UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA

EMANOEL RAIMUNDO DA SILVA SÁ JÚNIOR

PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCO PARA AS BARRAGENS DO ESTADO DE RORAIMA

BOA VISTA, RR
2022

EMANOEL RAIMUNDO DA SILVA SÁ JÚNIOR

PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCO PARA AS BARRAGENS DO ESTADO DE RORAIMA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Roraima, como requisitos para obtenção ao título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de Concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva

BOA VISTA, RR

2022

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)

Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

S111p Sá Júnior, Emanoel Raimundo da Silva.

Proposta de classificação de risco para as barragens do estado de Roraima / Emanoel Raimundo da Silva Sá Júnior. – Boa Vista, 2022.

98 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Roraima,

Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

1 - Barragem. 2 - Risco. 3 - Segurança. 4 - USACE. 5 - COGERH.

I - Título. II - Silva, Adriano Frutuoso da (orientador).

CDU - 56

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária/Documentalista:

Maria de Fátima Andrade Costa - CRB-11/453-AM

EMANOEL RAIMUNDO DA SILVA SÁ JÚNIOR

PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCO PARAAS BARRAGENS DO ESTADO DE RORAIMA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos. Defendida em 28 de janeiro de 2022 e avaliada pela seguinte banca:

Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva – Orientador (UFRR)

Profa. Dra. Fernanda Pereira Gouveia (UFPA)

Alex Bortolon de Matos

Assinado de forma digital por Alex Bortolon de Matos
Dados: 2022.02.12 16:26:08 -04'00'

Prof. Dr. Alex Bortolon de Matos (UFRR)

Em memória ao meu pai,

Emanoel Raimundo da Silva Sá.

AGRADECIMENTOS

Em tempos tão cruéis, agradecer é o mínimo que podemos fazer para demonstrar a alegria de estarmos aqui.

Agradeço à Deus pela saúde, cuidado e oportunidade fornecida a mim para o desenvolvimento de mais uma etapa.

Agradeço aos meus pais, Sônia e Emano, por todo apoio e oportunidade que proporcionaram nas minhas escolhas. Lembro-me perfeitamente, as suas alegrias ao contar sobre minha aprovação para cursar a graduação e, em sequência, o mestrado. Saudades.

Agradeço aos meus amigos que contribuíram na minha trajetória, fica aqui minha admiração e respeito por todos vocês.

Agradeço ao Prof. Adriano pelo apoio prestado a mim nessa caminhada, e estendo meus agradecimentos a todos os professores do programa.

Em memória, agradeço com um carinho apertado aos meus tios, Rui e Meirinha, ao meu avô e ao meu pai.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

O que vai ficar na fotografia
são os laços invisíveis que haviam.

(Leo Jaime e Leoni)

RESUMO

A Lei nº 12.334/2010 alterada pela Lei nº 14.066/2020, estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais. Atribuiu-se ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH a competência de estabelecer critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco através de uma classificação conforme aspectos influenciáveis pela probabilidade de ocorrência, acidente ou desastre, características técnicas, dos métodos construtivos, do estado de conservação e do tempo do empreendimento e do atendimento ao Plano de Segurança da Barragem, em categorias de risco. Este trabalho tem por objetivo apresentar uma proposta de classificação quanto ao critério de risco para as barragens do estado de Roraima, através de um enfrentamento dos métodos da Instrução Normativa FEMARH nº 3/2017, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº 143/2012, da metodologia da Companhia de Gestão e Recursos Hídricos (COGERH) e do método do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América (U.S. Army Corps of Engineers – USACE. Foram utilizadas como estudo de caso as barragens EcoPark e 01 Gilberto Uemura. Verificou-se que a alteração realizada pela FEMARH, o parâmetro de altura ao comparado com o método do CNRH, não tinha subsídios técnicos que comprovassem sua modificação, e os métodos da COGERH e USACE apresentavam parâmetros, largura e volume, que não eram considerados pelo órgão gestor estadual e que traria benefício na sua classificação. Ao término, foi proposto um modelo de classificação de risco e uma tabela com a classificação das barragens estudadas do Estado de Roraima para todos os métodos com o objetivo de auxiliar na gestão de segurança de barragens ao órgão fiscalizador estadual e na atualização do banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens.

Palavras-chave: Barragem. Risco. Segurança. USACE. COGERH.

ABSTRACT

The Law nº. 12.334/2010, amended by Law nº. 14.066/2020, establishes the National Dam Safety Policy and creates the National Information System on Dam Safety intended for the accumulation of water for any uses, for the final or temporary disposal of tailings and accumulation of industrial waste. The National Council of Water Resources - CNRH was given the power to establish general criteria for classifying dams by risk category through a classification according to aspects influenced by the probability of occurrence, accident or disaster, technical characteristics, construction methods, the state of conservation and the time of development and compliance with the Dam Safety Plan, in risk categories. This work aims to present a classification proposal regarding the risk criterion for dams in the state of Roraima, through a confrontation of the methods of Normative Instruction FEMARH nº 3/2017, of the National Council of Water Resources nº 143/2012, of methodology of the Water Resources Management Company (COGERH) and the method of the US Army Corps of Engineers - USACE. The EcoPark and 01 Gilberto Uemura dams were used as a case study. It was found that the change made by FEMARH, the height parameter compared to the CNRH method, did not have technical subsidies to prove its modification, and the COGERH and USACE methods had parameters, width and volume, which were not considered by the state managing agency and which would bring benefits in their classification. At the end, were proposed a risk classification model and a table with the classification of the dams studied in the State of Roraima for all methods in order to assist in the management of dam safety to the state inspection agency and updating the National Information System on Dam Safety database.

Keywords: Dam. Risk. Safety. USACE. COGERH.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes de uma bacia hidrográfica 16
Figura 2 - Elementos principais de uma barragem 17
Figura 3 - Uso principal das barragens no Brasil 20
Figura 4 - Uso principal das barragens do estado de Roraima 21
Figura 5 - Etapas da gestão de riscos 23
Figura 6 - Esquema para avaliação de risco proposto por Menescal et al. 31
Figura 7 - Fluxograma do desenvolvimento da metodologia 50
Figura 8 - Localização das barragens do estado de Roraima 54
Figura 9 - Localização da Barragem EcoPark 55
Figura 10 – Área de recreação da Barragem EcoPark 56
Figura 11 - Identificação da barragem EcoPark 56
Figura 12 - Crista da Barragem do EcoPark 57
Figura 13 - Vegetação rasteira na crista da barragem EcoPark 57
Figura 14 - Processos erosivos mínimos na barragem EcoPark 58
Figura 15 - Talude a jusante da barragem EcoPark 58
Figura 16 - Localização da Barragem 01 Gilberto Uemura 59
Figura 17 - Identificação da barragem 01 Gilberto Uemura 59
Figura 18 - Crista da barragem 01 Gilberto Uemura 60
Figura 19 - Trincas na crista da barragem 01 Gilberto Uemura 60
Figura 20 - Processos Erosivos na barragem 01 Gilberto Uemura 61
Figura 21 - Processos erosivos no talude da barragem 01 Gilberto Uemura 61
Figura 22 - Vegetação no talude da barragem 01 Gilberto Uemura 62
Figura 23 - Identificação de um extravasor na barragem 01 Gilberto Uemura 62
Figura 24 - Classificação de risco para as barragens do estado de Roraima 83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quantitativo das barragens cadastradas por estado e classificação de risco 18
Quadro 2 - Critérios de classificação de risco adotados por alguns países 25
Quadro 3 - Classificação de risco quanto ao critério de periculosidade, segundo a COGERH 32
Quadro 4 - Classificação de risco quanto ao critério de importância estratégica, segundo a COGERH 32
Quadro 5 - Classificação de risco quanto ao critério de vulnerabilidade, segundo a COGERH 33
Quadro 6 - Faixas de classe para o potencial de risco 34
Quadro 7 - Classificação de risco quanto ao critério de características técnicas, segundo Resolução CNRH n° 143/2012 35
Quadro 8 - Classificação de risco quanto ao critério de estado de conservação, segundo Resolução CNRH n° 143/2012 36
Quadro 9 - Classificação de risco quanto ao critério do Plano de Segurança de Barragens, segundo Resolução CNRH n° 143/2012 38
Quadro 10 - Faixas de classificação de risco, segundo Resolução CNRH n° 143/2012 38
Quadro 11 - Classificação de risco quanto ao critério de parâmetros constantes, segundo o USACE 39
Quadro 12 - Classificação de risco quanto ao critério de parâmetros variáveis, segundo o USACE 40
Quadro 13 - Classificação de risco quanto ao critério de danos a propriedades e perdas de vidas, segundo o USACE 41
Quadro 14 - Faixas de classificação de risco, segundo USACE 42
Quadro 15 - Classificação de risco quanto ao critério de características técnicas, segundo IN Femarh n° 3/2017 44
Quadro 16 - Classificação de risco quanto ao critério de estado de conservação, segundo IN Femarh n° 3/2017 45
Quadro 17 - Classificação de risco quanto ao critério do Plano de Segurança de Barragem, segundo IN Femarh n° 3/2017 47
Quadro 18 - Faixas de classificação de risco, segundo IN Femarh n° 03/2017 48
Quadro 19 - Características das barragens do estado de Roraima 51
Quadro 20 - Comparativo dos parâmetros dos métodos estudados 63
Quadro 21 - Classificação da barragem do EcoPark conforme a COGERH 66

Quadro 22 - Faixa de classificação da barragem EcoPark conforme COGERH.....67
Quadro 23 - Classificação da barragem do EcoPark conforme o CNRH.....68
Quadro 24 - Faixa de classificação da barragem EcoPark conforme CNRH.....69
Quadro 25 - Classificação da barragem do EcoPark conforme a USACE.....70
Quadro 26 - Faixa de classificação da barragem EcoPark conforme USACE.....71
Quadro 27 - Classificação da barragem do EcoPark conforme a FEMARH 72
Quadro 28 - Faixa de classificação da barragem EcoPark conforme FEMARH 74
Quadro 29 - Classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme COGERH.....75
Quadro 30 - Faixa de classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme COGERH...76
Quadro 31 - Classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme CNRH.....77
Quadro 32 - Faixa de classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme CNRH 78
Quadro 33 - Classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme USACE.....79
Quadro 34 - Faixa de classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme USACE 80
Quadro 35 - Classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme FEMARH 81
Quadro 36 - Faixa de classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme FEMARH...82
Quadro 37 - Classificação de risco para as barragens do estado de RR.....83
Quadro 38 - Resultado das classificações para a barragem EcoPark 84
Quadro 39 - Resultado das classificações para a barragem 01 Gilberto Uemura.....84
Quadro 40 - Comparativo das classes e simulação da classificação para a barragem EcoPark84
Quadro 41 - Comparativo das classes e simulação da classificação para a barragem 01 Gilberto Uemura.....85
Quadro 42 - Parâmetros considerados na proposta 87
Quadro 43 - Proposta de alteração da classificação de risco.....88
Quadro 44 - Pontuação dos novos parâmetros para a barragem EcoPark.....89
Quadro 45 - Pontuação dos novos parâmetros para a barragem 01 Gilberto Uemura 90
Quadro 46 - Resultado das classificações para a barragem EcoPark 90
Quadro 47 - Resultado das classificações para a barragem 01 Gilberto Uemura.....90

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CRI	Categoria de Risco
FEMARH	Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IN	Instrução Normativa
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PSB	Plano de Segurança de Barragem
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1 **INTRODUÇÃO** 15

1.1 BACIA HIDROGRÁFICA 16

1.2 BARRAGENS 17

1.2.1 **Classificação de barragens por categoria de risco** 23

1.2.1.1 Panorama internacional 24

1.2.1.2 Panorama nacional 25

1.2.1.3 Métodos de classificação 30

2 **OBJETIVOS** 49

2.1 OBJETIVO GERAL 49

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 49

3 **MATERIAL E MÉTODOS** 50

3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO 50

3.2 IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 51

3.3 VISITA DE CAMPO 55

3.4 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS 63

3.4.1 **Barragem EcoPark** 65

3.4.1.1 Metodologia da COGERH 65

3.4.1.2 Metodologia do CNRH 67

3.4.1.3 Metodologia da USACE 69

3.4.1.4 Metodologia da FEMARH 71

3.4.2 **Barragem 01 Gilberto Uemura** 74

3.4.2.1 Metodologia da COGERH 74

3.4.2.2 Metodologia do CNRH; 76

3.4.2.3 Metodologia da USACE 78

3.4.2.4 Metodologia da FEMARH 80

4 **RESULTADOS E DISCUSSÕES** 83

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS BARRAGENS 83

4.2 CLASSIFICAÇÃO DE RISCO – ESTUDO DE CASO 84

4.3 PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO RISCO 87

5 **CONSIDERAÇÕES FINAIS** 92

REFERÊNCIAS 94

1 INTRODUÇÃO

Com a Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 2010), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH e criou-se o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH, percebeu-se um alavanque nas questões naturais do Brasil e um cuidado nas questões hídricas e o seu entorno. Em um intervalo de 13 anos, a Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010), que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens - SNISB, com aplicação em barragens destinadas à acumulação de água, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, veio de forma a complementar a correta gestão dos recursos hídricos do Brasil.

Dentre os instrumentos da PNSB tem-se a Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012, criada pelo CNRH, a qual estabelece a classificação das barragens por categoria de risco e por dano potencial associado, devidamente classificadas pelos agentes fiscalizadores (CNRH, 2012).

Com uma atualização recente, em 2020, a Lei nº 14.066 (BRASIL, 2020) alterou alguns requisitos da Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010), dentre elas a inclusão da aplicação da Lei para as barragens que apresentam classificação de risco alto e/ou dano potencial associado médio ou alto.

Na medida de regularizar as barragens do estado de Roraima, em 2017, a Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – FEMARH, órgão fiscalizador estadual, regulamentou critérios e procedimentos para a classificação, implantação e a revisão periódica de segurança de barragens de acumulação de água, contenção de rejeitos e resíduos de domínio do Estado de Roraima, através da Instrução Normativa n° 3/2017 (RORAIMA, 2017).

As informações técnicas das barragens têm grande importância para a sua execução e gestão, sendo que são utilizadas, também, como dados de entrada para a identificação do nível de classificação de risco que estas obras possuem. Assim sendo, tendo conhecimento de um método adequado para a classificação de risco, considerando todas as características regionais que os englobam, ponderando elementos locais, gera uma classificação que atenda mais intimamente a região a qual está inserida.

1.1 BACIA HIDROGRÁFICA

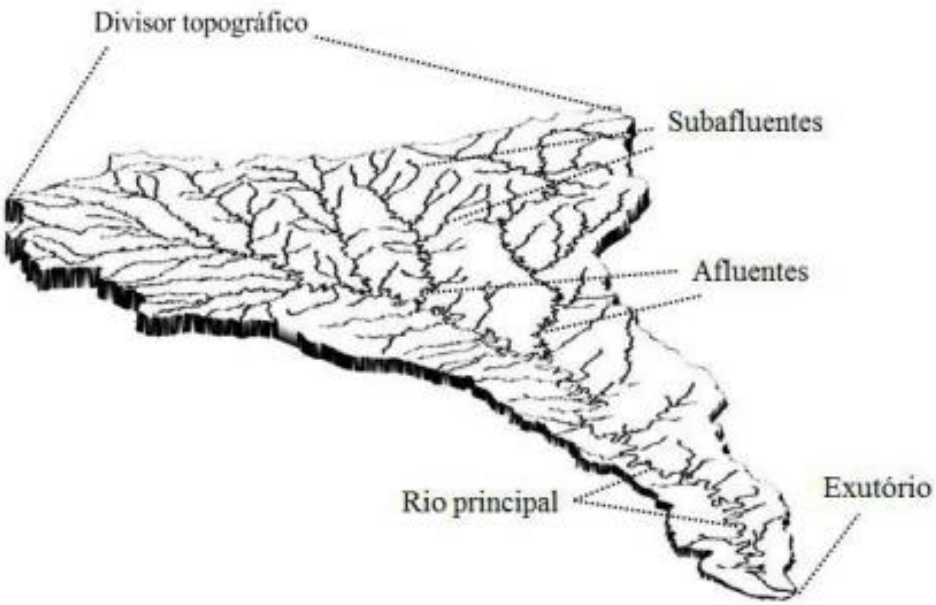
Na PNRH, instituída pela Lei n° 9.433/1997, tem-se que a água é um recurso natural limitado, de domínio público, com valor econômico e que sua gestão deve proporcionar o seu uso múltiplo, citando a bacia hidrográfica como a unidade territorial a ser adotada para a implementação da PNRH e a atuação do SINGREH.

Conforme Yassuda (1993) a bacia hidrográfica deve ser considerada como a unidade regional utilizada para o planejamento e a gestão integrada dos recursos hídricos e, que a mesma, é o palco unitário de interação das águas com o meio físico, biótico, social, econômico e cultural.

A bacia hidrográfica é um sistema com seus balanços de entrada (chuvas) e saída (exutório) bem delineados e sua área de abrangência é, não apenas o corpo hídrico, mas também todo o espaço territorial onde é desenvolvido atividades urbanas, industriais e agrícolas (PORTO; PORTO, 2008).

Toda a área abrangida por um rio principal e seus afluentes é considerado a bacia hidrográfica (FIGURA 1) e seus divisores de água são delimitados pela topografia da região (KUNTSCHIK, 2011).

Figura 1 - Componentes de uma bacia hidrográfica



Fonte: Bernardi et al (2013).

