



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ITAITUBA
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

OSMIRO RIBEIRO DOS SANTOS JUNIOR

SEGURANÇA DE BARRAGENS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: UMA ANÁLISE
BASEADA NAS INFORMAÇÕES DO SNISB

ITAITUBA - PA

2024

OSMIRO RIBEIRO DOS SANTOS JUNIOR

**SEGURANÇA DE BARRAGENS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: UMA ANÁLISE
BASEADA NAS INFORMAÇÕES DO SNISB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus Itaituba, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior.

ITAITUBA - PA

2024

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

- S237s Santos Junior, Osmiro Ribeiro dos
Segurança de barragens na Amazônia Brasileira: uma análise baseada nas informações do SNISB / Osmiro Ribeiro dos Santos Junior – Itaituba, 2024.
- 51 p. : il.
Inclui bibliografias.
- Orientador: Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Itaituba, Curso de Bacharelado em Engenharia Civil.
1. Amazônia. 2. Barragens. 3. Segurança. 4. Estado do Pará. I. Silva Junior, Marcos Antonio Barbosa da, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 624




SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ITAITUBA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL


ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao trigésimo dia do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e quatro, às 17h, realizou-se no auditório do Campus Universitário de Itaituba, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso do discente **Osmiro Ribeiro dos Santos Junior**, intitulado por “**Segurança de Barragens na Amazônia Brasileira: uma análise baseada nas informações do SNISB**”, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Os trabalhos foram conduzidos pelo professor Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior, orientador do discente e presidente da Banca Examinadora, constituída também pelos membros convidados, o professor Andrews Malone Pontes da Costa e a engenheira Maria Cristina Alves de Lima. Após apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, a Banca Examinadora passou à arguição do discente. Encerrados os trabalhos de arguição, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre a apresentação e defesa oral do discente, considerando-o aprovado com nota 10,00. Proclamados os resultados pelo presidente da Banca, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu, Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior, na qualidade de professor orientador do Trabalho de Conclusão de Curso avaliado, lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da Banca Examinadora.


Itaituba - PA, 30 de setembro de 2024.

Documento assinado digitalmente
 **MARCOS ANTONIO BARBOSA DA SILVA JUNIOR**
Data: 30/09/2024 23:33:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Presidente/orientador(a): _____.

Documento assinado digitalmente
 **MARIA CRISTINA ALVES DE LIMA**
Data: 30/09/2024 20:03:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: _____.

Documento assinado digitalmente
 **ANDREWS MALONE PONTES DA COSTA**
Data: 01/10/2024 17:37:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: _____.

OSMIRO RIBEIRO DOS SANTOS JUNIOR

**SEGURANÇA DE BARRAGENS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: UMA ANÁLISE
BASEADA NAS INFORMAÇÕES DO SNISB**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil.

Conceito:

Data de Aprovação ___/___/___

Prof. Me. Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior - Orientador
Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof.^a Ma. Maria Cristina Alves de Lima
Universidade de Pernambuco - UPE

Prof. Andrews Malone Pontes da Costa
Universidade Federal do Oeste do Pará

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço imensamente a Deus, por tudo e todas as coisas, pois sem Ele nada disso seria possível.

Em especial, agradeço a minha noiva, que acompanhou de perto todo o percurso até aqui, sendo sempre minha base e fonte incessante de amor, apoio e incentivo durante a realização desse sonho. Emilly, eu te amo e sou grato por tudo.

Agradeço, também, a minha família e aos amigos que a Universidade e a Engenharia me deram, em particular aos queridos: Ândrea Souza, Ana Beatriz, Bruno Henrique, Fernando Lemos, Luiz Carlos e Wétonno Xavier, por todo o companheirismo e amizade durante a trajetória.

Aos professores: Jonas Leite, Luamim Sales e Marcela Santos, minha mais profunda gratidão, os senhores foram essenciais no percurso.

Por último e não menos importante, ao meu orientador, Marcos Antonio, pela dedicação, paciência e conhecimentos transmitidos. Mestre, o senhor foi fundamental para que isto se concretizasse, me faltam palavras para agradecê-lo.

RESUMO

A execução e operação de barragens na Amazônia Brasileira não só representa um desafio para a engenharia, dada a sua remota localização e as características únicas do terreno, mas também impõe um debate acerca do equilíbrio entre o desenvolvimento energético e a conservação ambiental. Diante dos últimos desastres ambientais provocados por rompimentos de barragens, e com o advento da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), atualizada em 2020, este trabalho realiza uma análise exploratória sobre a segurança das barragens na Amazônia Brasileira, usando dados e informações do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), entre os anos de 2020 e 2022. Para isso, o método adotado contemplou três etapas: 1) coleta (consulta, extração e download na base de dados do SNISB); 2) análise exploratória (tratamento, sistematização e análise dos dados); e desenvolvimento textual (análise e interpretação dos resultados à luz da PNSB). A pesquisa abrangeu a análise de dados e informações sobre: Categoria de Risco (CRI); Dano Potencial Associado (DPA); Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB); e Plano de Segurança da Barragem (PSB). A análise dos dados se deu para as barragens dos estados que compõem a Região Amazônica, e especificamente para as barragens do estado do Pará. Os resultados mostraram um aumento no número de barragens cadastradas no SNISB de: 11,5% (2020-2021) e 9,2% (2021-2022) para a Região Amazônica; e de 26,7% (2020-2021) e 10,7% (2021-2022) para o estado do Pará. Das barragens com notificação de CRI, em média, 60% destas apresentaram categorias de risco alto e médio para a Amazônia Brasileira e 57% para o estado do Pará. Quanto ao DPA, em média, 66% das barragens da Região Amazônica e 22% do estado do Pará estão classificadas como baixo, indicando cenário favorável quanto ao dano potencial associado na Amazônia, em comparação com a CRI. Quanto ao NPGB, no período de análise, nenhuma barragem apresentou classificação de emergência. Na elaboração do PSB, obrigatoriamente para barragens com CRI alto ou médio, ou DPA alto, apenas 18% apresentaram o documento nos anos de 2021 e 2022, para a Região Amazônica, enquanto que para o estado de Pará foi de 24,3%, para os mesmos anos. Em suma, a pesquisa revelou um aumento significativo no número de barragens na Região Amazônica e no estado do Pará, principalmente associadas a projetos hidrelétricos e de mineração, sem que houvesse um avanço proporcional nas práticas de fiscalização e controle.

Palavras-chave: Amazônia. Barragens. Segurança. Estado do Pará.

ABSTRACT

The construction and operation of dams in the Brazilian Amazon not only represents a challenge for engineering, given its remote location and unique terrain characteristics, but also imposes a debate on the balance between energy development and environmental conservation. In view of the recent environmental disasters caused by dam failures, and with the advent of the National Dam Safety Policy (NDSP), updated in 2020, this work carries out an exploratory analysis on the safety of dams in the Brazilian Amazon, using data and information from the National Dam Safety Information System (NDSIS), between the years 2020 and 2022. To this end, the adopted method contemplated three stages: 1) collection (consultation, extraction and download from the NDSIS database); 2) exploratory analysis (processing, systematization and analysis of data); and textual development (analysis and interpretation of results in light of the NDSP). The research covered the analysis of data and information on: Risk Category (RC); Associated Potential Damage (APD); Dam Global Hazard Level (DGHL); and Dam Safety Plan (DSP). The data analysis was carried out for dams in the states that make up the Amazon Region, and specifically for dams in the state of Pará. The results showed an increase in the number of dams registered in the NDSIS of: 11.5% (2020-2021) and 9.2% (2021-2022) for the Amazon Region; and 26,7% (2020-2021) and 10,7% (2021-2022) for the state of Pará. Of the dams with RC notification, on average, 60% of these presented high and medium risk categories for the Brazilian Amazon and 57% for the state of Pará. As for the ADP, on average, 66% of the dams in the Amazon Region and 22% in the state of Pará are classified as low, indicating a favorable scenario regarding the potential associated damage, compared to the RC. Regarding the DGHL, during the analysis period, no dams presented an emergency classification. In the preparation of the DSP, mandatory for dams with high or medium RC, or high ADP, only 18% presented the document in 2021 and 2022, for the Amazon Region, while for the state of Pará it was 24,3%, for the same years. In short, the research revealed a significant increase in the number of dams in the Amazon Region and in the state of Pará, mainly associated with hydroelectric and mining projects, without there being a proportional advance in inspection and control practices.

Keywords: Amazon. Dams. Security. State of Pará.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Seção transversal da barragem Saad El Kafara	17
Figura 2 - UHE Belo Monte na bacia do rio Xingu, Altamira-PA.....	19
Figura 3 - Representação de barragens de terra e enrocamento: (a) Terra Homogênea, (b) Terra Zoneada, (c) Enrocamento com núcleo central, (d) Enrocamento com núcleo inclinado, (e) Enrocamento com face de concreto, (f) Enrocamento com chapa de aço.	21
Figura 4 - Situação das usinas hidrelétricas na Amazônia Legal em 2019	24
Figura 5 - Etapas metodológicas empregadas	31
Figura 6 - Notificação das CRIs	34
Figura 7 - Classificação do CRI	35
Figura 8 - Notificação dos DPAs	36
Figura 9 - Classificação de DPAs.....	37
Figura 10 - Notificação dos NPGBs para o cenário 1	38
Figura 11 - Classificação dos NPGBs para o cenário 1.....	38
Figura 12 - Notificações dos NPGBs para o cenário 2.....	39
Figura 13 - Notificações de elaborações dos PSBs para o cenário 3.....	40
Figura 14 - Elaboração dos PSBs para o cenário 3	41
Figura 15 - Notificação das CRIs das barragens do Pará	42
Figura 16 - Classificação dos CRIs das barragens do Pará	43
Figura 17 - Notificação dos DPAs para as barragens do Pará.....	44
Figura 18 - Classificação das DPAs das barragens do Pará	44
Figura 19 - Notificação dos NPGBs para o cenário 1 das barragens do Pará	45
Figura 20 - Classificação dos NPGBs para o cenário 2 das barragens do Pará.....	46
Figura 21 - Notificação da elaboração dos PSBs para o cenário 3 das barragens do Pará.....	47
Figura 22 - Análise da elaboração dos PSBs considerando o cenário 3 para o estado do Pará	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução anual das barragens cadastradas no SNISB para a Região da Amazônia 33

Tabela 2 - Evolução anual das barragens cadastradas no SNISB para a Estado do Pará..... 41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CGH - Central Geradora Hidrelétrica

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CRI - Categoria de Risco

DPA - Dano Potencial Associado

ICOLD - International Commission on Large Dams

NPGB - Nível de Perigo Global da Barragem

PCH - Pequena Central Hidrelétrica

PNSB - Política Nacional de Segurança de Barragens

PSB - Plano de Segurança da Barragem

UHE - Usina Hidrelétrica

SNISB - Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos.....	15
3	JUSTIFICATIVA	16
4	REFERENCIAL TEÓRICO	17
4.1	Aspectos gerais sobre barragens	17
4.1.1	Contexto Histórico.....	17
4.1.2	Tipos de barragens.....	18
4.1.2.1	Barragem de Terra.....	20
4.1.2.2	Barragem para Aproveitamento Hidrelétrico	22
4.2	Histórico das Barragens na Amazônia Brasileira	22
4.3	Políticas Públicas para a Segurança de Barragens	24
4.3.1	Sistema de Classificação de Barragens por Categoria de Risco (CRI) e por Dano Potencial Associado (DPA).....	25
4.3.1.1	Categoria de Risco (CRI).....	25
4.3.1.2	Dano Potencial Associado (DPA).....	26
4.3.2	Sistema Nacional de Informação de Segurança de Barragens (SNISB)	27
4.3.3	Plano de Segurança de Barragem (PSB)	27
4.3.4	Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB)	28
4.4	Estudos e Pesquisas Científicas Sobre Segurança de Barragens	28
5	METODOLOGIA.....	31
5.1	Procedimentos Metodológicos	31
5.1.1	Coleta de Dados.....	32
5.1.2	Análise Exploratória de Dados	32
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
6.1	Análise Exploratória dos Dados do SNISB para os Anos de 2020, 2021 e 2022....	33
6.1.1	Região da Amazônia Brasileira	33
6.1.1.1	Categoria de Risco (CRI).....	34
6.1.1.2	Dano Potencial Associado (DPA).....	36
6.1.1.3	Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB).....	37
6.1.1.4	Plano de Segurança da Barragem (PSB)	39
6.1.2	Estado do Pará	41
6.1.2.1	Categoria de Risco (CRI).....	42

6.1.2.2	Dano Potencial Associado (DPA).....	43
6.1.2.3	Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB).....	45
6.1.2.4	Plano de Segurança da Barragem (PSB).....	46
7	CONCLUSÃO.....	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A Região Amazônica, um bioma de incomparável biodiversidade e complexidade hidrográfica, tem sido palco para o desenvolvimento de significativas obras de infraestrutura hidrelétrica. A implementação de barragens nesta área não só representa um desafio de engenharia, dada a sua remota localização e as características únicas do terreno, mas também impõe um debate acerca do equilíbrio entre o desenvolvimento energético e a conservação ambiental.

Souza (2017) descreve as barragens como infraestruturas fundamentais que viabilizam a oferta de recursos essenciais requeridos pela sociedade. Assim, um barramento pode viabilizar o suprimento para demandas do setor agrícola, tais como a irrigação, necessária para a produção alimentar, além de contribuir no controle de enchentes. Além disso, permite o aproveitamento energético de uma bacia hidrográfica, o aprimoramento da navegação fluvial, serve como zona de lazer, entre outros benefícios, para atender às necessidades da população.

