



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII - ARARUNA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

JANDEILSON LOPES RODRIGUES

**CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DA BACIA DO RIO
CURIMATAÚ QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO E
PROBABILIDADE DE RUPTURA ANUAL**

**ARARUNA – PB
2020**

JANDEILSON LOPES RODRIGUES

**CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DA BACIA DO RIO
CURIMATAÚ QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO E
PROBABILIDADE DE RUPTURA ANUAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador (a): Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro.

**ARARUNA – PB
2020**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

R696c Rodrigues, Jandeilson Lopes.

Classificação das barragens da bacia do rio curimataú quanto ao dano potencial associado e probabilidade de ruptura anual [manuscrito] / Jandeilson Lopes Rodrigues. - 2020.

89 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2020.

"Orientação : Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Barragens de acúmulo de água. 2. Probabilidade de Ruptura. 3. Dano Potencial Associado. I. Título

21. ed. CDD 628.14

JANDEILSON LOPES RODRIGUES

CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO E
PROBABILIDADE DE RUPTURA ANUAL EM BARRAGENS SITUADAS
NA BACIA DO RIO CURIMATAÚ-PB

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovado em: 14 / 12 / 2020

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro. (Orientadora)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profº Me. Igor Souza Ogata (Examinador)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Engª Cinthia Maria de Abreu Claudino (Examinadora)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

A Deus, causa primária de todas as coisas.

Aos meus pais, José Rodrigues (*in memória*) e Júlia Cristina (*in memória*), pois, sem a educação, as orações e a intercessão de vocês, nada disto seria possível, assim DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Existem situações na vida em que é fundamental poder contar com o apoio e a ajuda de algumas pessoas.

Para a realização deste trabalho monográfico pude contar com várias, mas algumas foram fundamentais. E a estas pessoas prestarei, através de poucas palavras, os mais sinceros agradecimentos.

A minha mãe Júlia Cristina (*in memória*), que sempre esteve ao meu lado e orou por mim nos momentos mais difíceis desta graduação.

A minha esposa Andreia, pelo companheirismo, paciência e dedicação.

Aos meus filhos Jadson Rodrigues e Maria Júlia, razão de tudo em minha vida.

A Professora Maria Adriana Ribeiro, orientadora deste trabalho, pelos seus conhecimentos, sua atenção e sua boa vontade.

Aos colegas de curso, Renilson Pinto, Jean Carlos e Rodolfo Araújo, por todos os momentos difíceis do curso que passamos juntos.

A todos os familiares que sempre me apoiaram e me incentivaram a seguir até o final do curso e não desistir.

Aos amigos Genivaldo Xavier (Chinha), Luciano Borges (Lula) e Wendra Santos pelo acompanhamento e apoio na inspeção das barragens.

“Nenhuma Engenharia constrói caráter, mas com caráter se faz os melhores engenheiros.”

Jordan Lucas.

RESUMO

A Lei 12.344/2010 estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e apresenta como obrigação do órgão fiscalizador a Inspeção de Segurança Regular e a classificação das barragens quanto ao Dano Potencial Associado. Essa inspeção de segurança visa identificar e avaliar anomalias que afetem potencialmente as condições de segurança da barragem, e a partir daí, com os resultados da inspeção pode-se estimar o seu Nível de Perigo e a sua Probabilidade de Ruptura Anual. A ruptura de um reservatório com grande volume de água pode causar uma série de transtornos, risco à vida, prejuízos econômicos, ambientais e sociais. Neste trabalho foi realizada uma Inspeção de Segurança Regular em cinco barragens situadas na Bacia do Rio Curimataú - PB para se determinar o Nível de Perigo, a Probabilidade de Ruptura Anual e o Dano Potencial Associado de cada reservatório. A Inspeção de Segurança foi realizada seguindo as recomendações contidas no Guia de Orientações e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragens produzido pela Agência Nacional de águas (ANA). A classificação quanto ao Nível de Perigo das Barragens e a Probabilidade de Ruptura foi feita com base no Nível de Perigo das anomalias identificadas durante a inspeção. Para a classificação quanto ao Dano Potencial associado foram utilizadas manchas de inundação geradas a partir do modelo simplificado desenvolvido pela ANA utilizando o *software* ArcGIS, e quanto ao cadastro de uso e ocupação na mancha de inundação, este foi realizado utilizando imagens do Google Earth. Na análise dos resultados observou-se que nenhuma barragem corre risco iminente de ruptura, no entanto, todas as barragens inspecionadas apresentaram problemas relacionados a má conservação e ao descaso por parte dos seus empreendedores, indicando assim que as barragens necessitam de manutenção para continuarem seguras, para isso, é importante a realização da Inspeção de Segurança regularmente.

Palavras-chave: Barragens de acúmulo de água. Probabilidade de Ruptura. Dano Potencial Associado.

ABSTRACT

Law 12.344/2010 establishes the National Dam Safety Policy and presents as an obligation of the supervisory body the Regular Safety Inspection and the classification of dams for associated potential damage. The safety inspection aims to identify and evaluate anomalies that potentially affect the safety conditions of the dam, and with the results of the inspection you can estimate its Hazard Level and its Probability of Annual Rupture. Having access to the flood spot produced by the volume of water from the reservoir is calculated the Potential Damage Associated with the dam. In this work, a Regular Safety Inspection was carried out in five dams located in the Curimataú River Basin - PB to determine the Level of Danger, the Probability of Annual Rupture and the Associated Potential Damage of each reservoir. The Safety Inspection was carried out following the recommendations contained in the Guide to Guidelines and Forms for Dam Safety Inspections produced by the National Water Agency (ANA). The classification of the Danger Level of the Dams and the Probability of Rupture was made based on the Danger Level of the anomalies identified during the inspection. For the classification of associated Potential Damage, flood spots generated from the simplified model developed by ANA using arcgis software were used, and as for the registration of use and occupation in the flood spot, this was performed using Google Earth images. In the analysis of the results it was observed that no dam is at imminent risk of rupture, however, all inspected dams presented problems related to poor conservation and the failure of their entrepreneurs, thus indicating that the dams need maintenance to remain safe, for this it is important to carry out the Safety Inspection regularly.

Keywords: Water accumulation dams. Probability of Rupture. Associated Potential Damage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Componentes básicos de uma barragem.....	19
Figura 2 - Ilustração de um barramento	19
Figura 3 - Componentes de uma barragem.....	20
Figura 4 - Estruturas extravasoras e reservatório.....	21
Figura 5 - Barragem de terra homogênea	22
Figura 6 - Barragem de terra-enrocamento	23
Figura 7 - Barragem de concreto em gravidade	24
Figura 8 – Barragem em concreto de gravidade aliviada	24
Figura 9 - Barragem de concreto em contraforte.....	25
Figura 10 - Barragem de Concreto Compactado a Rolo (CCR)	25
Figura 11 - Barragem abóbada (em arco)	26
Figura 12 - Barragem mista (Itaipú).....	26
Figura 13 - Bacia do rio Curimataú - PB.....	33
Figura 14 – Barragem Curimataú	35
Figura 15 - Barragem Poleiros.....	36
Figura 16 - Barragem Algodões.....	37
Figura 17 - Barragem Cacimba de Várzea	38
Figura 18 - Barragem Jandaia	39
Figura 19 - Estrutura da Metodologia	40
Figura 20 - Partes integrantes de uma barragem	43
Figura 21 - Classificação quanto ao DPA.....	48
Figura 22 - Percentual de anomalias identificadas nas barragens de acordo com o Nível de Perigo.....	51
Figura 23 - Anomalias do talude de montante (Curimataú)	51
Figura 24 - Anomalias do talude de jusante (Curimataú)	51
Figura 25 – Erosão na fundação do muro lateral (Curimataú).....	52
Figura 26 – Deterioração do concreto da soleira do vertedouro (Curimataú).....	52
Figura 27 – Percentual das anomalias da barragem Curimataú de acordo com o Nível de Perigo.....	52
Figura 28 - Anomalias no talude de montante (Poleiros).....	53
Figura 29 - Árvores e arbustos no coroamento (Poleiros)	53
Figura 30 Formigueiro na crista da barragem (Poleiros)	54

Figura 31 - Anomalias do talude de jusante (Poleiros)	54
Figura 32 - Deterioração da soleira do vertedouro (Poleiros).....	54
Figura 33 - Percentual das anomalias da barragem Poleiros de acordo com o Nível de Perigo	55
Figura 34 - Anomalias do talude de montante (Algodões).....	56
Figura 35 - Erosão no encontro da ombreira esquerda (Algodões).....	56
Figura 36 - Anomalias do coroamento e talude de jusante (Algodões)	56
Figura 37 - Deterioração da soleira do vertedouro (Algodões).....	56
Figura 38 - Erosão na fundação do muro lateral (Algodões)	56
Figura 39 - Percentual das anomalias da barragem Algodões de acordo com o Nível de Perigo	57
Figura 41 - Anomalias do talude de jusante (Cacimba de Várzea).....	58
Figura 40 - Anomalias do talude de montante (Cacimba de Várzea)	58
Figura 42 – Deterioração do vertedouro (Cacimba de Várzea)	58
Figura 43 - Percentual das anomalias da barragem Cacimba de Várzea de acordo com a classificação do nível de perigo.....	59
Figura 44 – Presença de árvores no talude de montante(Jandaia)	59
Figura 45 - Erosão (ravinas) no talude de jusante (Jandaia).....	59
Figura 46 – Erosão no encontro da ombreira esquerda do talude de jusante (Jandaia)	60
Figura 47 - Percentual das anomalias da barragem Jandaia de acordo com a classificação do Nível de Perigo.....	60
Figura 48 - Volume dos Reservatórios	64
Figura 49 - Legenda para classificação quanto ao DPA.....	64
Figura 50 - Mancha de inundação da barragem Curimataú	65
Figura 51 - Mancha de inundação da barragem Poleiros	65
Figura 52 - Mancha de inundação da barragem Algodões	66
Figura 53 - Mancha de inundação da barragem Cacimba de Várzea	67
Figura 54 - Mancha de inundação da barragem Jandaia	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições do termo barragem	16
Quadro 2 - Capacidade das barragens da Bacia do Rio Curimataú.....	34
Quadro 3 - Ficha Técnica da Barragem Curimataú.....	35
Quadro 4 - Ficha Técnica da Barragem Poleiros.....	36
Quadro 5 - Ficha Técnica da Barragem Algodões.....	37
Quadro 6 - Ficha Técnica da Barragem Cacimba de Várzea	38
Quadro 7 - Ficha Técnica da Barragem Jandaia	39
Quadro 8 - Inspeção de Segurança Regular	42
Quadro 9 - Periodicidade de Inspeções de Segurança Regulares	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de grandes barragens dos países membros da ICOLD	18
Tabela 2 - Os Níveis de Perigo (NP) e os Pesos respectivos	46
Tabela 3 - Peso das quantidades NP de acordo com as quantidades.....	46
Tabela 4 - Cálculo da Pontuação NPB da Barragem.....	46
Tabela 5 – Classificação quanto a PRA da Barragem	47
Tabela 6 - Resultado Final da Classificação	49
Tabela 7 - Total da pontuação NPB da barragem Curimataú	61
Tabela 8 - Total da pontuação NPB da barragem Poleiros.....	61
Tabela 9 - Total da pontuação NPB da barragem Algodões.....	62
Tabela 10 - Total da pontuação NPB da barragem Cacimba de Várzea	62
Tabela 11 - Total da pontuação NPB da barragem Jandaia	62
Tabela 12 - Classificação da Probabilidade de Ruptura Anual das Barragens em função do seu Nível de Perigo	63
Tabela 13 - Classificação quanto ao Dano Potencial Associado	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ANA – Agência Nacional de Águas
CBD – Comitê Brasileiro de Barragens
CBDB – Comitê Brasileiro de Grandes Barragens
CIGB – Comissão Internacional de Grandes Barragens
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CR – Categoria de Risco
CT – Características Técnicas
DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica
DPA – Dano Potencial Associado
EC – Estado de Conservação
ICOLD – International Commission on Large Dams
ISR – Inspeção de Segurança Regular
MI – Ministério da Integração
NP – Nível de Perigo
NPB – Nível de Perigo da Barragem
PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos
PNSB – Plano Nacional de Segurança de Barragens
PRA – Probabilidade de Ruptura Anual
RASB – Relatório Anual de Segurança de Barragens
RSB – Relatório de Segurança de Barragens
SEMARH – Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SNISB – Sistema Nacional de Informações Sobre Barragens

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 Definições de barragens	16
3.2 Resumo histórico de barragens no Brasil e no mundo	17
3.3 Principais componentes de uma barragem	18
3.4 Tipos de barragens	21
3.4.1 <i>Barragem homogênea de terra</i>	22
3.4.2 <i>Barragem zoneada de terra-enrocamento</i>	23
3.4.3 <i>Barragens de concreto</i>	24
3.4.4 <i>Barragens mistas</i>	26
3.4.5 <i>Tipos de barragens de acordo com seu objetivo e finalidade de construção</i> ...	27
3.5 Visão geral sobre a construção de barragens	27
3.5.1 <i>Vantagens e desvantagens da construção de barragens</i>	27
3.5.2 <i>Riscos associados às barragens</i>	28
3.6 Legislação sobre segurança de barragens	29
3.6.1 <i>Panorama internacional</i>	29
3.6.2 <i>A legislação brasileira</i>	30
3.6.3 <i>Competência no estado da Paraíba</i>	32
4 METODOLOGIA	33
4.1 Área de Estudo	33
4.1.1 <i>Barragem Curimataú</i>	34
4.1.2 <i>Barragem Poleiros</i>	35
4.1.3 <i>Barragem Algodões</i>	37

4.1.4 Barragem Cacimba de Várzea	38
4.1.5 Barragem Jandaia	39
4.2 Etapas da pesquisa	40
4.2.1 Inspeção de Segurança Regular	42
4.2.2 Nível de Perigo da Barragem (NPB)	45
4.2.3 Classificação quanto à Probabilidade de Ruptura Anual (PRA)	47
4.2.4 Classificação quanto ao Dano Potencial Associado (DPA)	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1 Resultados da Inspeção de Segurança Regular	49
5.1.1 Barragem Curimataú	51
5.1.2 Barragem Poleiros	53
5.1.3 Barragem Algodões	55
5.1.4 Barragem Cacimba de Várzea	57
5.1.5 Barragem Jandaia	59
5.2 Resultados quanto ao Nível de Perigo da Barragem (NPB)	60
5.2.1 Barragem Curimataú	61
5.2.2 Barragem Poleiros	61
5.2.3 Barragem Algodões	61
5.2.4 Barragem Cacimba de Várzea	62
5.2.5 Barragem Jandaia	62
5.3 Resultados quanto a Probabilidade de Ruptura Anual (PRA)	63
5.4 Resultados quanto ao Dano Potencial Associado (DPA)	63
6 CONCLUSÃO	69
7 REFERÊNCIAS	71
ANEXO A – Check-List resumo das barragens inspecionadas	74
ANEXO B – Matriz de classificação DPA das barragens da pesquisa	80

1 INTRODUÇÃO

As barragens podem ser projetadas para diversas finalidades, dentre estas pode-se destacar o aproveitamento dos recursos hídricos e o enfrentamento das secas, que consiste em um dos maiores problemas do século XXI, sobretudo em uma região tão desprovida de recurso hídrico como o semiárido do Nordeste brasileiro (FONTENELLE, 2018), onde se localiza a bacia do rio Curimataú-PB.

As barragens são importantes para a região supracitada, uma vez que nesta área há o predomínio de rios intermitentes, o que implica no uso de barragens para o armazenamento de água durante o período de estiagem. No entanto, estes reservatórios possuem um potencial de provocar sérios danos à região à jusante quando se rompem, devido ao grande volume de água armazenada (FARIAS, 2017).

No Brasil, há em média mais de três acidentes com barragens a cada ano. Os dados são compilados pela Agência Nacional de Águas (ANA), responsável pelo Relatório de Segurança de Barragens (RSB), divulgado anualmente e encaminhado ao Congresso Nacional. Estes dados ainda apontam que 75% das barragens brasileiras não possuem informações básicas e os relatórios indicam o perigo de novos acidentes em todo o Brasil.

No Estado da Paraíba, segundo levantamento de 2019 divulgado pela ANA, foram contabilizadas 1.197 barragens no estado, sendo que 203 barragens apresentaram Dano Potencial e 399 estão consideradas em Categoria de Risco.

A ruptura de um reservatório com grande volume de água pode causar uma série de transtornos, risco à vida, prejuízos econômicos, ambientais e sociais (SILVA, 2019). Portanto, a Inspeção de Segurança Regular (ISR), a determinação do Nível de Perigo da Barragem (NPB), a Probabilidade de Ruptura Anual (PRA) e a classificação das barragens quanto a sua Categoria de Risco (CR) e o seu Dano Potencial Associado (DPA) tornam-se instrumentos de relevância considerável para identificar algum perigo e analisar a situação de cada barragem outorgada.

De acordo com a Política Nacional de Segurança de Barragens (Lei nº 12.334/2010), fiscalizar a segurança de barragens para as quais concedeu o direito de uso é ofício da ANA ou de órgãos gestores estaduais de recursos hídricos, função desempenhada no estado da Paraíba pela AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas). É também da ANA a função de orientar as medidas preventivas

ou corretivas a serem executadas pelo empreendedor de recursos hídricos, que é o responsável legal pela segurança da barragem.

Os procedimentos necessários para a determinação do NPB, da PRA e da sua classificação quanto a sua Categoria de Risco, dependem das suas Características Técnicas (CT) e do seu Estado de Conservação (EC) que é definido em função das anomalias encontradas na barragem por meio da Inspeção de Segurança Regular.