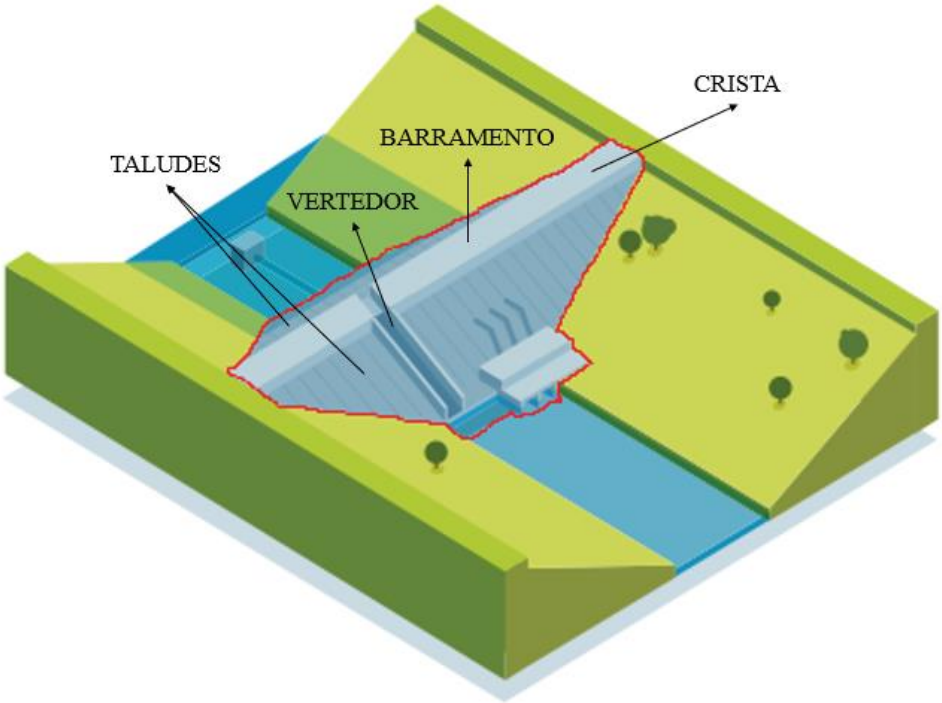
1.2 BARRAGENS

Conforme o Ministério da Integração Nacional (2002) barragem é definida como uma estrutura construída transversalmente, em corpo hídrico ou talvegue, para a obtenção da elevação do nível d'água. É qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias (BRASIL, 2020).

A barragem é qualquer estrutura desenvolvida em um curso permanente ou temporário de água com a finalidade de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, abrangendo o barramento e as estruturas associadas (CNRH, 2012).

Dependendo dos seus objetivos e sua finalidade, as barragens podem ser construídas por diversos materiais e com tamanhos variados, apresentando alguns elementos construtivos principais (FIGURA 2), sendo eles, segundo Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2019):

Figura 2 - Elementos principais de uma barragem



Fonte: ANA (2019).

1. Barramento: estrutura construída com diferentes materiais, transversalmente ao curso d'água, responsável pela retenção da água;
2. Vertedor: é a estrutura extravasora das barragens utilizada para descarregar a água;

3. Taludes: são as faces do barramento em contato com a água, podendo ser de montante ou jusante;
4. Crista: parte mais alta da barragem, é utilizado para unir as duas margens e permitir o acesso aos componentes das barragens. Usualmente, são pavimentados de forma a permitir o tráfego de veículos.

Conforme o Relatório de Segurança de Barragens (ANA, 2018), a utilização de uma barragem fornece grandes benefícios para a população como o abastecimento de água, irrigação, produção de energia elétrica, regularização de vazões, disposição de rejeitos de mineração, aquicultura e recreação, entretanto, elas geram impactos sociais e ambientais na região onde são instaladas.

As barragens são classificadas quanto ao seu tipo em convencionais, podendo ser de terra, de enrocamento, de concreto e mistas, e não convencionais, de gabião, de madeira e outros. As convencionais são mais bem utilizadas, com estudos elaborados em maiores quantidades e mais bem difundidas quando comparada com as não convencionais (COSTA, 2012).

A barragem mais antiga em território brasileiro foi construída em Recife, no estado de Pernambuco, no final do Século XVI e o surgimento das barragens de rejeito vieram através das atividades de mineração de ouro cerca de 300 anos atrás. As barragens de Cedros, no estado do Ceará, e Lajes, no Rio de Janeiro, são consideradas as primeiras grandes barragens do Brasil (ANA, 2018).

O Brasil possui cadastrado, atualmente, 21.953 barragens, sendo que 5.591 barragens se submetem à PNSB, um equivalente a 25% da sua totalidade e 60% das barragens não possuem todas as informações necessárias para definir seu posicionamento (ANA, 2021). A disposição do quantitativo das barragens por estado e a classificação quanto a categoria de risco - CRI é apresentado a seguir (QUADRO 1):

Quadro 1 - Quantitativo das barragens cadastradas por estado e classificação de risco

Fiscalizador		Cadastro		Classificação	
UF	**Entidade Fiscalizadora**	**Barragens Cadastradas**	**Submetidas à Lei nº 12.334/2010**	**Classificadas quanto ao CRI**	**Submetidas com CRI alto**
AC	IMAC	254	13	192	2

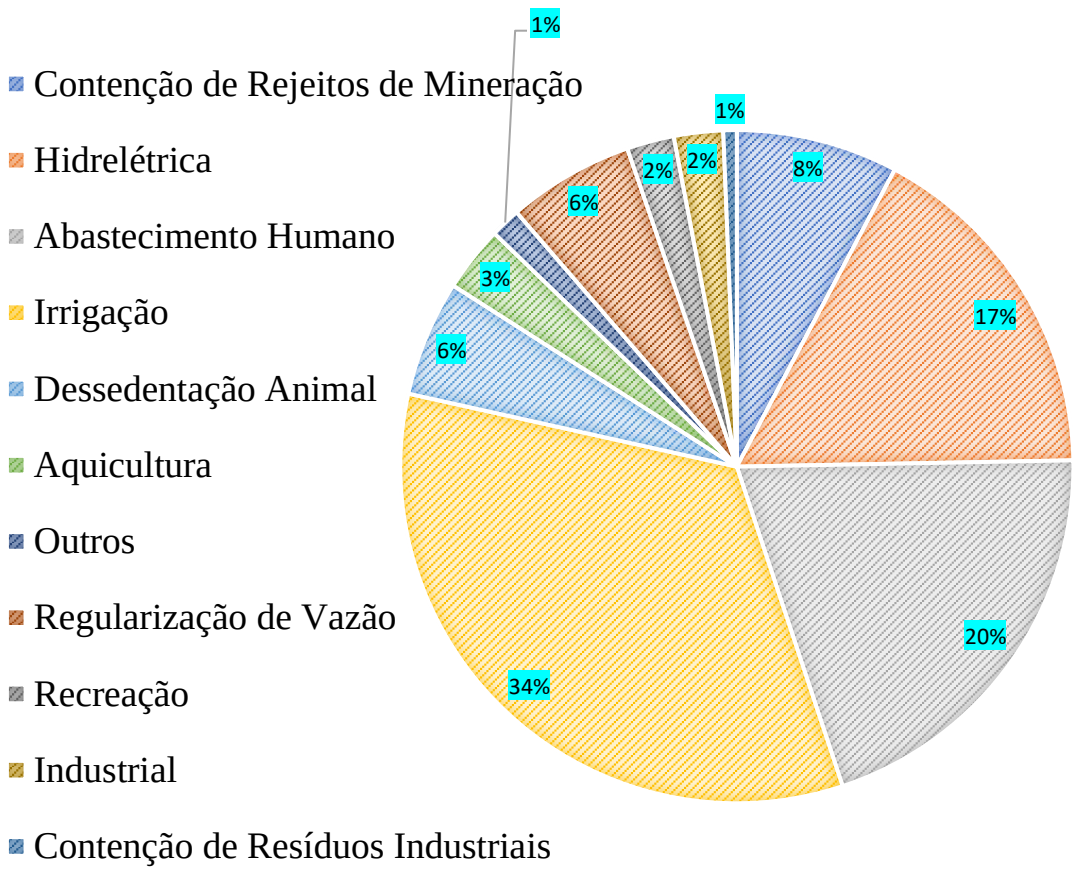
Fiscalizador		Cadastro		Classificação	
UF	**Entidade Fiscalizadora**	**Barragens Cadastradas**	**Submetidas à Lei nº 12.334/2010**	**Classificadas quanto ao CRI**	**Submetidas com CRI alto**
AL	SEMARH	100	50	90	8
AM	IPAAM	32	1	29	0
AP	SEMA	10	5	10	3
BA	INEMA	448	390	394	231
CE	SRH	326	212	156	1
DF	ADASA	104	1	104	0
ES	AGERH	309	143	306	74
GO	SEMAD	369	86	141	28
MA	SEMA	83	13	13	1
MG	IGAM	336	80	333	29
MG	SEMAD	22	22	0	0
MS	IMASUL	621	161	419	57
MT	SEMA	245	44	165	14
PA	SEMAS	222	142	155	132
PB	AESA	538	323	485	241
PE	APAC	370	209	307	156
PI	SEMAR	55	32	30	15
PR	IAT	1045	58	140	9
RJ	INEA	21	18	16	1
RN	IGARN	634	283	344	242
RO	SEDAM	105	31	105	10
RR	FEMARH	36	8	30	6
RS	SEMA	10897	1410	80	1
SC	SDE	60	39	57	10
SE	SEDURBS	103	16	48	8
SP	CETESB	2	2	2	0
SP	DAEE	551	174	194	80
TO	NATURATINS	765	99	384	10
FED	ANA	1133	145	231	56

Fiscalizador		Cadastro		Classificação	
UF	**Entidade Fiscalizadora**	**Barragens Cadastradas**	**Submetidas à Lei nº 12.334/2010**	**Classificadas quanto ao CRI**	**Submetidas com CRI alto**
FED	ANEEL	1299	946	1299	0
FED	ANM	857	434	844	53
FED	CNEN	1	1	1	0
	TOTAL	**21953**	**5591**	**7104**	**1477**

Fonte: ANA (2021).

Os usos principais das barragens brasileiras são diversos, como descritos (FIGURA 3) a seguir:

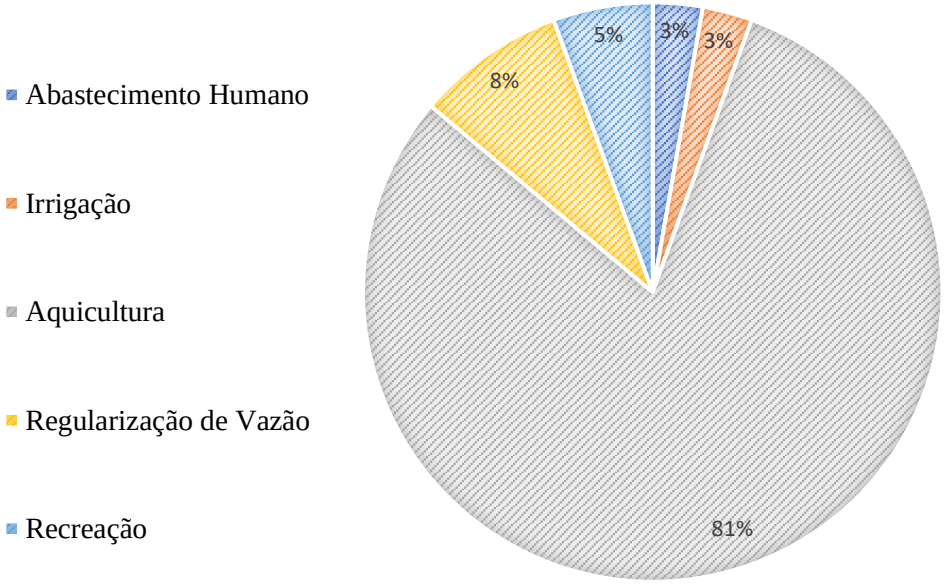
Figura 3 - Uso principal das barragens no Brasil



Fonte: Adaptado do Relatório de Segurança de Barragens (ANA, 2021).

No estado de Roraima, têm-se 36 barragens cadastradas, 8 submetidas à Lei 12.334/2010, 30 classificadas quanto a categoria de risco e 6 apresentando risco alto. Conforme Figura 4, seus usos principais são aquicultura, regularização de vazão, recreação, abastecimento humano e irrigação (ANA, 2021).

Figura 4 - Uso principal das barragens do estado de Roraima



Fonte: Adaptado do Relatório de Segurança de Barragens (ANA, 2021).

O Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem (ANA, 2016) relata que as barragens são necessárias para a obtenção de uma gestão adequada dos recursos hídricos e para a contenção de rejeitos de mineração ou de resíduos industriais e que, em contrapartida, seu uso pode envolver danos potenciais para as populações e para os bens materiais e ambientais que existem ao seu entorno.

As barragens no Brasil são regidas pela Lei nº 12.334/2010, que estabelece a PNSB e cria o SNISB, sendo aplicada em barragens destinadas à acumulação de água, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais. A Lei n° 14.066/2020 alterou a Lei n°12.334/2010, a Lei n° 7.797/1989, a Lei n° 9.433/1997 e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração).

Os instrumentos apresentados pela PNSB são (BRASIL, 2010):

a) o sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado;

b) o Plano de Segurança da Barragem - PSB, incluído o Plano de Ação de Emergência;
c) o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);
d) o Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (Sinima);
e) o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;
f) o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;
g) o Relatório de Segurança de Barragens;
h) o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH);
i) o monitoramento das barragens e dos recursos hídricos em sua área de influência;
j) os guias de boas práticas em segurança de barragens.

De acordo com a Lei n° 14.066/2020, as barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo CNRH, e seus parâmetros são regidos pela seguinte maneira:

> A classificação por categoria de risco em alto, médio ou baixo será feita em função das características técnicas, dos métodos construtivos, do estado de conservação e da idade do empreendimento e do atendimento ao Plano de Segurança da Barragem, bem como de outros critérios definidos pelo órgão fiscalizador. A classificação por categoria de dano potencial associado à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem.

Conforme o Relatório de Segurança de Barragens (ANA, 2019), de forma sucinta, a classificação de barragens por categoria de risco está relacionada com a probabilidade de falha da barragem, e o dano potencial associado indica as consequências geradas no caso de ruptura desta barragem.

Anderaós, Araujo e Nunes (2013) citam que dentre os instrumentos da PNSB, o sistema de classificação de barragens por categoria de risco, por dano potencial associado e por volume é o mais importante deles, pois deve ser utilizado como dosador de medidas e procedimentos de monitoramento, tornando as barragens mais seguras.

1.2.1 Classificação de barragens por categoria de risco

O risco é considerado o efeito da incerteza nos objetivos, ou seja, uma modificação que possa ocorrer em determinada situação em relação ao que é esperado, sendo expresso em termos de uma combinação das consequências de um evento e sua probabilidade de ocorrência (ABNT, 2018).

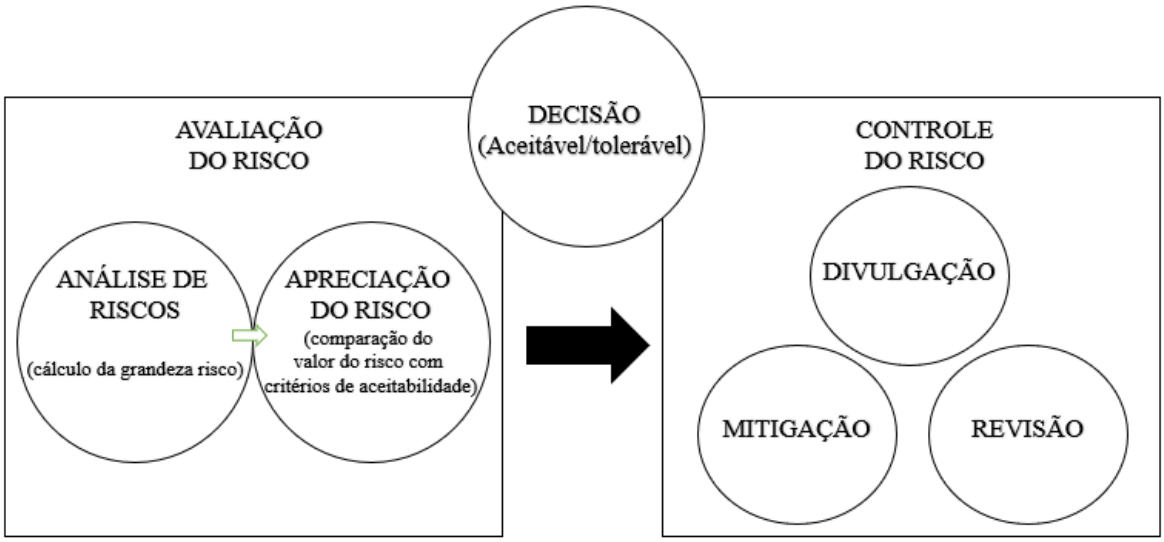
O Banco Mundial (2014) definiu risco, em segurança de barragens, como sendo o produto da probabilidade de rompimento pelas consequências associadas, ou seja, é a probabilidade da carga multiplicada pela resposta estrutural àquela carga.

Conforme Instrução Normativa n° 03, de 20 de dezembro de 2017, o risco é a probabilidade da ocorrência de um fator que provoque um efeito adverso para a saúde, meio ambiente e para a estrutura e é avaliado em consequência as condições de implantação da barragem e na eficácia de sua gestão (FEMARH, 2017).

Conforme Lei n°12.334 (BRASIL, 2010) a gestão de risco é a execução de ações de caráter normativo, com aplicação de medidas preventivas, de controle e de mitigação de riscos, e suas categorias estão relacionadas com os aspectos que possam influenciar na ocorrência de acidente ou desastre.

A gestão de riscos tem duas etapas principais, a avaliação de riscos e o controle do risco. Na primeira fase, a avaliação de risco é realizada pela análise (cálculo da grandeza) e apreciação (critérios de aceitabilidade) do risco. Em sequência, tomada a decisão de risco aceitável, tem-se o controle de risco, formado pelos estudos de mitigação, divulgação do risco e da revisão do valor dessa grandeza (FIGURA 5) (CNPBG, 2005).

Figura 5 - Etapas da gestão de riscos



Fonte: Adaptado de CNPGB (2005).

A segurança de barragens é essencial para manter a estrutura física e operacional do barramento fazendo com que cumpra a finalidade de sua construção, minimizando o risco de acidentes e cuidados necessários para a preservação da vida e do meio ambiente (ANA, 2019).