No âmbito dos dispositivos consagrados pela Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), instituída pela Lei Federal nº 12.334/2010 (Brasil, 2010) e alterada pela Lei Federal nº 14.066/2020 (Brasil, 2020), o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), informa a taxonomia das barragens conforme a Categoria de Risco (CRI) e o Dano Potencial Associado (DPA), assim como a formulação do Plano de Segurança da Barragem (PSB).

A PNSB, embora represente um marco regulatório significativo, enfrenta desafios substanciais na Amazônia. Entre eles, destacam-se a insuficiência de recursos destinados à fiscalização, a falta de coordenação eficaz entre os órgãos reguladores, e a necessidade de maior responsabilização dos empreendedores de barragens. A aplicação prática das normas, como as leis anteriormente citadas, ainda não é suficiente para garantir a segurança das barragens, sobretudo as de pequeno e médio porte.

Diante do contexto, o objetivo principal desse trabalho é apresentar um panorama das barragens situadas nos estados da Amazônia Brasileira, cadastradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), através da caracterização de sua estrutura e análises de: Categoria de Risco (CRI); Dano Potencial Associado (DPA); Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB); e Plano de Segurança da Barragem (PSB). De maneira complementar, tais indicadores também foram analisados, apenas, para as barragens do estado do Pará.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo desse estudo é realizar uma análise exploratória sobre a segurança das barragens na Amazônia Brasileira, utilizando os dados e informações do SNISB, entre os anos de 2020 e 2022.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar o número total de barragens dos estados que compõem a Amazônia Brasileira e que estão cadastradas no SNISB, bem como a evolução destes cadastros no período de análise;
- Avaliar os dados/indicadores sobre Categoria de Risco (CRI), Dano Potencial Associado (DPA), Nível de Perigo Global da Barragem (NPGGB) e existência de Plano de Segurança da Barragem (PSB); e
- Realizar análise percentual dos indicadores citados para as barragens do estado do Pará, em comparação com barragens da região da Amazônia.

3 JUSTIFICATIVA

O desastre da Barragem do Fundão, operada pela Samarco Mineração S/A – uma parceria entre a Vale S/A do Brasil e a BHP Billiton anglo-australiana – ocorreu em 5 de novembro de 2015, na cidade de Mariana, Minas Gerais. Este evento é considerado um dos maiores desastres ambientais do Brasil. Mais de 40 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério de ferro, compostos principalmente por sílica, (areia) e óxido de ferro, foram liberados no ambiente. Essa liberação resultou na poluição extensiva dos cursos d'água do Rio Doce até o Oceano Atlântico, causando a morte de inúmeros peixes e outros animais, destruindo áreas florestais e parte do distrito de Bento Rodrigues. O desastre resultou em 19 mortes e deixou dezenas de pessoas desabrigadas (Thomé; Passini, 2018).

Em 25 de janeiro de 2019, pouco mais de três anos após esse trágico evento, ocorreu outro rompimento devastador de uma barragem de rejeitos de minério de ferro na mina do Córrego do Feijão, operada pela mineradora Vale, no município de Brumadinho, Minas Gerais. Este rompimento atingiu a confluência do Rio Paraopeba, contaminando a água e tornando-a imprópria para o abastecimento público, além de afetar gravemente muitos agricultores da região. Este incidente é considerado a maior tragédia humanitária do país, com aproximadamente 249 vítimas fatais, 21 desaparecidos e várias famílias desalojadas (Laurino; Ferreira Junior, 2020).

Em vista desses acontecimentos, surgiu a justificativa de buscar informações sobre as barragens presentes na Amazônia Brasileira e que estão cadastradas no SNISB, entre os anos de 2020 e 2022. A ideia seria avaliar, através de dados secundários, a Categoria de Risco (CRI) e o Dano Potencial Associado (DPA), além do Nível de Perigo Global da Barragem (NPGGB) e existência de Plano de Segurança da Barragem (PSB) das estruturas situadas nos estados da Amazônia Brasileira

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Aspectos gerais sobre barragens

4.1.1 Contexto Histórico

Barragens são estruturas de engenharia imponentes, projetadas para reter e controlar grandes volumes de água. Elas desempenham um papel crucial em diversas aplicações, incluindo a geração de energia hidrelétrica, fornecimento de água para irrigação e consumo humano, e controle de enchentes. Existem vários tipos de barragens, como as de terra, concreto e enrocamento, cada uma adequada a diferentes condições geológicas e objetivos.

A construção de barragens é uma técnica que vem sendo utilizada há muito tempo, trazendo diversos benefícios para as sociedades ao longo da história. Um exemplo fascinante é a barragem de Sadd El Kafara, localizada no Egito (Fahlbusch, 2009), que é uma das mais antigas do mundo (Figura 1). Vamos imaginar essa barragem como uma grande estrutura: ela tem 14 metros de altura (quase como um prédio de 4 andares), 98 metros de largura (quase o comprimento de um campo de futebol) e 108 metros de comprimento. O interessante é que, apesar de ser tão antiga, a barragem de Sadd El Kafara tem algo em comum com as barragens modernas: ela também possui um núcleo central feito de argila. Isso mostra como algumas técnicas de construção de barragens resistiram ao teste do tempo e continuam sendo usadas até hoje.

Figura 1 - Seção transversal da barragem Saad El Kafara



Fonte: Fahlbusch (2009)

Ao estudarmos a história das barragens, descobrimos que, por muito tempo, elas foram mais do que apenas estruturas funcionais, eram verdadeiros monumentos que simbolizavam a força e o poder econômico das civilizações que as construíam.

No entanto, como apontado por Peng et al. (2012), foi somente no final da década de 1940, no século XX, que começamos a ver uma mudança significativa nessa tendência. A partir desse período, houve um aumento notável na construção de grandes barragens, mas com um foco diferente: agora, elas eram construídas principalmente para atender às necessidades de infraestrutura, como a geração de energia e o controle de enchentes, entre outros benefícios. Isso marca uma evolução importante no propósito e na importância das barragens na sociedade moderna.

Embora sejam fundamentais para o desenvolvimento econômico e a gestão de recursos hídricos, as barragens também apresentam desafios significativos, como impactos ambientais, deslocamentos de comunidades e riscos de falhas estruturais. Portanto, a construção e manutenção de barragens exigem um planejamento cuidadoso, considerando tanto a eficiência técnica quanto a sustentabilidade ambiental e social.

4.1.2 Tipos de barragens

Barragens são estruturas projetadas para cruzar vales, desempenhando a função essencial de reter água ou resíduos gerados em atividades industriais, como as de mineração. Neste contexto, as barragens facilitam a contenção de sedimentos através do processo de decantação. Tais construções, quando edificadas com a utilização de solos e/ou rochas, são classificadas como barragens de terra ou mista (terra e enrocamento). A escolha do processo construtivo mais apropriado é influenciada pela finalidade pretendida e pelas dimensões projetadas para a barragem.

Considerando que estas obras são realizadas com materiais permeáveis, como solos e rochas, é imprescindível uma avaliação minuciosa dos aspectos mecânicos envolvidos, assim como da dinâmica hidráulica, tanto interna quanto externa, incluindo o sistema de drenagem. Ademais, é crucial investigar as características do solo e da vegetação na área circundante, visto que a capacidade do terreno em suportar determinadas estruturas ou dimensões pode ser restrita. Em certos casos, isso pode demandar a implementação de fundações mais robustas e

especializadas, com o objetivo de minimizar os riscos associados à construção da barragem (CBDB, 2013; Das, 2010; Massad, 2010).

As estruturas de barramentos são categorizadas em diversas classes, variando conforme a finalidade específica da classificação. A composição material da estrutura é frequentemente o critério primário para a classificação de barragens. Independentemente do método construtivo adotado, a função principal de um barramento é armazenar e/ou regular o fluxo de água e resíduos. Esta função é mantida independentemente do modelo operacional adotado, seja ele para geração de energia, acumulação de água, disposição de rejeitos de mineração ou armazenamento de resíduos industriais.

Conforme descrito pelo CNRH (2012), o papel das barragens transcende o mero controle do fluxo de água. É imperativo reconhecer que estas estruturas são compostas por elementos associados que são cruciais para a estabilidade, operação e manutenção da barragem. Estes incluem o próprio barramento, a crista, a borda livre, os taludes a montante e a jusante, as ombreiras ou encontros, as fundações, a drenagem interna, vertedouro ou extravasor, as comportas, o canal de descarga, o dissipador de energia, a tomada d'água e a casa de força, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - UHE Belo Monte na bacia do rio Xingu, Altamira-PA



Fonte: Norte Energia S/A (2024)

4.1.2.1 Barragem de Terra

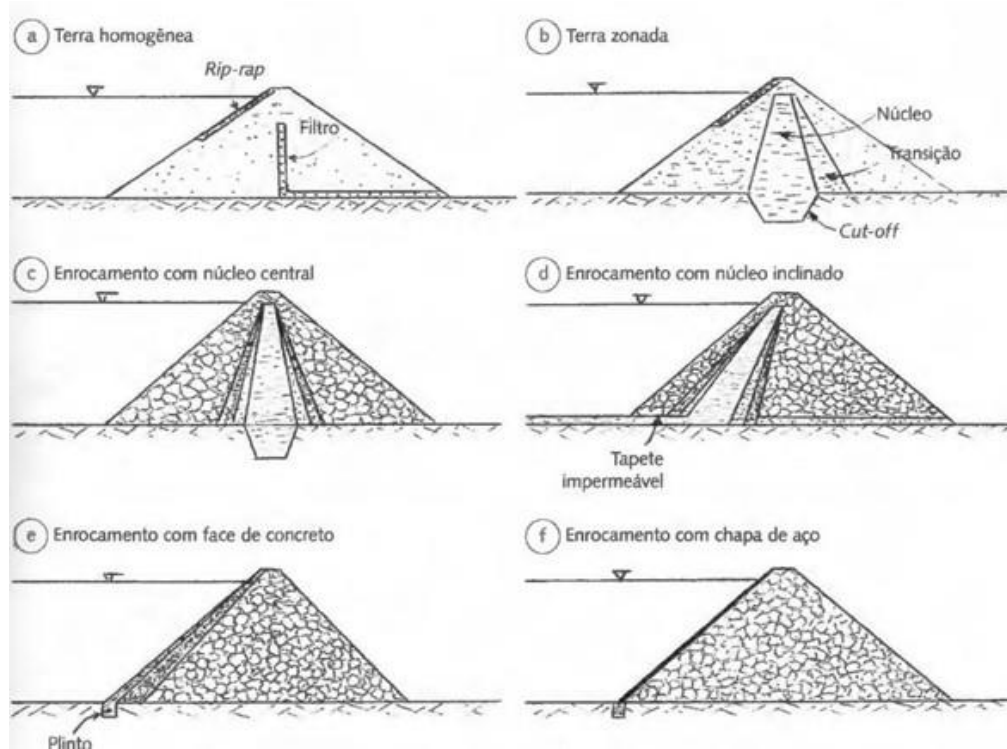
As barragens de terra representam uma categoria significativa dentre os diversos tipos de barramentos construídos no Brasil. É fundamental destacar a relevância do uso de enrocamento na engenharia de barragens, especialmente no contexto do aproveitamento hidrelétrico. A escolha do enrocamento é amplamente favorecida devido à relativa facilidade de obtenção de materiais como pedras e rochas. Além disso, uma função primordial do enrocamento é oferecer proteção eficaz ao talude da barragem contra processos erosivos.

No estudo de Kjaernsli et al. (1992), a ICOLD (International Commission on Large Dams) - organização independente, que promove a troca de conhecimentos e experiências relacionados ao planejamento, design, construção e operação de grandes barragens - define uma barragem de enrocamento como uma estrutura de aterro cujo volume é composto, em mais de 50%, por material proveniente de pedreiras, escavações em rocha ou pedras naturais. Contudo, a forma de caracterizar uma barragem evoluiu ao longo do tempo. Inicialmente focada no volume dos materiais empregados, como mencionado anteriormente, a definição moderna prioriza aspectos como a granulometria e as propriedades mecânicas dos materiais utilizados na construção da barragem.

Na geração de energia hidrelétrica, os barramentos de terra são estruturas geotécnicas selecionadas para armazenar grandes volumes de água. Essa escolha se deve às suas características mecânicas, como a capacidade de estanqueidade e resistência. A configuração de uma barragem de terra é influenciada pela sua finalidade e pelos materiais disponíveis, podendo ser construída com um perfil homogêneo ou zoneado. Conforme explicado por Marangon (2004), as barragens de terra homogêneas são construídas utilizando um único tipo de material de empréstimo. Isso implica a necessidade de os taludes serem formados por materiais mais impermeáveis para reduzir a percolação da água, além de possuírem inclinações mais suaves para assegurar a estabilidade da estrutura.

As barragens de terra homogênea, conforme descrito por Costa (2012), são estruturas compostas por um único tipo de material principal em toda sua extensão, com a possibilidade de conter elementos complementares, como filtros e proteções em pedra (rip-rap). Em contraste, as barragens zoneadas são constituídas por diferentes tipos de materiais, cuja distribuição ao longo da barragem é determinada pelas propriedades físicas e mecânicas de cada material, como sua resistência, capacidade de deformação e permeabilidade, garantindo assim a eficiência estrutural e funcional do projeto (Figura 3).