No tocante ao DPA, este depende dos elementos encontrados à jusante da barragem, haja vista, ser esses elementos que indicam o dano que a barragem pode causar em caso de rompimento.

Diante disto, esta pesquisa tem por objetivo geral analisar os riscos ofertados por cinco barragens de acúmulo de água situadas na Bacia do Rio Curimataú – PB.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar os riscos ofertados pelas barragens de acúmulo de água da Bacia do Rio Curimataú à população localizada à jusante de seus reservatórios.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar inspeção nas barragens em estudo a fim de identificar anomalias que possam causar ruptura em sua estrutura;
- Determinar os indicadores de NPB, PRA e DPA, verificando os riscos associados as condições de infraestrutura das barragens.
- Avaliar quais as implicações caso ocorra a ruptura de um destes reservatórios.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Definições de barragens

O termo barragem origina-se etimologicamente do vocábulo francês *barrage*, do século XII, que deriva das palavras *barre*, do francês, e *barra*, do latim vulgar, cujo significado é "travessa, tranca de fechar porta" (CBDB, 2015).

Várias são as definições encontradas para o termo barragem. O **Quadro 1** apresenta algumas das principais.

Quadro 1 - Definições do termo barragem

FONTE	DEFINIÇÃO
BRASIL (2010)	Qualquer estrutura construída para barrar corpos d'água com finalidade de controle ou acumulação de líquidos ou combinação de líquidos com sólidos, composta pelo barramento e as estruturas auxiliares.
CBD (2014)	Obstáculos artificiais com a capacidade de reter água ou qualquer outro líquido como: rejeitos, detritos, para fins de armazenamento ou controle, [...] geralmente usadas para fornecimento de água, de energia hidrelétrica, para controle de cheias e para irrigação, além de diversas outras finalidades.
MI (2002)	Estrutura construída transversalmente a um rio ou talvegue com a finalidade de obter a elevação do seu nível d' água e/ou de criar um reservatório de acumulação de água seja de regulação das vazões do rio, seja de outro fluido.
DAEE (2006)	Estruturas construídas transversalmente aos cursos d'água com o objetivo de modificar o fluxo, pela necessidade de elevação do nível e/ou para acumular volumes com finalidades como derivação da água, controle de cheias, geração de energia navegação, lazer, entre outras.
MARAGON (2004)	Elemento estrutural, construído transversalmente à direção de escoamento de um curso d'água, destinado à criação de um reservatório artificial de acumulação de água.

Fonte: ANA (2016).

3.2 Resumo histórico de barragens no Brasil e no mundo

A partir do momento em que o homem deixa de ser nômade e passa a ser sedentário, começam a surgir conglomerados de pessoas que necessitam de uma grande quantidade de água para consumo próprio e também para a prática de culturas agrícolas (MELLO, 2011).

Além disso, estas pessoas careciam que esta água fosse fornecida regularmente para que as demandas de suas atividades agrícolas pudessem ser atendidas, fato que possibilitou a construção das primeiras barragens (MELLO, 2011). No momento, ainda não há um consenso entre os historiadores quanto a primeira barragem, porém todas as pesquisas datam as primeiras barragens entre 3.000 a 2.750 anos a.C. no Egito e na Jordânia, o que era antigamente a Mesopotâmia (BELLADONA, 2018).

No entanto, segundo Franco (2008), foi só no decorrer do século XX que a maioria dos povos do planeta passou a utilizar-se da construção de barragens para suprir o aumento gradativo do consumo de água. Paralelo à ideia de que junto a execução de tais obras chegaria a progressividade econômica, o período entre as décadas de 30 e 70, foi marcado por uma crescente considerável da construção destes grandes reservatórios de água no mundo e também no Brasil.

A barragem mais antiga que se conhece em território brasileiro foi construída onde hoje é a área urbana do Recife-PE, provavelmente no final do século XVI, antes mesmo da invasão holandesa. Atualmente, conhecida como açude Apipucos, foi encontrada em um mapa holandês de 1577. Apipucos na língua tupi significa "onde os caminhos se encontram". A barragem original foi alargada e reforçada para possibilitar a construção de uma notável estrada de acesso ao centro do Recife (MELLO, 2011).

Conforme os dados da *International Commission on Large Dams* (ICOLD), a China é o país que detém o maior número de barragens entre os países membros desta comissão, ao mesmo tempo em que o Brasil ocupa a quinta colocação, considerando os dez países mais bem colocados, conforme dados apresentados na **Tabela 1**. Destaca-se que os dados facultados não incluem todas as barragens de um país, uma vez que parte do cadastro é opcional.

Balbi (2008) afirma que o Comitê Internacional de Grandes Barragens (CIGB) define grandes barragens como aquelas que se enquadrem em pelo menos um destes critérios: altura maior que 15 metros; altura entre 10 e 15 metros e

comprimento maior que 500 metros ou volume do reservatório maior que 1 hm³ ou vazão de projeto do vertedouro maior que 2000 m³/s.

Tabela 1 - Número de grandes barragens dos países membros da ICOLD

PAÍS MEMBRO DA ICOLD	QUANTIDADE DE BARRAGENS
China	23 841
Estados Unidos da América	9 263
Índia	4 407
Japão	3 130
Brasil	1 365
Coreia (Rep. Da)	1 338
África do Sul	1.266
Canadá	1 156
México	1 079
Espanha	1 064

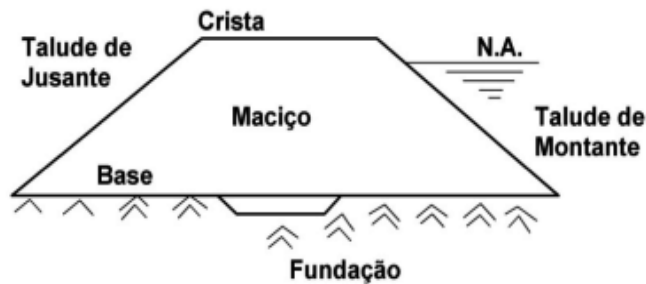
Fonte: Adaptado de ICOLD (2020).

Em conformidade com o Relatório de Segurança de Barragens (RSB) de 2019 da Agência Nacional de Águas (ANA), instituição federal responsável pela gestão dos Recursos Hídricos no Brasil, atualmente estão cadastradas no SNISB (Sistema Nacional de Informações Sobre Barragens) 19.388 barragens, no estado da Paraíba são 1.197 barragens segundo este mesmo relatório.

3.3 Principais componentes de uma barragem

De acordo com Maragon (2004), as barragens de terra compreendem diferentes componentes básicos que as integram, sendo eles: talude de jusante, crista, talude de montante, maciço, base e fundação. Estes componentes também são habituais à maioria dos diferentes tipos de barragens, os quais estão representados na **Figura 1**.

Figura 1 - Componentes básicos de uma barragem

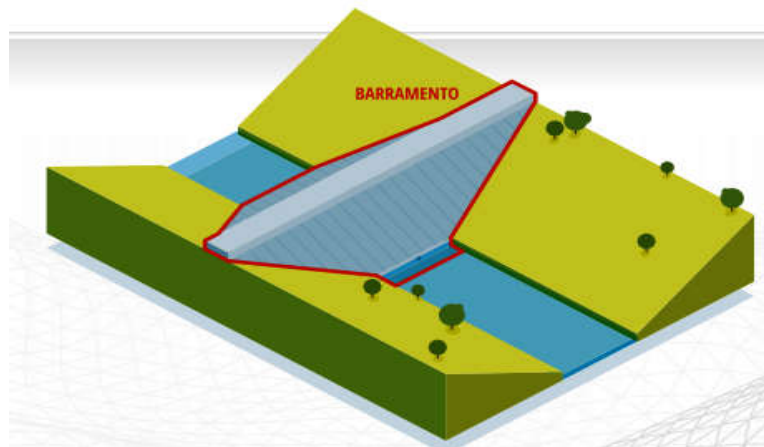


Fonte: Adaptado de Maragon (2004).

Para a Agência Nacional de Água (ANA), em seu Relatório de Segurança de Barragens (RSB) (2019), os principais componentes de uma barragem convencional compreendem: a estrutura de retenção ou barramento, a sua fundação e as ombreiras, a zona vizinha à jusante, as estruturas extravasoras, as estruturas de adução e o reservatório, os quais são definidos da seguinte maneira:

a) **Barramento** - estrutura construída transversalmente ao curso de água e, juntamente com a fundação e as ombreiras, desempenha a função de reter a água. Ele pode ser construído de diferentes formas e materiais, como aterro (terra, enrocamento, rejeitos), concreto (convencional, ciclópico, compactado a rolo), alvenaria, entre outros, conforme ilustra a **Figura 2** a seguir.

Figura 2 - Ilustração de um barramento

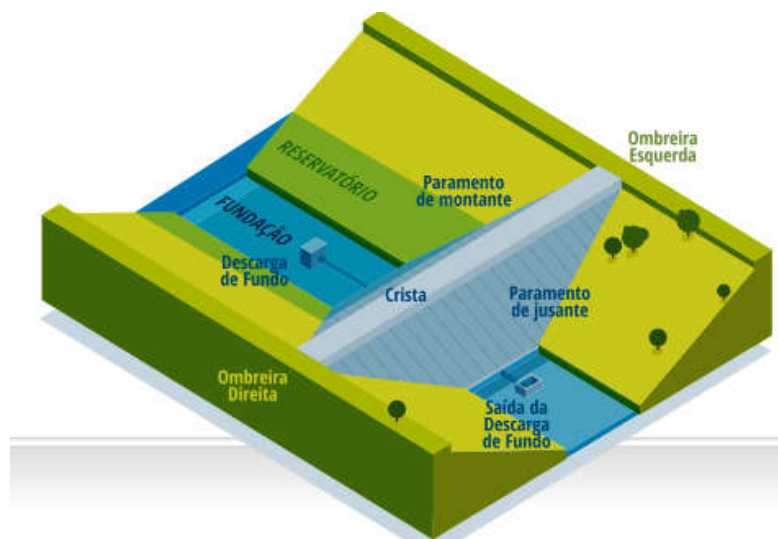


Fonte: ANA (2019).

b) **Fundações** – compreende o lado maior da seção transversal do barramento que fica em contato com o terreno natural;

- c) **Talude de montante** – também chamado de paramento, é o lado do barramento em contato com a água;
- d) **Talude de jusante** – é o outro paramento, do lado oposto a água;
- e) **Coroamento** – também chamado de crista da barragem, une de forma transversal, as duas margens e possibilita a aproximação a vários outros componentes das barragens.
- f) **Ombreiras** – são as áreas das margens em contato direto com o barramento, denominadas de ombreira esquerda e ombreira direita, conforme ilustra a **Figura 3**.

Figura 3 - Componentes de uma barragem



Fonte: ANA (2019).

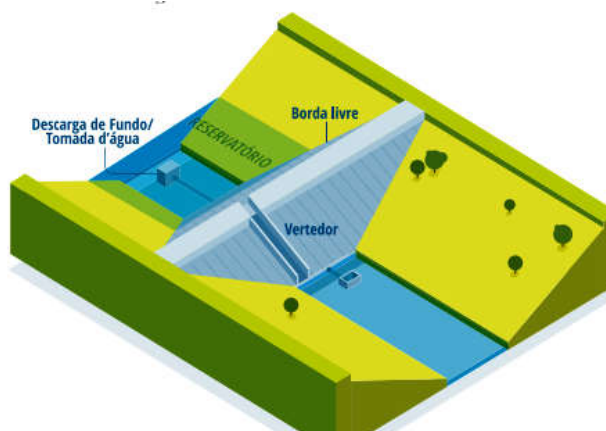
As estruturas extravasoras de barragens são compostas por vertedouros de superfície e descarga de fundo.

- g) **Vertedouro** – Componente que tem como objetivo atuar como um dispositivo de segurança para a evacuação de cheias, quando a vazão do curso d'água assumir valores que tornem a estabilidade da barragem perigosa, ou impedir que o nível máximo estabelecido para a barragem cause prejuízos às propriedades agrícolas ou industriais à jusante da barragem. com ou sem comportas (MARAGON, 2004).
- h) **Descargas de fundo** - são estruturas equipadas com uma comporta para o esvaziamento do reservatório, podendo ainda dispor de uma comporta adicional de segurança. São, na sua grande maioria, em conduto inserido na fundação da barragem (ANA, 2019);

- i) **Tomada d'água** – Componente que possibilita o uso da água do reservatório para qualquer finalidade, podendo, em barragens de pequeno porte, ser a mesma estrutura que a descarga de fundo (MARAGON, 2004);
- j) **Reservatório** – Corresponde a área reservada para a retenção de água, substância líquida ou mistura de líquidos e sólidos armazenada em uma barragem (ANA, 2019).

A **Figura 4** ilustra as estruturas extravasoras de uma barragem e o seu reservatório.

Figura 4 - Estruturas extravasoras e reservatório



Fonte: ANA (2019).

3.4 Tipos de barragens

Conforme o relato de Sing (1996), as barragens podem ser agrupadas de diferentes maneiras, que podem ser em função do tamanho, do material usado na construção, da forma, da finalidade de uso e do potencial de riscos, sendo esta última, a forma de classificação menos utilizada e que será abordada no capítulo 3.

Com relação ao tamanho, as barragens podem ser classificadas como pequenas, médias ou grandes. O tamanho de uma barragem se relaciona com a altura da parede do barramento ou com o volume do reservatório.

De acordo com o (CIGB), grandes barragens são aquelas que possuem altura maior que 15 metros; altura entre 10 e 15 metros e comprimento maior que 500 metros ou volume do reservatório maior que 1 hm³. Para Sing (1996), as barragens médias são aquelas com altura entre 12 e 30 metros ou que possuem um volume

entre 1,25 hm³ e 62,5 hm³, e pequenas são aquelas cuja altura está entre 8 e 12 metros de altura ou que apresentam volume entre 0,6 hm³ e 1,25 hm³.

Quanto aos materiais utilizados na construção, segundo Sing (1996), uma barragem pode ser homogênea ou zoneada de terra, de enrocamento com núcleo de argila, face de concreto ou com outro tipo de impermeabilização do núcleo ou, ainda, concreto de gravidade, arco ou contraforte. Em alguns casos pode ser utilizada uma mistura de materiais, incluindo terra, enrocamento, alvenaria de pedra e concreto na construção de barragens.

3.4.1 Barragem homogênea de terra

Ainda hoje, assim como em tempos passados, estas barragens permanecem sendo comumente as mais construídas, devido à facilidade de obtenção do material necessário para a sua edificação.

No Brasil, o seu uso é bastante regular, principalmente em empreendimentos menores voltados para a irrigação e o armazenamento de água, uma vez que apresenta um custo menor que os outros tipos de barragem devido ao fato de serem usados, na sua construção, equipamentos mais simples e disponíveis na região (CIRILLO, 2003).

O principal ponto negativo deste tipo de barramento é que caso o vertedouro não seja dimensionado corretamente, a ação erosiva das ondas de cheia pode danificar a barragem (BUREAU OF RECLAMATION, 1987 apud FRANCO, 2008).

A **Figura 5**, abaixo, mostra um exemplo de barragem de terra homogênea, trata-se da barragem Chã dos Pereiras, localizada na cidade de Ingá-PB.

Figura 5 - Barragem de terra homogênea



Fonte: Portal AgoraPB (2017).

3.4.2 Barragem zoneada de terra-enrocamento

Nesse tipo de barragem, há um zoneamento de materiais terrosos em razão de suas características de materiais e/ou permeabilidade (COSTA, 2012).

A **Figura 6** ilustra uma barragem do tipo terra-enrocamento, refere-se à barragem de Jandaia, localizada no município de Bananeiras – PB, com capacidade para armazenar 10 milhões de m³ de água.

Figura 6 - Barragem de terra-enrocamento



Fonte: Governo da Paraíba (2012).

Estas barragens consentem diversas misturas de materiais dispostos no canteiro de obra e com propriedades geotécnicas variáveis. De forma geral, são edificadas em locais onde há a presença de rochas sãs, com pouco recobrimento do solo (FRANCO, 2008).

Conforme relata Costa (2012), esse tipo de barragem pode se apresentar com núcleo impermeável, em que o material rochoso é dominante e o estancamento da água, nesse caso, é realizado através de um núcleo de argila, desassociado do enrocamento por faixas de transição para que não ocorra o transporte de material fino para dentro do enrocamento.

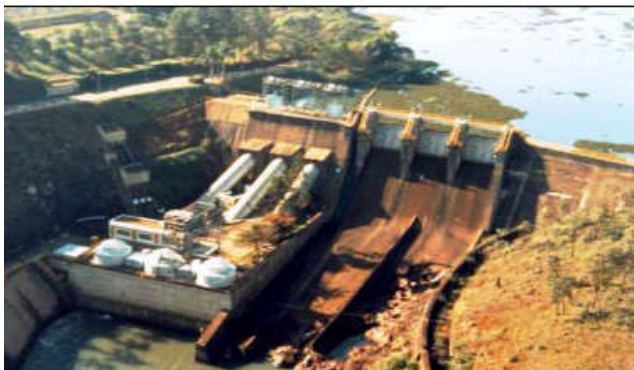
Ainda de acordo com o relato de Costa (2012), esse tipo de barragem pode se apresentar também com face impermeável, nesse caso, a vedação da água é assegurada pela impermeabilização da face de montante da barragem, onde esta é feita com uma camada de asfalto, ou uma chapa de concreto, ou ainda, por uma chapa de aço.