Na Lei n° 14.066 (BRASIL, 2020) a classificação de barragens por categoria de risco é realizada em decorrência de alguns fatores, são eles: características técnicas, métodos construtivos, da conservação, da idade do empreendimento, atendimento ao PSB e de critérios definidos pelo órgão fiscalizador.

Conhecer a classificação de uma barragem é fundamental para determinar os procedimentos que deverão ser adotados pelos empreendedores, como a realização do PSB, do Plano de Ação de Emergências e a frequência das inspeções (BANCO MUNDIAL, 2015).

1.2.1.1 Panorama internacional

A definição e a classificação de barragens geralmente são associadas a algumas características físicas, podendo ser eles: a altura, o nível de água, o volume do reservatório, mapa de inundação e comprimento da crista (ICOLD, 2001 apud DUARTE, 2008).

Não existe uma padronização internacional para a classificação de risco de barragens, e com isso cada país cria seus critérios de acordo com as suas características locais e que represente de forma mais veemente suas particularidades. Por exemplo, a altura e o volume são características utilizadas diferentemente pelos países para a classificação de risco (DUARTE, 2008).

A classificação de risco de barragens é bem difundida no mundo e encontra-se em vias de adoção na Austrália, Canadá e Reino Unido, e em outros países, como a França, Portugal e Espanha, está sendo examinado esta abordagem na classificação de suas barragens (BANCO MUNDIAL, 2014).

No Quadro 2, é apresentado algumas características de classificação de risco adotados por alguns países:

Quadro 2 - Critérios de classificação de risco adotados por alguns países

País	Barragens sujeitas à legislação (H = altura; V = Volume)	Classificação de risco
Austrália	De acordo com a classe	Divisão em três classes de acordo com a compilação de dados de altura e categoria de risco
Noruega	H > 4 m e V > 500.000 m3	Três classes de acordo com o número de habitantes a jusante
Polônia	Barragens > 10 ha	As barragens são divididas em quatro classes, sendo que as barragens de rejeitos são classificadas como barragens de água.
Portugal	H > 15 m ou V > 1.000.000 m3	Grandes Barragens H > 15 m ou V > 1.000.000 m3 ou perigo importante (perdas de vidas humanas, consequências econômicas importantes); Pequenas Barragens
Romênia	H > 10m V > 10.000.000m3 (áreas habitáveis devem estar a menos de 10 km)	Quatro classes de acordo com volume e altura da barragem

Fonte: Adaptado de Duarte (2008).

1.2.1.2 Panorama nacional

Na Resolução n° 143 de 10 de julho de 2012, o CNRH estabeleceu critérios gerais para a classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório. No entanto, permitiu ao órgão fiscalizador a adoção de critérios particulares para estas classificações (CNRH, 2012).

A Lei n° 9.433 (BRASIL, 1997) criou o SINGREH com o objetivo de coordenar a gestão integrada das águas, planejando, regulando e controlando o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos. Como integrante deste sistema temos o CNRH.

O Instituto de Meio Ambiente do Acre, através da Portaria Normativa IMAC n° 7 de 11 de dezembro de 2017, que estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação

dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do PSB, definiu a classificação de risco de acordo com os aspectos que possam influenciar na ocorrência de acidente levando em consideração características técnicas, o estado de conservação e o PSB considerando os atributos e pesos apresentados pela Resolução n° 143 de 10 de julho de 2012 (CNRH, 2012).

O Amapá, conforme a Portaria do Instituto do Meio Ambiente e de Ordenamento Territorial do Amapá – IMAP n° 435 de 19 de dezembro de 2018, que regulamenta as ações referentes a segurança de barragens outorgadas pelo IMAP, tem-se para a classificação de risco das barragens os mesmos parâmetros e pesos apresentados pela Resolução n° 143 de 10 de julho de 2012 (CNRH, 2012).

Através da Portaria Normativa do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas - IPAAM n° 139 de 03 de dezembro de 2018, o estado do Amazonas considerou a Resolução do CNRH n°143 de 10 de julho de 2012, sem apresentar modificações em suas classificações e pesos.

O estado do Pará, conforme a Instrução Normativa n°2 de 07 de fevereiro de 2018 da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAS, estabeleceu os procedimentos e critérios para elaboração e apresentação do PSB e adotou-se os como classificação de risco para as barragens os mesmos parâmetros adotados pela Resolução CNRH n°143 de 10 de julho de 2012.

As barragens do estado de Rondônia são regidas pela Instrução Normativa nº 3 de 15 de novembro de 2018 da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental, que dispõe sobre os procedimentos gerais e diretrizes para cadastramento e obtenção de registro de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos de barramentos já existentes e implantação de novas barragens de usos múltiplos em corpos de água de domínio estadual. Nos anexos desta Instrução Normativa, são apresentadas as tabelas de classificação de risco adotados e são idênticas, sem nenhuma alteração, das apresentadas pela Resolução CNRH n°143 de 10 de julho de 2012.

O estado do Tocantins através da Portaria da Fundação Natureza do Tocantins - NATURATINS n°483 de 18 de dezembro de 2017, que regulamenta as ações pertinentes à segurança de barragens outorgadas e dá outras providências considerou a Resolução CNRH n°143 de 10 de julho de 2012 para a classificação de risco e apresentou as mesmas tabelas citadas na resolução.

No estado de Roraima, através da Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – FEMARH, tem-se a Instrução Normativa nº 03, de 20 de dezembro de 2017, que

aprova os critérios e os procedimentos para a classificação, implantação e a revisão periódica de segurança de barragens de acumulação de água, contenção de rejeitos e resíduos de domínio do Estado de Roraima, e para sua classificação por categoria de risco são dispostos alguns componentes que possam influenciar na ocorrência de algum acidente (FEMARH, 2017).

A Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH do estado de Alagoas, através da Portaria n° 492 de 9 de setembro de 2015, que estabelece a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do PSB, considera, para a classificação de risco de barragens, o que é citado pela Resolução n° 143 de 10 de julho de 2012 (CNRH, 2012).

Na Bahia, o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA, resolve utilizar os critérios e pesos apresentados para a classificação de risco iguais aos apresentados pelo CNRH, conforme descrito pela Portaria n° 16.481 de 11 de julho de 2018, que estabelece o prazo de execução, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do PSB.

A Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH, do Governo do Estado do Ceará, estabeleceu o cadastro estadual de barragens e a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do PSB, das inspeções de segurança regular e especial, da revisão periódica de segurança de barragem e do plano de ação de emergência, através da Portaria SRH n° 2.747 de 19 de dezembro de 2017. É citado que a classificação da barragem pela categoria de risco leva-se em consideração as características técnicas, o estado de conservação e o PSB, semelhante ao apresentado pela Resolução n° 143 de 10 de julho de 2012 (CNRH, 2012).

A Portaria da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais do estado de Maranhão, n° 132 de 29 de dezembro de 2017, que estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do PSB, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência, tem-se para a classificação de risco os mesmos critérios apresentados pelo CNRH.

A Resolução n° 02 de 28 de março de 2019 da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA, que estabelece a Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência, considera os critérios estabelecidos para a classificação de barragens por categoria de risco a fornecida pela Resolução n° 143 de 10 de julho de 2012 (CNRH, 2012).

No estado do Pernambuco, conforme a Resolução da Agência Pernambucana de Águas e Climas - APAC n°3 de 28 de dezembro de 2017, que estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis, conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do PSB, tem-se que a categoria de risco está relacionado as características técnicas, o estado de conservação e o PSB, como descrito na Resolução do CNRH.

Com a Portaria da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMAR n° 2 de 06 de janeiro de 2016, que estabelece a periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das inspeções de segurança regulares de barragens de acumulação de água, o estado do Piauí considerou para critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco o descrito na Resolução n° 143 do CNRH.

O Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte, através da Portaria IGARN n° 10 de 16 de novembro de 2017, que define a classificação de barragem por categoria de risco de acordo com os aspectos que influenciam na possibilidade de ocorrência de acidente, não apresenta alterações dos seus parâmetros e valores.

O estado de Sergipe com a Portaria n° 21 de 16 de novembro de 2015 da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, estabeleceu a classificação das barragens de acumulação de água, de domínio estadual, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base nos critérios gerais estabelecidos pela Resolução do CNRH.

No estado de Goiás, a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás - SEMAD, conforme Instrução Normativa n° 1 de 28 de abril de 2020, estabeleceu normas e procedimentos aplicáveis à segurança de barragens instaladas ou a serem instaladas no Estado de Goiás, considerou a Resolução do CNRH nº 143, de 10 de julho de 2012, para a classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo seu volume.

A Secretaria de Estado de Meio Ambiente - SEMA do estado de Mato Grosso, através da Resolução n° 99 de 19 de setembro de 2017, considerou os mesmos critérios estabelecidos pelo CNRH.

O estado do Mato Grosso do Sul, estabelece, conforme a Resolução da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico - SEMADE n° 44 de 20 de dezembro de 2016, que as barragens são classificadas de acordo com o quadro de classificação quanto ao risco com base em critérios estabelecidos pela Resolução do CNRH.

A Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal - ADASA, que regulamenta os procedimentos para elaboração do PSB através da Resolução n°

10 de 3 de junho de 2020, define que as barragens outorgadas pela ADASA serão classificadas de acordo com a resolução do CNRH.

O estado do Paraná através da Portaria do Instituto Ambiental do Paraná - IAP n° 46 de 4 de dezembro de 2018, considerou a Resolução do CNRH n°143 para a classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo seu volume.

A Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMA do Rio Grande do Sul conforme Portaria SEMA n°136 de 29 de dezembro de 2017, que estabelece o conteúdo mínimo e o detalhamento do Plano de Segurança de Reservatório de Acumulação de Água, considera os parâmetros e pesos apresentados no anexo da Resolução do CNRH nº 143, de 10 de julho de 2012 para a classificação de risco das barragens.

A Portaria do Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE nº 3907 de 15 de dezembro de 2015, que prova os critérios e os procedimentos para a classificação, a implantação e a revisão periódica de segurança de barragens de acumulação de água de domínio do Estado de São Paulo, apresenta as tabelas de classificação de risco para as barragens com os mesmos parâmetros e pesos expostos na Resolução do CNRH.

O estado do Rio de Janeiro através da Resolução do Instituto Estadual do Ambiente - INEA n° 165 de 26 de dezembro de 2018, que estabelece diretrizes para a elaboração do PSB, regulamentando as políticas nacional e estadual de segurança de barragens no âmbito da competência do INEA, considera para a classificação de barragens o apresentado pelo CNRH.

O Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM, do estado de Minas Gerais, conforme a Portaria IGAM n° 2 de 26 de fevereiro de 2019, que apresenta sobre a regulamentação dos artigos 8°, 9°, 10, 11 e 12 da Lei n° 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a PNSB, cita em seu artigo terceiro que:

> As barragens serão classificadas pelo IGAM em consonância com o artigo 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, de acordo com os critérios estabelecidos pela Resolução CNRH nº 143/2012, conforme quadros de classificação quanto a Categoria de Risco – CRI e ao Dano Potencial Associado - DPA, nas classes A, B, C e D, constantes nos Anexo I e II desta Portaria.

No estado do Espírito Santo, a Agência Estadual de Recursos Hídricos - AGERH, conforme Resolução AGERH n° 72 de 19 de dezembro de 2018, em seu artigo terceiro, apresentou o quadro de classificação para as barragens quanto a categoria de risco com parâmetros idênticos aos apresentados pelo CNRH.

1.2.1.3 Métodos de classificação

Conforme Pinto e Medeiros (2014) os métodos de análise de riscos podem ser classificados em quantitativo e qualitativo, ou seja, o quantitativo baseia-se na probabilidade de ocorrência de um determinado incidente e suas consequências, e o qualitativo relaciona-se em uma análise de cenários.

Existe diversos métodos para a classificação de risco de barragens, tais como (CNPGB, 2005): HAZOP (análise dos perigos e da operacionalidade), FMEA (análise dos modos de falha e dos seus efeitos), ETA (análise por árvore de eventos), FTA (análise por árvore de falhas). Nesta pesquisa, serão utilizados quatro métodos para a classificação, são eles: COGERH, CNRH, USACE e FEMARH.

1.2.1.3.1 Metodologia da COGERH

Menescal et al. (2001) apresenta uma metodologia para a avaliação de potencial de risco em barragens no estado do Ceará sob responsabilidade da Companhia de Gestão e Recursos Hídricos (COGERH).

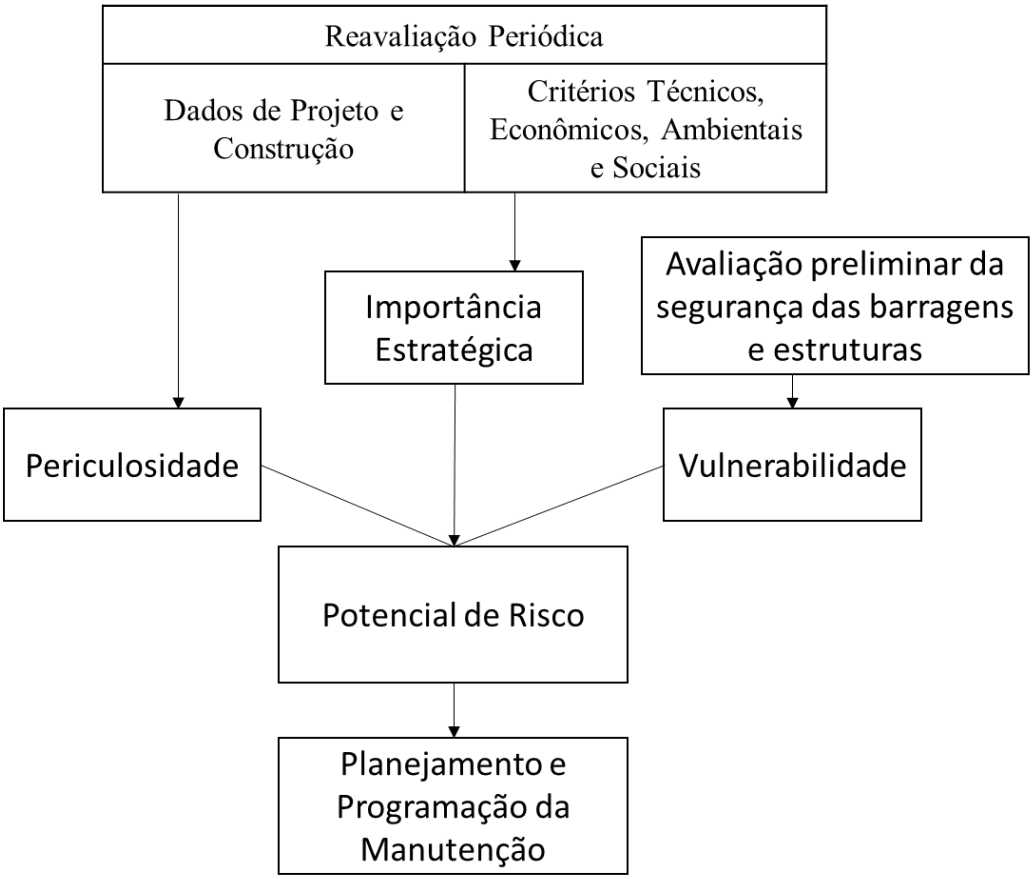
A metodologia da COGERH é considerada a pioneira na temática sobre barragens no brasil, a companhia foi criada em 1993 através da Lei 12.217 (CEARÁ, 1993), ela tem como finalidade o gerenciamento da oferta dos recursos hídricos constantes dos corpos d'água superficiais e subterrâneos de domínio do Estado do Ceará.

Neste método, o risco é definido como a potencialidade de perda de vidas humanas e danos a propriedades na área da barragem à jusante em uma possível falha, podendo as barragens serem classificadas em potencial de risco baixo, potencial de risco significante e potencial de risco alto, com definições a seguir (MENESCAL et al., 2001):

a. Risco baixo: são aquelas localizadas em áreas rurais, podendo causar danificações em construções rurais e estradas vicinais, sem causar vítimas;
b. Risco significante: são localizadas em áreas rurais cultivadas, causando danificações em residências isoladas, estradas e ferrovias em um possível rompimento, com número de vítimas baixo;
c. Risco alto: localizadas em áreas onde podem ocasionar altos danos em um número grande de residências, extensas áreas cultivadas, instalações industriais e comerciais, podendo causar elevado número de vítimas.

O esquema proposto para a avaliação do potencial de risco (FIGURA 6) tem caráter qualitativo e é calculado a partir de três parâmetros, são eles: periculosidade, importância estratégica e vulnerabilidade (MENESCAL et al., 2001).

Figura 6 - Esquema para avaliação de risco proposto por Menescal et al.



Fonte: Adaptado por Menescal et al. (2001).

Com as características técnicas do projeto e da construção pode-se determinar a periculosidade das estruturas. A importância estratégica da obra é obtida com base nos aspectos atuais da barragem, critérios econômicos, ambientais e sociais. Através da inspeção de campo e da leitura de instrumentação é efetuada uma avaliação preliminar da segurança das barragens, permitindo o cálculo da vulnerabilidade das estruturas (MENESCAL et al., 2001).

Os critérios, as classes e os pontos para a periculosidade (QUADRO 3), importância estratégica (QUADRO 4) e de vulnerabilidade (QUADRO 5), são apresentados a seguir:

Quadro 3 - Classificação de risco quanto ao critério de periculosidade, segundo a COGERH

Periculosidade	CLASSES	PONTOS
Dimensão da barragem	Altura ≤ 10m Comprimento ≤ 200m	1
	10m < Altura ≤ 20m Comprimento ≤ 2000m	3
	20m < Altura ≤ 50m 200m < Comprimento ≤ 3000m	6
	Altura > 50m Comprimento > 500m	10
Volume total do reservatório	Pequeno < 20 hm^3	3
	Médio até 200 hm^3	5
	Regular 200 a 800 hm^3	7
	Muito grande > 800 hm^3	10
Tipo de barragem	Concreto	4
	Alvenaria de pedra / concreto rolado	6
	Terra / enrocamento	8
	Terra	10
Tipo de fundação	Rocha	1
	Rocha Alterada / saprólito	4
	Solo residual / aluvião até 4m	5
	Aluvião arenoso espesso / solo orgânico	10
Vazão de projeto	Decamilenar	1
	Milenar	2
	500 anos	4
	Inferior a 500 anos ou desconhecida	10

Fonte: Adaptado por Menescal et al. (2001).

