



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

AMANDA RAFAELY MONTE DO PRADO

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS EM
PERNAMBUCO, A PARTIR DAS AÇÕES DOS EMPREENDEDORES**

Recife, PE
2022



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

AMANDA RAFAELY MONTE DO PRADO

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS EM
PERNAMBUCO, A PARTIR DAS AÇÕES DOS EMPREENDEDORES**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós –
Graduação em Engenharia Civil, da Escola
Politécnica de Pernambuco da Universidade de
Pernambuco para a obtenção do título de mestre
em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientadora: Profa. Dra. Simone Rosa da
Silva

Recife, PE
2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco – Recife

P986a Prado, Amanda Rafaely Monte do
Análise da evolução de segurança de barragens em Pernambuco, a partir das ações dos empreendedores. / Amanda Rafaely Monte do Prado. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2022.

158 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Simone Rosa da Silva

Dissertação (Mestrado - Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2022.

1. Segurança de Barragens. 2. Empreendedores. 3. Pernambuco. I. Engenharia Civil – Dissertação. II. Silva, Simone Rosa da (orient.). III. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. IV. Título.


CDD: 690.028

AMANDA RAFAELY MONTE DO PRADO

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS EM
PERNAMBUCO, A PARTIR DAS AÇÕES DOS
EMPREENDEDORES**

BANCA EXAMINADORA:

Orientadora



Profª. Dra. Simone Rosa da Silva
Universidade de Pernambuco

Examinadores



Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral
Universidade de Pernambuco



Profª. Dra. Suzana Maria Gico Lima
Montenegro
Universidade Federal de Pernambuco

Recife-PE
2022

AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora pelo infinito e amoroso cuidado.

A minha mãe, Adeilda Maria, por termos sonhado juntas mais uma vez. Por ter sido o meu esteio em momentos de descrença e cansaço. Obrigado por ser meu exemplo de mulher íntegra, batalhadora e perseverante.

A minha orientadora, Profa. Dra. Simone Rosa, pela confiança de depositar em minhas mãos a oportunidade de desenvolver um trabalho tão desafiador. Serei sempre grata por todo encorajamento e ensinamentos acadêmicos, profissionais e pessoais ao longo dessa jornada.

A banca examinadora, representada pelos professores Dr. Jaime Cabral e Dra. Suzana Montenegro, pela disponibilidade para avaliar e contribuir com o produto final desta pesquisa, desde a etapa da qualificação.

Aos meus amigos mais íntimos, por entenderem meus momentos de ausência nos últimos anos e por me apoiarem e encorajarem para a realização de mais essa etapa em minha vida.

Aos amigos e amigas do mestrado, com quem pude compartilhar risos e aflições, em especial Débora Muniz, Luciana Cássia e Amaury Gouveia. Nossos surtos coletivos foram fundamentais para conseguir chegar até aqui.

Aos alunos de iniciação científica com quem tive a oportunidade de trabalhar, em especial Ranielle Lopes. E a Anna Elis, pelos anos de pesquisa desde a graduação e por ser um exemplo de que não é impossível conciliar vidas profissional e acadêmica.

As minhas chefias imediatas e amigos do trabalho, pela compreensão, incentivo e disponibilidade em ajudar.

A Superintendência de Projetos da SERH/SEINFRA, a Gerência de Segurança de Barragens da COMPESA e a APAC, pela disponibilização dos dados para a realização desta pesquisa.

EPÍGRAFE

“Não se preocupem com nada, mas em todas as orações peçam a Deus o que vocês precisam e orem sempre com o coração agradecido.”

Filipenses 4,6

RESUMO

As barragens são estruturas primordiais para o desenvolvimento da sociedade, uma vez que sua construção possibilita o uso da água para as mais diversas finalidades. Contudo, também há riscos inerentes às mesmas, os quais ganharam destaque nos últimos anos, devido aos graves acidentes ocorridos no Brasil, mais especificamente nos municípios de Mariana e Brumadinho, ambas localizadas no estado de Minas Gerais. Tais acidentes suscitaram questionamentos sobre a real implementação e cumprimento da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), que vigora no país por meio da Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, recentemente alterada pela Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Diante do exposto, a presente pesquisa tem por objetivo analisar o cumprimento da PNSB no estado de Pernambuco, a partir das ações desenvolvidas pelos empreendedores, e apresentar propostas de planejamentos financeiro e de equipe técnica. A metodologia iniciou com a caracterização técnica das barragens cadastradas no Estado, com base na planilha de dados disponibilizada pelo Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Em seguida, foram identificados os principais empreendedores em Pernambuco, a fim de mapear suas atuais ações visando o cumprimento da Política. Nas etapas seguintes, foram identificadas as anomalias mais recorrentes nessas estruturas, por meio da análise dos Relatórios de Inspeção de Segurança Regular (ISR), bem como foi estabelecida uma ordem de prioridades dos empreendimentos, através da metodologia do Plano de Ações Estratégicas para a Reabilitação de Barragens da União (PLANERB), visando propor um planejamento financeiro e de equipe técnica para cada empreendedor estudado. Os resultados obtidos apontam que existem 480 barragens cadastradas em Pernambuco, das quais 269 estão enquadradas na PNSB. Para estas, foram identificados dois principais empreendedores públicos estaduais, a COMPESA e a SEINFRA. Os referidos órgãos desenvolvem ações que visam o atendimento à Política e, em conjunto, elaboraram ISRs de 144 barragens. A análise de suas anomalias permitiu identificar que a falta de documentação técnica é a anomalia mais recorrente para barragens de terra e concreto, sendo a infraestrutura operacional o item com maior deficiência. A partir das ordens de prioridades obtidas, os planejamentos propostos visam atender 5% das barragens da COMPESA e 10% da SEINFRA, totalizando cerca de R\$ 2.190.000,00 e R\$ 1.750.000,00 e com equipes mínimas de 09 e 15 profissionais, ao final do primeiro ano, respectivamente.

Palavras-chave: Segurança de barragens. Empreendedores. Pernambuco.

ABSTRACT

Dams are essential structures for the development of society, since their construction allows the use of water for the most diverse purposes. However, there are also inherent risks to them, which have gained prominence in recent years, due to serious accidents in Brazil, more specifically in the municipalities of Mariana and Brumadinho, both located in the state of Minas Gerais. Such accidents raised questions about the actual implementation and compliance with the National Dam Safety Policy (PNSB), which is in force in the country through Federal Law No. 12,334, of September 20, 2010, recently amended by Federal Law No. September 2020. In view of the above, the present research aims to analyze the fulfillment of the PSNB in the state of Pernambuco, based on the actions developed by the entrepreneurs, and to present proposals for financial planning and technical team. The methodology started with the technical characterization of dams registered in the State, based on the data sheet provided by the National Information System on Dam Safety (SNISB). Then, the main entrepreneurs in Pernambuco were identified, in order to map their current actions aimed at complying with the Policy. In the following steps, the most recurrent anomalies in these structures were identified, through the analysis of the Regular Safety Inspection Reports (ISR), as well as an order of priority of the projects was established, through the methodology of the Strategic Action Plan for Rehabilitation of Dams da União (PLANERB), aiming to propose a financial planning and technical team for each entrepreneur studied. The results obtained indicate that there are 480 dams registered in Pernambuco, of which 269 are included in the PNSB. For these, two main state public entrepreneurs were identified, COMPESA and SEINFRA. These bodies carry out actions aimed at complying with the Policy and, together, they prepared ISRs for 144 dams. The analysis of its anomalies allowed us to identify that the lack of technical documentation is the most recurrent anomaly for earth and concrete dams, with the operational infrastructure being the item with the greatest deficiency. Based on the priority orders obtained, the proposed plans aim to meet 5% of COMPESA's dams and 10% of SEINFRA's, totaling around R\$ 2,190,000.00 and R\$ 1,750,000.00 and with minimum teams of 09 and 15 professionals, at the end of the first year, respectively.

Keywords: Dam safety. Entrepreneurs. Pernambuco.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Número de barragens no mundo versus finalidade principal	22
Figura 2 - Usos mais comuns das barragens no Brasil	22
Figura 3 – Desenvolvimento das barragens ao longo do tempo.....	24
Figura 4 – Mapa holandês com destaque para o açude Apipucos	25
Figura 5 - Casos históricos de acidentes com barragens	30
Figura 6 - Evolução do número de acidentes e incidentes por RSB.....	35
Figura 7 - Arranjo esquemático da PNSB	47
Figura 8 – Linha do tempo: legislação brasileira sobre segurança de barragens x acidentes...	49
Figura 9 - Linha do tempo do processo de tramitação da Lei Federal nº 14.066/2020.....	51
Figura 10 – Exemplos de curvas de valor dos critérios 3 e 4 propostos por Zuffo (2005)	65
Figura 11 - Níveis de completude das informações	69
Figura 12 - Esquema do cálculo do IR	83
Figura 13 - Classificação CRI e Classificação DPA das barragens enquadradas na PNSB, em Pernambuco	88
Figura 14 - Existência de PSB, PAE e RPSB das barragens enquadradas na PNSB, segundo o SNISB.....	88
Figura 15 - Empreendedores de Pernambuco das barragens enquadradas na PNSB	89
Figura 16 - Mapa com distribuição das barragens da COMPESA em Pernambuco	91
Figura 17 - Mapa com distribuição das barragens da SEINFRA em Pernambuco	93
Figura 18 - Relatórios de ISR realizados pelos empreendedores	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Matriz de classificação por CRI e DPA – Resolução ANA nº 121/2022	56
Quadro 2 - Critérios e características relacionados a cada instrumento – Resolução ANA nº 236/2017 alterada pela Resolução ANA nº 121/2022	56
Quadro 3 - Regulamentações por estado	58
Quadro 4 - Matriz de classificação por CRI e DPA – Resolução APAC nº 3/2017-DC.....	61
Quadro 5 - Critérios e características relacionados a cada instrumento – Resolução APAC nº 3/2017-DC	61
Quadro 6 – Critérios utilizados no cálculo do ISB	64
Quadro 7 – Novos critérios para o cálculo do ISB propostos por Aguiar (2014)	65
Quadro 8 – Classificações de situação, magnitude e nível de perigo da anomalia	70
Quadro 9 – Anomalias analisadas para barragens de terra	97
Quadro 10 – Anomalias analisadas para barragens de concreto	104
Quadro 11 – Premissas para proposta de dimensionamento de equipe técnica.....	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações sobre as primeiras barragens brasileiras	26
Tabela 2 - Histórico de rompimentos de barragens no Brasil por décadas	31
Tabela 3 - Critérios e pontuações das CT*	74
Tabela 4 - Critérios e pontuações do EC*	76
Tabela 5 - Critérios e pontuações do PS*	79
Tabela 6 - Critérios e pontuações do DPA*	81
Tabela 7 - Características mais recorrentes nas barragens de Pernambuco	85
Tabela 8 – Nível de completude das informações no SNISB das barragens de Pernambuco ..	86
Tabela 9 –Nível de completude ótimo em relação ao total de barragens nos estados brasileiros	87
Tabela 10 – Maiores reservatórios das barragens enquadradas na PNSB no estado de Pernambuco	89
Tabela 11 – Quantidade de barragens analisadas da COMPESA e SEINFRA.....	96
Tabela 12 – Dez anomalias mais recorrentes nas barragens de terra analisadas.....	99
Tabela 13 – Dez anomalias mais identificadas como “não existe” nas barragens de terra analisadas.....	101
Tabela 14 – Dez anomalias mais identificadas como “não inspecionadas” nas barragens de terra analisadas	102
Tabela 15 – Dez anomalias mais identificadas como “não se aplica” nas barragens de terra analisadas.....	103
Tabela 16 – Dez anomalias mais recorrentes nas barragens de concreto analisadas	107
Tabela 17 – Dez anomalias mais identificadas como “não existe” nas barragens de concreto analisadas.....	108
Tabela 18 – Dez anomalias mais identificadas como “não inspecionadas” nas barragens de concreto analisadas	108
Tabela 19 – Dez anomalias mais identificadas como “não se aplica” nas barragens de concreto analisadas.....	109
Tabela 20 – Classificação para fins gerenciais das barragens da COMPESA	111
Tabela 21 – Classificação para fins gerenciais das barragens da SEINFRA.....	115
Tabela 22 – Valores para elaboração de PSB.....	117
Tabela 23 – Valores para elaboração de projeto de recuperação ou “As Is”	118
Tabela 24 – Valores para manutenção por barragem	118

Tabela 25 – Valores para ISR por barragem	119
Tabela 26 – Proposta de planejamento para PSB e projetos de recuperação ou “As Is” para a COMPESA	120
Tabela 27 – Proposta financeira para PSB e projetos de recuperação ou “As Is” para a COMPESA	121
Tabela 28 – Resumo da proposta financeira para a COMPESA	122
Tabela 29 – Proposta de planejamento para PSB e projetos de recuperação ou “As Is” para a SEINFRA	123
Tabela 30 – Proposta financeira para PSB e projetos de recuperação ou “As Is” para a SEINFRA	124
Tabela 31 – Resumo da proposta financeira para a SEINFRA	125
Tabela 32 – Ações relacionadas a segurança de barragens previstas no FEHIDRO - SEINFRA	127

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

- ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
- ABMS – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
- ABRAGE – Associação Brasileira das Empresas Geradoras de Energia Elétrica
- ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos
- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento
- APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima
- ART – Anotação de Responsabilidade Técnica
- BIRD – Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
- CAV – Curva Cota – Área - Volume
- CBDB – Comitê Brasileiro de Barragens
- CCJ – Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania
- CCR – Concreto Compactado a Rolo
- CD – Câmara dos Deputados
- CIGB – Comissão Internacional de Grandes Barragens
- CMA – Comissão de Meio Ambiente
- CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
- CNSB – Conselho Nacional de Segurança de Barragens
- CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
- COGERH – Companhia de Gestão de Recursos Hídricos
- COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento
- CRI – Categoria de Risco
- CRI* – Categoria de Risco Modificado
- CT* – Características Técnicas Modificadas
- CTAP – Câmara Técnica de Análise de Projetos
- CTIL – Câmara Técnica de Assuntos Legais e Institucionais
- CTSB – Câmara Técnica de Segurança de Barragens
- DNOCS – Departamento de Obras contra as Secas
- DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento
- DPA – Dano Potencial Associado
- DPA* – Dano Potencial Associado Modificado
- ES* – Estado de Conservação Modificado

EUA – Estados Unidos da América
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
FEHIDRO – Fundo Estadual de Recursos Hídricos
FEMA – Federal Emergency Management Agency
GT – Grupo de Trabalho
ICOLD – International Commission on Large Dams
IR – Índice de Risco
ISE – Inspeção de Segurança Especial
ISR – Inspeção de Segurança Regular
MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional
MI – Ministério da Integração Nacional
MME – Ministério de Minas e Energia
NPGB – Nível de Perigo Global da Barragem
PAE – Plano de Ação de Emergência
PE3D – Programa Pernambuco Tridimensional
PERH – Plano Estadual de Recursos Hídricos
PISF – Projeto de Integração do Rio São Francisco
PL – Projeto de Lei
PLANERB – Plano de Ações Estratégicas para a Reabilitação de Barragens da União
PLS – Projeto de Lei do Senado
PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos
PNSB – Política Nacional de Segurança de Barragens
PROGESTÃO – Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas
PS* – Plano de Segurança Modificado
PSB – Plano de Segurança de Barragem
PSHPE – Projeto de Sustentabilidade Hídrica
RPSB – Revisão Periódica de Segurança de Barragem
RSB – Relatório de Segurança de Barragens
SB – Segurança de Barragens
SEED – Safety Evaluation of Existing Dams
SEINFRA – Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos
SEIRHMA – Secretaria de Estado da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente
SIGRH – Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos

SNISB – Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

UHE – Usina Hidrelétrica

VALE – Companhia Vale do Rio Doce

ZAS – Zona de Autossalvamento

ZSS – Zona de Segurança Secundaria

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Justificativa	18
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo geral	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1 BARRAGENS	21
2.1.1 Aspectos históricos.....	23
2.1.2 Acidentes	27
2.2 SEGURANÇA DE BARRAGENS.....	38
2.2.1 Brasil	40
2.2.1.1 Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010	41
2.2.1.2 PL 550/2019 e a Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020	48
2.2.1.3 Atuação do CNRH.....	52
2.2.1.4 Panorama da regulamentação da PNSB na União e nos Estados	55
2.2.1.5 Resolução ANA nº 236/2017 alterada pela Resolução ANA nº 121/2022	55
2.2.1.6 Panorama dos Estados.....	57
2.2.2 Pernambuco	60
2.3 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DE BARRAGENS	63
3 METODOLOGIA.....	69
3.1 Caracterização das barragens em Pernambuco	69
3.2 Mapeamento das ações dos órgãos empreendedores.....	70
3.3 Análise detalhada dos relatórios das ISRs.....	70
3.4 Classificação para fins de gestão de segurança de barragens	71
3.4.1 Cálculo da Categoria de Risco Modificado (CRI*).....	72
3.4.2 Cálculo do Dano Potencial Associado Modificado (DPA*)	80

3.5	<i>Proposta de dimensionamento financeiro</i>	84
3.6	<i>Proposta de dimensionamento de equipe técnica</i>	84
4	RESULTADOS	85
4.1	<i>Caracterização das barragens em Pernambuco</i>	85
4.2	<i>Mapeamento das ações dos órgãos empreendedores</i>	91
4.2.1	COMPESA	91
4.2.1.1	Realização de ISR	92
4.2.1.2	Elaboração de RPSB, PSB e PAE	92
4.2.1.3	Projetos de requalificação	92
4.2.1.4	Realização de obras	92
4.2.2	SEINFRA	92
4.2.2.1	Realização de ISR	94
4.2.2.2	Elaboração de RPSB, PSB e PAE	94
4.2.2.3	Projetos de recuperação	94
4.2.2.4	Elaboração de manchas de inundação	95
4.3	<i>Análise detalhada dos relatórios das ISRs</i>	95
4.3.1	Barragens de terra.....	97
4.3.2	Barragens de concreto.....	104
4.4	<i>Classificação para fins de gestão de segurança de barragens</i>	110
4.4.1	COMPESA.....	111
4.4.2	SEINFRA	114
4.5	<i>Proposta de dimensionamento financeiro</i>	115
4.5.1	COMPESA	119
4.5.2	SEINFRA	123
4.5.3	Possíveis fontes de recursos	125
4.6	<i>Proposta de dimensionamento de equipe técnica</i>	127
4.6.1	COMPESA.....	128

4.6.2	<i>SEINFRA</i>	129
4.6.3	<i>Contratação de consultoria</i>	130
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	132
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	134
	REFERÊNCIAS	135
	Apêndice I – Anomalias encontradas para as barragens de terra analisadas	144
	Apêndice II – Anomalias encontradas para as barragens de concreto analisadas	152

1 INTRODUÇÃO

A construção de barragens é uma atividade muito antiga, tendo iniciado há milhares de anos e possibilitado o desenvolvimento da sociedade. Tais estruturas apresentam inúmeros benefícios, tais como a disponibilidade ampliada de água, a produção de energia renovável e a minimização de impactos negativos advindos de eventos críticos de inundações e/ou secas (ICOLD, 2019). De fato, a construção de barragens é uma ação adotada historicamente para controle das inundações (TEODORI; HOFGAARD; KASPAR, 2019).

Do ponto de vista hidrológico, as barragens têm como finalidade a regularização das vazões, possibilitando, por consequência, outros usos para a água, como o abastecimento e o controle de cheias (TUCCI, 2001). Assim, pode-se afirmar que o principal motivo para construção das barragens é regularizar a vazão, sendo os demais usos consequências dessa regularização. Nesse sentido, a hidrologia tem papel fundamental nos projetos de barragens, influenciando em sua localização e dimensionamento, como o tipo de barragem, de fundação e do vertedouro.

Metade dos rios existentes no mundo são represados a uma taxa sem precedentes de um por hora, assim como em dimensões significativas, com mais de 45 mil barragens com alturas superiores a quatro andares (CMR, 2000; CRUZ; SILVEIRA, 2019). No século passado, o acelerado crescimento da população associada ao desenvolvimento social, provocou o rápido aumento do número de barragens (FIROOZFAR et al, 2019).

Apesar de proporcionarem diversos benefícios, a construção dessas estruturas possui riscos inerentes às mesmas, que podem vir a causar desastres e acidentes de grande vulto. No Brasil, recentemente, ocorreram os rompimentos de barragens em Mariana e Brumadinho, localizadas em Minas Gerais, em 2015 e 2019, respectivamente, que causaram graves consequências sociais, ambientais e econômicas, bem como de perdas de vidas humanas. Tais desastres suscitaram debates acerca da segurança desses empreendimentos e do cumprimento efetivo da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), que vigora no país desde 2010.

A PNSB foi estabelecida através da Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, tendo sido alterada recentemente pela Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. A mesma regulamenta as ações de segurança a serem adotadas em todas as fases da vida de uma barragem, desde o planejamento até a descaracterização, buscando promover uma cultura de segurança de barragens, e conseqüentemente, a redução da ocorrência de acidentes (BRASIL, 2010; BRASIL, 2020).

Para atingir tal objetivo, a Política instituiu instrumentos e definiu que a responsabilidade pela segurança da barragem cabe ao empreendedor, ou seja, ao “proprietário” da mesma. Além disso, também foi instituído o Sistema Nacional de Informações de Segurança de Barragens (SNISB), que reúne informações de todas as barragens cadastradas e é base para a elaboração do Relatório de Segurança de Barragens (RSB), que, por sua vez, é um dos instrumentos da PNSB (BRASIL, 2010).

1.1 Justificativa

Conforme mencionado anteriormente, os recentes acidentes ocorridos no Brasil geraram discussões acerca da efetividade do cumprimento da PNSB, bem como dos riscos e da segurança dessas estruturas. Dessa forma, segundo Melo, Sírío e Silva Neto (2019), o crescimento do número de acidentes e incidentes no país apontam a importância da realização de estudos na temática de segurança de barragens.

Ainda, é de suma importância que haja o compartilhamento de experiências e práticas adotadas pelos empreendedores, das ações desenvolvidas pelos mesmos, bem como de que sejam planejadas ações futuras (ASDSO, 2020; ANDREETA, 2020). Considerando o cenário dos empreendedores públicos, isso se torna ainda mais importante, uma vez que pode servir como exemplo e/ou suscitar novas possibilidades, a fim de que as obrigações legais dos empreendedores possam ser cumpridas.

Em Pernambuco, assim como em nível federal, existem diversos empreendedores que são órgãos públicos, os quais, em sua maioria, sofrem com equipe técnica deficiente e orçamentos restritos. Tal realidade é contrária ao constante na Declaração Mundial de Segurança de Barragens, que pontua a necessidade de profissionais e recursos financeiros adequados são

condições primordiais para que o empreendedor possa cumprir com suas responsabilidades (ICOLD, 2019).

Em 2020, no Estado, também houve a ocorrência da situação de emergência da barragem Ipanema I, localizada no município de Águas Belas, em abril, devido as cheias ocorridas na bacia do rio Ipanema, que causaram danos na estrutura. O empreendedor declarou a situação de emergência e atuou na contratação e realização das obras emergenciais cabíveis, que se encerraram no final de maio do mesmo ano (ANA, 2021a).

Além disso, o incidente também foi um exemplo prático da importância das relações interinstitucionais, uma vez que envolveu as defesas civis dos municípios a jusante, as defesas civis estaduais de Pernambuco e Alagoas, a ANA, a APAC e a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (ANA, 2021a).

A realização de estudos dessa temática no estado de Pernambuco também se justifica pela importância dos empreendedores a nível nacional, em relação ao quantitativo de barragens sob sua responsabilidade. Segundo o Relatório de Segurança de Barragens 2020, a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) é o quinto empreendedor com maior número de barragens, totalizando 75 estruturas (ANA, 2022a).

Mediante o exposto, a presente pesquisa busca apresentar um panorama das ações desenvolvidas por empreendedores do estado de Pernambuco, bem como das anomalias presentes nas barragens sob suas responsabilidades. Ainda, serão realizadas propostas de planejamento técnico e financeiro, a fim de contribuir com a segurança dessas estruturas ao longo do tempo e buscar o atendimento a PNSB.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o cumprimento da Política Nacional de Segurança de Barragens (PSNB), a partir das ações desenvolvidas pelos empreendedores do Estado de Pernambuco.

1.2.2 Objetivos específicos

- Elaborar um recorte aprofundado da caracterização das barragens em Pernambuco.
- Avaliar o atendimento aos instrumentos da PNSB, a partir das ações desenvolvidas e em desenvolvimento.
- Identificar as anomalias mais recorrentes nas barragens dos empreendedores estudados.
- Classificar as barragens para fins gerenciais, em ordem de prioridade de urgência.
- Propor dimensionamento financeiro cumprimento da Lei para os empreendedores estudados, no que se refere a elaboração de PSB e projetos de recuperação ou “As Is” (como está); e realização de ISR e manutenção.
- Propor dimensionamento de equipe técnica necessária para segurança de barragens para os empreendedores estudados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

2.1 BARRAGENS

As barragens são quaisquer estruturas construídas dentro ou fora de cursos d'água temporários ou permanentes, ou ainda em talvegue ou cava exaurida com dique, com finalidades de acumulação ou contenção de matérias líquidas ou mistas de líquidos e sólidos (BRASIL, 2020; ANA, 2021a). Ainda, em sua definição, tem-se que as mesmas compreendem o barramento e as estruturas associadas (BRASIL, 2020).

Também podem ser conceituadas como estruturas construídas na seção transversal de um curso d'água, com o objetivo de acumular água e/ou de elevar o nível do mesmo (MI, 2002; LOUZADA, 2018). Ainda, segundo a Comissão Internacional de Grandes Barragens (ICOLD), as barragens são barreiras ou estruturas construídas transversalmente a um riacho, rio ou canal, objetivando o controle e confinamento do fluxo de água (ICOLD, 2008).

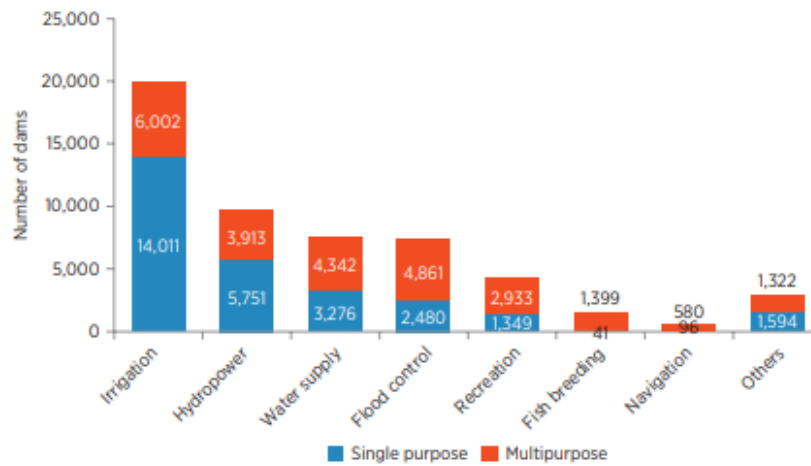
No mundo, existem aproximadamente 60.000 grandes barragens, segundo o Registro Mundial de Grandes Barragens, de responsabilidade da ICOLD. Para ser classificada como tal, a estrutura deve possuir altura igual ou superior a 15m, a partir da fundação mais baixa até a crista; ou com altura entre 5m e 15m, mas com capacidade de reservatório superior a 3 milhões de metros cúbicos (WISHART et al., 2020).

Acerca dos usos e funções apresentados por tais estruturas e encontrados na literatura tem-se: regularização dos rios, atenuando os efeitos de secas e cheias; controle de enchentes; abastecimento de água; geração de energia hidrelétrica; atividades industriais e agropecuárias; irrigação; retenção de resíduos industriais ou perigo; contenção de rejeitos de mineração; piscicultura; proteção do meio ambiente; dessedentação animal; navegação; entre outros (MENESCAL, 2009; LOUZADA, 2018; CRUZ; SILVEIRA, 2019; PEREIRA, 2019; PEREIRA L., 2019; WISHART et al., 2020; ANA, 2021a; ANA, 2022a).

Conforme Relatório do Banco Mundial, no mundo, a irrigação é a principal finalidade das grandes barragens, sendo seguida pela geração de energia, conforme pode-se observar na Figura 1. A situação é observada tanto para estruturas com usos múltiplos quanto para aquelas

que apresentam um único uso. Em terceiro e quarto lugar, respectivamente, tem-se o abastecimento de água e o controle de cheias (WISHART et al., 2020).

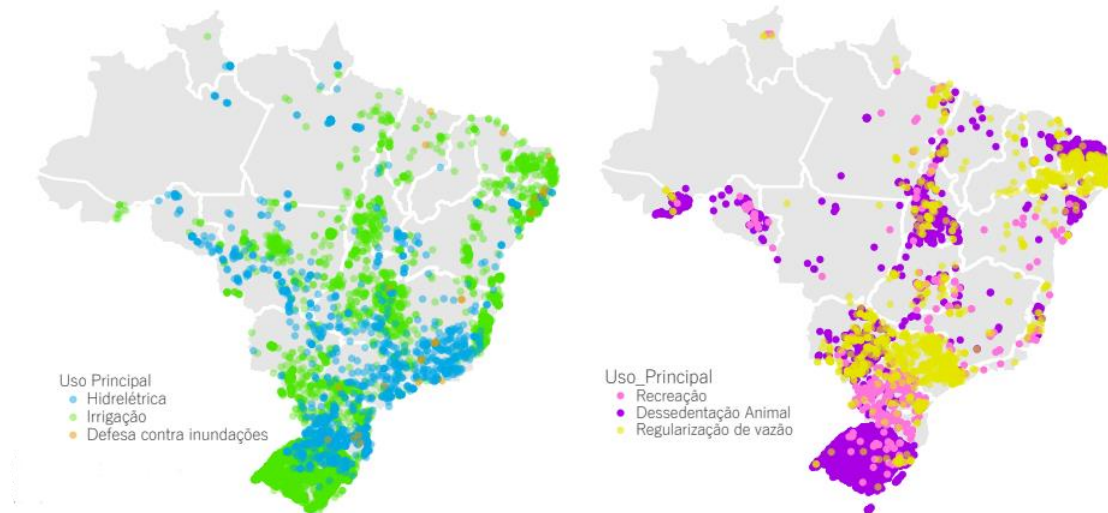
Figura 1 - Número de barragens no mundo versus finalidade principal



Fonte: Wishart et al. (2020)

Na América Latina e Caribe, tem-se a hidroeletricidade, irrigação, abastecimento de água e controle de cheias como as principais finalidades das barragens, nessa ordem (WISHART et al., 2020). Especificamente para o Brasil, segundo Menescal (2009), destacam-se os usos para hidroeletricidade, controle de cheias, recreação, irrigação, aquicultura, abastecimento de água, disposição de rejeitos de mineração e acumulação de resíduos industriais líquidos. Atualmente, os usos mais comuns para as barragens no país variam de acordo com as regiões. Mas, em geral, são aqueles referentes a energia hidrelétrica, irrigação, defesa contra inundações, recreação, dessedentação animal e regularização de vazão (Figura 2) (ANA, 2021a).

Figura 2 - Usos mais comuns das barragens no Brasil



Fonte: ANA (2021)

Por tantas finalidades, as barragens apresentam grande importância em setores fundamentais da sociedade e do mundo. Estima-se que cerca de 12 a 16% da produção mundial de alimentos depende dessas estruturas, uma vez que em torno de metade das grandes barragens possuem finalidade principal para irrigação e as mesmas também são responsáveis por de 30 a 40% do total de terras irrigadas (CMR, 2000; CRUZ; SILVEIRA, 2019). Assim como, são responsáveis pela geração de 16% do total de energia elétrica (IEA, 2017; CRUZ; SILVEIRA, 2019).

No Brasil, as barragens são primordiais para que milhões de pessoas tenham acesso a água em condições quantitativa e qualitativa adequadas, bem como em relação a localização e tempo (MENESCAL, 2009). Em Pernambuco, por exemplo, os reservatórios de Algodões, Barra do Juá, Carpina, Chapéu, Engenheiro Francisco Sabóia, Entremontes, Goitá, Jucazinho, Pirapama, Prata, Saco II, Serrinha II, Serro Azul e Tapacurá são os maiores em relação a capacidade de armazenamento e, em conjunto, são essenciais para o desenvolvimento social e econômico do Estado (FERREIRA et al., 2019).

2.1.1 Aspectos históricos

Dados tantos benefícios e importância, a construção de barragens é uma atividade iniciada há milhares de anos, que permitiu o desenvolvimento da civilização (ANA, 2021a). No mundo, a barragem de Quainah ou Lago Homs é a primeira de que se tem registros, tendo sido construída na Síria, entre os anos de 1319 a.C e 1304 a.C. Também construída no século II a.C, tem-se a barragem de Kallanai ou Grande Anicut, localizada na Índia e que continua operando, com finalidade para irrigação (CRUZ; SILVEIRA, 2019).

Outros autores apontam que a barragem mais antiga foi construída no Egito, sendo nomeada de Sadd el-Kafara. A estrutura, cuja finalidade era reserva de água para abastecimento, sofreu processo de galgamento após a conclusão e colapsou, uma vez que não apresentava uma estrutura vertente em sua configuração (AGUIAR, 2014; SMITH, 1971 apud FERLA, 2018).

Segundo McCully (2001), a barragem mais antiga foi construída por volta de 3000 a.C., na Jordânia, como parte de um sistema de abastecimento de água para a cidade de Jawa. O sistema desviava água para 10 pequenos reservatórios, através de um canal, tendo a maior das

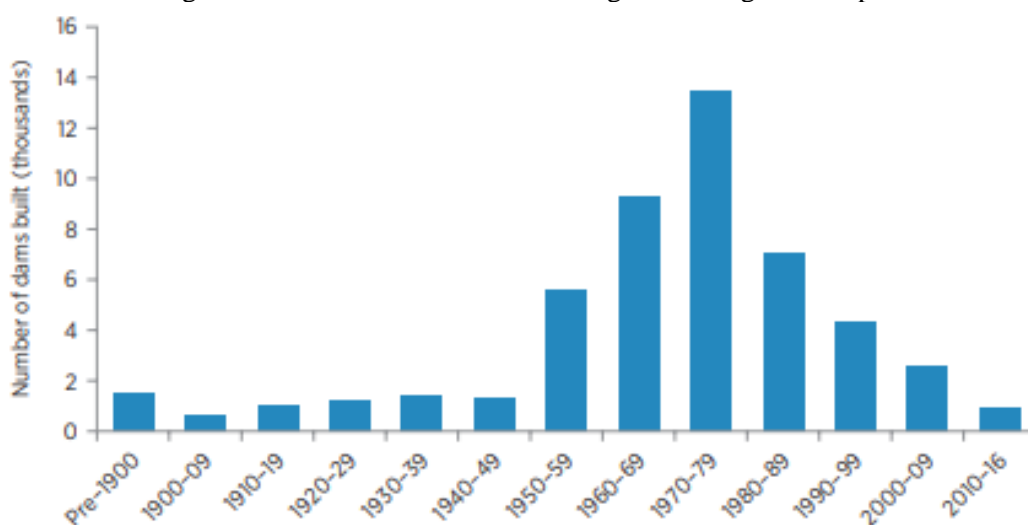
estruturas mais de 4m de altura e 80m de comprimento. Ainda, apenas aproximadamente 400 anos depois, os egípcios teriam construído a barragem de Sadd el-Kafara ou “barragem dos pagãos”.

Ainda, o mesmo autor acrescenta que a barragem de Sadd el-Kafara possuía 14m de altura e 113m de comprimento, tendo como materiais constituintes areia, cascalho e rocha. Em torno de uma década depois do início da construção, mas ainda com a estrutura incompleta, a mesma foi “parcialmente lavada” e nunca foi reparada (McCULLY, 2001).

O modo de ruptura da barragem diverge daquele apresentado por Aguiar (2014) e Smith (1971 apud FERLA, 2018), evidenciando o quanto os registros das primeiras barragens não são precisos. Conforme Pereira (2015), muitas dessas estruturas datam do período a.C, podendo apenas serem feitas estimativas. Assim, sua história remota não é bem conhecida.

De acordo com arquivos do ICOLD, constantes no Relatório do Banco Mundial, a década de 70 foi a que apresentou maior construção das barragens registradas na Comissão, com aproximadamente 14.000 novas estruturas, como pode-se observar na Figura 3. Ainda, identifica-se que o período compreendido entre os anos de 1950 e 1989, abrangem grande parte das barragens construídas, totalizando mais de 30.000 (WISHART et al., 2020).

