



**MARIA CLARA RODRIGUES  
MICHEL COUTINHO DE SOUZA**

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES METODOLOGIAS DE  
CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS APLICADAS A UMA  
BARRAGEM EM CASCATA**

**LAVRAS – MG  
2023**

**MARIA CLARA RODRIGUES  
MICHEL COUTINHO DE SOUZA**

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES METODOLOGIAS DE CLASSIFICAÇÃO DE  
BARRAGENS APLICADAS A UMA BARRAGEM EM CASCATA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Eduardo Souza Cândido  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2023**

**MARIA CLARA RODRIGUES  
MICHEL COUTINHO DE SOUZA**

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES METODOLOGIAS DE CLASSIFICAÇÃO DE  
BARRAGENS APLICADAS A UMA BARRAGEM EM CASCATA**

**EVALUATION OF DIFFERENT METHODOLOGIES OF DAM CLASSIFICATION  
APPLIED TO A CASCADE DAM**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 01 de março de 2023.

Prof. Dr. Eduardo Souza Cândido

Profa. Dra. Fátima Resende Luiz Fia

Prof. Dr. Paulo Roberto Borges



---

Prof. Dr. Eduardo Souza Cândido  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2023**

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus pelo dom da vida, por todas as bênçãos recebidas e por não nos abandonar em momentos de dificuldade. Somos muito gratos por termos saúde e pela oportunidade de alcançar nossos sonhos.

É com imensa gratidão que agradecemos aos nossos pais e familiares, que foram nossos pilares, sempre acreditando em nós, mesmo nas horas mais difíceis. Devemos tudo que alcançamos a vocês, esperamos algum dia poder retribuir toda essa dedicação que sempre tiveram conosco.

Gostaríamos de agradecer àqueles que pudemos dividir um lar e que estiveram presentes em muitos momentos nessa jornada, vocês foram muito importantes nesse processo, foi memorável tudo que vivemos. Devemos todo nosso crescimento pelo convívio com pessoas tão incríveis, amamos vocês da maneira que são. Obrigado por serem nossos amigos.

Queremos expressar nosso mais sincero agradecimento aos nossos colegas de curso pelo apoio e motivação constantes durante todo este percurso. Não temos dúvida de que foi a força e o apoio uns dos outros que nos permitiu chegar até aqui. Juntos, somos mais fortes e é com muita gratidão que agradecemos por fazerem parte desta história e por terem sido nossa fonte de inspiração. Não podemos deixar de agradecer em especial ao Luís Gustavo e a Milena Cristina, por tornarem possível este trabalho. Não há nada mais gratificante do que dividir essa jornada com pessoas tão incríveis, sempre nos dando forças para continuar e não desistir.

Gostaríamos de agradecer sinceramente a todos os professores e profissionais da universidade que contribuíram para a realização de nossa graduação. Em especial, queremos destacar nosso orientador Dr. Eduardo Souza, por sua dedicação e comprometimento. Ele foi mais do que um professor, ele foi um mentor e um guia, que acreditou em nós e nos ajudou a superar todos os obstáculos. Sua paciência, conhecimento e experiência foram valiosos para a construção deste trabalho de conclusão de curso. Obrigado por tudo, Dudu.

Agradecemos também a universidade por proporcionar uma formação de qualidade e por nos ter permitido adquirir conhecimentos e habilidades importantes para nossas carreiras. Saímos daqui com muitas lembranças e uma formação sólida que sempre será valiosa para o resto de nossas vidas.

Este trabalho de conclusão de curso é muito mais do que apenas um trabalho escrito. É uma conquista, resultado de muita luta, perseverança e apoio de pessoas incríveis. Queremos agradecer a todos por fazerem parte desta jornada e por tornarem isso possível.

## RESUMO

Nos últimos anos, a ocorrência de acidentes envolvendo a ruptura de barragens, como os desastres de Mariana – MG (2015) e de Brumadinho - MG (2019), acarretou maiores preocupações em relação ao funcionamento da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) instituída em 2010. Um passo importante para a segurança de barragens é a classificação dessas estruturas pois essa etapa direciona medidas para o controle de variáveis que influenciam a segurança, além de determinar periodicidade de inspeções e a elaboração de planos de ações de emergência em conformidade com a classe obtida. Perante o exposto, o objetivo deste trabalho foi elaborar um estudo sobre a análise da classificação de duas barragens em cascata localizadas na Universidade Federal de Lavras pela metodologia de classificação preconizada pela PNSB e por algumas metodologias internacionais, visando melhor entendimento sobre suas diferenças, e apresentar a discussão de possíveis pontos de melhoria para a classificação brasileira. As diretrizes para a classificação estudadas são as do Brasil, segundo a Lei nº12.334 de 20 de setembro de 2010, e algumas regulamentações internacionais relevantes para segurança de barragens, como a regulamentação do estado australiano de New South Wales (NSW), a regulamentação do estado Quebec no Canadá, as regulamentações do FEMA e do ICOLD utilizadas nos Estados Unidos e o Decreto-lei nº21/2018 de Portugal. Assim, conclui-se que a classificação de barragens constitui um assunto complexo e, de certa forma, subjetivo, considerando-se que cada país possui suas diferenças em relação à aceitação de desastres e que as regulamentações abrem brechas para interpretações diferentes. Ainda, percebe-se que a metodologia brasileira é robusta quando comparada à uma parte das classificações estudadas (FEMA, ICOLD e Portugal), o que pode trazer o entendimento da classificação brasileira ser mais segura e precisa por serem considerados mais critérios técnicos, porém ao mesmo tempo não se adequa tão bem a pequenas barragens e pode acarretar a inviabilidade da aplicação da PNSB, especialmente considerando barragens com finalidades não lucrativas.

**Palavras-chave:** Classificação de barragens. Legislação brasileira. Regulamentação internacional. Barragens em cascata.

## ABSTRACT

In recent years, the occurrence of accidents involving the rupture of dams, such as the Mariana - MG (2015) and Brumadinho - MG (2019) disasters, has led to greater concerns regarding the functioning of the National Dam Safety Policy (PNSB), 2010. An important step for dam safety is the classification of these structures, as this step directs measures to control variables that influence safety, in addition to determining the frequency of inspections and the preparation of an emergency action plan according to the obtained class. Thus, the objective of this work is to produce a study on the analysis of the classification of two cascade dams located at the Federal University of Lavras by the classification methodology recommended by PNSB and by some international methodologies, seeking a better understanding of their differences and presenting the discussion of points of improvement for the Brazilian classification. The classification guidelines addressed are those of Brazil, according to Law No. 12,334 of September 20, 2010, and some relevant international regulations for dam safety, such as the regulation of the Australian state of New South Wales (NSW), the regulation of the Quebec state in Canada, the FEMA and ICOLD regulations used in the United States, and the Decree-Law nº21/2018 used in Portugal. Therefore, it is concluded that the classification of dams is a complex and subjective matter, considering that each country has its differences in relation to the reception of disasters and that the regulations open gaps for different interpretations. Still, it is noticed that the Brazilian methodology is robust when compared to part of the classifications studied (FEMA, ICOLD and Portugal), a fact that can bring the understanding of the Brazilian classification to be safer and more accurate because it considers more technical criteria, but at the same time it can also lead to the unfeasibility of the application of the PNSB, especially considering small dams with non-profit purposes.

**Keywords:** Classification of dams. Brazilian legislation. International regulation. Cascade dams.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de barragens: (a) Barragem de concreto e (b) Barragem de terra. ....	14
Figura 2 – Constituintes da estrutura do barramento.....	15
Figura 3 – Borda livre insuficiente. ....	19
Figura 4 – Efeito de erosão interna no talude de jusante da Barragem do Fundão. ....	19
Figura 5 – Tipos de <i>piping</i> : (a) Erosão Regressiva, (b) Erosão em torno de trincas e (c) Erosão devido ao carreamento de finos. ....	20
Figura 6 – Zona de vegetação verdejante no talude de jusante em climas secos. ....	21
Figura 7 – Trinca no revestimento asfáltico na crista da barragem: (a) Fotografia com enquadramento mais abrangente e (b) Fotografia mais detalhada. ....	21
Figura 8 – Formigueiros no talude de montante. ....	22
Figura 9 – Vertedouro danificado na barragem de Oroville: (a) antes e (b) após a ruptura da barragem.	23
Figura 10 – Erosão no talude FEAR19, no reservatório da Usina Hidrelétrica de Queimado. ....	24
Figura 11 – Classificação de barragens quanto a altura e a capacidade volumétrica. ..	33
Figura 12 – Barramento Condomínio Montante.....	37
Figura 13 – Talude Jusante e Crista: (a) Talude jusante do barramento e (b) Crista. ..	37
Figura 14 – Talude montante do barramento: (a) visão geral do talude montante e (b) ampliação.....	38
Figura 15 – Barragem do Condomínio. ....	39
Figura 16 – Talude jusante e crista do barramento: (a) Talude de jusante e (b) Crista.	39
Figura 17 – Talude montante do barramento: (a) Vista frontal e (b) Vista lateral .....	40
Figura 18 – Monge: (a) Caixa de nível e (b) Galeria.....	40
Figura 19 - Fluxograma da classificação brasileira (PNSB). ....	43
Figura 20 - Fluxograma da classificação de NSW (Austrália). ....	43
Figura 21 - Fluxograma da classificação de Quebec (Canadá). ....	44
Figura 22 - Fluxograma da classificação do FEMA (EUA). ....	44
Figura 23 - Fluxograma da classificação do ICOLD (EUA). ....	45
Figura 24 - Fluxograma da classificação de Portugal.....	45
Figura 25 – Envoltória de inundação: (a) Profundidade, (b) Velocidade e (c) Tempo de chegada da onda.....	46

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Matriz de Classificação de barragens segundo sua CRI e DPA. ....	26
Quadro 2 – Periodicidade mínima da revisão periódica de Segurança de Barragem. ..	27
Quadro 3 – Periodicidade das Inspeções Regulares baseada no CRI e DPA. ....	27
Quadro 4 – Classificação da barragem baseada no método PLL. ....	29
Quadro 5 – Classificação da barragem baseada no método de população em risco.....	30
Quadro 6 – Classificação da barragem em relação a “P”. ....	31
Quadro 7 – Classificação da barragem quanto ao DPA proposta pela FEMA.....	32
Quadro 8 – Classificação da barragem quanto ao DPA proposta pelo ICOLD.....	34
Quadro 9 – Classificação da barragem em Portugal.....	35
Quadro 10 – Sistema de regulamentação de segurança de barragens de Portugal. ....	35
Quadro 11 – Resumo das Classificações. ....	56
Quadro 12 – Resumo comparativo das classificações estudadas. ....	59



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	Contexto histórico das barragens .....	13
2.2	Tipos de barragens .....	14
2.3	Elementos principais das barragens .....	14
2.4	Legislação Brasileira.....	16
2.5	Rompimento de barragens .....	17
2.6	Principais anomalias .....	18
2.6.1	Borda livre insuficiente .....	18
2.6.2	Percolação não controlada .....	19
2.6.3	Trincas, depressões e deslizamentos .....	21
2.6.4	Problemas de manutenção do aterro .....	22
2.6.5	Deteriorações ou obstrução de estruturas hidráulicas .....	22
2.6.6	Erosões no reservatório .....	23
2.7	Classificação de barragens no Brasil .....	24
2.7.1	Categoria de Risco .....	25
2.7.2	Dano Potencial Associado .....	25
2.7.3	Matriz de Classificação .....	26
2.7.4	Mancha de inundação ( <i>Dam Break</i> ).....	27
2.8	Classificação de barragens no mundo.....	28
2.8.1	Austrália .....	28
2.8.2	Canadá.....	30
2.8.3	Estados Unidos da América .....	32
2.8.4	Portugal .....	34
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1	Barragem Condomínio Montante .....	36

3.2	Barragem Condomínio.....	38
3.3	Classificação no Brasil e no mundo.....	40
3.3.1	Classificação do Brasil.....	40
3.3.2	Classificação da Austrália.....	41
3.3.3	Classificação do Canadá.....	41
3.3.4	Classificação dos Estados Unidos.....	42
3.3.5	Classificação de Portugal.....	42
3.4	Estudo de <i>Dam Break</i> .....	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
4.1	Classificação brasileira.....	48
4.1.1	Barragem Condomínio Montante.....	48
4.1.2	Barragem Condomínio.....	48
4.2	Classificação australiana.....	49
4.2.1	Barragem Condomínio Montante.....	49
4.2.2	Barragem Condomínio.....	51
4.3	Classificação canadense.....	51
4.3.1	Barragem Condomínio Montante.....	52
4.3.2	Barragem Condomínio.....	53
4.4	Classificação norte-americana.....	54
4.4.1	Barragem Condomínio Montante.....	54
4.4.2	Barragem Condomínio.....	55
4.5	Classificação portuguesa.....	55
4.5.1	Barragem Condomínio Montante.....	55
4.5.2	Barragem Condomínio.....	56
4.6	Comparação entre classificações.....	56
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
5.1	Conclusão.....	61

5.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	62
REFERÊNCIAS.....	63

## 1 INTRODUÇÃO

As barragens são estruturas fundamentais para a humanidade e são utilizadas para a contenção de água ou misturas de materiais líquidos e sólidos. Desde os primórdios das civilizações as barragens eram utilizadas para armazenamento de água para sobrevivência da população durante as épocas de seca (ROMANINI, 2020).