3.4.3 Barragens de concreto

Cirilo (2003) define as barragens de concreto como estruturas enrijecidas, completamente edificadas em concreto onde o solo de fundação é composto por rocha sã ou apresenta propriedades geotécnicas propícias.

Segundo Costa (2012), as barragens de concreto podem ser do tipo gravidade, gravidade aliviada, em contraforte, de concreto rolado ou compactado e abóbada, e apresentam as seguintes características:

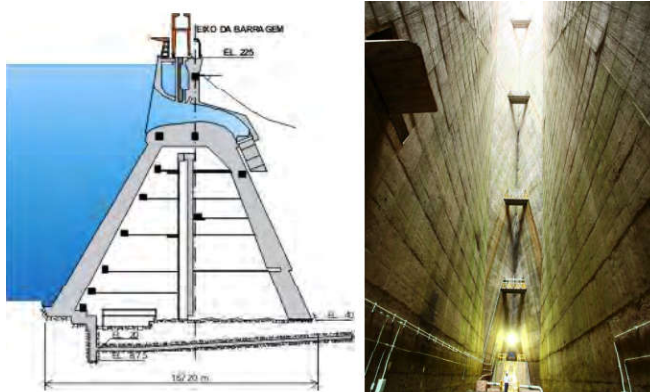
Figura 7 - Barragem de concreto em gravidade



Fonte: ANA (2019).

- a) **Gravidade** - esse tipo de barramento resiste à pressão provocada pela água empregando apenas seu peso próprio, por isso o nome gravidade. Pode ser projetada no formato de crista ou em arco, conforme ilustra a **Figura 7** acima.
- b) **Gravidade aliviada** - neste modelo é necessário o uso de armação, pois neste tipo de barragem ocorrem esforços de tração, visto que sua estrutura é mais leve que a barragem de gravidade, como ilustra a **Figura 8**.

Figura 8 – Barragem em concreto de gravidade aliviada



Fonte: Prof. Ricardo Ferreira – PUC/Goias (2020).

c) **Em contraforte** - é similar a uma barragem de gravidade aliviada, sendo que, por possuir um menor volume de concreto é ainda mais leve. No entanto, necessita de uma armadura maior para suportar os esforços da pressão hidrostática, assim como mostra a **Figura 9**.

Figura 9 - Barragem de concreto em contraforte



Fonte: ANA (2019).

d) **De concreto rolado ou compactado** – é um tipo de barragem de gravidade, a diferença está na execução, em que o concreto é espargido com trator de esteira para na sequência ser compactado. A **Figura 10** mostra uma barragem de Concreto Compactado a Rolo (CCR), trata-se da barragem Acauã, com capacidade para 253 milhões de m³ de água, localizada no município de Itatuba – PB.

Figura 10 - Barragem de Concreto Compactado a Rolo (CCR)



Fonte: Portal G1 (2020).

e) **Abóbada** – também conhecida como barragens em arco de dupla curvatura, são estruturas em que a curvatura ocorre em dois sentidos: na horizontal, seguindo o seu traçado, e também na vertical. Dentre as barragens citadas é a que consome menos concreto por área de superfície barrada. Um exemplo deste tipo de barragem é a de Funil, da Furnas Centrais Elétricas, como ilustra a **Figura 11**.

Figura 11 - Barragem abóbada (em arco)



Fonte: Azevedo (2005).

3.4.4 Barragens mistas

Segundo Costa (2012), uma barragem pode ser considerada mista em relação a sua seção e em relação ao seu traçado. A barragem de seção mista é aquela formada por mais de um material ao longo de sua seção transversal, em que os tipos mais comuns são: terra-enrocamento, terra-concreto e concreto-enrocamento. A barragem é mista em relação ao seu traçado longitudinal quando parte deste traçado é de um tipo e parte é de outro (**Figura 12**).

Figura 12 - Barragem mista (Itaipú)



Fonte: Itaipu.gov.br (2020).

3.4.5 Tipos de barragens de acordo com seu objetivo e finalidade de construção

Em princípio, conforme Costa (2012), de acordo com seu objetivo de construção, as barragens podem ser classificadas em dois grandes grupos: regularização e retenção. Já Franco (2008), as barragens podem ser agrupadas em três categorias de acordo com suas finalidades de armazenamento, de desvio ou de retenção.

As barragens de regularização, como o próprio nome indica, servem para regular o fluxo de água de um rio, bem como relata Franco (2008), servem para captar e armazenar água no período chuvoso para ser utilizada no período de estiagem, por exemplo, no fornecimento de água, pesca, recreação, irrigação, geração de energia elétrica etc.

As barragens de desvio são projetadas para abastecer os diques, canais ou diferentes sistemas de fornecimento de água. São mais utilizadas em sistema de irrigação e no abastecimento de rede municipal e industrial (FRANCO, 2008).

Conforme Costa (2012), as barragens de contenção são construídas com o objetivo de represar água temporariamente ou armazenar sedimentos, resíduos industriais ou rejeitos de mineração. Quando o objetivo é reter água, essas barragens têm como finalidade abrandar a onda de enchente e conter o alagamento a jusante.

3.5 Visão geral sobre a construção de barragens

As barragens, sejam elas construídas com o objetivo de acumular água ou contenção de rejeitos, são estruturas fundamentais para o desenvolvimento da humanidade e presente em toda a história das civilizações ocupantes da Terra, trazendo, com a sua construção, inúmeros benefícios e vantagens ao ser humano, no entanto, essas obras de arte também oferecem riscos e desvantagens à sociedade e ao meio ambiente.

3.5.1 Vantagens e desvantagens da construção de barragens

Conforme Franco (2008), as barragens possuem importância relevante uma vez que suprem a necessidade da população por água e energia, são observadas como elementos de precaução estratégica de longo prazo, capazes de ofertar

diversos benefícios, tais como: desenvolvimento regional, geração de emprego e incentivos para um alicerce industrial com capacidade de exportação.

Conforme ANA (2019), os benefícios de uma barragem alcançam todos os cidadãos, na forma de fornecimento de água para consumo humano e industrial, irrigação, geração de energia elétrica, controle de vazões amenizando os impactos de secas e enchentes, acomodação de rejeitos de mineração, acumulação de resíduos industriais, navegação, aquicultura e recreação, entre outros.

No entanto, conforme relata Silva (2019), a construção de barragens e lagos provocam muitos danos sociais e ambientais. Os indivíduos são atingidos diretamente por meio da inundação de suas propriedades, residências, áreas agrícolas e até as cidades como um todo. Ocorrem também os impactos indiretos, como as perdas de laços afetivos e culturais com separação de comunidades e famílias, destruição de igrejas, capelas e inundação de locais sagrados para comunidades tradicionais.

De acordo com o RSB da ANA (2019), foram coletados relatos de 12 acidentes e 58 incidentes com barragens em 15 estados do país. Com ênfase no sinistro mais sério de todos, o de Brumadinho, em Minas Gerais, que causou a morte de 270 pessoas e atingiu outras 40 mil.

3.5.2 Riscos associados às barragens

Mello (2011) conceitua o risco como a combinação das chances de um determinado evento e suas consequências acontecerem. A chance de acontecimento de um fato é normalmente chamada de ameaça e as consequências são os custos diretos e indiretos provenientes da ocorrência de ameaça.

Qualquer que seja o tipo de barragem, seja ela de água ou de rejeito, apresenta um risco associado, haja vista os acidentes e os danos provocados ao longo do tempo, desde o início da construção dessas estruturas até os dias atuais, principalmente nas últimas décadas. Assim, intervenções técnicas de engenharia são indispensáveis para atenuar a ocorrência de acidentes envolvendo estas construções.

As barragens de mais elevados riscos potenciais são aquelas em que a altura do maciço for maior ou igual a 15 metros, do ponto mais baixo ao mais alto; as que armazenam resíduos industriais perigosos (classe I), as que dispõem de capacidade de armazenar volumes superiores a 3 milhões de metros cúbicos e as que forem

classificadas com dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, ambientais, sociais ou de perda de vidas (ZABINI, 2016).

3.6 Legislação sobre segurança de barragens

3.6.1 Panorama internacional

A segurança sempre foi um tema de preocupação entre os diversos órgãos que atuam na área de exploração das barragens. Como precursor no debate deste tema tem-se o ICOLD (*International Commission on Large Dams*), que inicialmente atuou neste campo com a formação de diversos comitês, edição de boletins e organização de congressos, seminários e cursos.

Mello (2011) faz um resumo histórico da legislação de segurança de barragens pelo mundo, como descrito a seguir:

a) Nos Estados Unidos

Na década de 70, em um período de cinco anos, acidentes com diversas barragens provocando a morte de centenas de pessoas e prejuízos na casa de bilhões de dólares, colaboraram para a reformulação das leis de inspeção e segurança de barragens no país.

Entre as iniciativas empregadas pelo governo estão: leis autorizando o corpo de engenharia norte-americano a inspecionar barragens não federais (1972); revisão dos critérios de segurança de barragens (1977); ordem presidencial para aplicação do Guia de Segurança de Barragens (1979); aprovação da Lei Nacional de Segurança de Barragens (1997) e a criação de vários órgãos responsáveis pela segurança de barragens.

b) Em Portugal

Em 1990, foi proclamado, o decreto-lei sobre o “Regulamento de Segurança de Barragens” obrigando as barragens do país a praticar as imposições do regulamento. Entre estas imposições pode-se destacar: Designação dos responsáveis pela segurança englobando o governo e o proprietário da obra; Criação de um plano de observação e sua adequação quando necessário, obrigatoriamente a cada 20 anos e inspeções periódicas através do órgão responsável.

c) **A Finlândia**

Em 1994, publicou, o *Dam Safety Code of Practice* (Código de Prática de Segurança de Barragens) impondo que este fosse executado juntamente com o *Dam Safety Act* (Lei de Segurança de Barragens) e o *Dam Safety Decree* (Decreto de Segurança de Barragens), ambos de 1984.

d) **A Itália**

Em 1982, a Itália publicou um decreto extensível as barragens com altura superior a 10 m e com capacidade superior a 100.000 m³, contendo as obrigações que abrangem vários órgãos nas diversas etapas de um empreendimento.

2.6.2 A legislação brasileira

O Decreto nº. 24.643/1934, que ficou conhecido como o Código das Águas, foi o primeiro documento que se tem conhecimento, no Brasil, sobre a regulamentação dos recursos hídricos, e que, posteriormente, devido a sua relevância foi integrado a Constituição Federal de 1934 (FRANCO, 2008).

A Constituição de 1934, por sua vez, estabeleceu que aos estados caberiam às margens de rios e lagos navegáveis, e que estes seriam atribuídos ao uso público se não pertencessem a propriedade federal, municipal ou particular, competência que foi mantida pela Constituição de 1937. No entanto, a Constituição de 1946, realizou uma alteração, de forma que os Municípios foram retirados da classe de detentores de domínio das águas, ficando concedido à União e aos Estados, sem prejudicar as de domínio particular (MARQUES, 2004).

A Constituição de 1967 não alterou o disposto na Carta anterior, mas a Constituição de 1988 promove outra alteração no domínio das águas brasileiras, desta vez, o particular perde a titularidade dominial sobre as águas e passa a ter apenas direito de uso (MARQUES, 2004).

Posterior às Constituições brasileiras veio a Lei 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e a Lei nº 9.984, que criou a Agência Nacional de Águas (ANA) (FRANCO, 2008).

A ANA é a instituição responsável por fiscalizar a segurança de barragens de acumulação de água localizadas em rios de domínio federal, para as quais

concedeu outorga, e elaborar anualmente o Relatório de Segurança de Barragens (RSB).

Conforme relata Farias (2017), na legislação brasileira, a primeira lei inerente a segurança de barragens é a Lei nº 12.334/2010 que criou a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

A Lei nº 12.334/2010, em resumo, apresenta os objetivos, os fundamentos e os instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens; assim como os órgãos responsáveis pela fiscalização e classificação das barragens, e as informações que devem conter no Plano de Segurança de Barragens (PSB).

De acordo com o Art. 1º, esta Lei aplica-se às barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

- 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 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos);
- III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- IV - categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 6º.

Os objetivos do Plano Nacional de Segurança de Barragens estão estabelecidos no Art. 3º da lei 12.334/2010, que são:

- I. Garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências;
- II. Regulamentar as ações de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros de barragens em todo o território nacional;
- III. Promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens;
- IV. Criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público, com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança;

- V. Coligir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos;
- VI. Estabelecer conformidades de natureza técnica que permitam a avaliação da adequação aos parâmetros estabelecidos pelo poder público;
- VII. Fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos

Ainda de acordo com a Lei 12.334/2010, a segurança de uma barragem deve ser antevista em todas as suas etapas de concepção, desde o planejamento, passando pelo projeto até a construção, e a população tem o direito de saber quais os riscos e consequências da construção de uma barragem e devem ser incentivadas, mesmo de forma indireta, a participar de ações de prevenção e emergência. O empreendedor, seja público ou privado, é o responsável legal pela segurança da barragem.

3.6.3 Competência no estado da Paraíba

No estado da Paraíba, a autarquia responsável por gerenciar os recursos hídricos pertencentes ao estado é a Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs), instituída por força da Lei 7.779 de 07 de julho de 2005 e vinculada à Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídrico e Minerais (SEMARH), hoje, Secretaria de Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente (SEIRHMA).

A atuação da AESA obedece aos fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Estadual nº 6.308, de 02 de julho de 1996, que foi criada visando assegurar o uso integrado e racional desses recursos, para a promoção do desenvolvimento e do bem estar da população do Estado da Paraíba.

A AESA supervisiona os recursos hídricos do Estado através da Gerência Executiva de Fiscalização, que possui as seguintes competências: fiscalizar a oferta, o uso e a preservação dos recursos hídricos; efetuar vistorias, levantamentos e avaliações das reservas hídricas do Estado; autuar os infratores da legislação de recursos hídricos, de acordo com a legislação pertinente; elaborar relatórios anuais sobre a situação dos corpos d'água do Estado; propor a regulamentação do uso das águas estaduais e fiscalizar o seu cumprimento e executar outras atividades associadas (SILVA, 2019).

4 METODOLOGIA

A metodologia aplicada na realização desta pesquisa teve finalidade descritiva e exploratória, onde foram exploradas as cinco barragens objeto deste estudo e a área a jusante de cada reservatório, e então foi realizada a descrição das anomalias identificadas em cada barragem, do estado de conservação e dos elementos situados a jusante de cada barramento.

A pesquisa também teve uma abordagem qualitativa e quantitativa, em que foi feito um levantamento de todas as anomalias ocorrentes nas barragens estudadas, e os resultados obtidos foram representados por meio de quadros, tabelas e gráficos para serem analisados.

4.1 Área de Estudo

Foram selecionadas cinco barragens para a realização deste trabalho e estas estão situadas na Bacia do Rio Curimataú-PB, (**Figura 13**). O critério de escolha das barragens foi que estas deveriam ter volume superior a 1hm^3 , e assim se enquadrar no conceito de grandes barragens elaborado pela *ICOLD (International Commission on Large Dams)*.

Figura 13 - Bacia do rio Curimataú - PB



Fonte: Adaptado AESA (2020).

De acordo com os dados da ANA (2017), a bacia do rio Curimataú abrange uma área de aproximadamente 4.000 km^2 , distribuídos entre os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Seus limites são identificados ao norte pela bacia do rio

Jacu; ao sul pela bacia do Litoral Norte da Paraíba; a sudoeste pela bacia do rio Paraíba e a leste pelo Oceano Atlântico.

O rio Curimataú nasce na porção paraibana da bacia, no município de Barra de Santa Rosa, pertencente à Serra da Borborema. Após entrar no estado potiguar, pelo município de Nova Cruz, deságua no Oceano Atlântico no estuário denominado Barra do Cunhaú, entre os municípios de Baía Formosa e Canguaretama, totalizando um percurso de cerca de 200 km. Seu principal afluente pela margem direita é o rio Pirari. Pela margem esquerda, destacam-se o riacho da Carabeira e o rio Calabouço (ANA, 2017).

As cinco barragens, objeto deste presente estudo, totalizam uma capacidade de armazenamento de 34.23 hm³. O **Quadro 2** apresenta as barragens agrupadas por bacia hidrográfica, indicando o seu código no SNISB e a capacidade de cada uma delas.

Quadro 2 - Capacidade das barragens da Bacia do Rio Curimataú

Bacia	Cód. SNISB	Reservatório	Cidade	UF	Capacidade (hm ³)
Curimataú	7782	Algodões	Algodão de Jandaíra	PB	1.02
	26	Cacimba de Várzea	Cacimba de Dentro	PB	9.26
	29	Curimataú	Barra de Santa Rosa	PB	5.99
	1647	Jandaia	Bananeiras	PB	10.03
	33	Poleiros	Barra de Santa Rosa	PB	7.93
Total					34.23

Fonte: AESA (2017).

4.1.1 Barragem Curimataú

A barragem Curimataú localiza-se no município de Barra de Santa Rosa-PB. Com uma extensão de 278,6 m e altura de 15,18m, o seu reservatório tem capacidade para armazenar 5.99 milhões de m³, conforme consta no **Quadro 3** e é ilustrado pela **Figura 14**.

Figura 14 – Barragem Curimataú

Fonte: Autor (2020).

Quadro 3 - Ficha Técnica da Barragem Curimataú

Localização	
Município	Barra de Santa Rosa
Estado	Paraíba
Rio/Riacho Barrado	Riacho das Caraibeiras
Latitude	06° 42' 50.61" S
Longitude	36° 02' 10.67" W
Barragem	
Bacia Hidrográfica (km ²)	4.000
Volume (hm ³)	5.99
Tipo	Terra Homogênea
Comprimento do coroamento (m)	278.6
Largura do coroamento (m)	N/D
Altura máxima (m)	15.18
Uso principal	Abastecimento humano
Idade	62
Sangradouro	
Tipo	Canal escavado em solo natural com perfil Creager
Largura	
Tomada D'água	
Tipo	Tubulação controlada por registro gaveta
Comprimento (m)	---
Diâmetro (mm)	300
Empreendedor	
DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas	

Fonte: ANA (2017).