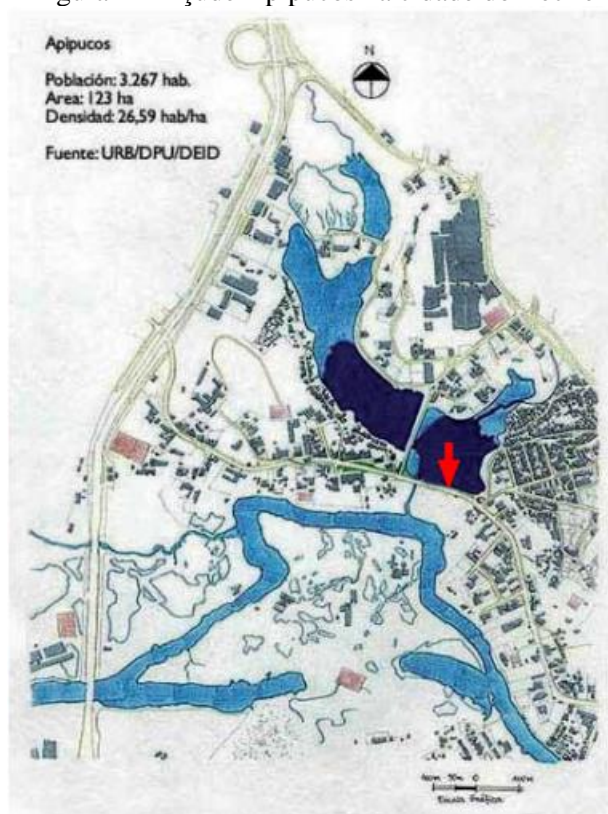
Figura 3 – Desenvolvimento das barragens ao longo do tempo



Fonte: Wishart et al. (2020)

A primeira barragem construída no Brasil, segundo arquivos, data do século XVI e teria sido localizada em torno da cidade de Recife (CBDB, 2011; FERLA, 2018; CRUZ; SILVEIRA, 2019; ANA, 2021a). A estrutura conhecida como açude Apipucos é visualizada em um mapa holandês do ano de 1577 (Figura 4) e teria sido alargada e reforçada, a fim de permitir a construção de uma via de acesso ao centro da cidade. Na língua tupi, Apipucos significa “onde os caminhos se encontram” (CBDB, 2011; ANA, 2021a).

Figura 4 – Açude Apipucos na cidade do Recife



Fonte: CBDB (2011)

Em seguida, no ano de 1644, tem-se referências ao dique Afogados, construído no rio de mesmo nome, por Harman Agenau, a fim de possibilitar acesso para um forte. O mesmo possuía três metros de altura e em torno de dois quilômetros de extensão, cuja obra teria sido concluída em dezembro de 1644, também na atual área urbana de Recife. O dique teria colapsado em 1650, após sofrer transbordamento devido a uma grande cheia (CBDB, 2011; ANA, 2021a).

Contudo, a construção de barragens no Brasil ocorreu, de fato, a partir de 1880, logo após a Grande Seca ocorrida no Nordeste brasileiro em 1877. Na época, o Imperador Dom Pedro I

nomeou uma comissão para propor soluções para as secas da região, dentre elas, teve-se a construção de barragens como alternativa para suprimento de água e irrigação do chamado Polígono das Secas (CBDB, 2011; CRUZ; SILVEIRA, 2019; ANA, 2021a). A partir de 1887, o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) iniciou a construção das primeiras barragens no Nordeste, com Cedros sendo a inicial (CBDB, 2011). A estrutura situa-se no Ceará e foi concluída em 1906 (CBDB, 2011; ANA, 2021a).

Além da demanda de soluções para as secas no Nordeste, a construção de barragens também foi acelerada em função do desenvolvimento do país, atreladas a necessidade de aproveitamento dos usos múltiplos dos recursos hídricos. Em 1944, por exemplo, foi construído o sistema de controle de cheias do rio Itajaí, em Santa Catarina. Nas regiões Sul e Sudeste, o objetivo principal da construção de barragens era mais relacionado com a hidroeletricidade (CBDB, 2011).

A partir das informações obtidas na literatura, a Tabela 1 apresenta a compilação das primeiras barragens construídas no Brasil. Ressalta-se que há dificuldades para determinar com precisão datas e dados relacionados ao início da construção dessas obras no país (FERLA, 2018).

Tabela 1 - Informações sobre as primeiras barragens brasileiras

Barragem	Ano de conclusão	Localização	Tipo	Finalidade
Açude Apipucos	1577	PE	Sem informação	Sem informação
Dique Afogados	1644	PE	Sem informação	Sem informação
Ribeirão do Inferno	1883	MG	Terra	Hidrelétrica
Cedros	1906	CE	Alvenaria de pedra	Combate as secas
Lajes	1906	RJ	Sem informação	Hidrelétrica
Salão	1918	CE	Terra	Combate as secas
Rio do Peixe	1922	BA	Terra	Abastecimento
Rio das Pedras	1927	MG	Arcos múltiplos	Hidrelétrica
Rio Grande	1928	SP	Terra	Hidrelétrica
Rio Novo	1932	SP	Concreto gravidade	Hidrelétrica
Rio do Cobre	1933	BA	Concreto gravidade	Abastecimento
Saco I	1936	PE	Alvenaria de pedra	Abastecimento
Bugres/Salto	1951	RS	Concreto gravidade	Hidrelétrica
Salto	1952	RS	Concreto gravidade	Hidrelétrica
Salto Grande	1957	MG	Concreto gravidade	Hidrelétrica
Rio Bonito	1958	ES	Concreto gravidade	Hidrelétrica
Sabugi	1965	RN	Terra	Irrigação
Saco II	1970	PE	Terra	Irrigação

Barragem	Ano de conclusão	Localização	Tipo	Finalidade
Rio da Casca I	1971	MT	Enrocamento	Hidrelétrica
Rio Capivara	1976	MG	Terra	Combate as secas
Rio Verde	1976	PR	Terra	Abastecimento

Fonte: Adaptado de FRANCO (2008); CBDB (2011); FERLA (2018); CRUZ; SILVEIRA (2019); ANA (2021)

Segundo a classificação da antiga CIGB e atual ICOLD, em 2010, o Brasil possuía mais de mil grandes barragens construídas, excetuando-se as barragens de rejeitos, ocupando o oitavo lugar no ranking (CBDB, 2011). De acordo com Pereira L. (2019), em 2018, o Brasil havia subido de posição, passando a ser o quinto país no ranking daqueles com maior quantidade de grandes barragens construídas.

2.1.2 Acidentes

Embora sejam estruturas que apresentam inúmeros benefícios, ao longo do tempo, tornou-se indiscutível que as barragens possuem diversos fatores externos e causam impactos advindos da sua construção, que necessitam ser ponderados quando da implantação das mesmas (CRUZ; SILVEIRA, 2019). Tais preocupações ficaram evidentes devido aos incidentes e acidentes ocorridos, responsáveis por consequências desastrosas em diversas partes do mundo.

Jansen (1983) reuniu em seu livro sobre barragens e segurança pública, alguns casos importantes de acidentes e falhas com barragens, dos quais podem-se destacar:

- 1864: ruptura do aterro da barragem Bradfield, na Inglaterra, ocasionando a morte de 238 pessoas.
- 1895: falha na barragem Bouzey, na França, causada após ser realizado o alteamento de dois metros na estrutura, sem verificação das modificações nas demais dimensões. A cheia atingiu vilas a jusante e provocou a morte de mais de 100 pessoas.
- 1935: colapso da barragem Alla Sella Zerbino, na Itália, após fortes chuvas. A destruição nas proximidades foi extensa e teve-se mais de 100 mortos.

- 1959: rompimento da barragem Malpasset, na França, após serem detectadas surgências na ombreira direita. A onda de cheia provocada destruiu 11km a jusante, causando 421 mortes.
- 1963: acidente da barragem Vajont, na Itália, que provocou a morte de 2.600 pessoas. Houve um deslizamento de rochas nas margens, que caíram dentro do reservatório, provocando ondas gigantes que ultrapassaram a estrutura. A barragem em si não sofreu grandes danos, mas a onda de cheia gerada atingiu vilas próximas.
- 1972: falha na barragem de Buffalo Creek, na Virgínia Ocidental, que provocou uma onda de inundação de resíduos de minas de carvão e, conseqüentemente, a morte de 125 pessoas.
- 1976: rompimento da barragem de Teton, nos Estados Unidos, durante o enchimento inicial do reservatório. Foram estimados custos de 400 milhões de dólares e a morte de 11 a 14 pessoas.

O maior desastre em escala mundial que se tem registro é o da barragem de Banqiao, na China, ocorrido em 1975. O rompimento aconteceu após chuvas intensas, que elevaram o nível do reservatório em 2m acima do considerado seguro. Na época, as comportas não suportaram a descarga de vazão necessária, pois encontravam-se parcialmente obstruídas por sedimentos. Estima-se a morte de 230.000 pessoas devido ao acidente, bem como pelas doenças provocadas (McCULLY, 2001; FERLA, 2018). Ainda, o rompimento da estrutura liberou cerca de 500 milhões de m³ de água e gerou um efeito cascata, colapsando mais de 60 barragens a jusante (JANSEN, 1983; FERLA, 2018).

Mais recentemente, em 2017, no estado da Califórnia, nos Estados Unidos, houve um acidente na barragem de Oroville, causado pelo surgimento de uma erosão de alta magnitude no rápido concretado do vertedouro principal, devido às chuvas intensas na região. A obra possui 235m de altura, sendo considerada a mais alta dos EUA. O estado de emergência foi decretado na cidade em que se localiza e foi necessária a evacuação de cerca de 180 mil pessoas situadas a jusante. Para reparar o vertedouro, foi necessária a liberação de uma vazão de 2.800 m³/s (PEREIRA L., 2019).

Tschiedel et al (2019) também destaca alguns rompimentos de barragens pelo mundo, sendo eles: South Fork, nos EUA, em 1889; St Francis, nos EUA, em 1928; Vega de Tera, na

Espanha, em 1959; Vajont, na Itália, em 1963; Baldwin Hills, nos EUA, em 1963; Tous, na Espanha, em 1982; Quail Creek, nos EUA, em 1988; Situ Ginung, na Indonésia, em 2009; Xe-Pian Xe-Namnoy, no Laos, em 2018; e Xinjiang, na China, em 2018. Especificamente para a China, ocorreram um total de 3.498 rompimento de barragens, entre os anos de 1954 e 2006 (MAO et al., 2017).

Em 2020, foi organizado um banco de dados nomeado como “A Worldwide Historical Dam Failure’s Database”, que reúne 3.861 casos de falhas históricas de barragens em nível mundial, a partir da compilação de informações encontradas em 196 referências. Até fevereiro do mesmo ano, o banco de dados reunia o maior conjunto de falhas de barragens registradas, independentemente do tipo, do material constituinte, do tipo de falha ou das propriedades das barragens. O banco de dados encontra-se disponível na internet, com acesso livre (BERNARD-GARCIA; MAHDI, 2020).

Para o Brasil, o banco de dados apresenta os registros de 13 casos de falhas de barragens, sendo eles: EMA, em 1940; Pampulha, em 1954; Orós, em 1960; Armando de S. Oliveira, em 1977; Boa Esperança, em 1977; Euclides da Cunha, em 1977; Salles Oliveira, em 1977; Santa Helena, em 1985; Camará, em 2004; Campos Novos, em 2006; Algodões, em 2009; Campo dos Goytacazes, em 2012; Bento Rodrigues, em 2015 (BERNARD-GARCIA; MAHDI, 2020). Sobre essas, acredita-se que há uma duplicata nos registros de “Armando de S. Oliveira” e “Salles Oliveira”, ambas ocorridas em 1977 e que, provavelmente, se referem a mesma estrutura, que também era conhecida como barragem Limoeiro.

Andreea (2020) elaborou um mapa, identificando os principais acidentes de barragens ocorridos no mundo, ao longo dos últimos 150 anos. Como se pode observar na Figura 5, em número de mortes, os rompimentos das barragens Banqiao e Shimantan, na China, em 1975, ocupam o primeiro lugar. Para o desastre, segundo o autor, ocorreram 26 mil mortes diretas e 145 mil mortes indiretas. Em consequências graves ao meio ambiente, tem-se a barragem de Martin County, nos EUA, que liberou 2 bilhões de litros de lama de carvão vegetal durante seu rompimento, em 2000. Quanto ao aspecto financeiro, estima-se a perda de um bilhão de dólares devido ao rompimento da barragem de Teton, nos EUA, em 1976.

Figura 5 - Casos históricos de acidentes com barragens



Fonte: Andreetta (2020)

No Brasil, o histórico de rompimentos não é bem definido. Na literatura, diversos autores buscam constituir um banco de dados com as informações das barragens que já romperam ao longo dos anos. A partir desses dados, apresentados na Tabela 2, observa-se que foram documentados 39 acidentes desde 1950, dos quais 20 (51%) ocorreram na década de 2010, numa taxa média de 02 rompimentos por ano. Em seguida, tem-se a década dos anos 2000, com 08 (20%) acidentes de barragens (TSCHIEDEL et al., 2019).

Tabela 2 - Histórico de rompimentos de barragens no Brasil por décadas

DÉCADA	BARRAGENS
1950	Pampulha
1960	Orós
1970	Euclides da Cunha Limoeiro Poquim
1980	Boa Esperança Santa Helena Fernandinho Pico São Luiz
1990	Macacos Emas
2000	Rio Verde Cataguases Miraí Espora Apertadinho Algodões Camará Nova Lima
2010	Itabirito Laranjal do Jari Herculano Camocim Analandia Boa Vista do Uru Vacaro Coronel Sapucaia Zampieri Buritis Fundão Alta Grande Fazenda Felicia Fazenda Guaravirova Balneário Ayrton Senna Rincão dos Kroeff Cacimba Nova Barreiros Lageado Brumadinho

Fonte: TSCHIEDEL et al. (2019)

Menescal (2009) reuniu dados acerca de acidentes e incidentes ocorridos em escala nacional, obtendo informações de 166 casos, relativos ao período entre abril de 1954 e janeiro de 2009. Os elementos buscados para caracterização das ocorrências foram o nome da barragem; a localização (cidade e estado); uso preponderante; anomalia observada; causa provável; danos causados; fase da vida da estrutura; data; e fonte. Ainda, o mesmo autor estima que mais de 400 incidentes e acidentes ocorreram no Brasil, apenas no ano de 2004, dos quais a maioria se deve a incapacidade de as barragens suportarem eventos hidrológicos.

Dos acidentes ocorridos, alguns obtiveram maiores destaques devido as consequências geradas, dentre eles, podem ser citados os acidentes da UHE Pampulha, em 1954; da barragem Orós, em 1960; da UHE Euclides da Cunha, em 1977; da UHE Limoeiro, em 1977; da barragem de Fundão, em 2015; e da barragem de Brumadinho, em 2019 (TSCHIEDEL et al., 2019). Ainda, também se destaca o acidente com as barragens de Cataguases e Algodões, que foram de grande importância para as discussões acerca da segurança de barragens no Brasil.

A barragem da UHE Pampulha, localizada em Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais, rompeu em 1954, devido a problemas de erosão interna. Na época, foi reconstruída pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) (CBDB, 2011). A falha se iniciou com surgência de água a jusante, que evoluiu ao longo dos dias, formando um túnel ao longo do maciço, caracterizando a ocorrência de *piping*. O volume de água liberado a jusante foi de cerca de 12,6 milhões de m³ e, segundo registros, houve apenas danos materiais (VIANINI NETO, 2016).

As barragens UHE Euclides da Cunhas e UHE Limoeiro, localizadas no estado de São Paulo, romperam em 1977, por galgamento devido a ocorrência de precipitações intensas e problemas de operação nos extravasores (CBDB, 1982 apud LEMOS; MARINO; DIAS, 2019). A onda de cheia provocada pela barragem Euclides da Cunha foi a responsável pelo rompimento da barragem Limoeiro, em efeito cascata. Existem informações que cerca de 4.000 residências foram atingidas, embora não existam registros de perdas de vidas humanas (LEMOS; MARINO; DIAS, 2019).

Em 1960, ocorreu o galgamento da barragem de Orós, localizada no estado do Ceará, após chuvas intensas de mais de 635mm em menos de uma semana. Na época, a estrutura ainda estava em construção. A vazão estimada foi de 9.600 m³/s, esvaziando aproximadamente 90% do reservatório e abrindo uma brecha de 200m ao longo da seção central. Antes do acidente, houve a evacuação de cerca de 100.000 pessoas e foram transmitidos avisos de alerta nas áreas a jusante (JANSEN, 1983; FERLA, 2018).

Após nove horas do início da falha, a onda de cheia atingiu a cidade de Jaguaribara, localizada 35km a jusante da barragem de Orós, causando a destruição parcial ou completa de mais de setecentas casas. A cidade de Jaguaribe, a cerca de 75km a jusante, foi atingida doze horas após o início do acidente. No local, foram danificadas ou arruinadas seiscentas habitações. Após o acidente, foram realizados reparos e, em seguida, retomada a construção da barragem, cuja operação se deu em 1961 (JANSEN, 1983; FERLA, 2018).

A barragem de Algodões, localizada no estado do Piauí, rompeu em maio de 2009, devido à falta de manutenção e problemas na estrutura. O acidente provocou uma onda de cheia que destruiu a infraestrutura da região a jusante, atingindo 20m no vale do rio Pirangi, em Cocal, e povoados da cidade de Buriti dos Lopes, deixando os sobreviventes ilhados em um morro, por mais de um mês. Além disso, também causou a morte de nove pessoas e deixou mais de noventa feridos (SOARES; VIANA, 2016).

Em 2003, houve acidente com a barragem de Cataguases, no estado de Minas Gerais. A barragem de rejeitos localizava-se no rio das Pombas e sua ruptura espalhou resíduos no rio Paraíba do Sul, causando danos gravíssimos ao meio ambiente. Também houve danos no âmbito social, uma vez que muitas pessoas tiveram o abastecimento de água interrompido nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro (CBDB, 2011).

Em novembro de 2015, houve o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, no estado de Minas Gerais. A estrutura tinha a finalidade de contenção de rejeitos de mineração de ferro e liberou mais de 34 milhões de m³, o equivalente a quatorze mil piscinas olímpicas, que percorreram mais de 650km até alcançar o Oceano Atlântico (LOPES, 2016; FERLA, 2018; ALVES et al., 2019; FREITAS; SILVA, 2019). No trajeto, a barragem Santarém também foi atingida, causando seu transbordamento e sérias anomalias (LOPES, 2016; ALVES et al., 2019).

O acidente resultou em danos ambientais e sociais de grande vulto, uma vez que toda a Bacia do Rio Doce foi atingida, além de cerca de 40 municípios localizados em Minas Gerais e no Espírito Santo. O distrito de Bento Rodrigues foi destruído pela lama, que também avançou sobre outros locais, cruzando fronteiras até invadir o rio Doce e chegar ao Espírito Santo (BARBOSA; CARVALHO, 2016; ALVES et al., 2019). Ademais, o rompimento da barragem causou a morte de 19 pessoas (BARBOSA; CARVALHO, 2016; FERLA, 2018; ALVES et al., 2019; FREITAS; SILVA, 2019).

O desastre com a barragem de rejeitos em Mariana/MG foi considerado o maior em nível mundial desde os anos de 1960. No Brasil, também é um dos maiores em termos socioambientais. Entretanto, o mesmo foi superado pela tragédia ocorrida em Brumadinho, no ano de 2019, em barragem pertencente a Companhia Vale do Rio Doce (Vale) (FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016; ALVES et al., 2019).

O rompimento da barragem da Vale causou mais de 300 vítimas, incluindo mortos e desaparecidos, sendo tido como o pior acidente em termos de vítimas fatais dos últimos quarenta anos. Além disso, 13 milhões de m³ de rejeitos foram liberados, que percorreu um trajeto de mais de 250km e atingiu 18 municípios, causando danos irreparáveis a bacia do rio Paraopeba, com a contaminação por metais pesados em altos níveis, interferindo na vida e no trabalho de milhões de pessoas e das gerações futuras (FREITAS; SILVA, 2019).

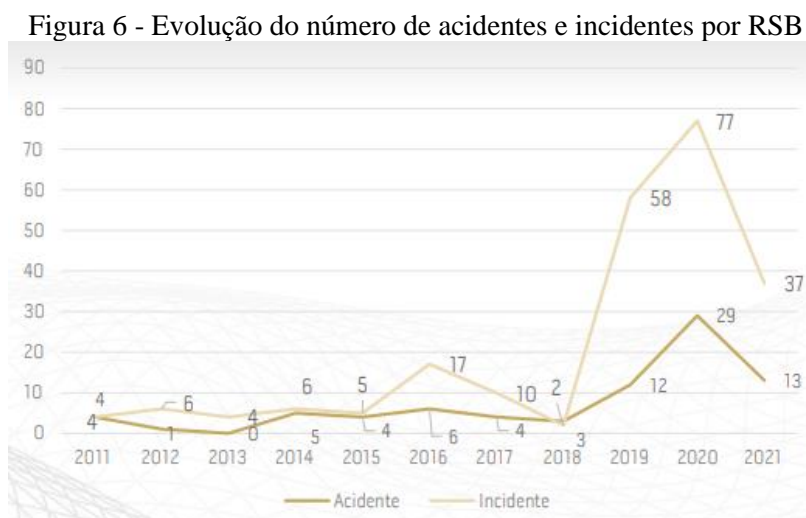
O livro *Brumadinho: A Engenharia de um Crime* retrata, baseado nas investigações da Polícia Federal, os acontecimentos que antecederam e sucederam o rompimento da barragem em Minas Gerais, ocorrido em 25 de janeiro de 2019. Segundo os autores, a barragem era construída no método de alteamento a montante e encontrava-se em precárias condições, com situação instável do maciço. Em 2018, haviam-se iniciado consultorias para elaboração de proposta de descomissionamento da barragem (RAGAZZI; ROCHA, 2019).

Outros dois sinais de alerta vieram dos piezômetros, que apresentaram problemas de leitura próximos a data do rompimento, e do radar interferométrico, que entre 14 de dezembro de 2018 e 14 de janeiro de 2019, mapeou uma deformação do solo em uma área de 14,8 mil m², superior a um hectare, no maciço da barragem. Outro ponto que se ressalta é que, embora o

plano de ação de emergência previsse alerta de sirenes, no mínimo, meia hora antes de um potencial desastre, nenhuma sirene foi acionada (RAGAZZI; ROCHA, 2019).

Atualmente, todos os anos é publicado o Relatório de Segurança de Barragens (RSB), elaborado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), a partir dos dados informados no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Tanto o RSB, quanto o SNISB, serão abordados com maior profundidade no capítulo a seguir. No momento, destaca-se que o RSB apresenta dados relativos aos acidentes e incidentes ocorridos e notificados no país, configurando-se como uma melhoria no que tange a segurança de barragens.

A partir da Figura 6, pode-se constatar que no ano de 2020 foram informadas as ocorrências de 29 acidentes e 77 incidentes no Brasil, os quais diminuíram para 13 e 37, respectivamente, em 2021. Ainda, nota-se que entre os anos de 2018 e 2020 houve um crescimento significativo nos dados, que apresentaram crescimentos aproximados de 1350% e 2467%, respectivamente (ANA, 2022a).



Fonte: ANA (2022a)

Dentre os acidentes ocorridos, tem-se o rompimento da barragem das Antas, no município de Sairé, em Pernambuco, ocorrido em junho de 2020. A causa do mesmo foi o galgamento da estrutura, após fortes chuvas e possíveis problemas construtivos e recalque na crista. Como consequências houve a destruição de edificação ainda em construção; estragos em estradas vicinais e propriedades privadas; e, ainda, rompimento de uma barragem de menor porte,

devido a onda de cheia. No mesmo município e período, também se notificou o rompimento da barragem Guilherme Pontes. Porém, não há informações mais detalhadas sobre o mesmo (ANA, 2021a).

Ainda em Pernambuco e devido a precipitações intensas, houve o rompimento das barragens Sítio Caldeirão e Zumbi, localizadas nos municípios de Brejo da Madre de Deus e Arcoverde, respectivamente. Ambos os acidentes aconteceram em março de 2020 e não foram notificadas vítimas fatais. Contudo, o volume liberado no primeiro caso atingiu um cemitério, causando o desabamento de muros e a exposição de caixões. Quanto ao segundo, os eventos pluviométricos de maior intensidade acentuaram o problema existente de dimensionamento hidráulico equivocado de pequenas barragens (ANA, 2021a).

Quando se trata de barragens de pequeno porte, os registros de acidentes e incidentes se torna ainda mais escasso. Muitos desses eventos podem ocorrer e não serem registrados, por tratar-se de pequenas estruturas ou, ainda, pelo baixo potencial a jusante (ANDREETA, 2020). Em contrapartida, a frequência de ocorrência é superior as das grandes barragens e, consequentemente, também geram um custo total anual de danos mais elevado (AGUIAR, 2014; ANDREETA, 2020).

De maneira geral, a construção das barragens de menor porte não envolve projetos adequados, podendo acarretar sérios problemas futuros, assim como não possuem a devida outorga do órgão responsável pela gestão dos recursos hídricos (COSTA E SILVA; FAIS; FREIRIA, 2020). No Brasil, tais estruturas localizam-se, principalmente, em pequenas propriedades rurais, sendo de difícil identificação e fiscalização, contribuindo para possíveis acidentes ao longo do tempo.

Na República Tcheca existem mais de 20.000 pequenas barragens, cujas finalidades compreendem, dentre outras, o controle de cheias, a piscicultura e a recreação. Nas últimas décadas, mais de vinte romperam, devido a eventos extremos. Muitas dessas estruturas foram construídas há mais de 100 anos e, ao longo do tempo, sofreram com manutenção deficiente durante a operação, além dos problemas de estudos mal desenvolvidos, projetos inadequados e supervisão técnica falha durante a construção. Essa visão errônea se solidificou em função da aparente menor importância e consequências quando do rompimento das pequenas barragens (RIHA, 2019).

Na África Ocidental, em Burkina Faso, a construção de pequenas barragens foi a base para possibilitar o desenvolvimento agrícola do país. Em 2011, foram identificadas 1.001 estruturas, que apresentam como características possuírem altura inferior a 15m acima do leito do rio e serem constituídas por terra. Contudo, embora tenha papel importante no local, as estruturas sofreram com projeto e construção deficientes e ausência de manutenção. Dessa forma, foram identificados os rompimentos de 221 barragens e outras 195 em estado severo de degradação, apresentando risco de ruptura. Ainda, estima-se que entre uma e dez pequenas barragens rompam no país, por ano (NACANABO; KABORÉ, 2019).

Mediante tantos acidentes e incidentes, em barragens de diferentes portes, e a consequências catastróficas atreladas a esses eventos, essas obras de engenharia criaram um antagonismo entre sua construção e a preservação ambiental. De forma que, entre 1980 e 2000, passaram a ser identificadas como um “mal necessário”, em termos ambientais, tendo em vista os inúmeros impactos inerentes a sua construção, tais como alagamentos de cidades e vilas; criação de grandes inundações a jusante dos reservatórios; e o elevado nível de produção de sedimentos nas bacias hidrográficas (CRUZ; SILVEIRA, 2019).

Outros autores também ratificam que as implicações advindas da construção dessas estruturas são inegáveis, tais como: direito de propriedade sobre as terras alagadas; alterações nos regimes hidrológicos naturais; aumento da evaporação; limitação do transporte de nutrientes e sedimentos; diminuição da conectividade entre os sistemas fluviais (PASSAIA; PAIVA, 2019; COSTA E SILVA; FAIS; FREIRIA, 2020).

A Declaração Mundial sobre Segurança de Barragens, elaborada pela ICOLD, corrobora que as barragens são obras fundamentais para manter os crescentes padrões de vida das sociedades. No entanto, em paralelo, geram riscos potenciais a jusante, no que se refere a impactos negativos para a vida, a propriedade e o meio ambiente (ICOLD, 2019). A possibilidade da ocorrência de acidentes com barragens pode acarretar prejuízos e consequências irreversíveis nas localidades a jusante (FONTENELLE, 2018; CAMPOS; CARDIA, 2019; CHAGAS et al., 2019). Rogério Menescal, em *live* intitulada Reflexões sobre a Segurança de Barragens no Brasil, pontua que os acidentes alteram a percepção da sociedade sobre as barragens de modo negativo (PUC RIO, 2021), reforçando, assim, a ideia do “mal necessário”.

2.2 SEGURANÇA DE BARRAGENS

Consoante definido pela ANA, a segurança de barragem pode ser definida como (ANA, 2021a):

“... uma condição que visa a manter a sua integridade estrutural e operacional, de modo a minimizar o risco de incidentes ou acidentes, para que cumpra sua finalidade e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente. Uma barragem segura é uma barragem bem cuidada, na qual esforços, energia, atenção, recursos e profissionais capacitados são direcionados para uma boa concepção, um bom projeto, uma construção que siga as boas práticas da engenharia e para as etapas posteriores à construção: primeiro enchimento, manutenção, operação e desativação, se for o caso.”

Segundo a *Federal Emergency Management Agency* (FEMA), a segurança de barragens é definida como “a arte e a ciência de garantir a integridade e viabilidade das barragens de modo que não apresentem riscos inaceitáveis para o público, a propriedade e o meio ambiente” (FEMA, 2004; WISHART et al., 2020). Para tanto, se faz necessária a aplicação de princípios da engenharia e de gerenciamento de riscos, bem como de ações que visam identificar ou prever anomalias e suas consequências. Além disso, deve-se proceder com a documentação, divulgação e redução ou eliminação, na medida do possível, de quaisquer riscos considerados inaceitáveis (FEMA, 2004).

O Boletim 59 da ICOLD também preconiza que a segurança de uma barragem se caracteriza pela ausência de quaisquer fatores que possam acarretar danos ou destruição a mesma. Sua medida é dada através da margem existente entre as condições de projeto ou as reais da estrutura e aquelas que causam danos ou sua destruição. Assim, uma barragem para ser considerada segura deve levar em consideração todos os possíveis cenários de operação normal e excepcional que possa vir a sofrer (ICOLD, 1987 apud HARTFORD, 2019; WISHART et al., 2020).

As condições para garantia da segurança das barragens devem ser adotadas ao longo da vida útil da mesma, a partir de ações de prevenção e controle implantadas corretamente, a fim de minorar a probabilidade da ocorrência de acidentes. Em associação, devem ser realizadas medidas de defesa civil, objetivando minimizar consequências de possíveis acidentes, especialmente aquelas relacionadas a perdas de vidas humanas (ANA, 2021a).

A garantia da segurança da barragem também pode ser atingida através de intervenções regulatórias, técnicas, institucionais, entre outras. Além disso, devem ser consideradas abordagens que compreendam todo o ciclo da estrutura, incluindo planejamento, projeto, construção, vigilância, operação, manutenção, reabilitação, reformas e eventual descomissionamento (WISHART et al., 2020).

No mundo, a preocupação com a temática de segurança de barragens cresceu durante os anos de 1950, 1960 e 1970, em decorrência da ocorrência de acidentes catastróficos (CBDB, 2001; BALBI, 2008; MENESCAL, 2009; LOUZADA, 2018; ANDREETA, 2020). Outros fatores também influenciaram para a atenção ao assunto, dentre eles: o envelhecimento das barragens existentes; o aumento da ocupação urbana nas áreas próximas aos rios; e a necessidade de tecnologia e organização legal/institucional que tratassem da questão (MENESCAL, 2009).

A partir da década de 60, os primeiros regulamentos sobre segurança de barragens surgiram em nível mundial, dentre eles os sistemas de alerta (BALBI, 2008; MATOS; ELEUTÉRIO, 2019). Nos EUA, houve uma revisão geral da legislação no país após as rupturas das barragens Buffalo Creek e Canyon Lake, em 1972, e Kelly Barnes e Teton, em 1976. Em Portugal, em 1990, foi promulgado o “Regulamento de Segurança de Barragens”. No Canadá, em 1980, teve-se a percepção que a legislação existente era genérica, tendo sido publicado o Dam Safety Guidelines, em 1995. Na Noruega, em 1980, teve-se o decreto real do Regulamento de Planejamento, Construção e Operação de Barragens (CBDB, 2001).

Antes disso, alguns países já possuíam regulamentos e recomendações sobre segurança de barragens, tais como a Inglaterra, que teve sua primeira legislação específica sobre o tema em 1930, após a ruptura de algumas estruturas. Na década de 70, também devido a rupturas, houve atualizações da mesma. Na França, em 1927 e 1928, houve definições de instruções sobre inspeção de barragens, as quais foram revisadas em 1966. Dois anos depois, em 1968, foi imposto a preparação de um “plano de alarme” para as barragens que atendessem algumas características, através de um decreto (CBDB, 2001).

Menescal (2009) pontua que os trabalhos desenvolvidos pelo ICOLD, na época, merecem grande destaque. Citam-se as seguintes publicações (CBDB, 2001):

- 1974: Lessons from Dams Incidents.
- 1982: Automated Observations for Safety Control of Dams.

- 1983: Deterioration of Dams and Reservoirs.
- 1987: Dam Safety Guidelines.
- 1988: Dam Monitoring-General Considerations.
- 1988: Inspection of Dams Following Earthquake.
- 1989: Monitoring of Dams and Their Foundations.
- 1995: Dam Failures Statistical Analysis.

A seguir será apresentado o marco regulatório de segurança de barragens no Brasil, que se constitui na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), instituída através da Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro e alterada pela Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Ademais, será abordado a regulamentação da mesma no estado de Pernambuco e apresentado um panorama geral dos demais estados.

2.2.1 Brasil

No que tange ao tema da segurança de barragens no país, o livro *A História das Barragens no Brasil*, aponta alguns fatos datados de antes dos anos 2000 (CBDB, 2011):

- 1977: emissão do Decreto nº 10.752, no Estado de São Paulo, após os acidentes com as barragens Euclides da Cunha e Armando de Salles Oliveira. o documento dispunha sobre a segurança das barragens no estado e recomendava auditorias técnicas permanentes. Entretanto, nunca houve regulamentação e, conseqüentemente, a implementação do mesmo.
- 1979 e 1983: edição do documento intitulado *Diretrizes para a Inspeção e Avaliação da Segurança de Barragens em operação*, elaborado pelo CBDB.
- 1986: edição do documento intitulado *Recomendações para a Formulação e Verificação de Critérios e Procedimentos de Segurança de Barragens*, elaborado pelo CBDB.
- 1987: publicação do documento intitulado *Avaliação da Segurança de Barragens Existentes*, que se configura como uma tradução do Manual SEED (*Safety Evaluation of Existing Dams*) do *Bureau of Reclamation* dos EUA.
- 1988: criação de um grupo de trabalho pelo Ministério de Minas e Energia (MME), através da Portaria nº 739, visando normalizar medidas preventivas e de manutenção para a segurança das barragens.

- 1989: conclusão do relatório do grupo de trabalho criado em 1988, que abordava aspectos como monitoramento e instrumentação; periodicidade de inspeções; procedimentos gerais para casos de acidentes; e definição de responsabilidades. Também previa a criação de uma Subcomissão de Segurança de Barragens; a instalação de um Cadastro Nacional de Barragens; e a caracterização do potencial de risco de cada barragem.
- 1995: edição do documento intitulado Cadastro Brasileiro de Deterioração de Barragens e Reservatórios, elaborado pelo CBDB.
- 1996: edição do documento intitulado Auscultação e Instrumentação de Barragens no Brasil, elaborado pelo CBDB.
- 1996: CBDB elaborou minuta de portaria para o Ministério de Minas e Energia, dispondo sobre diretrizes para avaliar a segurança das barragens e com proposta de criação do Conselho Nacional de Segurança de Barragens (CNSB). O documento foi apresentado e consolidado no XXII Seminário de Grandes Barragens, em São Paulo. Em seguida, foi encaminhado ao Ministério, mas não foi dado prosseguimento.
- 1999: elaboração, através do CBDB, do Guia Básico de Segurança de Barragens, baseado no *Canadian Dam Safety Guidelines*. O documento foi apresentado no XXIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, em Belo Horizonte.

A partir dos anos 2000, as tratativas sobre a temática culminaram na publicação da PNSB. Assim, tais fatos serão tratados no subitem a seguir.

2.2.1.1 Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010

As discussões acerca da segurança de barragens no Brasil, no início dos anos 2000, foram marcadas pela ocorrência de diversos acidentes, dentre os quais citam-se: Rio Verde, em 2001; Cataguases, em 2003; Camará, em 2004; e Algodões, em 2009 (ANA, 2013). Carlos Henrique Medeiros, durante *live* promovida pelo CBDB sobre segurança de barragens, pontuou que esses acidentes foram de fundamental importância para a promulgação da PNSB (CBDB, 2020). Rogério Menescal, em outra *live* promovida pela PUC-RIO, ressaltou que o acidente de Cataguases foi o que provocou a discussão da lei de segurança de barragens no Brasil (PUC RIO, 2021).

Na época, Menescal (2009) destacou a importância da atenção ao tema, uma vez que as barragens sofriam o processo natural de envelhecimento e não recebiam as ações necessárias para sua preservação. Assim, representavam fontes permanentes de riscos a população. Além disso, o autor destacava que a gestão dos recursos hídricos não seria completa sem que ocorresse também, a gestão da segurança de barragens.