Nos dias atuais, as finalidades das barragens são diversas, sendo algumas delas a geração de energia elétrica, o abastecimento de água, o controle de vazão, a irrigação, a contenção de rejeitos, a recreação ou lazer e a piscicultura.

As barragens acumulam uma alta energia pelo fato de conterem grandes volumes de materiais, de modo que a sua ruptura pode ter como consequência a liberação de um fluxo muito grande e repentino dos fluidos armazenados. Dessa forma, a ruptura de barragens pode proporcionar prejuízos de diversas maneiras, sejam eles econômicos, sociais e ambientais. Episódios catastróficos recentes que ocorreram no Brasil podem exemplificar a situação, como o rompimento da barragem de Brumadinho em 2019 e da barragem do Fundão de Mariana em 2015, estruturas situadas no interior de Minas Gerais, as quais causaram perdas humanas e prejuízos socioambientais irreparáveis. Assim, é possível destacar a importância da segurança relacionada às barragens afim de minimizar as possibilidades de desastres e tragédias ambientais considerando o risco potencial associado a este tipo de estrutura.

A Lei nº12.334, instituída pelo Governo Federal em 20 de setembro de 2010, estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), determinando parâmetros mínimos de segurança de barragens com a finalidade de manter a integridade estrutural e operacional, consequentemente protegendo as vidas humanas, a saúde, a propriedade e o meio ambiente. A lei se aplica a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e a acumulação de resíduos industriais (BRASIL, 2010).

De acordo com a PNSB, as barragens no Brasil são classificadas por meio da Categoria de Risco (CRI) e o Dano Potencial Associado (DPA). De forma a auxiliar a Lei de Segurança de Barragens, foi criada uma matriz de classificação em função das Características Técnicas (CT), Estado de Conservação (EC), Plano de Segurança (PS) e DPA. A classificação das barragens é importante pois propõe medidas e procedimentos para controle das variáveis que as influenciam proporcionalmente às suas características, tornando-as mais seguras, além de determinar a periodicidade em que as inspeções regulares e especiais devem ocorrer, bem como a necessidade da elaboração do Plano de Ação de Emergência (PAE).

Assim como no Brasil, países ao redor do mundo possuem métodos para classificação de barramentos e, a partir dessa classificação, diretrizes e regulamentações para a segurança a serem seguidas. Cada metodologia possui avaliação de diferentes aspectos, podendo resultar em classes distintas para uma mesma barragem a depender da metodologia utilizada.

De acordo com Wishart et al. (2020), desenvolvedores de um estudo com 51 países alvo de pesquisa, os métodos de classificação permitem que as recomendações, como leis e regulamentos relacionados a segurança de barragens, sejam aplicadas de forma proporcional ao nível de risco correspondente. O estudo também menciona que os países cujos critérios de classificação utilizam apenas parâmetros geométricos, como altura e volume da barragem, compõe 9% do total estudado, enquanto países que utilizam apenas a categorização por potencial de risco associado das barragens constituem 22% do total. Ainda, 27% dos países utilizam uma combinação entre os dois critérios citados anteriormente, enquanto aproximadamente 35% não possuem nenhum esquema de classificação. O restante utiliza outros critérios, como nível de segurança e condições da barragem.

Considerando as diversas diferenças entre as metodologias de classificação existentes, torna-se importante o estudo das características e dos aspectos relacionados à gestão de segurança de barragens e pesquisas sobre as boas práticas internacionais de classificação dessas estruturas, sendo essencial a aplicação da legislação vigente pós-classificação, considerando o monitoramento pela instrumentação adequada e o seu constante controle.

Dentro desse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar a classificação de uma barragem em cascata da UFLA, através do método brasileiro preconizado pela PNSB para a classificação de barragens, comparando-o e apontando as diferenças dos resultados e procedimentos com métodos internacionais de classificação, sendo eles a regulamentação do estado australiano New South Wales, a regulamentação do estado canadense Quebec, as regulamentações estabelecidas nos Estados Unidos da América (FEMA e ICOLD) e o Decreto-lei português nº 21/2018; fomentando a discussão acerca do aprimoramento da metodologia de classificação e da gestão de segurança de barragens no Brasil.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Contexto histórico das barragens

De acordo com a Lei nº12.334, de 20 de setembro de 2010, compreendem-se como barragens qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas (BRASIL, 2010).

As primeiras barragens do mundo foram construídas para o armazenamento de água, como a barragem Sad-El Kafara no Egito, um dos barramentos de grande porte mais antigos dos quais se tem conhecimento, com cerca de 5000 anos (SCHULTZ, 2001). A origem de utilização das barragens é muito remota, o que gera falta de precisão na data da primeira barragem construída. Tal fato demonstra como o ser humano, desde os primórdios, necessita reservar a água para os mais diferentes usos (ROMANINI, 2020).

No Brasil, a Grande Seca do Nordeste em 1877 teve como medida tomada por Dom Pedro II a criação de uma comissão para solucionar os problemas gerados pelas condições climáticas, sendo recomendada a criação de barramentos nos corpos hídricos para armazenamento de água. A partir disso, as barragens se tornaram mais comuns, considerando a grande quantidade de recursos hídricos encontrados em território brasileiro (ANA, 2020).

Além do armazenamento de água, atualmente as finalidades das barragens são diversas, sendo algumas delas a geração de energia elétrica, a aquicultura, o controle de vazão, a navegação, a irrigação e a contenção de rejeitos industriais e de mineração (GAIOTO, 2003).

Normalmente, as grandes barragens possuem como finalidade principal a geração de energia por usinas hidrelétricas e são construídas por uma ou mais construtoras, enquanto as barragens de pequeno porte são mais utilizadas para o controle de vazões e irrigação em propriedades rurais (LIMA et al., 2021).

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2020), a maioria das barragens submetidas à PNSB são de pequeno porte, com altura inferior à 7,5 m (28%) e volume de até 1 hm<sup>3</sup> (46%). Segundo Nava (2018), as pequenas barragens não são monitoradas e cadastradas devidamente pelos órgãos responsáveis, o que causa uma falta de fiscalização desse tipo de estrutura.

Dessa forma, mesmo que a falha de uma barragem de grande porte gere mais destruição em comparação a falha de uma pequena barragem, as falhas de barragens menores ocorrem com maior frequência, gerando um maior prejuízo acumulado anualmente (NAVA, 2018).

## 2.2 Tipos de barragens

As barragens podem ser divididas quanto ao material utilizado na sua construção, além de sua arquitetura e de suas funcionalidades. Em relação ao material, as barragens costumam ser construídas com concreto, aterro ou uma mistura dos dois elementos. Seja de concreto ou de aterro, ambas estruturas precisam de um projeto multidisciplinar envolvendo profissionais da geotecnia e geologia, hidrologia, hidráulica, topografia, ambiental, entre outros, além de monitoramentos constantes durante sua vida útil.

As barragens de concreto (FIGURA 1a) são classificadas em barragens de concreto por gravidade, por gravidade aliviadas, barragens em arco ou contrafortes (POSSAN, 2021). Geralmente, o peso e a forma geométrica dos barramentos construídos com este material são determinantes para o suporte das forças necessário para sua atividade.

De acordo com Romanini (2020), as barragens de aterro podem ser divididas em três grandes grupos, sendo eles as barragens de terra, as barragens de enrocamento e barragens de terra-enrocamento. No Brasil, aproximadamente 62% das barragens são de terra ou terra-enrocamento (ANA, 2020).

Geralmente, os barramentos de terra (FIGURA 1b) possuem custo mais atrativo em relação aos outros tipos por serem construídos com o solo encontrado no próprio entorno da localização da obra, diminuindo gastos com material e seu transporte.

Figura 1 – Tipos de barragens: (a) Barragem de concreto e (b) Barragem de terra.



(a)



(b)

Fonte: Engwhere (2018) e Revista Mineração e Sustentabilidade (2018).

## 2.3 Elementos principais das barragens

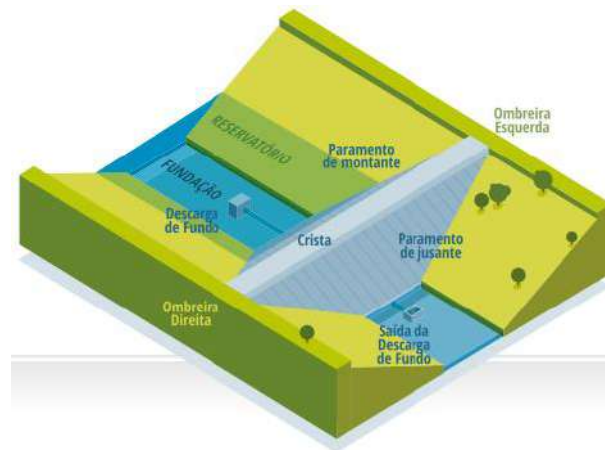
As barragens funcionam como estrutura para contenção de água ou mistura fluida, portanto, seus componentes são separados em estruturais e hidráulicos. Os principais elementos

estruturais são o barramento, a fundação e as ombreiras, enquanto os hidráulicos são as estruturas extravasoras, as adutoras e o reservatório.

Para as barragens de terra, o barramento é constituído pelo talude de jusante, o talude de montante e pela crista (parte superior da barragem). Os taludes podem apresentar inclinações variadas, a depender do material utilizado. Além disso, um barramento pode ser zoneado, sendo que essas zonas possuem diferenciação de características geotécnicas, e tem a possibilidade de serem constituídas por materiais diferentes ou por um mesmo material compactado de diferentes formas (ROMANINI, 2020).

Além disso, na Figura 2 é possível observar a fundação, as ombreiras e o reservatório, incluindo o barramento.

Figura 2 – Constituintes da estrutura do barramento.



Fonte: ANA (2020).

Considerando a segurança, a utilização e a conservação das barragens, algumas estruturas hidráulicas são construídas nas barragens para reservatório de água. Dentre essas estruturas, o extravasor atua para a eliminação do excesso de água, enquanto o desarenador funciona como descarga de fundo e eliminação dos depósitos de solo de fundo. A tomada d'água possui função de alimentação para a utilização e aproveitamento da água represada e os dissipadores de energia evitam a erosão causada pelas descargas hidráulicas.

Tanto para as barragens de água quanto para as barragens de rejeito, é importante a utilização de técnicas de drenagem. O controle da percolação participa de forma crucial no projeto de barragens de terra para prevenir o aumento de pressões neutras, a instabilidade dos taludes de jusante, o fenômeno do *piping*, ou seja, a erosão que causa excesso de vazios pela infiltração, e outros processos de erosão (ERSOY; HASELSTEINER, 2019).