Quadro 4 - Classificação de risco quanto ao critério de importância estratégica, segundo a COGERH

Importância Estratégica	CLASSES	PONTOS
Volume útil	Grande > 800	2
	Médio 200 a 800	1,5
	Baixo < 200	1
População a jusante	Grande	2,5
	Média	2
	Pequena	1
Custo da barragem	Elevado	1,5
	Médio	1,2
	Pequeno	1

Fonte: Adaptado por Menescal et al. (2001).

Quadro 5 - Classificação de risco quanto ao critério de vulnerabilidade, segundo a COGERH

Vulnerabilidade	CLASSES	PONTOS
Tempo de Operação	> 30 anos	0
	10 a 30 anos	1
	5 a 10 anos	2
	< 5 anos	3
Existência de projeto	Existem projetos "as built" e avaliação do desempenho	1
	Existem projetos "as built"	3
	Só projeto básico	5
	Não existe projeto	7
Confiabilidade das Estruturas Vertedoras	Muito Satisfatória	2
	Satisfatória	3
	Suficiente	6
	Não Satisfatório	10
Tomada de água	Satisfatório controle a montante	1
	Satisfatório controle a jusante	2
	Aceitável	3
	Deficiente	5
Percolação	Totalmente controlada pelo sistema de drenagem	1
	Sinais de umedecimento nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras	4
	Zonas úmidas em taludes de jusante, ombreiras, área alagada a jusante devida ao fluxo	6
	Surgência de água em taludes, ombreiras e áreas de jusante	10
Deformações / Afundamentos Assentamentos	Inexistente	0
	Pequenos abatimentos da crista	2
	Ondulações pronunciadas, fissuras	6
	Depressão na crista - afundamentos nos taludes, ou na fundação / trincas	10
Deterioração dos taludes / paramentos	Inexistente	1
	Falhas no rip-rap e na proteção de jusante	3
	Falha nas proteções - drenagens insuficientes e sulcos nos taludes	7
	Depressão no rip-rap Escorregamentos - sulcos profundos de erosão, vegetação	10
Tipo de material acumulado no reservatório	Inexistente	0
	Água	1
	Água poluída	3
	Resíduos tóxicos ou potencialmente tóxicos	10

Fonte: Adaptado por Menescal et al. (2001).

Conforme Menescal et al. (2001), o potencial de risco é a classificação da barragem conforme o risco à segurança que ela possui, e é obtido através da formulação que associa os fatores de periculosidade, importância estratégica e vulnerabilidade, podendo se enquadrar em uma das seguintes classes: A, B, C, D e E (Quadro 6).

$$PR = \frac{P + V}{2} * \mathrm{I}$$

Em que:

PR = Potencial de Risco;

P = Periculosidade;

V = Vulnerabilidade;

I = Importância Estratégica.

Quadro 6 - Faixas de classe para o potencial de risco

Classe	Potencial de Risco
A (alto)	> 65 (ou Vi=10)
B (médio)	40 a 65
C (normal)	25 a 40
D (baixo)	15 a 25
E (muito baixo)	< 15

Fonte: Adaptado por Menescal et al. (2001)

Conforme Duarte (2008) esta metodologia pode contribuir no entendimento do comportamento de uma barragem, definindo pontos para a inspeção estratégica, identificando as medidas de redução de risco, priorizando as investigações e apoio nas tomadas de decisões.

Algumas deficiências são apresentadas neste método, tais como: subjetividade nos critérios de pontuação na avaliação da vulnerabilidade e na aplicação de um fator multiplicador referente à importância estratégica em cima de critérios subjetivos e não explicitados (FONTENLLE, 2007).

1.2.1.3.2 Metodologia do CNRH

O CNRH, através da Resolução n° 143 de 10 de julho de 2012, estabeleceu critérios gerais para a classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, e estabeleceu para a classificação de risco os seguintes critérios (CNRH, 2012):

a) Características técnicas:

- altura do barramento;
- comprimento do coroamento da barragem;
- tipo de barragem quanto ao material de construção;
- tipo de fundação da barragem;
- idade da barragem;
- tempo de recorrência da vazão de projeto do vertedouro.

b) Estado de conservação da barragem:

- confiabilidade das estruturas extravasoras;
- confiabilidade das estruturas de captação;
- eclusa
- percolação;
- deformação e recalques;
- deterioração dos taludes;

c) Plano de Segurança da Barragem:

- existência de documentação de projeto;
- estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem;
- procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento;
- regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;
- relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação.

Os quadros e as pontuações adotados pelo CNRH (CNRH, 2012) para a classificação de risco das barragens são, respectivamente, quanto às características técnicas (QUADRO 7), estado de conservação (QUADRO 8) e Plano de Segurança de Barragens (QUADRO 9):

Quadro 7 - Classificação de risco quanto ao critério de características técnicas, segundo Resolução CNRH n° 143/2012

CT	CLASSES	PONTOS
Altura	Altura ≤ 15m	0
	15m < Altura < 30m	1

	30m ≤ Altura ≤ 60m	2
	Altura > 60m	3
Comprimento	Comprimento ≤ 200m	2
	Comprimento > 200m	3
Tipo de barragem quanto ao material de construção	Concreto Convencional	1
	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado - CCR	2
	Terra homogênea /enrocamento / terra enrocamento	3
Tipo de fundação	Rocha sã	1
	Rocha alterada dura com tratamento	2
	Rocha alterada sem tratamento / rocha alterada fraturada com tratamento	3
	Rocha alterada moe / saprólito / solo compacto	4
	Solo residual / aluvião	5
Idade da barragem	entre 30 e 50 anos	1
	entre 10 e 30 anos	2
	entre 5 e 10 anos	3
	<5 anos ou >50 anos ou sem informação	4
Vazão de Projeto	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar	3
	Milenar	5
	TR = 500 anos	8
	TR < 500 anos ou desconhecida / Estudo não confiável	10

Fonte: Adaptado de CNRH (2012).

Quadro 8 - Classificação de risco quanto ao critério de estado de conservação, segundo Resolução CNRH n° 143/2012

EC	CLASSES	PONTOS
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Estruturas civis e hidroeletromecânicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos	0
	Estruturas civis e hidroeletromecânicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente	4
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente	7
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas	10

Confiabilidade das Estruturas de Adução	Estruturas civis e dispositivos hidroeletromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento	0
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação	4
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas	6
Percolação	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem	0
	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas	3
	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico	5
	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente	8
Deformações e Recalques	Inexistente	0
	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo	1
	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento	5
	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança	8
Deterioração dos Taludes / Paramentos	Inexistente	0
	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo	1
	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva	5
	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança	7
Eclusa	Não possui eclusa	0
	Estruturas civis e hidroeletromecânicas bem mantidas e funcionando	1
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação	2
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados e sem medidas corretivas	4

Fonte: Adaptado de CNRH (2012).

Quadro 9 - Classificação de risco quanto ao critério do Plano de Segurança de Barragens, segundo Resolução CNRH n° 143/2012

PS	CLASSES	PONTOS
Existência de documentação de projeto	Projeto executivo e “como construído”	0
	Projeto executivo ou “como construído”	2
	Projeto básico	4
	Anteprojeto ou Projeto conceitual	6
	Inexiste documentação de projeto	8
Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem	0
	Possui técnico responsável pela segurança da barragem	4
	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem	8
Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento	0
	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção	3
	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento	5
	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções	6
Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	Sim ou vertedouro tipo soleira livre	0
	Não	6
Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação	Emite regularmente os relatórios	0
	Emite os relatórios sem periodicidade	3
	Não emite os relatórios	5

Fonte: Adaptado de CNRH (2012).

Assim sendo, a pontuação total da classificação de risco para as barragens é a soma dos valores obtidos em cada um dos itens tabelados e as faixas adotadas para a classificação são (QUADRO 10):

Quadro 10 - Faixas de classificação de risco, segundo Resolução CNRH n° 143/2012

Categorias de Risco	
Alto	≥ 60 ou EC* ≥ 8*
Médio	35 a 60
Baixo	≤35

Fonte: Adaptado de CNRH (2012).

São considerados categoria de risco alto as barragens que apresentarem a soma das pontuações igual ou superior a 60 ou se em qualquer item do quadro de Estado de Conservação (EC) apresentar valor igual ou superior a 10 (CNRH, 2012).

1.2.1.3.3 Metodologia da USACE

Conforme Silva (2017), a metodologia do USACE foi desenvolvida com base em um método apresentado pela Hydro-Quebec, uma organização canadense, que adota uma classificação de barragens com base no risco e nas consequências de um possível rompimento.

Conforme Fontenelle (2007), esta metodologia trabalha com um quantitativo de 13 parâmetros de risco em barragens e em três grupos, são eles: parâmetros de constantes físicas, parâmetros variáveis e danos a propriedades e perdas de vidas. O maior objetivo deste método é colocar em ordem de prioridades qual área da barragem é mais suscetível a ocasionar problemas, priorizando os serviços nessas regiões.

Os parâmetros de constantes físicas (Quadro 11) e parâmetros variáveis (Quadro 12) são tabelados com valores distintos a depender de sua classificação, e seus conceitos são fundidos gerando o valor da vulnerabilidade da barragem. Desta forma, tem-se que a vulnerabilidade é a soma das pontuações obtidas pelas constantes físicas e variáveis (FONTENELLE, 2007).

Quadro 11 - Classificação de risco quanto ao critério de parâmetros constantes, segundo o USACE

Parâmetros Constantes	CLASSES	PONTOS
Altura da barragem (a)	< 10m	1
	10m < Altura ≤ 30m	3
	30m < Altura ≤ 100m	6
	> 100m	10
Largura do coroamento (b)	>15m	1
	6m < Largura ≤ 15m	3
	3m < Largura ≤ 6m	6
	<3m	10
Tipo de barragem (c)	Terra / enrocamento	4
	Terra	10
Tipo de fundação (d)	Rocha	1
	Rocha tratada	2
	Solo argiloso	4
	Solo argiloso tratado	6

	Aluvião tratado	8
	Aluvião	10
Capacidade de armazenamento (e)	<1hm³	1
	1hm³ < Capacidade ≤ 50hm³	2
	50hm³ < Capacidade ≤ 1000hm³	4
	1000hm³ < Capacidade ≤ 5000hm³	6
	> 5000hm³	10
Tipo de sistema de filtração (f)	Filtração moderna	1
	Drenos horizontais e verticais aterro	
	Homogêneo resistente ao piping	
	Poços de alívio, drenos de pé	
	Sem controle drenagem interna	10

Fonte: Adaptado de Fontenelle (2007).

Quadro 12 - Classificação de risco quanto ao critério de parâmetros variáveis, segundo o USACE

Parâmetros Variáveis	CLASSES	PONTOS
Idade da barragem (g)	0 < idade < 5 anos	8
	5 < idade < 15 anos	7
	15 < idade < 30 anos	3
	30 < idade < 50 anos	2
	> 50 anos	1
Altura hidráulica máxima atingida no reservatório (h)	> 95%	1
	75%m < altura ≤ 95%	5
	50%m < altura ≤ 75%	8
	< 50%	10
Sismicidade (i)	< 4 m/s	1
	4 m/s < sismicidade ≤ 8 m/s	2
	8 m/s < sismicidade ≤ 16 m/s	6
	16 m/s < sismicidade ≤ 32 m/s	8
	> 32 m/s	10
Confiabilidade do vertedouro (j)	Satisfatório	1
	Insatisfatório	10
Continuidade do monitoramento da barragem (k)	Mudanças diárias	1
	Presença diária	4
	Instrumentação automatizada	6
	Presença Inconstante	10
Altura normal do reservatório (l)	Reservatório seco	1
	< 50%	3
	50% < altura < 75%	6
	> 75%	10

Fonte: Adaptado Fontenelle (2007).

Os parâmetros de constantes físicas e variáveis, são obtidos pela média aritmética dos valores obtidos por cada um de seus itens e a vulnerabilidade é a soma desses valores (FONTENELLE, 2007), assim sendo:

$$Parâmetros_{constantes} = \frac{a + b + c + d + e + f}{6}$$

$$Parâmetros_{variáveis} = \frac{g + h + i + j + k + l}{6}$$

$$Vulnerabilidade = Parâmetros_{constantes} + Parâmetros_{variáveis}$$

O terceiro parâmetro é relacionado a consequência da ruptura de uma barragem, ou seja, refere-se aos danos as propriedades e as perdas de vidas da região, e correlaciona seus dados em função da densidade populacional, da extensão das áreas agrícolas e do desenvolvimento de indústrias. No Quadro 13, é apresentado esta classificação:

Quadro 13 - Classificação de risco quanto ao critério de danos a propriedades e perdas de vidas, segundo o USACE

	Área afetada	Potencial de Perigo	Pontos
Danos a propriedades e perdas de vidas	Área não habitada e não desenvolvida com poucos recursos naturais.	Mínimo	1
	Território pouco ocupado, com terras agrícolas.	Significante	3
	Áreas rurais desenvolvidas (menos de 2.000 habitantes), indústrias de pequeno e médio porte, alguns recursos naturais.	Importante	5
	Áreas rurais e Urbanas desenvolvidas (menos de 2.000 habitantes), indústrias de porte médio a grande, recursos naturais importantes.	Alto	8
	Cidades importantes (com mais de 100.000 habitantes), área com indústrias importantes.	Muito Alto	10

Fonte: Adaptado Fontenelle (2007).

A classificação de risco para a barragem é obtida pela soma da vulnerabilidade com o triplo do valor obtido pelos danos a propriedade e perdas de vidas, com resultado dividido por 50, assim sendo, tem-se que (FONTENELLE, 2007):

$$S = \frac{V + 3 * D}{50}$$

Em que:

S = classificação;

V = vulnerabilidade;

D = danos a propriedade e perdas de vidas.

Conforme Silva (2017), o índice de condição (IC) refere-se na medição das condições operacionais da barragem e seu desempenho, e ele assume o valor obtido pela classificação (S), podendo variar entre 0 e 100, possuindo 6 classes distintas (QUADRO 14). Tem-se que:

$$IC = (1 - S) * 100$$

Quadro 14 - Faixas de classificação de risco, segundo USACE

Índice de Condição	Classe	Descrição
85 a 100	Excelente	Sem defeitos visíveis. Algum envelhecimento ou desgaste pode ser visível.
70 a 84	Bom	Somente pequenas deteriorações ou defeitos são evidentes
55 a 69	Razoável	Algumas deteriorações ou defeitos são evidentes, mas a função não é significativamente afetada.
40 a 54	Marginal	Deterioração moderada, mas a função ainda é adequada.
25 a 39	Pobre	Deterioração grave em pelo menos algumas porções da estrutura. A função é inadequada.
10 a 24	Muito pobre	Deterioração extensa, mal funcional.
0 a 9	Falha	Não mais funções, falha geral ou falha completa de um componente estrutural principal.

Fonte: Adaptado Silva (2017).

1.2.1.3.4 Metodologia da FEMARH

No estado de Roraima, através da FEMARH, tem-se a Instrução Normativa nº 03, de 20 de dezembro de 2017, que aprova os critérios e os procedimentos para a classificação, implantação e a revisão periódica de segurança de barragens de acumulação de água, contenção de rejeitos e resíduos de domínio do Estado de Roraima, e para sua classificação por categoria de risco são dispostos alguns componentes que possam influenciar na ocorrência de algum acidente, sendo eles (FEMARH, 2017):

a) Características técnicas:
    - altura;
    - comprimento;
    - tipo de barragem quanto ao material de construção;
    - tipo de fundação;
    - idade da barragem;
    - vazão de projeto.
b) Estado de conservação:
    - confiabilidade das estruturas extravasoras;
    - confiabilidade das estruturas de adução;
    - percolação;
    - deformação e recalques;
    - deterioração dos taludes / parâmetros;
    - eclusa.
c) Plano de Segurança de Barragens:
    - existência de documentação de projeto;
    - estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;
    - procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento;
    - regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem.

Nos seguintes quadros são apresentadas as pontuações dos componentes da classificação de risco quanto às características técnicas (QUADRO 15), estado de conservação (QUADRO 16) e Plano de Segurança de Barragens (QUADRO 17):

Quadro 15 - Classificação de risco quanto ao critério de características técnicas, segundo IN Femarh n° 3/2017

CT	CLASSES	PONTOS
Altura	Altura ≤ 2m	0
	2m < Altura ≤ 10m	1
	10m ≤ Altura ≤ 15m	2
	Altura > 15m	3
Comprimento	Comprimento ≤ 200m	2
	Comprimento > 200m	3
Tipo de barragem quanto ao material de construção	Concreto Convencional	1
	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado - CCR	2
	Terra homogênea / enrocamento / terra enrocamento	3
Tipo de fundação	Rocha sã	1
	Rocha alterada dura com tratamento	2
	Rocha alterada sem tratamento / rocha alterada fraturada com tratamento	3
	Rocha alterada mole / saprólito / solo compacto	4
	Solo residual / aluvião	5
Idade da barragem	entre 30 e 50 anos	1
	entre 10 e 30 anos	2
	entre 5 e 10 anos	3
	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação	4
Vazão de Projeto	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar	3
	Milenar	5
	TR = 500 anos	8
	TR < 500 anos ou desconhecida / Estudo não confiável	10

Fonte: Adaptado de IN Femarh (2017).

Quadro 16 - Classificação de risco quanto ao critério de estado de conservação, segundo IN Femarh n° 3/2017

EC	CLASSES	PONTOS
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Estruturas civis e hidroeletromecânicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos	0
	Estruturas civis e hidroeletromecânicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente	4
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente	7
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas	10
Confiabilidade das Estruturas de Adução	Estruturas civis e dispositivos hidroeletromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento	0
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação	4
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas	6
Percolação	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem	0
	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas	3

EC	CLASSES	PONTOS
	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico	5
	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente	8
Deformações e Recalques	Inexistente	0
	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo	1
	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento	5
	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança	8
Deterioração dos Taludes / Paramentos	Inexistente	0
	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo	1
	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva	5
	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança	7
Eclusa	Não possui eclusa	0
	Estruturas civis e hidroeletromecânicas bem mantidas e funcionando	1
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação	2
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados e sem medidas corretivas	4

Fonte: Adaptado de IN Femarh (2017).