De maneira geral, medidas visando a segurança das barragens eram adotadas isoladamente por alguns empreendedores, especialmente os ligados ao setor energético. A Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH), no Ceará, e a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), em Minas Gerais, também realizaram ações nesse sentido (CBDB, 2001; ANA, 2013).

Em 2002, foi publicado o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens, elaborado pelo Ministério da Integração Nacional (MI), através da Secretaria de Infraestrutura Hídrica. Na época, era o documento de referência no assunto e objetivava orientar os procedimentos de segurança que deveriam ser adotados para novas barragens, bem como manter aquelas que já se encontravam construídas (MI, 2002; ANDREETA, 2020).

A atual PNSB teve origem com o Projeto de Lei nº 1.181/2003, de autoria do Deputado Leonardo Monteiro, cuja elaboração foi motivada pelo acidente em Cataguases, no mesmo ano (CBDB, 2011; ANDREETA, 2020). O referido PL foi objeto de estudo de um grupo de trabalho, nomeado como “GT SB CTAP/CNRH”, criado pela Câmara Técnica de Análise de Projetos (CTAP) do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) (MENESCAL, 2009; ANA, 2013).

O mesmo foi discutido por cerca de um ano, com a participação de diversos setores da sociedade, como indústrias, Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos e Organizações Técnicas de Ensino e Pesquisa, dentre elas o CBDB, a Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE), e a Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS) (MENESCAL, 2009; ANA, 2013).

Em 2004, o grupo encaminhou uma minuta de substitutivo ao PL nº 1.181/2003, que foi avaliada por outra câmara técnica do CNRH, a Câmara Técnica de Assuntos Legais e

Institucionais (CTIL), e, a posteriori, pelo próprio plenário do Conselho. Esse trâmite resultou no Projeto de Lei PLC-168/2009 (MENESCAL, 2009; ANA, 2013; ANDREETA, 2020). Em 2009, ocorreu o acidente com a barragem de Algodões e, por fim, em 20 de setembro de 2010, foi publicada a Lei Federal nº 12.334, que estabeleceu a PNSB e é considerada um marco na gestão da segurança de barragens no Brasil. Antes disso, só havia legislações voltadas ao gerenciamento dos recursos hídricos, sem abordar diretamente a temática (PEREIRA, 2019; ANDREETA, 2020).

Carlos Henrique Medeiros, durante *live* promovida pelo CBDB sobre segurança de barragens, pontuou que a PNSB é reconhecida nacional e internacionalmente, tendo trazido avanços significativos para a área. A Lei disciplinou o setor e instituiu documentos e ferramentas obrigatórias de controle, tais como as inspeções, o PSB e o PAE. Além disso, também promoveu a caracterização das barragens no Brasil, que nunca havia ocorrido anteriormente (CBDB, 2020)

A PNSB trouxe as definições das figuras do empreendedor e do fiscalizador, tendo sido o primeiro definido como o “agente privado ou governamental com direito real sobre as terras onde se localizam a barragem e o reservatório ou que explore a barragem para benefício próprio ou da coletividade”. Enquanto o segundo, para barragens cuja finalidade é acumulação de água, exceto quando para uso hidrelétrico, a fiscalização ficou a cargo do órgão responsável pela emissão da outorga, de acordo com o domínio do corpo hídrico (BRASIL, 2010).

A PNSB instituiu sete instrumentos, a fim de alcançar os objetivos aos quais se propunha. Dentre eles, destacam-se (BRASIL, 2010):

- I. Sistema de classificação das barragens por categoria de risco (CRI) e dano potencial associado (DPA). Para ambos os critérios, a classificação se dá nas categorias alto, médio ou baixo, sendo o CRI relacionado com as características técnicas, o estado de conservação e o atendimento ao Plano de Segurança da Barragem (PSB); e o DPA, com o potencial de perdas de vidas humanas e os impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes do rompimento da estrutura.
- II. Plano de Segurança da Barragem (PSB), que é um conjunto de documentações sobre a barragem, que reúne informações de todo o histórico da estrutura, desde a construção.

Adicionalmente e não menos importante, o PSB define as diretrizes e ações a serem tomadas quando da ocorrência de situações de emergência ou mesmo da ruptura da barragem.

- III. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), que reúne dados sobre as barragens existentes no país.
- IV. Relatório de Segurança de Barragens (RSB), que é um documento publicado anualmente, desde 2011, e que apresenta o panorama geral das barragens do país, contextualizando as ações tomadas por fiscalizadores, os acidentes e incidentes ocorridos, os recursos financeiros aplicados, dentre outros. Sua fonte principal de informações é o SNISB e sua elaboração é de responsabilidade da ANA, sendo enviado posteriormente ao CNRH e ao Congresso Nacional para aprovação.

Uma das definições mais importantes contidas na PNSB foi a das responsabilidades do empreendedor sobre a segurança das barragens, bem como das relacionadas aos órgãos fiscalizadores. Antes disso, não se sabia a quem cabiam as responsabilidades, com evidente desarticulação do poder público e órgãos ambientais lidando isoladamente com os acidentes (ANA, 2013).

No que tange as responsabilidades do empreendedor, foram definidas treze competências, das quais destacam-se aquelas que serão utilizadas na metodologia do presente trabalho (BRASIL, 2010):

- I. prover os recursos necessários à garantia da segurança da barragem;
- II. manter serviço especializado em segurança de barragem, conforme estabelecido no Plano de Segurança da Barragem;
- III. providenciar a elaboração e a atualização do Plano de Segurança da Barragem, observadas as recomendações das inspeções e as revisões periódicas de segurança;
- IV. realizar as Inspeções de Segurança Regular (ISR) e Especial (ISE);
- V. elaborar as Revisões Periódicas de Segurança da Barragem (RPSB);
- VI. elaborar o Plano de Ação de Emergência (PAE), quando exigido;
- VII. cadastrar e manter atualizadas as informações relativas à barragem no SNISB.

Cabe acrescentar que as ISR e ISE tem a periodicidade, qualificação da equipe técnica responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento condizentes com a classificação da

CRI e DPA da barragem, sendo definidas pelo respectivo órgão fiscalizador. Ainda, a ISR poderá ser realizada pela própria equipe de segurança de barragem do empreendedor, enquanto a ISE deverá ser elaborada por equipe multidisciplinar de especialistas da área. Para ambas, devem ser elaborados relatórios que apresentem medidas que devem ser adotadas para a manutenção da estrutura, assim como devem ser disponibilizados ao órgão fiscalizador (BRASIL, 2010).

Quanto a RPSB, seu objetivo é analisar o estado geral da segurança da barragem, através da revisão e atualização dos estudos e critérios de projeto, considerando as alterações das condições de montante e de jusante, a luz do estado da arte atual, bem como das análises dos relatórios existentes das ISR e ISE e dos procedimentos de operação e manutenção. Assim como as inspeções, a periodicidade, qualificação da equipe técnica responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento são definidos pelo respectivo órgão fiscalizador, sendo condizentes com a classificação da CRI e DPA da barragem (BRASIL, 2010).

O PAE, por sua vez, abrange todos os procedimentos a serem realizados durante situações de emergência e identifica os agentes que devem ser notificados. Uma das etapas desse Plano é o desenvolvimento das modelagens de ondas de cheias causadas pelo rompimento das barragens, que tem como resultado, dentre outros produtos, as chamadas manchas de inundação (ANA, 2016). A existência dessas manchas é de suma importância, pois, a partir delas, é possível identificar a área a jusante que será inundada, bem como os pontos que serão atingidos.

Por fim, mas não menos importante, ressalta-se que a PNSB é aplicável as barragens destinadas a acumulação de água para quaisquer finalidades, à disposição temporária ou final de rejeitos e/ou resíduos industriais. Entretanto, para estarem submetidas à Política deveriam apresentar pelo menos uma das seguintes características (BRASIL, 2010):

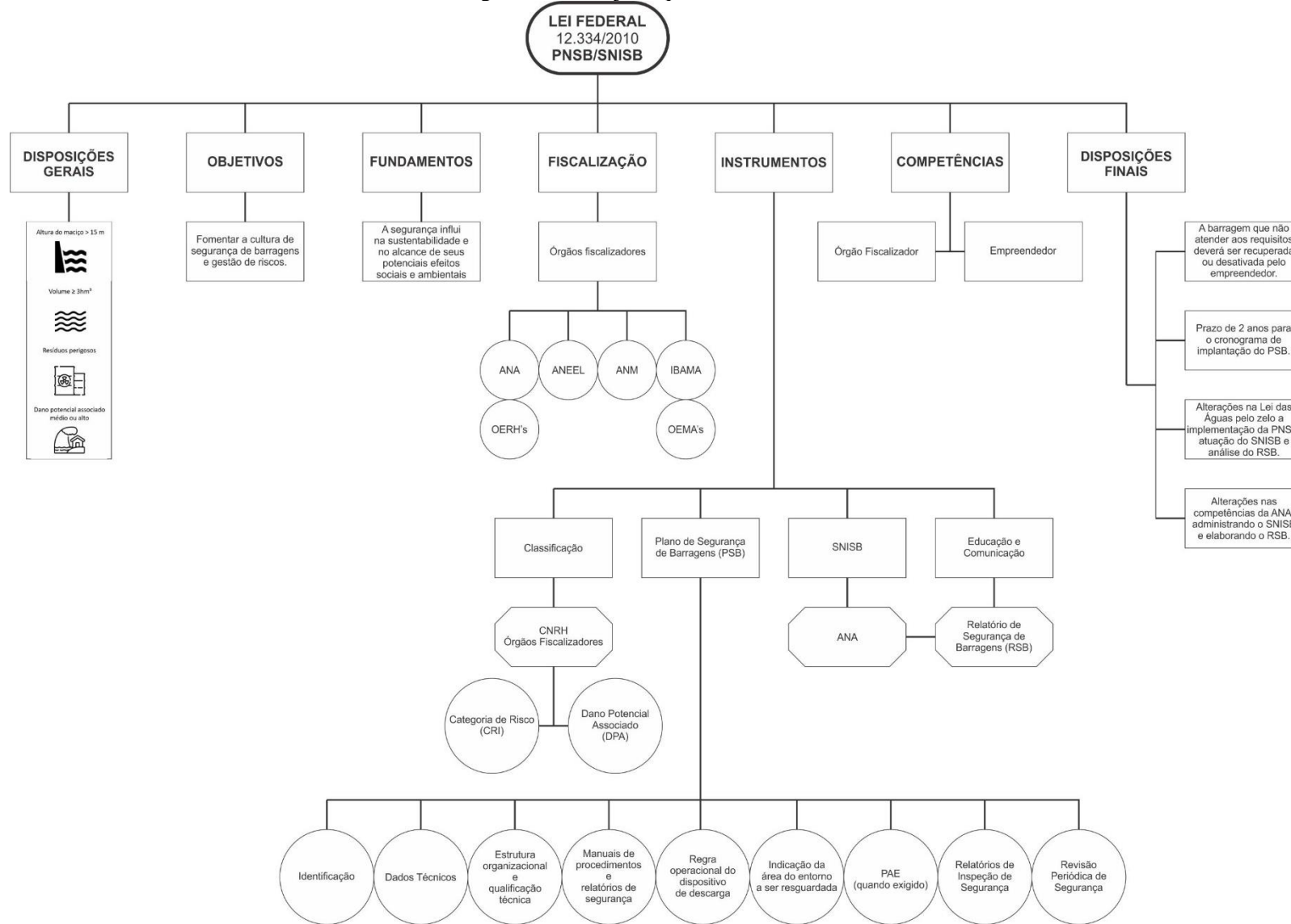
- I. Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);
- II. capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);
- III. reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- IV. categoria de dano potencial associado, médio ou alto.

Como pode-se notar, a PNSB não abrange as pequenas barragens, que, embora sejam de menor porte, também são potenciais causadoras de danos e custos elevados quando da ocorrência de rupturas. Segundo Pereira L. (2019), em estudo comparativo das políticas de segurança de barragens entre Brasil, China, Portugal, Estados Unidos e África do Sul, concluiu que a PNSB é menos rígida que as demais, com grande parte das pequenas barragens sem a obrigatoriedade do cumprimento das obrigações.

Na literatura, autores apontam a necessidade da revisão dos parâmetros de enquadramento na PNSB ou, ainda, da criação de uma regulamentação direcionada a estas estruturas, tais como pode-se observar em outros países, como Portugal, que apresenta regulamentos específicos para as médias e grandes barragens e para as pequenas barragens (PEREIRA L., 2019; ANDREETA, 2020).

A Figura 7 apresenta um arranjo esquemático que sintetiza os atores envolvidos, as atribuições e o funcionamento básico da PNSB.

Figura 7 - Arranjo esquemático da PNSB



Fonte: ANDREETA (2020)

2.2.1.2 PL 550/2019 e a Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020

Os anos de 2015 e 2019 foram marcados pelos acidentes e consequências catastróficas das barragens de Mariana e Brumadinho, respectivamente, ambas localizadas em Minas Gerais, recolocando em evidência as discussões acerca da segurança dessas estruturas e da real implementação da PNSB no país, uma vez que a mesma já havia sido promulgada há alguns anos.

Andreeta (2020) pontua que a legislação brasileira sobre segurança de barragens tem a característica de ser reativa, sempre estando associada a grandes acidentes. O fato pode ser observado na linha temporal, com a promulgação da Lei nº 12.334/2010 relacionando-se com os rompimentos das barragens de Cataguases e Algodões. E também com a atualização sofrida pela PNSB, através da Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020, que tem influência direta dos acidentes em Mariana e Brumadinho, no estado de Minas Gerais (Figura 8).

A Figura 8 também apresenta Resoluções relacionadas ao tema que foram publicadas ao longo dos anos, pelos órgãos fiscalizadores, a fim de regulamentar a PNSB em níveis federal e estadual. Além disso, outra observação importante diz respeito aos períodos de tempo de tramitação das Leis Federais nº 12.334/2010 e nº 14.066/2020, que foram de sete anos (84 meses) e um ano e sete meses (19 meses), respectivamente.

Tal diferença de tempo é alvo de críticas de diversos especialistas da área, os quais defendem a opinião que, de fato, a Lei Federal nº 12.334/2010 necessitava de melhorias. Contudo, o processo se deu com muita influência do lado emocional e das cobranças realizadas pela sociedade, tendo em vista os acidentes ocorridos, em detrimento do conhecimento técnico. Carlos Henrique Medeiros, durante *live* sobre a Análise Crítica do Substitutivo do PL 550/2019, pontuou que ocorreu o chamado “Efeito Brumadinho” (CBDB, 2020).

Luiz Gustavo Fortes Westin corrobora que as demandas sociais não podem ser ignoradas, mas deve-se ter cautela em seu tratamento, para evitar que questões técnicas sejam ignoradas (CBDB, 2020). José Marques Filho, em *webinar* promovido pela Sika sobre segurança de barragens, acrescenta que a primeira versão do PL 550 era ineficaz e que o mesmo apresenta muito teor político e pouco conhecimento técnico (SIKA, 2020).

Figura 8 – Linha do tempo: legislação brasileira sobre segurança de barragens x acidentes



Fonte: ANDREETA (2020)

Em linhas gerais, o PL nº 550/2019 é um resgate do trabalho realizado pelo Senado Federal, em 2016, após o acidente de Mariana, em Minas Gerais. Na época, foi criada uma Comissão Temporária para avaliar a PNSB, cuja análise resultou em um relatório que pontuava lacunas da Política e carências dos órgãos fiscalizadores. A partir desse documento, o senador Ricardo Ferraço apresentou o Projeto de Lei do Senado – PLS nº 224/2016, que foi remetido à Comissão de Meio Ambiente – CMA para apreciação. Contudo, o mesmo foi arquivado.

Andreea (2020) pontua que ocorreram intensas discussões durante a elaboração do PLS nº 224/2016, envolvendo os órgãos fiscalizadores e associações representativas dos empreendimentos com barragens. De modo que, todas as inovações legislativas constantes no documento foram decorrentes de contribuições técnicas.

Em 2019, com o acidente em Brumadinho, a Senadora Leila Barros retomou os andamentos anteriores e deu entrada no PLS nº 550/2019 (SENADO FEDERAL, 2019). O mesmo foi discutido no Congresso Nacional, junto a Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania – CCJ e a Comissão de Meio Ambiente – CMA. No processo, foram sugeridas dezesseis sugestões de emendas a redação inicial, sendo, por fim, remetida à Câmara dos Deputados em março de 2019.

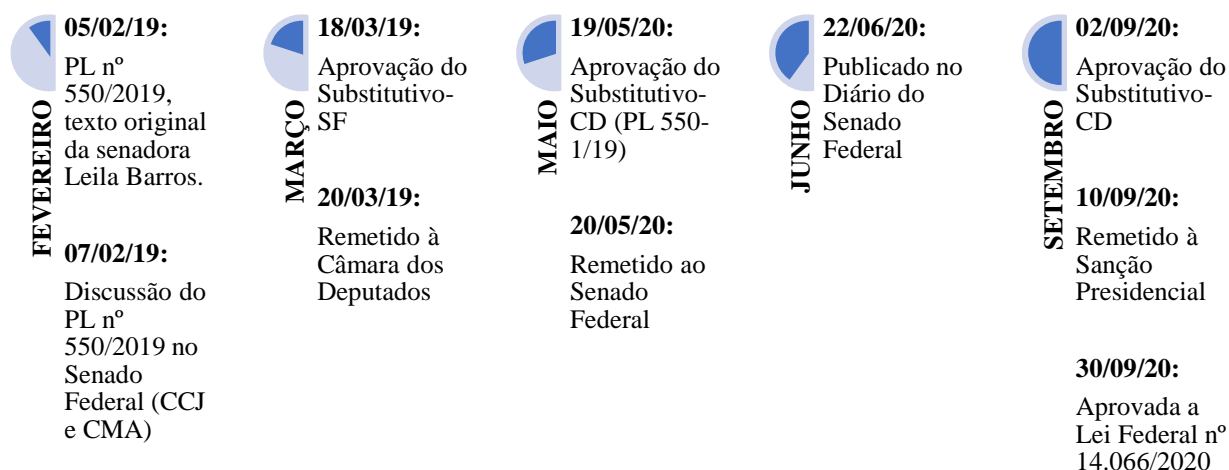
Na Câmara, foi criada Comissão Especial para apreciação prioritária do referido PL. Durante a tramitação, outros PL correlacionados com a alteração da Lei nº 12.334/2010 foram apensados, ao passo que outros também foram desapensados. Ao final, aprovou-se o Substitutivo ao Projeto de Lei nº 550 ou PL 550-A/2019 (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2020), que retornou para o Senado.

No Senado, o Substitutivo da Câmara dos Deputados-CD do PL ainda passou por votação de artigos em específicos, assim como foi analisado pela comissão que realizou supressões de artigos e alterações redacionais. Por fim, o PL 550/2019 (Substitutivo CD) (SENADO FEDERAL, 2020) foi aprovado pelo Plenário e remetido à sanção presidencial, tendo sido promulgado sob o formato da Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020.

As tramitações detalhadas de todos os processos podem ser verificadas nos sites do Senado Federal e da Câmara dos Deputados, nos termos “PL 550/2019” e “PL 550/2019

(Substitutivo-CD)” no primeiro, e “Projeto de Lei nº 550/2019” no segundo. A Figura 9 apresenta uma linha do tempo do processo de tramitação da Lei.

Figura 9 - Linha do tempo do processo de tramitação da Lei Federal nº 14.066/2020



Fonte: Adaptado de Andreetta (2020)

As alterações promovidas pela Lei Federal nº 14.066/2020 apresentam avanços, desafios e riscos de retrocessos, que foram tema da *live* Análise Crítica do Substitutivo do PL 550/2019: Avanços, Desafios e Riscos de Retrocessos, promovida pelo CBDB. Na ocasião, Luiz Gustavo Fortes Westin, representante da Associação Brasileira das Empresas Geradoras de Energia Elétrica (ABRAGE) apresentou alguns desses itens, dos quais podem ser destacados (CBDB, 2020):

1) Avanços

- a) Melhor definição de empreendedor e esclarecendo claramente quem fiscaliza os detentores de “registro”.
- b) Demandar articulação do empreendedor com a Defesa Civil.
- c) Município deve impedir o uso do solo na Zona de Autossalvamento (ZAS), sob pena de improbidade administrativa.
- d) Laudo técnico do rompimento de barragens a ser realizado por peritos independentes.

2) Desafios

- a) Definição subjetiva da ZAS como “trecho do vale em que não haja tempo para intervenção da autoridade competente”.
- b) Os fiscalizadores darão ciência às Defesas Cíveis sobre medidas emergenciais, devem

aprovar os PSBs e dar prazo para ações.

c) Extensão de elementos de autoproteção na Zona de Segurança Secundária (ZSS).

3) Risco de Retrocessos

a) Responsabilidade do empreendedor “independente de culpa”.

b) Participação direta da população na elaboração e implantação do PAE.

c) Medidas de resgate e mitigação.

d) Levantamento cadatral da população com identificação de vulnerabilidade social.

e) Órgão fiscalizador definindo periodicidade de simulado na comunidade.

Westin pontua que houve um aumento, principalmente, das responsabilidades dos empreendedores (CBDB, 2020). O artigo 4º, inciso III, por exemplo, aponta que o empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem, como já era preconizado pela Lei nº 12.334/2010. Porém, também se tornou de sua responsabilidade os danos decorrentes de seu rompimento, vazamento ou mau funcionamento e, independentemente da existência de culpa, a reparação dos mesmos.

Medeiros também pontuou que grande parte dos órgãos públicos, que são empreendedores de barragens, são defasados, com dificuldades financeiras e de formação de equipe direcionada a área de segurança de barragens. Assim, a carga elevada de responsabilidades atribuídas aos empreendedores representa riscos de retrocessos significativos (CBDB, 2020).

2.2.1.3 Atuação do CNRH

Conforme definido pela Lei Federal nº 12.334/10, uma das responsabilidades do CNRH é zelar pela PNSB, estabelecendo diretrizes para sua implementação e de seus instrumentos (BRASIL, 2010; BRASIL, 2020). Nesse sentido, atualmente, está em vigor a Resolução CNRH nº 143, de 10 de julho de 2012 (CNRH, 2012a), que estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo seu volume, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334/10.

Também há a Resolução CNRH nº 144, de 10 de julho de 2012 (CNRH, 2012b), recentemente alterada pela Resolução CNRH nº 223, de 20 de novembro de 2020 (CNRH, 2020), que estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de

Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, em atendimento ao art. 20 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que alterou o art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

Outro ponto de destaque diz respeito a Câmara Técnica de Segurança de Barragens (CTSB), que foi estabelecida pelo Decreto nº 10.000, de 03 de setembro de 2019 (BRASIL, 2019). Conforme o referido documento, cabe a CTSB:

- a) propor diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens;
- b) emitir parecer sobre o Relatório de Segurança de Barragens, encaminhado pela Agência Nacional de Águas, e submetê-lo à apreciação do Plenário; monitorar a implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens e propor, sempre que necessário, recomendações para a melhoria da segurança de barragens;
- c) promover a integração da Política Nacional de Segurança de Barragens com a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, a Política Nacional do Meio Ambiente e outras políticas públicas correlatas;
- d) analisar, estudar e emitir pareceres sobre assuntos encaminhados pelo Plenário e aqueles de sua competência.

A primeira reunião ocorreu em fevereiro de 2020 e a última, até o momento, em novembro de 2021, tendo ocorrido dezesseis reuniões nesse período de tempo. Quanto as ações desenvolvidas, a CTSB já atuou em diversas frentes de trabalho, dentre elas:

- GT para análise de RSB;
- GT Revisão da Resolução CNRH nº 143/2012;
- GT Moção de Veto ao PLS;
- Proposta de Resolução para alteração dos prazos do processo de elaboração do Relatório de Segurança de Barragens – RSB, por meio da revisão da Resolução CNRH nº 144/2012;

- Proposta de estabelecimento de diretrizes gerais sobre processos de fiscalização de segurança de barragens;
- Iniciativa de elaboração de Normas Técnicas Brasileiras para segurança de barragens.

No âmbito do CNRH, ressalta-se as atividades na avaliação ex-post da PNSB, realizada no ano de 2021, através de 24 encontros, com uma média de 20 participantes, por demanda do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). Como resultado desse processo de visão coletiva, identificaram-se os avanços da Política, bem como suas fragilidades e pontos a melhorar. A sustentabilidade financeira e estrutura técnica dos empreendedores, por exemplo, foi um dos pontos identificados e que precisam de melhorias (MDR, 2021a).

Conclusão importante proveniente desta avaliação é a de que a PNSB, embora seja uma política pública ainda em consolidação, apresenta grande potencial em seu quadro regulatório. Contudo, a mesma possui níveis de rigor, complexidade e abrangência desalinhados com os processos de implementação institucionais. E ainda, há a ausência de um órgão centralizador para monitoramento e planejamento da Política (MDR, 2021a).

Também cabe destacar as discussões acerca do PL nº 4.546, de 17 de dezembro de 2021, que foi objeto de pauta da 50ª reunião extraordinária do CNRH. O referido projeto de lei, também nomeado como “PL do Marco Hídrico” trata da Política Nacional de Segurança Hídrica, que propõe, dentre outros, a concessão da infraestrutura hídrica, que é definida como “empreendimento de interesse coletivo para disponibilização, acumulação, armazenamento, contenção, infiltração, captação, tratamento, transporte, adução, elevação e rebaixamento, manejo, entrega ou retirada de água em benefício de seus usuários” (MDR, 2021b).

Tal fato se deve ao fato que, no Brasil, existe o problema de infraestruturas hídricas insuficientes e insustentáveis (financeira, econômica e ambientalmente), ineficientes e inseguras. Além disso, no país, existem diversos empreendedores públicos que não possuem recursos necessários para o atendimento à PNSB, sendo constantemente multados. Em números gerais, o Brasil possui mais de 2.000 barragens cujos empreendedores são órgãos públicos, com o DNOCS sendo aquele que mais possui estruturas sob sua responsabilidade, totalizando 327 (MDR, 2021c).

Analisando do ponto de vista das barragens, tem-se que as mesmas prestam o chamado serviço hídrico, ou seja, “aquele resultante do conjunto de atividades destinadas ao controle e gerenciamento de quantidade, qualidade, nível ou pressão, bem como regularização, condução ou distribuição espacial e temporal de água em benefício de seus usuários”. E, a partir da proposta da Política, a prestação e exploração desse serviço poderá ser feita com participação do setor privado, com a ressalva de ser aplicável apenas para barragens de usos múltiplos (MDR, 2021c).

Ainda, cabe citar que no PNRH 2022 – 2040, há a previsão de um subprograma voltado para segurança de barragens, cujos objetivos são fortalecer a implementação da PNSB, por meio do desenvolvimento dos órgãos fiscalizadores; apoiar os empreendedores de barragens de usos múltiplos; propor ações para a manutenção da integridade estrutural e operacional das barragens; e promover a melhoria das condições de segurança das barragens. Para tanto, foram propostas três ações, que se subdividem em metas com horizonte de atuação definidos, e três normativos, que envolvem atualização de resoluções do CNRH (BRASIL, 2022).

2.2.1.4 Panorama da regulamentação da PNSB na União e nos Estados

A partir das diretrizes estabelecidas pelo CNRH, os órgãos fiscalizadores federais e estaduais regulamentam a PNSB nas respectivas esferas em que atuam. Para barragens destinadas a acumulação de água, exceto quando para hidroeletricidade, a fiscalização é de responsabilidade do órgão responsável pela emissão da outorga, de acordo com o domínio do corpo hídrico (BRASIL, 2010; BRASIL, 2020).

Em nível federal, o fiscalizador é a ANA, cuja regulamentação se dá através da Resolução ANA nº 236, de 07 de fevereiro de 2017 (ANA, 2017), recentemente alterada pela Resolução ANA nº 121, de 09 de maio de 2022 (ANA, 2022b). Em nível estadual, há variações entre agências e secretarias estaduais ligadas a recursos hídricos. Em Pernambuco, o órgão fiscalizador é a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).

2.2.1.5 Resolução ANA nº 236/2017 alterada pela Resolução ANA nº 121/2022

A Resolução ANA nº 236/2017, recentemente alterada pela Resolução ANA nº 121/2022, dispõe sobre a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis

técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do PSB, ISR, ISE, RPSB e PAE, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei Federal nº 12.334/2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB. Além disso, estabelece a Matriz de Classificação por CRI e DPA, conforme apresentado no Quadro 1 (ANA, 2022b).

Quadro 1 - Matriz de classificação por CRI e DPA – Resolução ANA nº 121/2022

CATEGORIA DE RISCO (CRI)	DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	A	B	D
BAIXO	A	B	D

Fonte: Adaptado de ANA (2022b)

A referida Resolução regulamenta todos os instrumentos, por parte da ANA, enquanto órgão fiscalizador. O Quadro 2 apresenta um resumo dos critérios e características relacionados a cada instrumento.

Quadro 2 - Critérios e características relacionados a cada instrumento – Resolução ANA nº 236/2017 alterada pela Resolução ANA nº 121/2022

PSB	Conteúdo	<ul style="list-style-type: none"> a) Volume I: Informações Gerais; b) Volume II: Documentação Técnica; c) Volume III: Planos e Procedimentos; d) Volume IV: Registros e Controles; e) Volume V: RPSB; f) Volume VI: PAE, quando exigido.
	Prazo e Periodicidade	<p>Antes do início do primeiro enchimento para as barragens novas. Para barragens novas ainda não outorgadas, o PSB deverá ser apresentado junto com o pedido de outorga de direito de uso de recursos hídricos. Barragens existentes têm o prazo de 1 (um) ano para elaborar ou adequar a partir da publicação da Resolução. Deve ser atualizado em decorrência das atividades de operação, monitoramento, manutenção, da realização de ISR, ISE e RPSB e das atualizações do PAE.</p>
ISR	Produtos	<ul style="list-style-type: none"> a) Extrato da ISR; b) Relatório de ISR
	Periodicidade	<p>No mínimo uma vez por ano. Barragens de Classe D podem realizar com periodicidade bienal</p>
ISE	Produtos	Relatório detalhado com parecer conclusivo sobre as condições de segurança da barragem, contendo recomendações e medidas para mitigação e solução dos problemas encontrados e/ou prevenção de novos.
	Periodicidade	<ul style="list-style-type: none"> a) Quando o NPGB for classificado como Alerta ou Emergência; b) Antes do início do primeiro enchimento do reservatório; c) Quando da realização da RPSB; d) Quando houver deplecionamento rápido do reservatório; e) Após eventos extremos iguais ou superiores aos previstos nos critérios de projetos, tais como: cheias extraordinárias, sismos e secas prolongadas;

		f) Em situações de descomissionamento ou abandono da barragem; g) Em situações de sabotagem.
	Produtos	a) Relatório; b) Resumo Executivo (enviar até 31 de março do ano subsequente de sua realização).
RPSB	Prazo e Periodicidade	Para barragens novas o prazo começa a contar do início do primeiro enchimento. Barragens existentes têm o prazo de 1 (um) ano para elaborar a partir da publicação da Resolução. Classe A: a cada 5 (cinco) anos; Classe B: a cada 7 (sete) anos; Classe C: a cada 10 (dez) anos; Classe D: a cada 12 (doze) anos.
	Exigências	Classe A e B. Barragem com altura < 15 m e reservatório < 3 hm ³ , pode ser aceito estudo simplificado para elaboração do mapa de inundação.
	Conteúdo	Artigo 12 da Lei nº 12.334/2010: a) Identificação e análise das possíveis situações de emergência; b) Procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem; c) Procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação; d) Estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência.
PAE	Prazo e Periodicidade	Antes do início do primeiro enchimento para barragens novas. Barragens existentes têm o prazo de 1 (um) ano para elaborar ou adequar a partir da publicação da Resolução. Atualizado anualmente nos seguintes aspectos: endereços, telefones e e-mails dos contatos contidos no Fluxograma de Notificação; responsabilidades gerais no PAE; listagem de recursos humanos, materiais e logísticos disponíveis a serem utilizados em situação de emergência; e outras informações que tenham se alterado no período. Deve ser revisado quando a ISR, ISE ou RPSB recomendar; sempre que a barragem sofrer modificações físicas, operacionais ou organizacionais capazes de influenciar no risco de acidente ou desastre; quando a execução do PAE em exercício simulado, acidente ou desastre indicar a sua necessidade; em outras situações, a critério da ANA.
		Fonte: Adaptado de ANA (2017) e ANA (2022b)

2.2.1.6 Panorama dos Estados

Andreeta (2020) realizou um estudo acerca dos marcos regulatórios estaduais de segurança de barragens de usos múltiplos no Brasil, avaliando comparativamente os mesmos. Dentre os resultados obtidos, o autor observou que todos os Estados possuem pelo menos uma regulamentação, que dispõe sobre pelo menos um dos instrumentos da PNSB. Avaliando os instrumentos Classificação por CRI e DPA, ISR, ISE, PSB, RPSB e PAE, concluiu-se que apenas a ISR é regulamentada em todos as unidades da federação. Enquanto a classificação

por CRI e DPA é o instrumento com menor regulamentação, faltando os estados de Piauí e Sergipe.

Em sua pesquisa, o mesmo autor analisou os regulamentos de 25 entidades fiscalizadoras, considerando as atualizações ocorridas e que constavam no RSB 2019 (ANDREETA, 2020). Conforme RSB 2020, foram emitidos sete novos regulamentos por cinco órgãos fiscalizadores, em 2020. Resultando, assim, em 28 órgãos fiscalizadores com regulamento dos instrumentos da Política. Ainda, somente 02 fiscalizadores não emitiram regulamentos e outros 03 regulamentaram parte do exigido na Lei (ANA, 2021a).

Em consulta ao SNISB, notou-se que as legislações existentes se encontram desatualizadas, não sendo possível a utilização do mesmo como base de dados. Assim, embora abranja as barragens para quaisquer finalidades, o Quadro 3 apresenta as Resoluções/ Portarias/ Leis/ Decretos/ Instruções Normativas/ Moções, dentre outros, relacionados a temática de segurança de barragens, para cada estado, consoante consta no livro Vade Mecum de Barragens (FERRARA; MIRANDA; BARROS, 2021).