Figura 3 - Representação de barragens de terra e enrocamento: (a) Terra Homogênea, (b) Terra Zoneada, (c) Enrocamento com núcleo central, (d) Enrocamento com núcleo inclinado, (e) Enrocamento com face de concreto, (f) Enrocamento com chapa de aço.



Fonte: Costa (2012).

Barragens destinadas à contenção de rejeitos são projetadas por empresas de mineração com o propósito de armazenar os resíduos gerados durante o processo de beneficiamento de minérios em larga escala, conforme descrito por Machado (2007). O beneficiamento de minério consiste em separar o minério economicamente valioso do restante do material rochoso, que constitui o rejeito desse processo, como explicado por Araújo (2006). Este rejeito, quando descartado hidraulicamente, passa por um processo de decantação, onde as partículas sólidas se assentam no fundo do lago de decantação devido à gravidade (ANA, 2016).

No Brasil, são empregados três métodos construtivos principais para barragens de rejeitos: alteamento à montante, alteamento à jusante e alteamento por linha de centro, cada um com características e custo-benefício distintos (ANA, 2016a). As barragens à montante são construídas sobre os próprios rejeitos. Neste método, novas estruturas de aterro compactado são

sobrepostas à montante do dique inicial, sobre os rejeitos já depositados, sempre que é necessário aumentar a capacidade da barragem (ANA, 2016a). Este processo de alteamento pode ser repetido conforme a necessidade de expansão, até o limite máximo estabelecido no projeto da barragem. Contudo, devido a preocupações com a segurança desta abordagem construtiva, sua execução foi proibida e o descomissionamento das estruturas existentes foi solicitado, embora ainda possam existir locais onde este método esteja sendo utilizado, apesar de sua irregularidade.

4.1.2.2 Barragem para Aproveitamento Hidrelétrico

Uma barragem destinada ao aproveitamento hidrelétrico é uma estrutura projetada para armazenar água, que, em conjunto com suas estruturas complementares, é capaz de gerar energia elétrica aproveitando o potencial hidráulico presente em um curso d'água. Segundo Mee (2017), no contexto brasileiro, as barragens utilizadas para fins hidrelétricos são classificadas em três categorias distintas:

- CGH – Central Geradora Hidrelétrica - unidade geradora de energia com potencial hidráulico igual ou inferior a 1 MW (um megawatt), normalmente com barragem somente de desvio, em rio com acidente natural que impede a subida de peixes.
- PCH – Pequena Central Hidrelétrica - é toda usina hidrelétrica de pequeno porte cuja capacidade instalada seja superior a 1MW (um megawatt) e até 30MW (trinta megawatts) e cuja área do reservatório não seja maior que 3 km² (300 ha).
- UHE – Usina Hidrelétrica de Energia – é toda usina hidrelétrica cuja capacidade instalada seja superior a 30MW (trinta megawatts), que possua reservatório maior que 3 km² (300 ha) ou assim definida pela ANEEL.

4.2 Histórico das Barragens na Amazônia Brasileira

A região Amazônica, conhecida por sua vasta biodiversidade e importância ecológica, tem sido palco de significativas intervenções humanas, especialmente no que diz respeito à construção de barragens. Até o ano de 1975, a Bacia Amazônica brasileira estava livre de barragens, mas nas últimas quatro décadas e meia, esse cenário mudou drasticamente. Nesse período, aproximadamente duas centenas de barragens foram construídas ou estão em processo

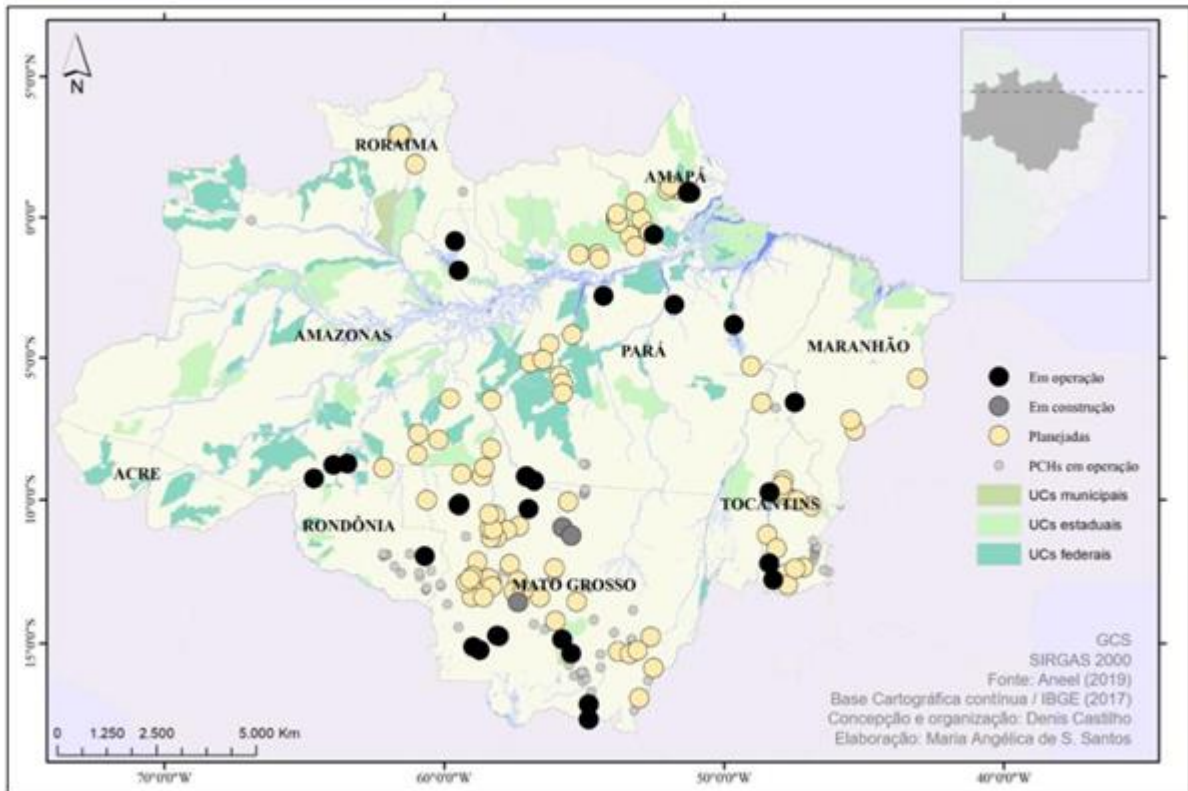
de construção, embora exista uma certa variação nos números e estudos relacionados a essas obras.

Como destaca o pesquisador Philip Fearnside, em uma entrevista concedida por e-mail, no ano de 2018, ao Instituto Humanitas Unisinos (IHU) - centro de estudos da Unisinos que promove debates interdisciplinares sobre questões sociais, ambientais, políticas e culturais, com foco na justiça social e transformação social - a primeira barragem na região foi a Coaracy Nunes em 1976. Esta foi seguida pela barragem de Curuá-Una, no Pará, em 1977. A primeira grande barragem, ou 'mega' barragem, como são frequentemente referidas, foi a de Tucuruí, inaugurada em 1984. Estas construções marcaram o início de uma nova era de desenvolvimento hidrelétrico na Amazônia, trazendo consigo tanto avanços em termos de geração de energia quanto desafios ambientais e sociais significativos.

A construção de barragens na Amazônia tem sido uma fonte de controvérsia e conflito social, afetando profundamente as comunidades locais, especialmente os povos indígenas. Exemplos notáveis desses conflitos podem ser observados em projetos como Tucuruí, Balbina, Belo Monte, e nas planejadas barragens no Rio Xingu e Tapajós. São obras que geram consequências sociais significativas, incluindo o deslocamento forçado de populações devido à formação dos reservatórios e os efeitos sobre os residentes nas áreas a jusante das barragens (Fearnside, 2019).

A Figura 4 espacializa as usinas hidrelétricas, no ano de 2019, para as condições de: em operação, em construção e planejado.

Figura 4 - Situação das usinas hidrelétricas na Amazônia Legal em 2019



Fonte: Aneel (2019b)

4.3 Políticas Públicas para a Segurança de Barragens

Segurança de barragens no Brasil tem sido uma preocupação crescente, especialmente em vista de recentes desastres ambientais e humanos. Neste contexto, a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) surge como uma iniciativa crucial, visando estabelecer um marco regulatório robusto e eficaz para a gestão e fiscalização dessas estruturas. A PNSB representa um esforço conjunto de diversos órgãos e entidades para garantir a segurança das barragens e a proteção das comunidades ao seu redor.

A PNSB foi instituída como uma política de estado essencial para promover uma cultura de segurança nas barragens brasileiras. Conforme destacado por Farias (2019), seu objetivo é integrar diferentes órgãos e entidades federativas para assegurar a integridade das barragens e proteger as vidas que delas dependem ou que residem em suas proximidades. Esta política foi formalizada com a promulgação da Lei nº 12.334, em 10 de setembro de 2010

(Brasil, 2010), e é complementada pelo Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). A lei, que levou sete anos para ser aprovada e foi implementada décadas após a construção da maioria das barragens no país, é considerada um avanço significativo para a segurança das barragens, como apontado por Silva et al. (2021).

De acordo com Leal et al. (2022), a Agência Nacional de Águas e de Saneamento Básico (ANA) desempenha um papel central na PNSB, atuando como órgão fiscalizador principal. A ANA é responsável por promover a coordenação entre os diversos órgãos de fiscalização, implementando efetivamente a PNSB e gerenciando o SNISB.

Além disso, a PNSB passou por uma atualização significativa com a Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020 (Brasil, 2020). Esta nova legislação trouxe mudanças importantes, incluindo a imposição de maiores responsabilidades aos empreendedores de barragens e o aumento dos valores das multas em casos de acidentes, conforme mencionado na legislação brasileira de 2020 (Brasil, 2020).

4.3.1 Sistema de Classificação de Barragens por Categoria de Risco (CRI) e por Dano Potencial Associado (DPA)

A Lei nº 12.334, de 2010, introduz um sistema de classificação de barragens baseado em dois critérios principais: a Categoria de Risco (CRI) e o Dano Potencial Associado (DPA). Este sistema é destacado no Artigo 6º como o primeiro instrumento da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Além disso, o Artigo 7º estabelece que a responsabilidade de definir a categoria de risco de cada barragem cabe aos órgãos fiscalizadores:

Art. 7º: As barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) (Brasil, 2010).

4.3.1.1 Categoria de Risco (CRI)

A Categoria de Risco (CRI) de uma barragem classifica-se em três níveis: alto, médio e baixo. Essa classificação reflete o potencial da própria estrutura em influenciar a probabilidade de um acidente ocorrer. Além disso, a CRI é utilizada para melhorar os

procedimentos de inspeção e monitoramento dos programas que visam à segurança das barragens, conforme apontado (Viana et al., 2015).

Os critérios que os órgãos fiscalizadores devem usar para classificar as barragens quanto à Categoria de Risco (CRI) foram estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Esses critérios estão formalizados no Artigo 4º da Resolução CNRH N° 143, datada de 10 de julho de 2012.

Art. 4º: Quanto à categoria de risco, as barragens serão classificadas de acordo com aspectos da própria barragem que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente, levando-se em conta os seguintes critérios gerais:
I - Características técnicas: [...]
II - Estado de conservação da barragem: [...]
III - Plano de Segurança da Barragem: [...] (CNRH, 2012, p. 2).

Com as alterações introduzidas pela Lei nº 14.066 de 2020, foi adicionado um novo parágrafo ao artigo 7 da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Esse parágrafo especifica que o órgão fiscalizador deve requerer que o responsável pela barragem implemente medidas para diminuir a categoria de risco da estrutura (Brasil, 2020).

4.3.1.2 Dano Potencial Associado (DPA)

O Dano Potencial Associado (DPA) a uma barragem é classificado como alto, médio ou baixo. Esta classificação é determinada com base no potencial de perda de vidas humanas e nos impactos econômicos, sociais e ambientais que podem ocorrer em caso de uma ruptura. Este framework é detalhado por Petry et al. (2018). Além disso, os critérios utilizados pelos órgãos fiscalizadores para classificar o DPA foram estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e estão codificados no Artigo 5º da Resolução CNRH N° 143, de 10 de julho de 2012 (CNRH, 2012):

Art. 5º: Os critérios gerais a serem utilizados para classificação quanto ao dano potencial associado na área afetada são:
I - Existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas; [...] (CNRH, 2012, p. 3).

4.3.2 Sistema Nacional de Informação de Segurança de Barragens (SNISB)

O Sistema Nacional de Informação de Segurança de Barragens (SNISB) desempenha um papel crucial na segurança de barragens no Brasil, encarregando-se da coleta, armazenamento, tratamento, gestão e distribuição de informações pertinentes, conforme estabelecido pela Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010. Sob a gestão da Agência Nacional de Águas e de Saneamento Básico (ANA) e regulado pela Resolução CNRH Nº 144 de 10 de julho de 2012, o sistema abrange barragens tanto dentro quanto fora da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). No entanto, Silva et al. (2021) identificam uma lacuna significativa nos dados do sistema entre 2011 e 2018, destacando a falta de especificações e informações básicas. Esta deficiência impede a implementação eficaz de práticas de projeto que se beneficiem de experiências anteriores, representando um desafio substancial para a melhoria contínua da segurança das barragens no país.

Art. 16º: O Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) tem o objetivo de coletar, armazenar, tratar, gerir e disponibilizar para a sociedade as informações relacionadas à segurança de barragens em todo o território nacional (Brasil, 2012).

