU; ALMEIDA, 2009).

3.2.5.3 Vale a jusante

Segundo Viseu e Almeida (2009), a preparação do vale a jusante, de modo a reduzir a perda de vidas, injúrias, impactos no meio ambiente e destruição da infraestrutura, pode ser feita com medidas de longo prazo a fim de controlar a exposição ao risco como ordenamento territorial, ou minimizar a vulnerabilidade humana, por exemplo, planos de ação emergencial. Outra maneira de lidar com a mitigação de riscos é apenas para minimizar os danos econômicos por transferência de risco (seguro). Ressalta-se, ainda, que esta última estratégia deve ser empregada para riscos residuais, preferencialmente.

A redução da vulnerabilidade do vale a jusante ocorre por duas medidas gerais com características distintas, mas que coadunam para o aumento da segurança da população que convive com o risco das barragens. Preferencial e inicialmente, têm-se as medidas relacionadas ao ordenamento do território, que visam minimizar a ocupação nos vales a jusante. Para fazer frente à ocupação já estabelecidas, há a necessidade de monitorar continuamente as barragens, informar continuamente a população sobre os riscos associados, quais medidas estão sendo empregadas para seu controle e implementar um plano de ação emergencial efetivo Do Carmo (2013). O conhecimento e treinamento da população propicia que em uma situação real de risco, direcionem-se adequadamente para fora da zona de inundação. Isso representa uma medida não estrutural, que visa estabelecer uma resposta eficaz do empreendedor e da defesa civil local, dada uma situação real de emergência. A essas ações é inequívoca a importância do conhecimento e treinamento da população que habita o vale, preparando-a continuamente para coexistir com o risco inerente à existência de uma barragem, de tal forma que, em uma situação real de emergência, saibam como proceder para manter sua segurança (VISEU, 2013).

3.2.5.4 Mapeamento de áreas a jusante

O mapeamento de áreas a jusante para a confecção de mapas de inundação, bem como para manter uma versão atualizada da ocupação a jusante (incluindo população, redes de comunicação, agricultura, indústria, instalações militares, hospitais, serviços públicos, etc.), é mais uma ferramenta indicada para informar sobre o dano potencial associado, sendo também uma entrada para construções alternativas, diminuindo as consequências frente a uma ruptura de barragens.

O zoneamento da área de risco relaciona-se às características do fluxo, seja ele decorrente de uma ruptura da barragem ou de manobras operacionais. As variáveis consideradas são a altura da água (y), velocidade do fluxo (v), tempo de chegada da onda de cheia e duração da cheia (t). A variável primária para a determinação da área de risco é o tempo de chegada da onda de cheia, visto que determinará o tempo de evacuação da população e, consequentemente, a composição do sistema de alarme (LUCCI et al., 2018).

A partir da consideração dos parâmetros de estabilidade de seres humanos e dos danos às construções causados pela onda de cheia, será possível a construção de mapas temáticos do vale a jusante com a definição da população e edificações em risco e os respectivos graus de ameaça aos quais estão sujeitos. Essa avaliação proporcionará a determinação de um dano potencial associado (DPA) mais assertivo, com a subscrição correta dos riscos e de sua magnitude, bem como a elaboração de um plano de ação de emergência (PAE) mais eficiente.

A avaliação dos valores de referência da hidrodinâmica da onda ($y.v$) com o cruzamento das manchas de inundação é uma ferramenta valiosa para a construção da população ameaçada e do seu grau de ameaça e, assim, propor soluções aderentes a cada caso: categorizar as zonas de risco; desenhar os tempos adequados de aviso e evacuação; traçar as rotas de fugas, etc.

O levantamento de dados históricos de acidentes também fornece entradas importantes para o mapeamento, principalmente para obter uma noção do perigo da onda. Segundo Graham³ (1999, *apud* ALMEIDA et. al., 2003), o levantamento de acidentes de barragens ocorridos nos Estados Unidos entre 1960 e 1998 mostrou que 88% do número de mortes foi decorrente de rupturas em barragens com menos de 15

³ GRAHAM, Wayne J. **A procedure for estimating loss of life caused by dam failure**. US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1999.

metros de altura, e mais 50% das mortes ocorreram a menos de 5 km de distância, 99% das mortes foram em até 24 km de distância. Os maiores danos decorrentes de uma ruptura ocorrerão nas áreas imediatamente a jusante das barragens, devido à velocidade e altura da onda. Assim, essas são as áreas as quais a fuga deve ser tão rápida quanto seja possível.

3.2.5.5 Zona de autossalvamento (ZAS)

A zona de autossalvamento (ZAS), região mais próxima à barragem, a qual se considera não haver tempo hábil para o resgate da população pelos órgãos de defesa civil, baseia-se no princípio do autossalvamento e apoia-se na existência de treinamentos prévios para situações emergenciais e de sistemas de alerta no vale a jusante para a maior celeridade da fuga (ALMEIDA et al., 2003).

No Brasil, a ZAS corresponde a distância do tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos ou 10 km, a menor das duas. Essa zona é de responsabilidade do empreendedor, devendo este, quando a elaboração do PAE, realizar o mapeamento detalhado dessa zona, implantando um sistema de alerta efetivo para as características locais, levantando toda a população, inclusive com seu contato, e realizando simulações para emergências.

Os critérios para definição dessa zona são variáveis entre os países que a consideram em sua legislação de barragens. Na França, a ZAS corresponde a menor das duas distâncias: tempo de chegada da onda igual a 15 minutos ou distância da barragem entre 5 e 10 km. Já em Portugal, essa distância corresponde a 30 minutos ou a 5 km (VISEU, 2013).

3.3 Atividades de gestão de risco do ponto de vista do empreendedor

3.3.1 Cobertura Vegetal

3.3.1.1 Manutenção de aterro

Aterros, ombreiras, estruturas de vertedouro, canais, e outras áreas associadas a uma barragem requerem a manutenção contínua de cobertura vegetal para seu pleno desempenho. A grama bem cuidada melhora a estética, simplifica as inspeções, cria uma superfície não erodível e impede a escavação do solo por animais.

O corte de grama e remoção de árvores são necessários para a adequada manutenção de uma barragem, devendo ser realizados em, pelo menos, duas vezes por ano: uma vez no final da primavera e depois durante o outono, quando a estação de crescimento diminui, em uma área a partir de 9 metros do pé do talude da barragem.

Conforme indicado pelo Conselho de Recursos Hídricos de Oklahoma, a utilização de métodos químicos próximos a corpos d'água não são mais indicados, sendo, inclusive, proibido em vários locais, salvo em determinados casos. A utilização de roçadeiras e outros métodos físicos para manutenção da vegetação é o desejável. O uso de maquinário pesado deve ser evitado quando o aterro estiver úmido, além de obedecer também às configurações geométricas do aterro e os procedimentos recomendados de operação segura (OWRB, 201-?).

3.3.1.2 Supressão da vegetação

Densos crescimentos de árvores não apresentam apenas um empecilho à inspeção adequada da segurança da barragem, mas também são prejudiciais à integridade da sua estrutura. A penetração da raiz da árvore não estabiliza uma massa de solo, particularmente um talude de aterro, mas sim afrouxa o solo, criando uma condição mais propícia à infiltração superficial (FEMA, 2005).

O crescimento de árvores também acarreta outros problemas de segurança de barragens:

- Árvores desenraizadas produzem grandes vazios e podem reduzir a borda livre e/ou a seção da barragem, reduzindo sua estabilidade;
- Raízes em decomposição criam caminhos preferenciais de infiltração, problemas de erosão interna e propicia a desagregação do solo;
- Fornecimento de abrigo para animais escavadores, podendo causar graves problemas estruturais ou hidráulicos;
- Aumenta a probabilidade de *piping* devido à penetração de suas raízes em juntas abertas e descontinuidades da fundação;
- Interferência na manutenção de infiltração, rachaduras, buracos, afundamento, assentamento, deflexão e outras anomalias, bem como inspeção e monitoramento adequado da segurança da barragem;

- Prejudica o crescimento de cobertura vegetal adequada, aumentando a probabilidade de erosão do aterro;
- Obstrução parcial ou total dos órgãos de descarga;
- Danos a vertedouros e demais órgãos de descarga em decorrência da queda de árvores;
- Danos ao sistema interno de drenagem da barragem;
- Rachaduras, levantamento ou deslocamento de estruturas;
- Indução à cavitação em torno de árvores em vertedouros, quando do vertimento.

Uma vez que o aterro de uma barragem de terra está com inúmeras árvores, as atividades de operação, inspeção e manutenção são comprometidas, prejudicando o desempenho da estrutura. Desta forma, anomalias antes facilmente identificáveis e sanáveis, aumentam sua magnitude e nível de perigo, tornando-se graves para o desempenho e a segurança da estrutura.

Segundo a FEMA, a restauração da adequada cobertura vegetal geralmente é necessária para que a barragem volte a operar segundo os padrões aceitáveis de segurança. Para tanto, o organismo propôs uma metodologia de inspeção e avaliação para a elaboração de um projeto de remediação de barragens. A metodologia definitiva deverá ser ajustada para a realidade local.

Figura 26 – Zonas de reparação em remediação de barragens.

Fonte: (FEMA, 2005).

3.3.1.2.1 Zonas de Inspeção e Avaliação

Cinco zonas de inspeção e avaliação de segurança de barragens podem ser identificadas na configuração geométrica de uma barragem de seção típica, com distintos graus de gravidade e impactos associados ao crescimento de árvores.

3.3.1.2.1.1 Zona 1

A inspeção e avaliação da Zona 1 começa na encosta a montante da barragem de terra, com aterro a cerca de 1,2 metros abaixo do nível normal do reservatório, estendo-se lateralmente para a linha central da crista da barragem. O crescimento de árvores e da vegetação lenhosa na Zona 1 é mais crítico em relação à segurança da barragem em que possuem uma largura de crista estreita em comparação àqueles que têm uma largura de crista ampla. A Zona 1 também inclui a área sujeita a danos resultantes da erosão das ondas e eventos de rebaixamento rápido, frequentemente recorrentes.

Nesta zona, deve-se remover todas as árvores, tocos, raízes, e sistemas de raiz; limpar a cavidade da raiz e inserir solo argiloso devidamente compactado. A recomposição do rip rap para a proteção contra erosão causada por ondas entre 1,2 metros abaixo e 76 centímetros acima do nível normal do reservatório, no mínimo (OWRB, 201-?).

3.3.1.2.1.2 Zona 2

A Zona 2 inclui toda a largura da crista da barragem, sobrepondo-se à Zona 1 pela metade da largura da crista. A sobreposição de uma parte da Zona 1 com uma parte da Zona 2 foi feita para enfatizar as partes críticas de ambas as zonas. Essa zona é normalmente considerada uma das zonas menos críticas em relação a problemas de segurança de barragens associado ao crescimento de árvore, porém está sujeita à ocorrência de problemas graves de segurança de barragens, como rachaduras de tensão, falha de declive escarpas e características de erosão que podem estar relacionadas a árvores existentes em outras zonas de inspeção.

Nessa zona deverão ser cortadas as árvores com um toco de diâmetro de 30 centímetros ou menos, nivelado com o moer e tratar o coto com um selante à prova d'água para retardar a deterioração do coto. Deverão ser removidas completamente

as árvores com um toco com diâmetro de mais de 30 centímetros, e a cavidade onde outrora havia o torrão deverá ser preenchida com solo compactado (OWRB, 201-?).

3.3.1.2.1.3 Zona 3

A Zona 3 se estende desde a linha central da crista da barragem até um ponto no talude de jusante referente a cerca de um terço da altura dela. A Zona 3 se sobrepõe à Zona 2 pela metade da largura da crista, e é normalmente considerada a zona menos crítica em relação aos problemas de segurança de barragens associados com crescimento de árvores. A linha de infiltração e a zona de saturação nessa porção de um aterro de barragem de terra, geralmente, estão suficientemente longe da superfície para propiciar a penetração de raízes de árvores na encosta a jusante de uma barragem, sem um sistema de drenagem ou filtro. Uma parte da Zona 2 foi sobreposta pela Zona 3 para destacar a parte mais crítica da Zona 3, que é a parte a jusante da crista de uma barragem de terra.

Nesta zona deverão ser cortadas as árvores com um diâmetro de tronco de 15 centímetros ou menos no nível do solo e tratar o coto com um impermeável selante para retardar a deterioração do toco. Deve-se, também, remover completamente todas as árvores com um toco de diâmetro de mais de 20 centímetros e preencher a cavidade com solo compactado (OWRB, 201-?).

3.3.1.2.1.4 Zona 4

A Zona 4 se estende do fim da zona 3 até a ponta da encosta do aterro a jusante. Essa zona é uma das duas zonas mais críticas em relação a questões de segurança de barragens, associadas ao crescimento de árvores, bem como outros problemas potenciais de segurança. Essa zona normalmente contém as intercepções de ambas as zonas de saturação e a linha de infiltração com o talude de jusante. A proximidade do fim da zona de saturação e linha de infiltração à superfície do declive do talude de jusante, nessa zona, é um fator crítico em relação ao risco associado ao crescimento de árvores, devendo ser avaliada cuidadosamente em relação à priorização dos requisitos para a remediação da estrutura de barragens.

Além disso, deverão ser removidas todas as árvores com um toco de diâmetro de 10 centímetros ou menos, rente ao solo, e tratar o coto com um selante impermeável para retardar a deterioração do toco. É indicado instalar um sistema de

drenagem para coletar e descarregar a água superficial. Deverá, também, ser avaliada a necessidade de adicionar estruturas de drenagem no local onde estavam as árvores (OWRB, 201-?).

3.3.1.2.1.5 Zona 5

A Zona 5 se estende desde o ponto no talude equivalente à metade da altura da barragem, até uma distância horizontal equivalente à metade da altura estrutural, contanto a partir do pé do talude. A Zona 5 se sobrepõe à Zona 4 para destacar que essa área partilhada é a mais crítica em ambas as zonas, normalmente contém a interceptação da linha de infiltração com o talude de jusante, sendo crítica em relação às considerações de estabilidade. O crescimento de árvores nessa zona pode rapidamente afetar a segurança da estrutura, sendo fundamental o seu controle para evitar potenciais problemas de segurança da barragem associados à infiltração no aterro e na fundação.

A manutenção e/ou remediação de barragens deve ser realizada imediatamente no caso de crescimento significativo de árvores, devendo ser removidas todas as árvores localizadas a até 9 metros além do pé do talude de jusante com diâmetros acima de 10 cm. Para regiões com alta probabilidade de encharcamento, é indicada a instalação de sistemas de drenagem nas cavidades deixadas pelo torrão das raízes (OWRB, 201-?).

3.3.1.2.2 Orientações gerais para remoção de árvores

Ao cortar árvores para remoção, pelo menos 30 a 60 centímetros devem ser deixados acima do solo. Isto facilita, posteriormente, o processo de remoção do coto. O toco e o torrão, por sua vez, devem ser removidos puxando o coto para cima com uma retroescavadeira ou similar após afrouxar o torrão, puxando o coto de diferentes direções. A cavidade do torrão deve ser limpa para ser removida do solo solto e o restante das raízes na cavidade devem ser removidas. As laterais da cavidade de corte não devem ter uma inclinação superior a 1:1. A cavidade inferior deve ser horizontal. O solo compactado deve ser de material coeso, compactado em camadas com espessura não superior a 20 centímetros (OWRB, 201-?).

3.3.2 Inspeção subaquática

3.3.2.1 Envelhecimento das estruturas e problemas consequentes

As barragens e estruturas associadas estão envelhecendo além dos 50 anos, e, ainda que continuem operando sem problemas, sérias adversidades podem ser esperadas após décadas de operação. Semelhante a outras infraestruturas de engenharia, as barragens têm uma vida finita de integridade e serviços como manutenção e reparos que devem ser rotineiros para manutenção da integridade estrutural.

No caso específico de túneis, (BROX, 2020) afirma que sem as inspeções e manutenções adequadas, o seu envelhecimento pode resultar em bloqueios parciais e colapsos em grande escala (Figura 27). No caso de túneis hidrelétricos, muitos experimentaram sérios problemas em decorrência da sua longa idade e a ausência de manutenção e reparos, incluindo alguns desmoronamentos.

Figura 27 – Rocha de grande dimensão bloqueando o fluxo de um túnel.

Fonte: (BROX, 2020).

A presença de erosão e detritos ao longo de um curso d'água representa informações importantes sobre sua condição e desempenho. Se presentes ao longo da coroa do túnel, eles podem se manifestar em uma instabilidade com a queda de blocos de rocha, colapso em grande escala com bloqueio parcial ou total do curso de

água. As comparações com as inspeções anteriores identificarão aumentos nos volumes de erosão e detritos após as operações em andamento (BROX, 2020). As alternativas de inspeção dividem-se em manuais e robóticas, sendo ambas descritas no Quadro 15.

Quadro 15 – Métodos de inspeção.

MÉTODOS DE INSPEÇÃO	
MANUAIS	ROBÓTICAS
Observação visuais	Observação visuais
Teste de força	Teste de força
Sônicos e ultrassônicos	Sônicos e ultrassônicos
Magnéticos	Magnéticos
Elétricos	Elétricos
Termografia	Termografia
Radar	Radar
Radiografia	Radiografia
Endoscopia	Endoscopia
-	Fotogrametria
-	Métodos de impacto
-	Laser
-	Métodos de perfuração

Fonte: (BROX, 2020).

A ocorrência de colapsos parciais ou totais em túneis apresentam sérios riscos para as operações e, normalmente, resultam em paralisações prolongadas para grandes reparos. Conforme analisado por (BROX, 2020), o maior risco representado para as operações seguras de longo prazo de túneis hidrelétricos é a estabilidade nos locais de falhas geológicas ou outras condições geológicas fracas encontradas durante a construção, tal qual túneis construídos em zonas de falha geológica, cujo acabamento é feito apenas com concreto projetado, podendo ter suas paredes deterioradas após longos períodos de operação.

Os túneis operados em condições variáveis de vazão estão mais suscetíveis a pressões operacionais internas. Isso ocorre, geralmente, devido à pausa e retorno das operações de pico, momento nos quais os túneis estão mais suscetíveis a danos durante as operações de longo prazo.

Figura 28 - Colapso em túneis de hidrelétricas desde 1960, considerando anos de operação antes da falha e ano da falha

Fonte: (BROX, 2020).

3.3.2.2 Inspeções em túneis

(BROX, 2020), em seu artigo *Hydroelectric waterway inspections*, examina os métodos usados e o planejamento das inspeções. Embora a manutenção de rotina e as atualizações ou reparos possam ser realizados durante interrupções curtas, é necessário mais esforço para interrupções mais longas para inspeções e/ou manutenções. No caso das instalações antigas, geralmente uma primeira inspeção decorre de um problema detectado ou inferido após anos de operação.

Para avaliar os aspectos mais importantes a serem considerados para a realização de inspeção dos túneis, é necessário se ater à sua dinâmica de operação, características locais e seu tempo de construção. Apesar disso, (BROX, 2020) informa

que novos túneis hidrelétricos também devem ser inspecionados após um período de operação inicial, de modo a confirmar a adequação de seu projeto original.

Em relação à frequência de inspeção, a (HIBBARD, 2020a) indica uma periodicidade de 10 anos. Já (BROX, 2020) detalha mais essa periodicidade, considerando o histórico de problemas operacionais e o esquema de operação do túnel. No entanto, não há definição quanto à classificação do regime de operação do túnel, informação fundamental para balizar a frequência de inspeção.

Tabela 6- Frequência recomendada de inspeções

Histórico de problemas operacionais	Operações	Frequência de inspeção, em anos		
		Inicial	Secundária	Terciária
Sem problemas históricos	Fora de Pico	15	8	5
	Pico	10	5	3
Com problemas históricos	Fora de Pico	5	3	2
	Pico	3	2	1

Fonte: (BROX, 2020).

3.3.2.3 Inspeções com utilização de veículos operados remotamente (ROV)

A inspeção tradicional de barragens e estruturas associadas dependem principalmente de mergulhadores qualificados. No entanto, grandes cargas de trabalho e longas horas são exigidas de modo a inspecionar uma barragem em grande escala. Assim, uma alternativa é realizar a inspeção com veículos subaquáticos, sendo os mais comuns os denominados ROVs (*Remotely Operated Vehicles*) (MARINE, 2020). Os ROVs são mini-submarinos equipados com câmeras de vídeo e sensores, controlados remotamente por um técnico com o auxílio das imagens geradas, transmitidas em tempo real, permitindo a identificação de anomalias imediatamente (Figura 29) (HIBBARD, 2020a; b).

Dentre suas vantagens estão a mínima interrupção da operação, a segurança dos profissionais e o resguardo da segurança estrutural, haja visto que prescinde do esgotamento da estrutura para a inspeção (HIBBARD, 2020a).

Figura 29 - Esquema de funcionamento da inspeção em barragens realizada por ROV.

Fonte: (HIBBARD, 2020a; b).

Uma desvantagem histórica do ROV era o tempo de funcionamento limitado em decorrência de sua bateria, o que incorria em inspeções descontínuas, restringindo o seu uso; hoje, a utilização de cabos umbilicais ultrafinos e de propulsores magneticamente acoplados resultam em maior facilidade e segurança da operação (BROX, 2020). Esses umbilicais fornecem energia contínua ao ROV, tornando-o uma ferramenta adequada para inspecionar barragens e outras estruturas subaquáticas (YU; XIANG; ZHANG; ZHAO *et al.*, 2017).

Os ROVs podem ser abarcados com distintos instrumentos, permitindo a execução de modelo em 3D da estrutura de forma muito precisa. Em águas claras, de baixa turbidez, os ROVs podem fornecer fotografias e imagens de vídeo de alta resolução. Em condições de alta turbidez, os sonares de perfil são usados para fornecer dados contínuos em 360° para um modelo de nuvem de pontos 3D de alta resolução e visualizações associadas, a partir da identificação da geometria da estrutura, quantificando de forma precisa eventuais deslocamentos encontrados (Figura 30). A utilização de *software* de transmissão simultânea auxilia a equipe técnica a identificar imediatamente locais de interesse onde anomalias estejam presentes (HIBBARD, 2020a).

Figura 30 - Visualização em 3D durante a inspeção por ROVs.

Fonte: (HIBBARD, 2020a).

A sua dimensão e tecnologia permitem uma melhor navegabilidade, chegando em locais não alcançados por mergulhadores ou que imponham risco a eles. A qualidade da imagem, a frequência do procedimento e a operação direta do ROV por profissional capacitado possibilitam o acompanhamento contínuo das barragens, permitindo uma ação preventiva frente a anomalias que possam trazer riscos à estrutura, garantido a segurança das barragens e a gestão eficiente do empreendimento (HIBBARD, 2020b).

Os ROVs também podem operar em túneis esgotados ou em condições de velocidades baixas da água, de forma a manter o mínimo de operacionalidade da estrutura. Entretanto, este tipo de inspeção só deve ser considerado no caso da descoberta de pontos sensíveis pela inspeção com o ROV, como grandes volumes de detritos, identificação de falhas (Figura 31), ocorrência de grande vazamento ou perda de carga observada. Entretanto, (BROX, 2020) alerta quanto ao risco aumentado de instabilidade, recomendando o esgotamento de maneira controlada e lenta para diminuir o risco de instabilidade. Neste caso, *drones* também podem ser usados para uma inspeção preliminar, em busca do emprego mínimo de profissionais para resguardá-los dos riscos.

Figura 31 - Falha geológica em um túnel sem revestimento

Fonte: (BROX, 2020).

No caso de túneis longos, a utilização do umbilical é fundamental para a viabilidade da inspeção e a transmissão dos dados coletados em tempo real. A inspeção de ROV de passagem única mais longa foi de 12 km no *Snowy Scheme Mountain*⁴ (HYDRO SCHEME, 2021), na Austrália, e a inspeção total mais longa concluída foi realizada no túnel de abastecimento de água potável de Paijanne de 120 km, em Helsinque, Finlândia (Figura 32). Os ROVs também podem operar em profundidade superior a 600 m, sendo alguns capazes de alcançar 2.000 m (BROX, 2020).