Quadro 3 - Regulamentações por estado	
Estado	Regulamentação
AC	Portaria Normativa IMAC 7, de 11 de dezembro de 2017
AL	Portaria SEMARH 491, de 09 de setembro de 2015
	Portaria SEMARH 492, de 09 de setembro de 2015
	Portaria SEMARH 694, de 28 de dezembro de 2016
	Portaria SEMARH 696, de 31 de dezembro de 2016
	Portaria SEMARH 697, de 31 de dezembro de 2016
AP	Portaria IMAP 435, de 19 de dezembro de 2018
AM	Portaria IPAAM 139, de 03 de dezembro de 2018
BA	Resolução CEPRAM 3.702, de 24 de novembro de 2006
	Portaria INEMA 16.481, de 11 de julho de 2018
	Portaria INEMA 16.482, de 11 de julho de 2018
	Portaria INEMA 19.452, de 01 de novembro de 2019
CE	Portaria SRH 2.747, de 19 de dezembro de 2017
	Portaria SRH 101, de 14 de janeiro de 2020
DF	Lei 6.362, de 22 de agosto de 2019
	Resolução ADASA 10, de 13 de maio de 2011
	Resolução ADASA 10, de 03 de junho de 2020
ES	Lei Complementar 881, de 26 de dezembro de 2017
	Lei Complementar 912, de 05 de junho de 2019
	Decreto 3.948, de 26 de fevereiro de 2016
	Decreto 4.139, de 10 de agosto de 2017
	Instrução Normativa AGERH 2, de 11 de maio de 2017
	Instrução Normativa IDAF 20, de 29 de dezembro de 2017
	Instrução Normativa IDAF 21, de 29 de dezembro de 2017
Portaria SEAG 45-R, de 30 de novembro de 2018	

Estado	Regulamentação
	Resolução AGERH 71, de 19 de dezembro de 2018 Resolução AGERH 72, de 19 de dezembro de 2018 Instrução Normativa AGERH 7, de 20 de dezembro de 2018 Instrução Normativa AGERH 8, de 20 de dezembro de 2018
GO	Lei 19.447, de 09 de setembro de 2016 Lei 20.758, de 30 de janeiro de 2020 Instrução Normativa SEMAD 1, de 28 de abril de 2020
MA	Lei 11.200, de 31 de dezembro de 2019 Portaria SEMA 132, de 29 de dezembro de 2017
MT	Lei 10.836, de 19 de fevereiro de 2019 Decreto 355, de 30 de janeiro de 2020 Resolução CERH 99, de 19 de setembro de 2017 Instrução Normativa SEMA 3, de 25 de julho de 2019 Instrução Normativa SALAR/SEMA 6, de 26 de dezembro de 2019
MS	Resolução SEMADE 44, de 20 de dezembro de 2016 Portaria IMASUL 576, de 22 de dezembro de 2017 Portaria IMASUL 760, de 30 de janeiro de 2020
MG	Lei 12.488, de 09 de abril de 1997 Lei 12.812, de 28 de abril de 1998 Lei 23.291, de 25 de fevereiro de 2019 Lei 23.445, de 11 de outubro de 2019 Decreto 46.993, de 02 de maio de 2016 Decreto 48.078, de 05 de novembro de 2020 Deliberação Normativa COPAM 62, 17 de dezembro de 2002 Deliberação Normativa COPAM 87, de 17 de junho de 2005 Deliberação Normativa COPAM 124, de 09 de outubro de 2008 Deliberação Normativa COPAM 139, de 09 de setembro de 2009 Resolução Conjunta SEMAD/IGAM 2.257, de 31 de dezembro de 2014 Resolução Conjunta SEMAD/FEAM 2.372, de 06 de maio de 2016 Deliberação Normativa COPAM 217, de 06 de dezembro de 2017 Deliberação Normativa COPAM 228, de 28 de novembro de 2018 Portaria IGAM 2, de 26 de fevereiro de 2019 Portaria IGAM 3, de 26 de fevereiro de 2019 Resolução Conjunta SEMAD/FEAM 2.784, de 21 de março de 2019 Portaria IGAM 12, de 28 de março de 2019 Resolução Conjunta SEMAD/FEAM 2.789, de 29 de março de 2019 Resolução Conjunta SEMAD/FEAM 2.810, de 24 de maio de 2019 Portaria IGAM 23, de 19 de junho de 2019 Resolução Conjunta SEMAD/FEAM 2.833, de 26 de agosto de 2019 Portaria IGAM 46, de 30 de setembro de 2019 Portaria IGAM 48, de 04 de outubro de 2019 Portaria IGAM 68, de 28 de novembro de 2019 Resolução Conjunta SEMAD/FEAM/IEF/IGAM 2.900, de 16 de dezembro de 2019 Portaria IGAM 76, de 23 de dezembro de 2019 Portaria IGAM 32, de 26 de junho de 2020
PA	Lei 7.408, de 30 de abril de 2010 Instrução Normativa SEMAS 2, de 06 de fevereiro de 2018 Instrução Normativa SEMAS 12, de 27 de dezembro de 2019
PB	Decreto 39.014, de 25 de fevereiro de 2019 Resolução AESA 2, de 28 de março de 2019
PR	Lei 15.446, de 15 de janeiro de 2007 Lei 19.412, de 27 de setembro de 2017 Decreto 11.381, de 16 de outubro de 2018

Estado	Regulamentação
	Portaria IAP 46, de 04 de dezembro de 2018 Portaria IAT 130, de 05 de maio de 2020
PE	Lei 14.326, de 03 de junho de 2011 Resolução DC APAC 3, de 28 de dezembro de 2017
PI	Portaria SEMAR 2, de 06 de janeiro de 2016 Portaria SEMAR 19, de 14 de junho de 2018
RJ	Lei 5.549, de 25 de setembro de 2009 Lei 7.192, de 06 de janeiro de 2016 Resolução INEA 165, de 26 de dezembro de 2018
RN	Resolução CONERH 8, de 16 de dezembro de 2009 Resolução CONERH 15, de 22 de julho de 2013 Portaria IGARN 10, de 16 de novembro de 2017
RS	Lei 2.434, de 23 de setembro de 1954 Decreto 52.931, de 07 de março de 2016 Portaria FEPAM 30, de 23 de abril de 2014 Portaria SEMA 136, de 29 de dezembro de 2017 Resolução CRH 274, de 06 de junho de 2018
RO	Portaria SEDAM 379, de 15 de dezembro de 2017 Instrução Normativa SEDAM 3, de 15 de novembro de 2018
RR	Instrução Normativa FEMARH 1, de 13 de março de 2017 Instrução Normativa FEMARH 3, de 20 de dezembro de 2017
SC	Lei 14.675, de 13 de abril de 2009
SP	Lei 9.798, de 07 de outubro de 1997 Decisão CETESB 279, de 18 de novembro de 2015 Portaria DAEE 3.907, de 15 de dezembro de 2015 Resolução Conjunta SIMA/CMIL/SDE 1, de 09 de abril de 2020
SE	Portaria SEMARH 21, de 16 de novembro de 2015 Portaria SEMARH 58, de 18 de dezembro de 2017
TO	Portaria NATURATINS 483, de 18 de dezembro de 2017

Fonte: FERRARA (2021)

2.2.2 Pernambuco

O processo de implantação da PNSB em Pernambuco teve início em 2012, quando a APAC, em seu papel de órgão fiscalizador, desenvolveu ações de elaboração e atualização do cadastro das barragens e de solicitação do preenchimento da Ficha de Cadastro da Barragem e envio do último Relatório de Inspeção realizado. Contudo, não se obteve retorno da demanda por parte dos empreendedores (ROSAL; OLIVEIRA FILHO; MONTENEGRO, 2019).

Segundo os mesmos autores, no ano seguinte, em 2013, reiterou-se a solicitação de envio dos documentos anteriormente citados. Dessa vez, o DNOCS enviou vinte e um formulários preenchidos e relatórios de inspeção, os quais se encontravam sem a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do(s) profissional(is) responsável (is). A CODEVASF

também retornou a APAC, afirmando que era apenas o órgão construtor de barragens, não sendo empreendedor de nenhuma delas.

Em 22 de dezembro de 2016, foi publicada a Resolução APAC nº 02/2016 – DC, que regulamentava o art. 9º da PNSB, dispendo sobre a periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das Inspeções de Segurança Regulares de barragens. Além disso, também definia penalidades (APAC, 2016).

Posteriormente, em 28 de dezembro de 2017, foi publicada a Resolução APAC nº 3/2017 – DC, que atualmente é válida em Pernambuco. A mesma estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do PSB, ISR, ISE, RPSB e PAE, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei Federal nº 12.334/2010. Além disso, também revoga a Resolução APAC nº 02/2016 – DC (APAC, 2017).

Por apresentarem a mesma finalidade, as Resoluções federal e estadual apresentam semelhanças, sendo a da ANA base para a da APAC. O Quadro 4 apresenta a matriz de classificação por CRI e DPA, que é idêntica para as duas Resoluções.

Quadro 4 - Matriz de classificação por CRI e DPA – Resolução APAC nº 3/2017-DC

CATEGORIA DE RISCO (CRI)	DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	A	C	D
BAIXO	A	D	D

Fonte: Adaptado de APAC (2017)

Também há semelhanças no que diz respeito aos critérios e características relacionadas a cada instrumento, conforme apresentado no Quadro 5, que é semelhante as informações apresentadas anteriormente no Quadro 2. Uma diferença entre ambas trata da periodicidade da realização da ISR. Na Resolução APAC, a inspeção continua sendo realizada, no mínimo, uma vez por ano, mas há um adendo para que haja um intervalo superior a dez meses entre elas.

Quadro 5 - Critérios e características relacionados a cada instrumento – Resolução APAC nº 3/2017-DC

PSB	Conteúdo	a) Volume I: Informações Gerais;
------------	----------	----------------------------------

		<ul style="list-style-type: none"> b) Volume II: Documentação Técnica; c) Volume III: Planos e Procedimentos; d) Volume IV: Registros e Controles; e) Volume V: RPSB; f) Volume VI: PAE, quando exigido.
	Prazo e Periodicidade	<p>Antes do início do primeiro enchimento para as barragens novas. Barragens existentes têm o prazo de 1 (um) ano para elaborar ou adequar a partir da publicação da Resolução.</p> <p>Deve ser atualizado em decorrência das atividades de operação, monitoramento, manutenção, da realização de ISR, ISE e RPSB e das atualizações do PAE.</p>
ISR	Produtos	<ul style="list-style-type: none"> a) Extrato da ISR; b) Relatório de ISR
	Periodicidade	<p>No mínimo uma vez por ano e com intervalo superior a dez meses entre inspeções consecutivas.</p> <p>Barragens de Classe D podem realizar com periodicidade bienal e com intervalo superior a vinte meses entre inspeções consecutivas.</p>
	Produtos	Relatório com parecer conclusivo sobre as condições de segurança da barragem, contendo recomendações e medidas para mitigação e solução dos problemas encontrados e/ou prevenção de novos.
ISE	Periodicidade	<ul style="list-style-type: none"> a) Quando o NPGB for classificado como Alerta ou Emergência; b) Antes do início do primeiro enchimento do reservatório; c) Quando da realização da RPSB; d) Quando houver deplecionamento rápido do reservatório; e) Após eventos extremos, tais como: cheias extraordinárias, sismos e secas prolongadas; f) Em situações de descomissionamento ou abandono da barragem; g) Em situações de sabotagem.
	Produtos	<ul style="list-style-type: none"> a) Relatório; b) Resumo Executivo (enviar até 31 de março do ano subsequente de sua realização).
RPSB	Prazo e Periodicidade	<p>Para barragens novas, o prazo começa a contar do início do primeiro enchimento. Para barragens existentes e sem PSB elaborado, o prazo começa a contar a partir da data de conclusão da elaboração do PSB. Para barragens existente e com PSB elaborado, com ou sem revisão, o prazo começa a contar a partir da data de conclusão da elaboração do PSB ou revisão.</p> <p>Classe A: a cada 5 (cinco) anos; Classe B: a cada 7 (sete) anos; Classe C: a cada 10 (dez) anos; Classe D: a cada 12 (doze) anos.</p>
	Exigências	Classe A e B.
PAE	Conteúdo	<p>Artigo 12 da Lei nº 12.334/2010:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Identificação e análise das possíveis situações de emergência; b) Procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem; c) Procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação; d) Estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência.
	Prazo e Periodicidade	<p>Antes do início do primeiro enchimento para barragens novas. Barragens existentes têm o prazo de 1 (um) ano para elaborar ou adequar a partir da publicação da Resolução.</p>

Atualizado anualmente nos seguintes aspectos: endereços, telefones e e-mails dos contatos contidos no Fluxograma de Notificação; responsabilidades gerais no PAE; listagem de recursos materiais e logísticos disponíveis a serem utilizados em situação de emergência; e outras informações que tenham se alterado no período.
Revisado na realização de cada RPSB.

Fonte: Adaptado de APAC (2017)

Em seu estudo sobre os marcos regulatórios estaduais, Andreeta (2020) apontou que Pernambuco regulamenta todos os instrumentos da PNSB. Além disso, em comparação entre as Resoluções ANA e APAC, o autor identificou semelhanças na matriz de classificação por CRI e DPA; no conteúdo exigido, no prazo e na periodicidade do PSB; nos produtos e periodicidade da ISR; nos produtos e na periodicidade da ISE; nos produtos, no prazo e na periodicidade da RPSB; e no conteúdo mínimo, prazos e periodicidade do PAE. De modo que, Pernambuco apresenta quatorze características análogas à ANA, estando entre os estados que mais se assemelham a Resolução federal, junto com Distrito Federal e Maranhão.

Ainda, cabe pontuar que na atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (PERH/PE) foi previsto o Programa de Segurança de Barragens, no Eixo B – Governabilidade dos Recursos Hídricos. O programa é dividido em quatro ações, sendo elas: Elaboração de Inventário de Barragens sob Responsabilidade do Estado; Execução de Manutenção Periódica Básica; Execução de Recuperações Físicas Estruturais; e Elaboração de Planos de Segurança e de Ações Emergenciais para Barragens Prioritárias. Todas as ações tem prazo de execução de curto prazo (05 anos) e apenas a terceira também é prevista para médio prazo (10 anos) (PERNAMBUCO, 2022).

2.3 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DE BARRAGENS

Dada a importância da temática de segurança de barragens e os diversos instrumentos estabelecidos pela PNSB, faz-se necessária a definição da ordem de prioridades das barragens nas quais serão executadas as ações por parte dos empreendedores, auxiliando em seus processos de tomada de decisões. Nesse sentido, diversos autores na literatura propuseram metodologias, visando contribuir com a gestão da segurança de barragens.

Zuffo (2005) propôs o chamado Índice de Segurança de Barragens (ISB), que consiste em uma metodologia que pondera critérios relacionados a avaliação de segurança de barragens,

resultando numa nota final que caracteriza a condição do empreendimento quanto à segurança, variando do nível insatisfatória até o nível bom. Para tal finalidade, o autor propôs dezoito critérios relacionados a potencial de risco, desempenho e fatores ambientais (Quadro 6). Ainda, o ISB serve de referência para a avaliação da segurança de barragens, não possuindo como objetivo principal o auxílio a tomada de decisão.

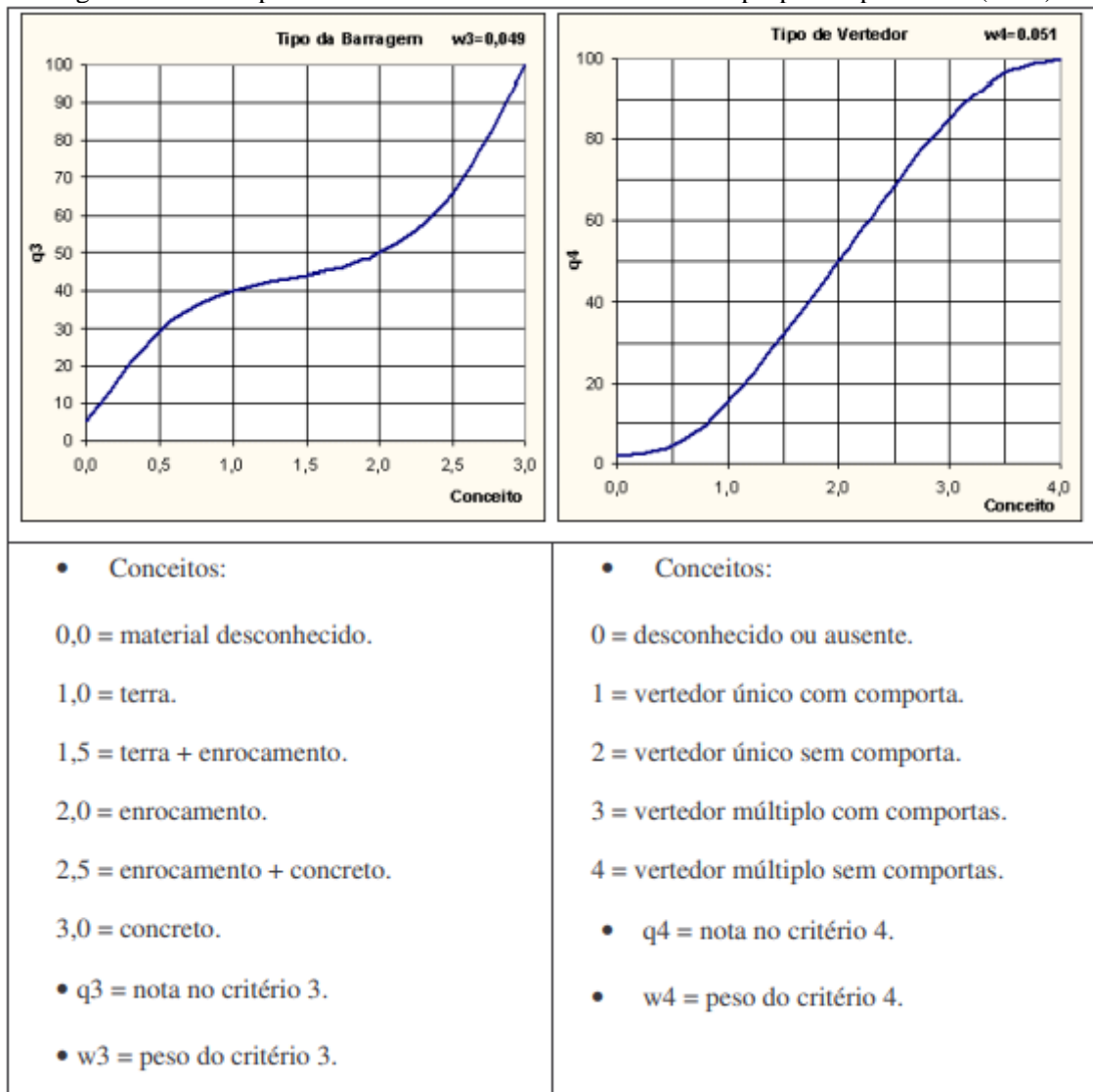
Quadro 6 – Critérios utilizados no cálculo do ISB

Categoria	Critério
Potencial de risco	1 – Importância da barragem
	2 – Dimensões
	3 – Tipo de barragem
	4 – Tipo de vertedor
	5 – Período de retorno da obra de descarga
	6 – Instalações a jusante
	7 – Instalações a montante
	8 – Idade da barragem
Performance	9 – Qualidade geral dos dados técnicos
	10 – Presença de vazamentos
	11 – Presença de deformações
	12 – Deterioração em aspectos gerais e taludes
	13 – Evidências de erosão a jusante
Fatores ambientais	14 – Conservação do vertedor para prevenção de enchentes
	15 – Eutrofização no reservatório
	16 – Alteração do uso e ocupação do solo
	17 – Eliminação da vegetação natural ou implantada
	18 – Histórico de acidentes relacionados com a barragem

Fonte: Zuffo (2005)

Ainda, o processo de criação do ISB se deu por meio de consultas a especialistas da área, para construção dos pesos dos critérios utilizados na avaliação, determinando, assim, a relevância de cada um deles. Cada critério é vinculado a uma curva de função de valor e cruzando-se o resultado obtido para determinado parâmetro da barragem com a sua respectiva curva, determina-se a nota referente aquele critério (ZUFFO, 2005). A Figura 10 apresenta as duas curvas de valor dos critérios 3 e 4, seguidos de seus conceitos.

Figura 10 – Exemplos de curvas de valor dos critérios 3 e 4 propostos por Zuffo (2005)



Fonte: Zuffo (2005)

Aguiar (2014) propôs alterações no ISB, acrescentando critérios e reduzindo a subjetividade no emprego do método. Para tanto, foram escolhidos 29 critérios, baseados na legislação brasileira sobre segurança de barragens, no trabalho de Zuffo (2005) e na bibliografia consultada acerca dos acidentes ocorridos, os quais se encontram no Quadro 7. O trabalho desenvolvido pelo autor não abrangeu o cálculo final do ISB, por se fazer necessário desenvolver as funções de valor para cada critério, tornando-se sugestão para trabalhos futuros.

Quadro 7 – Novos critérios para o cálculo do ISB propostos por Aguiar (2014)

Tipo	Critério
Risco direto	1 – Altura da barragem
	2 – Comprimento da barragem

	3 – Tipo de barragem (quanto ao material)
	4 – Tipo de vertedor
	5 – Vazão de projetos dos vertedores
	6 – Período de retorno (TR) da vazão de projeto dos vertedores
	7 – Tipo de turbina hidráulica
	8 – Tipo de comporta do vertedouro
	9 – Maquinário de operação das comportas
	10 – Nível de automação
	11 – Idade da barragem
	12 – Presença de percolação/vazamento
	13 – Presença de deformações e recalques
	14 – Deterioração dos taludes
	15 – Conservação das estruturas vertedoras
	16 – Conservação das estruturas de captação
	17 – Evidências de erosão a jusante
	18 – Existência de documentação de projeto, incluindo o projeto “as-built”
	19 – Estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem
	20 – Procedimentos de inspeções de segurança e monitoramento
	21 – Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação
	22 – Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem
	23 – Instrumentação e monitoramento dos registros
	24 – Volume do reservatório
	25 – Capacidade instalada ou de operação
	26 – Existência de planos de ações de emergências
Risco indireto	27 – Existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas
	28 – Existência de instalações de infraestrutura ou serviços e de equipamentos de serviços públicos essenciais
	29 – Existência de barragens em série no mesmo curso d’água (efeito cascata)

Fonte: Aguiar (2014)

Salloum & Alrhieh (2019) propuseram uma estrutura baseada no processo de hierarquia analítica, com o objetivo principal de fornecer uma classificação relativa das barragens, com o propósito de recuperá-las ou, ainda, conduzir avaliações mais detalhadas, a fim auxiliar na tomada de decisões prioritárias. A estrutura proposta agregava critérios quantitativos e qualitativos relacionados à segurança de barragens, segurança operacional, potencial de risco, requisitos regulatórios e valor comercial.

A adequação e aplicação da estrutura proposta para determinado empreendedor necessita do envolvimento de vários profissionais, dos diversos níveis administrativos da organização. Para a definição dos critérios principais, se faz necessário que seja formado um painel com os tomadores de decisões, para que sejam realizadas as comparações entre pares dos critérios

para determinar a importância de cada um deles. Os autores sugerem que haja um facilitador para conduzir as discussões (SALLOUM; ALRHIEH, 2019).

A partir dessas comparações são geradas matrizes de comparação, as quais, por sua vez, geram os vetores de prioridades. Devido a subjetividade existente no processo, se faz necessário avaliar a consistência dos julgamentos, a fim de mantê-los abaixo de um certo limite. Para isso, calcula-se o Índice de Consistência (CI) $CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)}$

(Equação 1).

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde,

λ_{max} – Autovalor máximo da matriz de comparação;

n – número de critérios que estão sendo comparados.

Calcula-se, então, a razão de consistência (CR), que é dada pela razão entre o índice de consistência e o índice de consistência aleatória (RI). O CR deve ser inferior a 10%, caso contrário, as comparações deverão ser reavaliadas. Após essa etapa para os critérios principais, o processo é repetido para cada subcritério. Nesse caso, o painel deverá ser formado por especialistas no assunto e engenheiros de várias disciplinas com experiência em segurança de barragens e cientes das estatísticas históricas de falhas/incidentes de barragens (SALLOUM; ALRHIEH, 2019).

O Ministério da Integração Nacional desenvolveu o Plano de Ações Estratégicas para a Reabilitação de Barragens da União (PLANERB), tendo por finalidade a reabilitação das barragens da União, cujos empreendedores são o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), ou ainda o extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) (MI, 2018; DE VITO; SILVEIRA; BEEKMAN, 2019).

A fim de elaborar o plano estratégico de ações, com definição das prioridades, foi desenvolvida uma metodologia com base na classificação das barragens de acordo com CRI e DPA, que se constitui em um dos instrumentos da PNSB e é regulamentada pela Resolução CNRH nº 143/2012. A partir de discussões e oficinas ad hoc com especialistas, promoveram-

se alterações e acréscimos de outras metodologias, objetivando obter uma melhor classificação de risco e, conseqüentemente, de prioridades das ações e investimentos, sob o ponto de vista da urgência (DE VITO; SILVEIRA; BEEKMAN, 2019).

A metodologia desenvolvida pelo PLANERB será aplicada neste trabalho, assim, sua descrição constará na metodologia. A escolha baseou-se na possibilidade de aplicação, diante da disponibilidade de informações existentes sobre as barragens no estado de Pernambuco, que não apresenta grau aprofundado de detalhamento. Pereira (2019) pontua que existem dificuldades sobre as informações das barragens no Brasil, já que para a maioria delas não existem dados a respeito de critérios de segurança.

Para as demais metodologias mencionadas, as de Zuffo (2005) e Aguiar (2014) não atenderiam o objetivo de construir uma ordem de prioridades das barragens. Enquanto a de Salloum & Alrhieh (2019), exige um processo sólido para sua adequação e aplicação, que se encontra impossibilitado de ocorrer, na prática atual, devido a deficiência técnica e financeira apresentada pelos empreendedores.

3 METODOLOGIA

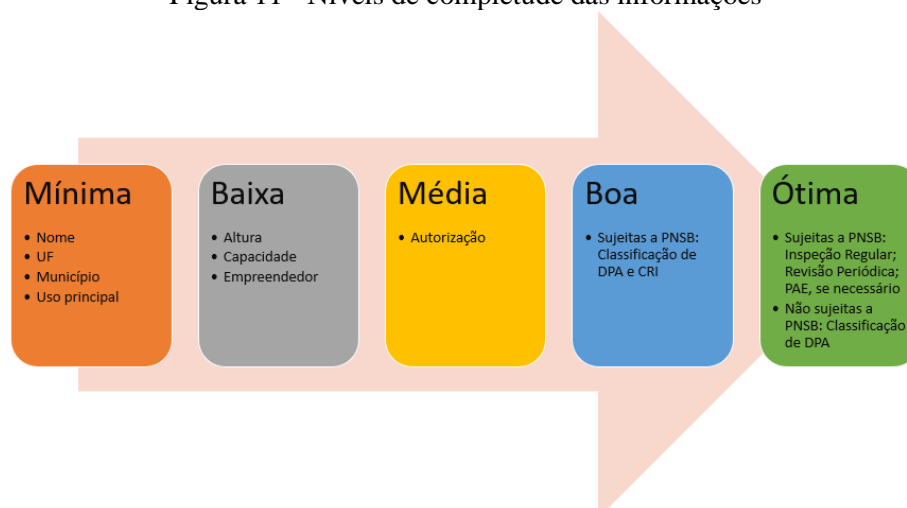
A metodologia do presente trabalho consiste, essencialmente, em uma pesquisa sobre as ações desenvolvidas por empreendedores do estado de Pernambuco, baseando-se nas informações e documentações obtidas com os mesmos, assim como naquelas apresentadas no SNISB. Conjuntamente, será aplicada a metodologia do PLANERB, objetivando construir uma ordem de prioridades das barragens, para fins de planejamento. Só foi encontrada referência da aplicação dessa metodologia nos próprios documentos do Plano, não tendo sido encontradas referências de outros trabalhos na literatura.

3.1 Caracterização das barragens em Pernambuco

Nesta primeira etapa, a partir das informações disponibilizadas no SNISB, serão analisadas as características técnicas das barragens localizadas em Pernambuco, sendo elas capacidade do reservatório, tipo de material constituinte, comprimento do coroamento, altura do maciço (a partir do terreno) e uso principal. Em seguida, serão observados os critérios que se relacionam com a PNSB: classificação de categoria de risco; classificação de dano potencial associado; e existência ou não de PAE, PSB e RPSB.

A planilha disponibilizada no SNISB também apresenta classificação quanto a completude dos dados das barragens cadastradas, de modo que é possível verificar o nível de informações para cada estrutura (Figura 11). Essa variável também será avaliada para as barragens no Estado.

Figura 11 - Níveis de completude das informações



Fonte: Adaptado de ANA (2021)

Ainda na primeira etapa, serão identificados os empreendedores existentes em Pernambuco, identificando aqueles com maior ou menor quantidade de estruturas sob sua responsabilidade. Também será possível realizar a avaliação entre a capacidade de armazenamento do reservatório e os empreendedores, a fim de identificar aqueles que respondem pelas maiores barragens.

3.2 Mapeamento das ações dos órgãos empreendedores

Na segunda etapa, serão analisadas as ações desenvolvidas e em desenvolvimento pelos órgãos empreendedores existentes no Estado, verificando se buscam atender aos instrumentos da PNSB. Poderá ser verificada a realização de ISR, ISE, RPSB, PAE e PSB, dentre outras ações que visem assegurar a segurança das barragens, tais como os projetos de recuperação e a realização de obras de recuperação.

3.3 Análise detalhada dos relatórios das ISRs

Para esta etapa, serão coletados os Relatórios de Inspeção de Segurança Regular 2021, objetivando a sua análise detalhada e, conseqüentemente, a identificação do diagnóstico das anomalias presentes nas barragens, possibilitando verificar aquelas que são mais recorrentes.

Para a realização das ISRs, a ANA elaborou e disponibilizou dois modelos de checklist, sendo um destinado a barragens de terra e outro a barragens de concreto. Assim, para a análise das anomalias, as estruturas serão divididas em dois grupos, conforme seu material constituinte e, conseqüentemente, o checklist utilizado. Ainda, cada anomalia é classificada quanto a situação, magnitude e nível de perigo da anomalia, conforme apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 – Classificações de situação, magnitude e nível de perigo da anomalia

Situação	Magnitude	Nível de Perigo
NA – Este item Não é Aplicável	I – Insignificante	0 – Nenhum
NE – Anomalia Não Existente	P – Pequena	1 – Atenção
PV – Anomalia constatada pela Primeira Vez	M – Média	2 – Alerta
DS – Anomalia Desapareceu	G – Grande	3 – Emergência
DI – Anomalia Diminuiu		
PC – Anomalia Permaneceu Constante		
AU – Anomalia Aumentou		
NI – Este item Não foi Inspeccionado		

Fonte: ANA (2020)

A análise se restringirá a existência ou não da anomalia, não sendo avaliado sua magnitude e nível de perigo. As anomalias serão classificadas como:

- Existe (PV, DI, PC, AU);
- Não existe (NE, DS);
- Não inspecionado (NI);
- Não se aplica (NA).

Para as assinaladas como NI, serão identificados os motivos que impossibilitaram a inspeção do item. Já para as assinaladas como NA, por definição, tem-se que é quando “o item examinado não é pertinente à barragem que está sendo inspecionada” (ANA, 2020). Tais identificações são importantes e podem trazer contribuições para a melhoria das inspeções nas barragens.

3.4 Classificação para fins de gestão de segurança de barragens

Para classificação das barragens com finalidades gerenciais, utilizou-se a metodologia desenvolvida para o PLANERB.

O produto final foi o chamado Índice de Risco (IR), que é obtido através do produto entre o CRI e DPA modificados $IR = CRI^* \times DPA^*$ (Equação 2). O IR reflete o real perigo que a barragem oferece à comunidade, incluindo as situações observadas durante as inspeções técnicas.

$$IR = CRI^* \times DPA^* \quad (\text{Equação 2})$$

Onde,

IR – Índice de Risco;

CRI* – Categoria de Risco modificado;

DPA* - Dano Potencial Associado modificado.

Os cálculos do CRI* e DPA* são semelhantes aos da Resolução CNRH nº 143/2012, com as modificações desenvolvidas e inseridas pelo PLANERB, e serão detalhadas nos subitens a

seguir. Ressalta-se que as nomenclaturas dos critérios e variáveis utilizadas nesta pesquisa são idênticas as utilizadas para o PLANERB.

3.4.1 Cálculo da Categoria de Risco Modificado (CRI*)

O CRI* é calculado através da $CRI^* = CT^* + EC^* + PS^*$ (Equação 3):

$$CRI^* = CT^* + EC^* + PS^* \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde,

CT* – Características Técnicas modificadas

ES* – Estado de Conservação modificado

PS* – Plano de Segurança modificado

Os cálculos de CT*, ES* e PS*, de maneira geral, se resumem em somatórias de pontuações atribuídas a critérios, os quais são avaliados a partir das características e condições das barragens.

Para as características técnicas modificadas, tem-se que (Equação 4):

$$CT^* = a + b + c + d + e + f^* \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde,

a – altura (m);

b – comprimento (m);

c – tipo de barragem quanto ao material de construção;

d – tipo de fundação;

e – idade da barragem;

f* – vazão de projeto modificada.

A variável f* corresponde a multiplicação da vazão de projeto pela informação disponível, conforme apresentado na Equação 5:

$$f^* = f \times ID \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde,

f – vazão de projeto;

ID – informação disponível.

A Tabela 3 apresenta as pontuações que podem ser atribuídas para cada uma destas variáveis.

Tabela 3 - Critérios e pontuações das CT*

Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de barragem quanto ao material de construção (c)	Tipo de fundação (d)	Idade da barragem (e)	Vazão de projeto* (f*) = (f x ID)	
					Vazão de projeto (f)	Informação Disponível (ID)
Altura \leq 15m (0)	Comprimento \leq 200m (2)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	Entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)	Estudo hidrológico < 20 anos com detalhes (1)
15m < Altura < 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado – CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	Entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)	Estudo não recente (20 – 35 anos) ou pouco detalhado (1.4)
30m \leq Altura \leq 60m (2)	-	Terra homogênea / enrocamento / terra enrocamento (3)	Rocha alterada sem tratamento / rocha alterada fraturada com tratamento (3)	Entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)	Estudo hidrológico antigo (> 35 anos) (1.6)
Altura > 60m (3)	-	-	Rocha alterada mole / saprólito / solo compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável (10)	Estudo não confiável ou nenhum dado existente (3)
-	-	-	Solo residual / aluvião (5)	-	-	-

Fonte: De Vito; Silveira; Beekman (2019)

Para o estado de conservação modificado, tem-se que (Equação 5):

$$ES^* = g + h + i + j + k + m1 + m2 \quad (\text{Equação 5})$$

g – confiabilidade das estruturas extravasoras;

h – confiabilidade das estruturas de adução;

i – percolação;

j – deformações e recalques;

k – deterioração dos taludes/paramentos;

m1 – sistema de drenagem;

m2 – acessos à barragem.

A Tabela 4 apresenta as pontuações que podem ser atribuídas para cada uma destas variáveis.

Tabela 4 - Critérios e pontuações do EC*

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)	Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)	Percolação (i)	Deformações e recalques (j)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (k)	Sistema de drenagem (m1)	Acessos à barragem (m2)
Estruturas civis e hidroeletromecânicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0)	Em barragem de terra OU em barragem de concreto sem necessidade de drenagem OU em barragem de concreto com drenagem e drenos funcionando corretamente (0)	Fácil acesso à barragem (0)
Estruturas civis e hidroeletromecânicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente (4)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Em barragem de concreto com drenagem, drenos com alguns problemas de obstruções (5)	Dificuldades de acesso à barragem (4)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação / canais ou vertedouro (tipo	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando	Em barragem de concreto com drenagem, drenos completamente obstruídos (8)	Impossibilidade completa de acesso à barragem (8)

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)	Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)	Percolação (i)	Deformações e recalques (j)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (k)	Sistema de drenagem (m1)	Acessos à barragem (m2)
soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente (7)	medidas corretivas (6)	em fase de diagnóstico (5)	adicionais ou monitoramento (5)	necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)		
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroelctromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas (10)	-	Surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente (8)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança (7)	-	-

Fonte: De Vito; Silveira; Beekman (2019)

Para o plano de segurança de barragem modificado, tem-se que (Equação 6):

$$PS^* = n + o + p^* + q + r + s \quad (\text{Equação 6})$$

Onde,

n – existência de documentação de projeto;

o – estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança de Barragem;

p* - procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento modificado;

q – regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;

r – relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação;

s – plano de ação de emergência.

A Tabela 5 apresenta as pontuações que podem ser atribuídas para cada uma destas variáveis.

Tabela 5 - Critérios e pontuações do PS*

Existência de documentação de projeto (n)	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança de Barragem (o)	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento (p*)	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q)	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (r)	Plano de Ação de Emergência (s)
Projeto executivo e “como construído” (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança de barragem (0)	Aplica procedimentos de inspeção e realiza monitoramento detalhado da barragem. Os dados são registrados e analisados (0)	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre (0)	Emite regularmente os relatórios (0)	Não existe PAE (6)
Projeto executivo ou “como construído” (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)	Aplica procedimentos de inspeção e monitoramento com um sistema básico, onde muitas variáveis-chave não são analisadas (6)	Não (6)	Emite os relatórios sem periodicidade (3)	PAE escrito, mas não implantado (2)
Projeto básico (4)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança de barragem (8)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção, mas dispõe de projeto para desenvolvimento de monitoramento no futuro (8)	-	Não emite os relatórios (5)	Plano de Contingência aprovado e implantado (0)
Anteprojeto ou projeto conceitual (6)	-	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção e não dispõe de projeto para desenvolvimento de monitoramento no futuro (12)	-	-	
Inexiste documentação de projeto (8)	-	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (16)	-	-	
-	-	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (20)	-	-	

Fonte: De Vito; Silveira; Beekman (2019)

3.4.2 Cálculo do Dano Potencial Associado Modificado (DPA*)

O DPA* é calculado do somatório apresentado na Equação 7:

$$DPA^* = a + b^* + c + d + e \quad (\text{Equação 7})$$

Onde,

a – volume total do reservatório (milhões de m³);

b* – potencial de perdas de vidas humanas modificado;

c – impacto ambiental;

d – impacto socioeconômico;

e – impacto por perdas no reservatório.

A Tabela 6 apresenta as pontuações que podem ser atribuídas para cada uma destas variáveis.