4.3.3 Plano de Segurança de Barragem (PSB)

O Plano de Segurança da Barragem (PSB) constitui um componente essencial na gestão de segurança de barragens, conforme delineado na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Este plano, obrigatório para todas as barragens que fazem parte da PNSB, compila um conjunto de informações técnicas vitais para a segurança dessas estruturas. A importância do PSB é formalmente reconhecida no Artigo 6 da Lei nº 12.334, de 2010. Além disso, sua implementação e regulamentação são especificadas na Resolução CNRH Nº 144, datada de 10 de julho de 2012, consolidando sua posição como um instrumento crucial dentro da estrutura regulatória de segurança de barragens no Brasil:

O Plano de Segurança da Barragem é um instrumento da PNSB de implantação obrigatória pelo empreendedor, cujo objetivo é auxiliá-lo na gestão da segurança da barragem. [...] O instrumento deve servir como uma ferramenta de planejamento de gestão da segurança da barragem (NEVES, 2018, p. 23).

4.3.4 Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB)

A classificação por Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB) é categorizada em quatro estados: normal, atenção, alerta ou emergência. Esse sistema de classificação é estabelecido conforme a Resolução ANA nº 236, datada de 30 de janeiro de 2017. A norma estipula que a classificação é atribuída com base no nível de comprometimento da segurança da barragem, influenciado pela presença combinada de anomalias.

Art. 12º: O Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB) deverá constar no Relatório da ISR, considerando as seguintes definições: [...]
c) Alerta: quando o efeito conjugado das anomalias compromete a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências imediatas para eliminá-las.
d) Emergência: quando o efeito conjugado das anomalias representa alta probabilidade de ruptura da barragem (ANA, 2017).

4.4 Estudos e Pesquisas Científicas Sobre Segurança de Barragens

Além desta pesquisa, há outros estudos acerca da segurança de barragens que são importantes de serem, ao menos brevemente, citados, haja vista que tratam de regiões diversas ao estado do Pará e da Amazônia. Considerando isso, foi possível sintetizar seis trabalhos relacionados ao presente estudo, os quais serão abordados a seguir.

O primeiro deles é o artigo intitulado "Segurança de Barragens no Estado do Rio de Janeiro: Identificação e Fiscalização dos Principais Barramentos", de autoria de Pedro de Souza Garrido Neto, Fernanda Spitz Dias, Daniel Firmo Kazay, José Edson Falcão de Farias Júnior e Vanessa Schinaider do Amaral Pereira Gonçalves, apresentado no XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos em 2017. Esse trabalho discute a implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), estabelecida pela Lei Federal nº 12.334/2010, com foco nas atividades do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) no estado do Rio de Janeiro. Ele destaca o esforço de identificação e fiscalização de 11 barragens prioritárias, considerando o Dano Potencial Associado (DPA), além das vistorias e notificações aos responsáveis para que apresentem planos de segurança e implementem medidas corretivas, como monitoramento e reparos (Neto et al., 2017).

Seguindo essa linha, em 2019, Renan Ribeiro Modesto apresentou a dissertação "Análise do Monitoramento de Segurança de Barragens de Terra do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte: Estudo de Caso de Diques do Complexo no Cenário do

Enchimento e Operação", no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental da Universidade Federal do Pará. O estudo analisa o monitoramento de segurança dos diques 01-A, 01-B e 01-C da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, entre 2015 e 2018, identificando anomalias estruturais. O autor aponta falhas na correlação entre inspeções visuais e instrumentais, além de destacar a necessidade de ações corretivas e melhorias nos métodos de monitoramento para garantir a segurança dessas barragens (Modesto, 2019).

Em 2020, foi apresentada a dissertação intitulada "Índice de Segurança de Pequenas Barragens (ISPB) como Método para a Avaliação da Segurança de Pequenas Barragens de Água", de autoria de Willian Leandro Henrique Pinto, na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), sob a orientação da Professora Dra. Laura Maria Canno Ferreira Fais. Esse estudo desenvolveu o Índice de Segurança de Pequenas Barragens (ISPB) como uma ferramenta específica para avaliar a segurança de pequenas barragens, que representam uma parte significativa das barragens no Brasil, mas que não estão totalmente abrangidas pela PNSB. Aplicando o ISPB em barragens na microbacia do Ribeirão das Cabras, o trabalho forneceu subsídios para decisões de manutenção e prevenção de riscos, facilitando o monitoramento dessas estruturas (Pinto, 2020).

Avançando para 2022, Renato Fausto Moura de Medeiros apresentou o trabalho "Segurança das Barragens do Nordeste Brasileiro: uma Análise com Base nas Informações Cadastradas no SNISB", na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, sob a orientação do Prof. Dr. Osvaldo de Freitas Neto. O estudo utilizou dados do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) para avaliar a situação das barragens no Nordeste brasileiro, revelando que um terço das barragens na região e 45% das barragens no Rio Grande do Norte não possuem classificações quanto ao risco ou Dano Potencial Associado. Além disso, destacou que muitas barragens com classificação apresentam níveis críticos de CRI e DPA, indicando uma situação de insegurança estrutural com baixa adesão às exigências legais (Medeiros, 2022).

Já em 2023, no XXXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, foi apresentado o trabalho "Segurança das Barragens do Sul Brasileiro: Uma Análise Comparativa entre a Região Sul e o Estado do Paraná", de Marcela Maier Farias Czap, Flávia Konowalenko e Christian Jorge Rogal de Andrade. O estudo faz uma análise comparativa dos dados de segurança das barragens da região Sul e do estado do Paraná, apontando falhas nas classificações de risco e uma alta proporção de barragens sem Plano de Segurança. Os autores destacam a necessidade

de melhorias no gerenciamento e fiscalização para garantir a segurança dessas barragens e minimizar riscos socioambientais (Czap et al., 2023).

Por fim, também em 2023, o trabalho intitulado "Avaliação de Segurança de Barragens de Mineração: Critérios e Premissas com Base nas Legislações Vigentes e na Literatura Científica", foi elaborado por Agnaldo Carneiro, Camila Salgueiro, Arivânia Rodrigues, Túlio Pedrosa, Rayane Mattos e André Lima, e apresentado no XXXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens em Foz do Iguaçu. Este estudo analisa as normas e legislações aplicáveis à segurança de barragens de mineração, com ênfase na NBR 13028/2017, propondo critérios para a simulação de cenários de operação em condições extremas. A pesquisa destaca como diferentes abordagens podem impactar os fatores de segurança e, conseqüentemente, a tomada de decisões sobre o nível de emergência das barragens. A conclusão do estudo reforça a importância de uma análise criteriosa e conservadora na gestão da segurança dessas estruturas, sobretudo considerando as incertezas inerentes aos projetos geotécnicos (Carneiro et al., 2023).

Dessa forma, esses trabalhos, realizados entre os anos de 2017 e 2023, abordam a segurança de barragens em diferentes regiões do Brasil, destacando desafios e propondo soluções para melhorar o monitoramento, a fiscalização e a gestão dessas importantes infraestruturas, bem como o presente estudo.

5 METODOLOGIA

Esta pesquisa é classificada, quanto à natureza, como básica; quanto à abordagem, como quantitativa e qualitativa; quanto aos objetivos, como exploratória e descritiva; e, quanto aos procedimentos, como documental e bibliográfica. A escolha por uma abordagem metodológica exploratória justifica-se pela necessidade de investigar um tema pouco explorado no contexto amazônico, especialmente no que diz respeito à avaliação dos riscos associados às barragens e à categorização do dano potencial envolvido.

Conforme destacado por Marconi e Lakatos (2003, p. 83), "método é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo [...] traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista." Nesse sentido, a metodologia adotada orientou uma análise detalhada das condições de segurança das barragens situadas na Amazônia Brasileira, abrangendo os estados do Acre, Amazonas, Amapá, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins.

Após a análise conjunta dos estados que compõem a Região Norte, procedeu-se a uma análise específica para os dados das barragens do estado do Pará, com o objetivo de aprofundar a compreensão das condições de segurança no contexto regional.

5.1 Procedimentos Metodológicos

A Figura 5 apresenta a síntese metodológica adotada na pesquisa. Na sequência, tem-se a descrição e detalhamento destas etapas.

Figura 5 - Etapas metodológicas empregadas



Fonte: Elaborado pelo Autor

5.1.1 Coleta de Dados

A análise foi fundamentada por meio da base de dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), no período compreendido entre os anos de 2020 e 2022 relativos à região Amazônia Brasileira e ao estado do Pará. A definição do período de análise se deu por uma lacuna significativa nos dados do SNISB entre 2011 e 2018, destacando a falta de especificações e informações básicas, conforme também constataram Silva et al. (2021).

Os dados foram disponibilizados via web, através do site do SNISB, em formato de arquivo .xls. Este estudo reconhece algumas limitações inerentes ao uso de dados secundários. Dentre essas limitações, destaca-se a potencial incompletude ou atualização insuficiente dos registros no SNISB, o que pode impactar a precisão dos resultados obtidos. Ademais, a pesquisa está restrita ao período de 2020 a 2022, o que limita a análise de tendências mais amplas ou a consideração de barragens cadastradas recentemente. Assim, tais fatores foram ponderados na discussão dos resultados, de modo a contextualizar as conclusões dentro das limitações metodológicas identificadas.

5.1.2 Análise Exploratória de Dados

A interpretação dos dados foi realizada à luz dos critérios estabelecidos pela Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), assim como das normas técnicas vigentes no Brasil, garantindo que as conclusões estivessem embasadas em parâmetros amplamente reconhecidos pela comunidade técnica e científica. A PNSB, instituída pela Lei nº 12.334/2010 e atualizada pela Lei nº 14.066/2020, estabelece as diretrizes para a classificação das barragens por categoria de risco e dano potencial associado, além de regulamentar a elaboração e implementação dos Planos de Segurança de Barragens (PSB).

Nessa etapa, foi utilizado o software Microsoft Excel, para o tratamento necessário dos dados, em planilhas eletrônicas, a fim de realizar as análises. Na oportunidade foram gerados gráficos e tabelas que compuseram a análise proposta na pesquisa. Os resultados foram obtidos para a Região Amazônica e, apenas, para o estado do Pará, sendo sistematizados por: Categoria de Risco (CRI); Dano Potencial Associado (DPA); Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB); e existência de Plano de Segurança da Barragem (PSB).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Análise Exploratória dos Dados do SNISB para os Anos de 2020, 2021 e 2022

6.1.1 Região da Amazônia Brasileira

Até o ano de 2020, foram registrados um total de 2.478 barragens nos estados que compõem a Região Amazônica do Brasil. No ano seguinte, em 2021, houve um aumento de 11,5% neste quantitativo, chegando à 2.763 barragens registradas no SNISB. Já no ano de 2022, o aumento foi um pouco menor, com 9,2%, chegando a 3.016 barragens registradas. Em média, o aumento em cada ano, no período de 2020 a 2022, representou cerca de 10%. A Tabela 1 apresenta o crescimento entre os anos de 2020, 2021 e 2022.

Tabela 1 - Evolução anual das barragens cadastradas no SNISB para a Região da Amazônia

Ano	Cadastrados	Variação
2022	3.016	9,2%
2021	2.763	11,5%
2020	2.478	-

Fonte: Elaborado pelo Autor

A caracterização das barragens cadastradas no SNISB, durante o período analisado, revela um aumento no número dessas estruturas na Amazônia, reflexo da intensificação das atividades de infraestrutura hidrelétrica, agricultura e industrial. Tal aumento também pode ser visto como um avanço no mapeamento e na fiscalização dessas estruturas.

A análise dos dados mostrou uma predominância de barragens de terra e enrocamento, o que pode ser atribuído à abundância de materiais locais e à adequação dessas técnicas às condições geotécnicas da região. Marangon (2004) e Massad (2010) destacam a eficácia dessas estruturas em ambientes onde a disponibilidade de materiais e as condições topográficas influenciam diretamente na escolha do tipo de barragem a ser implementada.

As barragens de terra, em particular, apresentam uma configuração que varia conforme a finalidade de uso, podendo ser homogêneas ou zoneadas. As barragens zoneadas, construídas com materiais de diferentes propriedades mecânicas, são favorecidas pela maior capacidade de resistência a infiltrações e estabilidade estrutural em terrenos complexos, como é o caso da

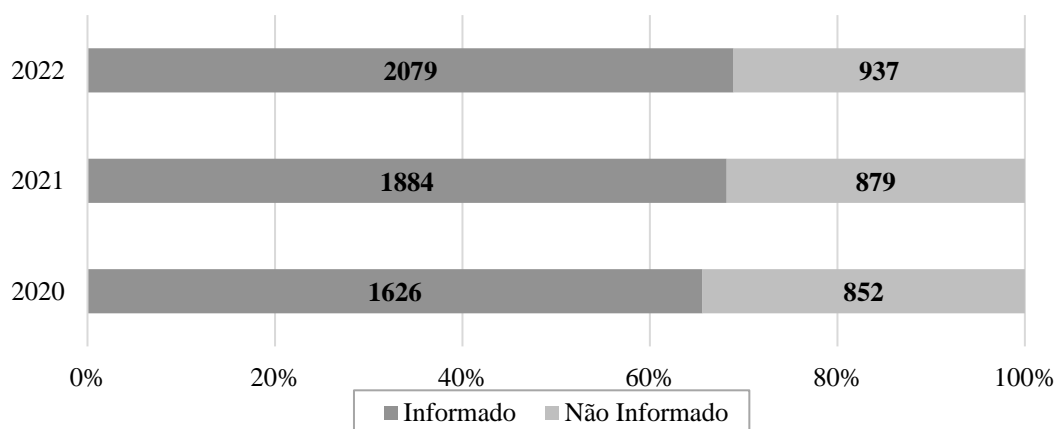
Amazônia. No entanto, a análise dos dados também aponta para a existência de barragens destinadas ao armazenamento de rejeitos de mineração, que apresentam uma série de desafios adicionais em termos de segurança e sustentabilidade ambiental, conforme discutido por Araujo (2006) e Machado (2007).