Segundo a (HIBBARD, 2020a), destacam-se como pontos importantes da inspeção de estruturas com o ROV: 1) Inspeção por meio de sonar de imagem multifeixe das quatro paredes dos túneis, com a finalidade de observar fissuras, fendas, deslocamentos e acumulações de materiais; 2) Mosaico georreferenciado das quatro paredes, com a finalidade de analisar se uma anomalia encontrada está ou não em evolução; 3) Georreferenciação e classificação de todas as anomalias; 4) Modelo em 3D de alta precisão e georreferenciado dos túneis, incluindo modelos de eventuais anomalias, tais como deslocamentos, colapsos, etc.; 5) Secções transversais georreferenciadas; 6) Possibilidade de executar imageamento por vídeo

⁴ O *Snowy Scheme* é composto por 16 barragens, 09 centrais elétricas, 80 quilômetros de aquedutos e 145 quilômetros de túneis interligados.

em HD; 7) Sonar e vídeos visualizáveis em tempo real durante a inspeção; e 8) Videoanimações dos modelos em 3D (HIBBARD, 2020a).

Figura 32 - Mapa do Túnel de Água de Päijänne

Fonte: (JUUTI, 2016).

Até o momento, não existem abordagens padronizadas para a investigação e inspeção da integridade de revestimentos de túneis de concreto projetado, concreto ou aço, ou a presença de vazios atrás dos revestimentos. O uso de formas modificadas de radar de penetração no solo, reflexão sísmica e técnicas de emissão acústica podem ser desenvolvidos no futuro para serem usados em uma inspeção de ROV para fornecer esta categoria crucial de informações (BROX, 2020). Parte da avaliação geral da condição de revestimentos envelhecidos é a detecção de qualquer deterioração ou formação de vazios (BROX, 2020).

3.3.2.4 Análise de riscos a partir dos resultados da inspeção subaquática

(BROX, 2020) em seu estudo sobre inspeções em túneis discute acerca das informações relevantes que podem ser obtidas a partir das anomalias identificadas na

inspeção subaquática, sendo a base inicial para a condução de um estudo de análise de riscos, que, por sua vez, poderá indicar a vida útil remanescente da estrutura, configurando-se em uma informação importante para planejamento, manutenção e reparos futuros (BROX, 2020). Os pontos a serem considerados nessa avaliação devem contemplar a história do túnel e poço, geologia, o suporte e revestimento instalado durante a construção original; informações de relatórios de inspeção e reparos anteriores; identificação de áreas de problemas ou riscos com base em informações de inspeção e revisão de histórias de casos de outras falhas de energia hidrelétrica em geologia semelhante.

Do ponto de vista da análise qualitativa, (BROX, 2020) demonstra, no Quadro 16 o risco de colapso associado ao revestimento, regime hidráulico e tempo de vida do túnel.

Quadro 16 - Matriz qualitativa de risco

Revestime nto do túnel	Hidráulica	<15 anos	10-30 anos	>30 anos	Estimativa do risco
Sem revestimen to	Pico				Extremamente alto
	Fora de Pico				Muito alto
Concreto projetado	Pico				Alto
	Fora de Pico				Moderado
Concreto	Pico				Baixo
	Fora de Pico				Muito baixo

.Fonte: (BROX, 2020).

3.3.3 Descomissionamento de barragens

Uma barragem possui sua vida útil, abrangendo seu projeto, execução da obra, operação e descomissionamento (ou desmobilização). Considerando o número de barragens construídas em meados do século XX, depreende-se que muitas hoje já ultrapassaram seus 50 anos e que questões relacionadas a custo de manutenção, depreciação da estrutura, assoreamento do reservatório, adensamento da ocupação dos vale a jusante, colocando em xeque a viabilidade da permanência dessas estruturas.

DeHeer (2001) *apud* (COSTA; PINTO; MARTINS, 2011) define o descomissionamento “como a remoção completa ou parcial da barragem, ou uma mudança significativa na operação da mesma”. Ainda há situações que, apesar de a estrutura estar boa e de não incorrer em problemas significativos à população, Costa *et. al.* (2011) indicam que as despesas com manutenção e reformas podem ultrapassar os custos de remoção, impondo ao empreendedor essa decisão.

Para tanto, há diversos fatores a serem considerados para efetivamente se realizar o processo de descomissionamento, tais como: aspectos hidráulicos, hidrológicos, geológico-geotécnicos, sedimentológicos, social, ambiental e econômico, os quais serão detalhados a seguir (COSTA; PINTO; MARTINS, 2011).

Quadro 17 - Sugestões de aspectos a serem avaliados para o descomissionamento de barragens.

Aspecto da barragem	Questão a serem avaliadas	Permanência da estrutura	Descomissionamento
Funcionalidade e segurança	Avaliação da funcionalidade e segurança atuais da barragem, as necessidades futuras de abastecimento de água, bem como as obrigações, como melhorias na segurança da barragem. Também considera a eficácia atual	<ul style="list-style-type: none"> • Quem é o responsável pela barragem e por sua conservação: particular, estado, etc.? • Qual o tipo de barragem e o material utilizado na construção: concreto, terra, enrocamento, etc.? • Qual o volume do reservatório? • Quais as informações sobre “sangrias” e qualidade da água? • Existe plano de gestão para a bacia hidráulica? 	-

	da barragem para armazenar água e outros usos potenciais para o local.	<ul style="list-style-type: none"> • Quem são os tomadores de decisão? De quem é a decisão final”? • Existem interessados em sua remoção. Quem são? Quem seria beneficiado? • Que tipo de benefícios a barragem foi projetada para gerar? Pesca, abastecimento, controle de cheias, recreação, etc.? • Que tipo de benefícios são gerados (efetivamente)? • Foi feita alguma obra de recuperação, quanto custou. Necessita atualmente de alguma obra de recuperação? • Sua remoção tem algum objetivo: segurança, técnico, etc.? 	
Econômico	avaliação dos custos e benefícios financeiros associados à manutenção e continuação	<ul style="list-style-type: none"> • Quem paga pela operação e manutenção da barragem; • Quais os custos de sua operação e manutenção; 	<ul style="list-style-type: none"> • Quem pagará por sua remoção? • A remoção da barragem

	do uso da barragem, incluindo potenciais melhorias futuras, bem como opções para desativar a barragem	<ul style="list-style-type: none"> • Gera alguma atividade econômica significativa para a comunidade. Pesca, irrigação, energia, abastecimento, etc. • Quais as consequências econômicas de um acidente ou incidente 	<p>trará algum benefício?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valoriza propriedades ?
Social	Considera o relacionamen to da comunidade com a barragem e as possíveis preocupaçõe s que o descomission amento pode trazer. As opiniões das partes interessadas serão uma parte importante da tomada de decisão sobre o futuro de uma barragem.	<ul style="list-style-type: none"> • Quem se beneficia da barragem na distribuição dos benefícios: particular ou/comunidade • Qual o nível de informação ou entendimento da comunidade sobre a obra; • A barragem provê algum tipo de serviço: Turismo, comércio, pesca, etc.; • A comunidade tem livre acesso à barragem • A barragem oferece algum risco para a comunidade; • A barragem tem valor histórico; • A barragem tem valor recreacional; • A barragem gera conflitos na comunidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Tem valor cênico ou recreacional para a comunidade? • Tem valor histórico significativo? • Qual o sentimento da comunidade a respeito da remoção da barragem;

Ambiental e patrimonial	<p>Avaliação dos impactos do descomissionamento sobre a biodiversidade, regimes de fluxo natural e qualidade da água, em comparação com as questões ambientais existentes da barragem. Outros aspectos importantes incluem efeitos potenciais sobre o significado histórico e a cultura indígena.</p>	-	<ul style="list-style-type: none"> Quais os benefícios da remoção para a qualidade da água ou para o rio ou bacia hidrográfica
Requisitos legais e governança	<p>Reconhecimento de quaisquer obrigações legais da barragem</p>	-	-

	<p>existente e aderindo aos processos regulatórios e aprovações.</p> <p>As considerações incluem a propriedade da terra atual e futura, e arranjos para gerenciar o local após o descomissionamento.</p>		
Viabilidade técnica	<p>considerando a facilidade e eficiência dos métodos de descomissionamento propostos e os impactos de construção relacionados</p>	<ul style="list-style-type: none"> • A barragem possui projeto? • Qual a vida útil do projeto? • Qual a área de influência do projeto? • Qual a idade da barragem? • O reservatório apresenta sinais de assoreamento? • Qual o estado de conservação da barragem? • Apresenta sinais de abandono? Quais? 	-

		<ul style="list-style-type: none"> • A barragem já sofreu algum tipo de intervenção ou reparo? • Existe(m) outra(s) barragem(ns) próxima(s)? • Qual o número de barragens no rio ou bacia? • Existem grandes barragens no rio ou bacia? Quantas? • Existem estruturas próximas (estradas, pontes, canais, linhas de transmissão, etc.). Quais? • A barragem representa perigo a alguma estrutura próxima? • Serve à irrigação. Qual a cultura e a área irrigada? • A remoção da barragem trará melhorias a alguma infraestrutura próxima? 	
--	--	---	--

Fonte: adaptado de (VICTORIA, 2016) e Oliveira e Gomes (2010).

Além dos fatores motivadores para o descomissionamento da barragem, também é necessário avaliar qual a forma de descomissionar a estrutura, podendo ser por remoção parcial, remoção total ou a manutenção da barragem, utilizando-a para outro fim. Nesse caso, deverá ainda ser avaliada a modificação ou não da estrutura (VICTORIA, 2016).

No caso da barragem de Gegraf, pertencente à empresa Nacional de Grafite S/A, (DIAS; OLIVEIRA; FURTADO; COLOBAROLLI, 2018), foi definido como projeto

de descomissionamento a abertura de uma brecha no corpo do aterro para o esgotamento do reservatório e a recuperação ambiental da área ocupada pelo reservatório com técnicas de plantio (DIAS; OLIVEIRA; FURTADO; COLOBAROLLI, 2018).

As diretrizes brasileiras sobre o assunto ainda são insuficientes para orientar os empreendedores. Apesar da legislação indicar a alternativa do descomissionamento de barragens, não há regulamentação que detalhe sobre as formas possíveis de descomissionar. Outros países já possuem legislação, um histórico de estruturas descomissionadas e diretrizes detalhadas. No caso dos EUA, por meio de uma coordenação de suas agências, muitos estados prestam assistência técnica, regulatória e financeira. O destaque fica com a Pensilvânia, com 70 remoções de barragens entre 2000 e 2010 (OLIVEIRA; GOMES, 2010) (DIAS; OLIVEIRA; FURTADO; COLOBAROLLI, 2018).

O Estado de Victoria, na Austrália, possui uma regulamentação consolidada pelo seu Departamento de Meio Ambiente, Águas Terrestres e Planejamento, disponibilizando um conjunto de documentos de políticas e diretrizes relativas ao descomissionamento.

Em Victoria, as barragens são geralmente consideradas para descomissionamento nas seguintes situações (VICTORIA, 2016):

- Há arranjos alternativos de abastecimento?
- Há problemas contínuos de qualidade da água?
- Há problemas de segurança da barragem?
- Os custos de modernização são desproporcionais aos benefícios de manter uma barragem?

O Departamento de Meio Ambiente, Terras, Água e Planejamento do Estado de Victoria, em seu Guia para Descomissionamento de Barragens, detalha os principais aspectos a serem considerados para a tomada de decisão dos empreendedores, abrangendo três principais cenários (VICTORIA, 2016).

Método de descomissionamento 1: reter a barragem e alterar sua função.

Nesse método, a estrutura da barragem permanece intacta, podendo ter benfeitorias associadas à sua segurança, funcionalidades ou estética, e há mudanças

em relação ao tipo de uso do reservatório (VICTORIA, 2016). Ressalta-se que considerando os impactos associados a construções de novas barragens e a costumeira ocupação dos vales a jusante de barragens antigas, a proposição de resguardo da segurança da estrutura atual e uso para um novo fim, apresenta-se como a melhor alternativa, quando possível. Entretanto, cabe avaliar se o proprietário pode e deseja arcar com os custos associados à sua manutenção, ou se há possibilidade de cessão a outro ente (Figura 33).

Figura 33 - Visão geral dos métodos de descomissionamento: retenção da barragem e alteração de sua função.

Fonte: (VICTORIA, 2016).

Método de descomissionamento 2: remoção parcial da barragem.

Outra possibilidade aventada é a diminuição da capacidade de armazenamento do reservatório a partir da redução da altura da barragem, associada ou não, à redução da altura do vertedouro e/ou sua configuração (VICTORIA, 2016). Tal alteração demanda a avaliação de impactos ecológicos, sociais e financeiros, além da avaliação completa da segurança da atual barragem e da nova estrutura proposta. Mais uma vez, a estrutura ainda demandará custos para manutenção da sua funcionalidade e segurança, recaindo sobre o atual empreendedor ou a quem ele transfira a propriedade (Figura 34).

Figura 34 - Visão geral dos métodos de descomissionamento: remoção parcial da barragem.

Fonte: (VICTORIA, 2016).

Método de descomissionamento 3: remoção total da barragem.

Esse método envolve a remoção da estrutura da barragem e, potencialmente, do vertedouro, com o objetivo de restaurar o local às condições que existiam antes da construção da barragem. Além de grandes trabalhos de escavação e uma gama de recursos estruturais e adicionais, esse método exige uma estratégia abrangente de gerenciamento de sedimentos, bem como um plano de revegetação e reintegração do local (Figura 35).

Figura 35 - Visão geral dos métodos de descomissionamento: remoção total da barragem

3.3.4 Qualidade da água percolada em barragens

O monitoramento dos maciços, em decorrência das características particulares de cada barragem é multidisciplinar. Além das atividades de monitoramento, historicamente reconhecidas, outras áreas do conhecimento se mostram igualmente relevantes para acompanhar o comportamento dessas estruturas. O campo da química de infiltração de barragens, denominação da FEMA, agrega mais informações sobre os processos decorrentes da interação reservatório, maciço e seus componentes. A geologia, meteorologia, hidrologia e mineralogia local compõem uma complexa entrada de variáveis que precisam ser consideradas ao longo da vida útil da barragem, pois são indicadores de processos que estão ocorrendo internamente no maciço e que, muitas vezes, antecedem as leituras anômalas dos instrumentos clássicos.

A água do reservatório, bem como a água presente no aquífero local são agentes causadores de ataque químico aos materiais da barragem e, em casos mais extremos, podem ocasionar processos significativos de lixiviação, criando caminhos de percolação no maciço. Assim, a avaliação das águas puras, sulfatos, sulfitos, ácidos, atividade biótica e sua interação com os elementos constituintes da barragem fornecem informações importantes para realizar o diagnóstico de um fenômeno já em curso, bem como pode ser uma ferramenta utilizada para prognóstico de alguns dos potenciais modos de falha que a barragem apresentará ao longo da sua vida útil.

O (USBR, 2005) indica que a química da água percolada pode evidenciar o fenômeno de erosão interna - transporte físico das partículas do solo, por meio da turbidez, a dissolução mineral, sólidos dissolvidos e a corrosão potencial, por meio da medição do pH. O principal fenômeno a ser considerado nessa avaliação é a dissolução mineral, processo químico que ocorre principalmente quando certos materiais comumente encontrados nas fundações e pilares - gesso, anidrita, calcita, dolomita, etc. - estão presentes (FEMA, 2015; USBR, 2005). A comparação do conteúdo de sólidos dissolvidos entre o reservatório e a água de infiltração pode ser usada como um indicador da dissolução da rocha sólida na fundação ou pilares, portanto, da criação de caminhos de fluxo preferenciais potencialmente conducentes à erosão interna ou outros perigos (FEMA, 2015).

Quadro 18 - Fenômenos correlacionados aos parâmetros de qualidade da água.

Parâmetro	Fenômeno
Turbidez	<p>O material erodido (partículas sólidas em suspensão) pode ser prejudicial para o desempenho de uma barragem se as partículas transportadas criarem espaços internos vazios e—causarem deficiências estruturais.</p> <p>Um aumento da turbidez indica que a água carrega sólidos enquanto passa através da barragem, o que é um indicativo de erosão interna. Uma avaliação da turbidez e dos sólidos deve ser feita para observar qualquer alteração entre inspeções.</p>
Sólidos dissolvidos	<p>Rochas solúveis em água e minerais tais como o gesso, anidrita, calcita e dolomita não são incomuns. Estes constituintes químicos são frequentemente encontrados na fundação da barragem e encostas, e sua solubilidade na água do percolado pode causar problemas devido à formação de vazios internos. Quando os minerais solúveis presentes na fundação ou pilares de barragens são dissolvidos pela infiltração de água, os espaços vazios que se formam podem levar a maiores permeabilidade e fluxos ao longo de caminhos de fluxo estabelecidos, ou o desenvolvimento de novos caminhos de fluxo de infiltração.</p>
Potencial de corrosão	<p>Se a água do particulado contiver carbonato de cálcio, depósitos calcários podem formar-se sobre esses itens e, eventualmente, irão restringir o fluxo. Da mesma forma, um instrumento colocado em uma calha de medição do particulado poderá ter acúmulo de material, que irá eventualmente afetar o funcionamento do instrumento e da exatidão da medida do particulado. Por outro lado, se o pH estiver baixo, a água do particulado poderá corroer certos metais expostos ao fluxo de água durante um período de tempo.</p> <p>A corrosividade da água a ser transportada no sistema de coleta e monitoramento de infiltração deve ser verificada de modo a identificar</p>

	possíveis problemas de corrosão. Além do pH, outras variáveis, incluindo cloretos, oxigênio dissolvido e íons sulfato influenciam a corrosão do aço. Alumínio pode causar corrosão rapidamente em um ambiente de pH elevado.
--	--

Fonte: (LAGANARO; DE JESUS; DI LIBERATO; MACEDO, 2019), (FEMA, 2015)

Historicamente, a química de infiltração é utilizada para estudar o fenômeno da dissolução mineral desde 1951, quando o monitoramento químico foi executado para avaliação de um escoamento a jusante identificado imediatamente após o enchimento do reservatório Horsetooth Dam, em Fort Collins, Colorado (USB, 2005). Outros casos históricos de aumento progressivo da infiltração a jusante que culminaram com a ruptura de barragens evidenciam a importância desse tipo de monitoramento, em especial a determinação da extensão e natureza da dissolução mineral, quando a infiltração for um fenômeno local relevante (USB, 2005).

Alterações significativas da vazão da água percolada, a presença de partículas de solos em suspensão, assim como anomalias nas medições de turbidez, sólidos dissolvidos e potencial de corrosão podem ser indicativos de um processo de erosão interna, e seu acompanhamento constante é fundamental para averiguar a intensidade desse fenômeno. Entretanto, conforme descrito pela(USB, 2005), nem todo aumento da concentração dos compostos ou da vazão da infiltração são indicativos automáticos de uma deficiência estrutural. A barragem está sujeita há uma série de processos simultâneos, não apenas a interação do maciço com o reservatório. Conforme descrito pelo (USB, 2005), o aquífero subterrâneo que existia antes da construção da barragem e enchimento do reservatório continua a se infiltrar e se misturar com a infiltração decorrente do reservatório (Figura 37**Figura 36**).

Entender a dinâmica da infiltração carece de estudar os vários processos simultâneos presentes, e uma avaliação cuidadosa da infiltração confiável os dados químicos são necessários para distinguir as causas do aumento da infiltração concentrações (USB, 2005).

Figura 36 - Vista a jusante de uma barragem demonstrando a mistura entre a água percolada do reservatório e o aquífero subterrâneo previamente existente.

Fonte: (USBR, 2005).

Além da reação com os constituintes do maciço, a química da água infiltrada também pode danificar a instrumentação da barragem. Águas excessivamente ácidas podem corroer telas de poços de alívio, prejudicando sua função ou mesmo inutilizando-os. Quando rica em minerais, o material precipitado da água pode obstruir as telas, resultando em um aumento das pressões internas e/ou maiores demandas de manutenção (FEMA, 2015).

3.3.4.1 Quando coletar as amostras

Um plano de monitoramento da qualidade da água do reservatório e do percolado deve ser elaborado e implantado para verificação e acompanhamento das estruturas com uma abrangência interdisciplinar, demandando a coordenação de informações de vários campos: química analítica, geoquímica, hidrologia, geofísica e engenharia civil e geotécnica.

O (USBR, 2005) destaca a importância dos conjuntos de dados iniciais (linha de base) para comparar os dados de infiltração posteriores. A coleta e análise de amostras de infiltração são recomendadas após a infiltração ter se estabilizado, depois do enchimento inicial do reservatório ou após reparos e modificações em uma barragem. No caso do início do monitoramento para uma estrutura pré-existente, as

amostras de linha de base devem ser coletadas de 1 a 2 semanas após as elevações mínimas e máximas do reservatório. As amostras referentes ao período de nível mínimo do reservatório, ou seja, ao período seco, fornece uma indicação de fluxo de infiltração mais profundo e mais lento, com tempos de fundação ou de residência mais longo. As amostras referentes a níveis mais elevados do reservatório, referente ao fim do período de chuva ou do término da afluência da água proveniente do derretimento da neve ao reservatório, fornecem informações sobre a infiltração quando a carga hidráulica é maior. As campanhas de monitoramento podem ser mais frequentes, porém não é aconselhável serem mais espaçadas e/ou não contemplarem esses 02 períodos.

Quadro 19 - Regras gerais de coleta para cada estação climática.

Período	Coleta indicada
Verão-inverno	Imediatamente a montante da barragem e em profundidade, quando os reservatórios provavelmente estarão estratificados. Essas amostras devem incluir um perfil de profundidade do reservatório para pH, T, CE ⁵ , OD, turbidez e potencial redox usando uma sonda multiparamétrica.
Outono-primavera	Amostras de superfície, após a queda do nível do reservatório para os mínimos valores usuais.

Fonte: (USBR, 2005).

De forma geral, o (USBR, 2005) indica amostragem do percolado nas situações abaixo:

- Após o primeiro enchimento ou, em barragens pré-existentes, quando os padrões de infiltração forem estabilizados. Amostras de infiltração devem ser coletadas e analisadas nas elevações máximas e mínimas do reservatório por vários anos para estabelecer um conjunto de dados de linha de base;

⁵ condutividade

- Quando uma barragem está situada em uma zona de geologia suscetível à dissolução mineral e desenvolveu problemas de infiltração;
- Sempre que a inspeção de segurança revelar mudanças inesperadas na infiltração ou no comportamento estrutural;
- Sempre que os fluxos e os níveis do piezômetro aumentarem sem correspondente elevação do reservatório quando comparados com leituras históricas.

Normalmente, a amostragem deve envolver a medição da vazão do percolado, o nível de água do reservatório, dos piezômetros e níveis d'água, os parâmetros mais significativos de qualidade da água.

Ao monitorar as barragens, a dinâmica do fluxo de infiltração e os dados de elevação dos piezômetros deve ser o foco principal (USBR, 2005). Além da observação direta das mudanças no local, o próximo critério mais importante é a avaliação contínua desses fluxos, medidos de forma consistente, e dos níveis dos piezômetros.

Qualquer barragem que mostre mudanças nos padrões de infiltração ao longo do tempo, que esteja situada em calcários e outras rochas sedimentares porosas com evidências de gesso, anidrita, calcita, dolomita ou depósitos de evaporação solúvel deve ser considerada um local de monitoramento de infiltração potencial (USBR, 2005).

A única maneira de saber se isso está acontecendo em um local é coletar e analisar amostras de água subterrânea de poços de observação localizados longe da barragem e da zona de influência de infiltração do reservatório e, em seguida, comparar a água subterrânea com os dados químicos de reservatório e infiltração (QUINLIN, 1992; BARCELONA, *et. al.*, 1985) (USBR, 2005).