Quadro 17 - Classificação de risco quanto ao critério do Plano de Segurança de Barragem, segundo IN Femarh n° 3/2017

PS	CLASSES	PONTOS
Existência de documentação de projeto	Projeto executivo e “como construído”	0
	Projeto executivo ou “como construído”	2
	Projeto básico	4
	Anteprojeto ou Projeto conceitual	6
	Inexiste documentação de projeto	8
Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem	0
	Possui técnico responsável pela segurança da barragem	4
	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem	8
Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento	0
	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção	3
	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento	5
	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções	6
Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre	0
	Não	6
Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação	Emite regularmente os relatórios	0
	Emite os relatórios sem periodicidade	3
	Não emite os relatórios	5

Fonte: Adaptado de IN Femarh (2017).

O empreendedor deve apresentar ao órgão fiscalizador todas as informações e no caso da ausência de qualquer uma das informações necessárias para a classificação da barragem, tomará, para efeitos de cálculo, a pontuação máxima para estes itens, assim sendo, a pontuação quanto a classificação de risco será obtida pela soma dos pontos obtidos em cada um dos critérios apresentados (FEMARH, 2017):

$$Pontuação\ Total = CT + EC + PS$$

Os riscos são classificados em alto médio e baixo, e estão relacionados quanto a pontuação total obtida, no entanto, a barragem que obtiver um valor maior ou igual a 8 (oito) no item “estado de conservação” é considerada, automaticamente, categoria de risco alto. Os limites de cada classe são (FEMARH, 2017) (QUADRO 18):

Quadro 18 - Faixas de classificação de risco, segundo IN Femarh n° 03/2017

Categorias de Risco	
Alto	≥ 60 ou EC* ≥ 8*
Médio	35 a 60
Baixo	≤35

Fonte: Adaptado de IN Femarh (2017).

2 OBJETIVOS

Para a elaboração da pesquisa foram listados os seguintes objetivos:

2.1 OBJETIVO GERAL

Propor alteração dos parâmetros de classificação de risco utilizada pela metodologia FEMARH para as barragens do estado de Roraima.

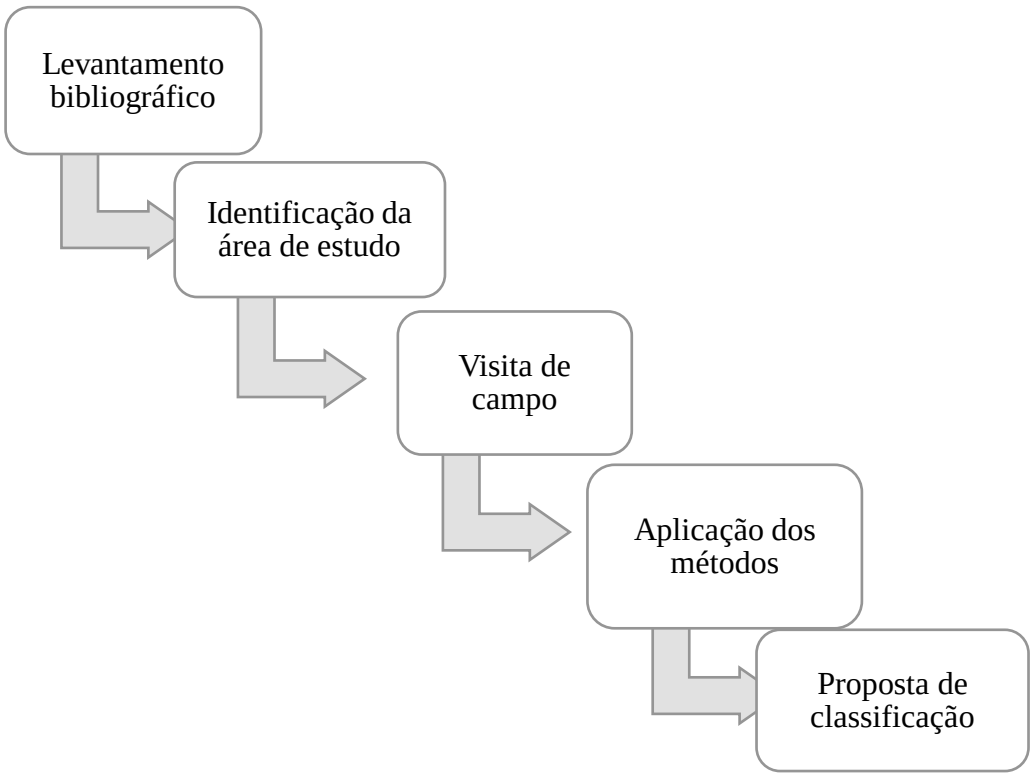
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar e caracterizar as barragens no estado de Roraima;
- Analisar as barragens quanto ao critério de risco, utilizando à IN Femarh n°3/2017;
- Confrontar os instrumentos adotados pela IN Femarh n°3/2017 e instrumentos adotados por outros estados e métodos de classificação;
- Aplicação dos métodos da FEMARH, do CNRH, da COGERH e USACE nas barragens EcoPark e 01 Gilberto Uemura

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho de pesquisa consistirá em cinco etapas principais, são elas: o levantamento bibliográfico, a identificação da área de estudo, visita de campo, aplicação dos métodos estudados e a proposta de classificação de risco para as barragens, como descrito a seguir (FIGURA 7):

Figura 7 - Fluxograma do desenvolvimento da metodologia



Fonte: Autor (2021).

3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Através de trabalhos publicados, pesquisas acadêmicas, livros, legislações e normas vigentes, nacional e estadual precede-se inicialmente em uma pesquisa bibliográfica, com finalidade de buscar elementos para a elaboração de todo o histórico existente sobre barragens e suas classificações no mundo, no Brasil e nos estados, verificando os métodos e procedimentos adotados, visando subsidiar os critérios de risco adotados.

No Brasil verificou-se as legislações adotadas pelos estados e pelo CNRH, suas particularidades e semelhanças. Elaborou-se uma coleta de dados de contribuições sobre legislações de barragens em outros países. Determinou-se os métodos mais difundidos, no Brasil e no mundo, sobre a classificação de barragens por categoria de risco. Deste moto, os métodos aplicados na área de estudo são os desenvolvidos pela COGERH, USACE, CNRH e Femarh.

3.2 IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Na identificação dos barramentos estudados nesta pesquisa, foram utilizados dois meios para a aquisição das informações, consulta ao órgão estadual gestor de barragens e a visita técnica nas barragens. In loco, o intuito foi verificar as características estruturais e a situação real de cada barragem.

No estado de Roraima, tem-se 36 barragens cadastradas sendo que 83,33% possui classificação quanto a categoria de risco (ANA, 2020). As barragens, sua localização, seu uso principal, sua classificação de risco e a existência de informações de altura e volume, estão apresentadas a seguir (QUADRO 19):

Quadro 19 - Características das barragens do estado de Roraima

Nome da Barragem	Latitude	Longitude	Munícipio	Uso Principal	Categoria de Risco	Tem informação de altura e volume?
Caer	2,994	-61,322	Alto Alegre	Abastecimento humano	Alto	Não
Fazenda São Domingos	3,1277	-61,176	Alto Alegre	Aquicultura	Médio	Sim
Fazenda Nogueira	3,2155	-61,0892	Alto Alegre	Aquicultura	Alto	Sim
EcoPark	2,8955	-60,9875	Boa Vista	Recreação	Alto	Sim
Fazenda Novo Paraiso	2,752	-61,288	Alto Alegre	Regularização de vazão	Baixo	Sim
Fazenda Frutal Industria e Comercio	3,1056	-61,1722	Alto Alegre	Aquicultura	Médio	Não
Fazenda Frutal Industria e Comercio	3,0328	-60,7522	Boa Vista	Aquicultura	Médio	Sim
Barragem Monte Cristo	2,8914	-60,7284	Boa Vista	Recreação	Alto	Sim

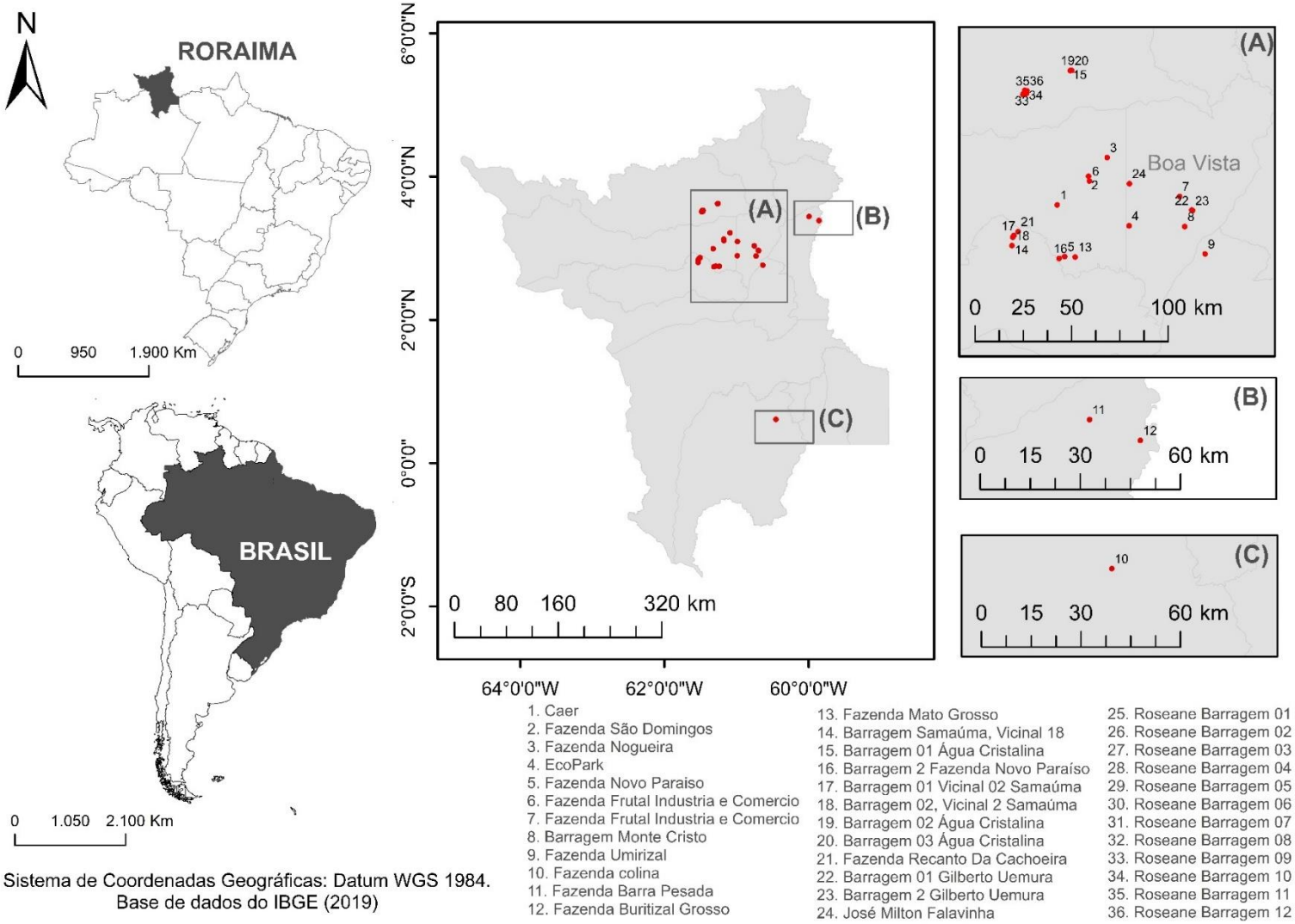
Nome da Barragem	Latitude	Longitude	Munícipio	Uso Principal	Categoria de Risco	Tem informação de altura e volume?
Fazenda Umirizal	2,763	-60,6341	Cantá	Regularização de vazão	Médio	Sim
Fazenda colina	0,611	-60,456	Rorainópolis	Aquicultura	Médio	Sim
Fazenda Barra Pesada	3,44	-59,9916	Bonfim	Aquicultura	Médio	Não
Fazenda Buritizal Grosso	3,3833	-59,855	Bonfim	Aquicultura	Alto	Não
Fazenda Mato Grosso	2,7495	-61,2387	Alto Alegre	Regularização de vazão	Não Classificado	Não
Barragem Samaúma, Vicinal 18	2,8034	-61,5333	Mucajaí	Aquicultura	Médio	Não
Barragem 01 Água Cristalina	3,6231	-61,2609	Amajari	Aquicultura	Baixo	Não
Barragem 2 Fazenda Novo Paraíso	2,7431	-61,3136	Alto Alegre	Aquicultura	Baixo	Não
Barragem 01 Vicinal 02 Samaúma	2,8508	-61,5245	Mucajaí	Aquicultura	Médio	Não
Barragem 02, Vicinal 2 Samaúma	2,8429	-61,5293	Mucajaí	Aquicultura	Baixo	Não
Barragem 02 Água Cristalina	3,6239	-61,2568	Amajari	Aquicultura	Baixo	Não
Barragem 03 Água Cristalina	3,6235	-61,2529	Amajari	Aquicultura	Baixo	Não
Fazenda Recanto Da Cachoeira	2,8691	-61,5048	Mucajaí	Aquicultura	Alto	Sim
Barragem 01 Gilberto Uemura	2,9685	-60,6961	Boa Vista	Aquicultura	Não Classificado	Sim
Barragem 2 Gilberto Uemura	2,9662	-60,6922	Boa Vista	Aquicultura	Não Classificado	Sim

Nome da Barragem	Latitude	Longitude	Munícipio	Uso Principal	Categoria de Risco	Tem informação de altura e volume?
José Milton Falavinha	3,0928	-60,9854	Boa Vista	Irrigação	Não Classificado	Sim
Roseane Barragem 01	3,5159	-61,4638	Amajari	Aquicultura	Baixo	Não
Roseane Barragem 02	3,5172	-61,4648	Amajari	Aquicultura	Não Classificado	Não
Roseane Barragem 03	3,519	-61,4667	Amajari	Aquicultura	Baixo	Não
Roseane Barragem 04	3,5112	-61,4813	Amajari	Aquicultura	Baixo	Não
Roseane Barragem 05	3,5169	-61,4779	Amajari	Aquicultura	Baixo	Não
Roseane Barragem 06	3,5184	-61,4726	Amajari	Aquicultura	Baixo	Não
Roseane Barragem 07	3,5238	-61,4688	Amajari	Aquicultura	Baixo	Não
Roseane Barragem 08	3,5311	-61,4721	Amajari	Aquicultura	Não Classificado	Não
Roseane Barragem 09	3,5275	-61,4664	Amajari	Aquicultura	Baixo	Não
Roseane Barragem 10	3,5266	-61,4659	Amajari	Aquicultura	Baixo	Não
Roseane Barragem 11	3,5278	-61,4643	Amajari	Aquicultura	Baixo	Não
Roseane Barragem 12	3,5293	-61,4624	Amajari	Aquicultura	Baixo	Não

Fonte: Adaptado de ANA (2021).

Conforme os dados fornecidos pelo Relatório de Segurança de Barragens (ANA, 2021) foi possível gerar um mapa de localização (FIGURA 8) das 36 barragens cadastradas no estado de Roraima, assim sendo, tem-se que:

Figura 8 - Localização das barragens do estado de Roraima



Fonte: Autor (2022).

As barragens definidas para estudo são a Barragem EcoPark e Barragem 01 Gilberto Uemura. A Barragem EcoPark é regulada pela PNSB e possui classificação de risco alto. A Barragem 01 Gilberto Uemura não tem definição sobre sua regulação e não possui classificação de risco, no entanto, é uma barragem cadastrada (ANA, 2021).

Houve grande dificuldade para as visitas das barragens no estado, influenciando o quantitativo e na escolha das barragens. A falta de acesso, a não permissão para a entrada, portões trancados e a falta de contato com os proprietários resultou um baixo número de estudos de caso. A barragem EcoPark e a 01 Gilberto Uemura foram as únicas que tiveram acesso livre para o estudo.

3.3 VISITA DE CAMPO

A Barragem EcoPark é localizada no estado de Roraima, no município de Boa Vista, com coordenadas geográficas 2,8955N e 60,9875W (FIGURA 9), seu uso principal é recreação (FIGURA 10) e possui empreendedor privado.

Figura 9 - Localização da Barragem EcoPark

Fonte: Google Earth

Figura 10 – Área de recreação da Barragem EcoPark

Fonte: Autor (2022).

As Figuras 11, 12, 13, 14 e 15 foram obtidas durante a visita de campo e auxiliaram na determinação de algumas classes das classificações de risco.

Figura 11 - Identificação da barragem EcoPark

Fonte: Autor (2022).

Figura 12 - Crista da Barragem do EcoPark

Fonte: Autor (2022).

Figura 13 - Vegetação rasteira na crista da barragem EcoPark

Fonte: Autor (2022).

Figura 14 - Processos erosivos mínimos na barragem EcoPark

Fonte: Autor (2022).

Figura 15 - Talude a jusante da barragem EcoPark

Fonte: Autor (2022).

A Barragem 01 Gilberto Uemura é localizada no estado de Roraima, no município de Boa Vista, com coordenadas geográficas 2,9685N e 60,6961W (FIGURA 16), seu uso principal é aquicultura.

Figura 16 - Localização da Barragem 01 Gilberto Uemura

Fonte: Google Earth.

As figuras 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 23 são imagens obtidas durante visita de campo na barragem 01 Gilberto Uemura e auxiliaram na identificação das classes da classificação de risco da barragem.

Figura 17 - Identificação da barragem 01 Gilberto Uemura

Fonte: Autor (2022).