Tabela 6 - Critérios e pontuações do DPA*

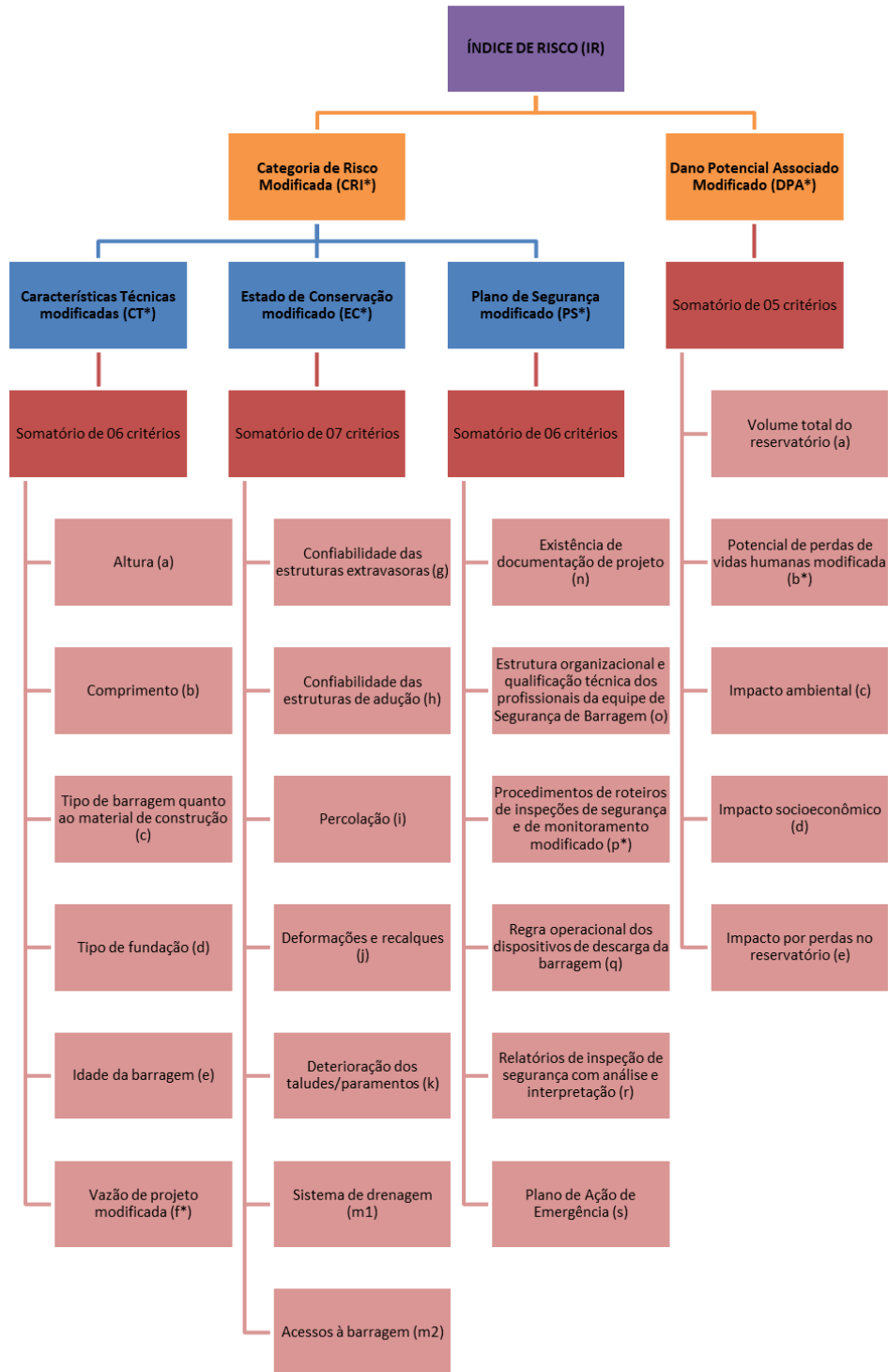
Volume total do reservatório (a)	Potencial de perdas de vidas humanas (b*)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)	Impacto por perdas no reservatório (e)
Pequeno ≤ 5 milhões m ³ (1)	INEXISTENTE – Não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem (0)	SIGNIFICATIVO – Área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais (3)	INEXISTENTE – Não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem (0)	INEXISTENTE – A água do reservatório não é usada (0)
Médio 5 milhões a 75 milhões de m ³ (2)	POUCO FREQUENTE – Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local (4)	MUITO SIGNIFICATIVO – Área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica (5)	BAIXO – Existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação (4)	BAIXO – Produção hidrelétrica de baixa magnitude ou no abastecimento de modesta significância ou em pequenos empreendimentos agrícolas ou industriais (4)
Grande 75 milhões a 200 milhões de m ³ (3)	FREQUENTE – Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia ou outro empreendimento de permanência eventual de pessoas (8)	-	ALTO – Existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação (8)	MÉDIO – Produção hidrelétrica ou empreendimentos agrícolas ou industriais de importância local, ou abastecimento urbano de pequenas cidades (6)
Muito grande > 200 milhões de m ³	EXISTENTE – De 1 a 10 pessoas ocupando permanentemente a área	-	-	ALTO – Demais casos (8)

Volume total do reservatório (a)	Potencial de perdas de vidas humanas (b*)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)	Impacto por perdas no reservatório (e)
(5)	afetada a jusante da barragem (10)			
-	EXISTENTE – De 10 a 100 pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem (15)	-	-	-
-	EXISTENTE – De 100 a 1.000 pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem (20)	-	-	-
-	EXISTENTE – De 1.000 a 10.000 pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem (30)	-	-	-
-	EXISTENTE – Mais de 10.000 pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem (40)	--	-	-

Fonte: De Vito; Silveira; Beekman (2019)

Para cada barragem serão aplicados os cálculos apresentados nos subitens 4.4.1 e 4.4.2 e, posteriormente, a Equação 1. A Figura 12 apresenta um esquema do cálculo do IR. Após a realização desta etapa, será possível visualizar a ordem de prioridades das barragens para cada empreendedor.

Figura 12 - Esquema do cálculo do IR



Fonte: Adaptado de De Vito; Silveira; Beekman (2019)

3.5 Proposta de dimensionamento financeiro

A partir da ordem de prioridades obtida após a aplicação da etapa descrita no item 4.4, será realizado o planejamento das ações para atendimento à legislação. Serão estabelecidos horizontes de atuação e respeitando um teto financeiro máximo. Tanto o intervalo de tempo, quanto o valor monetário máximo, serão definidos com cada empreendedor, de forma que melhor se adequem a situação de cada um.

As ações a serem consideradas no planejamento são:

- Realização de ISRs;
- Elaboração de PSB e PAE;
- Elaboração de projetos de recuperação.
- Atualização de PSB, PAE e/ou RPSB já existentes;
- Realização de manutenção.

Os valores financeiros estipulados se basearão em licitações e/ou contratações que os empreendedores já tiverem realizado. Ou ainda, a partir de preços praticados por terceiros ou aqueles constantes em documentos de referência na literatura.

3.6 Proposta de dimensionamento de equipe técnica

Inicialmente, serão avaliadas as equipes já existentes nos órgãos empreendedores, sob o ponto de vista qualitativo, no que se refere a formação dos profissionais, e quantitativo, no que se refere a quantidade de profissionais envolvidos. Em seguida, a partir das ações propostas no planejamento financeiro, serão avaliadas as equipes necessárias para cada empreendedor, de acordo com o número de barragens sob sua responsabilidade.

A partir dessas informações, será analisada a vantagem financeira entre contratar empresas para elaboração dos documentos visando o atendimento à PNSB e manter equipe própria multidisciplinar, que tenha capacidade técnica para realização das mesmas atividades que seriam contratadas. A estimativa dos custos financeiros será realizada baseada nos atuais valores praticados pelos empreendedores.

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização das barragens em Pernambuco

Conforme planilha de dados constante no SNISB, consultada em 15 de setembro de 2022, em Pernambuco encontram-se cadastradas 480 barragens, representando 2,1% do total de 23.226 estruturas cadastradas no país. Analisando-se as características técnicas das mesmas, tem-se as informações constantes na Tabela 7, que apresenta aquelas que são mais recorrentes nas barragens cadastradas do estado. Observa-se que aproximadamente 50% das estruturas são constituídas de terra, bem como quase a mesma porcentagem tem como uso principal o abastecimento humano. Corroborando com o resultado obtido para o uso principal, tem-se que Pernambuco é um estado que apresenta escassez hídrica, assim possui um grande número de barragens (ROSAL; OLIVEIRA FILHO; MONTENEGRO, 2019).

Ainda sobre as características mais recorrentes, quanto à capacidade do reservatório e à altura do maciço, medida a partir do terreno, ou seja, do encontro do talude de jusante com o terreno natural, pode-se notar que ambas são inferiores aos critérios exigidos pela Lei para ser enquadrada na PNSB. Para a primeira, o valor mínimo são 3hm³, para a segunda, 15m. Em Pernambuco, encontrou-se que 32,7% e 34,8% das barragens apresentam capacidade do reservatório menor ou igual a 1hm³ e altura do maciço menor ou igual a 10m, respectivamente (Tabela 7). A partir disso, pode-se deduzir que muitas barragens podem não estar enquadradas na PNSB.

Tabela 7 - Características mais recorrentes nas barragens de Pernambuco

Característica	Mais recorrente	%
Capacidade do reservatório	Menor ou igual a 1 hm ³	32,7
Tipo de material constituinte	Terra	49,8
Comprimento do coroamento	Entre 100m e 200m	21,3
Altura do maciço (a partir do terreno)	Menor ou igual a 10m	34,8
Uso principal	Abastecimento humano	42,5

Fonte: Elaborado pela autora a partir de planilha de dados do SNISB

Do quantitativo de 480 barragens, 269 estão enquadradas na PNSB, representando 56%. Do restante, 21,5% não estão enquadradas e 22,5% não foram classificadas, devido à falta de alguma informação. Rosal, Oliveira Filho e Montenegro (2019) pontuam que em torno de 70% das barragens de Pernambuco possuem capacidade de armazenamento do reservatório

inferior a 3hm³ e poderiam não serem submetidas a PNSB. Entretanto, as fichas de cadastros são enviadas incompletas pelos empreendedores, resultando no enquadramento dessas estruturas à Lei.

Nesse sentido, pode-se analisar o nível de completude das informações encontradas no SNISB. Como pode-se observar na Tabela 8, a maior parte das barragens apresenta nível de completude baixo, ou seja, contém apenas informações referentes ao nome, estado, município, uso principal, altura, capacidade e empreendedor. Em conjunto, as completudes mínima e baixa representam mais de 50% das estruturas cadastradas no estado. Esse cenário coincide com o preenchimento incompleto das fichas de cadastro, consoante citado anteriormente.

Tabela 8 – Nível de completude das informações no SNISB das barragens de Pernambuco

Nível de completude das informações	%
Mínima	25,0
Baixa	36,5
Média	6,5
Boa	11,7
Ótima	20,4

Fonte: Elaborado pela autora a partir de planilha de dados do SNISB

Em terceiro lugar, tem-se a classificação ótima, com 20,4% ou 98 barragens (Tabela 8). Esse nível é o mais completo e abrange, além das informações necessárias para a classificação mínima: a autorização (outorga, licença, concessão, entre outros); a classificação de DPA e CRI, ISR, RPSB e PAE para as estruturas que se enquadram na PNSB; e a classificação de DPA para as barragens não reguladas pela Política. Essa classificação pode ser considerado um indicador quanto ao grau de conhecimento básico que se tem sobre as barragens de determinado estado, auxiliando na avaliação do enquadramento dessas estruturas na PNSB.

Analisando-se o percentual de nível de completude ótimo em relação ao número de barragens cadastradas para todos os estados do Brasil, Pernambuco encontra-se na décima quarta posição, conforme pode-se observar na Tabela 9. A média nacional é de 16,4%, logo, Pernambuco em situação superior. Em primeiro lugar, destaca-se o estado do Acre, com mais de 75% de suas barragens com nível de completude ótimo das informações constantes no SNISB. Ainda, destacam-se os estados do Piauí e de Roraima, que apresenta uma e nenhuma barragem, respectivamente, com classificação ótima.

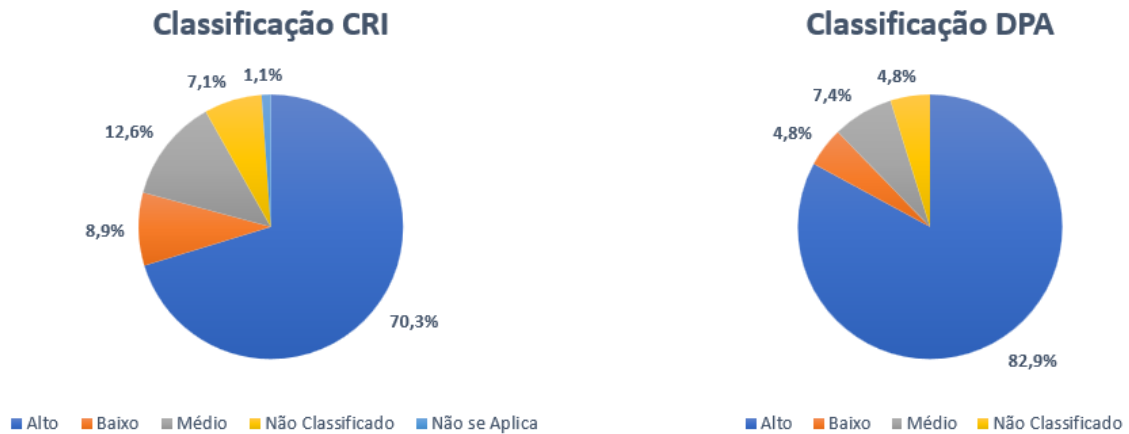
Tabela 9 –Nível de completude ótimo em relação ao total de barragens nos estados brasileiros

Ordem	Estado	Quantidade de barragens com nível de completude ótimo	Quantidade de barragens cadastradas no Estado	%
1º	Acre	236	301	78,4
2º	Distrito Federal	104	134	77,6
3º	Ceará	226	385	58,7
4º	Amazonas	29	53	54,7
5º	Mato Grosso do Sul	1022	1894	54,0
6º	Sergipe	56	122	45,9
7º	Espírito Santo	217	494	43,9
8º	Alagoas	60	145	41,4
9º	Minas Gerais	403	995	40,5
10º	Santa Catarina	132	340	38,8
11º	Mato Grosso	230	664	34,6
12º	Rio de Janeiro	19	80	23,8
13º	Tocantins	183	868	21,1
14º	Pernambuco	98	480	20,4
15º	São Paulo	131	823	15,9
16º	Goiás	140	1023	13,7
17º	Amapá	4	33	12,1
18º	Bahia	81	781	10,4
19º	Pará	52	520	10,0
20º	Rondônia	17	200	8,5
21º	Paraná	86	1206	7,1
22º	Paraíba	45	637	7,1
23º	Rio Grande do Norte	51	751	6,8
24º	Maranhão	6	101	5,9
25º	Rio Grande do Sul	182	10059	1,8
26º	Piauí	1	63	1,6
27º	Roraima	0	74	0,0
	Média nacional	3811	23226	16,4

Fonte: Elaborado pela autora a partir de planilha de dados do SNISB

Quanto à classificação da categoria de risco das barragens enquadradas na PNSB, mais de 70% das barragens apresentam CRI alto. Em seguida, tem-se o CRI médio e baixo, com 12,6% e 8,9%, respectivamente. Ponto interessante deve-se as três estruturas classificadas como “não se aplica”. Supõe-se que duas delas representam um erro de preenchimento das informações, uma vez que as barragens em questão são a de Milagres e Negreiros, ambas integrantes do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF). A terceira estrutura se refere a barragem Venturosa, que se trata de um projeto desenvolvido pela, então, Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos. Mas, que não foi construída, segundo informações do órgão (Figura 13).

Figura 13 - Classificação CRI e Classificação DPA das barragens enquadradas na PNSB, em Pernambuco

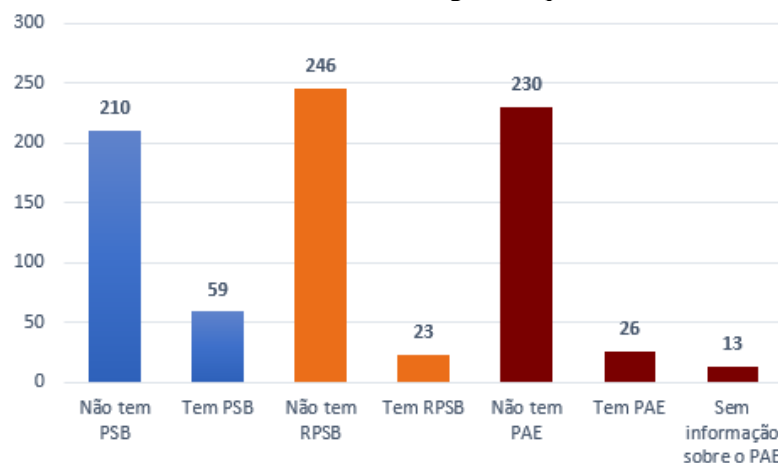


Fonte: Elaborado pela autora a partir de planilha de dados do SNISB

Ainda na Figura 13, analisando-se a classificação do dano potencial associado, tem-se que aproximadamente 83% das barragens possuem DPA alto. Ressalta-se que essa classificação se relaciona com as consequências ambientais, sociais e econômicas de um possível rompimento da barragem. A preponderância de estruturas com DPA alto implica dizer que graves consequências podem acontecer, reforçando, assim, a importância da realização de estudos na temática de segurança de barragens.

Quanto ao atendimento aos instrumentos da PNSB, mais especificamente o PSB, PAE e RPSB, a maior parte das barragens não apresenta esses documentos, conforme pode-se observar na Figura 14. O PSB é o que tem a existência informada em maior quantidade e a RPSB o mais ausente, ambos quando comparados com os demais. A partir desse cenário, observa-se que ainda há muito a ser realizado na área no estado de Pernambuco.

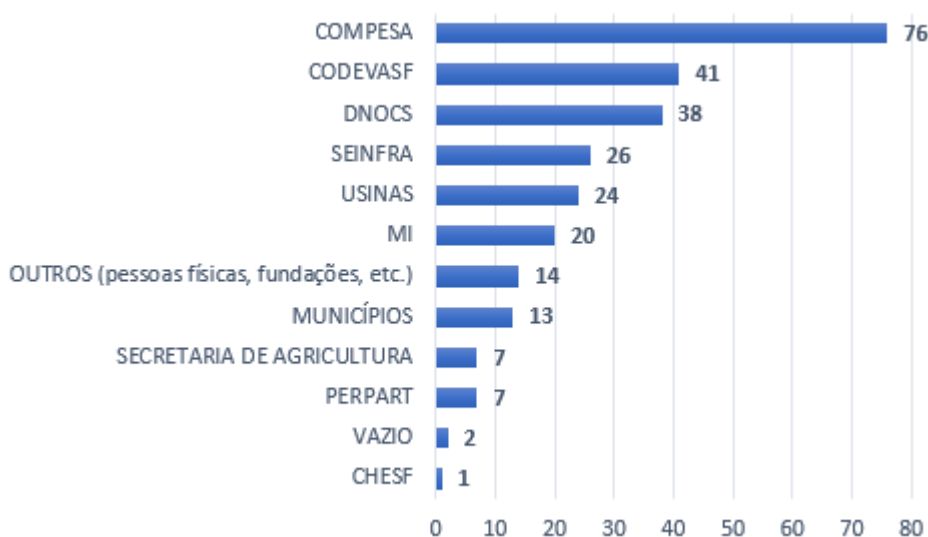
Figura 14 - Existência de PSB, PAE e RPSB das barragens enquadradas na PNSB, segundo o SNISB



Fonte: Elaborado pela autora a partir de planilha de dados do SNISB

Quanto aos empreendedores das barragens enquadradas na PNSB, tem-se que o que apresenta maior quantitativo de estruturas sob sua responsabilidade é a Companhia Pernambucana de Águas e Saneamento (COMPESA), com 76. Em seguida, tem-se a Companhia do Vale do São Francisco (CODEVASF) e o Departamento de Obras contra as Secas (DNOCS). Em quarto lugar, figura a Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco (SEINFRA). Em conjunto, os quatro empreendedores abrangem 181 barragens ou 67,3% do total de 269 estruturas enquadradas na Lei (Figura 15).

Figura 15 - Empreendedores de Pernambuco das barragens enquadradas na PNSB



Fonte: Elaborado pela autora a partir de planilha de dados do SNISB

Os empreendedores também podem ser analisados considerando-se a capacidade de armazenamento dos reservatórios, a fim de identificar aqueles que respondem pelas maiores barragens. A Tabela 10 apresenta informações dos vinte maiores reservatórios das barragens enquadradas na PNSB, no estado de Pernambuco. O maior deles é o da UHE Luiz Gonzaga ou Itaparica, que apresenta 10782hm³ de capacidade de volume. Na ordem decrescente, tem-se quatro barragens do DNOCS, a barragem de Serro Azul pertencente a SEINFRA e a barragem de Lagoa do Carro, também conhecida como barragem de Carpina, da COMPESA. Acerca do uso principal, o abastecimento urbano é o mais recorrente.

Tabela 10 – Maiores reservatórios das barragens enquadradas na PNSB no estado de Pernambuco

Item	Nome da barragem	Empreendedor	Capacidade (hm ³)	Uso principal
1	UHE Luiz Gonzaga (Itaparica)	CHESF	10782	Hidroelétrica

Item	Nome da barragem	Empreendedor	Capacidade (hm³)	Uso principal
2	Poço da Cruz	DNOCS	504	Regularização de vazão
3	Entremontes	DNOCS	339,334	Irrigação
4	Jucazinho	DNOCS	327,036	Abastecimento humano
5	Serrinha	DNOCS	311,08	Regularização de vazão
6	Serro Azul	SEINFRA	303	Defesa contra inundações
7	Lagoa do Carro (Carpina)	COMPESA	270	Regularização de vazão
8	Chapéu	SEINFRA	188	Abastecimento humano
9	Saco II	DNOCS	125,524	Combate às secas
10	Tapacurá	COMPESA	104,87	Abastecimento humano
11	Milagres - PISF	MI	91,79	Abastecimento humano
12	Barra do Juá	DNOCS	71,4	Irrigação
13	Igarapeba	SEINFRA	68,75	Defesa contra inundações
14	Pirapama	COMPESA	58,4	Abastecimento humano
15	Algodões	COMPESA	54,482	Irrigação
16	Engenho Maranhão	COMPESA	52,925	Abastecimento humano
17	Goitá	COMPESA	52,9	Regularização de vazão
18	Ingazeira	DNOCS	48,728	Abastecimento humano
19	Prata	COMPESA	39,54	Abastecimento humano
20	Pedro Moura Jr.	COMPESA	37,44	Abastecimento humano

Fonte: Elaborado pela autora a partir de planilha de dados do SNISB

A partir da análise sob o ponto de vista do número de barragens sob sua responsabilidade, a COMPESA e a SEINFRA são os órgãos estaduais que mais possuem estruturas. O mesmo se constata quando se analisa a partir da capacidade de armazenamento do reservatório, na qual os dois empreendedores citados são os únicos estaduais. Assim, nota-se que os dois empreendedores citados são os principais a nível estadual, uma vez que são órgãos públicos e são responsáveis por barragens relevantes quantitativamente e no porte das mesmas.

A CODEVASF e o DNOCS também figuram entre os principais empreendedores do estado. De fato, a importância dos mesmos se reflete também a nível nacional, onde também se

destacam entre os principais empreendedores. Assim, dada a relevância dos dois órgãos federais, as barragens de usos múltiplos sob suas responsabilidades foram objetos de auditoria do TCU, conforme Acórdãos nº 1257/2019 – Plenário e 09/2020 – Plenário, a fim de avaliar a gestão da segurança dessas estruturas (MDR, 2020). Ainda, os empreendimentos dos mesmos estão abrangidos pelos estudos e planejamentos relacionados ao PLANERB.

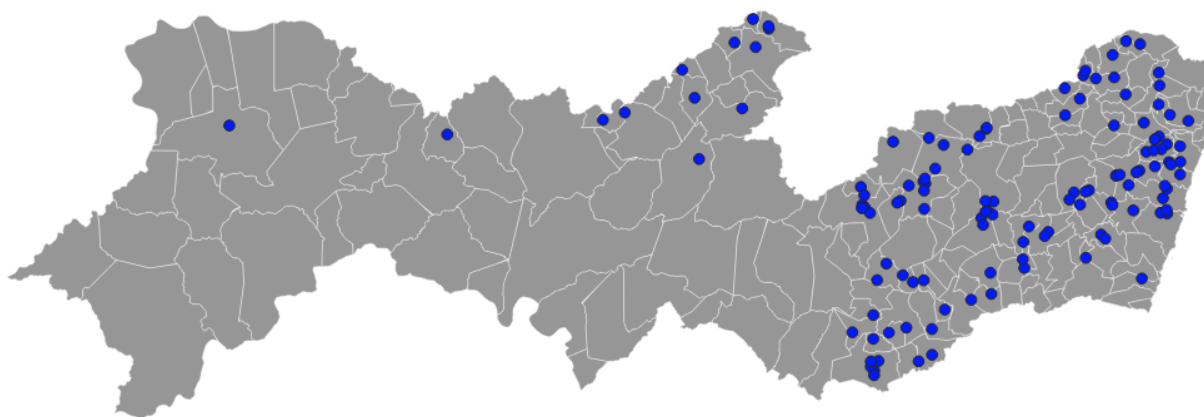
Desse modo, tendo em vista o cenário exposto, o presente estudo será focado nos dois principais empreendedores estaduais, a saber, a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) e a Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco (SEINFRA).

4.2 Mapeamento das ações dos órgãos empreendedores

4.2.1 COMPESA

Segundo o SNISB, consultado em 15 de setembro de 2022, a COMPESA é responsável por 130 barragens, das quais 76 estão enquadradas na PNSB. Contudo, a partir das barragens já inspecionadas pelo órgão, observou-se que o número encontrado é superior. Assim, para definição do quantitativo de barragens sob a responsabilidade do empreendedor, foram consideradas todas as estruturas inspecionadas entre 2019 e 2021. Desse modo, para a COMPESA será considerado um total de 144 barragens, enquadradas ou não na PNSB. A Figura 16 apresenta a distribuição das mesmas em Pernambuco. Além das representadas, também há uma barragem em Fernando de Noronha.

Figura 16 - Mapa com distribuição das barragens da COMPESA em Pernambuco



Fonte: Elaborado pela autora

Para as ações a seguir, os dados apontados são de setembro de 2022.

4.2.1.1 Realização de ISR

Para análise da realização de ISR, considerou-se o período compreendido entre os anos de 2019 e 2021, por coincidirem com os anos para os quais tem-se registros na SEINFRA, possibilitando que ambos fossem analisados dentro do mesmo intervalo de tempo. Em números totais, em 2019 foram realizadas inspeções de segurança regulares em 66 barragens, tendo esse número crescido para 60, em 2020, e aumentado novamente para 85, em 2021.

4.2.1.2 Elaboração de RPSB, PSB e PAE

Segundo dados da Gerência de Segurança de Barragens da Compesa, existem 46 PSBs e 09 PAEs elaborados, não tendo havido distinção entre barragens enquadradas na PNSB ou não. Além disso, estão em elaboração 08 PSBs e 03 PAEs.

4.2.1.3 Projetos de requalificação

Em 2022, a COMPESA contratou projetos de requalificação para 05 barragens. Tais projetos abrangem seis ações, sendo elas: diagnóstico dos consultores; As Built; revisão do Plano de Segurança da Barragem (PSB); Plano de Ação Emergencial (PAE); projeto de instrumentação; e projeto de recuperação da barragem. Além disso, está no planejamento a licitação do projeto da barragem Pedro Moura Júnior.

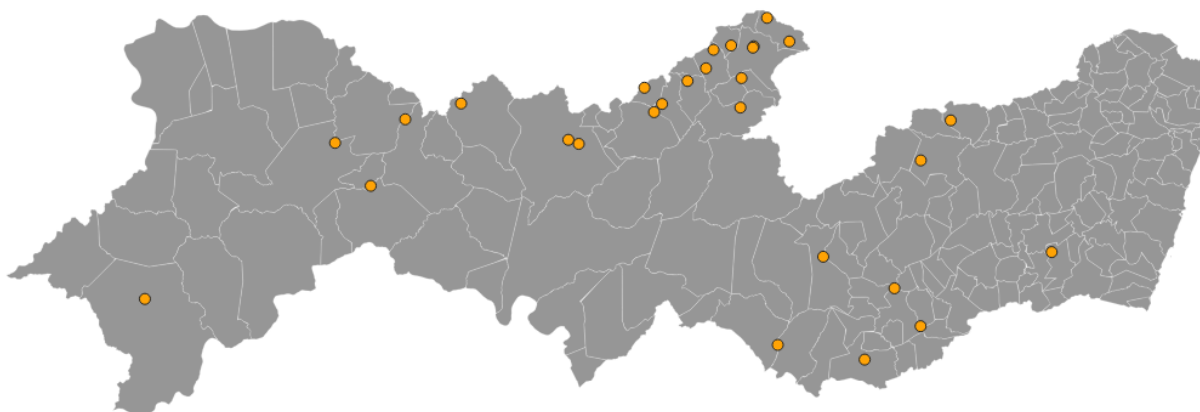
4.2.1.4 Realização de obras

A COMPESA, em 2022, contratou a obra de recuperação da barragem de Brotas, localizada no município de Afogados da Ingazeira/PE, e licitou a obra de reparo da erosão na ombreira direita da barragem Amora Grande, localizada no município de Amaraji/PE. Além disso, está no planejamento a licitação de obras voltadas para outras três barragens.

4.2.2 SEINFRA

Segundo o SNISB, consultado em 15 de setembro de 2022, a Secretaria é responsável por 32 barragens, das quais 26 são enquadradas pela PNSB. Contudo, dentre elas encontram-se estruturas que ainda estão em fase de obras, como Gatos e Painelas. Da mesma forma, das barragens já inspecionadas pelo órgão, algumas não constam no SNISB, tais como Poção e Travessão. Assim, para definição do quantitativo de barragens sob a responsabilidade do empreendedor, foram consideradas todas as estruturas inspecionadas entre 2019 e 2021. Desse modo, para a SEINFRA será considerado um total de 26 barragens construídas. A Figura 17 apresenta a distribuição das mesmas em Pernambuco.

Figura 17 - Mapa com distribuição das barragens da SEINFRA em Pernambuco



Fonte: Elaborado pela autora

Quanto a definição das barragens para cada empreendedor, cabe salientar que foram encontradas 10 estruturas em duplicidade, tendo os dois órgãos realizado inspeções nessas barragens, pelo menos uma vez, durante o período de tempo entre 2019 e 2021. Tal constatação evidencia o quanto a questão da identificação do empreendedor é delicada em alguns casos, podendo haver indefinição ou mudanças ao longo do tempo. Embora a promulgação da PNSB tenha estabelecido a definição para a figura do empreendedor, ainda havia lacunas para sua identificação, especialmente em casos tais quais o desse estudo, onde se faz necessário escolher entre um órgão governamental, que teoricamente teria o direito real sobre as terras onde se localizam a barragem, ou a concessionária de abastecimento, que explora/opera a barragem.

Com as alterações da Lei em 2020, essa incerteza na identificação do empreendedor diminuiu, uma vez que a definição se tornou mais clara. Em primeiro plano, tem-se a pessoa física ou jurídica que detenha o direito de operação da barragem e, subsidiariamente, tem-se aquele que

detenha o “direito real sobre as terras em que a estrutura está localizada, se não houver quem os explore oficialmente” (BRASIL, 2020).

Assim, para evitar que a mesma barragem fosse considerada duas vezes, foram consultados os dados do SNISB e adotou-se o empreendedor constante na planilha. Dessa forma, obteve-se que das dez barragens em duplicidade, duas eram de responsabilidade da COMPESA e oito da SEINFRA.

4.2.2.1 Realização de ISR

Para análise da realização de ISR, considerou-se o período compreendido entre os anos de 2019 e 2021, por serem aqueles nos quais a atual gestão atuou na SEINFRA. Nos anos anteriores a estes, não havia uma regularidade na realização das ISRs. Nos arquivos, apenas foram encontrados seis relatórios de inspeção datados de 2015 e dois de 2016. Em números totais, em 2019 foram realizadas inspeções de segurança regulares em 17 barragens, tendo esse número crescido para 18, em 2020, e para 21, em 2021.

4.2.2.2 Elaboração de RPSB, PSB e PAE

Atualmente, a SEINFRA possui o PSB, incluindo RPSB e PAE, quando necessário, para 05 barragens. Em 2021, foram elaboradas as documentações citadas para a barragem Serro Azul, que é aquela que apresenta a maior capacidade de armazenamento do reservatório, considerando empreendedores estaduais. E, em 2022, foram finalizadas para outras 04 barragens, que são fiscalizadas pela ANA. Ainda, está no planejamento do órgão o desenvolvimento de termos de referência para contratação dos mesmos documentos para outras estruturas.

4.2.2.3 Projetos de recuperação

A SEINFRA possui projeto de recuperação de 03 barragens, das quais uma delas já se encontra em fase de licitação da obra. Além desses, estão em execução a elaboração de projetos de mesmo teor para mais 02 barragens do empreendedor. A previsão é que os mesmos sejam finalizados este ano.

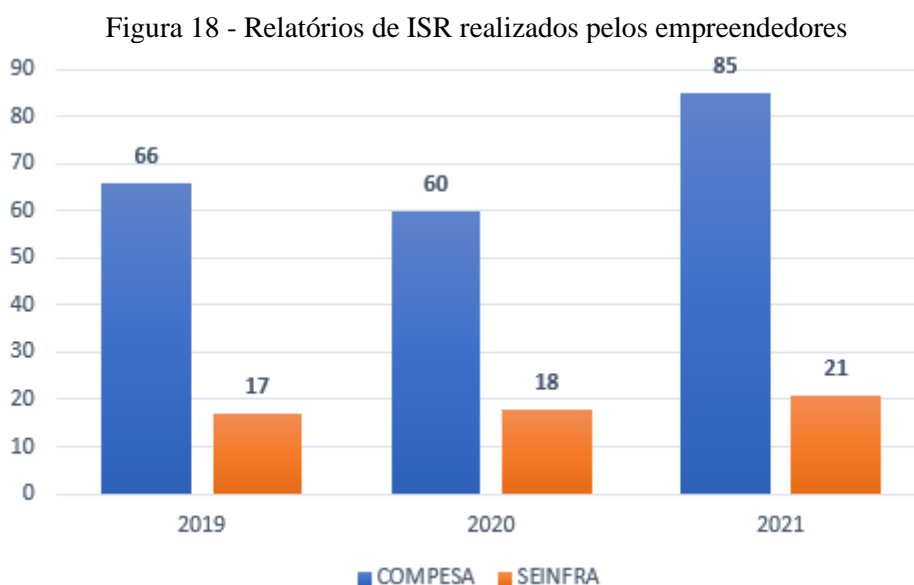
4.2.2.4 Elaboração de manchas de inundação

A SEINFRA tem desenvolvido estudos de modelagem de ondas de cheia em caso de ruptura para as barragens sob sua responsabilidade. A ordem de prioridades deu-se através do NPGB dos empreendimentos, iniciando pelas classificadas em Emergência (3) até alcançar o menor nível, correspondente a Nenhum (0). Atualmente, já foram produzidas manchas de inundação para 06 barragens, sendo uma classificada em Emergência e as demais, em Alerta (2).

4.3 Análise detalhada dos relatórios das ISRs

Em conjunto, foram coletados os relatórios de ISR de 170 barragens, sendo 144 da COMPESA e 26 da SEINFRA, todas realizadas no período compreendido entre 2019 e 2021. As quantidades de relatórios por ano são apresentadas na Figura 18. Em 2020, observa-se uma ligeira diminuição nas barragens inspecionadas pela Compesa. Tal fato tem como hipótese o início da pandemia do coronavírus em escala mundial, que acarretou o estabelecimento de restrições por parte do Governo do Estado de Pernambuco, a fim de combater a propagação da doença.

Em 2021, com o advento da vacinação, muitas atividades puderam ser restabelecidas e pode-se observar um crescimento expressivo, com números totais superiores aos encontrados para 2019, tanto para a COMPESA quanto para a SEINFRA (Figura 18).



Fonte: Elaborado pela autora

Para a análise detalhada das ISRs foram utilizados os relatórios das ISRs referentes ao ano de 2021, por serem considerados aqueles com as informações mais atualizadas no período considerado para esse estudo. Ressalta-se que 04 relatórios da COMPESA foram desconsiderados desta etapa, pois não apresentavam o checklist da ANA no arquivo, apenas comentários gerais sobre as estruturas e um deles continha o checklist de outra barragem.

As barragens foram divididas em dois grupos, de acordo com o material constituinte e o respectivo checklist aplicado, conforme apresentado na Tabela 11. Assim, foram analisados um conjunto de 45 estruturas de terra e outro de 59 estruturas de concreto convencional / alvenaria de pedras / CCR / concreto ciclópico, totalizando 104 estruturas. Cabe pontuar que as barragens mistas foram consideradas nos dois grupos.

Tabela 11 – Quantidade de barragens analisadas da COMPESA e SEINFRA

Empreendedor	Barragens de terra	Barragens de concreto
		convencional / alvenaria de pedras / CCR / concreto ciclópico
COMPESA	32	50
SEINFRA	13	09
Total	45	59

Fonte: Elaborado pela autora

Inicialmente, objetivava-se analisar todos os itens dos checklists para ambos os empreendedores. Contudo, observou-se que alguns deles não eram preenchidos em grande parte dos relatórios, por não existirem nas barragens, tal como os itens que se referem a galeria de inspeção. Ainda, notou-se que cada empreendedor adequou os checklists para as estruturas sob sua responsabilidade, retirando e/ou acrescentando itens. Desse modo, foram elencados os itens mais importantes e semelhantes dos checklists, compatibilizando os modelos adequados pela SEINFRA e COMPESA, a fim de possibilitar a análise das estruturas em conjunto.