É importante sempre medir o pH e a temperatura de campo (T) para amostras de infiltração e reservatório *in situ* usando medidores portáteis calibrados (USBR, 2005).

3.3.4.2 Onde coletar

Drenos

Todos os sistemas de drenagem devem ser monitorados em sua taxa de fluxo, quantidade e parâmetros de qualidade de água. Esse monitoramento tem duas

principais finalidades: verificar o desempenho de drenagem adequada (comparando o atual com o previsto ou esperado), e detectar potenciais problemas no percolado. A Figura 37, abaixo, ilustra um *layout* dos elementos de filtro e dreno integrados na encosta a jusante, localizados em pontos estratégicos para interceptar e controlar o fluxo do percolado.

Figura 37 - Sistema ilustrativo de coleta e medição de infiltração localizado à jusante de uma barragem de aterro

Fonte: ANCOLD, (1983) apud (LAGANARO; DE JESUS; DI LIBERATO; MACEDO, 2019).

O (USBR, 2005) orienta a condução de uma amostragem da água sempre acompanhada da correspondente medição da vazão no ponto de coleta, desprezando pontos de fluxo irrisório. A amostragem de níveis d'água e piezômetros deve se ater apenas aos instrumentos ativos e com funcionamento adequado comprovado, por isso a importância da sua adequada manutenção, e a medição do nível do reservatório no mesmo momento é fundamental para o estudo de sua correlação com o percolado.

Se a vazão do percolado for estável e sua variação corresponder à variação do nível do reservatório, espera-se que os parâmetros e sua concentração devam ser semelhantes. Quando o fluxo de infiltração aumenta para as mesmas elevações históricas do reservatório, a infiltração está progredindo e aumenta os caminhos preferenciais (USBR, 2005). Apesar de aumentos nas concentrações de infiltração

não indicarem necessariamente a formação de vazios decorrentes de dissolução mineral, a inalteração da concentração em relação à água do reservatório também pode não ser um bom sinal, pois indica que a água do reservatório está fluindo de forma bastante rápida e direta para o ponto de surgência da infiltração. Destaca-se, também, que o aumento da vazão de infiltração e dos pontos de surgência sem o correspondente aumento de concentração representa um perigo estrutural (USBR, 2005).

Quadro 20 – Indicação dos potenciais fenômenos existentes no local a partir do acompanhamento da tendência de variação dos principais parâmetros avaliados.

Parâmetro	Aumento da concentração do percolado	Diminuição da concentração do percolado
pH	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dissolução de calcita ▪ contato com argamassa se presente e $\text{pH} > 9$ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A atividade biótica aeróbia e anaeróbia, se o oxigênio dissolvido ou a carbono orgânico também diminuir
Ca^{2+}	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dissolução de calcita ou dolomita ▪ dissolução de gesso ou anidrita se SO_4^{2-} também aumenta ▪ troca iônica se Na^+ diminuir 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ troca de íons se Na^+ também aumentar e houver presença de argilas
Mg^{2+}	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dissolução de calcita ou dolomita ▪ dissolução congruente de silicatos de magnésio (cloritos, piroxênios, anfibólio), se presente ▪ mistura com água subterrânea de maior concentração 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dissolução incongruente ▪ diluição com menor concentração de água subterrânea
Na^+	<ul style="list-style-type: none"> ▪ troca de íons ▪ dissolução de halita se Cl^- também aumentar ▪ mistura com água subterrânea de maior concentração ▪ contato com argamassa 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ troca de íons se Ca^{2+} aumentar e houver presença de argilas ▪ diluição com menor concentração de água subterrânea
K^+	<ul style="list-style-type: none"> ▪ troca de íons ▪ dissolução incongruente de K-feldspatos em caulinita ▪ contato com argamassa 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ troca de íons
CO_3^{2-} - HCO_3^- - OH^-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dissolução congruente de minerais carbonáticos ▪ processos bióticos aeróbicos e anaeróbicos ▪ contato com argamassa - OH^- 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ improvável - apenas metanogênese ▪ diluição com menor concentração de água subterrânea
Cl^-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dissolução de halita ▪ mistura com água subterrânea de maior concentração 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ diluição com menor concentração de água subterrânea
SO_4^{2-}	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dissolução de gesso ou anidrita 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ atividade biótica anaeróbia, especialmente se o odor de H_2S estiver presente ▪ diluição com menor concentração de água subterrânea

Parâmetro	Aumento da concentração do percolado	Diminuição da concentração do percolado
SiO ₂ ou H ₄ SiO ₄	<ul style="list-style-type: none"> dissolução congruente de sílica amorfa (vidro) dissolução congruente de minerais de silicato dissolução incongruente 	<ul style="list-style-type: none"> dissolução incongruente diluição com menor concentração de água subterrânea
Fe e Mn	<ul style="list-style-type: none"> atividade biótica anaeróbia 	<ul style="list-style-type: none"> adsorção em partículas
Al	<ul style="list-style-type: none"> dissolução congruente e incongruente de aluminossilicatos contato com argamassa 	<ul style="list-style-type: none"> adsorção ou precipitação
CO ⁶	<ul style="list-style-type: none"> não é provável 	<ul style="list-style-type: none"> atividade biótica aeróbia e anaeróbia
N e P	<ul style="list-style-type: none"> processos bióticos aeróbicos e anaeróbicos 	<ul style="list-style-type: none"> não é provável diluição com menor concentração de água subterrânea
OD	<ul style="list-style-type: none"> não é provável 	<ul style="list-style-type: none"> atividade biótica aeróbia

Fonte: (USBR, 2005).

A coleta do percolado de uma barragem e seu monitoramento devem ser planejados com todos os modos de falhas possíveis, para aumentar a possibilidade de antecipação do problema, em cada estrutura particular, dadas suas características únicas geológicas e de projeto (USBR, 2005).

3.3.5 Plano de Ação Emergencial (PAE)

O PAE, ou Plano de Ação de Emergência, é um documento formal que estabelece as ações e procedimentos a serem executados pelo proprietário da barragem em caso de emergência. Ele também identifica todos os agentes e entidades a serem notificados de uma ocorrência. Seu conteúdo mínimo, exigido pela Lei Federal n.º 12.334, a partir de sua versão original, publicada em 2010, era o seguinte: Identificação e análise de possíveis situações de emergência; Procedimentos para identificação e notificação de situações de mau funcionamento ou potencial rompimento de barragens; Procedimentos preventivos e corretivos a serem tomados em situações de emergência, com a identificação da pessoa/entidade

⁶ Carbono orgânico

responsável por cada ação; Estratégia e meios de divulgação e alerta para comunidades potencialmente afetadas em caso de emergência de barragem (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021).

As informações não são muito precisas e essa situação é compreensível, uma vez que as leis federais no Brasil são de natureza geral e requerem decretos adicionais para especificá-las para atingir os objetivos desejados. No entanto, sentindo a necessidade de melhorias do ponto de vista generalizado, a Política Nacional de Segurança de Barragens foi revisada em setembro de 2020 e o conteúdo mínimo necessário para a elaboração do PSB e PAE também foi modificado e melhorado (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021):

- Descrição da barragem e estruturas associadas, e análise de possíveis emergências;
- Procedimentos para identificação e notificação de situações de mau funcionamento ou potencial rompimento de barragens, bem como outros eventos anômalos;
- Procedimentos preventivos e corretivos, e plano de resposta a ser atuado em situações emergenciais;
- Programas de treinamento e divulgação de estratégias para as pessoas envolvidas e comunidades potencialmente afetadas, com simulações recorrentes na vida;
- Definição de responsabilidades e funções atribuídas às pessoas associadas incluídas no fluxograma de notificação do PAE;
- Medidas específicas acordadas com o Estado para resgatar pessoas e animais afetados, mitigar os impactos ambientais, garantir a distribuição de água limpa e resgatar e salvaguardar patrimônios culturais;
- Dimensionamento de recursos humanos e equipamentos gerais necessários para responder adequadamente no caso do pior cenário possível;
- Dimensionamento da zona de autossalvamento (ZAS) e da zona de segurança secundária (ZSS) com base no mapa de inundação.
- Identificação e mapeamento da população que habita a zona de autossalvamento, incluindo uma descrição das vulnerabilidades sociais existentes;

- Sistema de monitoramento de barragens e medidas de controle de estabilidade diretamente conectadas às ações de emergência;
- Plano de comunicação, incluindo meios de contacto das autoridades responsáveis pelo PAE, das prefeituras, das entidades de segurança pública, das entidades de proteção e defesa civil, dos hospitais vizinhos, e outras entidades pertinentes;
- Sistema de alerta sonoro estimado ou solução de alerta mais eficiente para emergências, com alcance mínimo definido pelo órgão regulador.
- Planejamento de rotas de evacuação e locais de encontro seguros, com sinalização adequada. Quanto às políticas de barragens vigentes no Estado de São Paulo, ANA (que publicou a Resolução 236, de 30 de janeiro de 2017), e DAEE (que publicou a Portaria 3907, de 15 de dezembro de 2015, e atualizou em 27 de junho de 2017), são legalmente responsáveis, como agências reguladoras, por promover determinar o conteúdo mínimo dos PSBs e PAEs. No entanto, alguns aspectos ainda precisam ser definidos, deixando os proprietários de barragens se perguntando e muitas vezes forçados a adivinhar certos requisitos.

Os requisitos mínimos, de acordo com a Resolução ANA 236/2017 da ANA e a Portaria 3907 do DAEE são os seguintes:

- Apresentação e objetivo do PAE;
- Identificação e informações de contato das principais pessoas / organizações envolvidas (proprietário da barragem, coordenador principal do EAP e entidades a serem notificadas em caso de emergência);
- Descrição geral da barragem e estruturas associadas, incluindo rotas de acesso, características hidrológicas, geológicas e sísmicas da barragem e área circundante;
- Recursos materiais e logísticos disponíveis na barragem;
- Classificação de possíveis emergências e níveis de resposta associados;
- Meios e procedimentos de notificação (incluindo um fluxograma identificando cada entidade/pessoa a ser notificada) e o sistema de alerta de escolha.

- Responsabilidades de cada pessoa / entidade (principalmente o proprietário da barragem, coordenador principal do PAE, operadores de barragens e agência de gestão de emergência);
- Resumo do estudo de inundação do rompimento da barragem com mapas de inundação, localizando a zona de autossalvamento - ZAS e locais vulneráveis potencialmente afetados);
- Plano de treinamento;
- Meios e recursos disponíveis em caso de emergência de uma barragem;
- Formulários de emergência (início de emergência, contenção de emergência e notificação); e,
- Folha de controle de todas as entidades que receberam cópia do PAE. (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021).

Já a Portaria DAEE 3907/2015 (atualizada em 2017) referencia: a identificação e análise de possíveis situações de emergência; procedimentos para identificação e notificação de situações de mau funcionamento ou potencial rompimento de barragens; procedimentos preventivos e corretivos a serem tomados em situações de emergência, identificando o responsável por cada ação, estratégia e meios de divulgação e alerta para comunidades

3.3.5.1 Diretrizes para elaboração do PAE de acordo com a legislação atual

3.3.5.1.1 Treinamento e informações

Sobre o tema treinamento e prestação de informações às pessoas potencialmente afetadas, as diretrizes, assim como a Lei Federal 12.334/2010, carecem de informações sobre quem deve ser responsável por cada etapa do treinamento. O treinamento aqui se refere a, pelo menos, as seguintes etapas:

Treinamento interno: treinamento fornecido aos funcionários da empresa que trabalham diretamente com questões relacionadas a barragens, como a equipe de segurança de barragens, o coordenador do PAE, a equipe de comunicação externa, a equipe de monitoramento de barragens, etc.

Treinamento externo: treinamento envolvendo o pessoal da barragem com entidades externas, como agência reguladora, órgãos de proteção e defesa civil municipais e estaduais, instalações industriais potencialmente afetadas, pessoas potencialmente afetadas, etc.

Exercício de simulação completo: um exercício de simulação completo de uma emergência, incluindo o teste de sistemas de alarme e alerta, e uma simulação de uma emergência o mais próximo possível da realidade.

Por outro lado, a Lei Federal 12.334/2010 menciona em seu artigo 12, inciso IV, que o PAE deve incluir “programas de divulgação e capacitação dirigidos a todos os envolvidos, bem como às comunidades potencialmente afetadas, implementando exercícios recorrentes de simulação”. No entanto, não especifica quem deve ser responsável por isso (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021).

3.3.5.1.2 Rotas de evacuação e sistema de alerta

As rotas de evacuação são mencionadas nas diretrizes dos PLANCON Municipais, bem como nos PAEs. Certamente é necessário mapear as rotas de evacuação adequadas para proteger as pessoas potencialmente afetadas em caso de emergência, mas mais uma vez a Lei e as diretrizes não identificam explicitamente quem deve ser responsável por isso (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021).

Encarando do ponto de vista técnico, questiona-se a vantagem se as entidades de proteção e defesa civil, que detêm a expertise e a capacidade de constituir uma rede unificada de proteção e defesa em todo o país, elaborassem as rotas de evacuação. Além disso, o pessoal de proteção e defesa civil é aquele que atuaria diretamente em uma emergência. No entanto, a Lei Federal 12.334 menciona que as rotas de evacuação e pontos de segurança, com a sinalização adequada, devem ser incluídas no PAE. Por se tratar de um item que deve constar tanto dos PLANCON Municipais como do PAE, poderia ser entendido como uma corresponsabilidade, porém não é o que ocorre na prática (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021).

3.3.5.1.3 PAE x PLANCON

Um PLANCON é um documento elaborado pelo órgão municipal de proteção e defesa civil. Um PLANCON de barragem contém informações de preparação e

protocolos a serem seguidos em caso de incidente ou acidente em uma barragem que possa afetar a cidade. Ao contrário de um PAE, um PLANCON enfoca informações e procedimentos para pessoas e entidades externas ao pessoal técnico diretamente envolvido com a barragem. Já um PAE estabelece as ações a serem executadas pelo proprietário da barragem em caso de emergência, bem como identifica organizações externas e pessoas a serem notificadas sobre tal situação (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021). Ou seja, o PLANCON municipal estabelece ações a serem executadas pelos órgãos de proteção e defesa civil, e o PAE o faz para o proprietário da barragem (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021). Ambos os planos devem conter informações semelhantes, se não as mesmas. Por exemplo, as rotas de evacuação e detalhes do sistema de alarme e procedimentos de emergência devem ser incluídas em ambos os documentos, embora com objetivos diferentes. As informações são semelhantes ou equivalentes, entretanto, apresentam um problema ao se avaliar as diretrizes disponíveis em um primeiro momento, pois não é especificado quem deve ser responsável por elas (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021).

As diretrizes e respectivas legislações para a elaboração de ambos os documentos estão separadas, por se tratar de autoridades distintas. Isso, no entanto, promove um desalinhamento de informações e, reformula planos ruins e ineficazes (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021).

3.3.5.1.4 Mapa de inundação do rompimento da barragem

O mapa de inundações é uma ferramenta intuitiva, entende-se como um mapa que cobre áreas potencialmente inundadas devido a um evento de inundação, como o rompimento de uma barragem a montante. A PNSB (BRASIL, 2020) o define como:

Um produto do estudo de simulação de inundação, abrangendo a área georreferenciada potencialmente afetada por eventual vazamento, vazamento operacional ou rompimento de barragens, com suas possíveis situações correlacionadas, com o objetivo de facilitar uma notificação eficiente e evacuação de áreas potencialmente afetadas pelo evento.

É uma definição clara e concisa que está diretamente ligada à necessidade de salvar as pessoas que vivem em áreas potencialmente afetadas, tornando o mapa de inundações um importante ativo a ser considerado no planejamento de medidas de segurança preventivas e paliativas. No entanto, não há menção em

nenhum dos regulamentos de segurança de barragens sobre a extensão do mapa de inundações (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021).

O “Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens” publicado pela ANA, em 2016, sugere que para pequenas barragens, deve ser suficiente uma extensão máxima de 20 quilômetros a jusante, a menos que as construções ou estradas estejam localizadas ao longo das margens do curso de água. Quanto às grandes barragens, recomenda que as barreiras palpáveis sejam as mais adequadas, sendo, em geral, saídas (curso de água para o oceano, curso de água para curso de água maior ou reservatório de água). O guia também sugere arbitrar um risco aceitável para determinar a extensão do mapa de inundação (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021).

É aconselhável que sejam definidos métodos mais precisos para determinar a extensão do mapa de inundações, com base em argumentos técnicos e em discussão adequada com os órgãos de proteção e defesa civil (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021). Conforme descrito por De Carvalho (2019), o PAE da barragem de Fundão não incorporou adequadamente os riscos aos quais a população a jusante estava sujeita, visto que o documento elaborado e submetido aos órgãos fiscalizadores informava uma extensão da lama de apenas 2,5 km, em caso de ruptura. Como é de conhecimento geral, os rejeitos decorrentes do rompimento da barragem contaminaram cerca de 700 km.

McConnell and Drennan (2006) ⁷ *apud* (LUMBROSO; DAVISON; BODY; PETKOVŠEK, 2021) descrevem o pensamento de muitas organizações acerca de eventos que possuem baixa probabilidade de ocorrência, embora com dano associado muito elevado, como algo que não irá nunca ocorrer. Isso reflete na ineficiência dos planos de emergência elaborados (são geralmente realizados por determinação legal), que consideram os cenários mais graves sempre como cenários puramente hipotéticos, fazendo com que acidentes que nunca aconteceram antes (por sua baixa probabilidade), cheguem a ocorrer em um determinado momento.

A ineficácia de plano de emergência não está restrita ao Brasil, porém faz parte da concepção de diversas culturas da impossibilidade de ocorrência de um acidente de grandes dimensões. (LUMBROSO; DAVISON; BODY; PETKOVŠEK, 2021) indica

⁷ McConnell, A. and Drennan, L.: **Mission impossible? Planning and preparing for a crisis**, J. Contingen. Cris. Manage., 14, 59–70, 2006.

que, por exemplo, na França e no Reino Unido, a utilização de ferramentas para avaliar tempos de evacuação e perdas de vida por inundações de diversas origens são raramente utilizados pelos elaboradores dos planos de emergência. Assim, ferramentas robustas que poderiam ser empregadas para redução do Risco e, conseqüentemente, aumento da segurança, não são utilizadas para a construção de um plano de emergência mais eficaz. Isso é especialmente sensível na avaliação quantitativa do risco para posterior emprego de medidas eficazes de sua redução.

É senso comum que o emprego de ferramentas para a redução de conseqüências desastrosas para uma estrutura de alto dano potencial associado (as próprias barragens, aviões, usinas nucleares, etc.) seja incentivado. No entanto, esse “senso comum” só surge a partir de desastres históricos, como o acidente nuclear de Chernobyl e uma série de acidentes aéreos.

Assim, uma das principais ferramentas para a condução eficaz de planos de ação emergenciais de barragens é a ultrapassagem da visão existente sobre a perenidade da estrutura das barragens, porém sem acarretar a percepção exacerbada do risco, ou seja, a sensação de medo constante daquela estrutura, que também não é desejável. Por isso, se faz tão necessário o fomento à cultura da segurança de barragens, pois permitirá a vigilância da sociedade em relação a essas estruturas e, conseqüentemente, a exigência que órgãos reguladores, fiscalizadores, empreendedores e outros atores responsáveis realizem adequadamente as ações que garantam a máxima segurança possível associado as barragens, sempre considerando as particularidades da realidade local.

Para que os planos de emergência sejam eficazes, é importante que eles incorporem a previsão sobre a natureza mutante do risco e facilitem a ação baseada em evidências, antes que as pessoas sejam prejudicadas. Em termos de salvaguarda de vidas humanas, é importante determinar adequadamente as áreas potencialmente afetadas a jusante das barragens para que ações adequadas de gestão de emergência possam ocorrer, bem como fornecer informações e treinamento para pessoas em perigo em caso de emergência relacionada a barragens. Os tipos de construções em áreas potencialmente inundáveis também devem ser considerados. A ruptura de uma barragem a montante de uma pequena cidade teria efeitos diferentes e exigiria ações diferentes de uma barragem a montante de uma usina nuclear, por exemplo (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021).

Frequentemente, falta uma definição adequada das áreas a jusante das barragens. Isso pode ser devido às políticas em alguns países que atribuem a salvaguarda das áreas a jusante a entidades nacionais ou locais de gestão de emergências, tornando o proprietário da barragem exclusivamente responsável pela manutenção adequada e funcionamento da estrutura. No entanto, esse não é o caso no Brasil, uma vez que o proprietário da barragem é o principal responsável por muitos dos procedimentos de preparação e mitigação para emergências (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021).

3.3.5.1.5 Área do rio, zona de autossalvamento (ZAS) e zona de segurança secundária (ZSS)

Ao produzir um mapa de inundação de ruptura de barragem, é necessário determinar as áreas potencialmente afetadas, a extensão do mapa de inundação, a zona de autossalvamento e a zona de segurança secundária (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021).

As áreas potencialmente afetadas podem ser divididas em duas áreas: áreas diretamente impactadas (ADI) e indiretamente impactadas (AII). A ADI é a área potencialmente afetada diretamente no caso de rompimento de uma barragem, tanto a jusante quanto a montante; é também a área que deve ser incluída no mapa de inundação do rompimento da barragem. O documento desenvolvido pelo Ministério da Integração Nacional do Brasil, em 2016, intitulado "Diretrizes de Apoio à Elaboração de Planos Municipais de Contingência para Barragens", recomenda que a ADI seja definida pela extensão da água transbordada ou material fora do leito do rio a jusante da barragem. Nessa área, onde quer que haja pessoas, é necessário um planejamento de evacuação, que deve ser inserido nos Planos de Contingência Municipais. O Guia do Ministério da Integração Nacional não define os níveis de água, portanto, presume-se que se refere a um nível de água em fase de transbordamento (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021).

Apesar de tentar fornecer orientações adequadas, o Guia do Ministério fornece instruções para a elaboração de Planos de Contingência Municipais e não Planos de Ação Emergencial para barragens. Por outro lado, a Lei Federal 12.334 determina que tanto o PAE quanto os Planos de Contingência Municipais sejam elaborados simultaneamente e com informações compartilhadas e complementares, portanto, em

um nível parcial, as diretrizes do Ministério também devem ser aplicadas aos PAEs (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021).

A zona de autossalvamento é definida como “a porção do vale a jusante da barragem onde não deve haver tempo suficiente para a autoridade competente agir em caso de emergência, definida de acordo com o mapa de inundações” (Lei Federal 12.334/2010, revisada em 2020). Costumava ser descrito na Resolução ANA n.º 236/2017 como:

a porção do vale a jusante em que o alerta está sob a responsabilidade do proprietário da barragem, já que provavelmente não haverá tempo suficiente para as autoridades competentes ajudarem em caso de emergência. Deve ser considerada como a área potencialmente afetada no tempo de viagem de uma onda de inundação potencial dentro de 30 minutos ou 10 km a jusante (FUKASE, 2021; FUKASE; BISPO, 2021).

3.3.5.1.6 Modelo de Segurança de Vida (LSM)

O emprego de modelos para estimativa de risco a vida humana e a infraestrutura de um rompimento de barragem já é de conhecimento e de utilização por diversos atores. Alguns modelos mais simples, como os desenvolvidos pelo USBR (GRAHAM, 1999; USBR, 2014), são usados para uma avaliação estática do risco imposto pelas barragens à população a jusante. Entretanto, (LUMBROSO; DAVISON; BODY; PETKOVŠEK, 2021) afirmam que esses não podem ser empregados em formulação de planos de emergência por suas limitações (geralmente os modelos são baseados em um conjunto de dados limitados, incluindo poucas barragens grandes), mas sim serem utilizados como uma ferramenta de triagem para priorização das estruturas que impõem um maior risco.

Nesse contexto, surgem os modelos denominados “modelos baseados em agente”, que conseguem simular cada pessoa, edifício e veículo em risco e sua interação com a inundação, podendo ser uma ferramenta útil por meio da qual o planejamento de emergência pode ser melhorado, reduzindo, por conseguinte, a perda de vidas e lesões a pessoas causadas por inundações (LUMBROSO; DAVISON; BODY; PETKOVŠEK, 2021).