4.1.2 Barragem Poleiros

A barragem Poleiros também localiza-se no município de Barra de Santa Rosa-PB, com uma extensão de 350m e altura de 25m, o seu reservatório tem

capacidade para armazenar 7.93 milhões de m³ e tem como uso principal o abastecimento humano, conforme consta no **Quadro 4** e é ilustrado na **Figura 15**.

Figura 15 - Barragem Poleiros



Fonte: Autor (2020).

Quadro 4 - Ficha Técnica da Barragem Poleiros

Localização	
Município	Barra de Santa Rosa
Estado	Paraíba
Rio/Riacho Barrado	Riacho Poleiros
Latitude	06° 43' 52.18" S
Longitude	36° 05' 17.73" W
Barragem	
Bacia Hidrográfica (km ²)	4.000
Volume (hm ³)	7.93
Tipo	Terra Homogênea
Comprimento do coroamento (m)	350
Largura do coroamento (m)	N/D
Altura máxima (m)	25
Uso Principal	Abastecimento Humano
Idade	N/D
Sangradouro	
Tipo	Canal escavado em solo natural com perfil de soleira espessa
Largura	N/D
Tomada D'água	
Tipo	Tubulação controlada por registro gaveta
Comprimento (m)	---
Diâmetro (mm)	200
Empreendedor	
SEIRHMACT – Secretaria da Infraestrutura, dos Recursos Hídrico e da Ciência e Tecnologia	

Fonte: ANA (2017).

4.1.3 Barragem Algodões

Algodões é uma barragem localizada no município de Algodão de Jandaíra-PB, que possui uma extensão de 214m e altura máxima de 9.9 m, o que proporciona ao seu reservatório ter capacidade para armazenar 1,02 milhões de m³, conforme consta no **Quadro 5** e é ilustrado pela **Figura 16**.

Figura 16 - Barragem Algodões



Fonte: Autor (2020).

Quadro 5 - Ficha Técnica da Barragem Algodões

Localização	
Município	Algodão de Jandaíra
Estado	Paraíba
Rio/Riacho Barrado	Riacho do Cágado
Latitude	06° 54' 28" S
Longitude	36° 00' 14" W
Barragem	
Bacia Hidrográfica (km ²)	4.000
Volume (hm ³)	1.02
Tipo	Terra
Comprimento do coroamento (m)	214
Largura do coroamento (m)	N/D
Altura máxima (m)	9.9
Uso Principal	Abastecimento Humano
Idade	N/D
Sangradouro	
Tipo	Canal escavado em solo natural com perfil de soleira espessa
Largura	N/D
Tomada D'água	
Tipo	N/D
Comprimento (m)	---
Diâmetro (mm)	---
Empreendedor	

Fonte: ANA (2017).

4.1.4 Barragem Cacimba de Várzea

A barragem Cacimba de Várzea, localizada no município de Cacimba de Dentro-PB, possui uma extensão de 183 m e altura máxima de 14 m, o seu reservatório tem capacidade para armazenar 5.99 milhões de m³, conforme consta no **Quadro 6** e é ilustrado pela **Figura 17**. O reservatório hoje é utilizado apenas para regulação de vazão, mas na década 90, quando sua água tinha uma melhor qualidade, foi utilizado para abastecimento humano das cidades de Cacimba de Dentro e Damião.

Figura 17 - Barragem Cacimba de Várzea



Fonte: Autor (2020).

Quadro 6 - Ficha Técnica da Barragem Cacimba de Várzea

Localização	
Município	Cacimba de Dentro
Estado	Paraíba
Rio/Riacho Barrado	Rio Curimataú
Latitude	06° 41' 24.91" S
Longitude	35° 46' 45.30" W
Barragem	
Bacia Hidrográfica (km ²)	4.000
Volume (hm ³)	9.26
Tipo	Terra
Comprimento do coroamento (m)	183
Largura do coroamento (m)	N/D
Altura máxima (m)	14

Uso Principal	Regulação de Vazão
Idade	N/D
Sangradouro	
Tipo	Canal escavado em solo natural com perfil de soleira Creager
Largura	N/D
Tomada D'água	
Tipo	Tubulação controlada por registro gaveta, descarrega em poço de sucção
Comprimento (m)	---
Diâmetro (mm)	250
Empreendedor	
SEIRHMACT – Secretaria da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e da Ciência e Tecnologia	

Fonte: ANA (2017).

4.1.5 Barragem Jandaia

Jandaia é uma barragem localizada no município de Bananeiras-PB, foi concluída no ano de 2012, tem 8 anos apenas. Com o comprimento de 610 m do seu coroamento e altura máxima de 42,15 m, Jandaia é a maior dentre as barragens objeto deste estudo com capacidade para armazenar 10 milhões de m³, onde sua água é utilizada para abastecimento humano, conforme consta no **Quadro 7** e é ilustrado pela **Figura 18**.

Figura 18 - Barragem Jandaia



Fonte: Autor (2020).

Quadro 7 - Ficha Técnica da Barragem Jandaia

Localização	
Município	Bananeiras
Estado	Paraíba

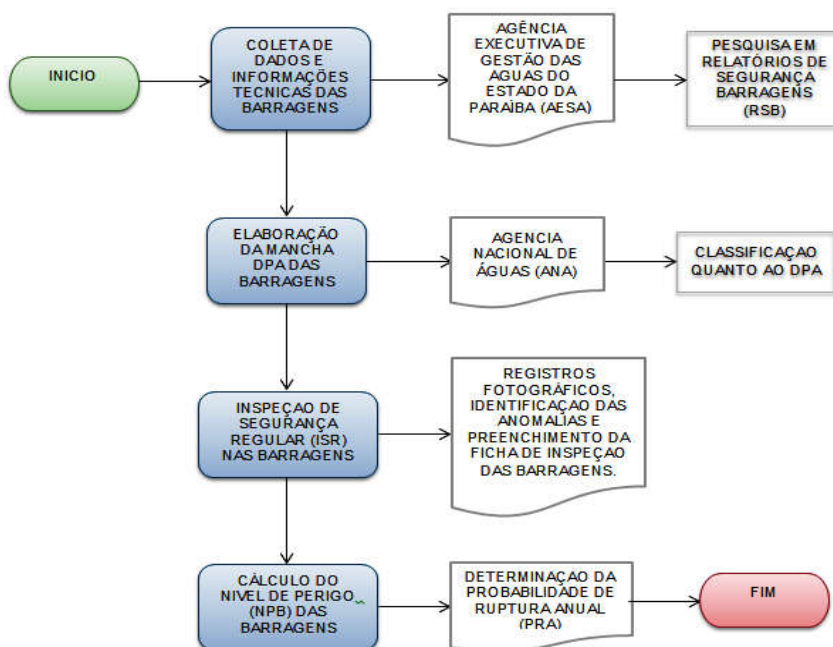
Rio/Riacho Barrado	Riacho Jandaia
Latitude	06° 39' 39" S
Longitude	35° 44' 11" W
Barragem	
Bacia Hidrográfica (km ²)	4.000
Volume (hm ³)	10.00
Tipo	Terra-enrocamento
Comprimento do coroamento (m)	610
Largura do coroamento (m)	N/D
Altura máxima (m)	42.14
Uso Principal	Abastecimento Humano
Idade	8 anos
Sangradouro	
Tipo	Perfil de soleira Creager
Largura (m)	150
Tomada D'água	
Tipo	Tubulação controlada por registro gaveta, descarrega em poço de sucção
Comprimento (m)	---
Diâmetro (mm)	250
Empreendedor	
SEIRHMACT – Secretaria da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e da Ciência e Tecnologia	

Fonte: ANA (2017).

4.2 Etapas da pesquisa

A pesquisa se desenvolveu em quatro etapas diferentes e sua estrutura metodológica está ilustrada pelo organograma apresentado na **Figura 19**.

Figura 19 - Estrutura da Metodologia



Fonte: Autor (2020).

A pesquisa se iniciou com a coleta de dados e informações técnicas sobre as barragens junto a AESA. Prosseguindo, a segunda etapa se deu com a elaboração da mancha de inundação das barragens para a classificação quanto ao Dano Potencial Associado. Em seguida, na terceira etapa foi realizada uma Inspeção de Segurança Regular em cada barragem para identificação das anomalias e finalizou na quarta etapa, com o cálculo do Nível de Perigo e determinação da Probabilidade de Ruptura Anual das barragens em estudo.

A Inspeção de Segurança Regular (ISR) das barragens foi realizada seguindo as orientações do Guia de Orientação e Formulários para Inspeção de Segurança de Barragem presente no Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens (Vol. II), da ANA (2016). Através destas inspeções foi feito um Check-List das possíveis anomalias ocorrentes nas barragens objeto desta pesquisa, contendo a situação, a magnitude e o nível de perigo de cada anomalia identificada, as quais foram apresentadas por meio de registros fotográficos.

O Nível de Perigo de cada Barragem (NPB) foi determinado através da metodologia desenvolvida em FONTENELLE (2007), já utilizada pela COGERH-CE (Companhia da Gestão dos Recursos Hídricos do estado do Ceará) em seu RASB (Relatório Anual de Segurança de Barragens). O NPB de cada barragem é determinado em função do Nível de Perigo (NP) de cada anomalia identificada por meio do Check-List durante a inspeção de segurança.

A Probabilidade de Ruptura de cada Barragem (PRA), também foi determinada através da metodologia desenvolvida em FONTENELLE (2007), e esta depende do Nível de Perigo da Barragem (NPB). A PRA de cada barragem foi apresentada em uma tabela de classificação, a qual conterà os seguintes resultados: Altamente Preocupante (AP), Preocupante (P), Aceitável (AC), Bom Desempenho (BD) e ótimo Desempenho (OD).

Com relação ao Dano Potencial Associado (DPA) das barragens em estudo, este foi determinado de acordo com os critérios propostos pela Resolução nº 143 do CNRH (Conselho Nacional dos Recursos Hídricos) e os resultados foram apresentados em tabela, identificando as barragens com dano potencial baixo, médio ou alto de acordo com a pontuação obtida após o preenchimento da matriz de classificação.

4.2.1 Inspeção de Segurança Regular

De acordo com a Resolução nº 143 do CNRH, o seu Art. 3º, inciso XIII, define Inspeção de Segurança Regular (ISR) como a atividade sob a responsabilidade do empreendedor que visa identificar e avaliar anomalias que afetem potencialmente as condições de segurança e de operação da barragem, bem como seu estado de conservação, devendo ser realizada, regularmente, com a periodicidade estabelecida nesta Resolução.

O **Quadro 8** apresenta as informações de quem realiza a inspeção regular, qual o seu objetivo, quando deve ser feita, quem executa e quem regulamenta.

Quadro 8 - Inspeção de Segurança Regular

Quem deve realizar?	É uma obrigação do empreendedor.
Qual é o objetivo	Visa detectar a existência de anomalias e identificar perigos em potencial e iminentes da barragem.
Quando deve ser realizado?	Deve ser feita regularmente com periodicidade estabelecida em função da Categoria de Risco e Dano Potencial Associado à barragem.
Quem executa?	Pode ser executada pela própria equipe de segurança da barragem, devendo o relatório está disponível ao órgão fiscalizador e a sociedade civil.
Quem regulamenta?	A ANA para as barragens sob sua jurisdição - RESOLUÇÃO 742/2011, onde foram estabelecidos a periodicidade, a qualificação da equipe responsável, o conteúdo mínimo e seu nível de detalhamento.

Fonte: ANA (2016).

A periodicidade de realização da Inspeção de Segurança Regular foi definida de acordo com a Categoria de Risco e o Dano Potencial Associado da barragem e foi regulamentada pela Resolução ANA nº 742/2011, no seu Artigo 4º. O **Quadro 9** mostra a periodicidade de Inspeção de Segurança Regular de acordo com a classificação da barragem.

Quadro 9 - Periodicidade de Inspeções de Segurança Regulares

Dano Potencial Associado	Categoria de Risco		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	Semestral	Semestral	Semestral
Médio	Semestral	Semestral	Anual
Baixo	Anual	Anual	Bianual

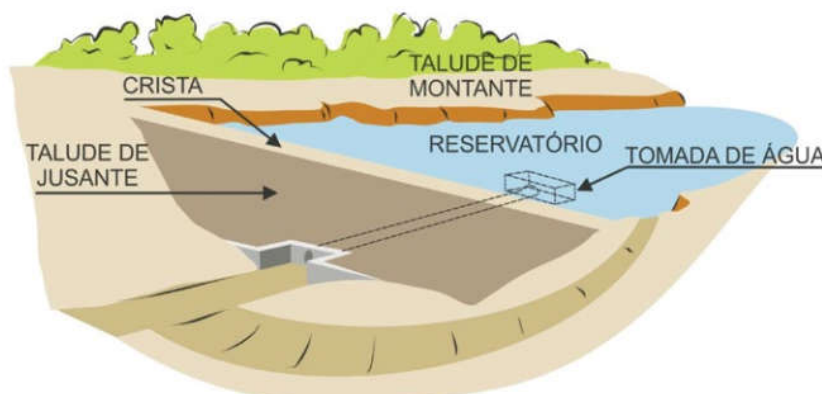
Fonte: ANA (2011).

Com o objetivo de obter o maior número de informações possíveis e de boa qualidade, é recomendado, antes das inspeções, se possível, a consulta a estudos e relatórios que abranjam:

- A) Projeto da barragem;
- B) Métodos construtivos e controle de qualidade;
- C) Relatório das inspeções de segurança anteriores;
- D) Análise dos registros dos instrumentos instalados, quando existentes (CORPS OF ENGINEERS, 1995a, 1995c; SECO; PINTO, 1982, *apud* ANA, 2016);
- E) Operação e manutenção;
- F) Plano de Ação e de Emergência (PAE), quando existente;
- G) Eventuais operações.

A supervisão de campo tem por finalidade verificar fenômenos que possam prejudicar a segurança da barragem. Desta forma, a inspeção foi realizada analisando todas as partes da barragem, denominadamente, o talude de montante, o talude de jusante, a crista, as ombreiras, o pé da barragem, as áreas a jusante, as interfaces com estruturas auxiliares e a zona do reservatório, que estão apresentadas na **Figura 20**, abaixo.

Figura 20 - Partes integrantes de uma barragem



Fonte: ANA (2016).

“A técnica geral é caminhar sobre os taludes e sobre a crista em diferentes direções, de forma a observar todas as zonas da barragem” (ANA, 2016). Não importa a trajetória a ser seguida ao percorrer os componentes da barragem, o importante é cobrir visualmente toda a área durante a inspeção. Dependendo das

condições da barragem (vegetação, rugosidade), a uma distância de 3 a 10 metros, em qualquer direção, pequenos detalhes podem ser percebidos.

Ao percorrer todas as partes integrantes da barragem fotografando e identificando as anomalias encontradas, a ficha de inspeção ou Check-List foi preenchida de acordo com as orientações que constam no Manual de Preenchimento de Ficha de Inspeção de Barragem disponibilizado pelo Ministério da Integração (MI, 2010).

No citado manual é descrito um sistema de legendas que auxiliaram no preenchimento do Check-List. As anomalias são classificadas de acordo com a **Situação Atual** (ST), a **Magnitude** (MG) e o **Nível de Perigo** (NP) em que se encontram.

I. Situação Atual:

- a) **NA** – Este item Não é Aplicável: O item examinado não é pertinente à barragem que esteja sendo inspecionada.
- b) **NE** – Anomalia Não Existente: Quando não existe nenhuma anomalia em relação ao item que esteja sendo examinado.
- c) **PV** – Anomalia constatada pela Primeira Vez: Quando da visita à barragem, aquela anomalia for constatada pela primeira vez, não havendo indicação de sua ocorrência nas inspeções anteriores.
- d) **DS** – Anomalia Desapareceu: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia verificada na inspeção anterior não mais esteja ocorrendo.
- e) **DI** – Anomalia Diminuiu: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresente-se com menor intensidade ou dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, conforme pode ser verificado pela inspeção ou informado pela pessoa responsável pela barragem.
- f) **PC** – Anomalia Permaneceu Constante: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresente-se com igual intensidade ou a mesma dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, conforme pode ser verificado pela inspeção ou informado pela pessoa responsável pela barragem.
- g) **AU** – Anomalia Aumentou: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresente-se com maior intensidade, ou dimensão, em relação ao

constatado na inspeção anterior, capaz de ser percebida pela inspeção ou informada pela pessoa responsável pela barragem.

- h) **NI** – Este item Não foi Inspeccionado: Quando um determinado aspecto da barragem deveria ser examinado e por motivos alheios à pessoa que esteja inspecionando a barragem, a inspeção não foi realizada.

II. Magnitude:

- a) **I** - Insignificante: Anomalia que pode simplesmente ser mantida sob observação pela equipe local da barragem
- b) **P** - Pequena: Anomalia que pode ser resolvida pela própria equipe local da barragem.
- c) **M** - Média: Anomalia que pode ser resolvida pela equipe local da barragem com apoio da equipe sede do empreendedor ou apoio externo.
- d) **G** - Grande: Anomalia que só pode ser resolvida com apoio da equipe da sede do empreendedor ou apoio externo.