Nos subitens a seguir serão destacadas apenas as dez anomalias mais recorrentes para cada situação analisada. A classificação completa poderá ser encontrada no Apêndice I e II.

4.3.1 Barragens de terra

Para as barragens de terra foram analisadas as anomalias apresentadas no Quadro 9, totalizando 99 subitens, divididos em seis aspectos gerais: infraestrutura operacional; barragem; vertedor; reservatório; região a jusante da barragem; e medidores de vazão. As anomalias serão referenciadas pelas nomenclaturas atribuídas, por questão de organização.

Quadro 9 – Anomalias analisadas para barragens de terra

Nomenclatura	Anomalia
A	Infraestrutura Operacional
A.1	Falta de documentação sobre a barragem
A.2	Falta de material para manutenção
A.3	Falta de treinamento do pessoal
A.4	Precariedade no acesso de veículos
A.5	Falta de energia elétrica
A.6	Falta de sistema de comunicação eficiente
A.7	Falta ou deficiência de cercas de proteção
A.8	Falta ou deficiência nas placas de aviso
A.9	Falta de acompanhamento da Administração Regional
A.10	Falta de manual de operação dos equipamentos hidro e eletromecânicos
B	Barragem
B.1	Talude de Montante
B.1.1	Erosões
B.1.2	Escorregamentos
B.1.3	Fissura/afundamento
B.1.4	Rip-Rap incompleto, destruído ou deslocado
B.1.5	Afundamentos e buracos
B.1.6	Árvores e arbustos
B.1.7	Erosão nos encontros das ombreiras
B.1.8	Formigueiros, cupinzeiros ou toca de animais
B.1.9	Deslocamentos de blocos de rochas pelo efeito de ondas
B.2	Coroamento
B.2.1	Erosões
B.2.2	Fissuras longitudinais e transversais
B.2.3	Falta de revestimento
B.2.4	Falha no revestimento
B.2.5	Desabamentos / afundamentos (recalques)
B.2.6	Árvores e arbustos
B.2.7	Defeitos na drenagem
B.2.8	Defeitos no meio-fio
B.2.9	Formigueiros, cupinzeiros ou toca de animais
B.2.10	Sinais de movimento
B.2.11	Desalinhamento do meio-fio
B.2.12	Ameaça de transbordamento
B.3	Talude de Jusante
B.3.1	Erosões ou ravinamentos
B.3.2	Escorregamentos
B.3.3	Fissuras

Nomenclatura	Anomalia
B.3.4	Falha na proteção granular
B.3.5	Falha na proteção vegetal
B.3.6	Afundamentos e buracos
B.3.7	Árvores e arbustos
B.3.8	Erosão nos encontros das ombreiras
B.3.9	Cavernas e buracos nas ombreiras
B.3.10	Canaletas quebradas ou obstruídas
B.3.11	Formigueiros, cupinzeiros ou toca de animais
B.3.12	Sinais de movimento
B.3.13	Sinais de fuga d'água ou áreas úmidas
B.3.14	Carreamento de material na água dos drenos
B.4	Instrumentação
B.4.1	Acesso precário aos instrumentos
B.4.2	Piezômetros entupidos ou defeituosos
B.4.3	Marcos de recalque defeituosos
B.4.4	Medidores de vazão defeituosos
B.4.5	Falta de instrumentação
B.4.6	Falta de registro de leituras da instrumentação
C	Vertedor
C.1	Canais de Aproximação e Restituição
C.1.1	Árvores e arbustos
C.1.2	Obstrução ou entulhos
C.1.3	Desalinhamento dos taludes e muros laterais
C.1.4	Erosão e escorregamentos no talude esquerdo
C.1.5	Erosão na base dos canais escavados
C.1.6	Erosão na área a jusante (erosão regressiva)
C.1.7	Construções irregulares (aterro, estrada, casa, cerca)
C.2	Estrutura do Vertedor
C.2.1	Fissuras na alvenaria de pedra (trincas ou rachaduras)
C.2.2	Ferragem do concreto exposta
C.2.3	Deterioração da superfície do concreto
C.2.4	Descalçamento da estrutura
C.2.5	Juntas danificadas
C.2.6	Sinais de deslocamento da estrutura
C.3	Muros Laterais
C.3.1	Erosão na fundação
C.3.2	Erosão nos contatos dos muros
C.3.3	Fissuras no concreto
C.3.4	Ferragem do concreto exposta
C.3.5	Deterioração da superfície do concreto
C.4	Bacia de Dissipação
C.4.1	Fissuras no concreto (trincas ou rachaduras)
C.4.2	Ferragem do concreto exposta
C.4.3	Deterioração da superfície do concreto
C.4.4	Ocorrência de buracos na soleira
C.4.5	Erosão
C.4.6	Presença de entulho na bacia
C.4.7	Presença de vegetação na bacia
C.4.8	Falha no enrocamento de proteção
D	Reservatório
D.1	Réguas danificadas ou faltantes
D.2	Construções em áreas de proteção

Nomenclatura	Anomalia
D.3	Poluição por esgoto, lixo, pesticidas etc.
D.4	Indícios de má qualidade da água
D.5	Erosões
D.6	Assoreamento
D.7	Desmoronamento nas margens
D.8	Existência de vegetação aquática excessiva
D.9	Desmatamentos na área de proteção
D.10	Presença de animais e peixes mortos
D.11	Animais pastando
E	Região a Jusante da Barragem
E.1	Construções irregulares próximas ao leito do rio
E.2	Fuga d'água
E.3	Erosão nas ombreiras
E.4	Cavernas e buracos nas ombreiras
E.5	Árvores/arbustos na faixa de 10 m do pé da barragem
F	Medidores de Vazão
F.1	Ausência de placa medidora de vazão
F.2	Corrosão da placa
F.3	Defeito no concreto
F.4	Falta de escala de leitura de vazão
F.5	Assoreamento da câmara de medição
F.6	Erosão a jusante do medidor

Fonte: Elaborado pela autora

Das 99 anomalias analisadas, 90 existem em pelo menos uma barragem do conjunto de analisado, correspondendo a 91%. A Tabela 12 apresenta as dez anomalias mais recorrentes nas barragens de terra analisadas. A primeira anomalia mais recorrente é a A.1, que se refere a “Falta de documentação sobre a barragem”. De fato, é comum que os empreendedores não possuam documentação técnica sobre as barragens, seja por se tratar de estruturas antigas, cujos projetos se perderam ao longo do tempo, seja por serem barragens transferidas de órgãos já extintos. A ausência desses documentos tem impacto direto nas atividades de segurança de barragens e eleva significativamente os custos envolvidos para elaboração do PSB, RPSB e PAE, uma vez que a elaboração do projeto “As Is” se torna obrigatória.

Tabela 12 – Dez anomalias mais recorrentes nas barragens de terra analisadas

Nomenclatura	Anomalia	Recorrência
A.1	Falta de documentação sobre a barragem	44
A.2	Falta de material para manutenção	44
A.8	Falta ou deficiência nas placas de aviso	43
B.3.7	Árvores e arbustos (talude de jusante)	43
A.6	Falta de sistema de comunicação eficiente	42
A.7	Falta ou deficiência de cercas de proteção	42
B.1.6	Árvores e arbustos (talude de montante)	42
A.3	Falta de treinamento do pessoal	41
E.5	Árvores/arbustos na faixa de 10 m do pé da barragem	41

Nomenclatura	Anomalia	Recorrência
B.4.5	Falta de instrumentação	40

Fonte: Elaborado pela autora

Apresentando mesmo recorrência da A.1, ocorrendo em 44 das 45 barragens analisadas, tem-se a anomalia A.2, que se refere a “Falta de material para manutenção”. Em estudo realizado em barragens do Rio Grande do Norte, concluiu-se que a falta de manutenção é o maior problema encontrado nos empreendimentos (PEREIRA, 2019). Essa anomalia relaciona-se, principalmente, com outras três que também podem ser observadas na Tabela 12, sendo elas “B.3.7 – Árvores e arbustos (talude de jusante)”, “B.1.6 – Árvores e arbustos (talude de montante)” e “E.5 – Árvores/arbustos na faixa de 10 m do pé da barragem”. A manutenção e conservação inadequada das barragens é uma das causas para ruptura dessas estruturas (WISHART *et al.*, 2020).

De fato, o crescimento desordenado de vegetação nas estruturas é consequência direta da ausência de manutenção, constituindo impeditivo para as inspeções, como se observará mais adiante; e aumentando a probabilidade da ocorrência do fenômeno *piping*, através do crescimento de suas raízes para o interior do maciço, o qual pode levar a ruptura da barragem. Conforme Relatório do Banco Mundial, a erosão interna em barragens de terra figura entre as causas que provocam rupturas (WISHART *et al.*, 2020).

A erosão interna (*piping*) foi responsável pela ruptura de 46% das rupturas em grandes barragens de terra e/ou enrocamento construídas entre 1800 e 1986 em todos os continentes. Ainda, considerando-se apenas os acidentes ocorridos a partir de 1950, 54% tem como causa a ocorrência de *piping* através do barramento e/ou da fundação (FOSTER *et al.*, 1986 *apud* MELLO, 2021a; LADEIRA, 2007; MELLO, 2021a).

A falta de um sistema de comunicação eficiente torna-se alarmante quando se considera a ocorrência de situações de emergência. Essa anomalia é um desafio para ambos os empreendedores. Do ponto de vista geográfico, tem-se as barragens em localidades distantes dos centros municipais, onde poderia haver sedes regionais da COMPESA. Nesse quesito, a SEINFRA apresenta um desafio ainda maior, uma vez que sua sede se localiza apenas em Recife, não tendo abrangência no interior do Estado. Além do ponto de vista de restrição de

equipe e orçamento, para que pudesse ser desenvolvido, implantado e monitorado um sistema de comunicação.

A ausência de instrumentação também é uma anomalia preocupante, uma vez que impede que estudos mais detalhados sobre a estabilidade das barragens possam ser elaborados. Além disso, impossibilita o conhecimento sobre o real estado da estrutura, no que tange a deformações, nível d'água no interior do maciço de terra, dentre outros. Os custos para elaboração e implantação de instrumentação na barragem também são onerosos, uma vez que requer profissional especializado e depende da existência do projeto “As Is”, que como já mencionado, onera bastante os custos.

A Tabela 13 apresenta as dez anomalias mais identificadas como “não existe” nas barragens de terra analisadas. Em primeiro lugar, tem-se a ameaça de transbordamento da barragem pelo coroamento, que não existe em 42 das 45 estruturas. A ocorrência de overtopping/galgamento foi responsável pela ruptura de 32% das grandes barragens de terra e/ou enrocamento construídas entre 1800 e 1986 (LADEIRA, 2007; MELLO, 2021a). Em seguida, tem-se três anomalias relacionadas ao estado dos reservatórios, para os quais, pode-se inferir que não há grandes focos de poluição, uma vez que indicativos como peixes mortos e presença de baronetas não são recorrentes (Tabela 13).

Tabela 13 – Dez anomalias mais identificadas como “não existe” nas barragens de terra analisadas

Nomenclatura	Anomalia	Recorrência
B.2.12	Ameaça de transbordamento (coroamento)	42
D.10	Presença de animais e peixes mortos	38
D.8	Existência de vegetação aquática excessiva	36
D.11	Animais pastando	29
A.9	Falta de acompanhamento da Administração Regional	26
D.7	Desmoronamento nas margens	23
B.2.9	Formigueiros, cupinzeiros ou toca de animais (coroamento)	19
C.1.8	Construções irregulares (aterro, estrada, casa, cerca) (canais de aproximação e restituição)	19
B.2.2	Fissuras longitudinais e transversais (coroamento)	18
B.3.9	Cavernas e buracos nas ombreiras (talude de jusante)	18

Fonte: Elaborado pela autora

Quanto as anomalias não inspecionadas, tem-se o cenário apresentado na Tabela 14. Como pode-se observar, grande parte dos itens tem relação com os taludes de montante e jusante, cuja visualização, por sua vez, é diretamente afetada pela ausência de manutenção e, conseqüentemente, pelo crescimento desordenado da vegetação. De fato, nos relatórios o

principal motivo para a não inspeção dos itens é a presença de vegetação. Esse resultado é diretamente ligado as considerações realizadas a partir da Tabela 12, quando se observou a relação entre a falta de manutenção e a presença de vegetação na barragem.

Além da presença de vegetação, outros motivos constantes nos relatórios para não inspeção dos itens foram estrutura submersa; existência de plantação; falta de acesso; assoreamento; parte da estrutura soterrada; e vertimento.

Tabela 14 – Dez anomalias mais identificadas como “não inspecionadas” nas barragens de terra analisadas

Nomenclatura	Anomalia	Recorrência
B.3.2	Escorregamentos (talude de jusante)	36
B.3.12	Sinais de movimento (talude de jusante)	36
B.3.14	Carreamento de material de água dos drenos (talude de jusante)	36
B.1.5	Afundamentos e buracos (talude de montante)	35
B.1.8	Formigueiros, cupinzeiros ou toca de animais (talude de montante)	34
B.3.13	Sinais de fuga d'água ou áreas úmidas (talude de jusante)	34
E.2	Fuga d'água	33
B.1.2	Escorregamentos (talude de montante)	32
B.3.11	Formigueiros, cupinzeiros ou toca de animais (talude de jusante)	32
D.6	Assoreamento	32

Fonte: Elaborado pela autora

Outro ponto importante diz respeito ao item “D.6 – Assoreamento”, que se relaciona ao reservatório da barragem. O conhecimento da ocorrência ou não dessa anomalia é fundamental para avaliação da disponibilidade de água de determinado reservatório e planejamento dos usos que poderão ser realizados. Nesse sentido, a atualização da Curva Cota – Área – Volume (CAV), é ferramenta básica. Contudo, os custos financeiros envolvidos tendem a ser onerosos, pois se faz necessária a realização de batimetria na maioria dos casos. Em Pernambuco, tem-se o Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), que realizou o recobrimento aerofotogramétrico e perfilamento a laser de toda a extensão territorial do estado, possibilitando a obtenção de dados altimétricos, os quais podem ser utilizados para atualização da CAV das barragens.

Do ponto de vista estrutural, também devem ser avaliados os esforços que o volume do material assoreado causa na estrutura e possíveis obstruções que podem vir a serem causadas

nas entradas das tubulações de tomada d'água e descarga de fundo. Na PCH Poxoréu (José Fragelli), localizada no Mato Grosso, a ocorrência de assoreamento no reservatório provocou a redução da potência unitária da PCH, cuja queda bruta reduziu de 11m para 7m; reduziu a capacidade máxima de descarga do extravasor de cheias, de modo que durante as cheias foram observados níveis d'água mais elevados; e acelerou o desgaste dos equipamentos de geração de energia, aumentando as interrupções para manutenção (MELLO, 2021b).

A Tabela 15 apresenta as dez anomalias mais identificadas como “não se aplica” no conjunto de barragens de terra estudadas. Nota-se que as cinco primeiras se referem a instrumentação, sendo assinaladas nessa categoria por não serem pertinentes as barragens inspecionadas, ou seja, não existirem. Essa conclusão relaciona-se com o resultado obtido na Tabela 12, na qual a falta de instrumentação está entre as dez anomalias mais recorrentes nas estruturas.

Tabela 15 – Dez anomalias mais identificadas como “não se aplica” nas barragens de terra analisadas

Nomenclatura	Anomalia	Recorrência
B.4.2	Piezômetros entupidos ou defeituosos	41
B.4.4	Medidores de vazão defeituosos	41
B.4.1	Acesso precário aos instrumentos	38
B.4.3	Marcos de recalque defeituosos	38
B.4.6	Falta de registro de leituras da instrumentação	36
B.2.4	Falha no revestimento (coroamento)	26
C.4.8	Falha no enrocamento de proteção (bacia de dissipação)	26
C.2.2	Ferragem do concreto exposta (estrutura do vertedor)	23
C.2.5	Juntas danificadas (estrutura do vertedor)	22
C.4.2	Ferragem do concreto exposta (bacia de dissipação)	22

Fonte: Elaborado pela autora

Quanto a importância da instrumentação em barragens, destacam-se dois casos encontrados no livro Lições Aprendidas com Acidentes e Incidentes em Barragens e Obras Anexas no Brasil – Relatos. O primeiro se refere a barragem Piau, localizada no estado de Minas Gerais, que sintetiza a importância de monitorar e interpretar os dados obtidos a partir da instrumentação, que desempenharam papel fundamental durante as intervenções realizadas devido aos diversos incidentes ocorridos na estrutura. Em um dos incidentes, houve obstrução parcial no sistema de drenagem interno, cuja identificação só foi possível pela associação da observação visual com os dados fornecidos pela instrumentação (MELLO, 2021b).

Outro caso apresentado trata da barragem Santa Branca, no estado de São Paulo, que sofreu com a formação de processo de *piping* no encontro da barragem com a ombreira esquerda,

que ocasionou o rebaixamento do reservatório. Os dados de instrumentação associados as informações disponíveis possibilitaram a conclusão de que a estrutura continha graves deficiências em termos de segurança, auxiliando na programação de medidas de reforço para reverter a situação de risco (MELLO, 2021b).

Também se destacam as anomalias “C.2.2 – Ferragem do concreto exposta (estrutura do vertedor)”, “C.2.5 – Juntas danificadas (estrutura do vertedor)”, “C.4.8 – Falha no enrocamento de proteção (bacia de dissipação)” e “C.4.2 – Ferragem do concreto exposta (bacia de dissipação)”. Para as duas primeiras, grande parte dos vertedouros das barragens de terra são constituídos de alvenaria de pedras, não possuindo ferragem em seu interior e nem apresentando juntas. Já para as duas últimas, é comum que a bacia de dissipação seja a própria rocha sobre a qual foi construído o vertedor, não havendo qualquer tipo de laje de concreto, nem qualquer proteção sobre a mesma (Tabela 15).

A identificação das anomalias mais assinaladas como “não se aplica” pode trazer contribuições para o aprimoramento do checklist de barragens de terra aplicado nas inspeções para o estado de Pernambuco. As quatro últimas anomalias mencionadas (C.2.2, C.2.5, C.4.8 e C.4.2) são exemplos de itens que poderiam ser retirados do checklist, por não se aplicarem/não existirem nas estruturas.

4.3.2 Barragens de concreto

Para as barragens de concreto foram analisadas as anomalias apresentadas no Quadro 10, totalizando 96 subitens, divididos em seis aspectos gerais: infraestrutura operacional; barragem; vertedor; reservatório; região a jusante da barragem; e medidores de vazão. As anomalias serão referenciadas pelas nomenclaturas atribuídas, por questão de organização.

Quadro 10 – Anomalias analisadas para barragens de concreto	
Nomenclatura	Anomalia
G	Infraestrutura Operacional
G.1	Falta de documentação sobre a barragem
G.2	Falta de material para manutenção
G.3	Falta de treinamento do pessoal
G.4	Precariedade no acesso de veículos
G.5	Falta de energia elétrica
G.6	Falta de sistema de comunicação eficiente
G.7	Falta ou deficiência de cercas de proteção

Nomenclatura	Anomalia
G.8	Falta ou deficiência nas placas de aviso
G.9	Falta de acompanhamento da Administração Regional
G.10	Falta de manual de operação dos equipamentos hidro e eletromecânicos
H	Barragem
H.1	Paramento de Montante
H.1.1	Presença de vegetação
H.1.2	Erosão no encontro das ombreiras
H.1.3	Ocorrência de fissuras no concreto
H.1.4	Ferragem do concreto exposta
H.1.5	Deterioração da superfície do concreto
H.1.6	Juntas de dilatação danificadas
H.2	Crista
H.2.1	Movimentos diferenciais entre blocos (nas juntas)
H.2.2	Ocorrência de fissuras no concreto
H.2.3	Ferragem da barragem exposta
H.2.4	Deterioração da superfície de concreto
H.2.5	Juntas de dilatação danificadas
H.2.6	Desalinhamento e corrosão no parapeito (guarda-corpo)
H.2.7	Corrosão nos postes de iluminação
H.2.8	Corrosão no pórtico
H.3	Paramento de Jusante
H.3.1	Sinais de movimento
H.3.2	Ocorrência de fissuras e rachaduras no concreto
H.3.3	Ferragem da barragem exposta
H.3.4	Deterioração do concreto
H.3.5	Juntas de dilatação danificadas
H.3.6	Sinais de percolação ou áreas úmidas
H.3.7	Carreamento de material na água dos drenos
H.3.8	Vazão nos drenos de controle
H.4	Instrumentação
H.4.1	Acesso precário aos instrumentos
H.4.2	Piezômetros entupidos ou defeituosos
H.4.3	Marcos de referência danificados
H.4.4	Medidores de vazão defeituosos
H.4.5	Outros instrumentos danificados
H.4.6	Falta de instrumentação
H.4.7	Falta de registro de leituras da instrumentação
I	Vertedor
I.1	Canais de Aproximação e Restituição
I.1.1	Presença de vegetação
I.1.2	Obstrução ou entulhos
I.1.3	Desalinhamento dos taludes e muros laterais
I.1.4	Ferragem do concreto exposta
I.1.5	Erosão ou escorregamentos nos taludes laterais
I.1.6	Erosão na base dos canais escavados
I.1.7	Erosão na área a jusante do vertedouro
I.1.8	Construções irregulares
I.2	Estrutura Vertente
I.2.1	Fissuras e/ou rachaduras
I.2.2	Ferragem do concreto exposta
I.2.3	Deterioração da superfície

Nomenclatura	Anomalia
I.2.4	Descalçamento da estrutura
I.2.5	Juntas de dilatação danificadas
I.2.6	Sinais de deslocamento da estrutura
I.2.7	Fissuras (trincas ou rachaduras) nos muros laterais
I.2.8	Erosão nos contatos dos muros
I.2.9	Sinais de percolação ou áreas úmidas
I.2.10	Carreamento de material na água dos drenos
I.2.11	Vazão nos drenos de controle
I.3	Muros Laterais
I.3.1	Erosão na fundação
I.3.2	Erosão nos contatos dos muros
I.3.3	Fissuras (trincas ou rachaduras)
I.3.4	Ferragem do concreto exposta
I.3.5	Deterioração da superfície
I.4	Bacia de Dissipação
I.4.1	Fissuras (trincas ou rachaduras)
I.4.2	Ferragem do concreto exposta
I.4.3	Deterioração da superfície
I.4.4	Ocorrência de buracos na soleira
I.4.5	Erosão
I.4.6	Presença de entulho na bacia
I.4.7	Falha no enrocamento de proteção
I.4.8	Presença de vegetação na bacia
J	Reservatório
J.1	Réguas danificadas ou faltantes
J.2	Construções em áreas de proteção
J.3	Poluição por esgoto, lixo, pesticidas etc.
J.4	Indícios de má qualidade da água
J.5	Erosões
J.6	Assoreamento
J.7	Desmoronamento nas margens
J.8	Existência de vegetação aquática excessiva
J.9	Desmatamentos na área de proteção
J.10	Presença de animais e peixes mortos
J.11	Presença de animais pastando
K	Região a Jusante da Barragem
K.1	Sinais de movimentos na rocha de fundação
K.2	Desintegração / decomposição da rocha
K.3	<i>Piping</i> nas juntas rochosas
K.4	Construções irregulares próximas ao leito do rio
K.5	Vazamento (fuga d'água) nas ombreiras
K.6	Árvores e arbustos na faixa de 10 m do pé da barragem
K.7	Erosão nos encontros das ombreiras
K.8	Cavernas e buracos nas ombreiras
L	Medidores de Vazão
L.1	Ausência de placa medidora de vazão
L.2	Corrosão da placa
L.3	Defeito no concreto
L.4	Falta de escala de leitura de vazão
L.5	Assoreamento da câmara de medição
L.6	Erosão a jusante do medidor

Fonte: Elaborado pela autora

Todas as anomalias analisadas ocorrem em pelo menos uma barragem do conjunto de analisado e as dez mais recorrentes estão apresentadas na Tabela 16. Assim como nas barragens de terra, a primeira anomalia mais recorrente se refere a “Falta de documentação sobre a barragem”. O item se repete pelos mesmos motivos citados anteriormente: estruturas antigas e/ou transferidas de órgãos já extintos, ambas sem histórico de documentos.

Tabela 16 – Dez anomalias mais recorrentes nas barragens de concreto analisadas

Nomenclatura	Anomalia	Recorrência
G.1	Falta de documentação sobre a barragem	56
G.2	Falta de material para manutenção	56
G.3	Falta de treinamento do pessoal	52
G.6	Falta de sistema de comunicação eficiente	52
G.8	Falta ou deficiência nas placas de aviso	52
G.10	Falta de manual de operação dos equipamentos hidro e eletromecânicos	52
K.6	Árvores e arbustos na faixa de 10 m do pé da barragem	52
G.7	Falta ou deficiência de cercas de proteção	51
H.3.4	Deterioração do concreto (paramento de jusante)	48
J.1	Réguas danificadas ou faltantes	48

Fonte: Elaborado pela autora

Além dessas, se repetem “Árvores e arbustos na faixa de 10 m do pé da barragem”; “Falta de material para manutenção”; “Falta de treinamento do pessoal”; “Falta de sistema de comunicação eficiente”; “Falta ou deficiência nas placas de aviso”; e “Falta ou deficiência de cercas de proteção”. As anomalias citadas se referem a infraestrutura operacional e pode-se inferir dois aspectos principais sobre os empreendedores a partir delas: a ausência de profissionais e a restrição orçamentária.

A primeira é inferida a partir da falta de treinamento e de sistema de comunicação, indicando que não há técnicos direcionados para essas ações. A segunda é percebida pela ausência de manutenções de atividades básicas, como limpeza de vegetação, que teoricamente não apresentariam grandes custos. E, se tais ações não são executadas, pode-se ter como hipótese o orçamento escasso. As observações apontadas corroboram com o cenário encontrado para os empreendedores, especialmente órgãos públicos, que sofrem com problemas de ordem técnica e financeira.

A Tabela 17 apresenta as dez anomalias mais assinaladas como “não existe” nas barragens de concreto analisadas. Assim como para as anomalias existentes, se observam repetições nos

itens que se referem ao estado dos reservatórios, que apontam a não ocorrência de animais e peixes mortos, animais pastando, vegetação aquática excessiva e desmoronamento das margens. Assim, também pode-se inferir que não há grande focos de poluição nos reservatórios.

Tabela 17 – Dez anomalias mais identificadas como “não existe” nas barragens de concreto analisadas

Nomenclatura	Anomalia	Recorrência
J.10	Presença de animais e peixes mortos	47
J.11	Presença de animais pastando	43
K.4	Construções irregulares próximas ao leito do rio	42
H.3.1	Sinais de movimento (paramento de jusante)	39
J.8	Existência de vegetação aquática excessiva	37
K.8	Cavernas e buracos nas ombreiras	30
I.2.6	Sinais de deslocamento da estrutura (estrutura vertente)	29
J.7	Desmoronamento nas margens	28
G.9	Falta de acompanhamento da Administração Regional	27
H.1.2	Erosão no encontro das ombreiras (paramento de montante)	26

Fonte: Elaborado pela autora

Quanto as anomalias não inspecionadas, tem-se o cenário apresentado na Tabela 18. Metade das anomalias abrangem a região a jusante da barragem, sendo elas “K.3 – *Piping* nas juntas rochosas”; “K.2 – Desintegração / decomposição da rocha”; “K.1 – Sinais de movimentos na rocha de fundação”; “K.7 – Erosão nos encontros das ombreiras”; e “K.8 – Cavernas e buracos nas ombreiras”. Essa observação tem relação direta com os resultados apresentados na Tabela 16, na qual consta a presença de árvores e arbustos na faixa de 10 m do pé da barragem como uma das anomalias mais recorrentes, impedindo, assim, a inspeção nessa região.

Além da região a jusante da barragem, a presença de vegetação impede a inspeção de itens da bacia de dissipação, que se encontra, em muitos casos, totalmente coberta. Na Tabela 18 podem ser observados duas anomalias não inspecionadas nessa área: “I.4.4 – Ocorrência de buracos na soleira” e “I.4.5 – Erosão”.

Tabela 18 – Dez anomalias mais identificadas como “não inspecionadas” nas barragens de concreto analisadas

Nomenclatura	Anomalia	Recorrência
J.6	Assoreamento	39
K.3	<i>Piping</i> nas juntas rochosas	39
K.2	Desintegração / decomposição da rocha	36
I.2.4	Descalçamento da estrutura (estrutura vertente)	34

Nomenclatura	Anomalia	Recorrência
K.1	Sinais de movimentos na rocha de fundação	33
I.4.4	Ocorrência de buracos na soleira (bacia de dissipação)	31
K.7	Erosão nos encontros das ombreiras	31
I.4.5	Erosão (bacia de dissipação)	30
J.9	Desmatamentos na área de proteção	29
K.8	Cavernas e buracos nas ombreiras	29

Fonte: Elaborado pela autora

Além da vegetação, os motivos que impediram a inspeção de itens foram o vertimento da barragem; estrutura submersa / com acúmulo de água; a falta de acesso; e a presença de entulhos.

A ocorrência de assoreamento foi o item que mais sofreu com a impossibilidade de inspeção. Como já citado para as barragens de terra, seu conhecimento é importante para o planejamento dos usos da água, bem como por questões estruturais. E, nesse caso, também podem ser utilizados os dados do PE3D para a atualização da CAV das barragens.

Nas anomalias mais identificadas como “não se aplica”, novamente se observa que a grande maioria se relaciona com a ausência de instrumentação nas barragens, mostrando o quanto as barragens carecem desse tipo de equipamento. Também se pontua as que se referem ao medidor de vazão, que são as quatro últimas apresentadas. Especificamente para esses itens, tem-se duas possibilidades: a não existência do equipamento ou a impossibilidade de visualização, devido a vegetação (Tabela 19).

Tabela 19 – Dez anomalias mais identificadas como “não se aplica” nas barragens de concreto analisadas

Nomenclatura	Anomalia	Recorrência
H.2.8	Corrosão no pórtico (coroamento)	57
H.2.7	Corrosão nos postes de iluminação (coroamento)	55
H.4.2	Piezômetros entupidos ou defeituosos	54
H.4.1	Acesso precário aos instrumentos	52
H.4.4	Medidores de vazão defeituosos	49
H.4.3	Marcos de referência danificados	44
L.2	Corrosão da placa (medidor de vazão)	44
L.3	Defeito no concreto (medidor de vazão)	44
L.5	Assoreamento da câmara de medição (medidor de vazão)	44
L.6	Erosão a jusante do medidor (medidor de vazão)	44

Fonte: Elaborado pela autora

A identificação das anomalias mais assinaladas como “não se aplica” pode trazer contribuições para o aprimoramento do checklist de barragens de concreto aplicado nas inspeções para o estado de Pernambuco. As duas primeiras anomalias mencionadas (H.2.8 e H.2.7) são exemplos de itens que poderiam ser retirados do checklist, por não existirem na quase totalidade das barragens analisadas.

4.4 Classificação para fins de gestão de segurança de barragens

As informações necessárias para a aplicação da metodologia do PLANERB, que visa a classificação das barragens com finalidades gerenciais, foram obtidas através dos relatórios das ISRs e ISEs, dos PSBs e dos projetos de recuperação disponibilizados pelos empreendedores. Pontua-se, ainda, que caso a informação não tenha sido encontrada nos documentos citados, foi considerado o pior cenário para o critério em questão.

Para a classificação do DPA* também foram consultadas as manchas de inundação das barragens, disponibilizadas pela APAC. Para as estruturas que não possuem essa informação, foi realizada estimativa pelo Google Earth, analisando-se a proximidade com municípios. De modo que, para barragens localizadas dentro da cidade ou muito próxima a elas, foram considerados $b^* = 30$ e $d = 8$. Já para a situação inversa, com as barragens longe das cidades, considerou-se $b^* = 15$ e $d = 4$.

Como limitações a esta etapa tem-se a não existência de manchas de inundação para todas as barragens, tendo sido realizada a estimativa descrita anteriormente; e o acesso a documentação técnica das estruturas, tendo sido os relatórios de ISR a principal fonte de dados utilizada nesta etapa.

Cabe comentar que, em consonância com a não existência de documentação técnica para a maioria das barragens, conforme discutido no subitem 5.3, para muitos critérios foram atribuídas as piores pontuações. Em contrapartida, para as poucas barragens que possuem acervo técnico, é visível o efeito na classificação, com tais estruturas ocupando posições mais baixas na ordem de prioridades. Outro ponto que cabe destacar diz respeito a influência da classificação do DPA*, no que tange ao critério b^* , que se relaciona com o potencial de perdas de vidas humanas. A existência de pessoas ocupando permanentemente a área afetada

a jusante eleva significativamente o IR encontrado para a barragem, e tendo em vista a ausência de documentação técnica, influencia diretamente na ordem de prioridades.

Ainda, ressalta-se que as ordens apresentadas a seguir são dinâmicas e devem ser atualizadas a partir das ações que vierem a ser realizadas pelos empreendedores.

4.4.1 COMPESA

Para a COMPESA foram consideradas 132 barragens sob sua responsabilidade, de acordo com a quantidade de estruturas que foram inspecionadas entre 2019 e 2021, cujos IR e classificação obtidos estão apresentadas na Tabela 20. Ressalta-se que nessa etapa, foram desconsideradas as barragens de nível e duas barragens que não continham o checklist de inspeção no único relatório de ISR existente para cada uma delas. Além dessas, havia uma ISR do ano de 2019 referente a barragem Bicopeba, que foi esvaziada após apresentar riscos em sua estrutura e tinha como empreendedor uma usina.

Em primeiro lugar, tem-se a barragem Pirapama, uma das mais importantes para o abastecimento de água da Região Metropolitana de Recife. Em seguida, tem-se mais quatro barragens de grande importância e que se localizam próximas aos centros urbanos, com suas respectivas manchas de inundação implicando em grande potencial de perdas de vidas humanas (Tabela 20).

As barragens Cipó, Jaime Nejaim, Lagoa do Barro, Gurjaú, Barriguda, Jucati, Cachoeira II e Pindoba constam entre as mais preocupantes no Estado, consoante RSB 2021. No mesmo documento, são mencionados outros órgãos empreendedores para algumas das estruturas mencionadas (ANA, 2022a). Essas divergências exemplificam as lacunas ainda existentes para a definição do real empreendedor das barragens, se é o órgão que construiu ou o que opera.