Os modelos baseados em agentes geralmente custam muito mais para a sua utilização do que outros métodos empíricos, sendo, portanto, mais custoso aos empreendedores. Porém, a capacidade de simular cada pessoa é difícil, veiculando que estão expostas ao risco e a sua interação, contribuindo com a construção dos planos de emergência, principalmente em relação às medidas de evacuação.

Um exemplo interessante foi o emprego desse tipo de modelo para planejamento de evacuação em casos de *tsunamis*, demonstrando que ainda que em situações de curto tempo de evacuação, o fornecimento de alerta rápidos à população são úteis para o salvamento de vidas, desde que a população seja treinada previamente e saiba sua rota de fuga NATIONAL RESEARCH COUNCIL, (2011)⁸ apud LUMBROSO (LUMBROSO; DAVISON; BODY; PETKOVŠEK, 2021).

Veremos como se dá o modelo denominado *Life Safety Model* (LSM), concebido pela *BC Hydro* e pelo Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá, em 2002. Esse modelo permite representar o comportamento dinâmico de cada pessoa exposta ao risco com o objetivo final de redução desse risco e melhoria do planejamento das Emergências. Além disso, relaciona o dano e o possível colapso de edificações segundo a velocidade e a profundidade do escoamento, ou seja, do risco hidrodinâmico.

(LUMBROSO; DAVISON; BODY; PETKOVŠEK, 2021) utilizou o LSM para realizar um exercício relacionado à barragem da mina do Córrego do feijão, em Brumadinho. Segundo o estudo, se não houvesse nenhum aviso, 456 pessoas, das 502 pessoas expostas ao risco, seriam mortas. Na hipótese de aviso imediatamente após o rompimento, e considerando o tempo de reação das pessoas igual a um minuto, e a existência de um treinamento prévio de evacuação, ocorreria 354 mortes. Na hipótese do acionamento do alarme 05 minutos antes da ruptura, haveria uma redução de até 270 mortes. Se o aviso ocorre 15 minutos antes, o número de mortes poderia chegar a zero. A Figura 38 representa as pessoas expostas e o grau de injúria imposto a elas. No caso do evento real, ouvir uma combinação entre os cenários de total desconhecimento no local da mineração e um aviso informal após o acidente a população a jusante, estando mais informado quanto mais distante da barragem a população se localiza. Uma comparação pode ser feita com o alerta sonoro ecoado em 27 de janeiro de 2019, apenas dois dias após o desastre. As sirenes soaram em decorrência de receios em relação à estabilidade da barragem VI, adjacente a barragem que rompeu, o emprego da estratégia de alarme resultou numa remoção de 24 mil residentes a jusante, com sucesso.

⁸ National Research Council: **Tsunami warning and preparedness: An assessment of the US tsunami program and the nation's preparedness efforts**. The National Academies Press, Washington, D.C., USA, <https://doi.org/10.17226/12628>, 2011.

A modelagem LSM considera rotas de evacuação por caminhos só acessíveis a pedestres, assim como estradas, para avaliar a dinâmica de trânsito em locais com diferentes possibilidades de locomoção. A dinâmica do modelo permite que, à medida que a inundação alcance as rotas de fuga, esta seja alterada, sempre buscando o percurso mais curto, denominado também de caminho de menor custo (LUMBROSO; DAVISON; BODY; PETKOVŠEK, 2021). Assim, por mais que seja impossível estimar o número exato de mortes (e esse não ser o foco), o LSM permite estudar as intervenções possíveis na gestão de emergências com o intuito de preservar a vida, caso o acidente se materialize LUMBROSO; DAVISON, (2018)⁹ *apud* (LUMBROSO; DAVISON; BODY; PETKOVŠEK, 2021).

Figura 38 - Resultados da modelagem LSM mostrando a distribuição de fatalidades modeladas para o incidente de janeiro de 2019.

Fonte: (LUMBROSO; DAVISON; BODY; PETKOVŠEK, 2021).

⁹ LUMBROSO, D.; DAVISON, M. Use of an agent-based model and Monte Carlo analysis to estimate the effectiveness of emergency management interventions to reduce loss of life during extreme floods. **Journal of Flood Risk Management**, v. 11, p. S419-S433, 2018.

4 ESTUDOS DE CASO

4.1 Embasa

Segundo o Relatório de Segurança de Barragens (2019), elaborado pela ANA, o número total de empreendedores com barragens sujeitas à PNSB é 2.399. Em 2018, o empreendedor com maior número de barragens cadastradas era o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), com 247 barragens. Outros empreendedores com elevado número de barragens eram a VALE S/A (120 Barragens), COGERH/CE (93 barragens), SEIRHMA/PB (71 barragens), CODEVASF (52 barragens), COMPESA (39 barragens) e EMBASA (27 barragens)(ANA, 2019). Fiscalizadas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA, atualmente todas as barragens administradas pela Embasa apresentam baixo ou médio risco, conforme o último Relatório Nacional de Segurança de Barragens publicado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)(EMBASA, 2019a).

Quadro 21 - Legislação correlata à gestão de segurança de barragens no estado da Bahia

Legislação	Ementa
Resolução CEPRAM 3.702, de 24 de novembro de 2006	Aprova a Norma Técnica NT-005/2006 e seus Anexos, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de barragem, no estado da Bahia.
Portaria INEMA 16.481, de 11 de julho de 2018	Estabelece o prazo de execução, a periodicidade de atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, da Revisão Periódica de Segurança da Barragem e do Plano de Ação de Emergência conforme art.8º, 10, 11 e 12 da Lei Federal nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens PNSB.

Portaria INEMA 16.482, de 11 de julho de 2018	Estabelece a periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das Inspeções de Segurança Regulares e Especiais de barragens de acumulação de água e resíduo industrial, conforme art. 9º da Lei Federal nº 12.334 de 20 de setembro de 2010.
Portaria INEMA 19.452, de 01 de novembro de 2019	Estabelece critérios para implantação de sistema de medição para monitoramento dos usos e intervenções em recursos hídricos visando à adoção de medidas de controle no estado da Bahia.

Fonte: (FERRARA; BARROS; MIRANDA, 2021).

A Embasa opera 132 barragens, sendo, em sua maioria, pequenas elevações de nível. As 27 estruturas enquadradas na PNSB, segundo a RSB, apresentam baixo ou médio risco (EMBASA, 2019b). A Gerência de Mananciais e Segurança de Barragens (TSAB), vinculada à Unidade Socioambiental da Diretoria Técnica e de Planejamento, elabora e executa diretrizes para auxílio à gestão empreendimento da empresa, foi criada em decorrência da PNSB (EMBASA, 2019b). Antes dela, apenas a Gerência de Captação e Adução da Região Metropolitana de Salvador (MPPC) operava e mantinha as suas barragens e dava suporte às áreas operacionais do interior, caso necessário.

Quadro 22 - Distribuição das barragens por Diretoria

Diretoria Metropolitana (07)	Diretoria Norte (06)	Diretoria Sul (14)
Cobre	Aipim	Água Fria I
Ipitanga I	Prata	Água Fria II
Ipitanga II	Cachoeira Grande	Aracatu
Pituaçu	Itapicuruzinho	Brumado
Joanes I	Mulungu do Morro	Criciúma
Joanes II	Lestes	Cristalândia
Santa Helena	-	Iguape
-	-	Piau
-	-	Rio da Dona
-	-	Riacho Santana
-	-	Serra Preta
-	-	Tapera
-	-	Floresta Azul
-	-	Lagoa da Torta

Fonte: (EMBASA, 2019a).

A TSAB, composta por 02 engenheiros sanitaristas com especialização em Segurança de Barragens, 2 engenheiros civis e 1 técnica em edificação, é responsável pelas ações voltadas ao atendimento à PNSB (LANDIM, 201-), com destaque para a elaboração da RPSB, condução das ISR, elaboração e implantação do PAE e planos de contingência. Para as barragens reguladas pela PNSB, a TSAB é apoiada por 09 equipes de áreas operacionais, compostas por engenheiros/técnicos.

A elaboração dos documentos vinculados à PNSB é organizada da seguinte forma: a RPSB é realizada por consultoria externa, sendo 10 estruturas com a revisão finalizada e 17 estruturas em fase de elaboração, com previsão de conclusão em 2022, atendendo cronograma pactuado com o Inema. Os demais volumes do PSB são elaborados pela TSAB, sendo os planos das barragens Pituaçu, Joanes I, Jones II, Pitanga I, Pitanga II, Santa Helena e Cobre, já finalizados e em fase de validação interna.

4.1.1 Histórico de acidentes e incidentes na área de barragens

A barragem Santa Helena, localizada no município de Camaçari, Região Metropolitana de Salvador, foi construída em 1979 com a finalidade de abastecimento humano. A estrutura barra o Rio Jacuípe atende os municípios de Salvador, Lauro de Freitas, Simões Filho, Candeias, São Francisco do Conde e Madre de Deus (VIEIRA, 2018). A barragem de terra homogênea com dreno vertical de areia, barra um reservatório de 241 hm³, possui comprimento do coroamento de 260 m, duas comportas, vertedor com 21,5 m e capacidade de escoar até 1.750 m³/s (VIEIRA, 2018).

A região a jusante da barragem possui vegetação de médio e grande porte, sendo reconhecida por sua grande beleza cênica e áreas de proteção ambiental. Próximo à foz do rio, a área se torna intensamente urbanizada e populosa e se destaca pelo turismo praiano como uma das principais atividades econômicas (VIEIRA, 2018). A empresa apresenta histórico de ruptura de barragens. Em 1985 a barragem Santa Helena rompeu (Figura 39), inundando o seu vale a jusante até a foz, impactando os municípios de Arembepe, Barra do Jacuípe e Lagoa grande. Apesar de não terem sido registradas fatalidades, graças ao sistema de alerta iniciado horas antes do rompimento e da atuação dos comandos da Marinha, Exército, Aeronáutica e

Prefeitura local, o evento causou grande impacto ambiental, econômico e social (A TARDE (1985) *apud* (MENEZES, 2016)). Segundo o engenheiro Lúcio Landim da TSAB:

Santa Helena, que é a maior barragem em termos de volume de acumulação com 241 hm³, rompeu em 1985 e o incidente ocorreu, principalmente, por questões de projeto na definição da cota de fundação da estrutura extravasora. Na ruptura de 1985 não tivemos nenhum impacto como perdas de vidas, pois houve tempo da população a jusante ser avisada [...]. Reconstruída em 2000, a equipe de operação e manutenção da barragem, mesmo antes do incidente, sempre adotou as melhores práticas.

Especialistas indicaram que o rompimento se deu em decorrência do aumento do nível do rio a jusante do barramento acima do previsto em projeto, ocasionando uma subpressão na laje do canal sangradouro e, conseqüentemente, seu colapso SSRH (1985)¹⁰ *apud* (VIEIRA, 2018).

Figura 39 - vista da ombreira esquerda da barragem após sua ruptura.

Fonte: SSRH (1985) ¹¹ *apud* (MENEZES, 2016).

A reconstrução da barragem entre 2001 e 2005, possibilitou sua utilização para abastecimento de água de toda a Região Metropolitana de Salvador (VIEIRA, 2018).

¹⁰ SSRH, SECRETARIA DO SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DA BAHIA - SSRH. **Acidente com a barragem de Santa Helena**. Salvador: LYRA et al. (Junta de consultores), 1985.

¹¹ SSRH, SECRETARIA DO SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DA BAHIA - SSRH. **Acidente com a barragem de Santa Helena**. Salvador: LYRA et al. (Junta de consultores), 1985.

As obras contemplaram a estabilização do talude da ombreira esquerda e recomposição vegetal (EMBASA, 2019b). Está em curso ações em diversas frentes com o foco no aumento da garantia da segurança da estrutura, tais como: obras de recuperação para estabilização da encosta, já efetuada; ampliação e readequação do sistema de drenagem interno; mapeamento das barragens para acompanhamento de recalques e movimentações e elaboração de implantação de telemetria do nível do reservatório, vazões afluentes ao reservatório e de piezômetros para otimização operacional de outras barragens, inicialmente, as da RMS e Recôncavo Sul (FONSECA; MEIRA, 2021).

4.1.2 Meio Ambiente e barragens

A companhia possui 17 reservatórios (e barragens) localizados em área de alto valor de biodiversidade, segundo a classificação de Áreas Prioritárias para Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade no Estado da Bahia. A participação da Embasa em comitês e conselhos gestores vinculados a essas áreas promove o planejamento e implementação de ações de recuperação e proteção necessárias (EMBASA, 2019b).

A Figura 40 indica no mapa os reservatórios contidos em áreas protegidas e/ou localizadas em áreas de alto valor de biodiversidade. Destaque para os reservatórios formados pelas barragens Aipim, Prata, Itapicuruzinho, Tapera, Pituaçu, Serra Preta, Piau e Santa Helena. Este último ocupa uma área de 40,30 km².

Figura 40 – Unidades operacionais em áreas protegidas e/ou localizadas em áreas de alto valor de biodiversidade.

Todas as áreas superficiais foram desapropriadas pela Embasa/Governo do Estado da Bahia. As Áreas de Proteção Ambiental (APAs) são de uso sustentável. A classificação da importância biológica foi realizada conforme o mapeamento de Áreas Prioritárias para Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade no Estado da Bahia. O mapa está disponível no Geobahia (<http://geobahia.inema.ba.gov.br>).

Fonte: (EMBASA, 2019b).

Outras ações desenvolvidas para a melhoria contínua da operação da empresa e bem-estar da população impactadas pelas ações e empreendimento da companhia é a implantação do seu Sistema de Gestão Ambiental (SGA), cuja elaboração teve início em 2019, e que tem por objetivo a melhoria do padrão de gestão ambiental em seus processos, seja em sua operação ordinária, seja na tomada de decisão da alta direção da companhia (EMBASA, 2019b).

4.1.3 Planos, procedimentos, registros e controles

A Embasa, por meio dos Planos de Operação Padrão (POP), sempre realizou procedimentos de monitoramento das suas estruturas. Hoje os POPs estão sendo atualizados e adequados aos PSB elaborados pela TSAB (FONSECA; MEIRA, 2021).

A TSAB, desde 2013, semanalmente repassa à área operacional da Companhia, INEMA, Casa Civil e Secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento da Bahia (SIHS) as simulações hidrológicas dos reservatórios mais relevantes para os sistemas de abastecimento operados pela Embasa, contendo dados como o volume acumulado e a autonomia para abastecimento de cada reservatório.

São monitoradas 25 barragens, das quais 15 são operadas pela Embasa e alimentam os sistemas da Região Metropolitana de Salvador, Feira de Santana, Vitória da Conquista, Santo Antônio de Jesus, Zona Fumageira, Adutora do Sisal e Senhor do Bonfim. As simulações dos níveis dos reservatórios são realizadas em planilha. Novas ações para implantação de sistema para a realização de simulações hidrológicas dos principais reservatórios e elaboração de cenários de criticidade para as demais captações, buscando informações existentes de estações hidrometeorológicas em operação (FONSECA; MEIRA, 2021).

Não há acordo de cooperação formal com as outras empresas, entretanto, desde que o estado enfrentou, em 2012/2014, o pior cenário de seca registrado nas últimas décadas, houve a instauração de um comitê de seca pela Casa Civil do Governo da Bahia e, desde então, o monitoramento dos reservatórios entre os órgãos está sendo compartilhado (Tabela 7) (FONSECA; MEIRA, 2021).

A rede telemétrica existente na Embasa em grande parte está voltada ao apoio operacional do sistema de abastecimento da Região Metropolitana de Salvador (RMS), principalmente para controle de níveis dos reservatórios de distribuição, controle de elevatórias e pressão na rede de distribuição. Atualmente há uma ampliação da rede telemétrica para as estruturas do interior.

Em abril de 2018, o sistema utilizado para o monitoramento ganhou um novo módulo, criado pela Gerência de Geoprocessamento (FTIG), em que cada barragem é mapeada com uma cor específica, a depender do seu nível de volume de água(%) em alto, médio e baixo (EMBASA, 2019b). Esse módulo disponibiliza na rede interna o volume do reservatório e sua situação, em termos de autonomia de atendimento às demandas dos principais sistemas operados. Utiliza-se, como fonte de informação, as

simulações hidrológicas e monitoramento elaboradas pela TSAB semanalmente (FONSECA; MEIRA, 2021).

As inspeções de segurança regular (ISR) são realizadas pela TSAB, respeitando uma frequência de 06 (seis) meses. Anualmente, a compilação dos relatórios destas ISR é encaminhada ao fiscalizador, INEMA. As inspeções rotineiras são realizadas pela equipe local e tem por objetivo monitorar a evolução ou o surgimento de novas anomalias. As ISE são realizadas por equipe de consultores, contratados pela EMBASA para a condução das revisões periódicas. As anomalias identificadas têm como a área operacional a responsável pela sua correção (LANDIM, 201-).

Tabela 7 - Resumo das simulações hidrológicas das barragens da EMBASA

BARRAGENS	ÓRGÃOS	DATA	COTA (m)	VOLUME ATUAL (m³)	ELEVAÇÃO (em relação 08/03/2021)	VOLUME TOTAL (%)	VOLUME ÚTIL (%)	VOLUME MÁXIMO (m³)	VOLUME MÍNIMO (m³)	AUTONOMIA (dias)	PERÍODO DE CHUVAS	OBSERVAÇÃO
Apertado	CERB	15/03/21	1013,94	71.562.010	-0,11	65,84 %	64,91 %	108.694.100	2.884.750	385	nov./fev.	NORMAL
Bandeira de Melo	CERB	15/03/21	298,75	112.615.000	-0,07	100,92 %	100,96 %	111.590.000	5.030.000	360	nov./fev.	NORMAL
Pedra do Cavalo	CERB	14/03/21	113,26	3.642.411.400	-0,08	68,34 %	34,19 %	5.329.880.000	2.765.650.000	330 (para cota 108)	nov./fev.	NORMAL
Santa Helena	EMBA SA	15/03/21	19,72	227.560.000	-0,09	94,42 %	87,56 %	241.000.000	133.000.000	345	abr./jul.	NORMAL
Joanes 2	EMBA SA	15/03/21	29,36	116.516.000	-0,17	84,74 %	77,86 %	137.500.000	42.700.000	345	abr./jul.	NORMAL
Joanes 1	EMBA SA	15/03/21	15,86	18.104.000	-0,06	95,28 %	89,82 %	19.000.000	10.200.000	380	abr./jul.	NORMAL
Luís Vieira	DNOC S	11/03/21	1023,63	86.532.000	-0,04	82,41 %	79,48 %	105.000.000	15.010.000	500	nov./fev.	NORMAL
Anagé	DNOC S	10/03/21	402,21	99.297.000	-0,02	38,84 %	36,68 %	255.630.000	8.730.000	420	nov./fev.	NORMAL
Champrão	DNOC S	10/03/21	699,06	4.652.396	0,06	77,77 %	77,65 %	5.982.050	32.875	400	nov./fev.	NORMAL

Fonte: (FONSECA; MEIRA, 2021).

4.1.4 Adoção do Índice Corporativo de Controle de Anomalias

Após 07 anos de implantação da PNSB, a Embasa constatou que o quantitativo de anomalias identificadas ou permaneceu constante, ou se elevou, demonstrando a necessidade de uma ação mais contundente para o tratamento das anomalias identificadas, estabelecendo metas para correção de anomalias para o ano seguinte. A empresa, por meio da TSAB, desenvolveu uma metodologia própria, complementar à *Ficha de Inspeção de Barragem*, proposta pela ANA, e amplamente utilizada nas inspeções de barragens realizadas no país.

O objetivo principal do índice de controle de anomalias é fomentar, promover e internalizar a cultura de segurança de barragens na Embasa, assim como indicar a criticidade das anomalias identificadas, o nível de resposta esperado e as ações corretivas a serem executadas, com o intuito final da manutenção do bom estado de conservação das barragens ou da recuperação destas (FONSECA, 2018).

O Índice Corporativo de Controle de Anomalias, elaborado e realizado pela TSAB desde 2017, permitiu um direcionamento padronizado das tratativas para a correção das anomalias de forma imediata, caso o nível de perigo da anomalia (NPA) seja de EMERGÊNCIA, bem como a definição de uma proposta para a redução consistente do nível de perigo global da barragem (NPGB), a ser realizada anualmente.

A ANA estabelece alguns pontos principais a serem considerados em relação às anomalias:

- Situação: reflete a evolução temporal da anomalia em relação a sua dimensão (tamanho ou amplitude);
- Magnitude: dimensão (tamanho ou amplitude) da anomalia;
- Nível de perigo da anomalia (NPA): perigo incorrido à barragem em decorrência da anomalia identificada e sua magnitude;
- Nível de perigo global da barragem (NPGB): perigo incorrido à barragem em decorrência do efeito conjugado das anomalias.

Essa interpretação quantitativa da percepção do risco é uma ferramenta interessante e prática para os empreendedores iniciarem as suas tomadas de decisão baseadas no risco. Observa-se no Quadro 23 um exemplo ilustrativo com a barragem

Joanes I, a partir de sua ficha de inspeção. Esse quadro segue o modelo utilizado pela ANA, com um significado lexical do risco (a situação diminuiu e a magnitude é insignificante, por exemplo). A partir disso, a Embasa criou uma metodologia para valorar as características das anomalias registradas, com o fito de pontuar sua criticidade em relação ao risco estrutural imposto, o nível de resposta exigido e as ações a serem tomadas para saneamento do problema (FONSECA, 2018), adicionando valores numéricos à situação, magnitude e nível de perigo(Quadro 24).

Quadro 23 - Anomalias – Barragem de Joanes I em 17/03/2016.

Localização	Anomalias	Situação	Magnitude	Nível de Perigo	Ação	Foto
Bacia de dissipação	Presença de Vegetação	DI (diminuiu)	I (insignificante)	0	Monitorar a para vegetação não aumentar

Ombreira esquerda	Fuga D'água	PC (permaneceu constante)	I (insignificante)	1	Monitorar vazão de percolação
----------------------	----------------	---------------------------------	-----------------------	---	-------------------------------------	---

Foto:(FONSECA, 2018).

Quadro 24 - Valoração definida pela Embasa para a atribuição de nota.

Situação	Valor	Magnitude	Valor	Nível de Perigo	Valor
DS (anomalia desapareceu)	0	I (insignificante): anomalia que pode ser simplesmente mantida sob observação pela administração local	0,0	0 – não compromete a segurança da barragem, mas que pode ser entendida como descaso e má conservação.	1,0
DI (anomalia diminuiu)	0,5	P (pequena): anomalia que pode ser resolvida pela própria equipe local da barragem	1,0	1 – não compromete a segurança da barragem a curto prazo, mas deve ser controlada e monitorada ao longo do tempo.	3,0
PV (anomalia constatada pela primeira vez)	1,0	M (média): anomalia que pode ser resolvida pela equipe local da barragem com apoio da equipe sede do empreendedor ou apoio externo.	3,0	2 – risco à segurança da barragem, devem ser tomadas providências para a eliminação do problema	5,0
PC (anomalia permaneceu constante)	1,5	G (grande): anomalia que só pode ser	5,0	3 – risco de ruptura iminente, situação fora de controle.	10,0

		resolvida pela equipe sede do empreendedor ou apoio externo			
AU (anomalia aumentou)	2,0	-	-	-	-

Fonte: adaptado de (FONSECA, 2018).

A atribuição da nota à anomalia é dada pela fórmula (LANDIM, 201-):

$$\text{Nota da anomalia} = \text{situação} \times (\text{magnitude} + \text{nível de perigo})$$

Nota-se que os maiores pesos estão relacionados ao NPA e que esse, conjugado ao efeito da magnitude, fornece um risco a ser potencializado pela situação.