Geralmente, os drenos são construídos por materiais granulares que, por possuírem maior permeabilidade que o solo do talude, fornecem um caminho para a água para fora do



aterro, diminuindo a poropressão. Os principais tipos de drenos são o tapete drenante, o dreno de pé, o dreno vertical e o dreno inclinado.

## 2.4 Legislação Brasileira

No Brasil, a legislação sobre a segurança de barragens se deu a partir da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que reuniu diversos órgãos para participarem como responsáveis pela fiscalização das barragens. De acordo com a Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA), atualmente existem 33 órgãos fiscalizadores das barragens, sendo os principais deles:

- a) Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), responsável pelas barragens de acúmulo de água para geração de energia elétrica;
- b) Agência Nacional de Mineração (ANM), responsável pelas barragens de acúmulo de rejeitos gerados pelas atividades da mineração;
- c) Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), responsável pelas barragens ligadas à produção de energia nuclear;
- d) Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA), responsável pelas barragens instaladas em rios federais;
- e) Outros órgãos fiscalizadores os quais forneceram a licença ambiental de instalação e operação da indústria, no caso das barragens para contenção e tratamento de rejeitos industriais;
- f) Órgãos fiscalizadores de gestão ambiental, como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA);
- g) Demais órgãos estaduais gestores de recursos hídricos, responsáveis pelas barragens que não se enquadram nas características descritas anteriormente. No estado de Minas Gerais, este órgão fiscalizador é o Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM).

Os órgãos fiscalizadores são entidades do poder público, responsáveis por outorgar, cadastrar, classificar, regulamentar e fiscalizar as barragens de sua competência, monitorando sua segurança em relação à sociedade e ao meio ambiente (ANA, 2020).

O empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem, sendo este o que possui direito real sobre as terras onde se localizam a barragem e o reservatório ou a explorem para fins próprios ou coletivos.

A partir da criação da Lei nº 12.334, outras regulamentações foram originadas sendo as principais delas a Resolução CNRH nº 143, de 10 de julho de 2012, que estabelece a classificação das barragens e a Resolução nº 144, de 10 de julho de 2012, que estabelece

diretrizes para a implementação e aplicação dos instrumentos da PNSB, além da atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). A Resolução ANM nº 95, de 7 de fevereiro de 2022, também é importante no quesito de implementar informações e instrumentos específicos para a segurança de barragens de mineração.

## **2.5 Rompimento de barragens**

O rompimento de barragens, sejam estas associadas a qualquer finalidade, pode acarretar diversos danos ao meio ambiente e à população presentes no vale à jusante do barramento. Algumas das consequências são a perda de vidas humanas e de animais, perda de propriedade e danos socioambientais.

Quando as barragens rompidas comportam rejeitos provenientes da mineração o dano ambiental é mais acentuado do que quando as barragens são para reservatórios de água pelo fato de os rejeitos serem normalmente tóxicos, causando alteração da cobertura de terra, contaminação dos rios e destruição de nascentes, além de afetar diretamente a fauna e a flora (PEREIRA; CRUZ; GUIMARÃES, 2019).

O acidente ocorrido na Barragem do Fundão localizada em Mariana – MG, que causou 19 mortes e desabrigou mais de 320 famílias no ano de 2015, liberou uma quantidade de 45 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro no meio ambiente, contaminando o rio Doce e cerca de 1.500 hectares de solo, incluindo Áreas de Preservação Permanente (IBAMA, 2020).

Outro acidente mais recente, ocorrido em 2019, foi o rompimento da Barragem I no Córrego do Feijão, em Brumadinho – MG. Comparado ao acidente de Mariana, este trouxe menores impactos ambientais pois o reservatório continha um menor volume (cerca de 11,7 milhões de metros cúbicos). Em contrapartida, a onda gerada pelo rompimento causou a morte de 270 pessoas, dentre elas trabalhadores que ocupavam a sede da mineradora à jusante da barragem e a população que residia na região (VALE, 2019; UFMG, 2021).

Assim, percebe-se que o dano é típico de cada barragem e relacionado à população e aos ambientes à jusante do barramento. Porém, a causa do acidente pode ser analisada e, muitas vezes, provém de anomalias causadas por uma mesma técnica construtiva. No caso das barragens de rejeitos rompidas em Mariana e Brumadinho, ambas foram construídas pelo método de alteamento à montante, uma opção menos onerosa e mais atrativa para os empreendedores.

De acordo com Thomé e Passini (2018), quase metade dos acidentes com barragens de rejeitos que aconteceram entre o final do século XX e o início do século XXI envolveu

utilização do método de alteamento à montante, o que fez com que o Estado de Minas Gerais suspendesse essa forma de construção como medida preventiva. Além disso, a Lei nº23.291, de 25 de fevereiro de 2019, que institui a política estadual de segurança de barragens de Minas Gerais, determinou que as barragens alteadas pelo método a montante existentes no estado devem ser descaracterizadas.

## **2.6 Principais anomalias**

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2020), 70% das barragens rompem nos primeiros 10 anos após sua construção. Tal fato está relacionado com problemas no projeto e na fase de construção. Algumas das causas mais comuns para os acidentes são o galgamento da barragem, ou seja, a água passa por cima do barramento devido ao mal dimensionamento dos órgãos de descarga (vertedouros e descarga de fundo) erodindo o talude ou a fundação, além das erosões devido ao *piping*.

Qualquer construção se encontra suscetível a apresentar problemas com o tempo, sendo que a identificação das anomalias e a intervenção com finalidade de solução é importante. Tais anomalias possuem capacidade de depreciação do desempenho da barragem, podendo acarretar o rompimento, gerando riscos para a população à jusante (SANTOS, 2019).

Dessa forma, identificar as anomalias é necessário para o controle de riscos e consequente tratamento por manutenção corretiva. De acordo com o Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens (ANA, 2016), as anomalias em barragens de terra são divididas em borda livre insuficiente, percolação não controlada, trincas, depressões e deslizamentos, problemas de manutenção do aterro e deterioração das obras hidráulicas.

### **2.6.1 Borda livre insuficiente**

A borda livre deve ser implantada nos projetos de barragens por motivos de segurança, sendo que esta refere-se à distância entre a crista do barramento e o nível máximo de água considerando o período de cheias, agindo então como um dispositivo de prevenção ao galgamento. Assim, a borda livre insuficiente (FIGURA 3) se torna um fator de risco para o barramento (AGERH, 2020).

Figura 3 – Borda livre insuficiente.



Fonte: Guia Prático de Pequenas Barragens, ANA (2016).

### 2.6.2 Percolação não controlada

A percolação ocorre de maneira natural, se caracterizando como o movimento da água por entre os vazios do solo. Porém, caso a infiltração não seja controlada, pode haver o carregamento do solo do talude ou da fundação (*piping*), como mostrado na Figura 4, gerando erosões e cavidades que podem atrapalhar no desempenho do barramento e causando riscos de ruptura (CARDOSO et al., 2021).

Figura 4 – Efeito de erosão interna no talude de jusante da Barragem do Fundão.

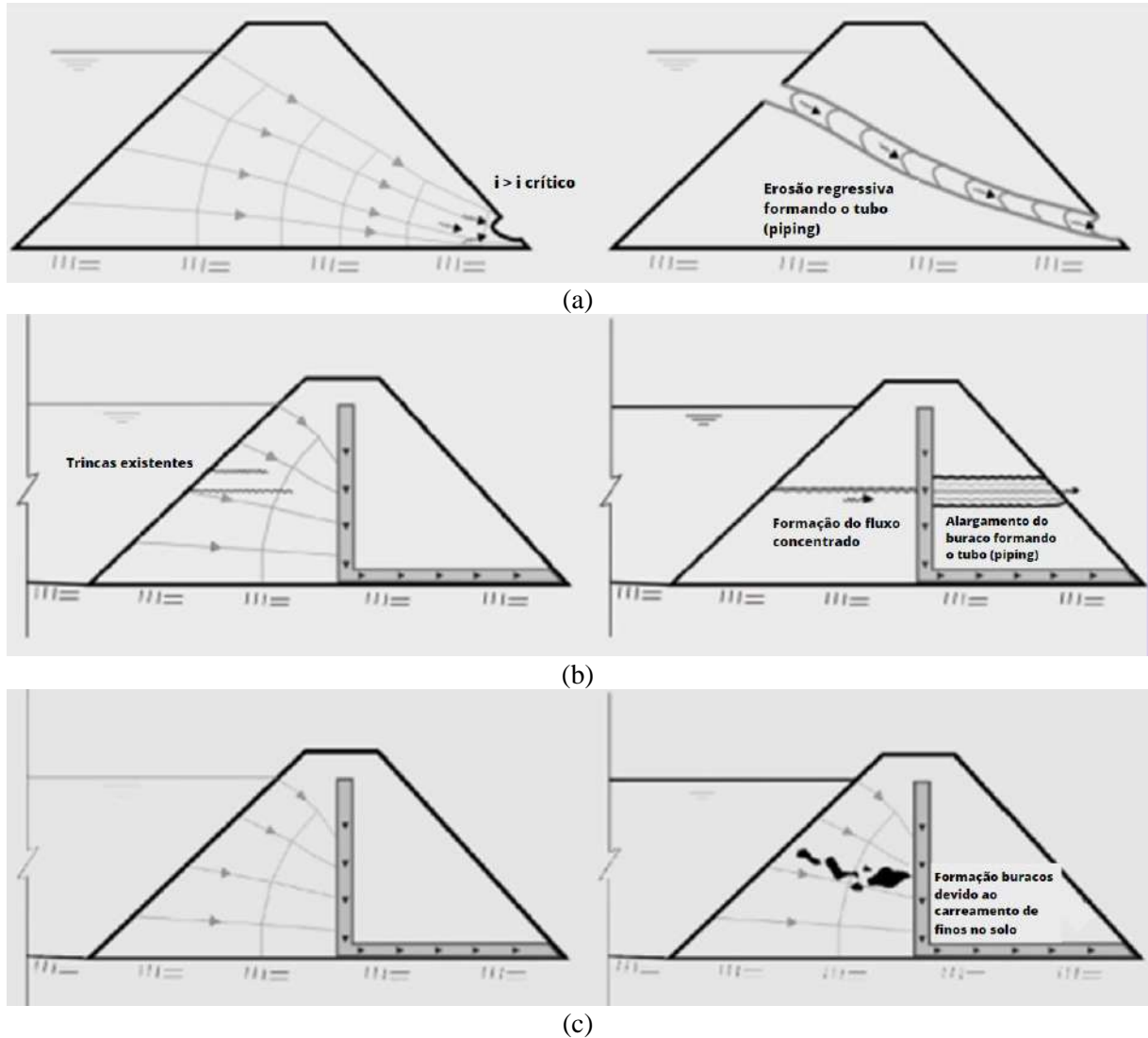


Fonte: Comitê de Especialistas para Análise da Ruptura da Barragem de Rejeitos de Fundão (2016).

Segundo Foster et al. (2000), citado por VIANNA (2015, p.10), os processos de *piping* podem ser descritos de três formas: (i) erosão regressiva (FIGURA 5a), onde a erosão é iniciada no local de afloramento da água no talude de jusante e com o tempo progride em direção ao talude de montante e ao reservatório, formando uma espécie de tubo; (ii) erosão em torno de trincas existentes no barramento (FIGURA 5b), sendo que essas trincas constituem um caminho preferencial para percolação do líquido no aterro, o qual concentra poropressões elevadas e carrega o material das paredes das trincas, formando tubos; e (iii) erosão devido ao carreamento de finos (FIGURA 5c), o qual ocorre principalmente pela ocorrência de materiais mal

graduados no barramento. Dessa forma, os finos são carregados com o fluxo passando pelos materiais mais granulares, e bulbos pela falta do material fino são formados, desestabilizando a barragem.