Figura 18 - Crista da barragem 01 Gilberto Uemura

Fonte: Autor (2022).

Figura 19 - Trincas na crista da barragem 01 Gilberto Uemura

Fonte: Autor (2022).

Figura 20 - Processos Erosivos na barragem 01 Gilberto Uemura

Fonte: Autor (2022).

Figura 21 - Processos erosivos no talude da barragem 01 Gilberto Uemura

Fonte: Autor (2022).

Figura 22 - Vegetação no talude da barragem 01 Gilberto Uemura

Fonte: Autor (2022).

Figura 23 - Identificação de um extravasor na barragem 01 Gilberto Uemura

Fonte: Autor (2022).

3.4 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS

Os métodos utilizados são os seguintes:

I. Metodologia da COGERH;

II. Metodologia do CNRH;

III. Metodologia da USACE;

IV. Metodologia da FEMARH.

No Quadro 20 é apresentado um comparativo dos parâmetros adotados por cada método, alinhados conforme semelhanças. Os espaços na cor cinza representam a ausência da informação no método em questão.

Quadro 20 - Comparativo dos parâmetros dos métodos estudados

COGERH	CNRH	USACE	FEMARH
Dimensão da barragem	Altura	Altura da barragem	Altura
	Comprimento		Comprimento
Tipo de barragem	Tipo de barragem quanto ao material de construção	Tipo de barragem	Tipo de barragem quanto ao material de construção
Tipo de fundação	Tipo de fundação	Tipo de fundação	Tipo de fundação
Tempo de Operação	Idade da barragem	Idade da barragem	Idade da barragem
Confiabilidade das Estruturas Vertedouras	Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Confiabilidade do vertedouro	Confiabilidade das Estruturas Extravasoras
Percolação	Percolação	Tipo de sistema de filtração	Percolação
Vazão de projeto	Vazão de Projeto		Vazão de Projeto
Volume total do reservatório		Capacidade de armazenamento	
População a jusante		Área afetada	

COGERH	CNRH	USACE	FEMARH
Custo da barragem			
Tomada de água	Confiabilidade das Estruturas de Adução		Confiabilidade das Estruturas de Adução
Deformações / Afundamentos Assentamentos	Deformações e Recalques		Deformações e Recalques
Deterioração dos taludes / paramentos	Deterioração dos Taludes / Paramentos		Deterioração dos Taludes / Paramentos
	Eclusa		Eclusa
Existência de projeto	Existência de documentação de projeto		Existência de documentação de projeto
	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem		Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem
	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento	Continuidade do monitoramento da barragem	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento
	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem		Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem
	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação		Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação

COGERH	CNRH	USACE	FEMARH
		Altura hidráulica máxima atingida no reservatório	
		Altura normal do reservatório	
Tipo de material acumulado no reservatório			
		Largura do coroamento	
		Sismicidade	

Fonte: Autor (2022).

3.4.1 Barragem EcoPark

3.4.1.1 Metodologia da COGERH

As considerações adotadas para a aplicação deste método são:

I. Barragem tipo terra/enrocamento para acúmulo de água com altura de 11,8m, comprimento de coroamento de 383m, volume de 8,595hm³ com vazão de projeto desconhecido – informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021);

II. Tipo de fundação não informado - considerou-se a situação mais desfavorável, aluvião arenoso espesso / solo orgânico;

III. População pequena e com custo da barragem baixo – considerou-se pela localização afastada e barragem de pequeno porte;

IV. Tempo de operação da barragem de aproximadamente 32 anos e existência de projeto desconhecido – informações obtidas pelo dono da barragem;

V. Confiabilidade das estruturas vertedoras considerada a situação mais desfavorável e tomada de água aceitável – verificado através de visita in loco;

VI. Verificou-se uma percolação controlada e pequenos abatimentos na crista da barragem – visita in loco;

VII. Não apresenta deterioração nos taludes – visita in loco.

Aplicando as premissas adotadas nas tabelas dispostas do método, definindo as classes que se enquadram, tem-se (QUADRO 21):

Quadro 21 - Classificação da barragem do EcoPark conforme a COGERH

PERICULOSIDADE		**PONTOS**	**TOTAL**
Dimensão da barragem	10m < Altura ≤ 20m Comprimento ≤ 2000m	3	34
Volume total do reservatório	Pequeno < 20 hm³	3	
Tipo de barragem	Terra / enrocamento	8	
Tipo de fundação	Aluvião arenoso espesso / solo orgânico	10	
Vazão de projeto	Inferior a 500 anos ou desconhecida	10	
IMPORTÂNCIA ESTRATÉGICA		**PONTOS**	**TOTAL**
Volume útil	Baixo < 200	1	3
População a jusante	Pequena	1	
Custo da barragem	Pequeno	1	
VULNERABILIDADE		**PONTOS**	**TOTAL**
Tempo de Operação	10 a 30 anos	1	26
Existência de projeto	Não existe projeto	7	
Confiabilidade das Estruturas Vertedouras	Não Satisfatório	10	
Tomada de água	Aceitável	3	
Percolação	Totalmente controlada pelo sistema de drenagem	1	
Deformações / Afundamentos Assentamentos	Pequenos abatimentos da crista	2	
Deterioração dos taludes / paramentos	Inexistente	1	
Tipo de material acumulado no reservatório	Água	1	

Fonte: Autor (2022).

O Potencial de Risco é definido pela formulação abaixo e a classe de classificação representada no Quadro 22:

$$PR = \frac{P + V}{2} * \mathrm{I}$$

Em que:

PR = Potencial de Risco;

P = Periculosidade;

V = Vulnerabilidade;

I = Importância Estratégica.

Logo:

$$PR = \frac{34 + 26}{2} * 3$$

$$PR = 90$$

Quadro 22 - Faixa de classificação da barragem EcoPark conforme COGERH

Classe	Potencial de Risco
A (alto)	> 65 (ou Vi=10)
B (médio)	40 a 65
C (normal)	25 a 40
D (baixo)	15 a 25
E (muito baixo)	< 15

Fonte: Autor (2022).

3.4.1.2 Metodologia do CNRH

As considerações adotadas para a aplicação deste método são:

I. Barragem tipo terra/enrocamento com idade de 32 anos, altura de 11,8m, comprimento de coroamento de 383m, volume de 8,595hm³ com vazão de projeto desconhecido, sem eclusa e percolação controlada - informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021);

II. Tipo de fundação não informado - considerou-se a situação mais desfavorável, aluvião / solo residual;

III. Pela falta de informação considerou-se a pior situação para os itens de confiabilidade das estruturas extravasoras e confiabilidade das estruturas de adução;

IV. Apresenta-se trincas e abatimentos de pequena extensão sem deterioração dos taludes – visita in loco;

V. Existência de projeto desconhecido, sem estrutura organizacional, sem monitoramentos e inspeções, sem emissão de relatórios e ausência de dispositivos de descarga – informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021) e visita in loco.

Conforme as considerações acima, as classes definidas para cada critério são apresentadas no Quadro 23:

Quadro 23 - Classificação da barragem do EcoPark conforme o CNRH

CT		**PONTOS**	**TOTAL**
Altura	Altura ≤ 15m	0	22
Comprimento	Comprimento > 200m	3	
Tipo de barragem quanto ao material de construção	Terra homogênea /enrocamento / terra enrocamento	3	
Tipo de fundação	Solo residual / aluvião	5	
Idade da barragem	entre 30 e 50 anos	1	
Vazão de Projeto	TR < 500 anos ou desconhecida / Estudo não confiável	10	
EC		**PONTOS**	**TOTAL**
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas	10	17
Confiabilidade das Estruturas de Adução	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas	6	
Percolação	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem	0	
Deformações e Recalques	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo	1	
Deterioração dos Taludes / Paramentos	Inexistente	0	
Eclusa	Não possui eclusa	0	
PS		**PONTOS**	**TOTAL**
Existência de documentação de projeto	Inexiste documentação de projeto	8	33
Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem	8	

Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções	6	
Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	Não	6	
Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação	Não emite os relatórios	5	

Fonte: Autor (2022).

A pontuação da classificação de risco é obtida através da soma dos valores obtidos, assim sendo:

$$P_{risco} = 22 + 17 + 33$$

$$P_{risco} = 72$$

Quadro 24 - Faixa de classificação da barragem EcoPark conforme CNRH

Categorias de Risco	
Alto	≥ 60 ou EC* ≥ 8*
Médio	35 a 60
Baixo	≤35

Fonte: Autor (2022).

3.4.1.3 Metodologia da USACE

As considerações adotadas para a aplicação deste método são:

I. Barragem tipo terra/enrocamento com idade aproximada de 32 anos, altura de 11,8m, largura de coroamento de 7m e volume de 8,595hm³ - informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021);

II. Tipo de fundação e tipo de sistema de filtração não informado - informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021);

III. Pela ausência de canais extravasoras considerou-se altura hidráulica entre 75% e 95% e altura normal de reservatório entre 50% a 75% - verificado através de visita in loco.

IV. Sismicidade não aplicável pela falta de estudos;

V. Pela falta de informação considerou-se a pior situação para o item confiabilidade do vertedouro;

VI. Presença inconstante no monitoramento da barragem - informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021);

VII. Considerou-se um potencial de perigo significante apresentando uma área pouco ocupada – verificado através de visita in loco.

O Quadro 25 apresenta os itens, as classes e os pontos adotados para cada item da classificação:

Quadro 25 - Classificação da barragem do EcoPark conforme a USACE

PARÂMETROS CONSTANTES		**PONTOS**
Altura da barragem	10m < Altura ≤ 30m	3
Largura do coroamento	6m < Largura ≤ 15m	3
Tipo de barragem	Terra / enrocamento	4
Tipo de fundação	Aluvião	10
Capacidade de armazenamento	1hm³ < Capacidade ≤ 50hm³	2
Tipo de sistema de filtração	Sem controle drenagem interna	10
PARÂMETROS VARIÁVEIS		**PONTOS**
Idade da barragem	30 < idade < 50 anos	2
Altura hidráulica máxima atingida no reservatório	75%m < altura ≤ 95%	5
Sismicidade		
Confiabilidade do vertedouro	Insatisfatório	10
Continuidade do monitoramento da barragem	Presença Inconstante	10
Altura normal do reservatório	50% < altura < 75%	6
DANOS A PROPRIEDADE E PERDAS DE VIDAS		**PONTOS**
Área afetada	Território pouco ocupado, com terras agrícolas	3

Fonte: Autor (2022).

Assim sendo, tem-se que:

$$Parâmetros_{constantes} = \frac{3 + 3 + 4 + 10 + 2 + 10}{6} = 5{,}33$$

$$Parâmetros_{variáveis} = \frac{2+5+0+10+10+6}{6} = 5{,}5$$

$$Vulnerabilidade = 5{,}33 + 5{,}5 = 10{,}83$$

A classificação de risco para a barragem é obtida pela soma da vulnerabilidade com o triplo do valor obtido pelos danos a propriedade e perdas de vidas, com resultado dividido por 50, assim sendo, tem-se que:

$$S = \frac{10{,}83 + 3 * 3}{50} = 0{,}3966$$

Assim sendo, o índice de condição (IC) é:

$$IC = (1 - S) * 100$$

$$IC = (1 - 0{,}3966) * 100$$

$$IC = 60{,}34\%$$

Conforme Índice de condição determinado tem-se que a classe da barragem é razoável (QUADRO 26) com algumas deteriorações ou defeitos são evidentes, mas a função não é significativamente afetada.

Quadro 26 - Faixa de classificação da barragem EcoPark conforme USACE

Índice de Condição	Classe	Descrição
85 a 100	Excelente	Sem defeitos visíveis. Algum envelhecimento ou desgaste pode ser visível.
70 a 84	Bom	Somente pequenas deteriorações ou defeitos são evidentes
55 a 69	Razoável	Algumas deteriorações ou defeitos são evidentes, mas a função não é significativamente afetada.
40 a 54	Marginal	Deterioração moderada, mas a função ainda é adequada.
25 a 39	Pobre	Deterioração grave em pelo menos algumas porções da estrutura. A função é inadequada.
10 a 24	Muito pobre	Deterioração extensa, mal funcional.
0 a 9	Falha	Não mais funções, falha geral ou falha completa de um componente estrutural principal.

Fonte: Autor (2022).

3.4.1.4 Metodologia da FEMARH

As considerações adotadas para a aplicação deste método são:

I. Barragem tipo terra/enrocamento com idade de 32 anos, altura de 11,8m, comprimento de coroamento de 383m, volume de 8,595hm³ com vazão de projeto desconhecido, sem eclusa e percolação controlada – informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021);

II. Tipo de fundação não informado, considerou-se a situação mais desfavorável, aluvião / solo residual;

III. Pela falta de informação considerou-se a pior situação para os itens de confiabilidade das estruturas extravasoras e confiabilidade das estruturas de adução;

IV. Apresenta-se trincas e abatimentos de pequena extensão sem deterioração dos taludes - verificado através de visita in loco.;

V. Existência de projeto desconhecido, sem estrutura organizacional, sem monitoramentos e inspeções, sem emissão de relatórios e ausência de dispositivos de descarga – informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021).

O Quadro 27 apresenta os dados definidos para este método:

Quadro 27 - Classificação da barragem do EcoPark conforme a FEMARH

CT		**PONTOS**	**TOTAL**
Altura	10m ≤ Altura ≤ 15m	2	24
Comprimento	Comprimento > 200m	3	
Tipo de barragem quanto ao material de construção	Terra homogênea /enrocamento / terra enrocamento	3	
Tipo de fundação	Solo residual / aluvião	5	
Idade da barragem	entre 30 e 50 anos	1	
Vazão de Projeto	TR < 500 anos ou desconhecida / Estudo não confiável	10	
EC		**PONTOS**	**TOTAL**
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas	10	17

Confiabilidade das Estruturas de Adução	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas	6	
Percolação	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem	0	
Deformações e Recalques	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo	1	
Deterioração dos Taludes / Paramentos	Inexistente	0	
Eclusa	Não possui eclusa	0	
PS		**PONTOS**	**TOTAL**
Existência de documentação de projeto	Inexiste documentação de projeto	8	33
Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem	8	
Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções	6	
Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	Não	6	
Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação	Não emite os relatórios	5	

Fonte: Autor (2022).

A pontuação da classificação de risco é obtida através da soma dos valores obtidos e sua classificação conforme Quadro 28, assim sendo:

$$P_{risco} = 24 + 17 + 33$$

$$P_{risco} = 74$$

Quadro 28 - Faixa de classificação da barragem EcoPark conforme FEMARH

Categorias de Risco	
Alto	≥ 60 ou EC* ≥ 8*
Médio	35 a 60
Baixo	≤35

Fonte: Autor (2022).

3.4.2 Barragem 01 Gilberto Uemura

3.4.2.1 Metodologia da COGERH

As considerações adotadas para a aplicação deste método são:

I. Barragem de terra para acúmulo de água com altura de 4m, comprimento de coroamento de 180m, volume de 0,112hm³ com vazão de projeto desconhecido – informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021);

II. Tipo de fundação não informado, considerou-se a situação mais desfavorável, aluvião arenoso espesso / solo orgânico;

VIII. População e custo de barragem pequenos – verificado através de visita in loco;

III. Tempo de operação da barragem de 26 anos e existência de projeto desconhecido – informações obtidas pelo dono da barragem;

IX. Confiabilidade das estruturas vertedoras considerada a situação muito satisfatória e tomada de água com controle satisfatório a jusante – verificado através de visita in loco;

IV. Verificou-se uma percolação controlada e pequenos abatimentos na crista da barragem – verificado através de visita in loco;

V. Verificou-se a falta de proteção dos taludes – verificado através de visita in loco.

Assim sendo, as classes definidas são (QUADRO 29):

Quadro 29 - Classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme COGERH

PERICULOSIDADE		PONTOS	TOTAL
Dimensão da barragem	Altura ≤ 10m Comprimento ≤ 2000m	1	34
Volume total do reservatório	Pequeno < 20 hm³	3	
Tipo de barragem	Terra	10	
Tipo de fundação	Aluvião arenoso espesso / solo orgânico	10	
Vazão de projeto	Inferior a 500 anos ou desconhecida	10	
IMPORTÂNCIA ESTRATÉGICA		**PONTOS**	**TOTAL**
Volume útil	Baixo < 200	1	3
População a jusante	Pequena	1	
Custo da barragem	Pequeno	1	
VULNERABILIDADE		**PONTOS**	**TOTAL**
Tempo de Operação	10 a 30 anos	1	19
Existência de projeto	Não existe projeto	7	
Confiabilidade das Estruturas Vertedouras	Muito Satisfatório	2	
Tomada de água	Satisfatório controle a jusante	2	
Percolação	Totalmente controlada pelo sistema de drenagem	1	
Deformações / Afundamentos Assentamentos	Pequenos abatimentos da crista	2	
Deterioração dos taludes / paramentos	Falhas no rip-rap e na proteção de jusante	3	
Tipo de material acumulado no reservatório	Água	1	

Fonte: Autor (2022).

O Potencial de Risco é definido pela formulação abaixo e a classe de classificação representada no Quadro 30:

$$PR = \frac{P + V}{2} * \mathrm{I}$$

$$PR = \frac{34 + 19}{2} * 3$$

$$PR = 79{,}5$$

Quadro 30 - Faixa de classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme COGERH

Classe	Potencial de Risco
A (alto)	> 65 (ou Vi=10)
B (médio)	40 a 65
C (normal)	25 a 40
D (baixo)	15 a 25
E (muito baixo)	< 15

Fonte: Autor (2022).

3.4.2.2 Metodologia do CNRH;

As considerações adotadas para a aplicação deste método são:

I. Barragem tipo terra com idade 26 anos, altura de 4m, comprimento de coroamento de 180m, volume de 0,112hm³ com vazão de projeto desconhecido, sem eclusa e percolação controlada – informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021);

II. Tipo de fundação não informado, considerou-se a situação mais desfavorável, aluvião / solo residual – informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021);

III. A confiabilidade das estruturas extravasoras com poucas obstruções e confiabilidade das estruturas de adução considerou-se a pior situação – verificado através de visita in loco;

IV. Apresenta-se trincas e abatimentos de pequena extensão com presença de pequenos arbustos nos taludes – verificado através de visita in loco;

V. Existência de projeto desconhecido, sem estrutura organizacional, sem monitoramentos e inspeções, sem emissão de relatórios e com a presença de dispositivos de descarga – informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021).