O Nível de Resposta se dá em função do valor da Nota Atribuída a cada anomalia, conforme Quadro 25 (LANDIM, 201-):

Quadro 25 - Nível de resposta de cada anomalia.

Nível de Resposta		Definição	Ação
< 5	NORMAL	o risco desta anomalia é insignificante, entretanto, a não execução de ações específicas passa a impressão de descaso e má conservação	-
5 ≤ anomalia < 10	ATENÇÃO	o risco desta anomalia é pequeno, entretanto, as equipes locais devem acompanhar a sua evolução e, da mesma forma da classificação	-

Nível de Resposta		Definição	Ação
		anterior, a não execução de ações específicas passa a impressão de descaso e má conservação	
10 ≤ anomalia < 15	ALERTA	o risco desta anomalia já é mais significativo e pode evoluir para uma situação mais preocupante em caso de não ação	Estas anomalias devem ser tratadas com maior brevidade e geralmente dependem de projeto específico e do envolvimento de estâncias superiores para solução dos problemas
≥ 15	URGENTE	o risco desta anomalia já é bem significativo e pode evoluir para uma situação bem mais preocupante com risco real de ruptura em caso de não ação	Estas anomalias devem ser tratadas com maior brevidade e geralmente dependem de projeto específico e do envolvimento de estâncias superiores para solução dos problemas

Fonte: (LANDIM, 201-); (FONSECA, 2018).

O exemplo da barragem Joanes I ao aplicar a nota da anomalia e respectivo nível de resposta:

Quadro 26 - Anomalias – Barragem de Joanes I em 17/03/2016.

Localização	Anomalias	Situação	Magnitude	Nível de Perigo	Nota da anomalia	Ação	Foto

Bacia de dissipação	Presença de Vegetação	DI (0,5)	I (0,0)	0 (1,0)	0,5	Monitorar a para vegetação não aumentar
Ombreira esquerda	Fuga D'água	PC (1,5)	I (0,0)	1(3,0)	4,5	Monitorar vazão de percolação

Fonte: adaptado de (FONSECA, 2018).

Em função da Nota Atribuída e do Nível de Resposta é proposto que o Índice de Correção das Anomalias seja acompanhado por duas ações: eliminação das anomalias classificadas como *urgente* e redução com um percentual a ser definido anualmente pela Embasa (LANDIM, 201-).

Cada barragem, então, tem suas anomalias quantificadas segundo seu nível de resposta (normal, atenção, alerta e urgente). As anomalias indicadas como *urgente* devem ser tratadas e eliminadas no ano vigente. Além disso, cada superintendência da Embasa deve propor um percentual de redução das demais anomalias quantificadas. Em 2018 foi proposta uma redução 5% no somatório das anomalias enquadradas como Normal, Atenção e Alerta (LANDIM, 201-).

As tabelas abaixo indicam o cômputo total das anomalias para as superintendências Sul, Norte e Metropolitana.

A Embasa encaminha ao INEMA e à ANA os relatórios e extratos das ISR, indicando para cada barragem, as anomalias identificadas, sua localização, descrição, situação, magnitude, nível de perigo, fotos e ações previstas para sua correção.

A implantação e consolidação do índice de controle de anomalias como um indicador corporativo da Embasa, a ser dobrado para os setores responsáveis pela

operação manutenção e o TSAB, caracteriza-se como um instrumento relevante para o estímulo a melhoria da cultura interna de segurança e diminuição progressiva dos riscos associados as barragens da companhia (FONSECA, 2018).

Tabela 8 - Barragens pertencentes à Superintendência Sul.

REGIÃO	Unidade Responsável pela Operação	Quantitativo das Anomalias Identificadas nas barragens e respectivo nível de resposta				Subíndice do Somatório das Notas Obtidas		
		NORMAL	ATENÇÃO	ALERTA	URGENTE	Total das Anomalias	Somatório das Notas	Meta 2018
RIO DA DONA	USA	6,00	6,00	0,00	0,00	12,00	42,50	40,38
TAPERA	USA	5,00	2,00	0,00	0,00	7,00	20,50	19,48
PIAU	USA	3,00	5,00	2,00	0,00	10,00	60,00	57,00
ARACATU*	USC	3,00	5,00	0,00	1,00	9,00	52,00	35,15
BRUMADO*	USC	1,00	8,00	0,00	1,00	10,00	68,00	50,35
CRISTALÂNDIA	USC	2,00	4,00	0,00	0,00	6,00	26,50	25,18
LAGOA DA TORTA	USC	4,00	0,00	0,00	0,00	4,00	5,00	4,75
RIACHO DE SANTANA	USC	3,00	2,00	0,00	0,00	5,00	24,00	22,80
FLORESTA AZUL	USI	0,00	8,00	1,00	0,00	9,00	68,00	64,60
IGUAPE	USI	6,00	4,00	0,00	0,00	10,00	33,50	33,73
CRISCIUMA	USJ	2,00	4,00	0,00	0,00	6,00	27,50	26,13
ÁGUA FRIA I	USV	2,00	3,00	0,00	0,00	5,00	24,00	22,80
ÁGUA FRIA II	USV	7,00	4,00	0,00	0,00	11,00	46,00	43,70
SERRA PRETA	USV	3,00	5,00	2,00	0,00	10,00	59,00	56,05

SUPERINTENDÊNCIA SUL	IS	47,00	60,00	5,00	2,00	114,00	558,50	530,58
---------------------------------	-----------	--------------	--------------	-------------	-------------	---------------	---------------	---------------

Fonte: (FONSECA, 2018).

* Anomalias classificadas como urgentes tiveram o valor de 15 como pontuação.

Tabela 9 - Barragens pertencentes à Superintendência Norte. Fonte: (FONSECA, 2018).

REGIÃO	Unidade Responsável pela Operação	Quantitativo das Anomalias Identificadas nas barragens e respectivo nível de resposta				Subíndice do Somatório das Notas Obtidas		
		NORMAL	ATENÇÃO	ALERTA	URGENTE	Total das Anomalias	Somatório das Notas	Meta 2018
AIPIM	UNS	6,00	4,00	0,00	0,00	10,00	37,50	35,63
CACHOEIRA GRANDE	UNS	4,00	2,00	0,00	0,00	6,00	16,00	15,20
ITAPICURUZINHO	UNS	1,00	6,00	0,00	0,00	7,00	40,00	38,00
PRATA	UNS	4,00	10,00	0,00	0,00	14,00	68,00	64,60
LESTE	UNF	3,00	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00
MULUNGU DO MORRO	UNI	4,00	4,00	0,00	0,00	8,00	36,50	34,68
SUPERINTENDÊNCIA NORTE	IN	22,00	26,00	0,00	0,00	48,00	198,00	188,10

Fonte: (FONSECA, 2018).

Tabela 10 – Barragens pertencentes à Superintendência Metropolitana.

BARRAGEM	UNIDADE RESPONSÁVEL PELA OPERAÇÃO	Quantitativo das Anomalias Identificadas nas barragens e respectivo nível de resposta				Subíndice de correções das anomalias obrigatórias em 2018		
		NORMAL	ATENÇÃO	ALERTA	URGENTE	Total das Anomalias	Somatório das Notas	Meta 2018
COBRE	MPP	1,00	2,00	0,00	0,00	3,00	16,00	15,20
IPITANGA I	MPP	2,00	2,00	0,00	0,00	4,00	15,00	14,25
IPITANGA II	MPP	2,00	2,00	0,00	0,00	4,00	20,00	19,00
JOANES I	MPP	7,00	2,00	0,00	0,00	9,00	27,50	26,13
JOANES II	MPP	2,00	4,00	0,00	0,00	6,00	32,00	30,40
PITUAÇU	MPP	2,00	2,00	1,00	0,00	5,00	33,00	31,35
SANTA HELENA	MPP	3,00	5,00	0,00	0,00	8,00	39,00	37,05
SUPERINTENDÊNCIA METROPOLITANA	MP	19,00	19,00	1,00	0,00	39,00	182,50	173,38

Fonte: (FONSECA, 2018).

Tabela 11 – Cômputo das anomalias, por nível de resposta, de todas as superintendências da Embasa

REGIÃO	SUPERINTENDÊNCIA	Quantitativo das Anomalias Identificadas nas barragens e respectivo nível de resposta				Subíndice do Somatório das Notas Obtidas		
		NORMAL	ATENÇÃO	ALERTA	URGENTE	Total das Anomalias	Somatório das Notas	Meta 2018
SUL	IS	47,00	60,00	5,00	2,00	114,00	558,50	530,58
NORTE	IN	22,00	26,00	0,00	0,00	48,00	198,00	188,10
METROPOLITANA	MP	19,00	19,00	1,00	0,00	39,00	182,50	173,38
EMBASA	EMBASA	88,00	105,00	6,00	2,00	201,00	939,00	892,05

Fonte: (FONSECA, 2018).

4.1.5 Estudo de Caso - barragem Pituaçu

A barragem de Pituaçu, localizada em Salvador, foi construída em 1906, destinada a abastecer o município. A estrutura não mais utilizada para abastecimento, inserida em uma área de 660 hectares de remanescente de Mata Atlântica, deu origem a uma lagoa utilizada hoje para atividades de lazer (LANDIM, 201-). Em 1973, toda a área foi transformada no Parque Metropolitano de Pituaçu, com uma completa estrutura de lazer, incluindo pista de Cooper, píer, um centro comercial, bares, restaurantes e lanchonetes, além de esculturas do acervo do artista Mário Cravo (INEMA, 2021).

A região de construção da barragem não era habitada, porém a partir da década de 70, junto à expansão do uso residencial da região como área de lazer na classe média e alta soteropolitana, houve também uma intensificação da ocupação não-ordenada por uma população socialmente vulnerável, constituindo a comunidade Bate-Facho, que hoje possui cerca de 5.000 habitantes (TREUKE, 2019).

Figura 41- Vista de satélite da área do Parque Metropolitano de Pituaçu.

Fonte: (Google Earth, 2021).

Figura 42 - Vista de satélite da barragem de Pituaçu (em destaque) e vale imediatamente a jusante ocupado pela Comunidade do Bate-Facho

Fonte: (Google Earth, 2021).

A partir da verificação de uma fragilidade estrutural nos vertedouros da barragem, a presença de surgência de água no talude de jusante e da existência de uma comunidade denominada bate-facho imediatamente a jusante da estrutura, demandou uma atuação imediata pela Embasa, contemplando o reforço estrutural do vertedor e a implantação de um sistema interno de drenagem. A barragem, cuja estrutura foi recuperada em maio de 2016, ganhou reforço dos vertedouros e implantação de um novo sistema de drenagem interna (LANDIM, 201-).

Figura 43 – Etapas das obras de reforço estrutural do vertedouro da barragem Pituaçu

Fonte: (LANDIM, 201-).

A Embasa, paralela às obras de reforço estrutural, conduziu junto à Comunidade Bate-Facho e demais organismos e entes envolvidos, a implantação do Plano de Ação de Emergência da Barragem de Pituaçu (EMBASA, 2019a). A

implantação envolveu a instalação de sistema de alerta redundante, compreendendo sirenes, mensagens de voz, texto para celulares cadastrados e sinais luminosos. As rotas de fuga foram traçadas pela Defesa Civil do município de Salvador (CODESAL), que detém a *expertise* para a prevenção e resposta a situações de risco. Desde 2016, a CODESAL vem desenvolvendo ferramentas destinadas à gestão de áreas de risco, envolvendo a gestão do risco: identificação, prevenção e mitigação (CODESAL, 2021).

Composto por quatro Torres dotadas de sirenes, lanternas giratórias e auto falantes para emissão de mensagens de voz ao custo aproximado de R\$ 700.000, o sistema de alerta foi implantado com um alcance de cerca de 3 km a partir da barragem, impactando cerca de 10 mil habitantes, o seu acionamento é feito pela central de operação a partir da solicitação do Coordenador do PAE, caso este avalie a necessidade de avisar a população acerca de algum risco (FONSECA; MEIRA, 2021).

Em 2019, a Embasa e a CODESAL realizaram os treinamentos internos e externos do PAE da barragem Pituaçu, incluindo exercícios de simulação externa e esclarecimentos à comunidade do Bate-Facho com o auxílio de professores e lideranças comunitárias. O teste das sirenes envolveu a aferição da qualidade do som e das mensagens emitidas. As ações de sensibilização junto à população sempre são realizadas junto à Defesa Civil, o que confere uma maior adesão às ações do PAE (ANA, 2019).

Um aspecto relevante, porém, não previsto pela Embasa, foi a existência de um mecanismo de autodefesa do sistema das sirenes. Em julho de 2019, o “alarme de intrusão” contra depredação ou invasão do sistema foi ativado e os moradores da comunidade deixaram suas casas sob suspeita de que a barragem estivesse em uma situação de risco iminente (EMBASA, 2019b). Esse aspecto é muito importante ao se considerar a utilização das sirenes como alternativa de alerta. Casos semelhantes ocorreram com outras barragens, incorrendo em pânico da população localizada a jusante dessas estruturas: 04 de janeiro de 2020: uma sirene da barragem de rejeito da Anglo American, acionada no município de Conceição do Mato Dentro/MG. Na ocasião, a região que possui muitos idosos teve uma elevada incidência de atendimentos médicos em decorrência do sobressalto (LEITE, 2020); 08 de janeiro de 2021: sirenes da barragem Córrego do Sítio, pertencente à mineradora AngloGold

Ashanti, localizada em Santa Bárbara/MG, foram acionadas acidentalmente emitindo a mensagem “Atenção, atenção. Essa é uma situação real de emergência de rompimento de barragem. Dirijam-se para os pontos de encontro com segurança (DIA, 2021)”.

Figura 44 - Reunião com a comunidade de Bate Facho, em Salvador/BA.

Fonte: adaptado de (EMBASA, 2019a).

4.1.6 Custos associados à gestão de barragens

A EMBASA conta com investimentos consistentes na área de segurança de barragens. Entre os anos de 2016 e 2019 foram investidos cerca de R\$ 10,0 milhões em estudos, inspeção, manutenção e recuperação estrutural das barragens sob sua responsabilidade. A barragem de Santa Helena, umas das utilizadas para o abastecimento de água da Região Metropolitana de Salvador, foi um dos objetos do contrato de financiamento junto ao Banco do Nordeste do Brasil S.A. (BNB). As obras de melhoria na barragem custaram R\$ 3,8 milhões, e beneficiam indiretamente cerca de 3 milhões de pessoas.

A maioria dos estudos, tais como RPSB e PAE, foram licitados, entretanto, para as pequenas barragens não enquadradas na lei em que a área operacional solicita projetos de recuperação/ampliação ou implantação de novas barragens, tem-se a pretensão de elaborar um edital para contratação específica de elaboração destes projetos.

A construção da barragem de Catolé, no município de Barra do Choça, e as obras de melhoria nas barragens de Aracatu e Brumado – já contratadas, e nas barragens de Piaú, Serra Preta e Joanes I, compõem as ações em segurança de barragem previstas entre 2020 e 2023. A EMBASA, em seu *Relatório da*

administração, de Sustentabilidade e Demonstrações Financeiras (2019), declarou uma ampliação do valor a ser investido no aumento de sua segurança hídrica, contemplando obras de recuperação, implantação de sistemas de alerta, elaboração de novos PSB e ampliação da sua rede telemétrica (EMBASA, 2019a). A previsão de conclusão dos PSB ainda não elaborados, data para 2022, conforme cronograma acordado com o Inema (EMBASA, 2019b).

Também está em curso as obras para as barragens Ipiaú e Joanes I, cujos projetos já foram finalizados. No caso de Ipiaú foram identificados escorregamentos nas ombreiras a jusante da barragem. Inicialmente essa barragem também seria objeto de uma duplicação na seção de escoamento do canal extravasor, no entanto, os estudos hidrológicos e hidráulicos conduzidos pela RPSB indicaram que essa ação não se faz necessária. A obra tem previsão de licitação para 2022. Já para barragem Joanes I será reativada a descarga de fundo e a superfície do vertedor será recomposta. A licitação foi lançada em 2020, porém sem êxito, demandando da Embasa uma reavaliação orçamentária para o serviço.

A barragem Serra Preta Já possui a contratação de suas obras, estão apenas na pendência da emissão da ordem de serviço, atrasada em decorrência da pandemia de Covid. (FONSECA; MEIRA, 2021).

4.2 Sabesp

Destaca-se que as informações descritas a seguir se referem às barragens que abastecem a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), sob a gestão do Departamento de Recursos Hídricos Metropolitanos da Sabesp (MAR).

O histórico da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) na gestão de segurança de barragens data desde a década de 70, em decorrência da promulgação do Decreto Estadual n.º 10.752/1977, com a criação da área hoje conhecida como Departamento de Manutenção Estratégica (MME), destinada ao acompanhamento do comportamento das barragens da companhia. Nesta época, as estruturas do Sistema Cantareira estavam em construção.

Atuando desde a década de 70 junto ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), a Sabesp foi referência em diversas práticas exitosas no monitoramento de barragens. Ressalta-se o trabalho desenvolvido na elaboração de um índice interno

de criticidade das barragens, em 1992 (KUPERMAN; RE; FERREIRA; TUNG *et al.*, 2001), antecedendo em quase 20 anos a classificação das barragens pela PNSB.

A Companhia, no que concerne à sua atuação na RMSP, possui um rol de barragens que datam de antes da sua concepção como empresa, pertencentes à antiga Companhia Metropolitana de Água de São Paulo (COMASP), e incorporando empresas de antigos serviços autônomos de abastecimento, com vida útil variando de 10 a 90 anos. Isso faz com que, além de avaliar as especificidades próprias construtivas da barragem e das características hidrológicas e geotécnicas locais, também deve ser considerada a deterioração inerente ao longo da vida útil das estruturas.

Assim, a Sabesp, nos anos decorrentes à promulgação da PNSB, ajustou a sua operação e a sua gestão de segurança de barragens, de forma a alcançar os parâmetros determinados pela legislação, assim como garantir uma operação sadia das estruturas. Em 2014 a companhia iniciou a condução da Revisão Periódica de Segurança das barragens (RPSB) Jaguari, Jacareí e Cachoeira. Na ocasião, acreditava-se que, por compartilhar o reservatório com a barragem Jaguari, a barragem Jacareí seria regulada pela legislação federal. Porém, anos mais tarde foi definido que ela seria fiscalizada pelo DAEE, visto que o rio que dá o nome à barragem é estadual. A RPSB dessas três barragens foi finalizada em 2016 e indicou que as estruturas se encontram em bom estado, seguras do ponto de vista estrutural.

Neste mesmo período, em 2016, a equipe técnica interna da Sabesp, a partir do recebimento da classificação das barragens Jaguari e Cachoeira pela ANA, elaborou todos os demais volumes do PSB. O desenvolvimento desse PSB encontrou pontos interessante de melhoria na gestão, tanto do ponto de vista do arquivamento técnico, quanto da transcrição dos processos já sedimentados em procedimentos transcritos, que permitam o repasse do conhecimento e a busca da melhoria contínua.

O trabalho culminou com a entrega do PSB na data definida pela ANA. A elaboração das Informações Gerais — Volume 1, demandou a obtenção de algumas informações não corriqueiras à gestão de barragens no Brasil, tais como o estudo da taxa de esvaziamento do reservatório e a existência de estruturas extravasoras para descarga de grandes vazões para acionamento em situações de risco potencial de ruptura da barragem.

Essa primeira rodada de elaboração permitiu à equipe técnica da Sabesp adquirir novos conhecimentos sobre as práticas mundiais em gestão de segurança de barragens, permitindo um maior aprofundamento acerca das atividades relacionadas à avaliação, tomada de decisão em situações de potencial risco à barragem e gestão da emergência. Ressalta-se que a Sabesp há algum tempo vem, junto à Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil de São Paulo (CEPDEC) e as coordenadorias municipais de defesa civil, elaborando e atualizando os planos de contingência municipais para situações de cheias nos municípios a jusante das barragens do sistema Cantareira, uma das situações abarcadas no plano de ação emergencial (PAE). Assim, a Sabesp adicionou à primeira versão do PAE informações obtidas a partir do histórico de operação dessas estruturas e dos simulados já realizados junto à Defesa Civil desde o ano de 2006. Frisa-se que esses simulados ficaram restritos às estruturas do Sistema Cantareira, uma vez que os municípios a jusante desses reservatórios possuíam diversas áreas expostas a inundações em momentos de chuvas intensas.

Em 1977, o Decreto Estadual n.º 10.752 dispôs sobre a realização de auditoria técnica às autarquias e Companhia, cujo capital o estado de São Paulo tenha a participação majoritária, desse modo, a gestão de segurança de barragens na Sabesp acompanhou o processo desde esta promulgação. Em 1978 a Sabesp firmou convênio com o IPT para a condução de um programa de inspeções de campo e análise da instrumentação. Nesse mesmo ano iniciaram-se as inspeções de segurança de barragens pela atualmente chamada Superintendência de Manutenção Estratégica (MM).

Em 1980, iniciaram-se as leituras dos instrumentos de auscultação pela equipe técnica do atual Departamento de Recursos Hídricos Metropolitanos (MAR). Já no final da década de 80, em 1989, a MME implantou a primeira versão do sistema gerenciador de instrumentação de barragens (GIB).

Entre 1991 e 1994 foi conduzido o desenvolvimento de procedimentos de vistoria, diagnósticos e elaboração do plano de manutenção das barragens via contrato firmado junto à empresa Concremat. Em 1992, por meio da ampliação do convênio junto ao IPT (que perdurou até o ano de 2007), a Sabesp implantou um programa preventivo composto por ações de treinamento, inspeções e monitoramento das barragens que abastecem a Região Metropolitana de São Paulo. Esse trabalho

culminou com a elaboração da versão *web* do GIB e, em 2002, foi implantado o sistema de gestão da manutenção, substituído em 2017 pelo módulo de manutenção do sistema SAP.

Em 2014 foi iniciada a realização da primeira RPSB, em 2017 foi contratada a elaboração de planilha de preços, especificação técnica e lista de priorização das ações corretivas em barragens. Em 2018 o Departamento de Recursos Hídricos Metropolitanos (MAR) concluiu a elaboração do PSB das barragens federais e, em 2019, foram concluídos os PSBs das barragens estaduais. Nesse mesmo ano foi assinado o contrato para a elaboração da primeira RPSB estaduais do MAR. Todas essas ações foram consoantes ao avanço e evolução da legislação correlata às barragens em vigência no país. Para a RMSP, a Sabesp realiza a gestão das suas barragens através de duas áreas: MME e MAR, esses dois departamentos possuem uma interdependência de responsabilidades em relação à operação, auscultação, demandas de manutenção, reabilitação e a condução das ações determinadas pela PNSB.

Trabalhando desde 2016 com uma equipe multidisciplinar, composta por engenheiros civis, sanitaristas e ambientais; químicos e geocientistas; sendo estes mestres e especialistas, houve um intenso trabalho de capacitação da equipe técnica, com a participação da Sabesp em conferências nacionais e internacionais, cursos de especialização e mestrado em segurança de barragens.

Hoje a Sabesp possui as seguintes principais ações em andamentos em segurança de barragens:

- atualização e unificação dos planos de contingência;
- elaboração de estudo de ruptura de barragens com os respectivos mapas de inundação;
- elaboração de mapas de inundação em decorrência das descargas operacionais;
- elaboração de procedimento operacional de gestão e monitoramento de barragens; e,
- condução do Programa Saneamento Sustentável e Inclusivo junto ao Banco Mundial.

Além disso, a Sabesp possui como atividades contínuas realizadas e relacionadas à gestão de segurança das barragens:

- a avaliação de risco corporativo;
- a condução de ensaios físico-químicos do percolado das barragens (semestralmente);
- as inspeções rotineiras das barragens;
- o desassoreamento e controle de macrófitas nos afluentes e reservatórios; e,
- a elaboração e validação dos procedimentos de operação e manutenção.