Tabela 20 – Classificação para fins gerenciais das barragens da COMPESA

Classificação	Barragem	IR
1º	Pirapama	6222
2º	Tapacurá	6138
3º	Jangadinha	6077
4º	Duas Unas	5978
5º	Taquara	5760

6°	Severino Guerra (Bitury)	5439
7°	Goitá	5246
8°	Pão de Açúcar	5243
9°	São José I	5232
10°	Cipó	5184
11°	Condadinho	5184
12°	Cachoeira II	5145
13°	Botafogo	5141
14°	Zamba	5088
15°	do Prata	5029
16°	Marrecas	4998
17°	Cursai	4900
18°	Tiúma	4896
19°	Cajueiro	4800
20°	Machado	4753
21°	Gurjaú	4752
22°	Vertentinha (Açude Cruzeiro)	4752
23°	Pindoba	4752
24°	Queimadas	4708
25°	Pedro Moura Junior	4636
26°	Comunaty	4608
27°	Poço Fundo	4508
28°	Matriz Da Luz (Queira Deus)	4464
29°	Utinga	4437
30°	Duas Unas Velha	4416
31°	Mororó	4368
32°	Besouro	4326
33°	Gercino Pontes (Tabocas)	4324
34°	São Sebastião	4312
35°	Tatuaçu	4232
36°	Lagoa do Barro	4186
37°	Lagoa do Carro (Carpina)	4158
38°	Várzea do Una	3960
39°	Boa Vista (Itapetim)	3936
40°	Paca	3888
41°	Pau Ferro	3850
42°	Cova da Onça	3800
43°	Poço do Bezerra	3772
44°	Pedra Fina	3744
45°	Bitá	3731
46°	Serra dos Cavalos	3468
47°	Caianinha	3432
48°	Gurjão	3366
49°	Engenheiro Camacho-Tamboril	3185
50°	Jucati	3136
51°	Bonitinho Novo	3132
52°	Caguengo	3103
53°	Vertentinha (Vicência)	3103
54°	Jaime Nejaim	3016
55°	Mundaú	3016
56°	Luiza	2987
57°	Arrodeio	2976
58°	Mateus Vieira	2958

59°	Nossa Senhora de Lourdes	2958
60°	Mulungu	2943
61°	Mundaú II (Cajueiro)	2940
62°	Três Passagens	2900
63°	Canha Velha	2871
64°	Taioba	2871
65°	Pedra Fina (Palmeirinha)	2828
66°	Águas Claras	2755
67°	Rosário	2700
68°	Sítio Rancharia	2700
69°	Cacimba Da Baixinha (Sítio Baixo)	2697
70°	Tabocas - Praça	2697
71°	Vertentes	2646
72°	Brejo do Buraco	2616
73°	Caramucuqui	2592
74°	Mata Verde	2592
75°	Sapatos I	2592
76°	Boa Vista (DNOCS)	2548
77°	Mucuri	2511
78°	Sicupema	2496
79°	Algodões	2430
80°	Brejo dos Coelhos	2400
81°	José Antônio	2288
82°	Santa Rita	2288
83°	Xaréu	2266
84°	Cabogé	2231
85°	Coitadinha	2225
86°	Serra do Jardim	2222
87°	Ingaí	2200
88°	Brejinho	2156
89°	Cachimbo	2070
90°	Saltinho	2060
91°	Santana II	2028
92°	Rosas	1958
93°	Afetos	1940
94°	Cavanhada	1908
95°	Barrinha	1886
96°	do Monde	1843
97°	Bolandim	1818
98°	Brotas	1798
99°	Barriguda	1782
100°	Amora Grande	1760
101°	Brejinho (Russas)	1728
102°	Riacho Da Palha	1728
103°	Santana	1710
104°	Sapocagy	1692
105°	Sítio dos Moreiras - Sítio de Cima	1674
106°	Neves (Urubu)	1656
107°	Pedra D'agua	1656
108°	Riacho Rochedo	1656
109°	Serrinha-Serraria	1656
110°	Sueiras	1638
111°	Siriji	1620

112°	Massaranduba	1536
113°	Riacho do Escuro	1536
114°	Lopes II	1463
115°	Santana I	1458
116°	Duas Serras	1372
117°	Sapatos II	1314
118°	da Prata (Iatecá)	1236
119°	Juçara	1204
120°	Rego - Barra Do Farias	1170
121°	Correntes	1104
122°	Vundinha	1100
123°	Macacos	994
124°	Morojozinho	972
125°	Ditoso	850
126°	Sítio Poção	850
127°	Zenite	850
128°	Piedade	830
129°	Macaparana	728
130°	Plaina (Riacho Brasileirinho)	720
131°	Carau	700
132°	Mocambo	672

Fonte: Elaborado pela autora

4.4.2 SEINFRA

Para a SEINFRA foram consideradas 26 barragens sob sua responsabilidade, conforme já mencionado, cujos IR e classificação obtidos estão apresentadas na Tabela 21. A importância da existência de documentação técnica e monitoramento é constatada para a barragem Serro Azul, que é o sexto maior reservatório existente em Pernambuco. Analisando-se a mancha de inundação em caso de ruptura, o potencial de perdas de vidas humanas apresenta a maior pontuação, com $b^* = 40$. Apesar disso, devido aos dois motivos citados inicialmente, a barragem ocupa a 24ª posição.

Quanto a documentação técnica, além dos projetos e de documentação sobre a construção, a barragem Serro Azul também possui o PSB elaborado. Já quanto ao monitoramento, existe instrumentação implantada nas barragens principal e auxiliar, a qual tem leituras periódicas, que são enviadas para a análise do empreendedor. Os instrumentos instalados são piezômetros, medidores triortogonais, extensômetros, medidores magnéticos de recalque, medidores de vazão e marcos superficiais.

No RSB 2021, as barragens Nilo Coelho e Poço Grande (Serrita) estão entre as catorze que mais preocupam no estado de Pernambuco (ANA, 2022a). A metodologia utilizada para elencar essas barragens foi definida pelo órgão fiscalizador estadual, diferindo da aplicada no presente trabalho. Apesar disso, as duas estruturas citadas estão entre as 15 primeiras na ordem de prioridade, ocupando a 7ª e 11ª posição, respectivamente (Tabela 21).

Tabela 21 – Classificação para fins gerenciais das barragens da SEINFRA

Classificação	Barragem	IR
1º	Jazigo	4312
2º	Manopla	4094
3º	Chapéu	3900
4º	Chinelo	3542
5º	São José II	3528
6º	Borborema	3486
7º	Nilo Coelho	3185
8º	Serrinha dos Carlos	2592
9º	Inhumas	2550
10º	Mãe D'água	2484
11º	Poço Grande (Serrita)	2457
12º	Açude da Nação	2438
13º	Tabira	2322
14º	Oitis	2272
15º	Laje do Gato	2268
16º	Cascudo	2214
17º	Travessão	2187
18º	Bom Sucesso	2160
19º	Serrote	2160
20º	Cruz de Salina	2106
21º	São Paulo	2024
22º	Poço Grande (Flores)	1917
23º	Ipanema I	1824
24º	Serro Azul	1792
25º	Cajarana	1722
26º	Ingazeira	1386

Fonte: Elaborado pela autora

4.5 Proposta de dimensionamento financeiro

A partir da ordem de prioridades obtida após a aplicação da etapa anterior, estabeleceu-se uma proposta de planejamento das ações para atendimento à legislação. Durante o desenvolvimento da pesquisa, observou-se que muitas ações ainda necessitam ser feitas na área de segurança de barragens e, em contrapartida, existem limitações técnicas e econômicas nos dois empreendedores estudados. Para este trabalho, serão abordadas a elaboração do PSB e de projetos de recuperação ou “As Is”, a realização das ISRs e a realização de manutenção.

Dessa forma, buscou-se fazer alusão ao processo utilizado para enquadramento dos recursos hídricos, a partir dos eixos “O rio que temos”, “O rio que queremos” e “O rio que podemos ter”. Nesse caso, foi considerado “O cenário de segurança de barragens que temos”, “O cenário de segurança de barragens que queremos ter” e “O cenário de segurança de barragens que podemos ter”.

No primeiro cenário temos a situação atual, onde a maioria das barragens não possuem acervo técnico, seja do nível de um anteprojeto até um projeto *as built* (como construído); não possuem PSB; e não passam por manutenção, sendo necessário à sua recuperação. No segundo cenário temos a situação ideal, na qual se teria disponibilidade técnica e financeira para elaborar projetos “*As Is*”, elaborar o PSB, realizar as manutenções para todas as barragens, dentre outras atividades englobadas na gestão da segurança dessas estruturas. E no terceiro cenário, tem-se a prospecção de uma situação futura, mas que leva em consideração as limitações existentes.

Para tanto, estabeleceu-se que, no prazo de um ano, seriam realizadas as ISRs para todas as barragens dos empreendedores, cumprindo o que determina as Resoluções dos órgãos fiscalizadores federal e estadual, e seriam elaborados os PSBs, PAEs e projetos de recuperação ou “*As Is*” cabíveis para um determinado percentual das barragens sob a responsabilidade do empreendedor. Além disso, seria considerada a manutenção para essas estruturas.

O horizonte de atuação considerado foi de 05 anos e a cada ano a quantidade de barragens objeto das ações aumentaria conforme a taxa percentual definida para cada empreendedor. Para a COMPESA será considerado um valor de 5% e para a SEINFRA de 10%. Os percentuais escolhidos baseiam-se na quantidade de barragens de cada empreendedor, justificando a diferença entre ambas.

Foram buscados valores financeiros em licitações e/ou contratações dos próprios empreendedores, encontrando-se valores recentes, uma vez que os contratos foram finalizados entre o segundo semestre de 2021 e o segundo semestre de 2022 ou ainda estão em execução. Apenas dois contratos de recuperação datam de 2019. Além desses, utilizaram-se valores

apresentados no PLANERB, por serem considerados valores de referência para o planejamento a que se propõe.

Para a elaboração do Plano de Segurança de Barragens será considerado o valor médio de R\$ 339.691,51, obtido através dos valores apresentados na Tabela 22. Pontua-se que, os valores obtidos nos contratos da SEINFRA/PE abrangem a elaboração do PSB e podem abranger também do PAE, ISE e projeto “*As Is*”, variando em cada caso. Para os valores obtidos nos documentos do PLANERB, não foi possível distinguir o escopo abrangido, ou seja, se envolve a elaboração do PAE ou mesmo do “*As Is*”. Assim, considerou-se que são abrangidos PSB e PAE, mas não o “*As Is*”.

Tabela 22 – Valores para elaboração de PSB

Órgão	Valor
SEINFRA/PE	R\$ 179.431,00
SEINFRA/PE	R\$ 371.156,81
SEINFRA/PE	R\$ 342.662,77
SEINFRA/PE	R\$ 305.225,00
PLANERB - DNOCS	R\$ 497.482,05
PLANERB - CODEVASF	R\$ 227.475,47
PLANERB - DNOS	R\$ 454.407,48
Valor médio:	R\$ 339.691,51

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados obtidos junto a COMPESA e SEINFRA

Ainda sobre a elaboração do PSB, estimou-se que o valor envolve a elaboração do PAE. Entretanto, é importante destacar que além da existência do documento, também se faz necessário que o PAE seja implementado em campo, incluindo a execução do sistema de alerta e os treinamentos com as comunidades afetadas por uma possível situação de emergência. Essa ação é de suma importância, para que o Plano não seja apenas teórico, mas que, de fato, possa ser executado na prática. Assim, pontua-se que o custo da implementação não está inserido no valor utilizado neste trabalho.

Para a elaboração do projeto de recuperação ou do projeto “*As Is*” foi considerado o mesmo valor, baseado na justificativa de que, em licitações da SEINFRA, o projeto de recuperação foi utilizado como projeto “*As Is*”. Assim, será considerado o valor médio de R\$ 278.916,61, obtido através dos valores apresentados na Tabela 23. Os valores obtidos da COMPESA se referem aos projetos de requalificação mencionados no subitem 4.2.1.3. Como os mesmos

abrangem seis atividades, dentre elas o projeto de recuperação, considerou-se o valor total dividido pela quantidade de ações previstas.

Tabela 23 – Valores para elaboração de projeto de recuperação ou “As Is”

Órgão	Valor
SEINFRA/PE	R\$ 461.704,10
SEINFRA/PE	R\$ 382.111,75
SEINFRA/PE	R\$ 465.059,10
SEINFRA/PE	R\$ 293.942,44
SEINFRA/PE	R\$ 291.956,65
COMPESA	R\$ 75.833,20
COMPESA	R\$ 244.217,00
COMPESA	R\$ 158.250,00
COMPESA	R\$ 256.666,67
COMPESA	R\$ 159.425,15
Valor médio:	R\$ 278.916,61

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados obtidos junto a COMPESA e SEINFRA

Para os valores de manutenção, buscou-se obter uma estimativa de valor por barragem, cujo valor encontrado foi de R\$ 54.249,48, o qual foi obtido a partir dos dados constantes nos documentos do PLANERB (Tabela 24). Conforme constante no Relatório Final do PLANERB, esse valor se refere a manutenção, vigilância e auscultação anual, tendo recebido a nomenclatura MANT 1 (MI, 2018). Pontua-se que as barragens dos três órgãos abrangidos pelo PLANERB apresentam, em sua maioria, porte superior as das barragens da COMPESA e SEINFRA. Desse modo, o valor apresentado representa uma média.

Tabela 24 – Valores para manutenção por barragem

Órgão	Valor
PLANERB - DNOCS	R\$ 81.871,66
PLANERB - CODEVASF	R\$ 30.868,84
PLANERB - DNOS	R\$ 50.007,94
Valor médio:	R\$ 54.249,48

Fonte: Adaptado de MI (2018)

Por fim, para estimar o valor envolvido na realização das ISR, foram realizadas as seguintes considerações:

- 01 barragem inspecionada por viagem;
- Viagem com duração de 02 dias;
- 02 profissionais técnicos;
- 01 motorista;
- Valor diária – profissional técnico: R\$ 54,00;

- Valor diária – motorista: R\$ 80,00;
- Distância média (ida e volta): 824 km;
- Valor do litro da gasolina: R\$ 4,81;
- Toro – Consumo: 11,2 km/L.

O cenário descrito acima resulta no valor envolvido na realização da ISR para apenas uma barragem. Na prática, sabe-se que as viagens envolvem mais de uma estrutura. Contudo, realizou-se essa aproximação para obter um “valor unitário”. Pontua-se que a distância média considerada equivale a distância de ida e volta entre os municípios de Recife e Serra Talhada. A cidade foi escolhida por se localizar, visualmente, no meio do mapa de Pernambuco. A partir de tais considerações, obteve-se o valor R\$ 541,88 (Tabela 25). Ressalta-se que esse valor é apenas operacional, sem considerar os custos posteriores para elaboração dos relatórios.

Tabela 25 – Valores para ISR por barragem

Item	UND	Qtde	Valor Unitário	Valor Total
Técnicos	Pessoa	02	R\$ 54,00	R\$ 108,00
Motorista	Pessoa	01	R\$ 80,00	R\$ 80,00
Gasolina	L	74	R\$ 4,81	R\$ 353,88
Total =				R\$ 541,88

Fonte: Elaborado pela autora

4.5.1 COMPESA

Para a COMPESA, 5% das barragens equivalem a 6,65 estruturas, tendo sido consideradas 07 barragens por ano. Dessa forma, tem-se a proposta de planejamento de ações apresentada na Tabela 26, abrangendo as atividades de elaboração de PSB e projetos de recuperação ou “As Is”. O máximo valor obtido foi de cerca de R\$ 3.300.000,00, no quarto e quinto ano, e ao final do período considerado, 35 barragens possuirão os dois documentos citados, correspondendo a 27% do total.

As barragens que não apresentam valores em uma das colunas são aquelas cujas documentações já se encontram elaboradas ou em elaboração. Embora essa quantidade seja significativa para a COMPESA, optou-se por não acrescentar outras barragens da ordem de prioridades, a fim de manter a taxa anual definida e não elevar o orçamento demasiadamente nos anos iniciais considerados. Além disso, grande parte dos PSBs foram elaborados pela

própria equipe de segurança de barragens do órgão e pode-se ter a necessidade de revisá-los, a critério da COMPESA, e tal atividade poderá ser encaixada nas lacunas mencionadas.

Tabela 26 – Proposta de planejamento para PSB e projetos de recuperação ou “As Is” para a COMPESA

PRIMEIRO ANO		
Barragem	PSB	Projeto de recuperação ou “As Is”
Pirapama	-	-
Tapacurá	-	-
Jangadinha	-	R\$ 278.916,61
Duas Unas	-	R\$ 278.916,61
Taquara	-	R\$ 278.916,61
Severino Guerra (Bitury)	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Goitá	-	-
Valor parcial:	R\$ 339.691,51	R\$ 1.115.666,42
Valor total:		R\$ 1.455.357,93
SEGUNDO ANO		
Barragem	PSB	Projeto de recuperação ou “As Is”
Pão de Açúcar	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
São José I	-	R\$ 278.916,61
Cipó	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Condadinho	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Cachoeira II	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Botafogo	-	R\$ 278.916,61
Zamba	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Valor parcial:	R\$ 1.698.457,56	R\$ 836.749,82
Valor total:		R\$ 2.535.207,37
TERCEIRO ANO		
Barragem	PSB	Projeto de recuperação ou “As Is”
do Prata	-	R\$ 278.916,61
Marrecas	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Cursai	-	R\$ 278.916,61
Tiúma	-	R\$ 278.916,61
Cajueiro	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Machado	-	R\$ 278.916,61
Gurjaú	-	R\$ 278.916,61
Valor parcial:	R\$ 679.383,02	R\$ 1.952.416,24
Valor total:		R\$ 2.631.799,26
QUARTO ANO		
Barragem	PSB	Projeto de recuperação ou “As Is”
Vertentinha (Açude Cruzeiro)	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Pindoba	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Queimadas	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Pedro Moura Junior	-	R\$ 278.916,61
Comunaty	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Poço Fundo	-	R\$ 278.916,61
Matriz Da Luz (Queira Deus)	-	R\$ 278.916,61
Valor parcial:	R\$ 1.358.766,05	R\$ 1.952.416,24
Valor total:		R\$ 3.311.182,28

QUINTO ANO		
Barragem	PSB	Projeto de recuperação ou “As Is”
Utinga	-	R\$ 278.916,61
Duas Unas Velha	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Mororó	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Besouro	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Gercino Pontes (Tabocas)	-	R\$ 278.916,61
São Sebastião	-	R\$ 278.916,61
Tatuaçu	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Valor parcial:	R\$ 1.358.766,05	R\$ 1.952.416,24
Valor total:		R\$ 3.311.182,28

Fonte: Elaborado pela autora

Para as atividades relacionadas a manutenção, a cada ano foram acrescentadas sete barragens, seguindo a taxa de 5% estabelecida para o órgão. Os valores mensais iniciam em torno de R\$380.000,00 e alcançam aproximadamente R\$ 2.000.000,00 no final dos cinco anos (Tabela 30). A proposta apresentada não especifica a prioridade das barragens, pois o empreendedor poderá realizar adequações as necessidades identificadas no dia a dia.

Por exemplo, para o primeiro ano pode-se iniciar com as sete primeiras barragens da ordem de prioridades. Já no segundo ano, pode-se manter as sete iniciais e acrescentar outras sete, e assim sucessivamente nos anos posteriores. Outra opção é iniciar pelas sete barragens já mencionadas, mas, no segundo ano, realizar a manutenção em outras catorze estruturas diferentes das do primeiro ano. Desse modo, a manutenção seria realizada em mais barragens, em menos tempo, e ao final dos cinco anos considerados, 105 barragens teriam passado por manutenção, alcançando 80% do total de 132 estruturas.

Tabela 27 – Proposta financeira para PSB e projetos de recuperação ou “As Is” para a COMPESA

PRIMEIRO ANO		
Barragens	Valor unitário	Valor total
07	R\$ 54.249,48	R\$ 379.746,35
SEGUNDO ANO		
Barragens	Valor unitário	Valor total
14	R\$ 54.249,48	R\$ 759.492,69
TERCEIRO ANO		
Barragens	Valor unitário	Valor total
21	R\$ 54.249,48	R\$ 1.139.239,04
QUARTO ANO		
Barragens	Valor unitário	Valor total
28	R\$ 54.249,48	R\$ 1.518.985,38
QUINTO ANO		
Barragens	Valor unitário	Valor total

35	R\$ 54.249,48	R\$ 1.898.731,73
----	---------------	------------------

Fonte: Elaborado pela autora

Quanto a realização das ISRs, o total anual é de R\$ 72.069,85, considerando a realização das inspeções em todas as barragens do órgão. Em 2021, a COMPESA realizou o maior quantitativo de ISRs do período estudado, com 85 inspeções realizadas, que representam 64% da meta proposta. Pontua-se que, devido a distribuição regional das sedes da COMPESA por todo o território estadual, o custo de realização das ISRs poderá diminuir, tendo em vista menores distâncias e redução dos valores pagos nas diárias dos profissionais.

Assim, considerando as três ações propostas, tem-se que os orçamentos anuais apresentados na Tabela 28, cujo valor máximo alcança, aproximadamente, R\$ 5.000.000,00. Como era de se esperar, os valores tendem a crescer com o passar dos anos e o aumento do grupo de barragens objeto das atividades.

Tabela 28 – Resumo da proposta financeira para a COMPESA

PRIMEIRO ANO	
Ações	Valor
PSBs e Projetos de recuperação / “As Is”	R\$ 1.455.357,93
Manutenção	R\$ 379.746,35
ISR	R\$ 72.069,85
Valor:	R\$ 1.907.174,13
SEGUNDO ANO	
Ações	Valor
PSBs e Projetos de recuperação / “As Is”	R\$ 2.535.207,37
Manutenção	R\$ 759.492,69
ISR	R\$ 72.069,85
Valor:	R\$ 3.366.769,91
TERCEIRO ANO	
Ações	Valor
PSBs e Projetos de recuperação / “As Is”	R\$ 2.535.207,37
Manutenção	R\$ 1.139.239,04
ISR	R\$ 72.069,85
Valor:	R\$ 4.182.799,66
QUARTO ANO	
Ações	Valor
PSBs e Projetos de recuperação / “As Is”	R\$ 3.311.182,28
Manutenção	R\$ 1.518.985,38
ISR	R\$ 72.069,85
Valor:	R\$ 4.902.237,51
QUINTO ANO	
Ações	Valor
PSBs e Projetos de recuperação / “As Is”	R\$ 2.971.490,77
Manutenção	R\$ 1.898.731,73
ISR	R\$ 72.069,85

Valor:	R\$ 4.942.292,35
Valor total (05 anos):	R\$ 19.301.273,56

Fonte: Elaborado pela autora

4.5.2 SEINFRA

Para a SEINFRA, 10% das barragens equivalem a 2,6 estruturas, tendo sido consideradas 03 barragens por ano. Dessa forma, tem-se a proposta de planejamento de ações apresentada na Tabela 29, abrangendo as atividades de elaboração de PSB e projetos de recuperação ou “As Is”. Ao final dos cinco anos, 15 barragens possuiriam PSB e projeto, representando 58% do total. As barragens que não apresentam valores para projeto de recuperação ou “As Is” são aquelas que o empreendedor já possui contratos em andamento atualmente ou que os projetos já foram elaborados.

Tabela 29 – Proposta de planejamento para PSB e projetos de recuperação ou “As Is” para a SEINFRA

PRIMEIRO ANO		
Barragem	PSB	Projeto de recuperação ou “As Is”
Jazigo	R\$ 339.691,51	-
Manopla	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Chapéu	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Valor parcial:	R\$ 1.019.074,53	R\$ 557.833,21
Valor total:		R\$ 1.576.907,74
SEGUNDO ANO		
Barragem	PSB	Projeto de recuperação ou “As Is”
Chinelo	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
São José II	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Borborema	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Valor parcial:	R\$ 1.019.074,53	R\$ 836.749,82
Valor total:		R\$ 1.855.824,35
TERCEIRO ANO		
Barragem	PSB	Projeto de recuperação ou “As Is”
Nilo Coelho	R\$ 339.691,51	-
Serrinha dos Carlos	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Inhumas	R\$ 339.691,51	-
Valor parcial:	R\$ 1.019.074,53	R\$ 278.916,61
Valor total:		R\$ 1.297.991,14
QUARTO ANO		
Barragem	PSB	Projeto de recuperação ou “As Is”
Mãe D'Água	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Poço Grande (Serrita)	R\$ 339.691,51	-
Açude da Nação	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Valor parcial:	R\$ 1.019.074,53	R\$ 557.833,21
Valor total:		R\$ 1.576.907,74
QUINTO ANO		
Barragem	PSB	Projeto de recuperação ou “As Is”

Tabira	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Oitis	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Laje do Gato	R\$ 339.691,51	R\$ 278.916,61
Valor parcial:	R\$ 1.019.074,53	R\$ 836.749,82
Valor total:	R\$ 1.855.824,35	

Fonte: Elaborado pela autora

Para as atividades relacionadas a manutenção, a cada ano foram acrescentadas três barragens, seguindo a taxa de 10% estabelecida para o órgão. Os valores mensais iniciam em torno de R\$160.000,00 e alcançam aproximadamente R\$ 810.000,00 no final dos cinco anos (Tabela 30). Assim como para a COMPESA, a proposta apresentada para a SEINFRA não especifica a prioridade das barragens, pois o empreendedor poderá realizar adequações as necessidades identificadas no dia a dia.

Tabela 30 – Proposta financeira para PSB e projetos de recuperação ou “As Is” para a SEINFRA

PRIMEIRO ANO		
Barragens	Valor unitário	Valor total
03	R\$ 54.249,48	R\$ 162.748,43
SEGUNDO ANO		
Barragens	Valor unitário	Valor total
06	R\$ 54.249,48	R\$ 325.496,87
TERCEIRO ANO		
Barragens	Valor unitário	Valor total
09	R\$ 54.249,48	R\$ 488.245,30
QUARTO ANO		
Barragens	Valor unitário	Valor total
12	R\$ 54.249,48	R\$ 650.993,74
QUINTO ANO		
Barragens	Valor unitário	Valor total
15	R\$ 54.249,48	R\$ 813.742,17

Fonte: Elaborado pela autora

Quanto a realização das ISRs, o total anual é de R\$ 14.088,84, considerando a realização das inspeções em todas as barragens do órgão. Em 2021, a SEINFRA realizou as ISRs de 21 estruturas, alcançando 81% da meta proposta.

Assim, considerando as três ações propostas tem-se que os orçamentos anuais apresentados na Tabela 31, cujo valor máximo não ultrapassa R\$ 3.000.000,00. Como era de se esperar, os valores tendem a crescer com o passar dos anos e o aumento do grupo de barragens objeto das atividades.

Tabela 31 – Resumo da proposta financeira para a SEINFRA

PRIMEIRO ANO	
Ações	Valor
PSBs e Projetos de recuperação / “As Is”	R\$ 1.576.907,74
Manutenção	R\$ 162.748,43
ISR	R\$ 14.088,84
Valor:	R\$ 1.753.745,02
SEGUNDO ANO	
Ações	Valor
PSBs e Projetos de recuperação / “As Is”	R\$ 1.855.824,35
Manutenção	R\$ 325.496,87
ISR	R\$ 14.088,84
Valor:	R\$ 2.195.410,06
TERCEIRO ANO	
Ações	Valor
PSBs e Projetos de recuperação / “As Is”	R\$ 1.297.991,14
Manutenção	R\$ 488.245,30
ISR	R\$ 14.088,84
Valor:	R\$ 1.800.325,28
QUARTO ANO	
Ações	Valor
PSBs e Projetos de recuperação / “As Is”	R\$ 1.576.907,74
Manutenção	R\$ 650.993,74
ISR	R\$ 14.088,84
Valor:	R\$ 2.241.990,32
QUINTO ANO	
Ações	Valor
PSBs e Projetos de recuperação / “As Is”	R\$ 1.855.824,35
Manutenção	R\$ 813.742,17
ISR	R\$ 14.088,84
Valor:	R\$ 2.683.655,36
Valor total (05 anos):	R\$ 10.675.126,05

Fonte: Elaborado pela autora

4.5.3 Possíveis fontes de recursos

Os valores apresentados nas propostas para ambos os empreendedores são expressivos, ultrapassando mais de R\$10.000.000,00 ao final do período considerado. A obtenção desses recursos é um desafio. A SEINFRA não obtém receita com as barragens sob sua responsabilidade, de modo que, a origem dos recursos para ações de segurança de barragens é, em geral, do próprio orçamento do Estado. E a COMPESA, embora gere receita com a operação das barragens, também possui outras demandas e custos envolvidos que podem comprometer a destinação orçamentária para as ações de segurança de barragens. Além disso, a taxa de serviços cobrada aos usuários, não contempla uma parcela destinada a manutenção das barragens.

Os recursos financeiros para segurança de barragens podem ser oriundos de duas fontes básicas de receitas sustentáveis: impostos por meio de alocações orçamentárias do governo; ou tarifas de sistemas de pagamentos dos usuários. Comumente, a combinação de ambas é a que mais ocorre na prática. Contudo, o atendimento total as ações necessárias são prejudicadas pelas baixas taxas de arrecadação, além da competição com outras demandas. Assim, tendo em vista os orçamentos restritos, o planejamento financeiro é primordial, associado com ferramentas que auxiliem na priorização das medidas e recursos de segurança de barragens (WISHART *et al.*, 2020).

Uma das alternativas para origem dos recursos são os financiamentos junto a organismos internacionais. O Banco Mundial, por exemplo, financiou diversos projetos do setor de água, em nível estadual e federal, envolvendo barragens, tal como o projeto federal PROÁGUA, que teve assistência técnica do órgão direcionada para o planejamento, construção e manutenção de barragens, além de outras atividades, como a elaboração de planos de preparação para emergências. Em 2012, após a ANA ser incumbida como reguladora de segurança de barragens no país, houve parceria com o Banco Mundial, por meio da prestação de serviços analíticos e consultivos em segurança de barragens (ANA, 2012).

Outra possibilidade é o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), cujos recursos se destinam ao suporte financeiro necessário para cumprimento da Política Estadual de Recursos Hídricos e das ações dos componentes do Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos (SIGRH). As ações relativas à segurança de barragens integram a gestão dos recursos hídricos, uma vez que impactam diretamente no planejamento dos usos da água de uma bacia hidrográfica. Menescal (2009) pontua que a gestão dos recursos hídricos não é completa sem a gestão da segurança de barragens.

Foram analisados os planos de aplicação de recursos do FEHIDRO da SEINFRA, no período de 2019 a 2022, e constatou-se a existência do planejamento de ações voltadas para segurança de barragens, conforme consta na Tabela 32. Desde 2019 tem-se ações referentes a projetos, recuperações e manutenções de barragens, com a inclusão de contratação de consultoria em 2020 e de elaboração dos PSBs em 2022. Esses recursos são uma possibilidade para a SEINFRA, por ser o Órgão Gestor dos Recursos Hídricos do Estado.

Tabela 32 – Ações relacionadas a segurança de barragens previstas no FEHIDRO - SEINFRA

Ano	Ações	Valor
2019	Projetos, obras, recuperações e manutenções de barragens	R\$ 1.000.000,00
2020	Projetos, recuperações e manutenções de barragens	R\$ 2.700.000,00
	Contratação de consultoria especial de barragens	R\$ 200.000,00
2021	Projetos, recuperações e manutenções de barragens	R\$ 3.500.000,00
	Contratação de consultoria especial de barragens	R\$ 700.000,00
2022	Projeto, recuperação e manutenção de barragens	R\$ 4.500.000,00
	Contratação de consultoria especial de barragens	R\$ 600.000,00
	PSB – Planos de Segurança de Barragens	R\$ 1.000.000,00

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados obtidos junto a SEINFRA

Ainda, uma outra fonte de recursos seria advinda da cobrança da água, que, embora atualmente não se encontre implementada em Pernambuco, é uma alternativa passível de implementação. Na Paraíba, por exemplo, existe o Programa de Manutenção de Barragens, criado em 2019 pela Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs), cujos recursos utilizados são oriundos do FEHIDRO, através da cobrança de água bruta. No mesmo ano de criação, 15 barragens foram contempladas e em 2020, a estimativa eram entre 20 e 25 estruturas (AESAs, 2020).

4.6 Proposta de dimensionamento de equipe técnica

A proposta de dimensionamento de equipe técnica terá como foco as três ações constantes na proposta de dimensionamento financeiro, sendo as ISRs consideradas como atividades de campo e as outras como gestão de contratos.

Foram adotadas as premissas apresentadas no Quadro 11. Os períodos de tempo considerados para cada atividade foram frutos de consultas aos profissionais que atuam em atividades relacionadas a segurança de barragens da SEINFRA. Assim como na proposta de planejamento financeiro, para as ISRs foi considerado o atendimento de 100% das barragens dos dois empreendedores e para as demais atividades, 5% e 10% de atendimento inicial para COMPESA e SEINFRA, respectivamente.

Quadro 11 – Premissas para proposta de dimensionamento de equipe técnica

Item	Premissas
ISR (Inspeções + Relatórios)	- Considerado que o tempo de realização de inspeção em 04 barragens é de 01 semana. - Considerado que o tempo para elaboração do relatório das 04 barragens são de 03 semanas.
Elaboração de TRs	- Considerado que o tempo de elaboração de termo de referência

Item	Premissas
para PSB / projetos / manutenção	são de 30 dias. - Considerado que o tempo de elaboração de orçamento e cotações são de 45 dias.
Avaliação das propostas de licitação	- Considerado 10 dias para análise da proposta técnica de uma empresa/consórcio. - Considerado 03 dias para análise da proposta de preço de uma empresa/consórcio. - Considerado 03 empresas/consórcios por licitação.
Gestão dos contratos oriundos dos TRs	- Considerado 06 meses de gestão por contrato.

Fonte: Elaborado pela autora

4.6.1 COMPESA

Atualmente, a COMPESA possui uma Gerência de Segurança de Barragens (GSB), composta por 06 engenheiros com especialidades em estruturas, hidrologia e geotecnia; 01 técnico em saneamento; e 02 estagiários de engenharia. A prática adotada pelo órgão é de que a própria GSB elabore os PSBs. Contudo, nos contratos de requalificação, uma das atividades diz respeito a revisão desses Planos, uma vez que não são desenvolvidos todos os projetos e estudos necessários e as lacunas são preenchidas indicando a não existência do documento. Assim, para esse dimensionamento, serão considerados contratos e não elaboração própria.

A partir das premissas adotadas e considerando 132 barragens sob a responsabilidade da COMPESA e que a equipe mínima será para o primeiro ano, tem-se que:

- Considerando que são emitidos 04 relatórios por mês, são necessárias 33 viagens. Assim, teriam de ser realizadas mais de uma viagem por mês, para cumprir o prazo anual de entrega dos relatórios. Logo, 06 profissionais atenderiam a demanda.
- Considerando que, no primeiro ano, serão realizadas três licitações, divididas por lotes, cada uma englobando os PSBs, projetos e manutenção necessários. Com as três ocorrendo ao mesmo tempo, minimamente, são necessários 02 profissionais por licitação, totalizando 06. Metade devem ser orçamentistas e os demais, com especialidades diferentes da engenharia civil (estruturas, geotecnia e hidrologia).
- Para a avaliação das propostas da licitação, formando três comissões de avaliação, com três pessoas cada, são necessários 09 profissionais. Tem-se os 06 que realizaram os TRs e orçamentos e a diferença são de 03 profissionais. Dentre esses, sugere-se a presença de pelo menos um engenheiro mecânico ou hidromecânico, devido as

estruturas de adução presente nas barragens da COMPESA.

- Para a gestão dos contratos, podem ser realocados profissionais envolvidos no processo licitatório.
- Assim, faz-se necessária uma equipe mínima de 15 profissionais de nível superior.

O salário do Analista de Saneamento da COMPESA, que abrange os engenheiros, de acordo com o edital do último concurso realizado em 2018, é de R\$ 6.743,28. No total de 15 profissionais, o valor mensal seria de R\$ 101.149,20.

4.6.2 SEINFRA

Atualmente, a SEINFRA não possui equipe exclusiva para segurança de barragens. No órgão, existem duas superintendências, uma de projetos e outra de obras. Para as ISRs, profissionais de ambas são envolvidos. Para a parte de gestão de contratos de projetos de recuperação e elaboração de PSBs, a superintendência de projetos é a responsável. Para a parte de manutenção, embora a Secretaria não possua contrato em vigor atualmente, a gestão do contrato será de responsabilidade da superintendência de obras.

A partir das premissas adotadas e considerando 26 barragens sob a responsabilidade da SEINFRA e que a equipe mínima será para o primeiro ano, tem-se que:

- Considerando que são emitidos 04 relatórios por mês, são necessárias 07 viagens. Teoricamente, seriam 07 meses para ISRs e os 03 meses restantes para outras atividades da equipe de segurança de barragens. Logo, 02 profissionais atenderiam a demanda.
- Considerando que, no primeiro ano, serão realizadas três licitações, divididas por lotes, cada uma englobando os PSBs, projetos e manutenção necessários. Com as três ocorrendo ao mesmo tempo, minimamente, seriam necessários 02 profissionais por licitação, totalizando 06. Metade devem ser orçamentistas e os demais, com especialidades diferentes da engenharia civil (estruturas, geotecnia e hidrologia).
- Para a avaliação das propostas da licitação, formando três comissões de avaliação, com três pessoas cada, seriam necessários 09 profissionais. Considerando-se aqueles que realizam as ISRs e TRs e orçamentos, a diferença é de 01 profissional.

- Para a gestão dos contratos, poderiam ser realocados profissionais envolvidos no processo licitatório.
- Assim, faz-se necessária uma equipe mínima de 09 profissionais de nível superior.

Os salários dos profissionais da Secretaria variam conforme cargo e/ou função gratificada. Desse modo, será considerado o valor referente ao Cargo de Apoio e Assessoramento-1 ou CAA-1, que equivale a R\$ 4.682,31. Esse cargo é o mais alto dessa categoria e encontra-se imediatamente abaixo dos Cargos de Direção e Assessoramento Superior ou DAS. No total de 09 profissionais, o valor mensal seria de R\$ 42.140,79.

4.6.3 Contratação de consultoria

Dada a multidisciplinaridade presente nos projetos e construção de barragens e, conseqüentemente, na gestão da sua segurança, o ideal seria que os empreendedores possuíssem não apenas uma equipe exclusiva para a temática, mas também com profissionais de diversas especialidades, abrangendo o máximo possível de disciplinas. Todavia, essa não é a realidade dos empreendedores de barragens de usos múltiplos, que, comumente, não possuem uma equipe de segurança de barragens ou a possuem, mas não com o nível de conhecimento que seria necessário. Diante dessa situação, a contratação de consultores especialistas na área figura como uma possibilidade.

Em 2020, a SEINFRA possuía um contrato com consultores das áreas de geologia, estrutura, hidrologia e projetos. A celebração do contrato foi possível através do Projeto de Sustentabilidade Hídrica (PSHPE) e o objeto se referia a “Elaboração de Estudos e Projetos para a Construção e Recuperação de Barragens no âmbito do Estado de Pernambuco”. Os pagamentos eram realizados de acordo com as demandas solicitadas pela Secretaria e, na época, o apoio técnico foi de grande valia para a etapa de revisão de projetos de quatro barragens da Mata Sul.