O Quadro 31 apresenta as classes e os pontos definidos para este método:

Quadro 31 - Classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme CNRH

CT		PONTOS	TOTAL
Altura	Altura ≤ 15m	0	22
Comprimento	Comprimento ≤ 200m	2	
Tipo de barragem quanto ao material de construção	Terra homogênea /enrocamento / terra enrocamento	3	
Tipo de fundação	Solo residual / aluvião	5	
Idade da barragem	entre 10 e 30 anos	2	
Vazão de Projeto	TR < 500 anos ou desconhecida / Estudo não confiável	10	
EC		**PONTOS**	**TOTAL**
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Estruturas civis e hidroeletromecânicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente	4	12
Confiabilidade das Estruturas de Adução	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas	6	
Percolação	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem	0	
Deformações e Recalques	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo	1	
Deterioração dos Taludes / Paramentos	Falhas na proteção de taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo	1	
Eclusa	Não possui eclusa	0	
PS		**PONTOS**	**TOTAL**
Existência de documentação de projeto	Inexiste documentação de projeto	8	27
Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem	8	
Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções	6	

Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	Sim ou vertedouro tipo soleira livre	0	
Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação	Não emite os relatórios	5	

Fonte: Autor (2022).

A pontuação da classificação de risco e a faixa de classificação (QUADRO 32) são as seguintes:

$$P_{risco} = 22 + 12 + 27$$

$$P_{risco} = 61$$

Quadro 32 - Faixa de classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme CNRH

Categorias de Risco	
Alto	≥ 60 ou EC* ≥ 8*
Médio	35 a 60
Baixo	≤35

Fonte: Autor (2022).

3.4.2.3 Metodologia da USACE

As considerações adotadas para a aplicação deste método são:

I. Barragem tipo terra com idade 26 anos, altura de 4m, largura de coroamento de 6m e volume de 0,112hm³ – informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021);

II. Tipo de fundação e tipo de sistema de filtração não informado – informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021);

III. Considerou-se altura hidráulica entre 75% e 95% e altura normal de reservatório menor que 50%;

IV. Sismicidade não aplicável pela falta de estudos;

V. Confiabilidade do vertedouro satisfatório – verificado através de visita in loco;

VI. Presença inconstante no monitoramento da barragem - informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021);

VII. Considerou-se um potencial de perigo mínimo apresentando uma área não habitada – verificado através de visita in loco.

O Quadro 33 apresenta a classificação do método da USACE para a barragem 01 Gilberto Uemura:

Quadro 33 - Classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme USACE

PARÂMETROS CONSTANTES		**PONTOS**
Altura da barragem	< 10m	1
Largura do coroamento	3m < Largura ≤ 6m	6
Tipo de barragem	Terra	10
Tipo de fundação	Aluvião	10
Capacidade de armazenamento	< 1hm³	1
Tipo de sistema de filtração	Sem controle drenagem interna	10
PARÂMETROS VARIÁVEIS		**PONTOS**
Idade da barragem	15 < idade < 30 anos	3
Altura hidráulica máxima atingida no reservatório	75%m < altura ≤ 95%	5
Sismicidade		
Confiabilidade do vertedouro	Satisfatório	1
Continuidade do monitoramento da barragem	Presença Inconstante	10
Altura normal do reservatório	< 50%	3
DANOS A PROPRIEDADE E PERDAS DE VIDAS		**PONTOS**
Área afetada	Área não habitada e não desenvolvida com poucos recursos naturais	1

Fonte: Autor (2022).

Assim sendo, tem-se que:

$$Parâmetros_{constantes} = \frac{1 + 6 + 10 + 10 + 1 + 10}{6} = 6{,}33$$

$$Parâmetros_{variáveis} = \frac{3 + 5 + 0 + 1 + 10 + 3}{6} = 3{,}66$$

$$Vulnerabilidade = 6{,}33 + 3{,}66 = 10$$

A classificação de risco para a barragem é obtida pela soma da vulnerabilidade com o triplo do valor obtido pelos danos a propriedade e perdas de vidas, com resultado dividido por 50, assim sendo, tem-se que:

$$S = \frac{10 + 3 * 1}{50} = 0{,}26$$

Assim sendo, o índice de condição (IC) é:

$$IC = (1 - S) * 100$$

$$IC = (1 - 0{,}26) * 100$$

$$IC = 74\%$$

Conforme Índice de condição determinado tem-se como bom a classe da barragem (QUADRO 34) apresentando somente pequenas deteriorações ou defeitos são evidentes.

Quadro 34 - Faixa de classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme USACE

Índice de Condição	Classe	Descrição
85 a 100	Excelente	Sem defeitos visíveis. Algum envelhecimento ou desgaste pode ser visível.
70 a 84	Bom	Somente pequenas deteriorações ou defeitos são evidentes
55 a 69	Razoável	Algumas deteriorações ou defeitos são evidentes, mas a função não é significativamente afetada.
40 a 54	Marginal	Deterioração moderada, mas a função ainda é adequada.
25 a 39	Pobre	Deterioração grave em pelo menos algumas porções da estrutura. A função é inadequada.
10 a 24	Muito pobre	Deterioração extensa, mal funcional.
0 a 9	Falha	Não mais funções, falha geral ou falha completa de um componente estrutural principal.

Fonte: Autor (2022).

3.4.2.4 Metodologia da FEMARH

As considerações adotadas para a aplicação deste método são:

I. Barragem tipo terra com idade 26, altura de 4m, comprimento de coroamento de 180m, volume de 0,112hm³ com vazão de projeto desconhecido, sem eclusa e percolação controlada – informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021);

II. Tipo de fundação não informado, considerou-se a situação mais desfavorável, solo residual / aluvião – informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021);

III. A confiabilidade das estruturas extravasoras com poucas obstruções e confiabilidade das estruturas de adução considerou-se a pior situação – verificado através de visita in loco;

IV. Apresenta-se trincas e abatimentos de pequena extensão com presença de pequenos arbustos nos taludes – verificado através de visita in loco;

V. Existência de projeto desconhecido, sem estrutura organizacional, sem monitoramentos e inspeções, sem emissão de relatórios e com a presença de dispositivos de descarga – informações obtidas pelo Relatório de Segurança de Barragem (ANA, 2021).

Assim sendo, tem-se para a classificação da FEMARH os seguintes pontos (QUADRO 35):

Quadro 35 - Classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme FEMARH

CT		**PONTOS**	**TOTAL**
Altura	2m ≤ Altura ≤ 10m	1	23
Comprimento	Comprimento ≤ 200m	2	
Tipo de barragem quanto ao material de construção	Terra homogênea /enrocamento / terra enrocamento	3	
Tipo de fundação	Solo residual / aluvião	5	
Idade da barragem	entre 10 e 30 anos	2	
Vazão de Projeto	TR < 500 anos ou desconhecida / Estudo não confiável	10	
EC		**PONTOS**	**TOTAL**
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras	Estruturas civis e hidroeletromecânicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente	4	12
Confiabilidade das Estruturas de Adução	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas	6	
Percolação	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem	0	

Deformações e Recalques	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo	1	
Deterioração dos Taludes / Paramentos	Falhas na proteção de taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo	1	
Eclusa	Não possui eclusa	0	
PS		**PONTOS**	**TOTAL**
Existência de documentação de projeto	Inexiste documentação de projeto	8	27
Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem	8	
Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções	6	
Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	Sim ou vertedouro tipo soleira livre	0	
Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação	Não emite os relatórios	5	

Fonte: Autor (2022).

A pontuação da classificação de risco é obtida através da soma dos valores obtidos e a faixa de classificação é determinado conforme Quadro 36, assim sendo:

$$P_{risco} = 23 + 12 + 27$$

$$P_{risco} = 62$$

Quadro 36 - Faixa de classificação da barragem 01 Gilberto Uemura conforme FEMARH

Categorias de Risco	
Alto	≥ 60 ou EC* ≥ 8*
Médio	35 a 60
Baixo	≤35

Fonte: Autor (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS BARRAGENS

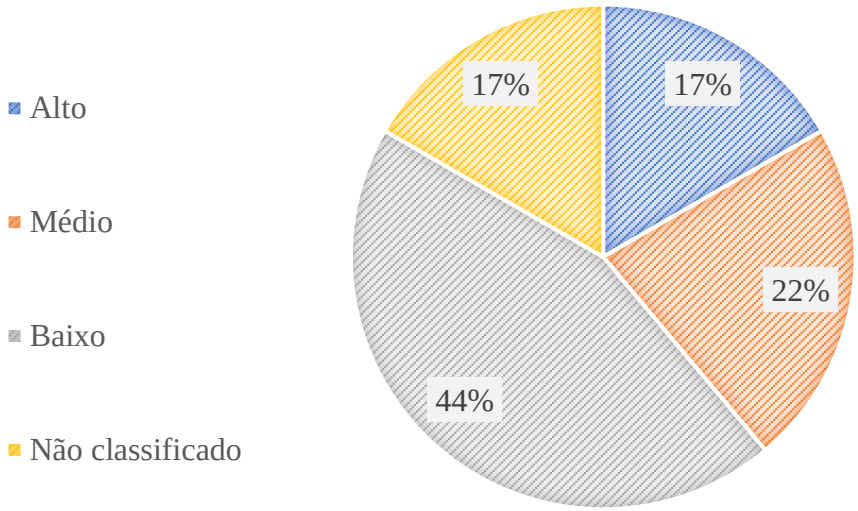
Conforme Relatório de Segurança de Barragens (ANA, 2021), as barragens do estado de Roraima têm as seguintes classificações para a categoria de risco conforme metodologia do CNRH (QUADRO 37) (FIGURA 24):

Quadro 37 - Classificação de risco para as barragens do estado de RR

Classe	N° barragens
Alto	6
Médio	8
Baixo	16
Não classificado	6

Fonte: Adaptado do Relatório de Segurança de Barragens (ANA, 2021).

Figura 24 - Classificação de risco para as barragens do estado de Roraima



Fonte: Autor (2022).

As barragens estudadas, Barragem EcoPark e Barragem 01 Gilberto Uemura, são classificadas quanto a categoria de risco, conforme Relatório de Segurança de Barragens, respectivamente em alto e não classificada.

4.2 CLASSIFICAÇÃO DE RISCO – ESTUDO DE CASO

Com base nas metodologias estudadas, determinou-se as seguintes classificações para a Barragem EcoPark (QUADRO 38) e Barragem 01 Gilberto Uemura (QUADRO 39).

Quadro 38 - Resultado das classificações para a barragem EcoPark

Barragem EcoPark		
Método	Pontuação	Faixa
COGERH	90	Alto
CNRH	72	Alto
USACE	60,34	Razoável
FEMARH	74	Alto

Fonte: Autor (2022).

Quadro 39 - Resultado das classificações para a barragem 01 Gilberto Uemura

Barragem 01 Gilberto Uemura		
Método	Pontuação	Faixa
COGERH	79,5	Alto
CNRH	61	Alto
USACE	74	Bom
FEMARH	62	Alto

Fonte: Autor (2022).

Os métodos possuem faixas de classe e pontuações distintas para a classificação de risco. Hipoteticamente, para uma comparação, realizou-se uma adequação das faixas da classificação da COGERH e USACE para ocasionar uma simulação próxima ao estabelecido pelos métodos do CNRH e FEMARH. Assim sendo, considerando apenas três faixas e adequando conforme pontuações estabelecidas pelo CNRH, tem-se para a barragem EcoPark (Quadro 40) e barragem 01 Gilberto Uemura (QUADRO 41), as seguintes simulações:

Quadro 40 - Comparativo das classes e simulação da classificação para a barragem EcoPark

Método	Classe	Potencial de Risco	Simulação
COGERH	A (alto)	> 65	Alto
	B (médio)	40 a 65	Médio
	C (normal)	25 a 40	Baixo
	D (baixo)	15 a 25	

	E (muito baixo)	< 15	
CNRH FEMARH	Alto	> 60	Alto
	Médio	35 a 60	Médio
	Baixo	< 35	Baixo
USACE	Excelente	85 a 100	Alto
	Bom	70 a 84	
	Razoável	55 a 69	
	Marginal	40 a 54	Médio
	Pobre	25 a 39	Baixo
	Muito pobre	10 a 24	
	Falha	0 a 9	

Fonte: Autor (2022).

Quadro 41 - Comparativo das classes e simulação da classificação para a barragem 01 Gilberto Uemura

Método	Classe	Potencial de Risco	Simulação
COGERH	A (alto)	> 65	Alto
	B (médio)	40 a 65	Médio
	C (normal)	25 a 40	Baixo
	D (baixo)	15 a 25	
	E (muito baixo)	< 15	
CNRH FEMARH	Alto	> 60	Alto
	Médio	35 a 60	Médio
	Baixo	< 35	Baixo
USACE	Excelente	85 a 100	Alto
	Bom	70 a 84	
	Razoável	55 a 69	
	Marginal	40 a 54	Médio
	Pobre	25 a 39	Baixo
	Muito pobre	10 a 24	
	Falha	0 a 9	

Fonte: Autor (2022).

Verificou-se que a classificação das barragens, quando permanecidos as pontuações e tornando semelhante as faixas, ocasionou uma equiparação das classificações das duas barragens. De certo modo, em critérios gerais, pode identificar um teor criterioso e análogo dos métodos, em que mesmo utilizando-se de parâmetros distintos as classificações são equiparadas.

Conforme o quadro comparativo dos métodos estudados, Quadro 20, verificou-se que grande parte dos parâmetros são coincidentes. O método da COGERH é o único que leva em consideração o custo da barragem. O método da USACE tem como parâmetros exclusivos a largura do coroamento, sismicidade, altura hidráulica máxima atingida e altura normal do reservatório. Os métodos do CNRH e FEMARH possuem critérios de PSB, não encontrado nos demais métodos.

Pelos resultados obtidos para as barragens estudadas, verifica-se que ambas devem ter um cuidado especial e um alerta perante seu uso. Verificou-se que para a Barragem EcoPark, a classificação pelos métodos da COGERH, CNRH e FEMARH, permaneceu nas mesmas faixas de classificação, faixa alta, apesar dos parâmetros e valores distintos. O mesmo também é verificado para a barragem 01 Gilberto Uemura, em que nos 3 métodos citados as faixas permanecem as mesmas.

No estado de Roraima, os dados de barragens são muito escassos, somente 8 barragens são reguladas pela PNSB, nenhuma barragem possui Plano de Segurança e Revisão periódica, todas as barragens possuem completude dos dados baixo ou mínimo, as barragens não são outorgadas e a grande maioria não tem sequer a identificação do empreendedor.

As características citadas acima fazem com que os estudos de barragens do estado de Roraima sejam dificultosos, pela falta de informação mínima necessária para a aplicação dos métodos. Durante a metodologia, algumas das faixas foram consideradas como a situação mais desfavorável e podem ser uma das razões das barragens terem se enquadrado numa situação de risco alta.

O método adotado pela FEMARH para a classificação de risco para as barragens do estado de Roraima, verificou-se que é semelhante ao método adotado pelo CNRH, visto que a única alteração presente é na modificação das classes de altura. Os demais itens permanecem os mesmos, sem nenhuma alteração. Pelos resultados obtidos, percebe-se que a alteração das faixas de altura interfere em pouco grau na pontuação da barragem, sem nenhuma alteração na faixa de classificação.

A grande maioria dos estados brasileiros acolheram o método do CNRH para a classificação de risco das barragens, sem apresentar nenhuma alteração no seu texto, pontuações e faixas. A única exceção encontrada foi a modificação da altura apresentada pela FEMARH que, apesar de não alterar as faixas de enquadramento das barragens estudadas, não apresentou, oficialmente, nenhum estudo ou justificativa dessa alteração. Além do que, em um estudo que abranja um número maior de barragens, essa alteração pode modificar as faixas de

enquadramento, uma vez que as pontuações obtidas pelo método da FEMARH são maiores quando comparadas ao CNRH.

O método do USACE apresentou para as barragens estudadas situações mais favoráveis nas faixas de classificação, na barragem EcoPark faixa razoável e na barragem 01 Gilberto Uemura faixa bom. Uma situação mais favorável era esperada, visto que esse método não apresenta parâmetros referentes a percolação, deformação e deterioração. Nos outros três métodos esses parâmetros são estudados e influenciam nas classificações de risco das barragens. Ademais, no método do USACE desconsiderou-se a sismicidade pela falta de informação, contudo, mesmo aplicando a situação mais desfavorável para este parâmetro, a faixa permaneceria constante.

4.3 PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO RISCO

Conforme as premissas das metodologias adotadas para a classificação e o disposto no item 4.2, elaborou-se uma proposta de aperfeiçoamento do método da FEMARH, alterando e/ou adicionando parâmetros na sua metodologia.

Desta forma, os parâmetros da Metodologia da COGERH e da Metodologia do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América (U.S. Army Corps of Engineers – USACE) utilizados são os apresentados a seguir (QUADRO 42):

Quadro 42 - Parâmetros considerados na proposta

Método	Parâmetros
COGERH	Volume total do reservatório
USACE	Largura do coroamento

Fonte: Autor (2022).

Verificou-se que a alteração da altura do método da FEMARH não ocasionou diferenças expressivas nos cálculos, e considerando que mesmo não possuindo, oficialmente, estudos que justifiquem essa alteração, na nova proposta são utilizadas as faixas de altura presentes no método da FEMARH, em que são proporcionais as alturas encontradas nas barragens do estado.

No método da COGERH é considerado o volume total do reservatório para a classificação da barragem, e no método da USACE é utilizado a largura do coroamento, ambos os parâmetros não utilizados no método da FEMARH e que será acrescido na proposta de classificação.

Conforme Manual de Segurança de Pequenas Barragens (2014), são considerados boas práticas, nacionais e internacionais, a identificação da largura do coroamento das barragens com identificação de inclinações, larguras mínimas e sistemas de proteção, e a identificação do volume do reservatório é utilizado para diversas finalidades.