Os próximos passos das ações da Companhia envolvem a atualização e detalhamento dos estudos de inundação frente às modificações da PNSB e regulamentos estaduais; o alinhamento dos PAEs da Sabesp junto aos PLANCONs de barragens das Coordenadorias Municipais de Defesa Civil e estudo do tempo de trânsito das ondas de cheia para aprimoramento do alerta em situações de chuvas intensas.

4.2.1 Situação Organizacional

Em 2018 a Sabesp realizou um levantamento amplo acerca das características de suas barragens, dos benefícios trazidos por ela em relação à detenção de Cheias, e o custo relacionado a sua manutenção. Assim, a equipe que conduziu o PSB junto a equipe de cada divisão operacional realizou a tarefa de alocar os custos que estavam diretamente relacionados à gestão das barragens e, conseqüentemente, a gestão da sua segurança. Esse trabalho envolveu também o levantamento do custo para a manutenção das equipes, ainda que alguns dos colaboradores não atuem em tempo integral na segurança de barragens.

Como resultado dessa ação, a Sabesp pôde avaliar mais precisamente o custo associado à gestão de suas barragens, expurgando outros custos que se referem a manutenção de estruturas próximas à barragem, mas não diretamente relacionados a ela, bem como custos associados à gestão da qualidade da água do reservatório.

Um dos aspectos fundamentais na avaliação de riscos corporativos é o custo associado a ele, caso venha a se efetivar. No caso de barragens não é diferente. A condução dos trabalhos realizados entre a área operacional da Sabesp e área de gestão de riscos demandou uma estimativa do custo associado a ruptura de uma barragem. O estudo foi conduzido apenas em sua fase preliminar, porém muitos

pontos interessantes puderam ser observados a partir dele. Utilizando como referência o estudo da (FEMA, 2011), que levantou diversos aspectos a serem considerados na avaliação do custo hipotético de ruptura de uma barragem. O dano potencial associado a ruptura da barragem é de difícil reparação, pois incorpora diversos aspectos que são difíceis de valorar, tais como: o impacto ambiental e a perda de vidas.

Os questionamentos importantes que foram conduzidos nesse exercício da Sabesp foram: qual o impacto do dano? Qual a extensão do dano? Qual a fragilidade do ambiente? Qual a resiliência do ambiente? Esses questionamentos permitiram que a equipe de trabalho exercitasse as variáveis envolvidas no levantamento desse dano, possibilitando a condução da segunda etapa, sendo: valoração do impacto direto e indireto.

A valoração direta envolve a avaliação da perda da receita, da reconstrução do empreendimento, da reconstrução do vale, da indenização por vidas perdidas, entre outros. No aspecto da valoração indireta há de se avaliar a desvalorização da imagem da empresa (por exemplo, a Vale S.A. perdeu R\$ 25 bilhões em valor após o acidente de Mariana), o impacto na economia local e a perda da capacidade de controle das enchentes locais.

Essas variáveis foram desmembradas em custos mais detalhados. É importante destacar que esse exercício não foi realizado em sua completude, pois é demasiadamente trabalhoso e o objetivo principal no momento era verificar se o custo associado ao dano seria maior que R\$ 600 milhões, valor limite inferior a classificar um dano como elevado. O quadro abaixo apresenta os custos a serem estimados em um exercício desse, no caso de uma barragem destinada ao abastecimento de água (

Quadro 27).

Quadro 27 - Mensuração do dano decorrente da ruptura de barragens.

Custos diretos	Custos indiretos
Perda de receita	Desvalorização da imagem
Reconstrução do barramento	Impacto na economia local e regional
Reconstrução do vale a jusante	Perda da capacidade de controle de enchentes local
Indenizações	—

Fonte: (FEMA, 2011).

A Sabesp é uma empresa fundada em 1973 que hoje possui a cerca de 13.900 funcionários. A estrutura societária da empresa é composta por 51% do Governo do estado de São Paulo, 15% destinado às ações listadas na bolsa de Nova Iorque e 34% às ações na bolsa de valores nacional, conhecida como B3. Atualmente, a Sabesp é a 4ª maior empresa do mundo de saneamento básico em população atendida, alcançando cerca de 28 milhões de clientes. Em 2019, a empresa investiu cerca de R\$ 5 bilhões, estando presente em 372 municípios, representando 66% da população urbana do estado de São Paulo.

Estabelecida em 2015, a Superintendência de Gestão de Riscos e Conformidade (PK) é a autoridade funcional da Sabesp em gestão de riscos designada para o desenvolvimento das atividades de conformidade e gestão de riscos. O processo de gestão de riscos é conduzido por meio da identificação, análise, avaliação, e tratamento e/ou monitoramento dos riscos. A política institucional de gestão de riscos corporativos tem por finalidade introduzir a prática de avaliação de riscos no ambiente corporativo, e contribuir com o aprimoramento da governança corporativa do planejamento empresarial e na preservação e geração de valor da organização. Em virtude da maior parte da água que abastece a RMSP ser proveniente de reservatórios formados por barramentos, o risco de ruptura de barragens foi incorporado aos riscos estratégicos.

Como referenciais na gestão de riscos da Sabesp, tem-se o COSO ERM de 2017, organização dedicada ao desenvolvimento de boas práticas gerenciais nas áreas de governança corporativa, ética de negócios, controles internos, gestão de riscos corporativos, fraudes e relatórios financeiros.

O processo de gestão de negócios da Sabesp se dá através da visão de negócios, ou seja, entendimento das estratégias e diretrizes de valor e riscos da indústria em áreas semelhantes (*benchmark*). Em sequência, são obtidas as informações e percepções sobre o risco por meio de entrevistas com executivos e solicitação de dados. Após isso, é realizado o alinhamento dos riscos com o mapa estratégico, prosseguido pela elaboração de documentação e estudo de priorização dos riscos e, por fim, a elaboração do mapa de riscos e o plano de ação para sua mitigação.

No mapa de risco corporativo, os riscos são identificados e mensurados quanto ao impacto (dano potencial associado), e a probabilidade de ocorrência pelos níveis hierárquicos competentes para definição de ações mitigatórias exigidas para cada situação. Anualmente esses estudos são revisitados a fim de avaliar a progressão ou regressão, do mesmo ponto são quatro as naturezas de risco definidos: estratégicos, financeiros, operacional e de conformidade, os riscos avaliados que possuem um nível de criticidade significativo e crítico são acompanhados pela Diretoria Colegiada da Sabesp, e pelo Conselho de Administração. Assim, é possível desenvolver ações mitigatórias e minimizar os impactos desses cenários apoiando o alcance dos objetivos estratégicos da Sabesp.

Dentre os planos de ação traçados para mitigação de risco de barragens estão a condução das revisões periódicas de barragens; a execução de manutenções civis necessárias; o desenvolvimento dos planos de segurança de barragens; a análise de riscos de segurança patrimonial e respectivos planos de ação; a implantação de sistema de gestão e controle de barragens; automação das estruturas; implantação de sistema informatizado de gestão; instrumentação automatizada e controle para o monitoramento de barragens para atendimento à RMSP.

Os fatores de riscos aos quais as barragens estão sujeitas foram discutidos, visando selecionar os mais relevantes. Também foram discutidas e definidas as consequências associadas à hipotética concretização do risco. São elas: perdas de vidas humanas; perdas sociais (realocação de famílias e comunidades, interrupção de transportes, etc.), e econômicas (redução de faturamento, multas, indenizações, obras emergenciais, etc.); perdas ambientais (riscos/licença, fauna e flora, etc.); desperdício de matéria-prima e comprometimento da imagem da empresa, pontos definidos pelas regulações da PNSB.

4.2.2 Atendimento à PNSB

4.2.2.1 Informações Gerais

A Sabesp utilizou como modelo para elaboração dos volumes dos seus PSBs o Guia do Empreendedor da ANA, visto que o órgão regulador estadual, DAEE, na ocasião do início de condução do trabalho, ainda não possuía uma instrução técnica detalhada para orientação dos empreendedores.

É interessante observar que apesar de o guia do empreendedor da ANA ser um instrumento de grande valia aos empreendedores, ele acaba por revisitar diversos pontos de melhoria relacionados a um padrão de gestão de segurança de barragens, visto que alguns temas indicados no guia não são corriqueiros à gestão de barragem pelos empreendedores brasileiros, pelo menos no que concerne aos empreendedores das estruturas de usos múltiplos.

Dentre os principais pontos de destaque na elaboração do volume Informações Gerais está a solicitação do cálculo de esvaziamento do reservatório. A equipe da Sabesp verificou a documentação técnica das barragens para avaliar se tal estudo estava contemplado no projeto básico ou executivo, entretanto o mesmo era inexistente. Assim, foi conduzida uma pesquisa bibliográfica para avaliar qual seria o melhor método de cálculo do esvaziamento do reservatório. Ressalta-se aqui que as barragens no Brasil não foram projetadas e construídas considerando a existência de órgãos extravasores para rebaixamento rápido do nível do reservatório. Outra questão também avaliada foi a instabilidade que pode sofrer um maciço em decorrência do deplecionamento rápido de um reservatório.

A condução do cálculo de tempo de esvaziamento dos reservatórios foi conduzida pela equipe interna da Sabesp com auxílio da equipe do FCTH (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica). As hipóteses consideradas para o cálculo foram as seguintes:

- afluência considerada aos reservatórios: a vazão média de longo termo;
- início do esvaziamento do reservatório: considerada a partir do nível máximo operacional;
- descarregador principal: estrutura acionada com abertura máxima;
- descarregadores de fundo: acionados com abertura máxima as cotas das soleiras das estruturas vertedoras como limite de extravasamento; a regra de parada do cálculo igual ao atingimento da cota da soleira do extravasador considerado com variação mínima de 0,001 m no nível da água entre dois passos de cálculo e curvas características de descarregamento das estruturas extravasoras foram obtidas no acervo da Sabesp.

A partir dos cálculos realizados, verificou-se que o extravasamento pelas estruturas existentes dos reservatórios ocorre em um tempo consideravelmente longo,

superior a 20 dias. Ressalta-se que os cálculos foram desenvolvidos baseando-se nas hipóteses indicadas acima, necessitando futuramente de sua revisão, de modo a analisar se a velocidade de rebaixamento do nível no reservatório e as vazões máximas efluentes são condizentes e compatíveis com as características do barramento, reservatório e vale a jusante.

A confecção dos mapas das barragens a montante e a jusante foi realizada a partir das informações presentes no SNISB. Embora provenientes de fontes oficiais, os dados carecem de mais detalhes sobre empreendedores das barragens a montante e a jusante, bem como sobre as características principais dessas estruturas.

4.2.2.2 Documentação Técnica do Empreendimento

Assim como evidenciado por diversos empreendedores, a Sabesp também encontrou dificuldades no que concerne à documentação técnica de suas barragens. Há uma diversidade muito grande em relação ao período construtivo, características técnicas e empreendedor responsável pela construção da barragem, o que reflete na documentação técnica, que muitas vezes, se dispersa durante o tempo.

Ademais da inexistência de alguns documentos técnicos vinculados à construção das barragens, para os documentos existentes, a Sabesp realizou um levantamento detalhado de documentos que, porventura, não estavam localizados no Departamento de Recursos Hídricos Metropolitanos - MAR (a área responsável pela gestão das barragens). Esse trabalho envolveu diversas áreas da companhia e culminou com a digitalização de todos os arquivos físicos existentes, para facilitar a elaboração dos planos de segurança de barragens (PSB). Destaca-se que, algo que inicialmente possa parecer sem importância, tomou uma importância muito grande, pois está diretamente relacionada à condução ágil da elaboração do PSB: digitalização de documentos em PDF pesquisáveis. A quantidade de documentos referentes às etapas de projeto, construção e comissionamento das barragens é extremamente grande e, ao elaborar o PSB, a possibilidade de utilizar os mecanismos de busca representa um ganho de tempo na elaboração dos documentos.

4.2.2.3 Planos e Procedimentos

Apesar da existência de muitos procedimentos orientadores relacionados a barragens, verificou-se que os procedimentos não eram padronizados entre as diferentes divisões do Departamento de Recursos Hídricos Metropolitanos (MAR),

refletindo em diferentes condições para situações semelhantes. Ao iniciar a elaboração do PSB, esse foi um ponto crucial a ser sanado. A Sabesp possui diversos processos e procedimentos internos relacionados à segurança de barragens que datam de muitas décadas, porém muitos deles não estavam refletidos em uma documentação, ou seja, não havia uma evidência escrita dos procedimentos realizados pelas divisões. O acompanhamento das equipes de barragens pela equipe responsável pela elaboração do PSB permitiu o levantamento dos procedimentos de cada divisão (ao todo, 3 (três) divisões: norte, leste e sudoeste), padronizá-los e transcrevê-los em procedimentos operacionais.

Um ponto interessante do volume de planos e procedimentos é a complexidade de organizar tais atividades no padrão indicado pelo órgão fiscalizador, neste caso a ANA. Por mais que já houvesse rotinas estabelecidas há décadas de operação, manutenção, monitoramento, não havia uma centralização da organização dessas atividades, resultando em muitos registros de manutenção, operação e monitoramento dispersos, ou ineficazes frente à necessidade de armazenamento adequado dessa informação.

4.2.2.3.1 As Is

A necessidade verificada de avaliar a situação atual do empreendimento, e resgatar aspectos construtivos porventura perdidos, suscitou a demanda pela elaboração de projeto de *As Is*. Por meio de avaliação de referências nacionais e internacionais, os principais pontos solicitados a incorporar na contratação de *As Is* (ainda em fase de concepção interna da Sabesp) contempla os seguintes pontos:

- levantamento planialtimétrico cadastral detalhado da área do empreendimento;
- plano de investigações geológico-geotécnicas de campo e de laboratório;
- estudos geológicos e geotécnicos;
- estudos hidrológicos e hidráulicos;
- verificações estruturais; e,
- elaboração de *As Is*.

Para as estruturas que já possuam *as built*, o intuito é verificar as informações apresentadas e validar, quando necessário, de acordo com as normas e padrões vigentes.

4.2.2.3.2 Estudo físico-químico do percolado da barragem

A análise das amostras de água das barragens da Sabesp iniciaram-se no final de 2019. Precedendo essa etapa, a equipe técnica da Sabesp realizou uma extensa pesquisa bibliográfica para verificar como deveria ser conduzida a campanha. A primeira campanha realizada, ocorrida em dezembro de 2019, avaliou os parâmetros, fósforo, magnésio, manganês, sulfito, sulfeto de potássio, e PH de forma a verificar a ocorrência do fenômeno de dissolução mineral na água percolada. Outro parâmetro avaliado foi a turbidez, que permite avaliar a ocorrência de arraste de material do corpo da barragem.

Pela inexistência de parâmetros nacionais e internacionais vinculados a essa categoria de avaliação, a Sabesp conduziu a pesquisa comparando os limites encontrados com o disposto na pelo CONAMA por águas subterrâneas. Essa primeira campanha possibilitou o início da construção do banco de dados referentes a esse tipo de monitoramento, mas também ressaltou aos técnicos a necessidade de complementações. As amostras da 1ª campanha foram divididas em pontos de coleta de água no reservatório (apenas um ponto), e a jusante da barragem, nos drenos e medidores de vazão.

Após a avaliação dos primeiros resultados foram realizadas complementações para a segunda campanha: adição de mais um ponto de coleta na represa, mais profundo, e a inserção de mais parâmetros, possibilitando a condução de uma análise mais assertiva. Está programada a complementação futura da análise com o monitoramento hidrogeológico para avaliar uma possível interferência do lençol freático.

A condução de um monitoramento hidrogeológico completo permite a avaliação da física e da química local. As linhas de fluxo da infiltração serão avaliadas assim como a verificação dos componentes existentes e da sua interação. O objetivo final dessa campanha é construir um banco de dados de monitoramento com os parâmetros relevantes relacionados à segurança de barragens,

Assim, pode-se dizer que a condução do estudo físico-químico do percolado de uma barragem é um trabalho que fornece resultados, geralmente, somente após a realização de campanhas suficientemente robustas e numa frequência adequada para a construção do banco de dados. O trabalho desenvolvido pela Sabesp, embora não exigido na legislação nacional, segue as diretrizes do Banco Mundial, pela FEMA e

pelo *United States Bureau of Reclamation*. A condução deste estudo conjuntamente a alternativas de monitoramento já consagradas, permite que o empreendedor antecipe situações que imponham risco à barragem, atuando de forma mais ágil e incorrendo num custo menor para sua manutenção.

4.2.2.4 Registros e Controles

Os registros e controles vinculados ao PSB consistem basicamente em registros de operação, de manutenção e de monitoramento. No que concerne à operação, referem-se ao monitoramento hidrológico, histórico de manobras, etc. No caso da Sabesp, a empresa possui um sistema de acompanhamento para o suporte a decisão na área de hidrologia denominado SSD (Sistema de Suporte a Decisão). O sistema data de 1998 e hoje encontra-se em sua terceira versão, em ambiente *web*, sendo considerado um sistema de referência no país no que se refere ao acompanhamento hidrológico dos reservatórios.

O registro das manobras das estruturas somente foi incorporado ao SSD em sua versão 3. O sistema possui uma área específica para as divisões inserirem as manobras realizadas. Adicionalmente, a automatização das manobras com acionamento remoto e controle em ambiente SCADA permitiu que esses registros sejam realizados automaticamente, alimentando um banco de dados cujas informações podem ser acessadas em tempo real.

Importante destacar que na gestão de barragens a possibilidade de automatizar diversos processos é vista como um ganho operacional muito grande, haja vista que a equipe operacional ficará direcionada para a análise dos dados, ou seja, análise do comportamento da estrutura e de sua operação, deixando a etapa de coleta dos dados mais assertiva e menos onerosa, uma vez que há uma diminuição considerável de erros na transcrição de dados pelo leiturista.

No caso do registro de manutenção, a Sabesp possuía o Sistema Geral de Manutenção (SGM), no qual cada estrutura possui o seu cadastro, e a realização de manutenção sempre foi precedida da abertura de um *ticket* para atendimento. Hoje o SGM não é mais utilizado. Em seu lugar, desde 2017, o sistema SAP, que possui módulo similar, é utilizado na Companhia, inclusive na área de barragens. A execução da manutenção pode ser realizada pelo plano de manutenção preventiva de 52

semanas, bem como em decorrência de abertura de chamados de manutenção corretiva.

No caso do registro de monitoramento, cabe apresentar o panorama da instrumentação das barragens do SIM. Atualmente, Sabesp possui mais de 1.000 instrumentos de auscultação de barragens distribuídos em 17 estruturas. Todos manuais. As equipes de campo realizam a leitura desses instrumentos mensalmente ou, em casos específicos, quinzenalmente. Para auxílio às leituras, um contrato firmado com o Instituto de Pesquisa tecnológica (IPT) possibilitou a construção do sistema de gestão de instrumentos de barragens (GIB). O sistema consistia na leitura dos instrumentos a partir de um código de barras com o auxílio de um instrumento semelhante a um *palmtop*. Entretanto, a usabilidade de tal dispositivo se mostrou incompatível com a dinâmica de leitura local: devido à grande luminosidade local, os equipamentos não conseguiam identificar os códigos de barra. Assim, a utilização de tal tecnologia, que permitiria a inserção dos dados no GIB, se mostrou inefetiva, visto não ter sido apropriada à realidade local. Entretanto, outras funcionalidades vinculadas ao GIB continuou sendo utilizado pela equipe de engenheiros da MME.

Também vinculado ao acordo de empréstimo junto ao Banco Mundial, a Sabesp prevê a contratação de um sistema automatizado de instrumentação, a incorporação de novos instrumentos e a medição dos deslocamentos superficiais horizontais e verticais por microgeodésia.

4.2.2.4.1 Sistema de suporte a decisão - SSD

O processo de gerenciamento de Recursos Hídricos tem como pilar estrutural a coleta, tratamento e análise de dados, e a produção de informações para orientar o processo decisório. Tendo em consideração a gestão de recursos hídricos, o desafio de operar todo um sistema com os conflitos relacionados aos usos múltiplos da água, a operação integrada de vários reservatórios e o cumprimento de exigências ambientais progressivamente restritivas, tornam a análise dos dados e tomada de decisão para a operação adequada e eficiente demasiado complexas (FUMES; WADA; SHARDONG, 2011).

Dessa forma, o uso de ferramentas de análise que sejam robustas e de fácil utilização, que permitam a leitura de grandes quantidades de dados e que forneçam resultados consistentes para subsidiar a resolução dos conflitos são fundamentais

para uma boa tomada de decisão no processo de gestão integrada dos recursos hídricos do Sistema (FUMES; WADA; SHARDONG, 2011). Os sistemas de suporte a decisão (SSD) se inserem nesse contexto como ferramentas que permitem a gestão, planejamento e operação de sistemas multiformes, caracterizando-se por apresentar os dados e análises em interfaces de fácil acesso e interpretação (BEVILACQUA; LINO; SILVA; BOZZINI *et al.*, 2019).

Operando o Sistema Integrado Metropolitano (SIM), direcionado ao atendimento de abastecimento de água para a RMSP, em 1998, a Sabesp demandou o desenvolvimento e a implantação do seu SSD, objetivando-se a criação de um banco de dados hidrológicos centralizado, com acesso controlado, seguro e acessível, que suportasse a implantação de ferramentas que auxiliassem às tomadas de decisões (BEVILACQUA; LINO; SILVA; BOZZINI *et al.*, 2019). Gradativamente, o SSD Sabesp se tornou mais robusto, incorporando informações geográficas associadas a imagens de satélite para consulta, manipulação dos dados e informações (BEVILACQUA; LINO; SILVA; BOZZINI *et al.*, 2019).

Integrado à rede de telemetria da Sabesp, o SSD permite o monitoramento *on-line* de nível, vazão e pluviometria de rios, canais e reservatórios, subsidiando as áreas operacionais com informações hidrológicas a cada 10 minutos. Como principais vantagens, tem-se a melhoria e aumento da segurança do armazenamento de dados hidrológicos; atualização das informações de forma descentralizada e participativa e a ampliação do acesso aos dados e informações sobre o sistema (FUMES; WADA; SHARDONG, 2011).

Em 2017, em sua terceira versão, agora com visualização via *web*, ao SSD foi incorporada uma série de melhorias, propiciando a melhoria contínua do monitoramento hidrológico, tais como:

- banco de dados hidrológicos e hidrométricos (níveis das represas, chuvas, vazões naturais, etc.) obtidos a partir da rede de 56 postos pluviométricos e fluviométricos da Sabesp;
- sistema de informações geográficas (GIS);
- catálogo eletrônico com dados técnicos de todos os sistemas produtores de água e suas estruturas;
- dados e informações de qualidade de água (em desenvolvimento);
- sinóticos com a observação dos mananciais em tempo real;

- geração automatizada de boletins diários sobre a situação dos mananciais; e,
- HidroMaps/Radar: acompanhamento em tempo real das chuvas através da integração do radar meteorológico com a rede telemétrica (BEVILACQUA; LINO; SILVA; BOZZINI *et al.*, 2019).

O Sistema Informatizado de Monitoramento das Barragens, em contratação vinculada ao Acordo de Empréstimo junto ao BIRD, será também incorporado ao SSD para aprimorar a gestão integrada dos mananciais do SIM a partir da tríade qualidade-quantidade-segurança estrutural.

A Figura 45 apresenta a tela inicial do SSD com a indicação das capacidades e volumes armazenados. No menu localizado à esquerda da tela há a disponibilização de esquemáticos, séries históricas de dados operacionais, indicadores, boletins e relatórios, rede de monitoramento, dentre outros (BEVILACQUA; LINO; SILVA; BOZZINI *et al.*, 2019).

Figura 45 – Tela inicial do SSD Sabesp.

Fonte: (BEVILACQUA; LINO; SILVA; BOZZINI *et al.*, 2019)

O esquemático (Figura 46) possibilita a visualização de volumes armazenados, vazões afluentes captadas, descarregadas, transferidas em cada represa e estrutura hidráulica, além de vazões em pontos de controle. (BEVILACQUA; LINO; SILVA; BOZZINI *et al.*, 2019)

Figura 46 – Esquemático do Sistema Cantareira.