Figura 5 – Tipos de *piping*: (a) Erosão Regressiva, (b) Erosão em torno de trincas e (c) Erosão devido ao carreamento de finos.



Fonte: Perini (2009).

As erosões algumas vezes podem ser identificadas pela formação de depósitos de finos nos pontos de saída de água e surgências ou surgimento de vegetação mais avantajada no caso de barramentos em climas secos (FIGURA 6), de acordo com o Guia Prático de Pequenas Barragens (ANA, 2016).

Além disso, podem existir também surgências próximas à filtros e drenos e também nas zonas de contato entre o aterro e áreas mais rígidas.

Figura 6 – Zona de vegetação verdejante no talude de jusante em climas secos.



Fonte: ANA (2016).

### 2.6.3 Trincas, depressões e deslizamentos

As trincas (FIGURA 7a e 7b) e depressões são caracterizadas por alterações físicas no barramento, sendo anomalias que podem surgir devido ao ressecamento de solos plásticos ou devido à movimentação do barramento, como recalques ou deformações excessivas. Geralmente se apresentam com configuração aleatória e podem ser perigosas por originar caminhos de percolação da água, podendo trazer como consequência a erosão, por exemplo (AGERH, 2020).

Figura 7 – Trinca no revestimento asfáltico na crista da barragem: (a) Fotografia com enquadramento mais abrangente e (b) Fotografia mais detalhada.



(a)

(b)

Fonte: Biblioteca ANA (2015).

Além disso, existem também os deslizamentos de terra nos taludes da barragem. Geralmente, os deslizamentos formam trincas em formato de arco e constituem um sério problema de estabilidade, onde uma certa massa de solo se movimenta no sentido do pé do talude. Nessas situações, o Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens (ANA,

2016) recomenda o imediato rebaixamento do nível de água para manutenção e prevenção de acidentes.

#### **2.6.4 Problemas de manutenção do aterro**

Os problemas advindos da falta de manutenção do aterro são de diversos tipos (ANA, 2016), sendo eles:

- (a) Problemas no paramento de montante: ocorrem em reservatórios maiores, onde há formação de ondas mais severas quando existe a incidência de ventos. Esta anomalia acontece pela degradação e deslocamento, pela ação das ondas, do material do talude de montante, causando um espraçamento. Se não houver a manutenção necessária, a ocorrência frequente das ondas leva à diminuição da largura do barramento, o que pode causar desestabilização;
- (b) Problemas no coroamento, onde existem deteriorações perceptíveis na crista da barragem, como trilha de animais, vegetação excessiva e acúmulo de água;
- (c) Vegetação desordenada, com a presença de vegetação de médio ou grande porte que possuem raízes profundas, ou a existência de um revestimento vegetal excessivo, o que pode atrair animais que perfuram a barragem, por exemplo; e
- (d) Deterioração por ação de animais (FIGURA 8), caracterizada pela presença de cavidades e perfurações que podem gerar instabilidade no talude. Podem ser observados formigueiros, cupinzeiros e tocas e ninhos de animais como tatus e roedores de médio porte.

Figura 8 – Formigueiros no talude de montante.



Fonte: Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul (2019).

#### **2.6.5 Deteriorações ou obstrução de estruturas hidráulicas**

O bom funcionamento das estruturas hidráulicas está diretamente relacionado com a segurança da barragem. Os aparelhos de controle de vazão, como monges e vertedouros, devem



estar sempre desobstruídos para que seja possível a manutenção do fluxo e para que se evite que o reservatório contenha mais volume do que foi projetado (AGERH, 2020).

Segundo a ANA (2016), as deteriorações podem ser de nível estrutural e causadas por abrasão, cavitação, ou por erosões próximas às estruturas, sendo que estas podem causar trincas, carregamento de partes das estruturas e danos nos aparelhos elétricos e mecânicos.

Um exemplo de ruptura relacionada às estruturas hidráulicas é a barragem de Oroville, na Califórnia – EUA, que comporta cerca de 61 milhões de m<sup>3</sup>. Com a utilização do vertedouro em janeiro de 2017, uma erosão foi gerada e a força da água carregou o concreto, erodindo mais solo (FIGURA 9). Os operários perceberam uma mancha escura abaixo da água e pararam imediatamente a utilização, porém, o período era de cheia. Nesse tempo, a erosão foi avançando para cima da barragem, ocorrendo o fenômeno de *headcutting* (KOSKINAS et al., 2019). Enquanto forças eram mobilizadas para a manutenção e para o acionamento do vertedouro emergencial, a barragem rompeu por galgamento em consequência da grande vazão interrompida, o que ilustra a importância da boa manutenção e funcionamento das estruturas hidráulicas.

Figura 9 – Vertedouro danificado na barragem de Oroville: (a) antes e (b) após a ruptura da barragem.



Fonte: California Department of Water Resources (2017).

### 2.6.6 Erosões no reservatório

As erosões observadas nos taludes próximos ao reservatório, como as representadas na Figura 10, são objetos de atenção pelo fato de, na existência de instabilidade e ruptura do solo, o impacto na água do reservatório poder gerar ondas de maior intensidade do que aquelas previstas em projeto, além do assoreamento (ANA, 2016).



Figura 10 – Erosão no talude FEAR19, no reservatório da Usina Hidrelétrica de Queimado.



Fonte: UHE Queimado (2019).

## 2.7 Classificação de barragens no Brasil

Segundo a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 que estabelece a PNSB e cria o SNISB, em seu capítulo IV seção I, art. 7º, determina baseado em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que as barragens deverão ser classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco (CRI), por dano potencial associado (DPA) e pelo seu volume. Como explicitado no Item 2.4, o agente fiscalizador atuante no Estado de Minas Gerais, ou seja, a instituição que classifica as barragens, é o IGAM.

A Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012, criada pelo CNRH no uso das competências que lhe são conferidas, estabelece critérios gerais para a classificação de barragens. O ANEXO I apresenta os formulários dessa resolução para a classificação de uma barragem de água. Ainda, o art. 3º determina que o empreendedor responsável pela barragem pode solicitar revisão da classificação realizada pelo órgão fiscalizador, sendo necessária a apresentação de estudo que comprove essa demanda.

Em acordo com o art. 1º, parágrafo único, da Lei nº 12.334/2010, esta regulamentação é aplicada a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresente pelo menos uma das seguintes características: (a) altura do maciço igual ou maior a 15 m; (b) volume do reservatório superior ou igual a 3.000.000 m³; (c) resíduos perigosos presente no reservatório conforme normas técnicas; e (d) DPA médio ou alto.

Segundo o art. 10 da Lei nº 12.334/2010, com o objetivo de verificar o estado geral de segurança da barragem, deverá ser realizada revisão periódica. A periodicidade, a qualificação técnica da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento da revisão

periódica de segurança serão estabelecidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem.

### **2.7.1 Categoria de Risco**

Conforme a Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012, visando a segurança do empreendimento, as barragens devem ser classificadas segundo sua categoria de risco.

De acordo com aspectos que possam desencadear a possibilidade de ocorrência de acidentes, a categoria de risco será classificada baseada em três grupos a serem avaliados no próprio barramento, sendo eles:

- a) Características Técnicas (CT), envolvendo avaliações em relação à altura, comprimento, tipo de material empregado na construção, tipo de fundação, idade do barramento e vazão de projeto;
- b) Estado de Conservação (EC), devendo ser avaliada a confiabilidade das estruturas extravasoras, confiabilidade das estruturas de adução, percolação, deformações e recalques, deterioração dos taludes/parâmetros e eclusa; e
- c) Plano de Segurança da Barragem (PS), devendo ser considerada a existência de documentação de projeto, estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem, procedimentos de roteiros de inspeção de segurança e de monitoramento, regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem e relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação.

É atribuída uma pontuação para cada tópico citado e realiza-se o somatório de CT, EC e PS, denominado de CRI. A depender do valor obtido, a categoria de risco do barramento será classificada em alta, média ou baixa.

### **2.7.2 Dano Potencial Associado**

O dano potencial associado à barragem é o dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, a ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e os impactos sociais, econômicos e ambientais (BRASIL, 2012).

Os critérios gerais a serem utilizados para esta classificação são em função do volume total do reservatório, potencial de perdas de vidas humanas, impacto ambiental e impacto socioeconômico decorrentes da ruptura da barragem.

De acordo com as características do entorno do barramento, é atribuído um valor para cada tópic, fazendo-se seu somatório e dependendo do resultado atribui-se DPA alto, médio ou baixo.

### 2.7.3 Matriz de Classificação

A Agência Nacional de Águas (ANA) estabeleceu, segundo a Resolução nº 91 de 2 de abril de 2012, 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, conforme a Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 do PNSB.

A matriz apresentada no art. 3º da Resolução nº 91 foi atualizada pela Resolução nº 236, de 30 de janeiro de 2017 e, a depender da combinação da classificação da barragem em relação a Categoria de Risco e o Dano Potencial Associado (QUADRO 1), enquadra-se a barragem em uma das quatro classes: A, B, C e D.

Quadro 1 – Matriz de Classificação de barragens segundo sua CRI e DPA.

CATEGORIA DE RISCO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
ALTO	A	B	C
MÉDIO	A	C	D
BAIXO	A	D	D

Fonte: Resolução nº 236, 30 de janeiro de 2017 (ANA).

Ambas as Resoluções nº 91 de 2012 e nº 236 de 2017 da Agência Nacional de Águas instruem o Plano de Segurança de Barragens de acordo com a classe da barragem. Em sua primeira versão, o Plano de Ação Emergencial era solicitado para barragens classificadas na Classe A ou sempre que se considerar necessário, independentemente da classe da barragem. Na Resolução nº 236 de 2017, de acordo com o art. 21, o PAE passou a ser exigido para as barragens classificadas em Classes A e B.

A implementação do Plano de Segurança da Barragem sendo um instrumento da PNSB é obrigatória pelo Empreendedor, auxiliando na gestão da segurança da barragem.

O Plano de Segurança da Barragem, conforme prescrito no art. 5º da Resolução nº 236 de 2017, deverá ser composto por até 6 volumes e cada volume apresenta seu conteúdo mínimo e nível de detalhamento, conforme ANEXO II. O Art. 18 da Resolução nº 236 de 2017, determina a periodicidade mínima da Revisão Periódica de Segurança de Barragem (RPSB), conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Periodicidade mínima da revisão periódica de Segurança de Barragem.

<b>Classe</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>Tempo (anos)</b>	5	7	10	12

Fonte: dos Autores (2022).

A Resolução nº 742, de 17 de outubro de 2011, em seu art. 4º estabelece a periodicidade das inspeções de segurança regulares de barragem definida em função da classificação realizada pela ANA em termos da categoria de risco e dano potencial associado das barragens e que deverão ser realizadas pelo empreendedor durante os ciclos de inspeções, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Periodicidade das Inspeções Regulares baseada no CRI e DPA.

<b>CATEGORIA DE RISCO</b>	<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>		
	<b>ALTO</b>	<b>MÉDIO</b>	<b>BAIXO</b>
<b>ALTO</b>	Semestral	Semestral	Anual
<b>MÉDIO</b>	Semestral	Anual	Anual
<b>BAIXO</b>	Semestral	Anual	Bianual

Fonte: Resolução nº 742, 17 de outubro de 2011 (ANA).

#### 2.7.4 Mancha de inundação (*Dam Break*)

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos, através de sua Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012, dispõe no art. 2, alínea VI, que deve ser considerada para classificação quanto ao dano potencial associado a área afetada a jusante e montante, potencialmente comprometida por eventual ruptura da barragem, cuja metodologia de definição de seus limites deverá ser determinada pelo órgão fiscalizador.

Segundo Paiva e Filho (2020), os estudos de rompimento de barragens são uma parte fundamental do PAE, permitindo prever o comportamento das cheias devido ao rompimento de barragens. Segundo Rossi (2020), tais estudos permitem estimar alguns parâmetros específicos do dano causado pelo rompimento, como definir a brecha de ruptura conforme material construtivo, o nível atingido, a velocidade, o tempo e vazão da onda de ruptura no ponto de interesse, bem como gerar um hidrograma de ruptura para propagação das ondas de inundação.