III. Nível de Perigo da Anomalia:

- a) **0** - Nenhum: não compromete a segurança da barragem, mas que pode ser entendida como descaso e má conservação.
- b) **1** - Atenção: não compromete a segurança da barragem a curto prazo, mas deve ser controlada e monitorada ao longo do tempo.
- c) **2** - Alerta: risco a segurança da barragem, devem ser tomadas providências para a eliminação do problema.
- d) **3** - Emergência: risco de ruptura iminente, situação fora de controle.

4.2.2 Nível de Perigo da Barragem (NPB)

O NPB é calculado a partir dos Níveis de Perigo das anomalias (NP) apontadas no preenchimento da lista de inspeção. Conforme citado anteriormente, para cada anomalia deve ser preenchido o nível de perigo correspondente (0 - Nenhum; 1- Atenção; 2- Alerta; 3- Emergência) seguindo as recomendações do manual proposto para barragens de terra.

Para cada um dos quatro níveis de perigo relacionado a anomalia da barragem (Nenhum – Atenção – Alerta – Emergência) é atribuído um peso distinto

proporcional à probabilidade de ruptura para a barragem, conforme é mostrado na **Tabela 2**.

Tabela 2 - Os Níveis de Perigo (NP) e os Pesos respectivos

Nível de Perigo da Anomalia (NP)	Peso do NP (a)
Nenhum (0)	0
Atenção (1)	1
Alerta (2)	4
Emergência (3)	9

Fonte: FONTENELLE (2007).

Realiza-se uma verificação das quantidades de cada um dos quatro níveis de perigo (NP = 0, 1, 2, e 3) e faz-se uma segunda ponderação. Em seguida, é verificada a quantidade de cada **NP** existente na lista de inspeção da barragem de acordo com a **Tabela 3**.

Tabela 3 - Peso das quantidades NP de acordo com as quantidades

Quantidade de NP na lista de inspeção	Peso das quantidades (b)
0-5	1
6-10	2
11-15	3
16-20	4
21-35	5
36-50	6

Fonte, FONTENELLE (2007).

O Total da Pontuação do NPB da barragem é obtido fazendo-se o somatório do produto do **Peso do NP (a)** pelo **Peso das Quantidades (b)**, conforme o modelo apresentado na **Tabela 4**.

Tabela 4 - Cálculo da Pontuação NPB da Barragem

Nível de Perigo da Anomalia (NP)	Peso do NP (a)	Quantidade na Lista de Inspeção	Peso das Quantidades (b)	Pontuação NPB (axb)
Nenhum (0)	0			
Atenção (1)	1			
Alerta (2)	4			
Emergência (3)	9			
Total da Pontuação NPB da Barragem =				

Fonte: FONTENELLE (2007).

4.2.3 Classificação quanto à Probabilidade de Ruptura Anual (PRA)

A Probabilidade de Ruptura Anual (PRA) é determinada em função do Nível de Perigo da Barragem (NPB). SILVEIRA (2007), tendo por base a experiência mundial com as estatísticas sobre rupturas de barragens, revela como valor atual a probabilidade de 10^{-4} para uma barragem vir a romper por ano. A **Tabela 5** apresenta a classificação da PRA de uma barragem em função do NPB.

Tabela 5 – Classificação quanto a PRA da Barragem

NPB	PRA	Classificação
>30	10^{-2}	Altamente Preocupante (AP)
9-30	10^{-3}	Preocupante (P)
2-8	10^{-4}	Aceitável (Ac)
1	10^{-5}	Bom Desempenho (BD)
0	10^{-6}	Ótimo Desempenho (OD)

Fonte: FONTENELLE (2007).

Se a barragem apresentar um NPB igual entre 2 e 8, a sua PRA será 10^{-4} e assim esta barragem será classificada com uma probabilidade de ruptura aceitável. Se seu NPB for maior que 30, sua PRA será classificada como altamente preocupante.

4.2.4 Classificação quanto ao Dano Potencial Associado (DPA)

A Resolução nº 143/2012 da ANA, define o DPA como dano causado pela ruptura, vazamento, infiltração de água no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, podendo ser classificado de acordo com os seguintes critérios: volume, as perdas de vidas humanas e impactos sociais, econômicos e ambientais que a ruptura da barragem pode ocasionar.

Para o preenchimento do quadro de DPA, foram necessárias as informações de mancha de inundação (Mancha DPA). A Mancha DPA de cada barragem foi determinada utilizando o software ArcGis (v. 10.5) de acordo com a metodologia simplificada da ANA, exclusivamente desenvolvida para a classificação do DPA. Desta forma, não podendo ser utilizada para elaboração do Plano de Ação de Emergência.

Com a delimitação da área de inundação foi realizado o cadastro dos usos e ocupações dentro da envoltória e preenchida a matriz de classificação. Este

cadastro foi realizado utilizando imagem de satélite disponibilizada no programa Google Earth. A classificação do DPA foi realizada de acordo com o valor do somatório dos critérios citados acima, conforme a **Equação (1)** a seguir.

$$DPA = (s) + (t) + (u) + (v) \quad (1)$$

onde:

s = Volume Total do reservatório e a pontuação varia de 0 a 5;

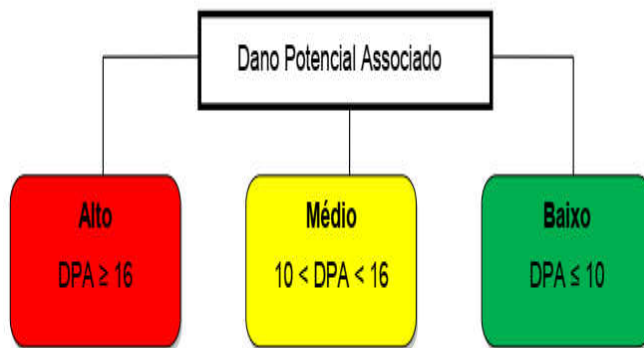
t = Potencial de perdas de vidas humanas, varia de 0 a 12;

u = Impacto ambiental, varia de 3 a 5;

v = Impactos socioeconômicos, varia de 0 a 8

Sendo a barragem classificada com DPA alto quando este valor for maior ou igual a 16 pontos e baixo quando ele for menor ou igual a 10. Estando entre esses dois valores o DPA é avaliado como médio, como ilustrado na **Figura 21**, abaixo.

Figura 21 - Classificação quanto ao DPA



Fonte: Souza e Silva (2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em conformidade com a metodologia desenvolvida em FONTENELLE (2007), também já utilizada pela COGERH-CE em seu Relatório Anual de Segurança de Barragens (RASB) e de acordo com a Resolução nº 143/2012 da Agência Nacional de Águas (ANA), respectivamente, a **Tabela 6** traz os resultados do cálculo do Nível de Perigo das Barragens (NPB), a Probabilidade de Ruptura Anual (PRA) e o Dano Potencial Associado a cada uma das barragens pesquisadas.

Tabela 6 - Resultado Final da Classificação

Barragens	Nível de Perigo da Barragem (NPB)	Probabilidade de Ruptura Anual (PRA)	Dano Potencial Associado (DPA)
Curimataú	7	(10 ⁻⁴) Aceitável (Ac)	Alto
Poleiros	11	(10 ⁻³) Preocupante (P)	Alto
Algodões	15	(10 ⁻³) Preocupante (P)	Alto
Cacimba de Várzea	6	(10 ⁻⁴) Aceitável (Ac)	Alto
Jandaia	7	(10 ⁻⁴) Aceitável (Ac)	Alto

Fonte: Autor (2020).

Analisando os resultados contidos na **Tabela 6**, observa-se que todas as barragens objeto deste estudo apresentaram elevado nível de dano à jusante. Já com relação à probabilidade de ruptura, os barramentos alternaram entre o nível aceitável e preocupante.

5.1 Resultados da Inspeção de Segurança Regular

De maneira geral, em todas as barragens foi observado um processo erosivo nos taludes de montante e jusante, em algumas mais graves, já com formação de ravinas superior a 50 cm de profundidade. O talude de montante deve estar obrigatoriamente revestido. Em geral, barragens de terra possuem revestimento de enrocamento. A progressão das erosões no talude de montante pode levar à diminuição da largura e, possivelmente, da altura do aterro, ao aumento da percolação e à perda local de estabilidade do talude.

Também foi observado em todas as barragens, a presença de arbustos e até árvores ultrapassando 3 metros de altura, ocupando todo o talude. A presença de árvores e arbustos no talude de montante pode comprometer a estabilidade do

maciço. As espécies, a densidade e a idade da vegetação têm influência direta na redução da segurança do maciço.

A existência de vegetação é uma anomalia que deve ser corrigida, visto que a derrubada, a remoção, a secagem do sistema radicular, ou mesmo as raízes saudáveis de vegetação de grandes dimensões, podem ameaçar a integridade do aterro, já que proporcionam caminhos de percolação, capazes de produzir erosão interna. Não deve existir vegetação no enrocamento de proteção do paramento de montante. Ainda, a presença de árvores e arbustos dificulta a visualização e identificação de outras anomalias.

Também, em quase todas as barragens foram identificadas falhas no enrocamento. A proteção do talude de montante com enrocamento é essencial na manutenção da estabilidade do maciço e conseqüente segurança da barragem. A degradação da proteção pode ocorrer por fratura dos blocos do enrocamento devido aos efeitos combinados da meteorização, da ação das ondas e da ocorrência de vegetação.

Em algumas barragens também foi constatado a ocorrência de formigueiros, degradação da estrutura do vertedouro e problemas na drenagem dos taludes de montante, jusante e no coroamento. A presença de formigueiros, bem como cupinzeiros e tocas de animais, no talude de montante podem ocasionar galerias internas no maciço e, dessa forma, originar caminhos de percolação da água, afetando a estrutura do aterro.

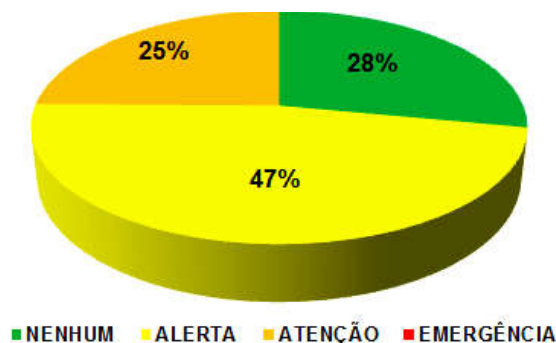
Em relação ao Nível de Perigo (NP) das anomalias identificadas nas barragens, conforme mostra a **Figura 22**, nenhuma barragem apresentou anomalia com um Nível de Perigo que a colocasse em estado de emergência, isto é, que a barragem apresenta risco de ruptura iminente.

Observa-se que 28% das anomalias encontradas em todas as barragens, não comprometem a segurança do barramento, mas indicam descaso e má conservação. Percebe-se que 47% das anomalias identificadas colocam as barragens em estado de atenção, ou seja, não comprometem a segurança a curto prazo, mas devem ser controladas e monitoradas ao longo do tempo.

Destaca-se também que 25% das anomalias observadas colocam as barragens em estado de atenção, isto é, são anormalidades que põem em risco a

segurança da barragem e exigem que providências sejam tomadas para a eliminação do problema.

Figura 22 - Percentual de anomalias identificadas nas barragens de acordo com o Nível de Perigo



Fonte: Autor (2020).

5.1.1 Barragem Curimataú

As anomalias identificadas durante a inspeção de segurança, na barragem Curimataú estão descritas abaixo.

- Erosão, deslocamento e ausência do rip-rap e presença de arbustos >0,5 m no talude de montante (**Figura 23**);
- Erosão, falha na proteção granular e vegetal no talude de jusante (**Figura 24**);
- Erosão nos encontros das ombreiras
- Erosão na fundação do muro lateral (**Figura 25**);
- Rachaduras, trincas e deterioração do concreto da soleira do vertedouro (**Figura 26**).

Figura 23 - Anomalias do talude de montante (Curimataú)



Fonte: Autor (2020).

Figura 24 - Anomalias do talude de jusante (Curimataú)



Fonte: Autor (2020).

Figura 25 – Erosão na fundação do muro lateral (Curimataú)



Fonte: Autor (2020).

Figura 26 – Deterioração do concreto da soleira do vertedouro (Curimataú)



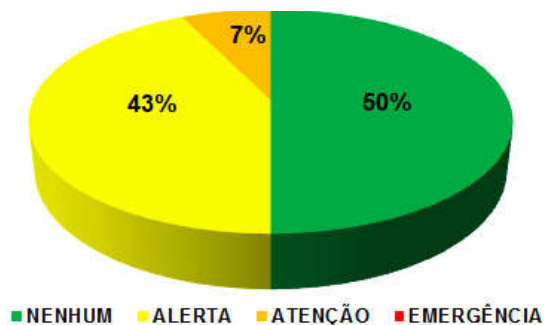
Fonte: Autor (2020).

Das anomalias encontradas na barragem Curimataú, a que foi considerada mais grave foi o processo de erosão no talude de jusante. O Check-List completo contendo a situação, a magnitude e o nível de perigo de cada anomalia encontra-se no **Anexo 1**.

Observando os dados do gráfico na **Figura 27**, produzido a partir do Check-List da barragem Curimataú, pode-se perceber que metade (50%) das anomalias identificadas não oferece nenhum perigo à barragem, ou seja, são anomalias que não comprometem a segurança da barragem, mas que podem ser entendidas como descaso e má conservação.

Constata-se também que 43% das anormalidades observadas não compromete a segurança da barragem a curto prazo, mas deve ser controlada e monitorada ao longo do tempo. E que apenas 7% oferece risco à segurança da barragem e, conseqüentemente, providências devem ser tomadas para sanar o problema.

Figura 27 – Percentual das anomalias da barragem Curimataú de acordo com o Nível de Perigo



Fonte: Autor (2020).

5.1.2 Barragem Poleiros

Na inspeção da barragem Poleiros as anomalias consideradas de maior magnitude foi o forte processo erosivo no talude de jusante, a presença de árvores e ocorrência de formigueiros, conforme ilustrações abaixo. O Check-List completo contendo a situação, a magnitude e o nível de perigo de cada anomalia encontra-se no **Anexo 1**.

- a) Falha no rip-rap e Presença de arbustos e árvores >2m no talude de montante (**Figura 28**);
- b) Erosão no encontro das ombreiras do talude de montante;
- c) Presença de arbustos e árvores >1,5m no coroamento (**Figura 29**);
- d) Ocorrência de formigueiros, cupinzeiros ou toca de animais no coroamento (**Figura 30**);
- e) Erosão, falha na proteção granular e vegetal no talude de jusante (**Figura 31**);
- f) Canaletas quebradas e obstruídas no talude de jusante;
- g) Ocorrência de formigueiros, cupinzeiros ou toca de animais no talude de jusante;
- h) Rachaduras, trincas e deterioração do concreto da soleira do vertedouro (**Figura 32**);
- i) Vazamento nos dispositivos de saída (válvulas);

Figura 28 - Anomalias no talude de montante (Poleiros)



Fonte: Autor (2020).

Figura 29 - Árvores e arbustos no



Fonte: Autor (2020).

Figura 30 Formigueiro na crista da barragem (Poleiros)



Fonte: Autor (2020).

Figura 31 - Anomalias do talude de jusante (Poleiros)



Fonte: Autor (2020).

Figura 32 - Deterioração da soleira do vertedouro (Poleiros)

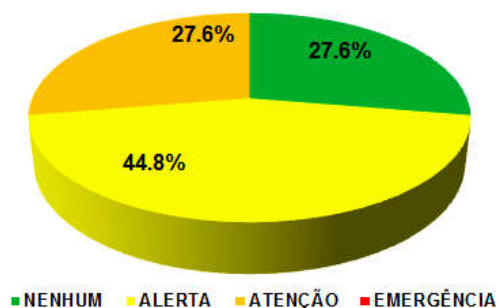


Fonte: Autor (2020).

De acordo com os dados do gráfico na **Figura 33**, produzido a partir do Check-List da barragem Poleiros, pode-se perceber que mais de um quarto (27,6%) das anomalias identificadas, são anomalias que não comprometem a segurança da barragem, mas que podem ser entendidas como descaso e má conservação.

Destaca-se que 43% das anomalias observadas deixam a barragem em estado de atenção, não comprometem a segurança da barragem a curto prazo, mas deve ser controlada e monitorada ao longo do tempo. O restante das anomalias observadas (27,6%) coloca o barramento em estado de atenção, isto é, impõem risco à segurança da barragem e devem ser tomadas providências para a eliminação do problema.

Figura 33 - Percentual das anomalias da barragem Poleiros de acordo com o Nível de Perigo



Fonte: Autor (2020).

5.1.3 Barragem Algodões

Na barragem de Algodões foi observado um estado de total abandono, onde foi identificado um forte processo erosivo nos taludes e no coroamento. Destaca-se também algumas falhas na drenagem dos taludes que provocou um encurtamento na largura da crista da barragem, presença maciça de Algarobas nos taludes e deterioração do vertedouro, como ilustrado abaixo.

O Check-List completo contendo a situação, a magnitude e o nível de perigo de cada anomalia, encontrada durante a inspeção na barragem Algodões, encontra-se no **Anexo 1**.

- a) Erosões, rip-rap incompleto, arbustos e árvores >1,5m no talude de montante (**Figura 34**);
- b) Erosão no encontro das obreiras no talude de montante (**Figura 35**);
- c) Erosões, árvores, arbustos e ausência de meio fio no coroamento (**Figura 36**);
- d) Erosões, falha na proteção granular e vegetal, ausência de canaletas, arbustos e árvores >2m no talude de jusante (**Figura 37**);
- e) Deterioração da soleira do vertedouro (**Figura 38**);
- f) Erosão na base do muro lateral (**Figura 39**);

Figura 34 - Anomalias do talude de montante (Algodões)



Fonte: Autor (2020).