A correlação entre o tipo de barragem e sua classificação de risco sugere que as barragens de rejeitos de mineração, que utilizam o método de alteamento à montante, são particularmente suscetíveis a incidentes, como demonstrado pelos desastres de Mariana em 2015 e Brumadinho em 2019. Esses métodos construtivos, embora inicialmente econômicos, têm se mostrado problemáticos em termos de segurança a longo prazo, o que levou à sua proibição recente, como apontado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2016).

6.1.1.1 Categoria de Risco (CRI)

Em 2020, 34% das barragens não reportaram a classe de CRI em que se enquadram. Em 2021 e 2022, houve uma redução nesse percentual, alcançando cerca de 31%. Entre 2020 e 2022, essa proporção manteve-se estável, estando, a uma média de 32%. As barragens, que não reportaram a classe de CRI, são: contenção de rejeitos de mineração, contenção de sedimentos e contenção de resíduos industriais. A Figura 6 apresenta a notificação das CRIs para as barragens cadastradas no SNISB da Amazônia Brasileira.

Figura 6 - Notificação das CRIs



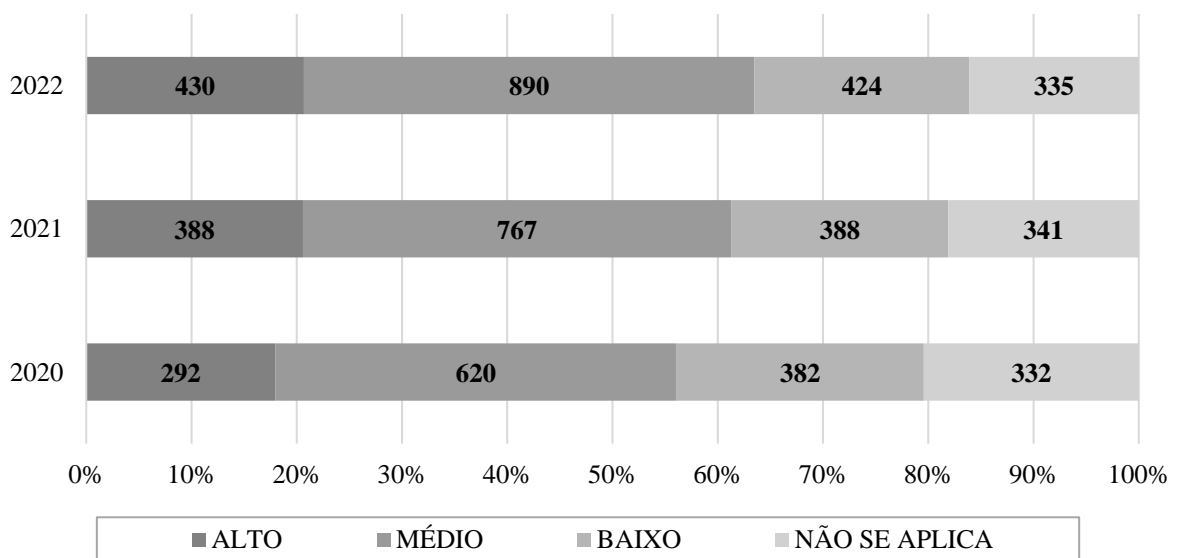
Fonte: Elaborado pelo Autor

Observa-se que o maior percentual de barragens sem informações fornecidas ocorreu em 2020, ano marcado pelo início da pandemia de COVID 19, permanecendo estável em 2021 e 2022. Esse fato pode indicar uma deficiência por parte das barragens, recentemente cadastradas, em realizar a categorização da CRI, possivelmente associada às dificuldades geradas pelas medidas de enfrentamento da pandemia.

Quanto à classificação da CRI em alto, médio, baixo e não se aplica, observa-se na figura 7 que se manteve estável entre os anos analisados, apesar da variação expressiva do quantitativo de cadastros e do aumento da proporção de barragens que não informaram a categoria em relação a 2020. É notório o cenário de baixa segurança nas barragens da região, apresentando, em média, 20% destas estruturas categorizadas como CRI alto e 40% como CRI médio, correspondendo, juntas, a 60% das barragens com notificação da categoria de risco.

Esses dados acendem um sinal de alerta, tendo em vista as características singulares do bioma amazônico e os impactos devastadores que as falhas nas barragens poderiam causar. De acordo com Peng et al. (2012), a classificação de uma barragem como de "alto risco" implica na necessidade de uma vigilância contínua e na implementação de medidas de segurança rigorosas, dada a vulnerabilidade dessas estruturas a falhas catastróficas.

Figura 7 - Classificação do CRI

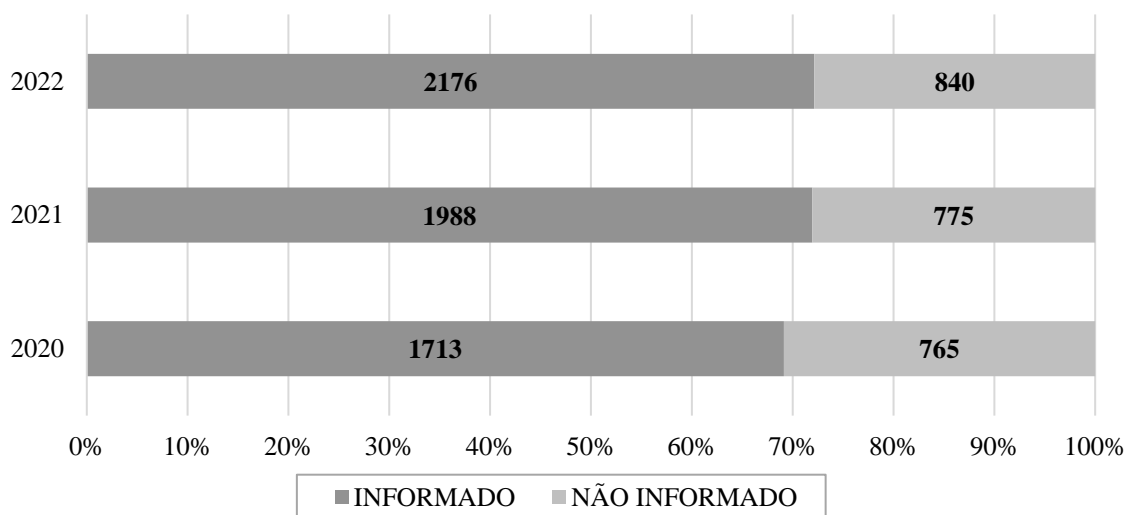


Fonte: Elaborado pelo Autor

6.1.1.2 Dano Potencial Associado (DPA)

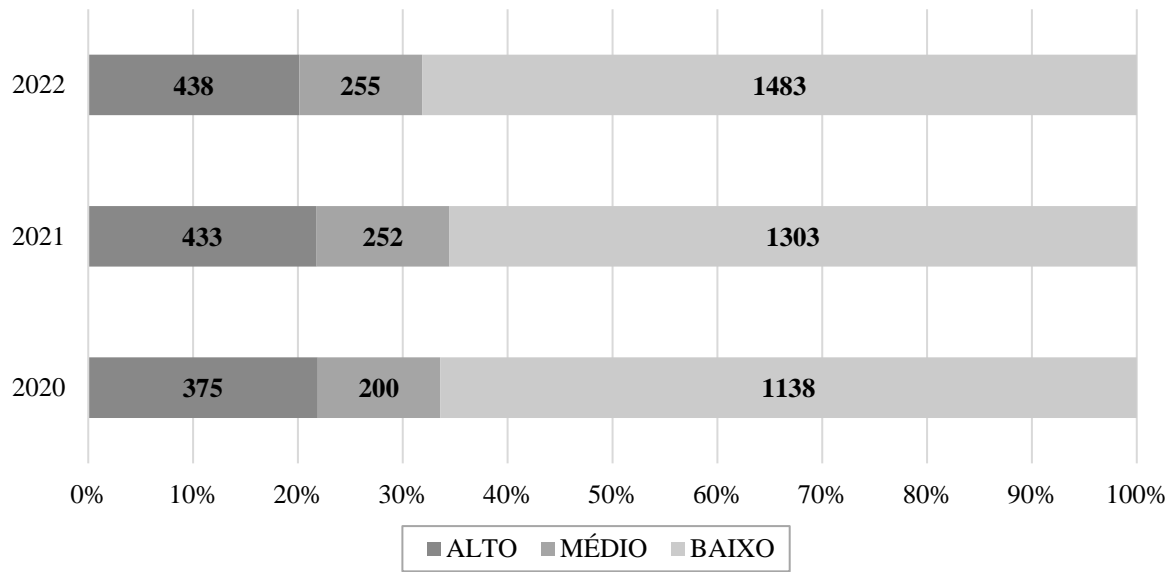
Em 2020, 30% das barragens não notificaram o DPA. Em 2021, essa proporção baixou para 27% e se manteve estável em 2022. Esse comportamento, similar ao que ocorre com a CRI, podendo, também, ser um indicativo de uma deficiência das barragens recém cadastradas em categorizar o DPA. O gráfico da figura 8 indica a notificação dos DPAs nos cadastros do SNISB para a região da Amazônia Brasileira entre os anos de 2020 a 2022.

Figura 8 - Notificação dos DPAs



Fonte: Elaborado pelo Autor

Quando avaliadas apenas as barragens que informaram o DPA entre 2020 e 2022, observou-se que, em média, 22% reportaram DPA alto, seguido de 12% com DPA médio e 66% com DPA baixo. Esse resultado indica um cenário favorável em relação à segurança das barragens da Região Amazônica, em comparação com a CRI. O gráfico da figura 9 apresenta a distribuição da classificação de DPAs para as barragens da Região Amazônica.

Figura 9 - Classificação de DPAs

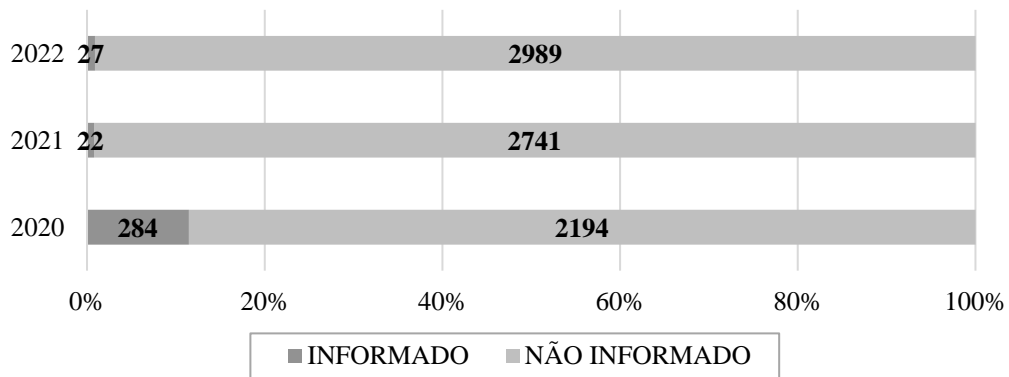
Fonte: Elaborado pelo Autor

6.1.1.3 Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB)

a) Cenário 1: Considerando todas as barragens cadastradas no SNISB.

O NPGB apresentou um nível muito baixo de notificação para os anos analisados. No ano de 2020, 12% das barragens apresentaram o NPGB. Nos anos seguintes, em 2021 e 2022, houve uma queda significativa, em que apenas 1% das barragens cadastradas, apresentaram a informação. A figura 10 indica a notificação dos NPGBs para o cenário 1.

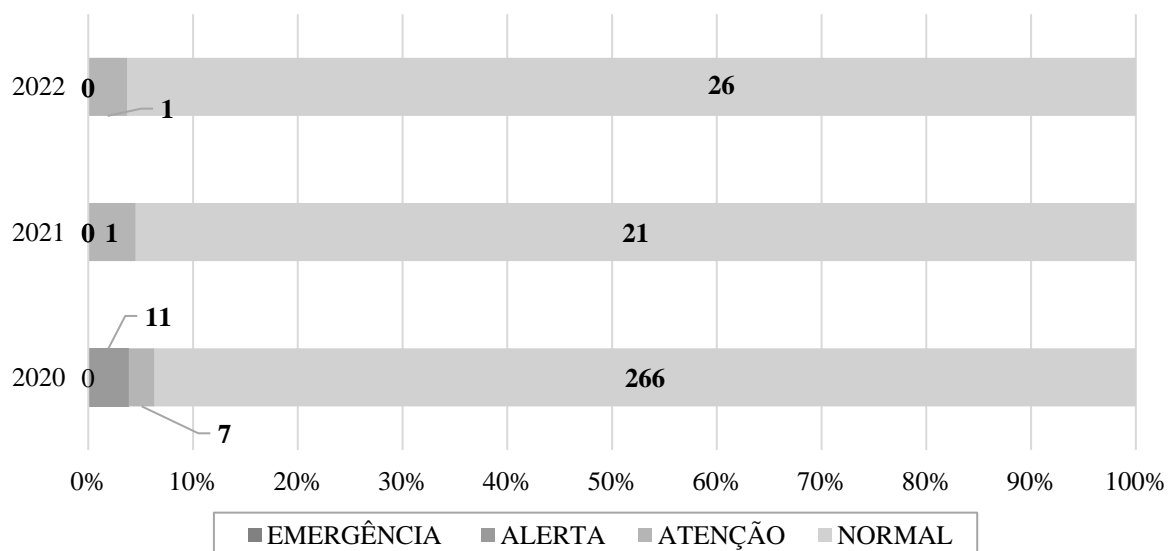
Figura 10 - Notificação dos NPGBs para o cenário 1



Fonte: Elaborado pelo Autor

Quando avaliadas apenas as barragens que informaram o NPGB, pode-se observar que nenhuma das barragens, neste intervalo de tempo do estudo, foi classificada como de emergência. Entre as barragens que informaram o NPGB alerta, somente no ano de 2020 tivemos 11 (4%). No decorrer dos anos, observou-se uma diminuição na quantidade de barragens em nível de alerta, chegando 1 barragem em ambos os anos (2021 e 2022). A figura 11 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, abaixo, indica a distribuição da classificação de NPGB para as barragens da Região Amazônica.