Fonte: (BEVILACQUA; LINO; SILVA; BOZZINI *et al.*, 2019).

A necessidade de observar informações de precipitação, nível e vazão, provenientes da rede telemétrica e do radar meteorológico do Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP) em uma única tela, deu origem ao HidroMapas, ferramenta que agrega informações de precipitação, nível e vazão, provenientes da rede telemétrica e do radar meteorológico do Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP), e permite o melhor acompanhamento da aproximação, ocorrência e intensidade dos eventos de chuva, tornando mais robusta a gestão dos mananciais do SIM (Figura 47) (BEVILACQUA; LINO; SILVA; BOZZINI *et al.*, 2019). Sua visualização, customizável ao usuário, permite a seleção das camadas existentes,

criação/visualização de mapas rápidos, mapas temáticos e a possibilidade de salvamento de mapas personalizados (BEVILACQUA; LINO; SILVA; BOZZINI et al., 2019).

Figura 47 – Dados do radar meteorológico – precipitação acumulada em 24 horas.

Fonte: (BEVILACQUA; LINO; SILVA; BOZZINI et al., 2019)

4.2.2.5 Revisão Periódica de Segurança de Barragem (RPSB)

A primeira RPSB das estruturas reguladas pela ANA foi realizada com base na resolução ANA n.º 91/2012. Os trabalhos foram conduzidos por uma equipe multidisciplinar composta por engenheiros geotécnicos, hidrólogos, hidráulicos, de Tecnologia de materiais, mecânico, agrônomo e de Meio Ambiente.

Ressalta-se que esta contratação foi realizada para atendimento a normativa da ANA vigente na época (Resolução ANA n.º 91/2012). É importante observar que na condução dos serviços da 1ª RPSB não foi contemplado o levantamento do curso associado ao reparo das anomalias identificadas pela consultoria. O aprendizado dessa primeira contratação permitiu que a Sabesp, em sua segunda contratação, destinada às barragens do SIM reguladas pelo DAEE, incorporasse a recomendação para reparo de anomalias e seu respectivo custo, de forma a permitir à Companhia a

priorização das intervenções nas barragens com maior eficiência, considerando sua magnitude, seu nível de perigo e o custo associado ao reparo.

4.2.3 Acordo de Empréstimo com o BIRD

O Programa Saneamento Sustentável e Inclusivo, objeto de financiamento pelo Banco Mundial, é composto por um conjunto de quatro componentes, relacionadas ao tema da segurança hídrica, inclusão social, preservação ambiental e inovações técnicas e contratuais.

O objetivo do Programa é a ampliação do acesso a serviços de água para as populações mais vulneráveis da RMSP, contribuindo, por conseguinte, com o aumento da segurança hídrica na área metropolitana de São Paulo (Tabela 12) (SABESP, 2019).

Tabela 12- Alcance do Programa Saneamento Sustentável e Inclusivo.

Alcance	Programa		
	Geral	Ampliação do abastecimento de água	Ampliação do acesso ao esgotamento sanitário
População beneficiada	2 milhões	665 mil pessoas (190 mil famílias)	25 mil pessoas
Localização	RMSP	áreas de alta vulnerabilidade social	Embu das Artes e Itapecerica da Serra

Fonte: (SABESP, 2019).

O financiamento prevê recursos na ordem de US\$ 350 milhões, sendo U\$ 250 milhões financiados pelo BIRD e U\$ 100 milhões pela Sabesp, em um período de 6(seis) anos, contemplando os projetos: Água Legal, Redução de Perdas, Melhoria Ambiental da Bacia Guarapiranga e Segurança de Barragens.

O BIRD possui uma série de salvaguardas desenvolvidas para suporte à condução das intervenções de diversas naturezas que ele fiscaliza, resguardando a população e o meio ambiente dos potenciais impactos adversos. Essas políticas

identificam, evitam e minimizam os danos às pessoas e ao meio ambiente, uma vez que exigem que os mutuários abordem certos riscos ambientais e sociais para receber seu apoio para projetos de investimento. No caso do Programa Saneamento Sustentável e Inclusivo, no que concerne aos subcomponentes de barragens, a Política de Salvaguardas do Banco Mundial para segurança de barragens - OP 4.37 foi acionada.

A OP 4.37 exige que quaisquer barramentos que influenciem as ações do projeto contratado ou qualquer projeto cujas ações dependam de barramentos existentes sejam objeto de avaliação de segurança de barragens. É o caso das intervenções no abastecimento de água na RMSP, viabilizado por sistemas produtores que contam com estruturas de regularização.

Na fase de preparação do Programa, foi elaborado um relatório de inspeção de uma amostra de nove das 19 barragens cujos reservatórios são utilizados pela RMSP. O relatório de segurança de barragens apresenta recomendações para a ampliação da segurança das estruturas inspecionadas e cumprimento integral de normas federais pertinentes. Esse relatório foi utilizado como base técnica para identificar parte das ações de prevenção e mitigação incluídas no Programa (subcomponentes 1.4 e 3.3), também em conformidade com a Política Operacional de Segurança de Barragens (OP/BP 4.37) do Banco Mundial.

No que concerne à Segurança de Barragens, os serviços se dividiram em 02 subcomponentes direcionados à melhoria operacional, recuperação de estruturas e ações para a extensão da vida útil das barragens, apresentados em resumo no Quadro 28.

Quadro 28 – Frentes de serviço do Acordo de Empréstimo do Banco Mundial vinculadas à gestão de segurança de barragens.

Frente	Finalidade	Estruturas contempladas	Ações
<p>Tema: Segurança Hídrica</p> <p>Subcomponente 1.4 – Ampliação da Segurança Operacional: recuperação e melhoria operacional e de manutenção de ativos para extensão da vida útil das barragens dos Sistemas Produtores da RMSP.</p>	<p>Ampliar a resiliência dos mais importantes sistemas de produção de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), através de ações relacionadas à segurança de barragens e de estruturas a elas associadas, por meio da alocação de recursos adicionais ao trabalho de manutenção e segurança de barragens já executado pela Sabesp.</p> <p>Os recursos deverão ser aplicados em projetos e</p>	<p>Barragens sob controle e operação direta da Diretoria Metropolitana da Sabesp:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jaguari; • Jacareí • Cachoeira; • Atibainha; • Cascata; • Paiva Castro; • Águas Claras; • Pedro Beicht; • Cachoeira da Graça; 	<p>a) correção de anomalias nas barragens e nas suas estruturas associadas,</p> <p>b) instalação de um sistema de controle de deformações com equipamento microgeodésico nas barragens, onde aplicável;</p> <p>c) controle dos materiais erodidos no sistema de drenagem a jusante, onde aplicável;</p> <p>d) controle de vazamentos em juntas abertas nas galerias de descarga de fundo (<i>Grouting</i>), onde aplicável;</p> <p>e) reparação de estruturas afetadas por reações álcali-agregado (RAA);</p> <p>f) realização de obras civis, aquisição e instalação de equipamentos elétricos e mecânicos para a renovação das barragens em geral, conforme definido por estudos realizados pelo Subcomponente 3.3; e,</p> <p>g) a supervisão de todas as obras</p>

Frente	Finalidade	Estruturas contempladas	Ações
	<p>intervenções de correção de anomalias detectadas no monitoramento efetuado pela Sabesp (em geral, de complexidade e significância menores) e em várias outras ações.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rio Grande; • Ribeirão do Campo; e, • Capivari 	
<p>Subcomponente 3.3 - Apoio institucional, desenvolvimento de estudos, planos, projetos e pesquisa para apoiar a renovação e extensão da vida útil</p>	<p>Apoio à ampliação da capacidade institucional e o desenvolvimento de ferramentas relacionadas a questões-chave de segurança de barragens, com a finalidade de fortalecer a capacidade de atendimento da Sabesp às normas e</p>	-	<p>a) preparação e implementação de planos de ação à emergência (PAEs) ou de planos de preparação à emergência (PPEs) nas barragens operadas pela Sabesp;</p> <p>b) contratação de um Painel de Especialistas em Segurança de Barragens para avaliar aspectos de vulnerabilidade, incluindo a revisão da análise de rompimento de barragens e os sistemas de instrumentação, durante a implementação das revisões periódicas de segurança das barragens;</p>

Frente	Finalidade	Estruturas contempladas	Ações
das barragens da RMSP.	benchmarks de segurança dessas estruturas e aos termos e exigências da legislação federal relacionada à segurança de barragens		<p>c) estudo do status das estruturas afetadas por RAA (Reação Expansiva), se for o caso, incluindo a barragem de Paiva Castro;</p> <p>d) elaboração de projeto e fornecimento de sistemas ou realização de ações voltados à implantação de sistemas de aviso/alerta para comunidades a jusante das barragens, em consonância com o PAE ou o PPE;</p> <p>e) estudo e projeto de um novo controle de supervisão, do sistema de aquisição de dados e da base de dados integrada nos escritórios da Sabesp, conectando-se ao sistema de suporte à decisão existente, incluindo a definição de hardware e software;</p> <p>f) estudo, projeto e início de implantação de novo sistema de monitoramento das barragens e estruturas associadas, para atualizar os sistemas de instrumentação e os equipamentos de monitoramento existentes, e aquisição de software para a implementação de uma base de dados integrada nos</p>

Frente	Finalidade	Estruturas contempladas	Ações
			<p>escritórios da Sabesp, incluindo o sistema existente de suporte à decisão;</p> <p>g) melhoria dos planos e manuais de operação e manutenção após a elaboração dos projetos para os novos equipamentos e instrumentos, quando aplicável; e,</p> <p>h) assistência técnica necessária para cumprir com às Políticas de Segurança de Barragens existentes; e a capacitação, e formação; e a capacitação, e formação prática, incluindo duas semanas de oficinas que abordem a análise de riscos com base na metodologia de “Modo de Falhas Possíveis”</p>

Fonte: (SABESP, 2019).

A condução de todos os serviços vinculados ao acordo de empréstimos deverá observar e seguir as melhores práticas preconizadas nos *bulletins* do ICOLD (*International commission on large dams*).

4.2.3.1 Subcomponente 1.4.

O Subcomponente 1.4 - Ampliação da Segurança Operacional – foi destinado à recuperação, melhoria operacional e manutenção de barragens com vistas à extensão de sua vida útil. Os recursos serão aplicados em projetos e intervenções de correção de anomalias , contemplando as seguintes atividades:

- correção de anomalias nas barragens e nas suas estruturas associadas;
- instalação de um sistema de controle de deformações com equipamento microgeodésico nas barragens;
- controle dos materiais erodidos no sistema de drenagem a jusante;
- controle de vazamentos em juntas abertas nas galerias de descarga de fundo (*Grouting*);
- reparação de estruturas afetadas por reações álcali-agregado (RAA) (reação expansiva);
- realização de obras civis, aquisição e instalação de equipamentos elétricos e mecânicos (SABESP, 2019).

4.2.3.2 Subcomponente 3.3.

Esse subcomponente foi direcionado ao apoio institucional, desenvolvimento de estudos, planos, projetos e pesquisa, também para apoio à extensão da vida útil das barragens da RMSP (US\$ 6,5 milhões). Ele visa a ampliação da capacidade institucional e o desenvolvimento de ferramentas relacionadas a questões-chave de segurança de barragens, com a finalidade de fortalecer a capacidade de atendimento da Companhia a normas e *benchmarks* de segurança dessas estruturas e aos termos e exigências das legislações relacionadas à segurança de barragens.

Assim, o subcomponente compreendeu o financiamento da aquisição e instalação de equipamentos de monitoramento das barragens, visando à

modernização tecnológica dos recursos de instrumentação existentes e em operação (SABESP, 2019). Também contemplou:

- a preparação e implementação de planos de ação à emergência (PAEs) nas barragens operadas pela Sabesp;
- a contratação de um Painel de Especialistas em Segurança de Barragens para avaliar aspectos de vulnerabilidade, incluindo a revisão da análise de rompimento de barragens (análise dos modos de falha) e os sistemas de instrumentação;
- o estudo do status das estruturas afetadas por RAA (Reação Expansiva), quando aplicável;
- a elaboração de projeto e fornecimento de sistemas ou realização de ações voltados à implantação de sistemas de aviso/alerta para comunidades a jusante das barragens, em consonância com o PAE;
- o estudo e projeto de um novo controle de supervisão, do sistema de aquisição de dados e da base de dados integrada nos escritórios da Sabesp, conectando-se ao sistema de suporte à decisão existente, incluindo a definição de *hardware* e *software*;
- o estudo, projeto e início de implantação de novo sistema de monitoramento das barragens e estruturas associadas, para atualizar os sistemas de instrumentação e os equipamentos de monitoramento existentes; e,
- aquisição de *software* para a implementação de uma base de dados integrada nos escritórios da Sabesp, incluindo o sistema existente de suporte à decisão;
- a melhoria dos planos e manuais de operação e manutenção após a elaboração dos projetos para os novos equipamentos e instrumentos, quando aplicável;
- a assistência técnica necessária para cumprir com às Políticas de Segurança de Barragens existentes e a capacitação e formação prática, incluindo duas semanas de oficinas que abordem a análise de riscos com base na análise dos potenciais modos de falha (SABESP, 2019).

4.2.3.3 BP 4.37 - Procedimento do BIRD para Segurança de Barragens

Associada à OP 4.37, o BP 4.37, por meio do seu grupo técnico (GT), garantiu a condução das atividades da Sabesp, no que concerne ao acordo de empréstimo, alinhada às prerrogativas do BIRD, contemplando:

- Elaboração de termos de referência do mutuário (TOR) adequados à complexidade das barragens;
- Contratação de painel independente de especialistas, com assessoria do GT, inclusive na análise e aprovação dos TOR, e na participação das reuniões do Painel como observadores;
- Análise de todos os relatórios relativos à segurança de barragens da Sabesp pelo Painel;
- Monitoramento pelo GT de todas as atividades relacionadas às disposições segurança de barragens com consultores para avaliar o desempenho do mutuário; e,
- Indicação de novas tecnologias ou novas informações para que a Sabesp, caso necessário, modifique os critérios técnicos utilizados para avaliar a segurança de barragens.

4.2.3.4 Unidades responsáveis e serviços contemplados

A frente de Segurança de barragens tem o objetivo de fortalecer a qualidade do monitoramento das barragens e estruturas hidráulicas da Diretoria Metropolitana — M, contemplando a instalação de instrumentos utilizando tecnologias modernas, implantação de sistemas de monitoramento que proporcionarão uma análise rápida dos resultados de leitura da instrumentação, acompanhamento preciso dos comportamentos de estabilidade em diversos parâmetros, bem como a operacionalização de Planos de Ação Emergencial (PAE), permitindo a tomada de decisão eficaz, proporcionando à empresa o alcance da excelência na área de gestão de segurança de barragens. Os serviços vinculados ao acordo de empréstimo do Banco Mundial são conduzidos, prioritariamente, por duas unidades da Sabesp: Superintendência de

Manutenção Estratégica (MM) e Unidade de Negócio de Produção de Água (MA); de acordo com suas atribuições internas (Quadro 29).

Quadro 29 — Unidades da Sabesp responsáveis pela condução dos serviços vinculados ao Acordo de Empréstimo do Banco Mundial.

Unidade responsável	Responsabilidade
MA — Unidade de Negócio de Produção de Água	<ul style="list-style-type: none"> • Coordenação, em sintonia com a MM, das atividades relacionadas ao Subcomponente 1.4 — relacionada às barragens e estruturas associadas; • Preparação de pacotes técnicos das ações relacionados ao Subcomponente 3.3; • Gerenciamento da implantação das ações do Subcomponente 3.3; e, • Apuração de indicadores relacionados à qualidade da água.
MM — Superintendência de Manutenção Estratégica	<ul style="list-style-type: none"> • Preparação dos pacotes de licitação para contratação de projetos e estudos relacionados ao Subcomponente 1.4, relacionado às barragens e estruturas associadas; • Preparação dos pacotes técnicos para as licitações das obras do Subcomponente 1.4, de intervenções físicas nas barragens e estruturas associadas.

Fonte: (SABESP, 2019).

Especificamente para a MA estão em curso três grandes contratações direcionadas à ampliação da segurança operacional das barragens componentes do sistema integrado Metropolitano (SIM) e modernização da gestão em segurança de barragens, indicados a seguir:

- Prestação de serviços de engenharia para gestão e monitoramento dos resultados da instrumentação de barragens e estruturas hidráulicas associadas.
- Prestação de serviços de engenharia para desenvolvimento de sistema informatizado de monitoramento e inspeção de barragens e estruturas hidráulicas.
- Prestação de serviços de engenharia para implementação e operacionalização dos Planos de Ação Emergenciais (PAE) das barragens e estruturas hidráulicas.

5 ANÁLISE CRÍTICA

No Brasil, apenas recentemente foi instituída a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), em 2010. Certamente, as leis, e a sua reavaliação refletem a evolução das normas de segurança em termos de conhecimentos e critérios de segurança da sociedade, e estão, naturalmente, em melhoria constante. Ao longo dos anos, tornou-se óbvio que é vital que as barragens sejam devidamente reguladas, monitoradas e mantidas em pleno funcionamento.

A gestão de segurança de barragens no Brasil, apesar de experiências exitosas e do desenvolvimento de boas práticas a serem divulgadas, ainda carece muito de estímulo. A proposta da PNSB perpassa as questões estruturais e operacionais, de responsabilidade do Empreendedor, e caminha junto à Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, no planejamento da atuação conjunta à Defesa Civil e aos demais organismos envolvidos, e na atuação de todos esses atores quando em situações de emergência.

As informações referentes às barragens a montante e jusante foram extraídas do relatório de segurança de barragens, presente no Sistema Nacional de informações sobre recursos hídricos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Ressalta-se que, conforme é falado em capítulo específico, a ANA como coordenadora do RSB elabora o relatório a partir de informações enviadas pelas entidades fiscalizadoras de segurança de barragens. As informações coletadas neste relatório para confecção dos mapas de barragens a montante e jusante, embora provenientes de fontes oficiais, carecem de dados mais detalhados sobre os empreendedores das barragens a montante e a jusante, bem como as características principais dessas estruturas.

No que concerne ao Plano de Ação de Emergência (PAE), muitas grandes barragens, vinculadas a grandes empreendedores, não possuem um plano efetivo, mesmo a PNSB tendo completado 10 anos. No caso do estudo de ruptura (*dam-break*) a legislação ainda deixa vaga a definição da extensão da mancha de ruptura, deixando a critério dos órgãos fiscalizadores e, nos casos de omissão destes, da definição do empreendedor. A utilização de modelos baseados em agente, conforme descrito, apresenta-se como uma ferramenta de grande valia para ser aplicada em barragens que imponham alto risco ao vale a

jusante, de modo a melhorar a compreensão de como é possível reduzir o risco que as infraestruturas e a população do vale a jusante estão sujeitas. Adicionalmente, a utilização desses modelos com avaliação do risco hidrodinâmico, poderá ser um ponto de partida para muitos empreendedores definirem a extensão das manchas de inundação de suas barragens.

No caso específico do PAE, a inexistência de algumas declarações acerca de responsabilidades, prejudica a designação adequada de algumas das entidades envolvidas. Sabe-se que os organismos de proteção e defesa civil são as entidades que possuem o conhecimento e recurso para mitigação de consequência de desastres (incluem-se as barragens). Porém, no caso da evacuação da população a jusante de barragens há uma zona cinzenta na qual não está claro a responsabilidade do empreendedor na elaboração de um plano de evacuação ou se esta atribuição ficará a cargo das agências de gestão de emergência. Assim, um PAE, por vezes com um conteúdo extremamente rico, é puramente cartorial, visto que não pode ser aplicado. Ao se tratar de barragens de usos múltiplos, apesar da descrição na legislação acerca da definição do empreendedor, muitas vezes este não possui os mecanismos necessários de interlocução e de mobilização para empregar um PAE exitoso.

Representado por (LUMBROSO; DAVISON; BODY; PETKOVŠEK, 2021), o grande perigo dos planos de emergência está em seu descolamento¹² da realidade. Referenciando o livro *Missão Impossível*, de Lee Clarke, o autor indica que diversos planejadores de emergência utilizam de documentos fantasia para minimizar a possibilidade de ocorrência de desastres, visto que isto é muito mais fácil do que admitir os perigos reais e as incertezas decorrentes deles. Muitas vezes são realizadas declarações que não há intenção de ser cumpridas, afirmando que o evento de emergência foi devidamente calculado no planejamento, que está totalmente compreendido e pode ser perfeitamente controlado, sem considerar a incerteza associada ao ser humano que está exposto ao risco, tais como idade, sexo, questões culturais, necessidades especiais, etc., que determinam a forma da pessoa responder frente a uma emergência.

¹² CLARKE, Lee. **Mission improbable**: Using fantasy documents to tame disaster. University of Chicago Press, 1999.

Ainda que abundantes, as diretrizes brasileiras na área de barragens ainda carecem de um detalhamento, como elaboração de guias de boas práticas bem como a promoção de treinamentos direcionados aos fiscalizadores e empreendedores. Neste caso, a promoção de estudos de análise de risco, com indicação das fragilidades de cada barragem, como um conjunto de dados iniciais para os empreendedores conhecerem os pontos mais sensíveis de suas estruturas, são bem-vindos.

No caso da zona de autossalvamento (ZAS), esta está atrelada à capacidade da autoridade competente agir em tempo hábil. Assim, é mais diretamente ligada à garantia de segurança da população potencialmente afetada e determina que o empreendedor entre em contato com os municípios a jusante da barragem, porém faz com que o PAE e o PLANCON estejam alinhados desde o início. Essa definição é altamente taxativa aos empreendedores, principalmente àqueles com barragens a montante de municípios pequenos e sem estrutura para realizar ações de contingência. Cabe o questionamento acerca das responsabilidades ampliadas do empreendedor, muitas vezes sem o mínimo *know-how*, enquanto os organismos de proteção e defesa civil, órgão central de planejamento dispostos no PNPDEC, tem seu papel minorado. Abre-se um ponto de discussão acerca da atuação ativa dos Sistemas de Proteção e Defesa Civil Estadual no apoio e fomento às coordenadorias municipais.

Além disso, o desenvolvimento contínuo de instruções técnicas específicas nos regulamentos estaduais e federais permitiria uma uniformidade de procedimentos empregados, com as devidas especificidades das organizações e estruturas, e permitiria também o processo de melhoria contínua desses procedimentos e da gestão de segurança, visto que mais atores estariam executando atividades semelhantes, expostos a situações potenciais que suscitem dúvidas e a adoção de soluções. A padronização também seria extremamente benéfica aos organismos fiscalizadores, considerando que eles poderiam criar uma base de comparação adequada sobre a eficácia das ferramentas empregadas e, também, ser um elo de contato entre empreendedores para a realização de avaliações comparativas (*benchmarking*) e a difusão tão necessária da cultura de segurança de barragens.

Nota-se que há ainda lacunas nos organismos de fiscalização estaduais, muito relacionado ao seu corpo técnico reduzido, que compromete sua atuação em fiscalizar e regular a gestão das barragens sob sua jurisdição. Avaliando às legislações estaduais, seria uma prática muito salutar a produção de um manual guia de elaboração do PSB semelhante ao manual do Empreendedor sobre segurança de barragens da ANA ou, ainda, a divulgação em seu *site* oficial de referências consideradas padrão ouro para a elaboração dos PSB, assim como do rico material existente em outros países sobre boas práticas na gestão de segurança de barragens.

Ainda avaliando a interface entre os sistemas de segurança de barragens dos órgãos fiscalizadores estaduais e o SNISB, é interessante uma padronização das ferramentas com o foco na centralização de informações no SNISB e acesso pelos empreendedores apenas por uma ferramenta. Isso facilita a própria administração do sistema de gestão destas estruturas, presentes em abundância no país, bem como propicia uma unicidade de informações e de construção do conhecimento.