Conforme pode ser observado no Guia de Orientação e Ficha de Plano de Ação de Emergência (ANA, 2016), o estudo de ruptura da barragem é baseado na simulação da cheia induzida e resulta em um mapa de inundação, que permite identificar as áreas afetadas auxiliando para classificar as barragens de acordo com o dano potencial associado (DPA).

De acordo com Tercini et al. (2020) citado por Carvalho; Silva (2022) os estudos de rompimentos de barragens podem ser realizados por *software* computacional ou com base na

literatura, embasados em estudos de casos de diversos rompimentos de barragens ao redor do mundo.

Existem metodologias tradicionais de modelagem que costumam exigir muitos dados e com grande precisão. Com o intuito de minimizar as necessidades de dados adaptando-se a realidade do país, foi introduzida pelo Banco Mundial em 2012 associado a Agência Nacional de Águas o método simplificado para a geração da área afetada (ANA, 2017).

Baseada em subsídios fornecidos pelo Departamento de Segurança Interna dos EUA (2011), a metodologia simplificada utilizada pela ANA usualmente estima, por meio de equações, a onda de cheia gerada pela ruptura da barragem (BRASIL, 2012).

Embora o grau de incerteza envolvido possa ser grande, os resultados dos modelos simplificados são úteis para estimar os níveis máximos de inundação e muitas vezes se mostram consistentes quando comparados com os resultados de modelos mais complexos (PEREIRA et al., 2017).

Essa metodologia simplificada pode ser utilizada exclusivamente para a classificação do DPA, quando necessário. Após a classificação, no emprego do PAE a mesma não poderá ser utilizada pois os resultados destes métodos não possuem o nível de detalhamento necessário para compor este plano (BRASIL, 2012).

## **2.8 Classificação de barragens no mundo**

A classificação de barragens é uma prática realizada em vários países no mundo com a finalidade de categorização dos riscos existentes, constituindo um passo inicial para a adequação de medidas mitigadoras de possíveis danos, incluindo a fiscalização e o monitoramento da estrutura.

Variados métodos de classificação são utilizados internacionalmente, sendo que, em alguns países, esse processo pode ser diferente em cada estado ou província. Nos tópicos a seguir, serão apresentadas algumas formas de classificação das barragens utilizadas na Austrália, no Canadá, nos Estados Unidos e em Portugal.

### **2.8.1 Austrália**

Na Austrália, os regulamentos relacionados com a segurança de barragens são administrados pelo poder de cada estado. De acordo com ANA (2013), todas essas normas estaduais seguem as diretrizes mínimas publicadas em 1994 pelo Comissão Australiana de Grandes Barragens (*Australian Commission on Large Dams - ANCOLD*), a qual recomenda que

a classificação deve ser realizada se baseando, no mínimo, nas características geométricas da barragem, na categoria de dano potencial associado, no nível de risco e no custo da barragem.

Tais diretrizes se aplicam a barragens com ao menos 10 m de altura e 20.000 m<sup>3</sup> de volume, ou barragens maiores que 5 m de altura que possuam capacidade de armazenamento maior que 50.000 m<sup>3</sup>.

A regulamentação mais consolidada é a do estado de *New South Wales* (NSW), onde foi publicada a Regulamentação de Segurança de Barragens em 2019, sendo que a classificação é baseada em duas matrizes, considerando a população em risco e perda de vidas humanas comparadas com a gravidade dos níveis de danos e perdas. O estado requer que a classificação da barragem seja assessorada por profissional competente, utilizando a identificação de cenários que representem a mancha de inundação e a estimativa de potencial de perda de vidas humanas (*Potential Loss of Life – PLL*) ou a população em risco (*Population at Risk – PAR*) contando com trabalhadores, itinerantes e não itinerantes.

A regulamentação do NSW ainda dispõe sobre algumas características essenciais para o estudo da mancha de inundação, como os cenários a serem utilizados, e propõe tabelas para determinação de categoria de consequências para estimar as perdas econômicas em infraestrutura, impactos ambientais e impactos na saúde e sociais. O resultado mais crítico obtido dessas tabelas (ANEXO III) deve ser utilizado nos Quadros 4 e 5 para a classificação da barragem.

O Quadro 4 deve ser utilizado para determinar a classificação da barragem baseada no método de perda de vidas humanas. Para determinar o PLL, o *NSW Government Gazette* (2019) recomenda algumas metodologias que utilizam o tempo de aviso a população à jusante e a severidade da inundação, como o método descrito por Graham (1999).

Quadro 4 – Classificação da barragem baseada no método PLL.

Potencial de Perda de Vidas Humanas ( <i>Potential Loss of Life - PLL</i> )	Severidade dos Danos e Perdas			
	Menor	Média	Maior	Catastrófica
<b>Menor que 0.1</b>	Muito pequena	Pequena	Significativa	Alta C (High C)
<b>0.1 até menos que 1</b>	Significativa	Significativa	Alta C (High C)	Alta B (High B)
<b>1 até menos que 5</b>		Alta C (High C)	Alta B (High B)	Alta A (High A)
<b>5 até menos que 50</b>		Alta A (High A)	Alta A (High A)	Extrema
<b>50 ou mais</b>			Extrema	Extrema

Fonte: NSW Government Gazette, (2019).

A classificação da barragem baseada na população em risco (PAR) é determinada utilizando o Quadro 5.

Quadro 5 – Classificação da barragem baseada no método de população em risco.

População em Risco ( <i>Population at Risk - PAR</i> )	Severidade dos Danos e Perdas			
	Menor	Média	Maior	Catastrófica
Menor que 1	Muito pequena	Pequena	Significativa	Alta C (High C)
1 a 9	Significativa ou Alta C (High C), se existir potencial de perda de uma vida ou mais	Significativa ou Alta C (High C), se existir potencial de perda de uma vida ou mais	Alta C (High C)	Alta B (High B)
10 a 99	Alta C (High C)	Alta C (High C)	Alta B (High B)	Alta A (High A)
100 a 999		Alta B (High B)	Alta A (High A)	Extrema
1000 ou mais			Extrema	Extrema

Fonte: NSW Government Gazette, (2019).

Vale ressaltar que, se a classificação baseada no método PLL for diferente da classificação baseada no método PAR para uma barragem, a categoria de consequências do método PLL deve prevalecer.

### 2.8.2 Canadá

Assim como na Austrália, no Canadá a segurança de barragens é tratada pelas províncias ou pelos territórios, não existindo uma política federal específica para o assunto (CDA, 2019). Segundo a *Canadian Dam Association* – CDA (2019), as províncias de Alberta, Ontario, British Columbia e Quebec têm variados níveis de regulamentação, sendo que é recomendado que todas as províncias, incluindo as que não possuam legislação específica, sigam a base de critérios do Guia de Segurança de Barragens (CDA, 2007).

De acordo com a ANA (2013), mesmo que a maioria das províncias do Canadá não contem com legislação específica para a segurança de barragens, na prática a segurança de barragens ocorre de forma adequada, motivada pelo senso do empreendedor ao reconhecer responsabilidades administrativas, civis e penais relacionadas às barragens.

Ainda, a CDA (2007) sugere que a classificação das barragens deve ser determinada pelo maior dos potenciais das consequências, sendo elas divididas entre perda de vidas, critérios ambientais, sociais ou culturais. O cenário de ruptura utilizado para a classificação deve ser o mais crítico.

Tomando como base a província de Quebec, a qual possui um sistema de classificação considerado como um “bom exemplo” pelo *World Bank* (2020), as barragens podem ser de alta capacidade, de baixa capacidade e pequenas barragens. Segundo o *Dam Safety Act - DSA* (QUEBEC, 2022), revisado em junho de 2022, as barragens de alta capacidade são: (i) barragens com mais de 1 m de altura possuindo capacidade maior que 1.000.000 m<sup>3</sup>; e (ii) barragens com mais de 2,5 m de altura possuindo capacidade maior que 30.000 m<sup>3</sup>.

As barragens que possuem mais de 2 m de altura mas que não se aplicam ao item b são consideradas barragens de baixa capacidade e as barragens com 1 m ou mais, as quais não se aplicam ao item b e não são consideradas de baixa capacidade, são consideradas pequenas barragens.

A classificação das barragens na província de Quebec é regulada pelo *Dam Safety Regulation - DSR* (QUEBEC, 2022), o qual estabelece que todas as barragens devem ser classificadas de acordo com o risco apresentado para pessoas e propriedades, medido pela multiplicação entre o valor da vulnerabilidade (V) da barragem pelo valor numérico do potencial de consequências associado a falha (C). Essa multiplicação é dada pelo valor P ( $P = V \times C$ ). As classes são apresentadas no Quadro 6.

Vale ressaltar que o descrito no parágrafo anterior para a classificação de barragens se encontra dentro do Capítulo III do DSR (2022), com o título de “Barragens de Alta Capacidade”, o que dá abertura para a compreensão de que barragens de baixa capacidade e pequenas barragens não necessitem de classificação.

Quadro 6 – Classificação da barragem em relação a “P”.

Valor "P"	Classe da Barragem ( <i>Dam Class</i> )
$P \geq 120$	A
$70 \leq P < 120$	B
$25 \leq P < 70$	C
$P < 25$	D

Fonte: *Dam Safety Regulation* – Quebec (2022).

A vulnerabilidade (V) da barragem é calculada multiplicando a média aritmética dos pontos das características físicas, pela média aritmética dos pontos das características variáveis, sendo que essa pontuação é apresentada no APÊNDICE I.

O potencial de consequências associado a falha (C) é baseado na categoria de consequência da barragem. Os pontos designados à cada categoria se encontram no APÊNDICE II e a categoria deve ser determinada de acordo com as consequências a área à jusante com o



cenário mais crítico de falha. Essa área é delimitada com estudos de mancha de inundação (*Dam Break*).

### 2.8.3 Estados Unidos da América

Nos Estados Unidos, o documento *Federal Guidelines for Dam Safety: Hazard Potential Classification System for Dams*, preparado pelo *Interagency Committee on Dam Safety* (ICODS) e publicado em 2004 pela *Federal Emergency Management Agency* (FEMA), é utilizado como base para a classificação de barragens.

As barragens que possuem alto dano potencial são aquelas cujas falhas ou má operação provavelmente irão causar perda de vidas humanas à jusante (FEMA, 2004). Além do potencial de perda de vidas humanas também são avaliados os potenciais de perdas econômicas, danos ambientais e/ou sociais.

Três níveis de classificação são adotados pela FEMA (2004), sendo eles: baixo, significativo e alto. Esse sistema de divisão foi escolhido com o intuito de unificar e diminuir a desentendimentos entre os diversos tipos de classificação propostos pelas agências e territórios nos EUA. A decisão da classificação deve ser feita considerando o pior cenário de falha, sendo este o que incide no maior dano potencial associado. O Quadro 7 apresenta a classificação proposta pela FEMA.

Quadro 7 – Classificação da barragem quanto ao DPA proposta pela FEMA.

<b>Dano Potencial Associado</b>	<b>Perda de Vidas Humanas</b>	<b>Perdas Econômicas, Ambientais e Sociais</b>
<b>Baixo</b>	Não esperado	Baixas e geralmente limitadas ao proprietário da barragem
<b>Significativo</b>	Não esperado	Sim
<b>Alto</b>	Provável (uma ou mais)	Sim

Fonte: FEMA (2004).

Para a FEMA (2004), é improvável que ocorram perdas de vidas humanas onde pessoas se encontram temporariamente dentro da mancha de inundação. Assim, o sistema de classificação proposto não inclui a perda de vida de indivíduos utilizando o rio e as terras à jusante como recreação e lazer, transeuntes ou usuários externos. Ainda, o documento deixa explícito que, para qualquer sistema de classificação, não é concebível a abrangência de todas as possibilidades existentes e define que devem ser utilizados o julgamento e o bom-senso para a decisão relacionada à classificação.