Figura 11 - Classificação dos NPGBs para o cenário 1

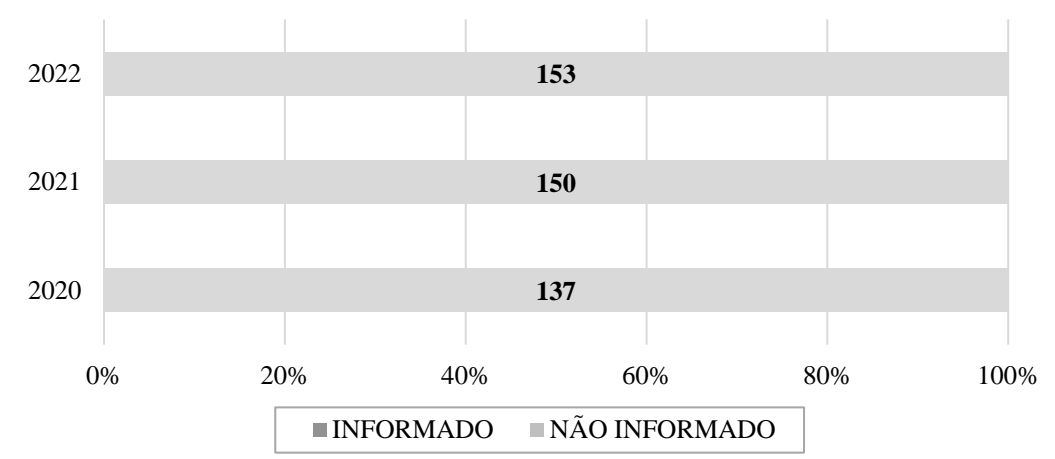


Fonte: Elaborado pelo Autor

b) Cenário 2: Barragens com CRI e DPA alto

Ao limitar a análise do NPGB para as barragens com CRI e DPA categorizados como alto, podemos ter uma visão do indicador para as barragens de maior risco e maior dano associado à um potencial ruptura. A análise das CRIs e do DPA, entre 2020 e 2022, revelou que uma parcela significativa dessas estruturas é classificada como de "alto risco" e "elevado dano potencial", variando de 137 a 153 barragens. Porém, 100% das barragens do cenário 2 não informaram NPGB, informação preocupante pois as estruturas de contenção de rejeito estão incluídas neste cenário. O gráfico da figura 12 indica a notificação dos NPGBs considerando o cenário 2.

Figura 12 - Notificações dos NPGBs para o cenário 2



Fonte: Elaborado pelo Autor

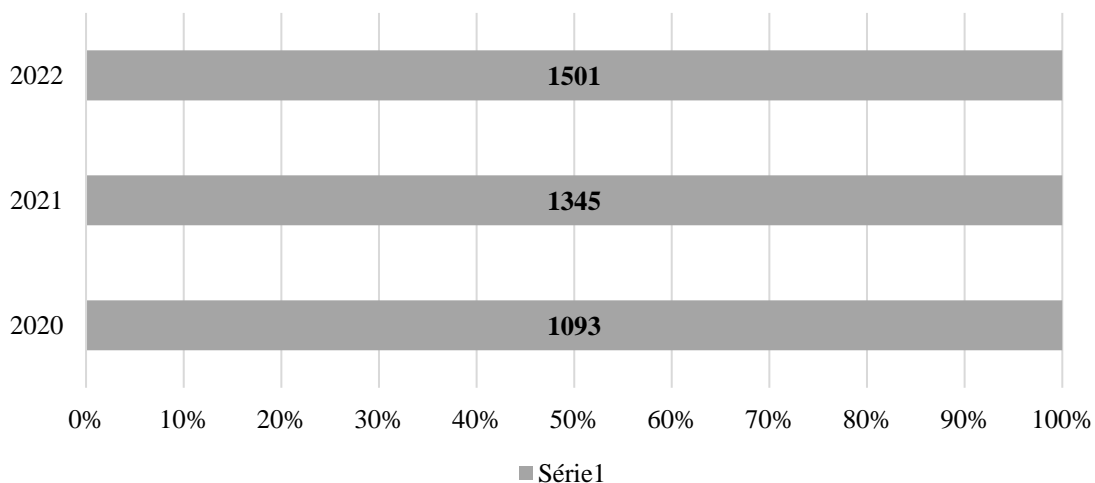
6.1.1.4 Plano de Segurança da Barragem (PSB)

a) Cenário 3: Barragens que apresentam a obrigatoriedade do PSB

Neste cenário, consideram-se todas as barragens com CRI alto ou médio, ou DPA alto, critérios utilizados para determinar a obrigatoriedade da elaboração do PSB. O PSB teve 100%

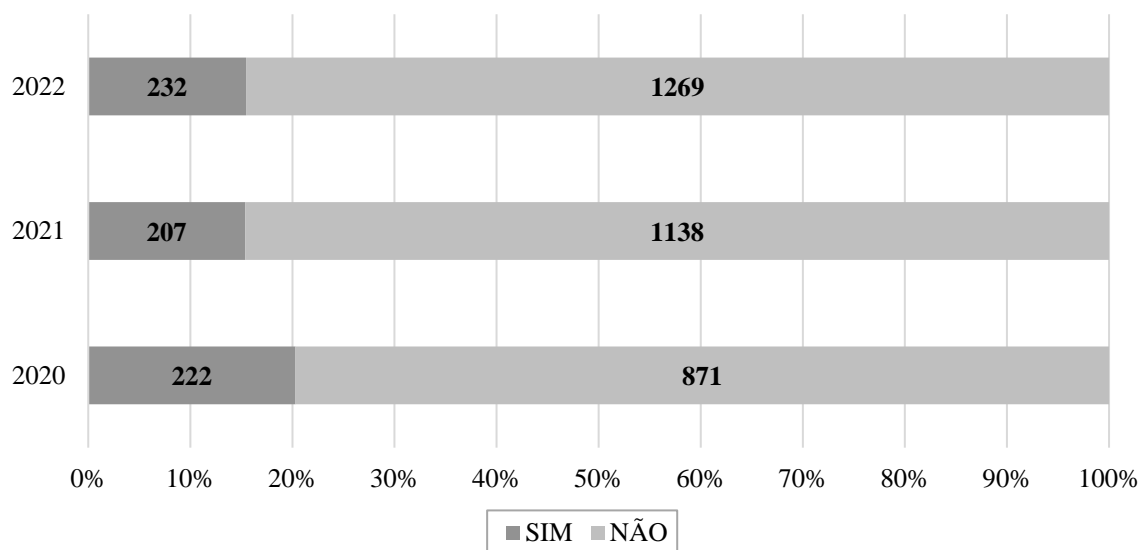
de respostas submetidas nos cadastros do SNISB. O gráfico da figura 13 indica a notificação da elaboração dos PSBs, considerando o cenário 3.

Figura 13 - Notificações de elaborações dos PSBs para o cenário 3



Fonte: Elaborado pelo Autor

A análise das respostas submetidas apresenta uma realidade preocupante. Apenas 18% das barragens apresentaram o documento em 2021 e 2022, indicando uma baixa em relação a 2020. Considerando a obrigatoriedade deste documento, embasada pela legislação vigente, é notória a cultura de insegurança estabelecida. O gráfico da figura 14, apresenta a análise da elaboração dos PSBs para o cenário 3.

Figura 14 - Elaboração dos PSBs para o cenário 3

Fonte: Elaborado pelo Autor

6.1.2 Estado do Pará

Até 2020, foram registrado um total de 390 barragens no estado do Pará. No ano seguinte, em 2021, houve um aumento de 26,7% neste quantitativo, chegando à 494 barragens. Já no ano de 2022, o aumento foi de apenas 10,7%, chegando a 547 barragens registradas. A variação no quantitativo de barragens cadastradas ficou acima da média da região Amazônica. A Tabela 2 apresenta o crescimento entre os anos de 2020, 2021 e 2022.

Tabela 2 - Evolução anual das barragens cadastradas no SNISB para a Estado do Pará

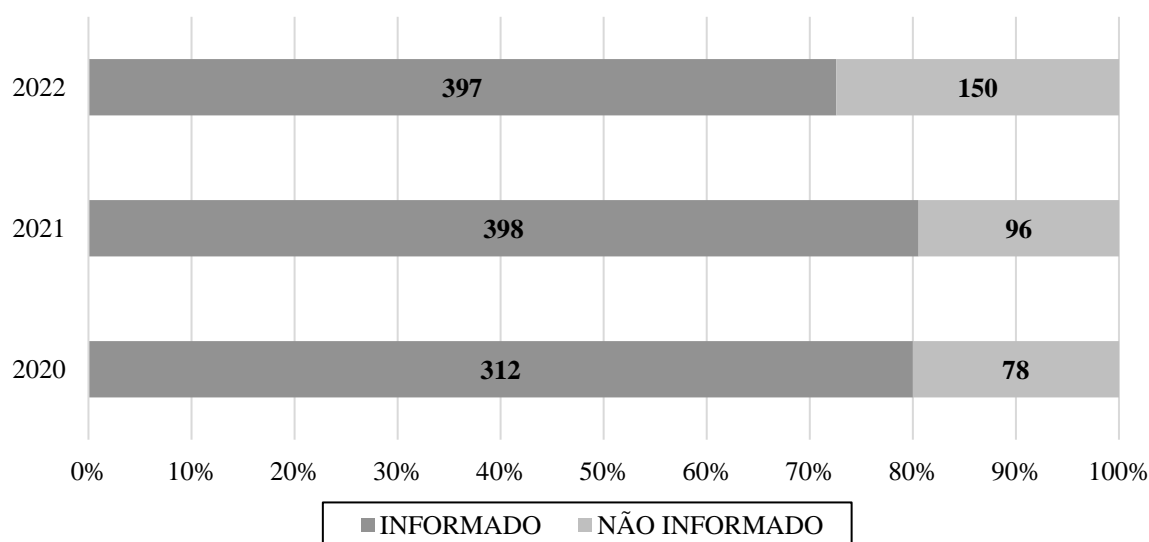
Ano	Cadastros	Varição
2022	547	10,7%
2021	494	26,7%
2020	390	-

Fonte: Elaborado pelo Autor

6.1.2.1 Categoria de Risco (CRI)

Em 2020, aproximadamente 20% das barragens no estado do Pará não notificaram a classe da CRI em que se encontram, uma subnotificação que, embora menor que a Região Amazônica, ainda é preocupante. A subnotificação no Pará mostra um crescimento em 2022, com 27,4% das barragens não informando sua classe de CRI, representando um aumento significativo em relação aos anos anteriores. No ano de 2021, as taxas de não notificação foram de 19,4%, respectivamente. O gráfico da figura 15 detalha a notificação das CRIs das barragens cadastradas no SNISB para o estado do Pará, entre 2020 e 2022.

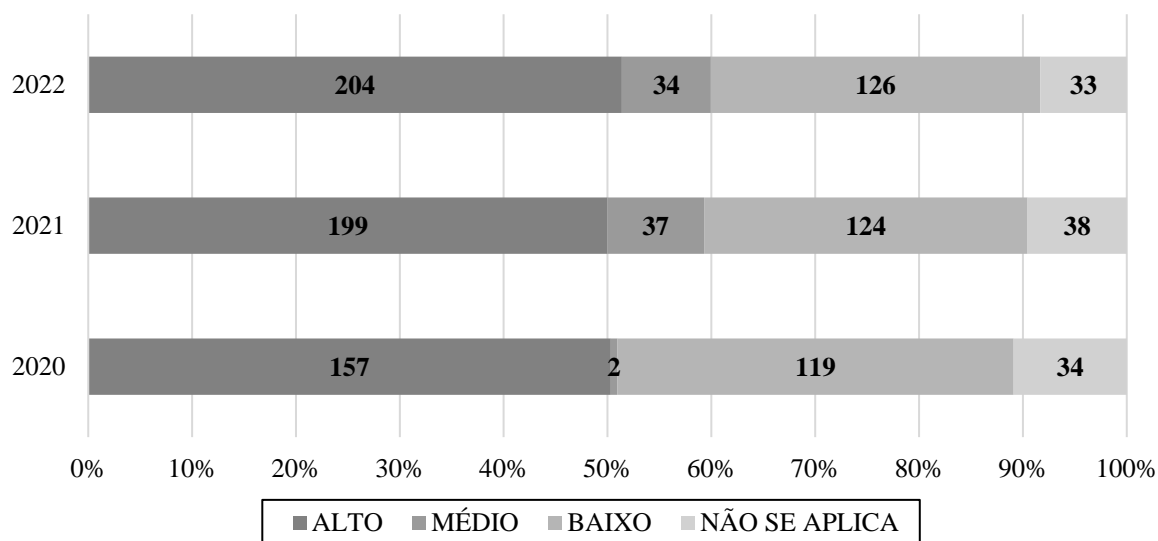
Figura 15 - Notificação das CRIs das barragens do Pará



Fonte: Elaborado pelo Autor

A distribuição das categorias entre as barragens que informaram a CRI no estado do Pará apresentou variações significativas ao longo dos anos analisados. Nos anos de 2020, 2021 e 2022, 50,3%, 50% e 51,4% das barragens, respectivamente, foram classificadas como CRI alto. Para CRI alto e médio, observou-se que esses percentuais subiram para 59,9%, 59,3% e 51,9% das barragens. Em média, considerando CRI alto e médio, observou-se o percentual de 57% para o período analisado. A gráfico da figura 16 apresenta a análise detalhada das CRIs das barragens cadastradas no SNISB para o estado do Pará.