Figura 35 - Erosão no encontro da ombreira esquerda (Algodões)



Fonte: Autor (2020).

Figura 36 - Anomalias do coroamento e talude de jusante (Algodões)



Fonte: Autor (2020).

Figura 37 - Deterioração da soleira do vertedouro (Algodões)



Fonte: Autor (2020).

Figura 38 - Erosão na fundação do muro lateral (Algodões)



Fonte: Autor (2020).

Analisando os dados do gráfico na **Figura 39**, produzido a partir do Check-List da barragem Algodões, pode-se perceber que quase metade (45%) das anomalias identificadas colocam o barramento em estado de atenção, ou seja, são anormalidades que impõem risco a segurança da barragem e que providências devem ser tomadas para a eliminação do problema.

Além disso, 39% são anomalias que não comprometem a segurança da barragem a curto prazo, mas devem ser controladas e monitoradas ao longo do tempo. As demais anormalidades identificadas (16%) foram consideradas como não comprometedoras da segurança da barragem, mas que podem ser entendidas como descaso e má conservação.

Figura 39 - Percentual das anomalias da barragem Algodões de acordo com o Nível de Perigo



Fonte: Autor, (2020)

5.1.4 Barragem Cacimba de Várzea

Na barragem Cacimba de Várzea não foram identificadas anomalias de grande magnitude, apenas um leve processo erosivo nos taludes de montante e jusante bem como a presença de arbusto e árvores, conforme descrito abaixo.

- a) Erosões, rip-rap incompleto, arbustos e árvores <1,5m no talude de montante (**Figura 40**); Erosão no encontro das obreiras no talude de montante;
- b) Erosões, falha na proteção granular e vegetal, arbustos e árvores <1,5m no talude de jusante (**Figura 41**);
- c) Deterioração da soleira do vertedouro (**Figura 42**);

Figura 40 - Anomalias do talude de montante (Cacimba de Várzea)



Fonte: Autor, (2020).

Figura 41 - Anomalias do talude de jusante (Cacimba de Várzea)



Fonte: Autor, (2020).

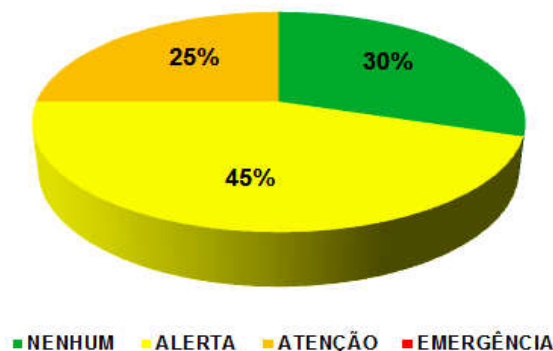
Figura 42 – Deterioração do vertedouro (Cacimba de Várzea)



Fonte: Autor, (2020).

Segundo os dados do gráfico na **Figura 43**, produzido a partir do Check-List da barragem Cacimba de Várzea, constata-se que a maioria das anormalidades identificadas não compromete à segurança da barragem, em que 30% não oferecem nenhum perigo, 45% são anomalias que não comprometem a segurança da barragem a curto prazo, mas devem ser controladas e monitoradas ao longo do tempo, e que apenas 25% das anormalidade observadas impõem risco a segurança da barragem, neste caso, providências devem ser tomadas para sanar o problema.

Figura 43 - Percentual das anomalias da barragem Cacimba de Várzea de acordo com a classificação do nível de perigo



Fonte: Autor (2020).

5.1.5 Barragem Jandaia

Na barragem Jandaia as anomalias mais graves identificadas foram a erosão com ravinas superior a 50cm de largura e profundidade no talude de jusante e a presença de árvores de altura superior a 2m no talude de montante, conforme estão descritas e ilustradas abaixo.

O Check-List completo contendo a situação, a magnitude e o nível de perigo de cada anomalia encontrada na barragem encontram-se no **Anexo 1**.

- Presença de arbustos e árvores >2,0m no talude de montante (**Figura 44**);
- Erosão no encontro das obreiras no talude de jusante (**Figura 45**);
- Erosões, falha na proteção granular e vegetal, arbustos e árvores >1,5m no talude de jusante (**Figura 46**);

Figura 44 – Presença de árvores no talude de montante(Jandaia)



Fonte: Autor (2020)

Figura 45 - Erosão (ravinas) no talude de jusante (Jandaia)



Fonte: Autor (2020)

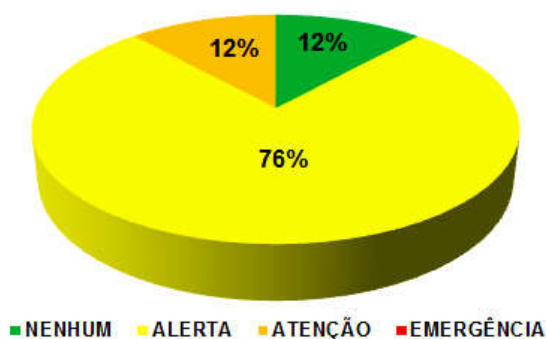
Figura 46 – Erosão no encontro da ombreira esquerda do talude de jusante



Fonte: Autor (2020)

Observa-se no gráfico apresentado na **Figura 47**, produzido a partir do Check-List da barragem Jandaia, que quase a totalidade das anormalidades identificadas (88%) não compromete a segurança da barragem, onde 12% não oferece nenhum perigo, 76% são anomalias que não comprometem a segurança da barragem a curto prazo, mas devem ser controladas e monitoradas ao longo do tempo. Apenas 12% das anomalias observadas impõem risco à segurança da barragem, o que implica na tomada de providências para eliminar o problema.

Figura 47 - Percentual das anomalias da barragem Jandaia de acordo com a classificação do Nível de Perigo



Fonte: Autor (2020).

5.2 Resultados quanto ao Nível de Perigo da Barragem (NPB)

Após a realização da inspeção de segurança, do preenchimento do Check-List e da verificação do Nível de Perigo (NP) das anomalias identificadas, o Nível de

Perigo (NPB) de cada Barragem inspecionada foi calculado conforme a metodologia de FONTENELLE (2007), apresentada no capítulo 3 deste trabalho.

5.2.1 Barragem Curimataú

O cálculo realizado para determinar o Nível de Perigo da Barragem Curimataú está demonstrado na **Tabela 7**. Verifica-se que a pontuação NPB foi baixa, devido ao Nível de Perigo das anomalias encontradas não ter sido alto.

Tabela 7 - Total da pontuação NPB da barragem Curimataú

Nível de Perigo da Anomalia (NP)	Peso do NP (a)	Quantidade na Lista de Inspeção	Peso das Quantidades (b)	Pontuação NPB (axb)
Nenhum (0)	0	14	3	(0x3) = 0
Atenção (1)	1	12	3	(1x3) = 3
Alerta (2)	4	2	1	(4X1) = 4
Emergência (3)	9	0	0	(9x0) = 0
Total da Pontuação NPB da Barragem =				7

Fonte: Autor (2020).

5.2.2 Barragem Poleiros

O cálculo realizado para determinar o Nível de Perigo da Barragem Poleiros está demonstrado na **Tabela 8**. Destaca-se que a pontuação NPB apresentou um valor maior que o da barragem Curimataú devido a gravidade mais elevada das anomalias observadas na referida barragem.

Tabela 8 - Total da pontuação NPB da barragem Poleiros

Nível de Perigo da Anomalia (NP)	Peso do NP (a)	Quantidade na Lista de Inspeção	Peso das Quantidades (b)	Pontuação NPB (axb)
Nenhum (0)	0	8	2	(0x2) = 0
Atenção (1)	1	13	3	(1x3) = 3
Alerta (2)	4	9	2	(4X2) = 8
Emergência (3)	9	0	0	(9x0) = 0
Total da Pontuação NPB da Barragem =				11

Fonte: Autor (2020).

5.2.3 Barragem Algodões

A **Tabela 9** apresenta o cálculo realizado para determinar o Nível de Perigo da Barragem Algodões. Analisando o resultado, a pontuação NPB apresentou um valor maior que o da barragem Poleiros, isso significa que as anomalias encontradas

colocam a barragem em estado de alerta e que as anomalias detectadas necessitam de reparos, ou seja, a barragem precisa de manutenção.

Tabela 9 - Total da pontuação NPB da barragem Algodões

Nível de Perigo da Anomalia (NP)	Peso do NP (a)	Quantidade na Lista de Inspeção	Peso das Quantidades (b)	Pontuação NPB (axb)
Nenhum (0)	0	5	1	(0x1) = 0
Atenção (1)	1	12	3	(1x3) = 3
Alerta (2)	4	14	3	(4X3) = 12
Emergência (3)	9	0	0	(9x0) = 0
Total da Pontuação NPB da Barragem =				15

Fonte: Autor (2020).

5.2.4 Barragem Cacimba de Várzea

O cálculo realizado para determinar o Nível de Perigo da Barragem Cacimba de Várzea está demonstrado na **Tabela 10**. Conforme já descrito anteriormente, as anomalias identificadas na barragem Cacimba de Várzea foram de baixa magnitude em sua grande maioria, assim sendo, diminui também seu NPB.

Tabela 10 - Total da pontuação NPB da barragem Cacimba de Várzea

Nível de Perigo da Anomalia (NP)	Peso do NP (a)	Quantidade na Lista de Inspeção	Peso das Quantidades (b)	Pontuação NPB (axb)
Nenhum (0)	0	6	2	(0x2) = 0
Atenção (1)	1	9	2	(1x2) = 2
Alerta (2)	4	5	1	(4X1) = 4
Emergência (3)	9	0	0	(9x0) = 0
Total da Pontuação NPB da Barragem =				6

Fonte: Autor (2020).

5.2.5 Barragem Jandaia

O cálculo realizado para determinar o Nível de Perigo da Barragem Jandaia está demonstrado na **Tabela 11**. A referida barragem possui construção recente, foi concluída em 2012, portanto apresenta poucas anomalias e de pequena magnitude, desta forma, reflete no seu NPB.

Tabela 11 - Total da pontuação NPB da barragem Jandaia

Nível de Perigo da Anomalia (NP)	Peso do NP (a)	Quantidade na Lista de Inspeção	Peso das Quantidades (b)	Pontuação NPB (axb)
Nenhum (0)	0	2	1	(0x1) = 0
Atenção (1)	1	13	3	(1x3) = 3
Alerta (2)	4	2	1	(4X1) = 4

Emergência (3)	9	0	0	(9x0) = 0
Total da Pontuação NPB da Barragem =				7

Fonte: Autor (2020).

5.3 Resultados quanto a Probabilidade de Ruptura Anual (PRA)

Após o cálculo do Nível de Perigo das Barragens, de posse do NPB calculado para cada barragem e utilizando a mesma metodologia de FONTENELLE (2007), foi determinada a Probabilidade de Ruptura Anual (PRA) para as barragens objeto de estudo desta pesquisa, cujo resultado está exposto na **Tabela 12**.

Tabela 12 - Classificação da Probabilidade de Ruptura Anual das Barragens em função do seu Nível de Perigo

Barragem	NPB	PRA	Classificação
Curimataú	7	10^{-4}	Aceitável (Ac)
Poleiros	11	10^{-3}	Preocupante (P)
Algodões	15	10^{-3}	Preocupante (P)
Cacimba de Várzea	6	10^{-4}	Aceitável (Ac)
Jandaia	7	10^{-4}	Aceitável (Ac)

Fonte: Autor (2020).

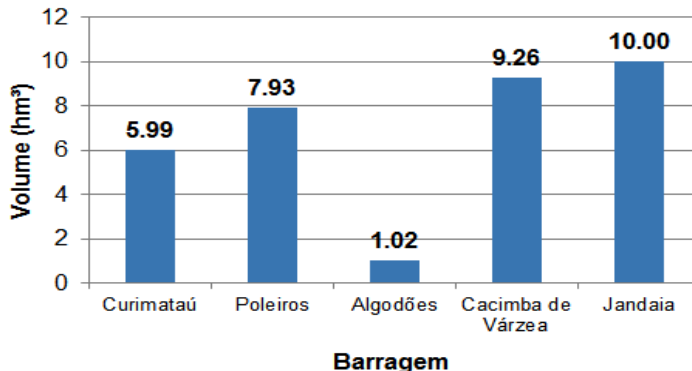
Analisando os resultados do quadro 20, apenas as barragens Poleiros e Algodões tiveram a sua probabilidade de ruptura classificada como preocupante, isso é reflexo do estado de abandono e da falta de manutenção destas barragens, principalmente a barragem de Algodões que obteve a maior pontuação. As demais barragens foram enquadradas numa faixa aceitável quanto ao risco de ruptura, ou seja, encontram-se em melhor estado de conservação.

5.4 Resultados quanto ao Dano Potencial Associado (DPA)

Determinada a Probabilidade de Ruptura Anual (PRA) de cada barragem, foram analisados os impactos devido a uma provável ruptura, ou seja, foi verificado o Dano Potencial Associado (DPA) a cada uma das barragens em estudo. Para tal finalidade foram classificadas quanto ao volume de água no reservatório, potencial de perdas de vidas humanas, impacto ambiental e impacto socioeconômico.

A inundação do vale à jusante provocada pela eventual ruptura da barragem se relaciona diretamente com a capacidade de armazenamento do reservatório. O valor dos volumes de cada barragem é apresentado na **Figura 48**.

Figura 48 - Volume dos Reservatórios



Fonte: AESA (2020).

Os demais critérios como, potencial de perdas de vidas humanas, impacto ambiental e impacto socioeconômico, foram classificados utilizando as manchas de inundações colocadas sobre as imagens do *Google Earth*. Existe dificuldade em identificar áreas de impacto ambiental, visto que estas não são delimitadas pelo satélite. Há problemas também no reconhecimento das rodovias e estradas vicinais, na verificação de áreas agrícolas devido ao estágio de desenvolvimento da plantação e na identificação de ocupação permanente ou não permanente, pois a resolução da imagem não permite a descrição da edificação.

A legenda para a identificação dessas áreas anteriormente descritas está ilustrada na **Figura 49**.

Figura 49 - Legenda para classificação quanto ao DPA

MANCHA		Contorno da mancha de inundação.
POTENCIAL DE PERDA DE VIDAS HUMANAS		Casas Isoladas.
		Povoados, aglomerado de casas.
		Construções de permanência temporária (escolas, indústrias, comerciais, infraestrutura, agrícolas, Serviços de lazer e turismo etc.)
		Estradas vicinais (pouco uso/rural)
IMPACTO AMBIENTAL		Rodovias (municipais, estaduais e federais) ou Ferrovias
IMPACTO SOCIO-ECONÔMICO	SEM IDENTIFICAÇÃO	
		Casas Isoladas.
		Construções de permanência temporária (escolas, indústrias, comerciais, infraestrutura, agrícolas, Serviços de lazer e turismo etc.)
		Outra barragem, Instalações portuárias ou serviço de navegação

Fonte: FARIAS (2017).

Na mancha de inundação da barragem Curimataú (**Figura 50**), com extensão de aproximadamente 7,2 km, percebe-se que nos primeiros quilômetros não há identificação de potencial perdas de vidas humanas ou impacto socioeconômico, haja vista ser uma área rural de terras áridas, clima seco e com poucas casas isoladas.

No final, a área inundada atinge uma região mais plana onde localiza-se o Distrito de Telha, um povoado com bastante casas, cortado por rodovia e estradas vicinais.

Figura 50 - Mancha de inundação da barragem Curimataú



Fonte: Autor (2020).

Em relação à mancha de inundação produzida pela da barragem Poleiros (**Figura 51**), com extensão de 7 km aproximadamente, localizada a poucos metros à jusante do barramento foi observada uma olaria e mais adiante uma pequena barragem, fato que caracteriza um impacto socioeconômico.

Na metade de sua extensão esse impacto se intensifica, desta vez com prejuízo as vidas humanas, visto que a onda de inundação atinge uma parte pequena da cidade de Barra de Santa Rosa.

No final do seu percurso, a inundação vai ao encontro da bacia, na barragem Curimataú. Atinge também a rodovia PB 133 e estradas vicinais de pouca movimentação, fato que pode aumentar os prejuízos econômicos, sociais e inclusive perdas de vidas humanas.

Figura 51 - Mancha de inundação da barragem Poleiros



Fonte: Autor (2020)

Quanto à mancha de inundação produzida pela barragem Algodões (**Figura 52, abaixo**), que possui extensão de 5,3 km aproximadamente, a onda atinge uma área com poucas casas isoladas. No entanto, se destaca nessa área pequenas barragens de agricultores, distribuídas por toda a extensão da inundação, configurando danos socioeconômico em caso de rompimento.

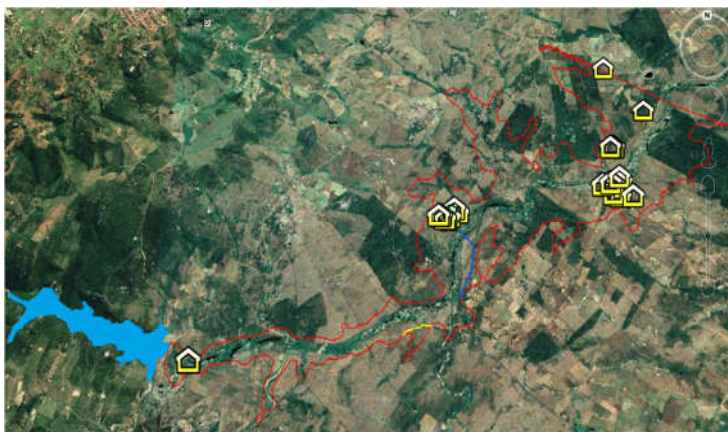
Figura 52 - Mancha de inundação da barragem Algodões



Fonte: Autor (2020).