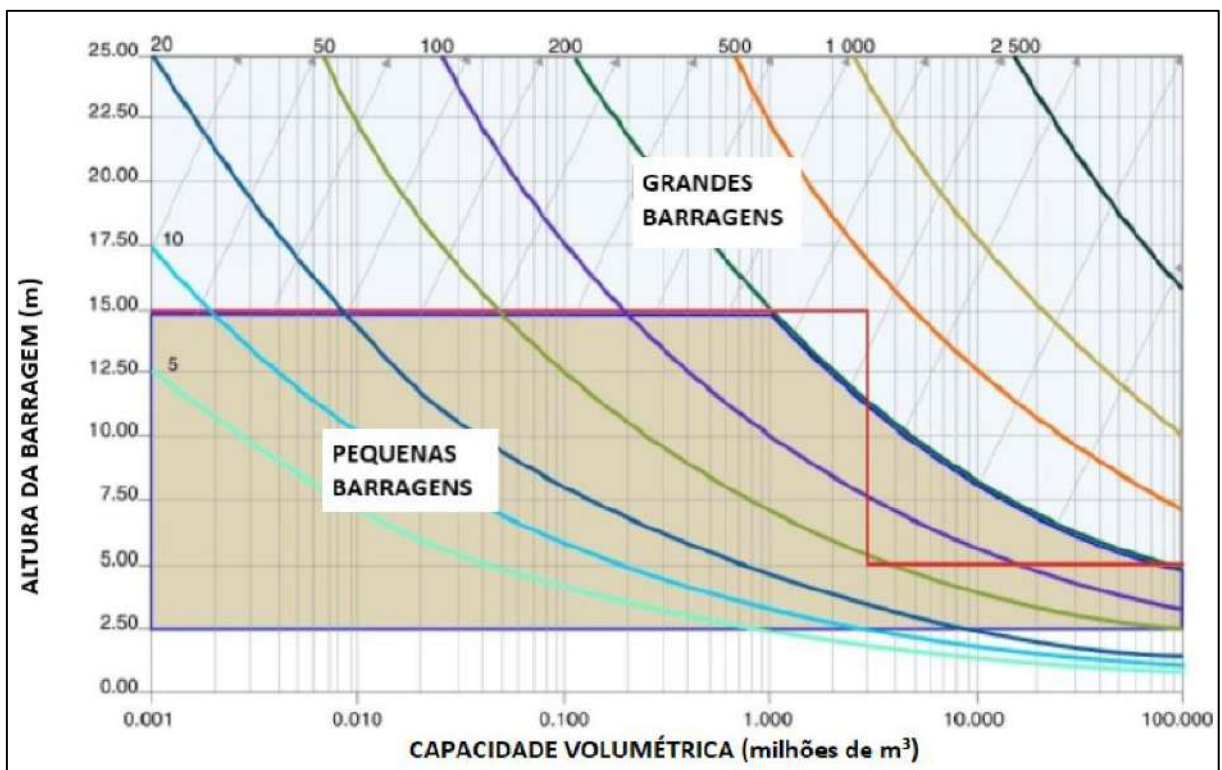
No caso de barragens em cascata, se a ruptura ou má operação da barragem à montante contribua para a falha de uma barragem à jusante, o dano potencial associado deve ser no mínimo tão alto quanto a classificação da barragem à jusante e deve considerar as consequências adversas de uma ruptura em cascata.

Além do proposto pela FEMA, outro documento utilizado como referência é o *Bulletin 157 - Small Dams: Design, Surveillance and Rehabilitation*, publicado pela *International Commission on Large Dams (ICOLD)* em 2016. Esse documento foi criado para funcionar como guia para pequenas barragens considerando o grande número de barragens desse tipo existentes, as quais representam mais de 90% do número total de barragens (ICOLD, 2016).

Para o ICOLD, pequenas barragens são definidas por: (i)  $2,5 \text{ m} < H < 15 \text{ m}$  e  $H^2 \cdot \sqrt{V} < 200$ ; (ii)  $H$  é a altura em metros acima do leito do rio até a maior cota da crista; e (iii)  $V$  é a capacidade volumétrica em milhões de  $\text{m}^3$ , considerando a barragem totalmente cheia.

O ICOLD (2016) apresenta o gráfico disposto na Figura 11, com a relação de classificação entre pequenas e grandes barragens de acordo com seu porte.

Figura 11 – Classificação de barragens quanto a altura e a capacidade volumétrica.



Fonte: ICOLD (2016).

Para barragens de retenção de enchentes sem retenção de água, o volume de armazenamento na crista do vertedouro (volume de projeto de armazenamento) deve ser usado.

A classificação definida no boletim e apresentada no Quadro 8, utiliza uma relação entre o risco de perda de vidas, o risco econômico, o risco social, o risco ambiental e o parâmetro  $H^2 x \sqrt{V}$ . Esse último parâmetro não apresenta significado científico, apenas sendo um meio de mensurar o porte da estrutura. O dano potencial associado é sempre relacionado ao critério mais crítico.

Quadro 8 – Classificação da barragem quanto ao DPA proposta pelo ICOLD.

Componente	Dano Potencial Associado		
	Baixo (I)	Médio (II)	Alto (III)
Parâmetro $H^2 x \sqrt{V}$	$H^2 x \sqrt{V} < 20$	$20 < H^2 x \sqrt{V} < 200$	$H^2 x \sqrt{V} \geq 200$
Risco de segurança à vida (número de vidas)	~0	<10	$\geq 10$
Risco econômico	baixo	moderado	alto ou extremo
Risco ambiental	baixo ou moderado	alto	extremo
Interrupções sociais	baixo (área rural)	regional	nacional

Fonte: ICOLD (2016).

#### 2.8.4 Portugal

A principal lei portuguesa para segurança de barragens é o Decreto-Lei nº 11/90, atualizado através do Decreto nº 344 em 15 de outubro de 2007, que definiu o controle de segurança de barragens e publicou o Regulamento de Segurança de Barragens (PORTUGAL, 2007). A regulamentação citada evidenciou certas dificuldades no que diz respeito à proporcionalidade entre danos potenciais e critérios de controle associados à pequenas barragens. Assim, foi publicado no Diário da República o Decreto-lei nº 21/2018, de 28 de março, o qual procede a alteração do Regulamento de Segurança de Barragens e aprova o Regulamento de Pequenas Barragens (PORTUGAL, 2018).

De acordo com a lei portuguesa (PORTUGAL, 2018), as grandes barragens possuem altura igual ou superior a 15 m, medida desde a cota inicial da fundação até a crista, ou a barragem tenha altura igual ou superior a 10 m com capacidade volumétrica superior a 1 hm<sup>3</sup>. O Regulamento de Pequenas Barragens abrange barragens que não entrem nas categorias citadas anteriormente, ou seja, barragens com altura inferior a 10m ou com altura superior a 10 m e inferior a 15 m cujo reservatório tenha capacidade igual ou inferior a 1 hm<sup>3</sup>.

Contudo, todas as barragens são classificadas de forma única, sendo a classificação dividida em Classe I, Classe II e Classe III, onde a primeira delas corresponde ao potencial de dano mais alto, enquanto a Classe III corresponde ao potencial de dano mais baixo. A

classificação é feita em função da perigosidade e dos danos potenciais associados à onda de inundação calculada para o cenário mais crítico para o vale à jusante (PORTUGAL, 2018).

Da mesma forma que para o ICOLD (2016), a perigosidade das barragens em Portugal é medida pelo fator  $X = H^2 \times \sqrt{V}$ , onde H é a altura da barragem e V a sua capacidade volumétrica, em hm<sup>3</sup>. Ainda, a população do vale à jusante, avaliada pelo número de edificações fixas com caráter residencial permanente (Y), é utilizada juntamente ao fator X para a classificação, conforme apresentado no Quadro 9.

Quadro 9 – Classificação da barragem em Portugal.

Classe	Perigosidade da barragem e danos potenciais
I	$Y \geq 10$ e $X \geq 1000$
II	$Y \geq 10$ e $X < 1000$ ou $0 < Y < 10$ , independentemente do valor de x ou existência de infraestruturas, instalações e bens ambientais importantes
II	$Y = 0$ , independentemente do valor de X

Fonte: PORTUGAL (2018).

A publicação de Wishart et al. (2020) apresenta o proposto no Quadro 10, o qual orienta a aplicação das regulamentações de Portugal, considerando o tamanho das barragens e seu dano associado.

Quadro 10 – Sistema de regulamentação de segurança de barragens de Portugal.

Barragens	Escopo	Regulamentações		Sistema unificado de classificação
		Atual	Revisão	
Grandes barragens	$H \geq 15$ m ou $15 \text{ m} > H \geq 10$ m, com $V \geq 1$ hm <sup>3</sup>	Regulamento de Segurança de Barragens (RSB)	RSB revisado	
Pequenas barragens	$V \geq 0.1$ hm <sup>3</sup> "tamanho médio"	↑ Altas Conseqüências	Novo Regulamento para Pequenas Barragens	
	Reservatórios menores	Regulamento de Pequenas Barragens		

Fonte: Wishart et al. (2020).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados são dados provenientes do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) e da Diretoria de Gestão da Qualidade e Meio Ambiente (DQMA) da Universidade Federal de Lavras.

O IGAM, cuja função é a gestão dos recursos hídricos e o monitoramento de barragens no estado de Minas Gerais, atua como órgão fiscalizador. Logo, o diagnóstico contendo a classificação da barragem em cascata da UFLA foi executado através da análise do cadastro efetuado pelo IGAM no SNISB.

A Universidade Federal de Lavras em seu campus sede possui sete barramentos de água, destinados a regularização de vazão, abastecimento humano, irrigação, defesa contra inundações e dessedentação animal, estando cadastrados no SNISB e sob responsabilidade da instituição. As barragens de estudo são os referentes aos barramentos cadastrados no SNISB como Barragem Condomínio Montante e Barragem Condomínio e são ambas destinadas à defesa contra inundações.

Os barramentos inspecionados estão situados em afluentes da margem direita do Ribeirão Vermelho, segundo a Carta do Brasil (escala 1:50.000), folha SF-23-X-C-I-1 do município de Lavras – MG (IBGE, 1975). A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vermelho está localizada no município de Lavras (MG), o qual pertence à Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH) GD2, na região das vertentes do Rio Grande. A parte norte da bacia, onde estão localizados os barramentos, é ocupada pelo campus da Universidade Federal de Lavras - UFLA e as porções oeste e sul são predominantemente ocupadas pelo meio urbano do município de Lavras.

#### 3.1 Barragem Condomínio Montante

O barramento Condomínio Montante (FIGURA 12) está localizado nas coordenadas geográficas latitude 21°13'24,77"S e longitude 44°58'35,37"O (datum *World Geodetic System* - WGS 84). Trata-se de um barramento de pequeno porte destinado a amortização de cheias, estando em operação desde a década de 1990. No ano de 2011 essa barragem teve sua estrutura totalmente restaurada, quando foi construído um novo talude paralelo à jusante ao existente, além de ter sido retirada toda a matéria orgânica executando uma nova fundação, e incorporando o antigo barramento ao novo (UFLA, 2019).

A obra dobrou a espessura da crista com ajuste das inclinações. Foram utilizados latossolos, muito argilosos, com boa capacidade de compactação, executada com rolo

compactador com 90% do proctor normal. A barragem possui uma área inundada de 0,2618 ha (2618,29 m<sup>2</sup>) e capacidade de acumulação de água próximo aos 2500 m<sup>3</sup>. O maciço possui altura máxima igual a 4 m incluindo fundações, largura da crista com 7,5 m e comprimento de 65 m, constituindo uma via de circulação sem asfalto interna da instituição (UFLA, 2020). A estrutura opera a montante da Barragem do Condomínio.

Figura 12 – Barramento Condomínio Montante.



Fonte: Google Earth (2022).