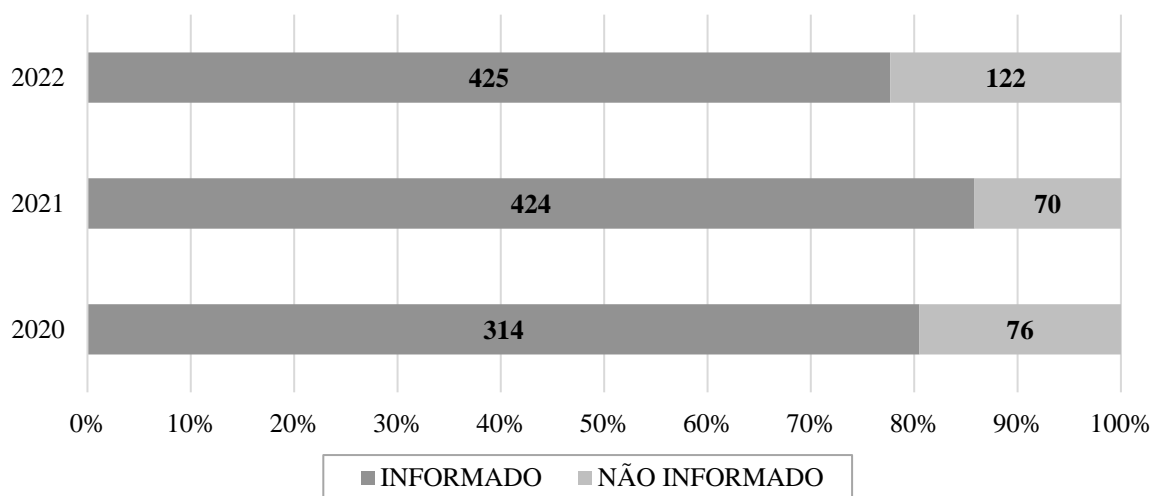
Figura 16 - Classificação dos CRIs das barragens do Pará



Fonte: Elaborado pelo Autor

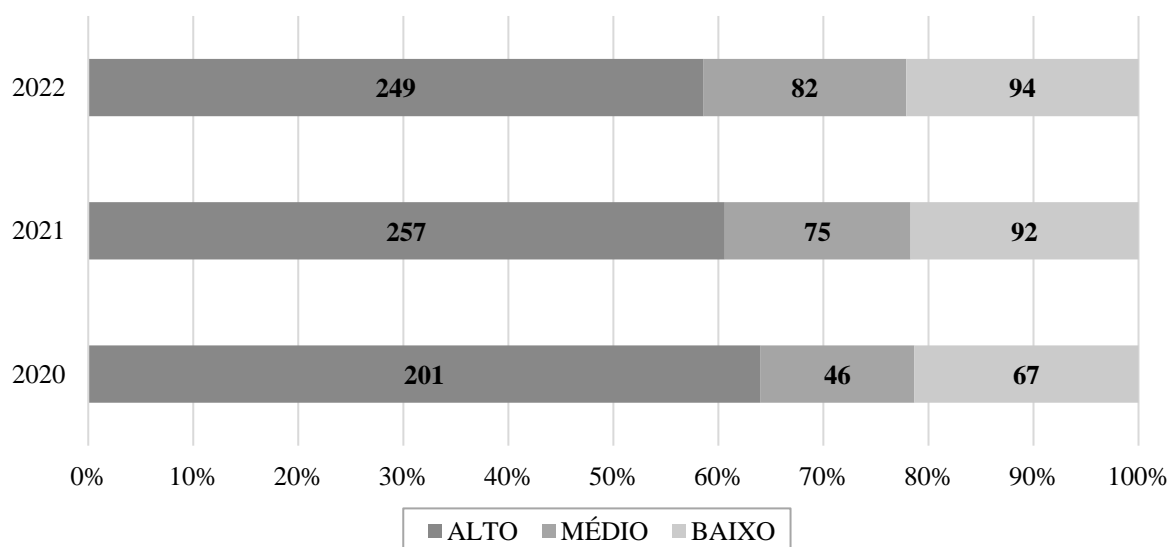
6.1.2.2 Dano Potencial Associado (DPA)

Em 2022, 22,3% das barragens não notificaram o DPA, 7 pontos percentuais abaixo da média da região da Amazônia Brasileira para o mesmo ano. Assim como ocorre com a CRI, é possível perceber que não há alteração significativa na subnotificação do DPA entre o ano de 2020 e 2022. O gráfico da figura 17 indica a notificação dos DPAs nos cadastros do SNISB para o estado do Pará.

Figura 17 - Notificação dos DPAs para as barragens do Pará

Fonte: Elaborado pelo Autor

Entre 2020 e 2022 a distribuição das categorias das barragens que informaram o DPA, em termos médios, foi de 61% das barragens categorizadas como DPA alto, ou seja 39 pontos percentuais acima da média para a região da Amazônia Brasileira no mesmo período, 17% com DPA médio e 22% com DPA baixo. O gráfico da Figura 18 apresenta a análise dos DPAs dos cadastros do SNISB para o estado Pará.

Figura 18 - Classificação das DPAs das barragens do Pará

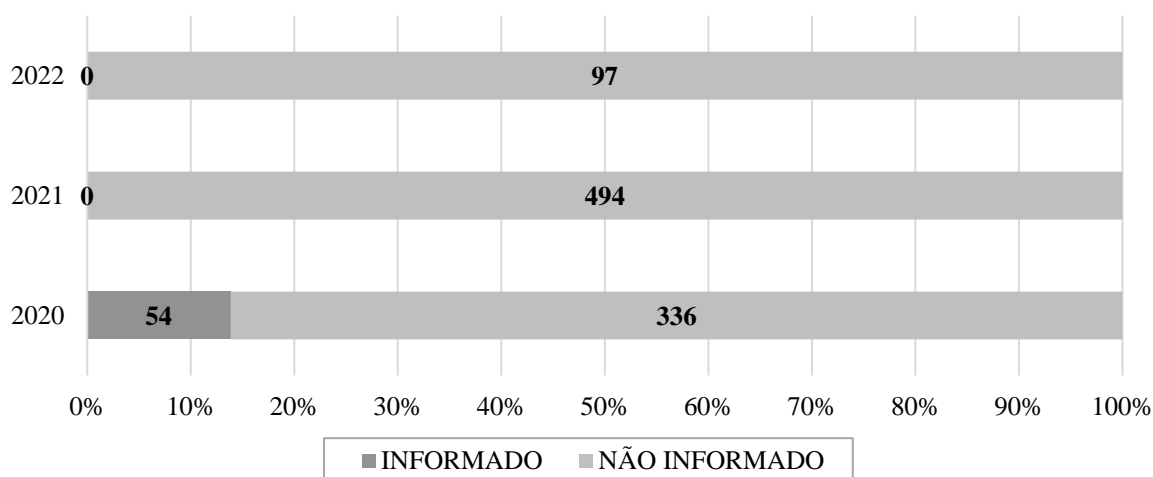
Fonte: Elaborado pelo Autor

6.1.2.3 Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB)

a) Cenário 1 para o Pará: Considerando todas as barragens cadastradas no SNISB.

Em 2022 e 2021, nenhuma das barragens cadastradas apresentou a informação sobre NPGB, resultado este preocupante. Apenas em 2020, 13,8% reportaram informações sobre NPGB. O gráfico da Figura 19 indica a notificação dos NPGBs do cenário 1.

Figura 19 - Notificação dos NPGBs para o cenário 1 das barragens do Pará



Fonte: Elaborado pelo Autor

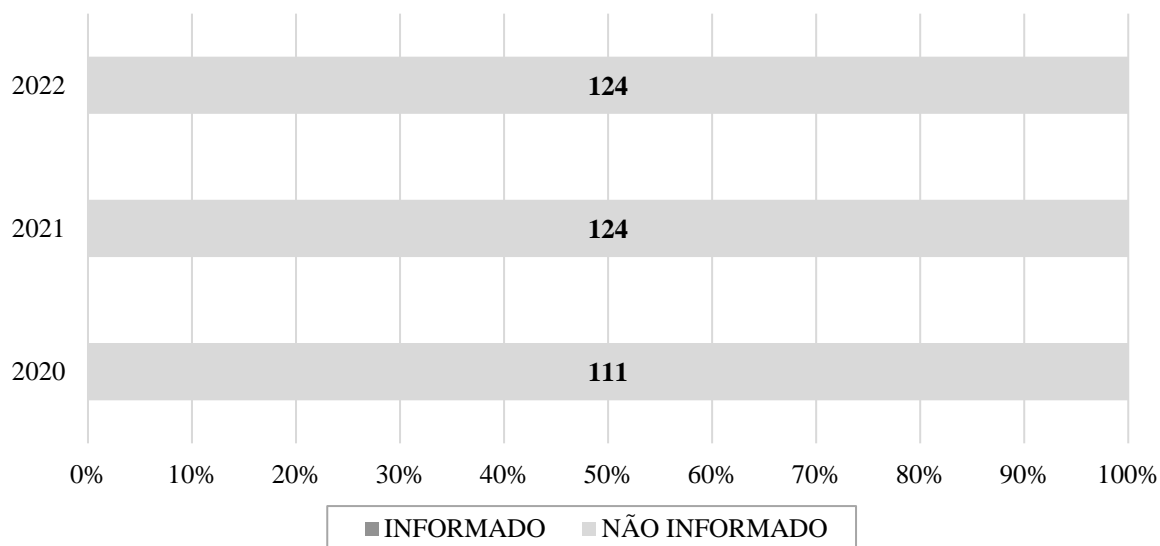
Em termos de classificação do NPGB, considerando apenas 2020, que foi o único ano que reportou esta informação, todas as 54 barragens, ou seja, 100% estão enquadradas com NPGB normal.

b) Cenário 2 para o Pará: Barragens com CRI e DPA alto.

Ao limitar a análise do NPGB para as barragens com CRI e DPA como alto, podemos observar que o índice de subnotificação fica em 100%, com nenhuma barragem informando o NPGB entre os anos de 2020 e 2022. O gráfico da figura 20 indica a notificação dos NPGBs

do cenário 2.

Figura 20 - Classificação dos NPGBs para o cenário 2 das barragens do Pará



Fonte: Elaborado pelo Autor

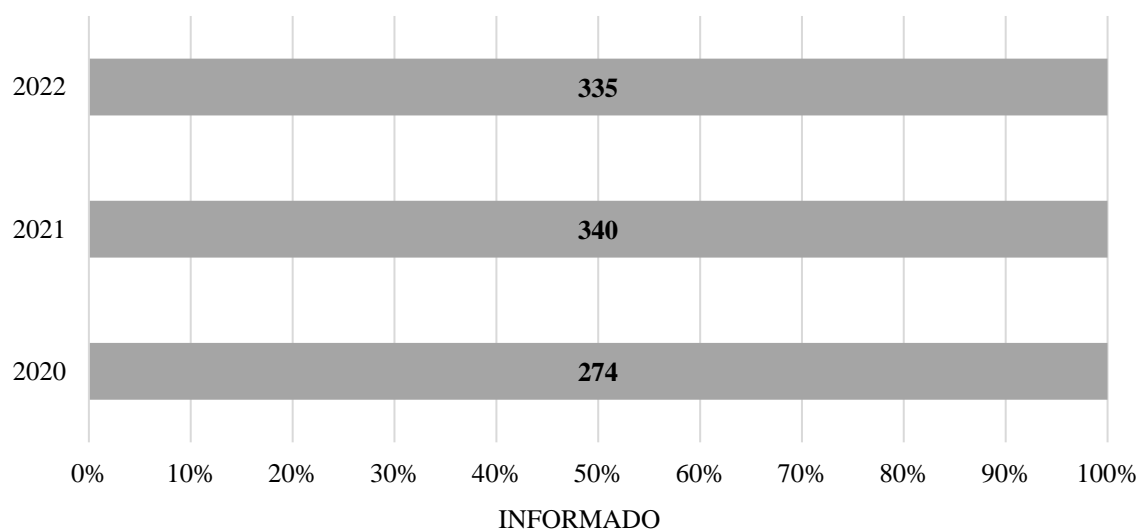
Com 100% de subnotificação quanto ao NPGB, não foi possível identificar a classificação das barragens, nesse quesito.

6.1.2.4 Plano de Segurança da Barragem (PSB)

a) Cenário 3 para o Pará: Barragens que apresentam a obrigatoriedade do PSB.