A extensão da mancha de inundação produzida pela barragem Cacimba de Várzea (**Figura 53**) chega a aproximadamente 9 km de extensão. A área inundada caracteriza-se pela presença de poucas unidades residenciais, a rodovia PB 111 com a ponte sobre o rio Curimatáu e estradas vicinais.

Figura 53 - Mancha de inundação da barragem Cacimba de Várzea



Fonte: Autor (2020).

A mancha de inundação produzida pela barragem Jandaia (**Figura 54**) tem uma extensão de aproximadamente 10 km, e a área inundada é constituída por uma grande quantidade de residências distribuídas até a metade do seu percurso. A área também possui comunidades bem povoadas, muitas estradas vicinais e terras agricultáveis, ou seja, é uma área de grande potencial de prejuízos socioeconômicos e também de vidas humanas, para o caso de um possível rompimento do barramento.

Figura 54 - Mancha de inundação da barragem Jandaia



Fonte: Autor (2020).

Portanto, utilizando-se da descrição feita anteriormente da área de inundação produzida por cada barragem, a matriz de classificação de cada uma delas foi

preenchida e assim foi obtido o resultado exposto na **Tabela 13**. A matriz de classificação quanto ao DPA de todas as barragens encontra-se no **Anexo 2**.

Tabela 13 - Classificação quanto ao Dano Potencial Associado

Barragem	Pontuação	Dano Potencial Associado (DPA)
Curimataú	21	Alto
Poleiros	25	Alto
Algodões	20	Alto
Cacimba de Várzea	21	Alto
Jandaia	25	Alto

Fonte: Autor (2020).

Todas as barragens apresentaram um DPA alto, significando que em caso de ruptura de um desses barramentos os prejuízos à população serão enormes, tanto econômicos, sociais e ambientais, quanto a própria vida humana. Portanto, fica evidenciado o cuidado que os empreendedores devem ter com essas barragens, inspecionando regularmente e realizando a manutenção.

Todas as barragens inspecionadas durante a realização desta pesquisa apresentaram anomalias que indicaram o descaso e a má conservação dos barramentos, falta de cuidados e manutenção. Dentre os reservatórios inspecionados, o pior deles foi o Algodões, onde encontramos a barragem praticamente abandonada, sem manutenção há anos, com processo erosivo muito forte nos taludes, já causando o estreitamento da crista, presença de árvores no talude de jusante, vertedouro deteriorado e ainda outras anomalias que elevaram o seu Nível de Perigo.

As informações do Nível de Perigo de cada barragem e da Probabilidade de Ruptura podem servir perfeitamente como parâmetro para os responsáveis por cada reservatório utilizarem como critério de intervenção, ou seja, definir a prioridade de manutenção de acordo com o nível de perigo apresentado por cada barragem após inspeção de segurança, auxiliando assim no processo de tomada de decisão.

6 CONCLUSÃO

A realização desta pesquisa se justificou pela importância de se conhecer o estado de conservação de cinco barragens situadas na Bacia do Rio Curimataú – PB e os danos ambientais, sociais, econômicos e a vida humana, causados por uma possível ruptura destas barragens à área inundada à jusante do reservatório.

Para tal finalidade, este trabalho tinha como o pioneiro de seus objetivos, identificar as prováveis anomalias destas barragens através de uma Inspeção de Segurança Regular, onde foi constatado que nenhuma das anomalias identificadas impunha risco de ruptura iminente à barragem inspecionada. No entanto, 75% das anomalias identificadas indicavam descaso e má conservação destes barramentos devido a falta de inspeção regularmente e manutenção por parte de seus empreendedores ou responsáveis, fato que pode colocar em risco a vida de muitas pessoas e causar enormes prejuízos, caso essas anomalias não sejam tratadas e evoluam para um nível que coloque a barragem em risco de ruptura.

Em relação ao Nível de Perigo e a Probabilidade de Ruptura Anual de cada Barragem, foi observado que 60% das barragens estudadas apresentaram um nível Aceitável com relação à probabilidade de ruptura, isto é, são reservatórios que não correm riscos de rompimento, pois não apresentaram problemas graves. No entanto, devido a falta de manutenção, 40% das barragens analisadas apresentaram um nível de perigo maior devido a gravidade das anomalias encontradas, conseqüentemente, apresentaram uma probabilidade de ruptura Preocupante. Neste sentido são reservatórios que requerem uma atenção maior por parte de seus administradores, ou seja, são anomalias que devem ser reparadas o quanto antes para evitar a sua evolução e assim comprometer a segurança da barragem.

Quanto ao Dano Potencial Associado a cada barragem estudada, em caso de ruptura, foi identificado que todos os barramentos possuem um nível alto de danos associados devido a uma considerável quantidade de residências, instalações, pequenas barragens, rodovias e estradas vicinais situadas à jusante dos reservatórios, fato que eleva muito os danos ambientais, socioeconômicos e a vidas humanas em caso de acidente com um desses barramentos, fato que impõe aos responsáveis por estas barragens, um cuidado ainda maior frente aos danos que a ruptura de um destes barramentos pode causar vindo a se romper.

Desta forma, a Inspeção de Segurança Regular é fundamental para que o empreendedor e também a sociedade de forma geral, principalmente os ocupantes da área à jusante, conheçam o estado de conservação, o nível de perigo das barragens e os riscos aos quais estão expostos em caso de rompimento do barramento.

Ainda mais, as informações do Nível de Perigo de cada barragem e da Probabilidade de Ruptura podem servir perfeitamente como parâmetro para os responsáveis por cada reservatório utilizarem como critério de intervenção, ou seja, definir a prioridade de manutenção de acordo com o nível de perigo apresentado por cada barragem após inspeção de segurança, auxiliando assim no processo de tomada de decisão.

Destaca-se ainda que, o importante seria que cada comitê de bacia do estado da Paraíba tivesse sua equipe técnica própria para inspecionar regularmente as barragens situadas dentro dos limites de cada bacia, elaborar os relatórios e extratos de inspeção, traçar um plano de intervenção e também realizar a manutenção nos reservatórios para mantê-los em segurança.

Tendo em vista as dificuldades e limitações encontradas para a realização desta pesquisa, recomenda-se que os órgãos responsáveis pela fiscalização e elaboração dos Relatórios de Segurança de Barragens da Bacia do Rio Curimataú – PB mantenham os documentos, informações e projetos digitalizados e que estas informações estejam disponíveis para a população de uma forma geral.

Aconselha-se para trabalhos futuros o desenvolvimento da mancha de inundação em outro *software*, a exemplo do HEC-RAS, tendo em vista as limitações apresentadas pela metodologia simplificada da ANA. Em seguida realizar uma comparação dos resultados e analisar qual o mais adequado para a classificação quanto ao DPA.

7 REFERÊNCIAS

ASSIS, D. A. N. **Influência das ações sísmicas na estabilidade de barragem de terra - Estudo de caso no estado do Ceará.** 2018. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/40820/3/2018_tcc_danassis.pdf Acesso em: 21 de setembro de 2020.

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.** 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/REPA-7PUFXY> Acesso em: 25/ago/2020.

BRASIL. **Lei 9433/1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Congresso Nacional. Brasília: Casa Civil, 1997.

BRASIL. **Lei 9984/2000.** Cria a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Congresso Nacional. Brasília: Casa Civil, 2000.

BRASIL. Ministério da integração Nacional. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens.** Brasília. 2002. 148p.

BRASIL. Ministério da integração Nacional. **Manual de Preenchimento da Ficha de Inspeção de Barragem.** Brasília. 2005. 119p.

BRASIL. **Lei 12.334/2010.** Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Congresso Nacional, Brasília: Casa Civil, 2010 Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm > Acesso em: 01 de setembro de 2020>.

BELLADONA, R. **Zoneamento do uso do solo em áreas localizadas no vale a jusante de barragens.** 2018. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/193234>> Acesso em: 02/set/2020.

CBDB, Comitê Brasileiro de Barragens. **A Legislação de Segurança de Barragens: Um Breve Histórico e Desafios.** Belo Horizonte, 2015.

CIRILO, J. A.; COELHO, M. M. L. P.; MASCARENHAS, F. C. B.(Org). **Hidráulica Aplicada.** 2. ed.. Porto Alegre: ABRH, 2003. p. 474-511. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/2246711/hidraulica-aplicada> Acesso em: 02/out/2020.

COMISSÃO INTERNACIONAL DE GRANDES BARRAGENS. **As barragens e a água do mundo: um livro educativo que explica como as barragens ajudam a administrar a água do mundo.** CIGB, 2008, 67 p. Disponível em: < https://www.academia.edu/9319632/Comiss%C3%A3o_Internacional_de_Grandes

Barragens Um Livro Educativo que Explica como as Barragens Ajudam a Administrar a %C3%81gua do Mundo> Acesso em: 20 set. 2020.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS (CBDB). **Apresentação das barragens**. 2015.

Disponível em: <[http://www.cbdb.org.br/5-38/Apresentacao das Barragens](http://www.cbdb.org.br/5-38/Apresentacao%20das%20Barragens)>. Acesso em 10/10/2020.

COSTA, W. D. **Geologia de barragens**. Oficina de Textos, 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=m9g6DAAAQBAJ&oi=fnd&pg=TT5&dq=tipos+de+barragens&ots=V5gsao4rs5&sig=-2rgpyJ37pYbx39s17q5RUOpdM#v=onepage&q=tipos%20de%20barragens&f=false>
Acesso em: 05 de outubro de 2020.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Guia prático para pequenos projetos de obras hidráulicas**. São Paulo, 2006, 116 p. Disponível em: <<http://www.dae.sp.gov.br/outorgaefiscalizacao/guia/capitulo02>> Acessado em: 21 de setembro de 2020.

FARIAS, A. E. L. **Análise da Classificação quanto à Categoria de Risco e Dano Potencial Associado a Barragens: Estudo de caso de Barragens do Estado do Ceará**. Fortaleza, PB: Unichristus, 2017. Originalmente apresentada como trabalho de conclusão de curso, Centro Universitário Christus – Unichristus, 2017.

FONTENELLE, A. D. S. **Proposta Metodológica de Avaliação de Riscos em Barragens do Nordeste Brasileiro - Estudo de caso: Barragens do Estado do Ceará**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia. Fortaleza, 2007.

FONTENELLE, M. C; FONTENELLE, A. S; MATOS, Y. M. P; MONTEIRO, F. F. **Avaliações de risco em barragens: estudo de caso da barragem Malcozinhado no nordeste brasileiro**. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 14, n. 1, 2018. Disponível em: <https://apublica.org/2019/01/brasil-registra-mais-de-tres-acidentes-em-barragens-por-ano/>. Acesso em: 10/set/2020.

FRANCO, C. S. S. P. A. **Segurança de barragens: aspectos regulatórios**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2008. 134 p. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/1318/1/Dissertacao%20Carlos%0Sergio%20Souza%20P%20de%20A%20Franco.pdf> Acesso em: 04 de outubro de 2020.

MARANGON, M. **Tópicos em Geotecnia e obras de terra – unidade 5: barragens de terra e enrocamento**, Juiz de Fora, 2004. Disponível em: https://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_unid05.pdf Acesso em: 28 de setembro de 2020.

MARQUES, B. F.. **A natureza real e contratual da outorga de direitos de uso de recursos hídricos**. 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/3894> Acesso em: 30/set/2020.

MELLO, F. M. D. **A História das Barragens no Brasil Séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens**. Rio de Janeiro: CBDB, 2011.

PARAÍBA. **Lei nº 7.779/2005**. Cria a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA. João Pessoa, 2005.

Relatório de Segurança de Barragens. Agência Nacional de Águas. Brasília. 2019.

Relatório de Segurança de Barragens. Agência Executiva de Gestão das Águas. João Pessoa-PB. 2017. Disponível em: < http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2019/03/CadastroRSB2017_Portal_SNISBv4.xlsx> Acesso em: 05/ago/2020.

Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação: Anexo A. Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2017.

RESOLUÇÃO 742/2010. Agência Nacional de Águas. BRASÍLIA, 2010.

Resolução nº 143/2012. Conselho Nacional dos Recursos Hídricos. Brasília, 2012.

SILVA, J. L. **Impactos socioeconômicos e classificação quanto à categoria de risco e dano potencial associado: um estudo de caso da barragem lancha i na cidade de Aguiar – PB**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2019.

SILVEIRA, J.F.; CARNEIRO, E. F.; PÍNFARE J. C. **O Grande Potencial Apresentado pela Análise de Risco de Usinas Hidrelétricas – A Experiência da CESP**. XXVII Seminário Nacional De Grandes Barragens. Belém – Pa, 2007.

SINGH, V. P. **Dam breach modeling technology**. Baton Rouge, EUA: Springer Science, 1996.

SOUZA, G. J; SILVA, F. C. M. I. **Classificação de Barragem quanto à Categoria de Risco e Dano Potencial Associado – um estudo de caso**. Araruna, PB: UEPB, 2017. Artigo (Graduação) Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual da Paraíba, 2017.

ZABINI, M. E. FEBRABAN: **Riscos em Barragens de Rejeitos**. 2016. Disponível em: <https://cafecom sustentabilidade.febraban.org.br/pdfs/cafecom sustentabilidade0046.pdf> Acesso em: 25/set/2020.

ANEXO A – Check-List resumo das barragens inspecionadas

Barragem:	Curimataú	Município:	Barra de Santa Rosa		
Data da vistoria:	08/11/2020	Empreendedor:	DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas		
LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA					
A.1	Infraestrutura Operacional	ST	MG	NP	
1	Falta de documentação sobre a barragem	PV			
4	Precariedade de acesso de veículos	PV			
8	Falta ou deficiência nas placas de aviso	PV			
B.1	Talude de Montante	ST	MG	NP	
Barragem de Terra					
1	Erosões	PV	P		0
4	Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado	PV	M		1
6	Árvores e arbustos	PV	P		1
7	Erosão nos encontros das ombreiras	PV	M		1
8	Canaletas quebradas ou obstruídas	PV	P		0
B.2	Coroamento	ST	MG	NP	
Barragem de Terra					
1	Erosões	PV	P		0
3	Falta de revestimento	PV	M		
6	Árvores e arbustos	PV	I		0
B.3	Talude de Jusante	ST	MG	NP	
Barragem de Terra					
1	Erosões	PV	M		2
4	Falha na proteção granular	PV	M		1
5	Falha na proteção vegetal	PV	M		1
7	Árvores e arbustos	PV	P		0
8	Erosão nos encontros das ombreiras	PV	M		1
B.4	Região a jusante da barragem	ST	MG	NP	
Barragem de Terra					
5	Árvores/arbustos na faixa de 10m do pé da barragem	PV	P		0
C.1	Canais de Aproximação/Restituição	ST	MG	NP	
Vertedouro					
1	Árvores e arbustos	PV	M		1
5	Erosão na base dos canais escavados	PV	M		1
C.2	Estrutura de Fixação da soleira	ST	MG	NP	
Vertedouro					
1	Rachaduras ou trincas no concreto	PV	M		1
3	Deterioração da superfície do concreto	PV	M		1
C.4	Muros Laterais	ST	MG	NP	
Vertedouro					
1	Erosão na fundação	PV	M		2
5	Deterioração na superfície do concreto	PV	P		1
D	Reservatório	ST	MG	NP	
11	Gado pastando	PC	I		0
H	Estrutura de Saída	ST	MG	NP	
5	Defeitos nos dispositivos de controle	PV	P		0
10	Falta de manutenção	PV	P		1
12	Falta ou deficiência de drenagem da caixa de válvulas	PV	P		0
13	Presença de pedras e lixo dentro da caixa de válvulas	PV	P		0
14	Defeitos no concreto	PV	P		0
I	Medidor de Vazão	ST	MG	NP	
2	Corrosão da placa	PV	P		0
3	Defeitos no concreto	PV	P		0
4	Falta de escala de leitura de vazão	PV	P		0

	NP(0) = 14	NP(1) = 12	NP(2) = 2	NP(3) = 0	
--	-------------------	-------------------	------------------	------------------	--

Barragem:	Poleiros	Município:	Barra de Santa Rosa		
Data da vistoria:	08/11/2020	Empreendedor:	SEIRHMA - Secretaria da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia		
LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA					
A.1	Infraestrutura Operacional		ST	MG	NP
1	Falta de documentação sobre a barragem		PV		
4	Precariedade de acesso de veículos		PV		
8	Falta ou deficiência nas placas de aviso		PV		
B.1	Talude de Montante		ST	MG	NP
Barragem de Terra					
4	Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado		PV	P	0
6	Árvores e arbustos		PV	M	2
7	Erosão nos encontros das ombreiras		PV	M	1
B.2	Coroamento		ST	MG	NP
Barragem de Terra					
3	Falta de revestimento		PV	M	
6	Árvores e arbustos		PV	M	2
8	Defeitos no meio-fio		PV	P	0
9	Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais		PV	M	2
B.3	Talude de Jusante		ST	MG	NP
Barragem de Terra					
1	Erosões		PV	G	2
2	Escorregamentos		PV	M	0
4	Falha na proteção granular		PV	M	2
5	Falha na proteção vegetal		PV	M	2
7	Árvores e arbustos		PV	P	0
8	Erosão nos encontros das ombreiras		PV	M	1
10	Canaletas quebradas ou obstruídas		PV	M	1
11	Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais		PV	M	2
B.4	Região a jusante da barragem		ST	MG	NP
Barragem de Terra					
1	Construções irregulares próximas ao leito do rio		PV	I	0
5	Árvores/arbustos na faixa de 10m do pé da barragem		PV	P	1
C.1	Canais de Aproximação/Restituição		ST	MG	NP
Vertedouro					
1	Árvores e arbustos		PV	M	1
5	Erosão na base dos canais escavados		PV	M	1
6	Erosão na área à jusante (erosão regressiva)		PV	M	1
C.2	Estrutura de Fixação da soleira		ST	MG	NP
Vertedouro					
1	Rachaduras ou trincas no concreto		PV	M	1
3	Deterioração da superfície do concreto		PV	M	1
C.4	Muros Laterais		ST	MG	NP
Vertedouro					
1	Erosão na fundação		PV	M	2
2	Erosão nos contatos dos muros		PV	P	0
3	Rachaduras no concreto		PV	P	1
D	Reservatório		ST	MG	NP
11	Gado pastando		PV	I	0
H	Estrutura de Saída		ST	MG	NP
5	Defeitos nos dispositivos de controle		PV	P	1
9	Vazamento nos dispositivos de controle		PV	M	1