Desta forma, a proposta de risco deste projeto, são os quadros da metodologia da FEMARH, alterando as classes de altura e com o acrescento do parâmetro do volume do reservatório, utilizado no COGERH, e a largura do coroamento, adotado pelo USACE (QUADRO 43).

Quadro 43 - Proposta de alteração da classificação de risco

CT	CLASSES	PONTOS
Altura	Altura ≤ 2m	0
	2m < Altura ≤ 10m	1
	10m ≤ Altura ≤ 15m	2
	Altura > 15m	3
Comprimento	Comprimento ≤ 200m	2
	Comprimento > 200m	3
Tipo de barragem quanto ao material de construção	Concreto Convencional	1
	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado - CCR	2
	Terra homogênea / enrocamento / terra enrocamento	3
Tipo de fundação	Rocha sã	1
	Rocha alterada dura com tratamento	2
	Rocha alterada sem tratamento / rocha alterada fraturada com tratamento	3
	Rocha alterada mole / saprólito / solo compacto	4
	Solo residual / aluvião	5
Idade da barragem	entre 30 e 50 anos	1
	entre 10 e 30 anos	2
	entre 5 e 10 anos	3
	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação	4

Vazão de Projeto	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar	3
	Milenar	5
	TR = 500 anos	8
	TR < 500 anos ou desconhecida / Estudo não confiável	10
Largura do coroamento	>15m	1
	6m < Largura ≤ 15m	2
	3m < Largura ≤ 6m	3
	<3m	4
Volume total do reservatório	Pequeno < 20 hm³	1
	Médio até 200 hm³	2
	Regular 200 a 800 hm³	3
	Muito grande > 800 hm³	4

Fonte: Autor (2022).

Alterou-se as pontuações para largura do coroamento e volume total do reservatório pelo fato que, na metodologia da FEMARH, o valor total da classificação de risco é obtido pelo simples somatório das pontuações dos itens, sem a utilização de formulações próprias, assim sendo, permanecendo as pontuações dos métodos poderiam ocasionar um aumento considerável nos cálculos finais da classificação.

Utilizando a nova metodologia para as barragens de estudo deste projeto, tem-se como a classificação para a barragem EcoPark (Quadro 44) e barragem 01 Gilberto Uemura (QUADRO 45), os seguintes valores:

Quadro 44 - Pontuação dos novos parâmetros para a barragem EcoPark

Parâmetro	Classe	Pontuação
Largura do coroamento	>15m	1
	6m < Largura ≤ 15m	2
	3m < Largura ≤ 6m	3
	<3m	4
Volume total do reservatório	Pequeno < 20 hm³	1
	Médio até 200 hm³	2
	Regular 200 a 800 hm³	3
	Muito grande > 800 hm³	4

Fonte: Autor (2022).

Quadro 45 - Pontuação dos novos parâmetros para a barragem 01 Gilberto Uemura

Parâmetro	Classe	Pontuação
Largura do coroamento	>15m	1
	6m < Largura ≤ 15m	2
	3m < Largura ≤ 6m	3
	<3m	4
Volume total do reservatório	Pequeno < 20 hm³	1
	Médio até 200 hm³	2
	Regular 200 a 800 hm³	3
	Muito grande > 800 hm³	4

Fonte: Autor (2022).

Desta forma, para a nova proposta de classificação de risco das barragens, com as alterações citadas, e levando em consideração as mesmas faixas de classificação adotadas pela FEMARH, e apresentando um comparativo com os demais métodos, tem-se para a barragem EcoPark (QUADRO 46) e barragem 01 Gilberto Uemura (QUADRO 47) as classificações:

Quadro 46 - Resultado das classificações para a barragem EcoPark

Método	Pontuação	Faixa
COGERH	90	Alto
CNRH	72	Alto
USACE	60,34	Razoável
FEMARH	74	Alto
PROPOSTA	77	Alto

Fonte: Autor (2022).

Quadro 47 - Resultado das classificações para a barragem 01 Gilberto Uemura

Método	Pontuação	Faixa
COGERH	79,5	Alto
CNRH	61	Alto
USACE	74	Bom
FEMARH	62	Alto
PROPOSTA	66	Alto

Fonte: Autor (2022).

Observou-se um acréscimo nas pontuações das barragens em estudo, alteração já esperada pelo acrescento de novos parâmetros. As barragens já apresentavam faixa de classificação de risco alta, a mais desfavorável, e com alteração as barragens se enquadram na

mesma faixa. No entanto, a nova proposta leva em consideração parâmetros únicos e com certa facilidade na obtenção destes dados.

Nos dados fornecidos pelo Relatório de Segurança de Barragens (2021), o parâmetro de vazão e altura estão dentre os fornecidos para algumas barragens e a largura do coroamento é obtido por atividades de campo ou imagens de satélite.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a Lei nº 14.066 (BRASIL, 2020) e suas alterações trazidas, verificou-se um estudo bem aprofundado em barragens, conceitos, definições e classificações, assim como, na Instrução Normativa n° 3/2017 (RORAIMA, 2017) da FEMARH, que regulamentou critérios e procedimentos para a segurança de barragens. No entanto, constatou-se que o estado de Roraima possui uma deficiência grande nos dados de suas barragens, seja pela ausência de cadastros, barragens não outorgadas ou barragens com falta de informação.

Através do Relatório de Segurança de Barragens (ANA, 2021), são 36 o número de barragens cadastradas no estado de Roraima e grande parte das características são ausentes neste documento, com poucas especificações e dados das barragens. Com o auxílio das informações obtidas, tornou-se possível a criação do mapa de localização das barragens cadastradas.

Apesar da existência de uma classificação de risco para as barragens do estado, não existe oficialmente estudos que comprovem a alteração elaborada pela FEMARH e não apresentava nenhum incremento dos parâmetros adotados por outros métodos. Assim sendo, este projeto teve como objetivo geral propor um modelo de classificação de risco para o estado de Roraima, considerando o enfrentamento de 4 modelos bem difundidos e utilizando como estudos de caso duas barragens localizadas no estado.

Na análise dos dados, utilizou-se dos métodos elaborados pela COGERH, CNRH, USACE e FEMARH, para realizar um comparativo dos seus parâmetros e classes. Como objetos de estudo para a aplicação das metodologias teve a Barragem EcoPark e a Barragem 01 Gilberto Uemura.

Considerando a totalidade de 5 métodos estudados, com suas especificidades, parâmetros distintos, classes e pesos diversos, conclui-se que a Barragem EcoPark e a Barragem 01 Gilberto Uemura possuem uma classificação de risco alto, tendo um estado de alerta no seu uso e um estudo mais aprofundado de suas áreas como prevenção de possíveis incidentes.

Conclui-se que a alteração trazida pela FEMARH quanto a altura não possuía bases acadêmicas, e o acréscimo dos parâmetros de largura e altura, trazia benefícios ao método adotado pelo estado, pela abrangência maior de dados técnicos das barragens. A proposta de classificação elaborada considerou o acervo nacional e internacional sobre classificações de barragens.

Recomenda-se para trabalhos futuros estudos individualizados de parâmetros e faixas para a classificação de risco, comparativos com outros métodos existentes e na obtenção de

uma caracterização maior dos dados técnicos das barragens do estado e no incremento de informações necessárias para o cadastramento de nova barragens do estado. Pode-se também abranger um estudo comparativo com a aplicação dos métodos nas demais barragens cadastradas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das inspeções de segurança regular e especial, da Revisão Periódica de Segurança da Barragem e do plano de ação de emergência para barragens de acumulação de água**. Resolução AGERH n. 72, de 19 de dezembro de 2018, Vitória, 19 dez. 2018.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das inspeções de segurança regular e especial, da Revisão Periódica de Segurança da Barragem e do plano de ação de emergência**. Resolução AESA n. 2, de 28 de março de 2019, João Pessoa, 28 mar. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Guia de orientação e formulários para inspeções de segurança de barragem. Brasília: **ANA**, Brasília – DF, 218 p, 2016.

_____. Relatório de segurança de barragens 2018. Brasília: **ANA**, Brasília – DF, 103 p, 2018.

_____. Relatório de segurança de barragens 2019. Brasília: **ANA**, Brasília – DF, 131 p, 2019.

_____. Relatório de segurança de barragens 2020. Brasília: **ANA**, Brasília – DF, 68 p, 2021.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das inspeções de segurança regular e especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do plano de ação de emergência**. Resolução DC APAC n. 3, de 28 de dezembro de 2017, Recife, 28 dez. 2017.

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL. **Regulamento os procedimentos para elaboração do plano de segurança de barragem, na forma da Lei 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança da Barragens**. Resolução ADASA n. 10, de 3 de junho de 2020, Brasília, 3 jun. 2020.

ANDERÁOS, A.; ARAÚJO, L. M. N.; NUNES, C. M. Classificação de barragem quanto à categoria de risco e ao dano potencial associado - um exercício. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 10, 2013, Bento Gonçalves/RS. **Resumo**. p. 1-8.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 31000**: GESTÃO DE RISCOS – DIRETRIZES. Rio de Janeiro, 2018. 17 p.

BANCO MUNDIAL. **Classificação de barragens: Melhores Práticas Nacionais e Internacionais (Produto 3)**. 2014. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/publicacoes/produtos-do-contrato-com-o-banco-mundial >. Acesso em: 02 abr. 2021.

_____. **Manual de Segurança de Pequenas Barragens Parte I – Revisão das Boas Práticas de Segurança de Barragens de Pequena Dimensão (Produto 10)**. 2014. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/publicacoes/produtos-do-contrato-com-o-banco-mundial >. Acesso em: 02 abr. 2021.

_____. **Desenvolvimento Institucional da ANA (Produto 15)**. 2015. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/publicacoes/produtos-do-contrato-com-o-banco-mundial >. Acesso em: 02 abr. 2021.

BERNARDI, E. C. S. et al. Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. **Revista Eletrônica Disciplinarum Scientia,** Rio Grande do Sul, v. 13, n. 2, p. 159–168, 2013.

BRASIL. Lei Federal n° 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. **D.O.U**, Brasília, DF, 20 set. 2010.

BRASIL. Lei Federal n° 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei n° 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei n° 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei n° 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). **D.O.U**, Brasília, DF, 30 set. 2020.

BRASIL. Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **D.O.U.**, Brasília, DF, 8 de janeiro de 1997.

CEARÀ. Lei nº. 12.217, de 18 de novembro de 1993. Cria a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará - COGERH, e dá outras providências. **D.O.**, Ceará, Fortaleza, 24 de novembro de 1993.

COMISSÃO NACIONAL PORTUGUESA DAS GRANDES BARRAGENS – CNPBG. **1º Relatório de Progresso.** Portugal. 2005. 58 p.
COSTA, W. D. **Geologia de Barragens.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 352 p.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **CNRH estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório**. Resolução n° 143, de 10 de julho de 2012, Brasília, 10 jul. 2012.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Aprova os critérios e os procedimentos para a classificação, a implantação e a revisão periódica de segurança de barragens de acumulação de água de domínio do Estado de São Paulo**. Portaria DAEE n. 3907, de 15 de dezembro de 2015, São Paulo, 15 dez. 2015.

DUARTE, A. P. C**lassificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco.** 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Pós

Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

FONTENELLE, Alexandre de Sousa. **Proposta metodológica de avaliação de riscos em barragens no nordeste brasileiro – estudo de caso: barragens do estado do Ceará.** 2007. 214 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Aprova os critérios e os procedimentos para a classificação, implantação e a revisão periódica de segurança de barragens de acumulação de água, contenção de rejeitos e resíduos de domínio do Estado de Roraima**. Instrução Normativa n. 3, de 20 de dezembro de 2017, Boa Vista, 16 jan. 2018.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. **Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do plano de Segurança de Barragem, das inspeções de segurança regular especial, da revisão periódica de segurança de barragem e do plano de ação de emergência**. Portaria IAP n. 46, de 4 de dezembro de 2018, Curitiba, 4 dez. 2018.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DO ACRE. **Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do plano de Segurança de Barragem, das inspeções de segurança regular especial, da revisão periódica de segurança de barragem e do plano de ação de emergência**. Portaria Normativa IMAC n. 7, de 11 de dezembro de 2017, Rio Branco, 11 dez. 2017.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Estabelece o prazo de execução, a periodicidade de atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do plano de Segurança da Barragem, da revisão periódica de segurança da barragem e do plano de ação de emergência**. Portaria INEMA n. 16.481, de 11 de julho de 2018, Salvador, 11 jul. 2018.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DE ORDENAMENTO TERRITORIAL DO ESTADO DO AMAPÁ. **Regulamenta as ações pertinentes à segurança de barragens outorgadas pelo IMAP.** Portaria IMAP n. 435, de 19 de dezembro de 2018, Macapá, 19 dez. 2018.

INSTITUTO DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO RIO GRANDE DO NORTE. **Estabelece o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do plano de Segurança de Barragem, das inspeções de segurança regular e especial, da revisão periódica de segurança de barragem e do plano de ação de emergência e a qualificação dos responsáveis técnicos e a periodicidade de execução destas atividades**. Portaria IGARN n. 10, de 16 de novembro de 2017, Natal, 16 nov. 2017.

INSTITUTO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO AMAZONAS. **Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do plano de Segurança de Barragem, das inspeções de segurança regular e especial, da revisão periódica de segurança de barragem e do plano de ação de emergência**. Portaria Normativa IPAAM n. 139, de 3 de dezembro de 2018, Manaus, 3 dez. 2018.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. **Estabelece diretrizes para elaboração do plano de segurança de barragem, regulamentando as políticas nacional e estadual de segurança de barragem no âmbito da competência do INEA**. Resolução INEA n. 165, de 26 de dezembro de 2018, Rio de Janeiro, 26 dez. 2018.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Dispões sobre a regulamentação dos artigos 8°, 9°, 10, 11 e 12 da Lei n° 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens.** Portaria IGAM n. 2, de 26 de fevereiro de 2019, Belo Horizonte, 26 fev. 2019.

INSTITUTO NATUREZA DO TOCANTINS. **Regulamenta as ações pertinentes à segurança de barragens outorgadas pelo NATURATINS e dá outras providências**. Portaria NATURATINS n. 483, de 18 de dezembro de 2017, Palmas, 18 dez. 2017.

KUNTSCHIK, D. P. **Matas Ciliares**. São Paulo: São Paulo, 2011, 84 p.

MENESCAL, R. A. et al. **Uma metodologia para avaliação do potencial de risco em barragens do semiárido.** XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Ceará, p. 137-153, 2001.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. 2002. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/inspecao/ManualdeSegurancaeInspecaodeBarragens.pdf>. Acesso em: 13 set. 2019.

MEDEIROS, C. H. A. C.; PINTO, A. A. V. A importância dos fatores não tecnológicos na avaliação da segurança de barragens. Destaques para o erro humano e gestão de risco. **Revista Brasileira de Engenharia de Barragens,** Rio de Janeiro, n. 1, p. 52–58, 2014.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Revista de Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. **Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem os procedimentos e critérios para elaboração e apresentação do Plano de Segurança da Barragem, das inspeções de segurança regular e especial, da revisão periódica de segurança de barragem e do plano de ação de emergência**. Resolução CERH n. 99, de 19 de setembro de 2017, Cuiabá, 19 set. 2017.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Institui as rotinas de apresentação **do plano de segurança de barragens, define a periodicidade, a qualificação profissional exigida, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento das inspeções de segurança regulares e especiais em barragens fiscalizadas pelo IMASUL**. Resolução SEMADE n. 44, de 20 de dezembro de 2016, Campo Grande, 20 dez. 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS. **Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o**

conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem. Portaria SEMA n. 132, de 29 de dezembro de 2017, São Luís, 29 dez. 2017.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS. **Estabelece a classificação das barragens de acumulação de água, de domínio estadual, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base nos critérios gerais estabelecidos pela Resolução CONERH n.º 143, de 10 de julho de 2012, no estado de Sergipe.** Portaria SEMARH n. 21, de 16 de novembro de 2015, Aracaju, 16 nov. 2015.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE DO PARÁ. **Estabelece os procedimentos e critérios para elaboração e apresentação do Plano de Segurança da Barragem de acumulação de água e de disposição de resíduos industriais**. Instrução Normativa SEMAS n. 2, de 6 de fevereiro de 2018, Belém, 6 fev. 2018.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL. **Dispõe sobre procedimentos gerais e diretrizes para cadastramento e obtenção de registro de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos de barramentos já existentes e implantação de novas barragens de usos múltiplos em corpos de água de domínio estadual**. Instrução Normativa n. 3, de 15 de novembro de 2018, Porto Velho, 5 nov. 2018.

SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Estabelece o conteúdo mínimo e o detalhamento do plano de segurança de reservatórios de acumulação de água**. Portaria SEMA n. 136, de 29 de dezembro de 2017, Porto Alegre, 29 dez. 2017.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Estabelece as normas e procedimentos aplicáveis à segurança de barragens instaladas ou a serem instaladas no estado de Goiás**. Instrução Normativa SEMAD n. 1, de 28 de abril de 2020, Goiânia, 28 abr. 2020.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Estabelece a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem e da Revisão Periódica de Segurança da Barragem**. Portaria n. 492, de 9 de setembro de 2015, Maceió, 9 set. 2015.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO PIAUÍ. **Estabelece a periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das inspeções de segurança regulares de barragem de acumulação de água**. Portaria SEMAR n. 2, de 6 de janeiro de 2016, Teresina, 6 jan. 2016.

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ. **Estabelece o cadastro estadual de barragens e a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do plano de Segurança de Barragem, das inspeções de segurança regular e especial, da revisão periódica de segurança de barragem e do plano de ação de emergência**. Portaria SRH n. 2.747, de 19 de dezembro de 2017, Fortaleza, 19 dez. 2017.

SILVA, J. S. **Modelo multicritério de apoio à decisão para classificação de risco em barragens.** 2017. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2017.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Revista de Administração Pública,** Rio de Janeiro, v.27, n. 2, p. 5–18, 1993.