O talude de jusante (FIGURA 13a) encontra-se estável, íntegro, não existindo sinais de movimentação, erosões de quaisquer tipos, fissuras, afundamentos, escorregamentos ou buracos. É coberto por gramínea (*Brachiária*), sendo observada a presença de arbustos.

A crista do barramento (FIGURA 13b) compõe via de circulação interna da instituição e encontra-se em boas condições. Não é observada a presença de fissuras longitudinais ou transversais, afundamentos, erosões de quaisquer tipos ou problemas de drenagem, mesmo em período chuvoso.

Figura 13 – Talude Jusante e Crista: (a) Talude jusante do barramento e (b) Crista.



(a)

(b)

Fonte: dos Autores (2022).



O talude de montante (FIGURA 14) encontra-se aparentemente estável, porém há a existência de sinais de erosão superficial e a presença de formigueiros, estando o barramento coberto por vegetação. As ombreiras encontram-se estáveis, livres de fissuras, erosões ou escorregamentos, não existindo quaisquer sinais de movimentação.

Figura 14 – Talude montante do barramento: (a) visão geral do talude montante e (b) ampliação.



Fonte: dos Autores (2022).

### 3.2 Barragem Condomínio

O barramento do Condomínio (FIGURA 15) é localizado no ponto de coordenadas geográficas latitude  $21^{\circ}13'19,10''S$  e longitude  $44^{\circ}58'38,05''O$  (datum WGS 84). Trata-se de um barramento de pequeno porte destinado a defesa contra inundações, construído no início da década de 1990 e completamente reestruturado no ano de 2011, sendo refeita a estrutura de descarga do fundo com a instalação de um vertedouro do tipo monge. A barragem possui área inundada igual a 0,274 ha ( $2.740 \text{ m}^2$ ) e volume de acumulação próximo aos  $8.500 \text{ m}^3$ . O maciço possui altura máxima igual a 7 m incluindo fundações, largura de crista igual a 12 m e comprimento de 51 m (UFLA, 2019). A estrutura fica a jusante do Barramento do Condomínio Montante e o sistema extravasor do tipo monge encontra-se aberto a algum tempo, o que faz com que o barramento não esteja acumulando água. Assim, o recurso hídrico segue por tubulação subterrânea sentido à lagoa dos Ipês, situada mais a jusante, após a rodovia MG-335.

O talude de jusante (FIGURA 16a) encontra-se estável, íntegro, não existindo sinais de movimentação, erosões de quaisquer tipos, fissuras, afundamentos, escorregamentos ou buracos. É coberto por gramínea, não sendo observada a presença de arbustos ou indivíduos arbóreos, e se encontra em bom estado de conservação.

Figura 15 – Barragem do Condomínio.



Fonte: Google Earth (2022).

A crista do barramento (FIGURA 16b) se encontra íntegra, não sendo observada a presença de fissuras longitudinais ou transversais, afundamentos, erosões de quaisquer tipos ou problemas de drenagem, mesmo em período chuvoso. Possui declividade para montante igual a 2,5% (UFLA, 2020).

Figura 16 – Talude jusante e crista do barramento: (a) Talude de jusante e (b) Crista.



Fonte: dos Autores (2022).

O talude de montante (FIGURA 17a e 17b) encontra-se estável, íntegro, não existindo sinais de movimentação, erosões, fissuras, afundamentos, escorregamentos ou buracos. As ombreiras encontram-se estáveis, livres de fissuras, erosões ou escorregamentos, não existindo quaisquer sinais de movimentação.



Figura 17 – Talude montante do barramento: (a) Vista frontal e (b) Vista lateral



Fonte: dos Autores (2022).

O barramento também é provido de um monge (descarga de fundo/desarenador) construído em concreto (FIGURA 18a), com controle de nível, composto por galeria circular (FIGURA 18b) de concreto com diâmetro igual a 800 mm. A galeria se encontra desobstruída, livres de escombros ou entulhos, em perfeitas condições de operação.

Figura 18 – Monge: (a) Caixa de nível e (b) Galeria.



Fonte: dos Autores (2022).

### 3.3 Classificação no Brasil e no mundo

#### 3.3.1 Classificação do Brasil

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados os procedimentos preconizados na Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 (BRASIL, 2010) (FIGURA 19).

### 3.3.2 Classificação da Austrália

Para a classificação segundo o estado australiano de *New South Wales*, foram utilizadas as diretrizes impostas na Regulamentação de Segurança de Barragens (*NSW Government Gazette*, 2019) (FIGURA 20).

Para o cálculo do potencial de Perdas de Vidas Humanas (*Potential Loss of Life - PLL*) tem-se a metodologia proposta por Graham (1999), sendo ela dividida em 7 passos, que levam em conta a avaliação dos cenários de ruptura da barragem, o tempo de aviso entre os observadores da falha e os indivíduos à jusante, a mancha de inundação para cada cenário, equações empíricas para determinar o número de fatalidades e a avaliação de incertezas.

Além de descrever como deve ser realizada a análise dos cenários e a criação da mancha de inundação para cada um deles, a metodologia apresenta tabelas para estimar o tempo de aviso, o qual é definido como a quantidade de tempo entre o início da disseminação de avisos sobre o potencial rompimento da barragem e o início da ruptura da barragem.

Simplificadamente, Graham (1999) apresenta três equações empíricas que dependem do número de pessoas em risco (*People At Risk – PAR*) e o tempo de aviso.

Para o tempo de aviso menor que 15 minutos, entre 15 e 90 minutos e maior que 90 minutos se emprega a Equação 1, Equação 2 e Equação 3, respectivamente.

$$PLL = 0,5 \times PAR \quad (1)$$

$$PLL = PAR^{0,6} \quad (2)$$

$$PLL = 0,0002 \times PAR \quad (3)$$

Onde PLL é o potencial de perda de vidas humanas e PAR representa o número de pessoas em risco.

### 3.3.3 Classificação do Canadá

Para a realização do estudo, o método estabelecido pela regulamentação do estado canadense de Quebec (*Dam Safety Regulation*, 2022) foi utilizado (FIGURA 21).

Nesta metodologia é necessário o cálculo da Média Aritmética Simples, dada pela Equação 4.

$$\overline{M}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

Onde  $\overline{M}_s$  é a Média Aritmética Simples;  $X$  representa os termos numéricos e  $n$  o número total de termos.

Posteriormente a Média Aritmética Simples é utilizada para a obtenção do Parâmetro de Vulnerabilidade (V) do barramento expresso pela Equação 5.

$$V = \overline{M}_s(CF) \times \overline{M}_s(CV) \quad (5)$$

Onde  $\overline{M}_s(CF)$  representa a Média Aritmética Simples das Características Físicas (CF) do barramento e

$\overline{M}_s(CV)$  expressa a Média Aritmética Simples das Características Variáveis (CV).

Após a análise das características da área afetada no APÊNDICE II e identificação do parâmetro C (categoria de consequência), é possível calcular o valor numérico representativo do parâmetro P, expresso pela Equação 6.

$$P = V \times C \quad (6)$$

Onde V é o parâmetro de Vulnerabilidade da barragem e

C representa a Categoria de Consequência da ruptura do barramento.

Todos os valores obtidos pelas Equações 4, 5 e 6 são adimensionais.

### 3.3.4 Classificação dos Estados Unidos

Para esse estudo foram utilizadas duas regulamentações, os critérios estabelecidos pelo FEMA (FEMA, 2004) (FIGURA 22) e os do ICOLD (ICOLD, 2016) (FIGURA 23).

Na metodologia de classificação proposta pelo ICOLD (2016), é preciso calcular o parâmetro X, dado pela Equação 7.

$$X = H^2 \times \sqrt{V} \quad (7)$$

Onde H é a altura do barramento em metros e

V é o Volume de reservação em hectômetros cúbicos.

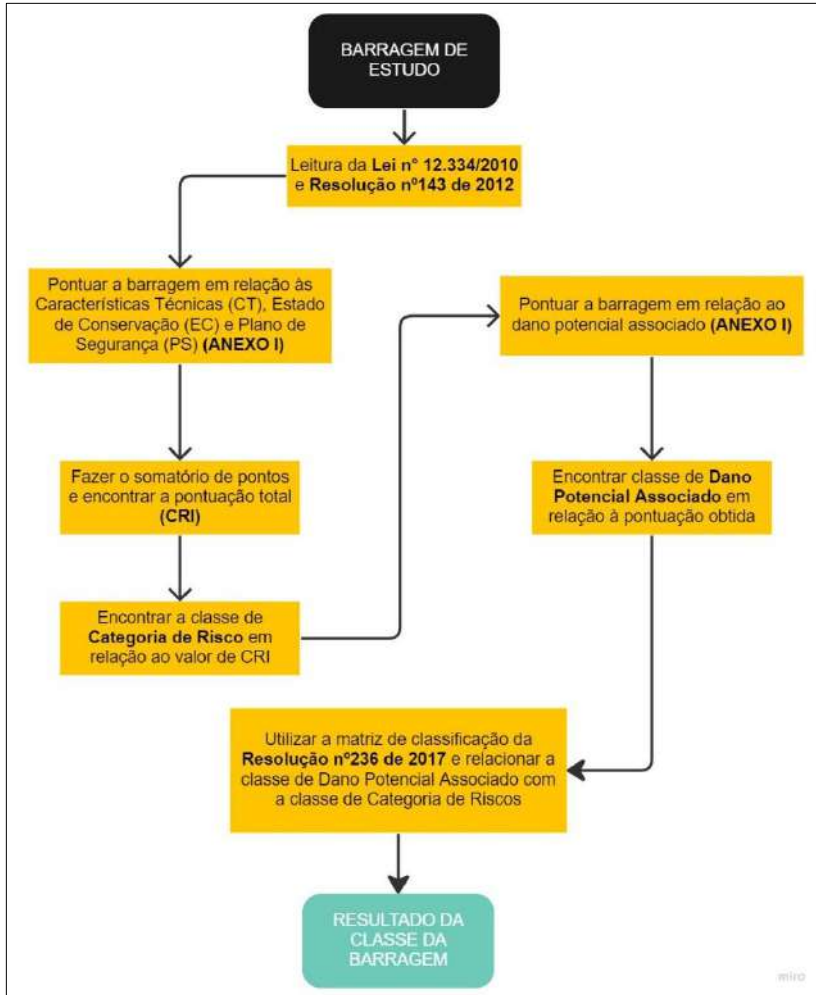
O parâmetro não apresenta significado científico, apenas atua como um meio de mensurar o porte da estrutura.

### 3.3.5 Classificação de Portugal

Para o desenvolvimento dessa classificação de barragens foi utilizado os fundamentos estabelecidos pelo Decreto-lei nº 21/2018 de Portugal (PORTUGAL, 2018) (FIGURA 24).