10	Falta de manutenção	PV	P	1
12	Falta ou deficiência de drenagem da caixa de válvulas	PV	P	0
13	Presença de pedras e lixo dentro da caixa de válvulas	PV	P	0
14	Defeitos no concreto	PV	P	1
	NP(0) = 8	NP(1) = 13	NP(2) = 8	NP(3) = 0

Barragem:	Algodões	Município:	Algodão de Jandaíra		
Data da vistoria:	08/11/2020	Empreendedor:	DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas		
LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA					
A.1	Infraestrutura Operacional	ST	MG	NP	
1	Falta de documentação sobre a barragem	PV			
8	Falta ou deficiência nas placas de aviso	PV			
B.1	Talude de Montante	ST	MG	NP	
Barragem de Terra					
1	Erosões	PV	G		2
2	Escorregamentos	PV	M		0
4	Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado	PV	G		2
6	Árvores e arbustos	PV	M		2
7	Erosão nos encontros das ombreiras	PV	M		2
B.2	Coroamento	ST	MG	NP	
Barragem de Terra					
1	Erosões	PV	M		2
3	Falta de revestimento	PV	M		
6	Árvores e arbustos	PV	M		1
7	Defeitos no meio-fio	PV	M		2
B.3	Talude de Jusante	ST	MG	NP	
Barragem de Terra					
1	Erosões	PV	G		2
2	Escorregamentos	PV	M		1
4	Falha na proteção granular	PV	M		2
5	Falha na proteção vegetal	PV	M		2
7	Árvores e arbustos	PV	G		2
8	Erosão nos encontros das ombreiras	PV	M		1
10	Canaletas quebradas ou obstruídas	PV	G		2
B.4	Região a jusante da barragem	ST	MG	NP	
Barragem de Terra					
1	Construções irregulares próximas ao leito do rio	PV	M		0
5	Árvores/arbustos na faixa de 10m do pé da barragem	PV	M		1
C.1	Canais de Aproximação/Restituição	ST	MG	NP	
Vertedouro					
1	Árvores e arbustos	PV	P		1
5	Erosão na base dos canais escavados	PV	M		1
6	Erosão na área à jusante (erosão regressiva)	PV	P		1
7	Construções irregulares (aterro, casa, cerca)	PV	P		1
C.2	Estrutura de Fixação da soleira	ST	MG	NP	
Vertedouro					
1	Rachaduras ou trincas no concreto	PV	M		1
3	Deterioração da superfície do concreto	PV	M		2
C.4	Muros Laterais	ST	MG	NP	
Vertedouro					
1	Erosão na fundação	PV	M		2
2	Erosão nos contatos dos muros	PV	M		2
3	Rachaduras no concreto	PV	M		1
5	Deterioração da superfície do concreto	PV	M		1
D	Reservatório	ST	MG	NP	
2	Construções em áreas de proteção	PV	P		0

3	Poluição por esgoto, lixo, entulho, pesticidas etc.	PV	P	0
6	Assoreamento	PV	P	
9	Desmatamentos na área de proteção	PV	P	0
H	Estrutura de Saída	ST	MG	NP
8	Precariedade de acesso (árvores e arbustos)	PV	M	1
	NP(0) = 5	NP(1) = 12	NP(2) = 14	NP(3) = 0

Barragem:	Cacimba de Várzea	Município:	Cacimba de Dentro		
Data da vistoria:	22/11/2020	Empreendedor:	SEIRHMA - Secretaria da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia		
LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA					
A.1	Infraestrutura Operacional	ST	MG	NP	
1	Falta de documentação sobre a barragem	PV	G		
4	Precariedade de acesso de veículos	PV	M		
8	Falta ou deficiência nas placas de aviso	PV	G		
B.1	Talude de Montante	ST	MG	NP	
Barragem de Terra					
1	Erosões	PV	P	0	
4	Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado	PV	M	2	
6	Árvores e arbustos	PV	P	1	
7	Erosão nos encontros das ombreiras	PV	M	1	
P	Formigueiros, cupinzeiros ou toca de animais	PV	P	1	
B.2	Coroamento	ST	MG	NP	
Barragem de Terra					
1	Erosões	NE			
3	Falta de revestimento	NE			
6	Árvores e arbustos	NE			
8	Defeitos no meio fio	PV	I	0	
B.3	Talude de Jusante	ST	MG	NP	
Barragem de Terra					
1	Erosões	PV	M	1	
4	Falha na proteção granular	PV	M	1	
5	Falha na proteção vegetal	PV	M	1	
7	Árvores e arbustos	PV	P	0	
8	Erosão nos encontros das ombreiras	PV	P	0	
B.4	Região a jusante da barragem	ST	MG	NP	
Barragem de Terra					
5	Árvores/arbustos na faixa de 10m do pé da barragem	PV	P	1	
C.1	Canais de Aproximação/Restituição	ST	MG	NP	
Vertedouro					
1	Árvores e arbustos	PV	M	1	
5	Erosão na base dos canais escavados	PV	M	1	
C.2	Estrutura de Fixação da soleira	ST	MG	NP	
Vertedouro					
1	Rachaduras ou trincas no concreto	PV	P	1	
3	Deterioração da superfície do concreto	PV	P	1	
C.4	Muros Laterais	ST	MG	NP	
Vertedouro					
1	Erosão na fundação	NE			
5	Deterioração na superfície do concreto	NE			
D	Reservatório	ST	MG	NP	
11	Gado pastando	NE			
H	Estrutura de Saída	ST	MG	NP	

5	Defeitos nos dispositivos de controle			PV	P	1
10	Falta de manutenção			PV	P	1
12	Falta ou deficiência de drenagem da caixa de válvulas			NE		
13	Presença de pedras e lixo dentro da caixa de válvulas			PV	P	0
14	Defeitos no concreto			PV	P	0
I	Medidor de Vazão			ST	MG	NP
2	Corrosão da placa			NA		
3	Defeitos no concreto			NA		
4	Falta de escala de leitura de vazão			NA		
	NP(0) = 6	NP(1) = 9	NP(2) = 5	NP(3) = 0		

Barragem:	Jandaia	Município:	Bananeiras			
Data da vistoria:	22/11/2020	Empreendedor:	SEIRHMA - Secretaria da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia			
LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA						
A.1	Infraestrutura Operacional			ST	MG	NP
1	Falta de documentação sobre a barragem			PV	G	
4	Precariedade de acesso de veículos			PV	M	
8	Falta ou deficiência nas placas de aviso			PV	G	
B.1	Talude de Montante			ST	MG	NP
Barragem de Terra						
1	Erosões			NE		
4	Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado			NE		
6	Árvores e arbustos			PV	M	2
7	Erosão nos encontros das ombreiras			PV	P	1
P	Formigueiros, cupinzeiros ou toca de animais			NE		
B.2	Coroamento			ST	MG	NP
Barragem de Terra						
1	Erosões			NE		
3	Falta de revestimento			NE		
6	Árvores e arbustos			NE		
8	Defeitos no meio fio			PV	I	0
B.3	Talude de Jusante			ST	MG	NP
Barragem de Terra						
1	Erosões			PV	G	2
4	Falha na proteção granular			PV	G	1
5	Falha na proteção vegetal			PV	G	1
7	Árvores e arbustos			PV	M	2
8	Erosão nos encontros das ombreiras			PV	M	1
10	Canaletas quebradas o u obstruídas			PV	P	1
B.4	Região a jusante da barragem			ST	MG	NP
Barragem de Terra						
1	Construções próximas ao rio			PV	P	
4	Cavernas e buracos nas ombreiras			PV	P	1
5	Árvores/arbustos na faixa de 10m do pé da barragem			PV	P	1
C.1	Canais de Aproximação/Restituição			ST	MG	NP
Vertedouro						
1	Árvores e arbustos			PV	M	1
5	Erosão na base dos canais escavados			PV	M	1
C.2	Estrutura de Fixação da soleira			ST	MG	NP
Vertedouro						
1	Rachaduras ou trincas no concreto			PV	P	1
3	Deterioração da superfície do concreto			PV	P	1
C.4	Muros Laterais			ST	MG	NP

Vertedouro				
1	Erosão na fundação	NE		
3	Rachaduras no concreto	PV	M	1
5	Deterioração na superfície do concreto	PV	M	1
D	Reservatório	ST	MG	NP
11	Gado pastando	PV	I	0
H	Estrutura de Saída	ST	MG	NP
5	Defeitos nos dispositivos de controle	NI		
10	Falta de manutenção	NI		
12	Falta ou deficiência de drenagem da caixa de válvulas	NI		
13	Presença de pedras e lixo dentro da caixa de válvulas	NI		
14	Defeitos no concreto	NI		
I	Medidor de Vazão	ST	MG	NP
2	Corrosão da placa	NI		
3	Defeitos no concreto	NI		
4	Falta de escala de leitura de vazão	NI		
	NP(0) = 2	NP(1) = 13	NP(2) =	NP(3) = 0

ANEXO B – Matriz de classificação DPA das barragens da pesquisa

Nome da Barragem:	Barragem Curimataú			Data:	25/11/2020
Empreendedor:	DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas				
DANO POTECIAL ASSOCIADO				PONTOS	
Dano Potencial Associado (DPA)				ALTO	
Classificação				21	
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO			DPA	
	ALTO			> = 16	
	MÉDIO			10 < DPA < 16	
	BAIXO			< = 10	
Parâmetro	Descrição do Dano Potencial Associado				Barragem Curimataú
Volume Total do Reservatório para barragens de uso múltiplo ou aproveitamento energético (s)	Pequeno <= 5hm ³ (1)	Médio 5 a 75hm ³ (2)	Grande 75 a 200hm ³ (3)	Muito Grande > 200hm ³ (5)	Volume médio 5.99 hm³ s = 2
Potencial de perdas de vidas humanas (t)	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área a jusante da barragem) (0)	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local. (4)	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas. (8)	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas. (12)	EXISTENTE Existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas t = 12
	SIGNIFICATIVO (quando a área afetada da barragem	MUITO SIGNIFICATIVO (quando a área			SIGNIFICATIVO A área afetada da barragem não

<p>Impacto ambiental</p> <p>(u)</p>	<p>não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais)</p> <p>(3)</p>	<p>afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica)</p> <p>(5)</p>			<p>representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica e encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais.</p> <p>u = 3</p>
<p>Impacto socioeconômicos</p> <p>(v)</p>	<p>INEXISTENTE (Quando não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem)</p> <p>(0)</p>	<p>BAIXO (quando existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem)</p> <p>(4)</p>	<p>ALTO (quando 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)</p> <p>(8)</p>		<p>BAIXO Pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas e industriais e infraestrutura</p> <p>v = 4</p>
<p>DPA Σ(s até v) = 21</p>			<p>Dano Potencial</p>		<p>ALTO</p>

Nome da Barragem:	Poleiros			Data:	25/11/2020
Empreendedor:	SEMARH – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos				
DANO POTENCIAL ASSOCIADO				PONTOS	
Dano Potencial Associado (DPA)				ALTO	
Classificação				25	
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO			DPA	
	ALTO			> = 16	
	MÉDIO			10 < DPA < 16	
	BAIXO			< = 10	
Parâmetro	Descrição do Dano Potencial Associado				Barragem Poleiros
Volume Total do Reservatório para barragens de uso múltiplo ou aproveitamento energético (s)	Pequeno <= 5hm ³ (1)	Médio 5 a 75hm ³ (2)	Grande 75 a 200hm ³ (3)	Muito Grande > 200hm ³ (5)	Volume médio 7.93 hm³ s = 2
Potencial de perdas de vidas humanas (t)	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área a jusante da barragem) (0)	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local. (4)	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas. (8)	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas. (12)	EXISTENTE Existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas t = 12
Impacto ambiental	SIGNIFICATIVO (quando a área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em	MUITO SIGNIFICATIVO (quando a área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em			SIGNIFICATIVO A área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em

(u)	legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	legislação específica) (5)			legislação específica e encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais. u = 3
Impacto socioeconômicos (v)	INEXISTENTE (Quando não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)	BAIXO (quando existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem) (4)	ALTO (quando 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)		ALTO Existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem v = 8
DPA Σ(s até v) = 25			Dano Potencial		ALTO

Nome da Barragem:	Algodões				Data:	25/11/2020
Empreendedor:	DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas					
DANO POTECIAL ASSOCIADO					PONTOS	
Dano Potencial Associado (DPA)					ALTO	
Classificação					20	
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO				DPA	
	ALTO				> = 16	
	MÉDIO				10 < DPA < 16	
	BAIXO				< = 10	
Parâmetro	Descrição do Dano Potencial Associado				Barragem Algodões	
Volume Total do Reservatório para barragens de uso múltiplo ou aproveitamento energético (s)	Pequeno < = 5hm ³ (1)	Médio 5 a 75hm ³ (2)	Grande 75 a 200hm ³ (3)	Muito Grande > 200hm ³ (5)	Volume Pequeno 1,05 hm ³ s = 1	
Potencial de perdas de vidas humanas (t)	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área a jusante da barragem) (0)	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local. (4)	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas. (8)	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas. (12)	EXISTENTE Existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas t = 12	
Impacto ambiental (u)	SIGNIFICATIVO (quando a área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica	MUITO SIGNIFICATIVO (quando a área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação			SIGNIFICATIVO A área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica e	

	ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	específica) (5)			encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais. u = 3
Impacto socioeconômicos (v)	INEXISTENTE (Quando não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)	BAIXO (quando existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem) (4)	ALTO (quando 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)		BAIXO Pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas e industriais e infraestrutura v = 4
DPA $\Sigma(s \text{ até } v) = 20$			Dano Potencial		ALTO

Nome da Barragem:	Cacimba de Várzea			Data:	25/11/2020
Empreendedor:	SEMAR – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos				
DANO POTENCIAL ASSOCIADO				PONTOS	
Dano Potencial Associado (DPA)				ALTO	
Classificação				21	
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO			DPA	
	ALTO			> = 16	
	MÉDIO			10 < DPA < 16	
	BAIXO			< = 10	
Parâmetro	Descrição do Dano Potencial Associado				Barragem Cacimba de Várzea
Volume Total do Reservatório para barragens de uso múltiplo ou aproveitamento energético (s)	Pequeno <= 5hm ³ (1)	Médio 5 a 75hm ³ (2)	Grande 75 a 200hm ³ (3)	Muito Grande > 200hm ³ (5)	Volume Médio 9,26 hm³ s = 2
Potencial de perdas de vidas humanas (t)	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área a jusante da barragem) (0)	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local. (4)	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas. (8)	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas. (12)	EXISTENTE Existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas t = 12
Impacto ambiental	SIGNIFICATIVO (quando a área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas	MUITO SIGNIFICATIVO (quando a área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante			SIGNIFICATIVO A área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas

(u)	protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	ou protegida em legislação específica) (5)			protegidas em legislação específica e encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais. u = 3
Impacto socioeconômicos (v)	INEXISTENTE (Quando não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)	BAIXO (quando existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem) (4)	ALTO (quando 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)		BAIXO Pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas e industriais e infraestrutura v = 4
DPA Σ(s até v) = 21			Dano Potencial		ALTO

Nome da Barragem:		Cacimba de Várzea			Data:	25/11/2020
Empreendedor:		SEMAR – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos				
DANO POTENCIAL ASSOCIADO					PONTOS	
Dano Potencial Associado (DPA)					ALTO	
Classificação					25	
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO		DANO POTENCIAL ASSOCIADO			DPA	
		ALTO			> = 16	
		MÉDIO			10 < DPA < 16	
		BAIXO			< = 10	
Parâmetro	Descrição do Dano Potencial Associado				Barragem Jandaia	
Volume Total do Reservatório para barragens de uso múltiplo ou aproveitamento energético (s)	Pequeno < = 5hm ³ (1)	Médio 5 a 75hm ³ (2)	Grande 75 a 200hm ³ (3)	Muito Grande > 200hm ³ (5)	Volume médio 10,0 hm ³ s = 2	
Potencial de perdas de vidas humanas (t)	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área a jusante da barragem) (0)	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local. (4)	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas. (8)	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas. (12)	EXISTENTE Existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas t = 12	
Impacto ambiental (u)	SIGNIFICATIVO (quando a área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação	MUITO SIGNIFICATIVO (quando a área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação			SIGNIFICATIVO A 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)	específica) (5)			específica e encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais. u = 3
Impacto socioeconômicos (v)	INEXISTENTE (Quando não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)	BAIXO (quando existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem) (4)	ALTO (quando 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)		ALTO Existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem v = 8
DPA Σ(s até v) = 25			Dano Potencial		ALTO