Neste sentido, a ANA já desempenha o papel atribuído pela PNSB com muito êxito ao longo dos últimos 10 anos, e pode repassar a sua perícia aos agentes estaduais. Sendo um documento de grande valia para o fomento à cultura de segurança de barragens, todo o manual orientador proveniente de um agente regulador ao nível nacional possui uma grande importância na disseminação da informação, e no caso da ANA é visível todo empenho associado a melhorar o ambiente nacional na área de segurança de barragem.

Expandindo um pouco a ideia da melhoria contínua, as barragens de usos múltiplos poderiam também ser objetos de investimento em pesquisa e desenvolvimento, a exemplo do que já ocorre nas barragens de geração de energia hidrelétrica, em decorrência da Lei Federal n.º 9.991/2000. Além disso, a percepção popular acerca do risco associado às barragens (principalmente antes dos acidentes de Mariana e Brumadinho) leva a um equívoco em relação à situação de segurança das barragens, visto que há a crença de que essas estruturas, por nunca terem rompido, nunca romperão.

Um dos principais objetivos da PNSB é o fomento à cultura de segurança de barragens e este trabalho ainda carece de estímulo no país. Apesar da crescente realização de cursos e eventos, ainda é incipiente o estímulo à criação

de espaços de discussões perenes, com a atuação de diversos atores da gestão de segurança de barragens, com o intuito da promoção da discussão contínua sobre ferramentas exitosas a serem empregadas em larga escala. será esse o caminho para a difusão da importância da gestão segura das barragens no território do país, principalmente pelo dano potencial associado elevado de diversas estruturas, assim como o fato de algumas barragens estarem inseridas em cascata, potencializando esse dano.

Experiências interessantes vem sendo conduzidas ao longo desses 10 anos. A atualização da PNSB pela Lei Federal n.º 14 066/2020, conduziu o CNRH a alterar a sua Resolução n.º 144/2012 pela Resolução n.º 223/2020. Dentre as principais atualizações realizadas está a possibilidade de concessão pelo órgão fiscalizador do acesso do empreendedor ao SNISB para atualizar as informações que lhe couber, a determinação sobre a alimentação contínua do SNISB pelos fiscalizadores, incluindo a documentação e cadastro das suas barragens reguladas. O CNRH também ampliou os órgãos a serem informados sobre as suas recomendações de melhoria de segurança das barragens. Foram acrescentados o Poder Executivo Federal e os Poderes Legislativo e Executivo estaduais e distrital.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A adequada gestão de segurança de barragens, utilizando ferramentas já difundidas no Brasil e no mundo é um caminho crucial para recuperação e a manutenção da segurança dessas estruturas bem como o prolongamento da sua vida útil. Em um país como o Brasil, com dimensões continentais e disparidades enormes entre os empreendedores, assim como obstáculos culturais em relação à percepção e assunção do risco, o desenvolvimento de uma discussão salutar e a cooperação entre os mais distintos envolvidos, é de fundamental importância para o fortalecimento da cultura de segurança de barragens, que passa pelo fortalecimento da capacitação técnica dos profissionais atuantes na área.

Assim, este trabalho levantou pontos e práticas existentes por alguns empreendedores de barragem de usos múltiplos, assim como procedimentos já consolidados em outros países, buscando, também, práticas executadas pelos empreendedores que possam ser replicadas ou adaptadas para a realidade de cada estrutura ou empreendedor.

A presente dissertação foi mais um elemento na construção do fortalecimento da segurança de barragens no Brasil, não necessariamente detalhando os procedimentos, mais apresentando a sua existência e indicando a rica literatura em desenvolvimento na área da gestão integrada de segurança de barragens nos últimos anos.

A redução do número de ruptura de barragens no Brasil e no mundo passa pelo intercâmbio de informações, experimentos e vivências entre os diversos atores envolvidos, assim como pela atuação constante e vigorosa dos organismos de fiscalização.

Devido o período de elaboração da dissertação, sua análise foi realizada com base na PNSB promulgada em 2010, resoluções e portarias decorrentes dela. Entretanto, a atualização da PNSB e das normas vinculadas a ela imporá novos desafios a todos os envolvidos, principalmente aos empreendedores, reguladores, fiscalizadores e os organismos de Defesa Civil.

Como sugestão aos trabalhos futuros na área, destaca-se a avaliação do impacto na nova PNSB para a gestão de segurança de barragens pelos empreendedores, reguladores e fiscalizadores os organismos de Defesa Civil; o estudo de ruptura de barragens ao nível de bacia hidrográfica, com a

participação ativa dos comitês de bacias hidrográficas buscando a construção de planos de ação de emergência efetivos; estudo mais aprofundado acerca das disparidades existentes entre a gestão de segurança de barragens de empreendedores de estruturas de usos múltiplos, de rejeitos e hidrelétricas, visto que os primeiros, segundo os relatórios de segurança de barragem da ANA, encontram-se em um estágio de desenvolvimento muito aquém dos outros dois e o efeito Mariana-Brumadinho no fortalecimento da cultura de segurança de barragens no Brasil.

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. A gestão do risco em sistemas hídricos: Conceitos e metodologias aplicadas a vales com barragens. **Actas do 6º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa**, p. 647-661, 2003.

ANA. **Relatório de segurança de barragens 2011**. 2013. 978-85-8210-008-0. 9 p. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2011>.

ANA. **Relatório de Segurança de Barragens 2012-2013**. 2015. 978-85-8210-029-5. 124 p.

ANA. **Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem**. Brasília: 2016a. 978-85-8210-039-4 66 p. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/ManualEmpreendedor/GuiaRevisaoPeriodicaSegurancaBarragem.PDF>.

ANA. **Relatório de segurança de barragens 2015**. 2016b. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/seguranca/RelatorioSegurancaBarragens_2015.pdf.

ANA. RESOLUÇÃO No 132, DE 22 DE FEVEREIRO DE 2016. Estabelece critérios complementares de classificação de barragens reguladas pela Agência Nacional de Águas – ANA, quanto ao Dano Potencial Associado - DPA, com fundamento no art. 5º, §3º, da Resolução CNRH nº 143, de 2012, e art. 7º da Lei nº 12.334, de 2010. 2016c.

ANA. Resolução ANA n.º 236, de 30 de janeiro de 2017. 2017.

ANA. **Relatório de segurança de barragens 2017**. 2018. 81 p. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2017/rsb-2017-versao-enviada-ao-cnrh.pdf>.

ANA. **Relatório de segurança de barragens 2018**. 2019. 103 p. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/anteriores/2018/rsb-2018>.

ANA. **Relatório de segurança de barragens 2019**. 2020. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2019>. Acesso em: 10 nov 2020.

ANA. **Relatório de segurança de barragens 2020**. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Brasília, p. 130p. 2021.

APA, A. P. D. A. P. Documentos Técnicos de Apoio ao Regulamento de Segurança de Barragens (RSB). 2018.

BELLEZZIA, V. D. C. **Segurança de barragens pelo mundo: como outros países lidam com o desafio**. 2017. Disponível em: <http://dev.domtotal.com/noticia/1124343/2017/02/seguranca-de-barragens-pelo-mundo-como-outros-paises-lidam-com-o-desafio/>.

BEVILACQUA, G.; LINO, J. F. D. L.; SILVA, C. V. F. D.; BOZZINI, P. L. *et al.* HIDROMAPAS – SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS DOS MANANCIAIS DA RMSP. In: 30º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente 2019, Disponível em: https://saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2019/11/fenasan2019_69.pdf. Acesso em: 21 abr 2021.

BOWLES, D. S. Dam safety risk management for hydroelectric projects. **Institute for**, 2010.

BRASIL. LEI n.º 12.340, DE 1.º DE DEZEMBRO DE 2010. Dispõe sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres e de resposta e de recuperação em áreas atingidas por desastres e sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil; e dá outras providências. (Redação dada pela Lei nº 12.983, de 2014). pp.

BRASIL. **Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil**. p. 33, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/composicao/orgaos-colegiados/conselho-nacional-de-protecao-e-defesa-civil>. Acesso em: 24 nov.

BRASIL. ACORDO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA PARA ATUAÇÃO CONJUNTA EM SEGURANÇA DE BARRAGENS - ACT Nº 31/2018. RELATÓRIO 2019. Brasília: 44 p. 2020.

BROX, D. **Hydroelectric waterway inspections**. 2020. Disponível em: <https://www.tunneltalk.com/TunnelTECH-Mar2020-Hydroelectric-tunnel-inspections.php>. Acesso em: 14 dec.

CBDB. **A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI : cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens**. Rio de Janeiro: 2011. 978-85-62967-04-7. 524 p.

CBDB. Webinar - 10 anos da Política Nacional de Segurança de Barragens - 4º Encontro. 2020.

CLUB, I. E. **Dam Legislation**. 2014. Disponível em: https://cnpqb.apambiente.pt/IcoldClub/documents/Legislation_2014/ICOLD%20EurClub%20Dam%20Legislation%20Report%20-%20Dec%202014.pdf.

CNRH. 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 2012.

CODESAL, D. C. D. S. **Áreas de risco**. 2021. Disponível em: <http://www.codesal.salvador.ba.gov.br/index.php/areas-de-risco>.

CONFEA. Posicionamento favorável ao substitutivo do relator do Projeto de Lei PL 1181/03, que estabelece diretrizes para verificação da segurança de barragens de cursos de água para quaisquer fins e para aterros de contenção de resíduos líquidos industriais. Aprovado. Brasília, pp.

CONFEA-CREA. **Fiscalização de Barragens**. 2019. 12 p. Disponível em: https://www.confea.org.br/sites/default/files/2019-05/cartilha_barragens_2.pdf.

COSTA, A.; PINTO, C.; MARTINS, R. S. Contribuições para o Estudo de Descomissionamento de Barragens. PCH notícias & SHP news. Ano - 13: 72 p. 2011.

CTPNB. **COMISSÃO TEMPORÁRIA CRIADA PELO REQUERIMENTO n.º 1.305, DE 2015. Destinada a avaliar toda a PNSB - Política Nacional de Segurança de Barragens, criada pela Lei 12.334/2010, bem como o SNISB - Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Relatório Final n.º 9, DE 201 6**. Senado Federal. 2016.

CTPNB. **COMISSÃO TEMPORÁRIA CRIADA PELO REQUERIMENTO n.º 1.305, DE 2015. Destinada a avaliar toda a PNSB - Política Nacional de Segurança de Barragens, criada pela Lei 12.334/2010, bem como o SNISB - Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Relatório Final n.º 9, DE 201 6**. Senado Federal. 2016.

DAEE. Portaria DAEE Nº 3907 DE 15/12/2015 - Estadual - São Paulo - LegisWeb. 2015.

DAEE. Segurança de Barragens no Estado de São Paulo. 2018.

DAEE. **O cadastro de barragens do DAEE**. 2020a. Disponível em: <https://sisb.daee.sp.gov.br/menu/#>.

DAEE. Portaria DAEE-7385, de 21 de dezembro de 2020. São Paulo, pp.

DAEE. Portaria n.º 1634, de 10 de março de 2021. pp.

DAM ASSOCIATION, C. Regulation of Dams in Canada. 2016.

DAMS, N.-N. Z. S. O. L. About Us. 2017-08-15 2017.

DE MELO, A. V. Análises de risco aplicadas a barragens de terra e enrocamento: estudo de caso de barragens da CEMIG GT. 2014.

DE VITO, M.; SILVEIRA, R. R.; BEEKMAN, G. ADAPTAÇÃO DA METODOLOGIA LEGAL DA CLASSIFICAÇÃO POR CATEGORIA DE RISCO – CRI E DANO POTENCIAL ASSOCIADO – DPA PARA FINS GERENCIAIS. Revista Brasileira de Engenharia de Barragens. Brasil. Ano V Fevereiro 2019: 64 p. 2019.

DES BARRAGES ET RESERVOIRS, C. F. Legislation regulation. 2020.

DIA, J. H. E. **Sirene de barragem é acionada por engano e assusta moradores de Santa Bárbara**. 2021. Disponível em: <https://www.hojeemdia.com.br/horizontes/sirene-de-barragem-%C3%A9-acionada-por-engano-e-assusta-moradores-de-santa-b%C3%A1rbara-1.819576>. Acesso em: 01.09.

DIAS, G. G.; OLIVEIRA, V. R.; FURTADO, A. S. O.; COLOBAROLLI, J. M. Decision-making: dam decommissioning as an alternative to regulation. *In*: Dam World, 2018, Foz do Iguaçu. p. 10.

DIEGUEZ, C. O movimento da lama. 2019.

DO CARMO, J. S. A. Grandes barragens: vulnerabilidades e riscos.

DO CARMO, J. S. A. Grandes barragens: vulnerabilidades e riscos. 2013.

EMBASA. **Barragens administradas pela Embasa estão em boas condições.** Salvador, 2019a. Disponível em: <http://www.embasa.ba.gov.br/index.php/conteudo-multimidia/noticias/1916-barragens-administradas-pela-embasa-estao-em-boas-condicoes>. Acesso em: 02 fev.

EMBASA. **Relatório da administração, de sustentabilidade e demonstrações financeiras.** EMBASA, p. 1 48. 2019b.

FCTH. Sumário Executivo. Desenvolvimento de uma metodologia de gestão integrada de riscos associados às emergências em barragens. São Paulo: FCTH: 53 p. 2018a.

FCTH. **Tomo III - Determinação das áreas Potencialmente Inundáveis.**, p. 125. 2018b.

FEMA. **Technical Manual for Dam Owners. Impact of Plants on Earthen Dams.** 2005. 115 p. Disponível em: <https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema-534.pdf>.

FEMA. **Dams Sector.** 2011. Disponível em: https://damsafety.org/sites/default/files/files/DamsSectorConsequenceEstimation_EconomicConsequences.pdf.

FEMA. Evaluation and Monitoring of Seepage and Internal Erosion. SAFETY, I. C. O. D. 2015.

FERRARA, M.; BARROS, T.; MIRANDA, P. **Vade Mecum de Barragens: Barragens de rejeitos, de água, de geração de energia elétrica e de usos diversos** 2ª ed. Belo Horizonte: Insight Educação Executiva, 2021. 978-65-993609-0-9.

FONSECA, L. L. Utilização do índice de controle de anomalias para garantia das condições de segurança das barragens. *In*: Jornada Técnica - Tecnologia e Saberes: Compartilhando Experiências, 2018, Salvador - BA. EMBASA, Acesso em: 21 mar 2021.

FONSECA, L. L.; MEIRA, A. P. L. Solicitações de Informações para Dissertação de Mestrado. BISPO, M. 2021.

FREITAS, R. **Tragédia de Mariana: em 5 anos, apenas 10% dos rejeitos retidos na usina de Candonga são retirados.** Moradores temem que lago de hidrelétrica seja enchido nos próximos meses, mas Fundação Renova diz que isso não ocorrerá no momento., 2020. Disponível em: G1 (globo.com). Acesso em: 21 de novembro.

FUKASE, T. Difficulties in producing an effective EAP for multipurpose dams with current guidelines in São Paulo - Brazil. 2021.

FUKASE, T.; BISPO, M. Difficulties in producing an effective EAP for multipurpose dams with current guidelines in São Paulo - Brazil. 2021.

FUMES, N. R.; WADA, C. T.; SHARDONG, A. SISTEMA DE SUPORTE A DECISÕES DA SABESP. *In*: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/dcc96189c7fa12070cc40c9a20d48a43_bc911c70340d85df2074a661976d7293.pdf.

Google Earth. 2021. Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/parque+ecol%c3%b3gico+de+pitua%c3%a7u/@-12.96830034,-38.4111279,7.91865973a,735.48039037d,35y,121.35063316h,44.96940661t,-0r/data=CnwaUhJMCiQweDcxNjFiYzAyMzA0ZmY1OToweDNkNDhmNDZmZTY3MiRjODIZhNcubTjwKcAh3svYK4c0Q8AqEIBhcnF1ZSBkZSBQaXR1YcOndRgCIAEiJgokCUZvhJF4DjFAETRt9r0zPjfAGaNbfhCYK0fAldfJaf1mT0fA>.

HIBBARD, I. B. Pontos importantes para a inspeção de túneis. 2020a.

HIBBARD, I. B. Resumo de proposta técnica. 1 p. 2020b.

HYDRO SCHEME, T. S. Provide an overview of the scheme including: Reason for its implementation, key aspects about construction and current use. 2021.

ICOLD, C. Risk assessment in dam safety management: A reconnaissance of benefits, methods and current applications. **ICOLD Bulletin**, 130, 2005.

ICOLD, E. C. **Dam Legislation**. 2014. Disponível em: https://cnpqb.apambiente.pt/IColdClub/documents/Legislation_2014/ICOLD%20EurClu b%20-Dam%20Legislation%20Report%20-%20Dec%202014.pdf.

INEMA. **Histórico**. 2021. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/parques-metropolitanos/parque-metropolitano-de-pituacu/historico/>.

JUUTI, P. S. The Finnish Journal of Environmental History. 2016.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. *et al.* **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Organic Trading Curitiba, 2006. 858775503X.

KUPERMAN, S.; RE, G.; FERREIRA, W.; TUNG, W. *et al.* Análise de risco e metodologia de tomada de decisões para barragens: evolução do sistema empregado pela Sabesp. **Seminário Nacional de Grandes Barragens (SNGB), Fortaleza, CE. XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens—Anais, Rio de Janeiro: CBDB—Comitê Brasileiro de Grandes Barragens**, p. 535-548, 2001.

LAGANARO, R. A.; DE JESUS, M. B.; DI LIBERATO, C. A. S.; MACEDO, A. Controle da qualidade da água em barragens *In*: XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019, Foz do Iguaçu. p. 10. Disponível em: <http://anais.abrh.org.br/works/6317>.

LANDIM, L. Aspectos de Segurança de Barragens frente à Lei nº 12.334/2010., 201-, EMBASA, Acesso em: 02 fev 2021.

LEITE, D. Alarme falso: sirene toca perto de barragem, causa pânico e até internação [04/01/2020]. **UOL Notícias**, 2020.

LUMBROSO, D.; DAVISON, M.; BODY, R.; PETKOVŠEK, G. Modelling the Brumadinho tailings dam failure, the subsequent loss of life and how it could have been reduced. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, 21, n. 1, p. 21-37, 2021.

MARINE, A. Underwater ROV Inspection & Condition Assessment. 2020.

MEDEIROS, C.; PINTO, A. A importância dos fatores não tecnológicos na avaliação da segurança de barragens. Destaques para o erro humano e gestão de risco. **Revista brasileira de engenharia de barragens**, p. 52-58, 2014.

MENEZES, D. S. A. B. D. **Classificação dos danos decorrentes da ruptura de barragens de acumulação de água. Estudo de caso: barragem de Santa Helena - BA.** Orientador: MEDEIROS, P. D. Y. D. P. e MEDEIROS., P. D. C. H. D. A. C. 2016. 160 f. -, Universidade Federal da Bahia Disponível em: https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/20703/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_DAISSY_MENEZES_2016.pdf. Acesso em: 04 mar 2021.

MI. Relatório Final. Plano de Ações Estratégicas para Reabilitação de Barragens (PLANERB). GNF, E. e GPG, G. N.: 166 p. 2018a.

MI. Resumo Executivo. 7 p. 2018b.

MORGENSTERN, N.; VICK, S.; VIOTTI, C.; WATTS, B. Comitê de Especialistas para Análise da Ruptura da Barragem de Rejeitos de Fundão. **Relatório sobre as Causas Imediatas da Ruptura da Barragem de Fundão**, 2016.

NZSOLD. **New Zealand Dam Safety Guidelines**. 2015. 978-0-908960-65-1 302 p. Disponível em: https://nzsold.org.nz/wp-content/uploads/2019/10/nzsold_dam_safety_guidelines-may-2015-1.pdf.

OWRB. Control of Woody Vegetation. 201-?

ROTTA, L. H. S.; ALCANTARA, E.; PARK, E.; NEGRI, R. G. *et al.* The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: Possible cause and impacts of the worst human and environmental disaster in Brazil. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 90, p. 102119, 2020.

SABESP. **Saneamento Sustentável e Inclusivo**. 2019.

SEDEC. **Orientações para apoio à elaboração de planos de contingência municipais para barragens**. 2016. 33 p. Disponível em: http://www.defesacivil.pr.gov.br/sites/defesa-civil/arquivos_restritos/files/documento/2019-11/caderno_-_orientacoes_planos_contingencia_barragens_v.03.pdf.

SEDEC. Acordo de Cooperação Técnica para Atuação Conjunta em Segurança de Barragens n.º 31/2018. 2020.

SIMA. **Barragens no Estado de São Paulo: relatório do grupo de trabalho 2019**. 2019. 978-85-93411-01-4 396 p. Disponível em: <http://arquivo.ambiente.sp.gov.br/publicacoes/2019/07/barragens-noestadodespaulo2019.pdf>.

SNISB. **Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens**. 2021. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/>. Acesso em: 07 nov.

STEWART, R. A. Dam Risk Management, ISRM: International Society for Rock Mechanics, 2000/11/19/.

TCE. **Competência | Tribunal de Contas do Estado de São Paulo**. 2021. Disponível em: <https://www.tce.sp.gov.br/competencia>. Acesso em: 08 mar.

TCU. Plenário - Sessão Ordinária. Ata n.º 19, de 5 de junho de 2019. SESSÕES, S. D. 2019.

TCU. **Competências | Portal TCU.** 2021. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/institucional/conheca-o-tcu/competencias/>.

TREUKE, S. Proximidade espacial versus distância social: examinando as articulações entre grupos socialmente distantes em três bairros populares de Salvador, Brasil. **Cadernos Metrpole**, 21, n. 45, p. 619-646, 2019.

TUCCI, C. E. Hidrologia: cincia e aplicao. **So Paulo: Editora da**, 2012.

USBR. Seepage Chemistry Manual. INTERIOR, U. S. D. O. T. Denver: 166 p. 2005.

VALE. **Vale atualiza informaes sobre o rompimento da barragem de Brumadinho.** 2019. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/Vale-atualiza-informacoes-sobre-o-rompimento-da-barragem-de-Brumadinho.aspx#:~:text=Vale%20atualiza%20informa%C3%A7%C3%B5es%20sobre%20o%20rompimento%20da%20barragem%20de%20Brumadinho,-Conte%C3%BAdo%20da%20P%C3%A1gina&text=A%20altura%20da%20barragem%20era,11%2C7%20milh%C3%B5es%20de%20m3>. Acesso em: 01 ago.

VICTORIA, D. O. E., LAND, WATER & PLANNING. **Descommissioning dams.** 2016. Disponível em: https://www.water.vic.gov.au/_data/assets/pdf_file/0018/54243/Decommissioning-dams-A-guide-for-dam-owners.pdf. Acesso em: 4 nov 2020

VIEIRA, L. M. D. S. **ANLISE DOS MECANISMOS FSICOS DE INSTABILIDADE DE CORPO HUMANO PARA DEFINIO DE ZONAS DE RISCO CONSTANTE NO PLANO DE AES EMERGENCIAIS DE BARRAGENS. ESTUDO DE CASO: BARRAGEM DE SANTA HELENA – BA.** Orientador: FONTES, A. S. e SIMES, A. L. A. 2018. 133 f. Mestrado - Disponível em: https://maasa.ufba.br/sites/maasa.ufba.br/files/dissertacao_maasa_luan_marcos_da_silva_vieira.pdf.

WISEU; MARIA. **Segurana dos vales a jusante de barragens.** 2009. Disponível em: <http://repositorio.lnec.pt:8080/handle/123456789/15575>.

WISEU, M. T. O risco e as barragens. **Riscos naturais, antrpicos e mistos: homenagem ao professor doutor Fernando Rebelo.** Coimbra: Ed. Universidade de Coimbra, p. 425-440, 2013.

YU, C.; XIANG, X.; ZHANG, J.; ZHAO, R. *et al.* Complete Coverage Tracking and Inspection for Sloping Dam Wall by Remotely Operated Vehicles. p. 5.

ZUFFO, M. S. R. Anlise de risco em barragens= um ndice de priorizao. 2010.