O contrato teve duração de 10 meses e o valor final foi de R\$ 885.865,65, sendo R\$ 261.648,00 para o consultor projetista; R\$ 227.850,00 para o consultor estrutural; R\$ 223.000,00 para o consultor geólogo; e R\$ 173.367,65 para o consultor hidrólogo. Os valores apresentados norteiam uma ordem de grandeza de orçamento necessário para contratação de consultoria.

Em 2021, houve tentativa de novo contrato com consultores por parte da SEINFRA, mas dessa vez, com recursos próprios. O processo não evoluiu devido a questões burocráticas, especialmente no tocante a justificativas acerca da contratação de especialista, em detrimento da realização de concursos.

Comparando-se com os valores mensais para as equipes, tem-se diferenças expressivas, uma vez que esse valor seria de R\$ R\$ 1.011.492,00 para a COMPESA e R\$ 421.407,90 para a SEINFRA, ambos considerando 10 meses. Embora para a Companhia os valores da consultoria e de mão de obra própria não apresentem grande diferença no período considerado, cerca de R\$120.000,00, para a Secretaria se aproxima do dobro do valor. Ainda, há a diferença na quantidade dos profissionais, sendo apenas quatro consultores. Entretanto, quando se analisa do ponto de vista do conhecimento técnico, o nível dos consultores é muito mais elevado.

Definir qual das duas opções melhor se encaixa para determinado empreendedor também é um desafio e depende de outras variáveis, como qual o objetivo da contratação dos consultores. Para a realização de ISRs, a consultoria não seria necessária, uma vez que a própria equipe do empreendedor teria capacidade de executar a atividade. Já para a análise de um projeto, por exemplo, é mais do que recomendado o parecer de um especialista no assunto.

Para a SEINFRA, existe ainda a dificuldade de contratação de consultores, enquanto pessoa física, uma vez que por tratar-se de um órgão público, se há a necessidade de profissionais, o certo seria realizar um concurso. Por outro lado, dificilmente um consultor prestaria o concurso, uma vez que a diferença salarial tende a ser elevada.

Como alternativa aos órgãos empreendedores, também se sugere as parcerias com Instituições de Ensino e Universidades que realizam pesquisas sobre segurança de barragens. A depender do objeto da parceria, pode-se torná-lo escopo de projetos de pesquisa ou serem contratadas por valores mais baixos que os praticados no mercado. Em 2022, a SEINFRA iniciou tratativas para realização de parceria técnico-científica com a Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, tendo com interveniente a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da UFPE – FADE-UFPE.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de estudos que abordem a temática de segurança de barragens apresenta grande importância, uma vez que os recentes acidentes ocorridos no país alertaram a sociedade sobre as graves consequências que os rompimentos dessas estruturas podem causar. Arelado a isso, tem-se o fato que a PNSB ainda é considerada uma política recente e sofreu novas alterações em 2020, não se encontrando implementada em sua totalidade.

Assim, a metodologia apresentada neste trabalho, bem como os resultados obtidos, busca auxiliar nesse processo de implementação, contribuindo para a gestão da segurança das barragens sob a responsabilidade dos dois principais empreendedores públicos estaduais de Pernambuco, quanto ao quantitativo de estruturas enquadradas na PNSB e a capacidade dos reservatórios das mesmas.

A partir dos resultados obtidos, pode-se perceber que tanto a SEINFRA quanto a COMPESA têm desenvolvido ações que visam o atendimento à Política Nacional e, conseqüentemente, a segurança dos empreendimentos. Dentre elas, pode-se citar a realização das Inspeções de Segurança Regular, que apresentaram crescimento significativo em 2021, e a contratação ou desenvolvimento de Planos de Segurança de Barragens e projetos de recuperação.

Apesar disso, ainda é notório que muitas ações carecem de serem desenvolvidas, especialmente no que se refere a elaboração de projetos para compor o acervo técnico das estruturas, que é inexistente na quase totalidade dos casos; e a manutenção das estruturas, que apresentam anomalias que poderiam ter sido evitadas e/ou minimizadas, como por exemplo, a presença de árvores e arbustos nos taludes de barragens de terra, que podem vir a causar graves danos ao maciço e ainda impedem a realização mais eficaz das inspeções.

Em contrapartida a alta demanda, tem-se empreendedores que sofrem com limitações de equipe técnica e orçamento. O caso da SEINFRA representa um grande desafio nesse sentido, uma vez que não se obtém receita com as barragens que constam sob sua responsabilidade. Na prática, a quase totalidade das estruturas foi transferida de órgãos já extintos, cujo histórico de projetos e construção se perdeu ao longo dos anos.

Nesse cenário, a proposição de ferramentas de auxílio à tomada de decisões dos dois empreendedores, cooperando para a segurança das barragens e, por consequência, evitando possíveis acidentes e suas consequências desastrosas, apresenta caráter de grande importância. A aplicação da metodologia do PLANERB possibilitou a construção de uma ordem de prioridades das estruturas e, conseqüentemente, de propostas de planejamento financeiro e técnico, que se espera possa vir a servir de suporte aos órgãos.

Tendo em vista o melhor entendimento e prática profissional diária, sugere-se que as avaliações realizadas para esta pesquisa sejam revisadas e aprofundadas pelos empreendedores. De modo que, com maior grau de conhecimento acerca da operação e possíveis especificidades das barragens que não constam nos relatórios das inspeções, a metodologia aplicada possa ser ainda mais assertiva, contribuindo diretamente para a prática diária da gestão da segurança de barragens.

Embora não tenham sido objeto de estudo deste trabalho, os pequenos barramentos – que não se enquadram na PNSB – existem em quantidade expressiva no estado de Pernambuco. Assim, a fim de auxiliar os empreendedores dessas estruturas, recomenda-se a leitura e adoção das práticas apontadas no Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – VIII – Guia Prático de Pequenas Barragens, elaborado pela ANA e disponibilizado na plataforma do SNISB. O documento reúne importantes conceitos e diretrizes acerca da operação, inspeção, manutenção e procedimentos de emergência direcionados a esses pequenos empreendimentos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho se propôs a aplicar a metodologia do PLANERB, a fim de construir ordem de prioridades para os empreendedores estudados e, conseqüentemente, propostas de planejamentos técnico e financeiro. O objetivo é de relevante importância e, tendo em vista a aplicabilidade em outros empreendedores, como principal sugestão de trabalho futuro tem-se a construção de um sistema de gestão ou software, no qual as informações possam ser inseridas e a ordem de prioridades seja o produto final gerado de forma automática.

Dessa forma, por tratar-se de uma ordem dinâmica, que é alterada a partir do desenvolvimento das ações, as atualizações serão mais rápidas e o cenário mais recente estará sempre acessível aos empreendedores que vierem a utilizar da metodologia.

Ainda, também se sugere:

- A aplicação da metodologia do PLANERB em outros estudos de caso, a fim de contribuir na construção das discussões acerca da aplicação da metodologia.
- A proposição de políticas mais voltadas para as barragens de Pernambuco, através de uma Política Estadual de Segurança de Barragens ou, ainda, de uma legislação específica para pequenos barramentos.
- A avaliação da possibilidade e viabilidade de estabelecimento de taxas nos âmbitos federal e estadual, para a criação de uma fonte de recursos para recuperação e intervenções em barragens.
- O aprofundamento do estudo das anomalias existentes nas barragens, com a utilização de ferramentas estatísticas, como regressões lineares, que possam correlacionar as anomalias existentes na barragem com a classificação do nível de perigo das estruturas.
- O aprofundamento do estudo da equipe técnica necessária para empreendedores, abrangendo todas as atividades que viriam a ser desenvolvidas.
- O estudo da segurança de barragens na formação acadêmica em engenharia civil.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DE ÁGUAS (AESAs). **Webinar – 10 anos da PNSB – 2º Encontro**. 2020. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=oZoX_-O-ICg. Acesso em: 17 fev. 2022.

AGUIAR, D. P. O. **Contribuição ao estudo do Índice de Segurança de Barragens – ISB**. 2014. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

ALVES, F. H. S. *et al.* Impactos do rompimento da barragem de Fundão, no município de Mariana/MG, no Plano Integrado de Recursos Hídricos da bacia do Rio Doce – PIRH-Doce. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 23., 2019, Foz do Iguaçu/PR. **Anais [...]**. Paraná: ABRH, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO (ANA). **Manual do empreendedor sobre segurança de barragens – Volume IV: Guia de orientação e formulários do Plano de Ação de Emergência – PAE**. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/Amanda/Downloads/volume-iv-guia-de-orientacao-e-formularios-dos-planos-de-acao-de-emergencia-2013-pae.pdf>. Acesso em: 01 out. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO (ANA). **Modelo ANA – Ficha de inspeção de segurança regular de barragens de concreto**. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/barragens/modeloanafichaparainspecaoregulardebarragemdeconcreto.docx/view>. Acesso em: 01 out. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO (ANA). **O 2º ciclo do PROGESTÃO em Pernambuco**. Brasília: ANA, 2021b. Disponível em: https://progestao.ana.gov.br/mapa/pe/progestao-2/progestao_pe_2019.pdf. Acesso em: 01 out. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO (ANA). **Relatório de Segurança de Barragens 2011**. Brasília: ANA, 2020. 92p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO (ANA). **Relatório de Segurança de Barragens 2020**. Brasília: ANA, 2021a. 130p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO (ANA). **Relatório de Segurança de Barragens 2021**. Brasília: ANA, 2022a. 69p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Resolução nº 236, de 30 de janeiro de 2017**. Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/_viewpdf/web/?file=https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2022/0121-2022_Ato_Normativo_09052022_20220513090215.pdf. Acesso em: 02 out. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Resolução nº 121, de 09 de maio de 2022.** Altera a Resolução ANA nº 236, de 30 de janeiro de 2017. Brasília: ANA, 2022b. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2017/236-2017.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO (ANA). **Serviços analíticos e consultivos em segurança de barragens para a Agência Nacional de Águas (ANA) – Produto 01: Plano de Trabalho – Contrato n 051/ANA/2012.** Brasília: ANA, 2012.

Disponível em:

https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/publicacoes/ArquivosPNSB_Docs_Estruturantes/produto-01-plano-de-trabalho.pdf. Acesso em: 01 out. 2022.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). **Resolução nº 02, de 22 de dezembro de 2016.** Estabelece a periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das inspeções de segurança regulares de barragem, conforme art. 9º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 e define penalidade. Recife: APAC, 2016. Disponível em:

https://www.apac.pe.gov.br/images/media/1568226705_RESOLUCAO_APAC_N02_de_22_de_dezembro_de_2016_Publicacao.pdf. Acesso em: 17 fev. 2022.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA - APAC. **Resolução nº 03, de 28 de dezembro de 2017.** Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB, além de revogar a Resolução Nº 02/2016 DC APAC, de 22 de dezembro de 2016. Recife: APAC, 2017. Disponível em:

https://www.apac.pe.gov.br/images/media/1601045727_Resolucao_03.2017_DC.APAC.pdf. Acesso em: 17 fev. 2022.

ANDREETA, A. B. **Avaliação comparativa dos marcos regulatórios estaduais de segurança de barragens de usos múltiplos do Brasil.** 2020. Dissertação (Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2020.

ASDSO, 2020. **Resources for Dam Owners and Operators.** Disponível em:

<https://www.damsafety.org/dam-owners>. Acesso em: 17 fev. 2022.

BALBI, D. A. F. **Metodologias para a elaboração de planos de ações emergenciais para inundações induzidas por barragens. Estudo de caso: Barragem de Peti - MG.** Dissertação (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BARBOSA, K. G.; CARVALHO, A. L. Narrativas do trauma no jornalismo local: o rompimento da barragem da Samarco em Mariana. **Estudos em Jornalismo e Mídia**, v. 13, n. 2, p. 19-33, jul-dez. 2016

BERNARD-GARCIA, Mayari; MAHDI, Tew-Fik. **A Worldwide Historical Dam Failure's Database.** <https://doi.org/10.5683/SP2/E7Z09B>. Scholars Portal Dataverse, V1. 2020.

BRASIL. Lei Federal nº 12.334 de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 181, p. 1, 21 setembro 2010.

BRASIL. **Decreto nº 10.000, de 3 de setembro de 2019**. Dispõe sobre o Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D10000.htm. Acesso em: 17 fev. 2022.

BRASIL. Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 158, n. 189, p. 3, 1 outubro 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022 – 2040: volume II: plano de ação**. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Segurança Hídrica – Brasília: MDR, 2022.

CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2020. **Redação final do substitutivo da Câmara dos Deputados ao projeto de lei nº 550-A de 2019 do Senado Federal**. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1934260. Acesso em: 17 fev. 2022.

CAMPOS, A. L. B.; CARDIA, R. J. R. Análise da possibilidade do rompimento em cascata para a classificação de barragens localizadas no município de Várzea Grande, MT. *In*: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 23., 2019, Foz do Iguaçu/PR. **Anais [...]**. Paraná: ABRH, 2019.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS (CBDB). **Main Brazilian dams: design, construction and performance**. Brasil: BCOLD Publications, 1982. 637 p.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS (CBDB). **Guia básico de segurança de barragens**. São Paulo: CBDB, 2001. 78p.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS (CBDB). **A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI**: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens. Rio de Janeiro: CBDB, 2011.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS (CBDB). **Live Lei de Segurança de Barragens - Análise crítica do substitutivo do PL 550/2019**: avanços, desafios, entraves e riscos de retrocessos. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=9xPT0wUZY18&t=387s>. Acesso em: 17 fev. 2022.

CHAGAS, J. P. *et al.* Estudo de propagação de onda de cheia pela ruptura da barragem UHE Paranapanema. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 23., 2019, Foz do Iguaçu/PR. **Anais [...]**. Paraná: ABRH, 2019.

COMISIÓN MUNDIAL DE REPRESAS (CMR). Represas y desarrollo: un nuevo marco para la toma de decisiones. El reporte final de la Comision Mundial de Represas. Cape Town: Comision Munial de Represas, 2000.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (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 seu volume, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Disponível em: [resolucao-cnrh-143-2012.pdf](#) (snisb.gov.br). Acesso em: 17 fev. 2022a.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). **Resolução nº 144, de 10 de julho de 2012**. Estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, em atendimento ao art. 20 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que alterou o art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: [resolucao-cnrh-144-2012.pdf](#) (snisb.gov.br). Acesso em: 17 fev. 2022b.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). **Resolução nº 223, de 20 de novembro de 2020**. Altera a Resolução CNRH n. 144, de 10 de julho de 2012, que estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, e dá outras providências. Disponível em: [resolucao-223-2020.pdf](#) (snisb.gov.br). Acesso em: 17 fev. 2022b.

COSTA E SILVA, S. C.; FAIS, L. M. C. F.; FREIRIA, R. C. Segurança de barragens: panorama histórico da legislação brasileira. **ATHENAS Revista de Direito, Política e Filosofia**, ano IX, v. I, jan-dez. 2020.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. (org.). **Seleção ambiental de barragens: análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica**. 2. ed. rev. e ampl. Santa Maria, RS: Ed. UFSM; Porto Alegre, RS: ABRHidro, 2019. 464p.

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**, ano V, n. 7, fev. 2019.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA). Federal guidelines for dam safety. US: FEMA, 2004. 28p.

FERLA, R. **Metodologia simplificada para análise de aspectos hidráulicos em rompimento de barragens**. 2018. Dissertação (Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

FERRARA, M. (coord.). **Vade mecum de barragens**. 2. ed. Belo Horizonte, MG: Insight Educação Executiva, 2021. 1655p.

- FERREIRA, T. S. G. *et al.* Análise comparativa das ferramentas de geoprocessamento PE3D e SRTM na avaliação de reservatórios de Pernambuco. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 23., 2019, Foz do Iguaçu/PR. **Anais [...]**. Paraná: ABRH, 2019.
- FIROOZ FAR, A. R. *et al.* Dam and spillway rehabilitation to accommodate increased design flood: Calero Dam. *In: ANNUAL MEETING AND SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS*, 87., 2019, Ottawa. **Anais [...]** Canadá: ICOLD, 2019.
- FONTENELLE, M. C. *et al.* Avaliações de risco em barragens: estudo de caso da barragem malcozinhado no nordeste brasileiro. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 4, n. 1, p. 25-42, jan-jun. 2018.
- FRANCO, C. S. S. P. A. **Segurança de barragens: aspectos regulatórios**. 2008. Dissertação (Mestre em Engenharia do Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.
- FREITAS, C. M.; SILVA, M. A. Work accidents which become disasters: mine tailing dam failures in Brazil. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, v. 17(1), p. 21-29. 2019.
- FREITAS, C. M.; SILVA, M. A.; MENEZES, F. C. O desastre na barragem de mineração da Samarco – fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 3, p. 25-30, jul-set. 2016.
- HARTFORD, D. N. D. A case for innovation in establishing policies, practices and standards for dam safety. *In: ANNUAL MEETING AND SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS*, 87., 2019, Ottawa. **Anais [...]** Canadá: ICOLD, 2019.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). **As barragens e a água do mundo: um livro educativo que explica como as barragens ajudam a administrar a água do mundo**. Paris: ICOLD, 2008.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). **Declaração Mundial sobre Segurança de Barragens**. Portugal: ICOLD, 2019.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **CO2 emissions from fuel combustion-highlights**. Paris: IEA Publications, 2017. 162p.
- JANSEN, R. B. **Dams and public safety: a water resources technical publication**. Denver: United States Government Printing Office, 1983. 345p.
- LADEIRA, J. E. R. **Avaliação de segurança em barragem de terra, sob o cenário de erosão tubular regressiva, por métodos probabilísticos – O caso UHE São Simão**. 2007. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- LEMOS, M. A. C.; MARINO, D. M.; DIAS, A. D. Estudo sobre o cálculo da probabilidade de risco por galgamento em barragens. *In: Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro Oeste*, 5., 2019, Brasília/DF. **Anais [...]**. Distrito Federal: GEOCENTRO, 2019.

LOPES, L. M. N. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. **Sinapse Múltipla**, 5(1), p. 1-14, jun. 2016.

LOUZADA, A. F. **Segurança de barragens e governança de risco em hidrelétricas na Amazônia**. 2018. Tese de doutorado (Doutora em Ciências do Desenvolvimento Socioambiental) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

MAO, J. et al. Management system for dam-break hazard mapping in a complex basin environment. **International Journal of Geo-Information**, 2017, 6, 162; doi:10.3390/ijgi6060162

McCULLY, P. **Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams**. Zed Books, London, 2001.

MELLO, F. M. **Lições aprendidas com acidentes e incidentes em barragem e obras anexas no Brasil** [livro eletrônico] / Flavio Miguez de Mello, Sandro Salvador Sandroni, Guido Guidicini. - Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens, 2021a.

MELLO, F. M. **Lições aprendidas com acidentes e incidentes em barragem e obras anexas no Brasil - Relatos** [livro eletrônico] / Flavio Miguez de Mello, Sandro Salvador Sandroni, Guido Guidicini. - Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens, 2021b.

MENESCAL, R. A. **Gestão da segurança de barragens no Brasil** - Proposta de um sistema integrado, descentralizado, transparente e participativo. 2009. Tese de doutorado (Curso de Pós- graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (MI). **Manual de segurança e inspeção de barragens**. Brasília: MI, 2002.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (MI). **Plano de Ações Estratégicas para Reabilitação de Barragens (PLANERB) – Relatório Final**. Brasília: MI, 2018.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Relatório de demandas**. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/acao-a-informacao/governanca/relatorio_demandas_outubro_2020.pdf. Acesso em: 15 mar. 2022.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB): relatório final de avaliação ex-post**. 2021a. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/camaras-tecnicas/ctsb/snisb/3-relatorio-final.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2022.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Projeto de Lei nº 4.546**. 2021b. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=2127755&filenome=Tramitacao-PL+4546/2021. Acesso em: 06 mar. 2022.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Projeto de Lei – Marco Hídrico**. 2021c. 31 slides. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/2021-11-30-visao-geral-do-pl-do-marco-hidrico.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2022.

NACANABO, A.; KABORÉ, M. Small earth dam failure in Burkina Faso: the case of the Koumbri dam. *In: ANNUAL MEETING AND SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS*, 87., 2019, Ottawa. **Anais [...]** Canadá: ICOLD, 2019.

PASSAIA, O. A.; PAIVA, R. C. D. Análise exploratória do comportamento de reservatórios do sistema interligado nacional. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 23., 2019, Foz do Iguaçu/PR. **Anais [...]**. Paraná: ABRH, 2019.

PEREIRA, L. M. M. **Avaliação das condições de manutenção e segurança de barragens no interior do estado do Rio Grande do Norte**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

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

PERNAMBUCO. Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco: tomo III: mobilização social, proposições de ações, implementação e acompanhamento**. / Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos. Secretaria Executiva de Recursos Hídricos. – Recife: Seinfra, 2022.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO (PUC RIO). **Live Reflexões sobre a Segurança de Barragens no Brasil**. 2021. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=zPGkn_aCU3o. Acesso em: 17 fev. 2022.

RAGAZZI, L.; ROCHA, M. **Brumadinho: a engenharia de um crime**. Belo Horizonte: Editora Letramento, 2019. 256p.

RIHA, J. Small embankment dams – benefits and problems. *In: ANNUAL MEETING AND SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS*, 87., 2019, Ottawa. **Anais [...]**. Canadá: ICOLD, 2019.

ROSAL, M. C. F.; OLIVEIRA FILHO, C. T.; MONTENEGRO, S. M. G. L. A lei de segurança de barragens e a fiscalização das barragens no estado de Pernambuco. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 23., 2019, Foz do Iguaçu/PR. **Anais [...]**. Paraná: ABRH, 2019.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO (PUC RIO). **Live Reflexões sobre a Segurança de Barragens no Brasil**. 2021. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=zPGkn_aCU3o. Acesso em: 17 fev. 2022.

SALLOUM, T.; ALRHIEH, S. Dam safety framework for decision-making and asset portfolio management. *In: ANNUAL MEETING AND SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS*, 87., 2019, Ottawa. **Anais [...]**. Canadá: ICOLD, 2019.

SENADO FEDERAL, 2019. **Projeto de lei nº 550, de 2019**. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=7911402&ts=1594028526219&disposition=inline>. Acesso em: 17 fev. 2022.

SENADO FEDERAL, 2020. **Projeto de lei nº 550, de 2019 (substitutivo da Câmara dos Deputados)**. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=8123513&ts=1595210117840&disposition=inline>. Acesso em: 17 fev. 2022.

SOARES, L. L.; VIANA, M. R. Vidas arrastadas: a ruptura da barragem Algodões I. **Revista FSA**, v. 13, n. 3, p. 247-264, mai-jun. 2016.

TEODORI, S. P.; HOFGAARD, A.; KASPAR, H. Design, construction and operation of offshore and onshore flood control dams in Sweden and Switzerland. *In*: ANNUAL MEETING AND SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS, 87., 2019, Ottawa. **Anais [...]**. Canadá: ICOLD, 2019.

TSCHIEDEL, A. F. et al. Barragens e rompimentos: compilação histórica nacional e internacional. *In*: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 23., 2019, Foz do Iguaçu/PR. **Anais [...]**. Paraná: ABRH, 2019.

TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed.: 2. reimpr. Porto Alegre, RS: Ed. Universidade/UFRGS; Porto Alegre, RS: ABRH, 2001. 943p.

VIANINI NETO, L. **Estudo de ruptura da barragem da Pampulha, em Belo Horizonte: retroanálise da brecha do acidente de 1954 e ruptura hipotética nas condições atuais**. 2016. Dissertação (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

WISHART, M. J. *et al.* **Laying the foundations: a global analysis of regulatory frameworks for the safety of dams and downstream communities**. Washington: World Bank Groupe, 2020. 385 p.

ZUFFO, M. S. R. **Metodologia para avaliação da segurança de barragens**. 2005. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil na área de concentração de Recursos Hídricos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

Apêndice I – Anomalias encontradas para as barragens de terra analisadas

Anomalia	Situação: EXISTE
A.1	44
A.2	44
A.8	43
B.3.7	43
A.6	42
A.7	42
B.1.6	42
A.3	41
E.5	41
B.4.5	40
B.2.6	39
C.1.1	38
A.10	37
B.2.7	37
D.1	35
B.2.1	30
B.2.3	30
C.3.5	29
A.5	28
A.4	27
B.3.5	27
B.1.4	26
B.2.8	26
B.3.10	26
C.2.3	26
B.3.1	25
C.3.3	23
B.1.1	21
C.2.1	21
E.1	19
B.2.5	18
C.1.2	17
D.2	16
A.9	15
B.3.4	15
C.1.8	15
C.4.7	15
B.3.6	14
D.9	14
B.2.4	13
B.2.9	13
C.1.4	13
D.3	13
B.2.11	12
B.3.8	12
B.1.7	10
D.11	10
C.4.6	9

C.1.5	8
C.4.3	8
B.1.5	7
B.3.11	7
B.4.6	7
C.3.2	7
B.3.13	6
C.2.4	6
C.4.5	6
D.6	6
E.2	6
B.1.2	5
B.1.8	5
B.1.9	5
B.2.2	5
C.1.6	5
D.5	5
D.8	5
F.1	5
B.3.2	4
C.4.4	4
E.3	4
B.2.10	3
B.3.3	3
B.4.3	3
C.1.3	3
C.3.1	3
C.4.1	3
C.4.8	3
D.4	3
B.4.1	2
C.3.4	2
D.7	2
B.1.3	1
B.2.12	1
B.3.12	1
B.3.14	1
C.2.2	1
C.2.5	1
C.2.6	1
D.10	1
Anomalia	Situação: NÃO EXISTE
B.2.12	42
D.10	38
D.8	36
D.11	29
A.9	26
D.7	23
B.2.9	19
C.1.7	19
B.2.2	18
B.3.9	18
D.5	18

A.4	17
D.4	17
A.5	16
E.1	15
B.3.8	14
C.1.2	14
B.2.10	13
B.1.7	12
C.1.6	12
E.4	12
B.2.5	11
C.2.6	11
C.1.3	9
C.2.4	9
E.3	9
B.1.2	8
B.1.9	8
B.3.12	8
C.1.5	8
D.3	8
B.2.11	7
C.3.1	7
C.3.2	7
B.2.3	6
B.2.6	6
B.3.11	6
C.1.4	6
D.2	6
B.1.8	5
B.2.1	5
B.3.2	5
B.3.13	5
C.3.5	5
D.6	5
E.2	5
B.1.1	4
C.2.2	4
C.2.3	4
C.3.4	4
D.1	4
B.1.5	3
B.1.6	3
B.2.8	3
B.3.3	3
B.3.6	3
C.1.1	3
C.2.1	3
D.9	3
A.6	2
A.7	2
B.1.4	2
B.2.4	2
B.3.4	2

B.3.5	2
B.4.1	2
C.2.5	2
C.3.3	2
C.4.4	2
A.3	1
A.8	1
A.10	1
B.1.3	1
B.3.1	1
B.3.14	1
B.4.2	1
B.4.3	1
C.4.2	1
C.4.3	1
C.4.6	1
F.1	1
Anomalia	Situação: NÃO SE APLICA
B.4.2	41
B.4.4	41
B.4.1	38
B.4.3	38
B.4.6	36
B.2.4	26
C.4.8	26
C.2.2	23
C.2.5	22
C.4.2	22
B.1.3	21
C.4.1	21
C.4.3	20
B.3.4	18
C.3.4	18
F.2	18
F.3	18
F.4	18
F.5	18
F.6	18
C.4.4	16
C.4.5	16
C.4.6	16
C.4.7	16
F.1	13
B.3.3	12
B.3.5	10
B.1.4	6
B.1.9	6
B.2.3	6
B.2.11	6
B.3.14	6
C.1.4	6
C.2.1	6
C.2.3	6

B.2.8	5
B.3.10	5
C.2.4	5
C.2.6	4
A.9	3
B.4.5	3
C.1.3	3
C.3.5	3
A.3	2
B.2.12	2
C.1.5	2
C.3.1	2
C.3.2	2
C.3.3	2
A.10	1
B.1.8	1
B.3.1	1
C.1.1	1
C.1.2	1
C.1.6	1
C.1.8	1
D.1	1
B.4.2	41
B.4.4	41
B.4.1	38
B.4.3	38
B.4.6	36
B.2.4	26
C.4.8	26
C.2.2	23
C.2.5	22
C.4.2	22
B.1.3	21
C.4.1	21
C.4.3	20
B.3.4	18
C.3.4	18
F.2	18
F.3	18
F.4	18
F.5	18
F.6	18
C.4.4	16
C.4.5	16
C.4.6	16
C.4.7	16
F.1	13
B.3.3	12
B.3.5	10
B.1.4	6
B.1.9	6
B.2.3	6
B.2.11	6

B.3.14	6
C.1.4	6
C.2.1	6
C.2.3	6
B.2.8	5
B.3.10	5
C.2.4	5
C.2.6	4
A.9	3
B.4.5	3
C.1.3	3
C.3.5	3
A.3	2
B.2.12	2
C.1.5	2
C.3.1	2
C.3.2	2
C.3.3	2
A.10	1
B.1.8	1
B.3.1	1
C.1.1	1
C.1.2	1
C.1.6	1
C.1.8	1
D.1	1
Anomalia	Situação: NÃO INSPECIONADO
B.3.2	36
B.3.12	36
B.3.14	36
B.1.5	35
B.1.8	34
B.3.13	34
E.2	33
B.1.2	32
B.3.11	32
D.6	32
E.4	32
E.3	31
B.2.10	29
C.3.1	29
B.3.6	28
C.1.3	28
B.3.3	27
C.2.6	27
B.1.9	26
B.3.9	26
C.1.5	25
C.1.6	25
C.3.2	25
D.9	25
B.1.7	23
C.2.4	23

F.2	23
F.3	23
F.4	23
F.5	23
F.6	23
B.1.3	22
B.2.2	22
D.3	22
D.4	22
F.1	22
D.2	21
B.1.1	20
B.2.11	20
B.3.8	19
C.4.4	19
C.4.5	19
B.3.1	18
C.1.4	18
C.2.5	18
C.4.2	18
D.5	18
D.7	18
C.3.4	17
C.4.1	17
B.2.5	16
C.2.2	15
C.4.6	15
B.3.10	14
C.3.3	14
B.2.9	13
C.2.1	13
C.4.3	12
C.4.8	12
B.1.4	11
B.2.8	11
C.1.2	11
B.2.1	10
B.3.4	10
C.4.7	10
E.1	10
B.2.7	8
C.1.8	8
C.2.3	7
B.3.5	6
A.10	5
B.2.4	4
C.3.5	4
B.2.3	3
B.4.4	3
D.1	3
D.10	3
E.5	3
B.3.7	2

B.4.1	2
B.4.2	2
B.4.3	2
D.11	2
B.4.5	1
B.4.6	1
C.1.1	1
D.8	1

Apêndice II – Anomalias encontradas para as barragens de concreto analisadas

Anomalia	Situação: EXISTE
G.1	56
G.2	56
G.3	52
G.6	52
G.8	52
G.10	52
K.6	52
G.7	51
H.3.4	48
J.1	48
I.2.3	47
H.4.6	45
G.4	43
H.2.4	42
I.2.1	42
G.5	41
H.2.2	41
H.3.2	38
H.1.5	37
I.4.8	33
H.1.3	31
G.9	26
I.1.1	25
I.3.5	25
H.3.6	23
I.2.7	21
J.4	21
I.2.9	20
I.3.3	19
I.4.6	18
J.8	18
H.2.6	16
H.4.7	16
J.2	16
J.3	16
H.1.1	15
L.1	15
H.1.2	14
J.9	13
K.4	11
K.7	10
I.1.2	9
I.4.3	9
J.11	9
I.2.8	7
I.4.1	7
I.4.5	7
H.4.3	6

I.4.7	6
J.6	6
I.3.2	5
J.5	5
K.5	5
I.1.8	4
H.2.5	3
H.4.5	3
I.1.5	3
I.1.7	3
I.2.4	3
K.2	3
H.1.4	2
H.2.3	2
H.3.8	2
I.2.11	2
I.4.4	2
H.1.6	1
H.2.1	1
H.2.7	1
H.3.3	1
H.3.5	1
H.4.1	1
I.1.3	1
I.2.5	1
I.2.10	1
I.4.2	1
J.10	1
K.1	1
K.3	1
L.4	1
Anomalia	Situação: NÃO EXISTE
J.10	47
J.11	43
K.4	42
H.3.1	39
J.8	37
K.8	30
I.2.6	29
J.7	28
G.9	27
H.1.2	26
J.2	26
J.3	26
H.1.1	25
K.5	25
J.4	24
K.1	23
H.2.1	22
J.5	22
I.1.8	20
I.2.4	18
K.2	18

K.7	18
K.3	17
G.4	14
H.2.2	14
H.2.4	14
J.9	13
G.5	12
H.2.3	12
I.1.2	12
I.2.8	12
I.2.9	12
H.2.5	10
I.3.2	10
J.6	10
H.1.4	9
H.1.6	9
H.3.6	9
I.4.6	9
H.1.3	7
H.1.5	7
H.2.6	7
I.1.1	7
I.1.3	7
I.2.7	7
I.3.1	7
H.3.2	6
H.3.4	6
H.3.7	6
J.1	6
K.6	6
G.8	5
H.3.3	5
H.3.5	5
I.2.5	5
I.2.10	5
I.3.4	5
I.4.4	5
G.6	4
G.7	4
I.1.4	4
I.1.5	4
I.2.2	4
I.2.11	4
I.3.3	4
I.3.5	4
I.4.5	4
H.3.8	3
H.4.3	3
I.1.6	3
I.1.7	3
I.2.1	3
I.2.3	3
I.4.1	3

I.4.2	3
L.1	3
H.2.7	2
H.4.1	2
I.4.3	2
I.4.8	2
G.1	1
H.2.8	1
H.4.2	1
H.4.4	1
H.4.5	1
L.2	1
L.3	1
L.4	1
L.5	1
L.6	1
Anomalia	Situação: NÃO SE APLICA
H.2.8	57
H.2.7	55
H.4.2	54
H.4.1	52
H.4.4	49
H.4.3	44
L.2	44
L.3	44
L.5	44
L.6	44
H.3.3	43
L.4	43
H.4.7	41
H.2.3	39
H.4.5	38
I.1.4	38
I.2.2	38
H.1.4	36
H.2.5	35
H.2.6	35
H.3.5	34
I.1.5	33
I.1.3	31
H.1.6	29
H.3.8	28
L.1	28
H.3.7	27
I.2.5	27
I.2.11	26
I.4.2	26
I.3.4	25
H.2.1	24
I.4.7	24
I.1.6	23
I.2.10	23
I.4.1	23

I.1.7	20
I.4.3	20
I.1.8	19
I.1.2	18
I.4.4	18
I.1.1	17
I.3.2	17
I.3.5	17
I.3.1	16
I.3.3	16
H.4.6	14
I.2.8	13
I.4.5	13
I.2.7	12
I.4.6	9
I.4.8	9
G.3	4
G.5	4
G.9	4
J.1	4
J.2	4
J.3	4
J.5	4
J.7	4
J.9	4
J.10	4
G.10	3
I.2.3	3
I.2.6	3
J.4	3
J.6	3
J.11	3
H.3.6	2
I.2.1	2
I.2.4	2
I.2.9	2
J.8	2
G.2	1
G.6	1
G.7	1
K.3	1
K.5	1
Anomalia	Situação: NÃO INSPECIONADO
J.6	39
K.3	39
K.2	36
I.2.4	34
K.1	33
I.4.4	31
K.7	31
I.4.5	30
J.9	29
K.8	29

I.2.10	28
I.3.1	27
J.5	27
K.5	27
H.3.7	26
H.3.8	26
I.2.8	26
J.7	26
I.2.6	25
I.2.11	25
H.3.6	24
I.2.5	24
I.2.9	24
I.3.2	24
I.1.6	23
I.1.7	23
H.1.3	21
I.4.2	21
H.1.6	20
I.4.3	20
I.4.6	20
I.4.7	20
H.1.2	19
H.3.1	19
I.3.4	19
H.1.1	18
H.3.5	18
I.2.7	18
I.4.1	18
I.3.3	17
H.3.2	15
I.2.2	15
H.1.5	14
J.2	12
J.3	12
H.1.4	11
H.2.1	11
I.2.1	11
I.4.8	11
H.2.5	10
H.3.3	10
I.1.2	10
I.1.3	10
I.1.5	10
I.3.5	10
J.4	10
L.2	10
L.3	10
L.4	10
L.5	10
L.6	10
H.4.4	9
L.1	9

H.4.5	8
I.1.4	8
H.4.3	6
I.1.8	6
J.10	6
H.2.3	5
I.2.3	5
K.4	5
H.3.4	4
H.4.1	4
H.4.2	4
J.11	4
H.2.2	3
G.10	2
H.2.4	2
H.4.7	2
G.3	1
H.2.6	1
H.2.7	1
H.2.8	1
I.1.1	1
J.8	1