Neste cenário consideram-se todas as barragens com CRI alto ou médio, ou DPA alto, critérios utilizados para determinar a obrigatoriedade da elaboração do PSB. Nos três anos da análise, o PSB teve 100% de respostas submetidas nos cadastros do SNISB. O gráfico da figura 21 indica a notificação da elaboração dos PSBs, considerando o cenário 3.

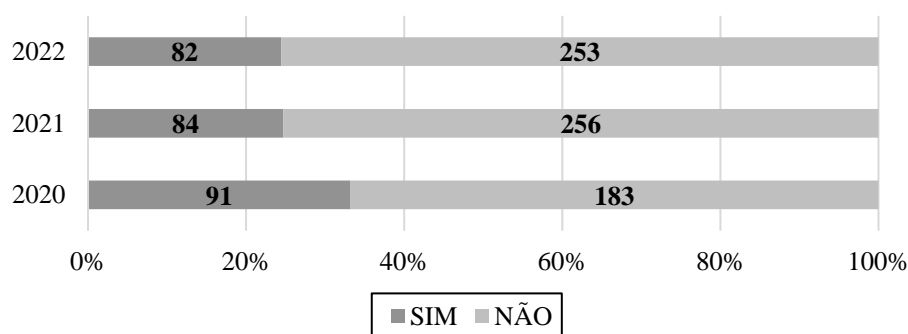
Figura 21 - Notificação da elaboração dos PSBs para o cenário 3 das barragens do Pará



Fonte: Elaborado pelo Autor

A análise das respostas submetidas apresenta uma realidade preocupante: Apenas 84 barragens apresentaram o documento em 2022, o que representa menos de 24,5% do total. Das 84 barragens, 35 são para uso industrial, contenção de resíduos industriais e contenção de rejeito de mineração. Em 2021 e 2022, apenas 24,3%, em média, das barragens apresentaram o PSB, indicando uma baixa em relação ao ano de 2020. Considerando a obrigatoriedade deste documento, embasada pela legislação vigente, é notória a cultura de insegurança estabelecida no estado do Pará. A gráfico da figura 22 apresenta a análise da elaboração dos PSBs para o cenário 3.

Figura 22 - Análise da elaboração dos PSBs considerando o cenário 3 para o estado do Pará



Fonte: Elaborado pelo Autor

Cenário 4 para Amazônia Brasileira: Barragens que apresentam a obrigatoriedade do PSB e com NPGB categorizado como alerta ou emergência.

Este cenário restringe-se a análise, apenas, dos cadastros com a obrigatoriedade de apresentação do PSB e com NPGB classificado como em estado de alerta ou emergência. Nenhuma barragem neste cenário, para as condições mencionadas e período de análise teve o PSB informado.

7 CONCLUSÃO

Em síntese, de forma crítica e abrangente, a conclusão traz as respostas ao problema de pesquisa, à luz dos objetivos traçados. É importante reconhecer as limitações inerentes a este estudo, especialmente no que tange ao uso de dados secundários do SNISB, que podem estar sujeitos a incompletude ou desatualização. Além disso, a limitação temporal da análise, focada no período de 2020 a 2022, restringe a capacidade de identificar tendências de longo prazo que poderiam oferecer insights mais profundos sobre a evolução da segurança das barragens na Amazônia.

Em linhas gerais, o estudo revela um aumento significativo no número de barragens na Região Amazônica e no estado do Pará, cadastradas no SNISB no período de 2020 a 2022, principalmente associadas a projetos hidrelétricos e de mineração. Em contrapartida, cerca de 34 a 27% das barragens não reportaram CRI e DPA. Das barragens com notificação de CRI, em média, 60% destas apresentaram categorias de risco alto e médio para a Amazônia Brasileira e 57% para o estado do Pará. Quanto ao DPA, em média, 66% das barragens da Região Amazônica e 22% do estado do Pará estão classificadas como baixo, indicando cenário favorável quanto ao dano potencial associado, em comparação com a CRI. Quanto ao NPGb, no período de análise, nenhuma barragem apresentou classificação de emergência. Na elaboração do PSB, obrigatoriamente para barragens com CRI alto ou médio, ou DPA alto, apenas 18% apresentaram o documento nos anos de 2021 e 2022, para a Região Amazônica, enquanto que para o estado de Pará foi de 24,3%, para os mesmos anos.

Apesar dessas limitações, os resultados obtidos fornecem uma base sólida para futuros estudos e para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes. Desse modo, recomenda-se que estudos futuros ampliem a escala temporal da pesquisa, visando incluir dados históricos que possam revelar padrões e tendências de longo prazo.

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB**. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/inicio>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Relatório de Segurança de Barragens 2020**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br>. Acesso em: 26 ago. 2024.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Resolução nº 236, de 30 de janeiro de 2017**. Brasília, DF. Disponível em: https://participacao-social.ana.gov.br/api/files/Resolucao_236_para_consulta_publica-1635356466005.pdf. Acesso em: 30 ago. 2024.
- PETRY, A.; LAUS, F.; ANDERÁOS, A.; BOMFIM, M. **Classificação de barragens quanto ao dano potencial associado: a experiência da agência nacional de águas**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/outros/artigo-para-o-dam-world-2018/classificacao-de-barragens-quanto-ao-seu-dano-potencial-associado-2018.docx. Acesso em: 25 set. 2024.
- ARAÚJO, A. C. **Beneficiamento de minérios**. São Paulo: Editora XYZ, 2006.
- BRASIL. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA**. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- BRASIL. **Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br>. Acesso em: 26 ago. 2024.
- BRASIL. CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012**. Estabelece Critérios Gerais de Classificação de Barragens por Categoria de Risco, Dano Potencial Associado e pelo Volume do Reservatório, em Atendimento ao Artigo 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Disponível em: https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/legislacao-aplicada/resolucao-cnrh-143-2012.pdf. Acesso em: 29 ago. 2024.
- BRASIL. **Lei nº 12.334**, de 20 de setembro de 2010. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112334.htm. Acesso em: 05 set. 2024.
- BRASIL. **Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020**. Brasília, DF. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114066.htm. Acesso em: 26 set. 2024.
- CARNEIRO, Agnaldo et al. **Avaliação de segurança de barragens de mineração: critérios e premissas com base nas legislações vigentes e na literatura científica**. Disponível em: <https://cbdb-web->

uploads.s3.amazonaws.com/system/uploads/ckeditor/attachments/1437/107_-_AVALIA-CAO_DE_SEGURANCA_DE_BARRAGENS_DE_MINERACAO_CRITERIOS_E_PREMISSAS_COM_BASE_NAS_LEGISLA.pdf. Acesso em: 26 set. 2024.

CBDB. **Comitê Brasileiro de Barragens. Revista brasileira de engenharia de barragens.** v. 7, 2019. Disponível em: <http://www.cbdb.org.br/6-142/Revista%20Brasileira%20de%20Engenharia%20de%20Barragens>. Acesso em: 05 mai. 2024.

COSTA, Walter Duarte. **Geologia de barragens.** São Paulo: Oficina dos Textos, 2012.

CZAP, Marcela Maier Farias; KONOWALENKO, Flávia; ANDRADE, Christian Jorge Rogal de. **Segurança das barragens do sul brasileiro: uma análise comparativa entre a região sul e o estado do Paraná.** Disponível em: https://cbdb-web-uploads.s3.amazonaws.com/system/uploads/ckeditor/attachments/1254/035_-_SEGURANCA_DAS_BARRAGENS_DO_SUL_BRASILEIRO_UMA_ANALISE_COMPARATIVA_ENTRE_A_REGIONIAO_SUL_E_O_ESTADO_DO_PARANA.pdf. Acesso em: 26 set. 2024.

DAS, B. M. **Principles of geotechnical engineering.** 7. ed. Stamford: Cengage Learning, 2010.

DIAS, Fernanda Spitz et al. **Segurança de barragens no estado do Rio de Janeiro: identificação e fiscalização dos principais barramentos.** Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica, 2017. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/60/PAP022352.pdf>. Acesso em: 26 set. 2024.

LEAL, F. C. A.; GOMES, W. V.; SILVA, P. J. L.; GONÇALVES, P. H. F.; FREITAS NETO, O.; SANTOS JÚNIOR, O. F. **Uma revisão dos acidentes em barragens de rejeito de mineração da América do Sul e o cenário brasileiro.** Regne, v. 8, n. 1, p. 10-27, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/25727/15323>. Acesso em: 27 set. 2024.

FAHLBUSCH, H. Early dams. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers- Engineering History and Heritage, London**, v. 162, n. 1, p. 13-18, fev. 2009.

FARIAS, Talden. **Política nacional de segurança de barragens.** Consultor Jurídico, São Paulo, SP, fev. 2019. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2019-fev-09/talden-farias-politica-nacional-seguranca-barragens>. Acesso em: 25 set. 2024.

VIANA, H. N. L.; PASSETO, E. P.; OLIVEIRA, J. A.; BARROS, F. G.; SALGADO, S. R. T.; OLIVEIRA, M. V. M.; MENEGAZ, N. E. V. **Risk category classification criteria established by the Brazilian dam safety regulations applied on small water storage dams.** Brasília, DF, 2015. Disponível em: https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/publicacoes/micro-soft-word-dw2015_paper_helber_viana-doc.pdf. Acesso em: 26 set. 2024.

ICOLD. **International Commission on Large Dams.** Paris, França. Disponível em: <https://www.icold-cigb.org/>. Acesso em: 27 ago. 2024.

KJAERNSLI, Björn; VALSTAD, T.; HÖEG, K. **Rockfill dams, design and construction.** Norwegian Institute of Technology, Norway, 1992.

LAURINO, B.; PRETO, C. T.; FERREIRA JÚNIOR, C. **Análise do acidente em Brumadinho/Minas Gerais: utilização de rejeitos de barragens na construção civil.** Brazilian Journal of Natural Sciences, v. 3, n. 1, p. 231, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.31415/bjns.v3i1.86>. Acesso em: 06 set. 2024.

NORTE ENERGIA S/A. **Complexo Hidrelétrico de Belo Monte 2024.** Disponível em: <https://www.norteennergiasa.com.br/uhe-belo-monte/complexo-hidreletrico/belo-monte>. Acesso em: 24 set. 2024.

FEARNSIDE, Philip M. **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras.** 3. ed. rev. Manaus: Editora do INPA, 2019.

MACHADO, William Gladstone de Freitas. **Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos da mineração.** Dissertação (Mestrado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MEE. **Manual da engenharia nos empreendimentos (MEE): usinas de aproveitamento hidrelétrico.** Belo Horizonte: CREA-MG, 2017.

MARANGON, M. **Barragens de terra e enrocamento.** Juiz de Fora: UFJF, 2004. Apostila da disciplina Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra. Disponível em: http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_unid05.pdf. Acesso em: 26 set. 2024.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica.** 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MASSAD, F. **Obras de terra: curso básico de geotecnia.** v. 2. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

MEDEIROS, Renato Fausto Moura de. **Segurança das barragens do nordeste brasileiro: uma análise com base nas informações cadastradas no SNISB.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/46289/4/TCC_Renato-F-M-de-Medeiros.pdf. Acesso em: 26 set. 2024.

MODESTO, Renan Ribeiro et al. **Análise do monitoramento de segurança de barragens de terra do aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte: estudo de caso de diques do complexo no cenário do enchimento e operação.** 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/12757>. Acesso em: 26 set. 2024.

NEVES, Luiz. **Segurança de barragens: legislação federal brasileira em segurança de barragens comentada.** Brasília, DF, 2018. Disponível em: <https://wiki.mpmg.mp.br/patrimoniocultural/lib/exe/fetch.php?media=e-book-livre-legislacao-federal-brasileira-em-seguranca-de-barragens-autor-luiz-paniago-neves.pdf>. Acesso em: 28 set. 2024.

PENG, M.; ZHANG, L. M. Analysis of human risks due to dam-break floods - part 1: a new model based on Bayesian networks. *Natural Hazards*, v. 64, p. 903-933, 2012.

PINTO, Willian Leandro Henrique. **Índice de segurança de pequenas barragens (ISPB) como método para a avaliação da segurança de pequenas barragens de água**. 2020. Tese (Doutorado) — [sn]. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1149229>. Acesso em: 26 set. 2024.

SILVA, R. S. A.; MEDEIROS, A. B. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. P.; FREITAS NETO, O.; SANTOS JÚNIOR, O. F. **Acidentes e incidentes em barragens brasileiras: uma análise dos dados disponíveis nos relatórios de segurança de barragens e da legislação vigente**. *Holos*, v. 37, n. 6, p. 1-17, 2021. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/download/10245/pdf>. Acesso em: 26 set. 2024.

SOUZA, G. Tigre. **Dosagem experimental de concreto massa com adição de sílica ativa aplicado em barragem**. 2017. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Pará, Tucuruí.

THOMÉ, R.; PASSINI, M. L. **Barragens de rejeitos de mineração: características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais**. *Ciências Sociais Aplicadas em Revista, Paraná*, v. 18, n. 34, p. 49-65, 2018.

UNISINOS, Instituto Humanitas. **Plano de expansão de barragens hidrelétricas na bacia amazônica coloca em risco populações locais e a biodiversidade**. Entrevista especial com Philip M. Fearnside. 2018. Disponível em: <https://www.ihu.unisinos.br/593812-o-lobby-das-hidreletricas-nao-existe-nas-energias-alternativas-entrevista-especial-com-philip-fearnside>. Acesso em: 06 ago. 2024.