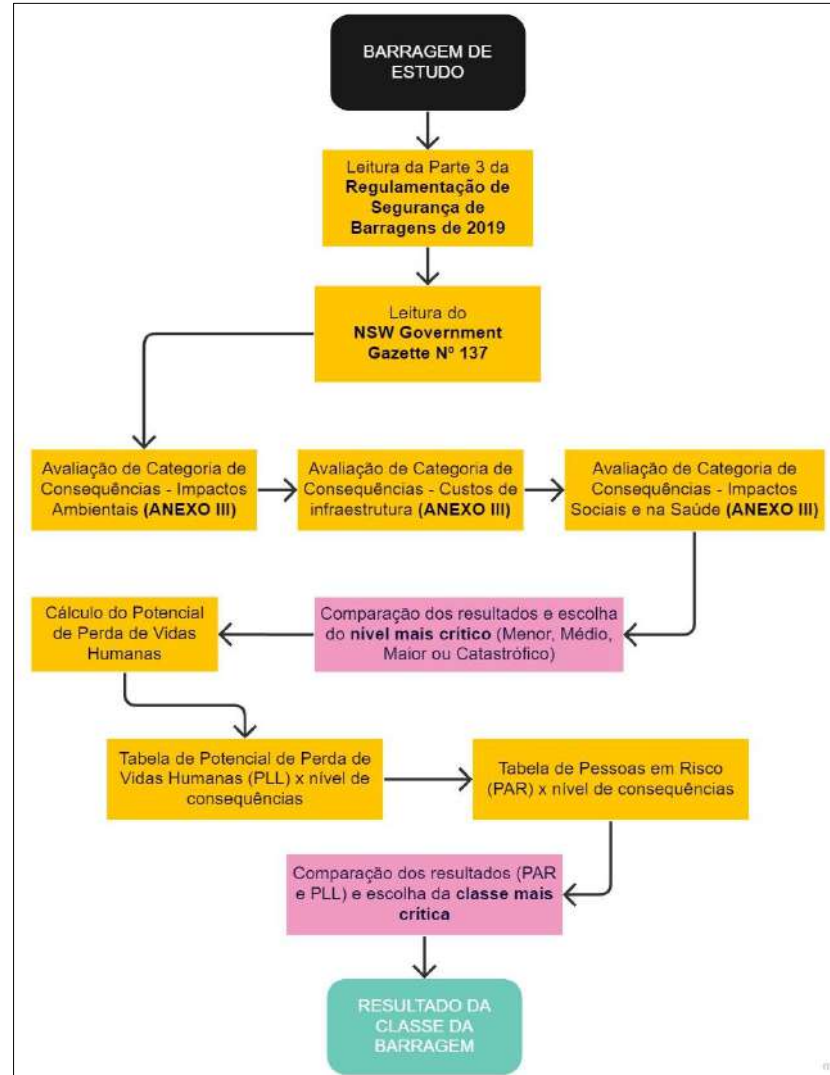
Essa metodologia faz uso da mesma equação utilizada pelo ICOLD (2016), apresentada anteriormente (EQUAÇÃO 7).

Figura 19 - Fluxograma da classificação brasileira (PNSB).



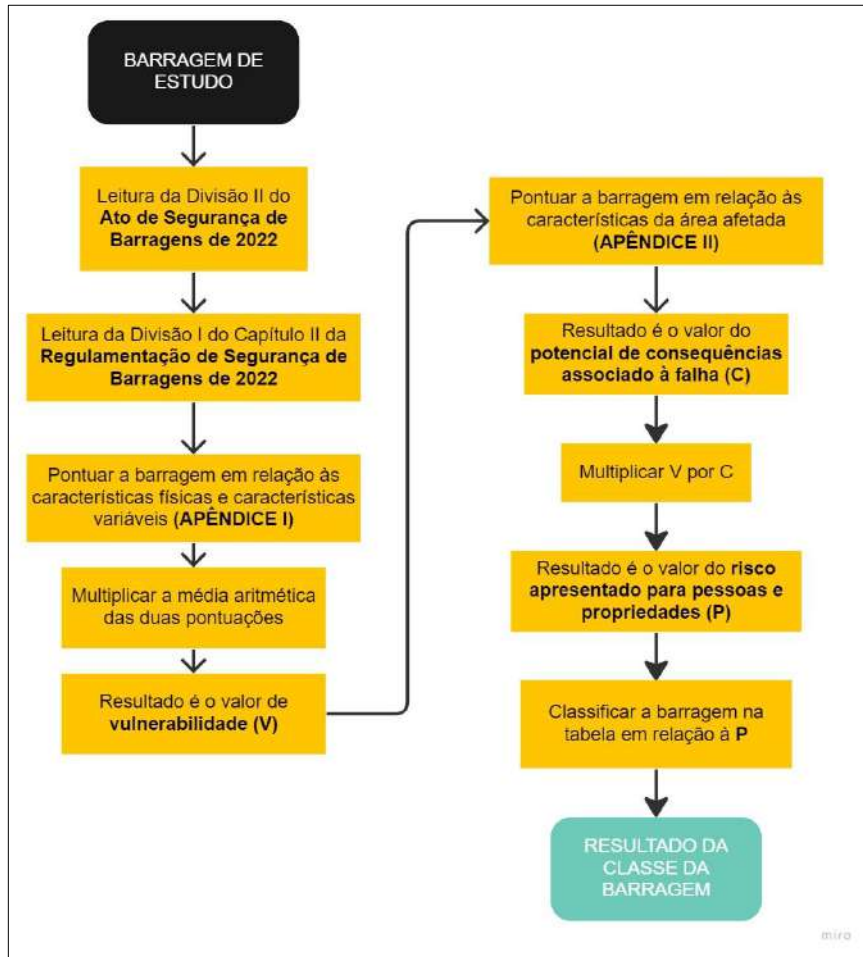
Fonte: Dos autores (2023).

Figura 20 - Fluxograma da classificação de NSW (Austrália).



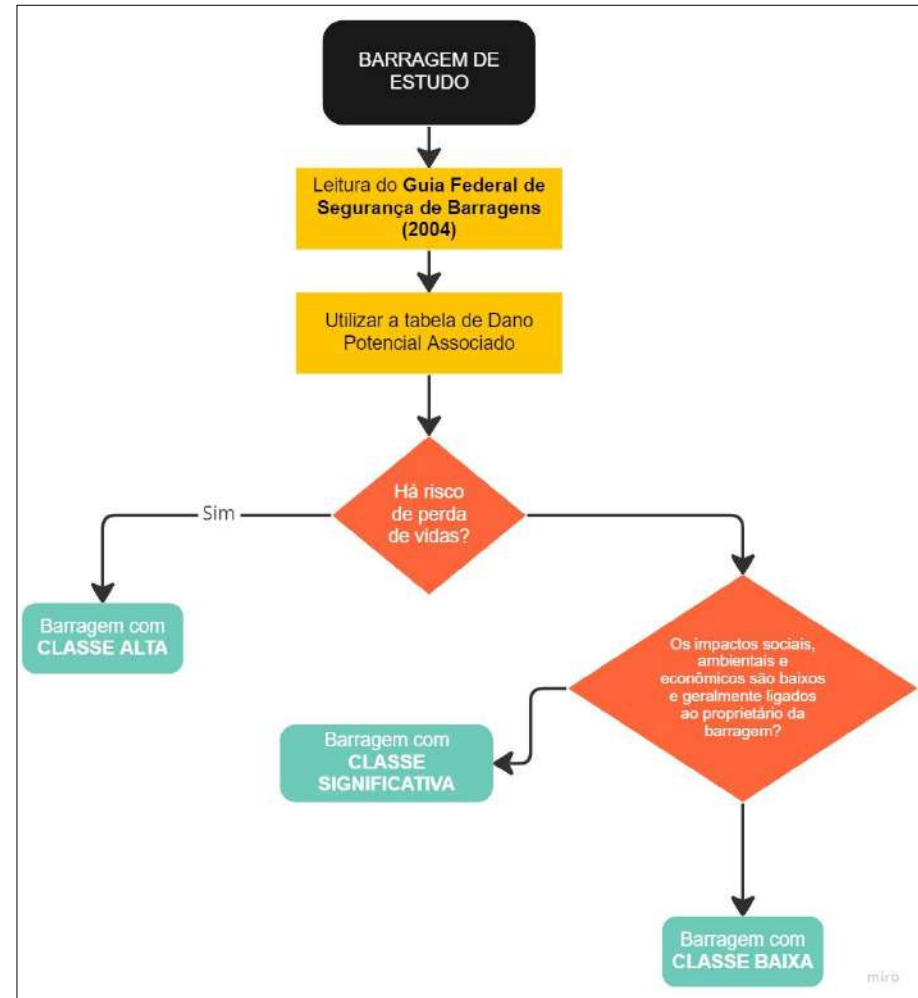
Fonte: Dos autores (2023).

Figura 21 - Fluxograma da classificação de Quebec (Canadá).



Fonte: Dos autores (2023).

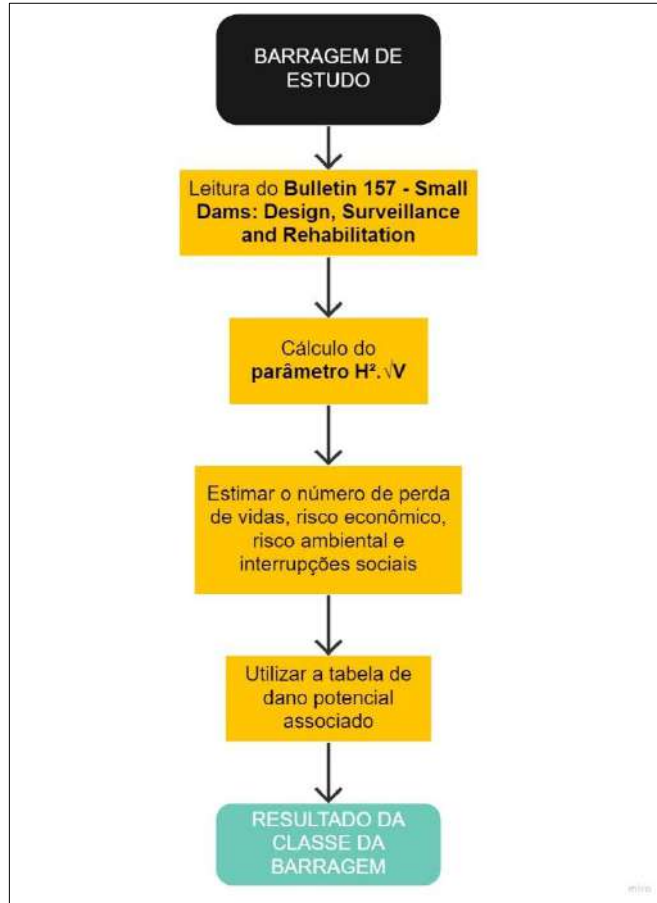
Figura 22 - Fluxograma da classificação do FEMA (EUA).



Fonte: Dos autores (2023).

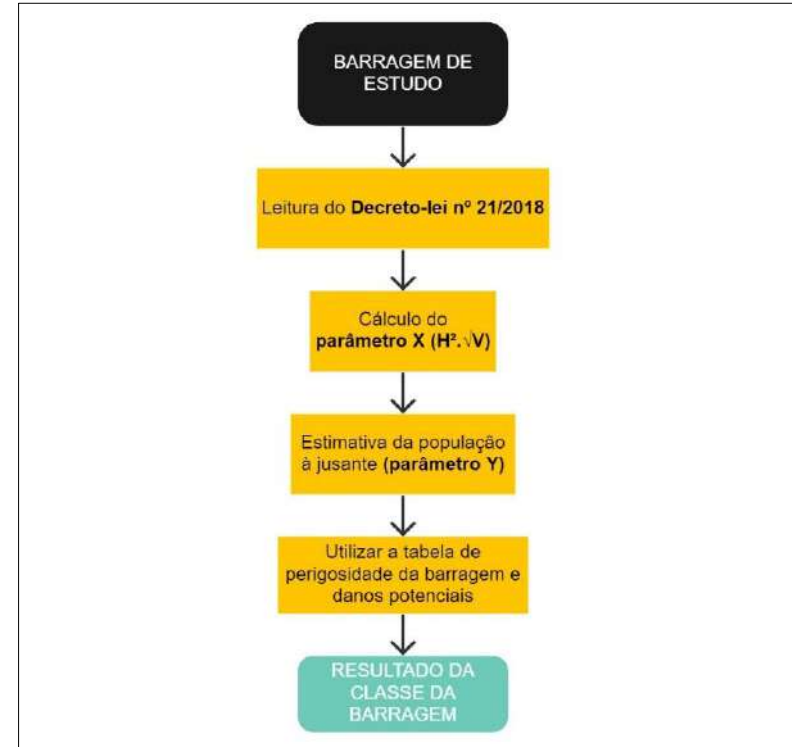


Figura 23 - Fluxograma da classificação do ICOLD (EUA).



Fonte: Dos autores (2023).

Figura 24 - Fluxograma da classificação de Portugal.



Fonte: Dos autores (2023).

### 3.4 Estudo de *Dam Break*

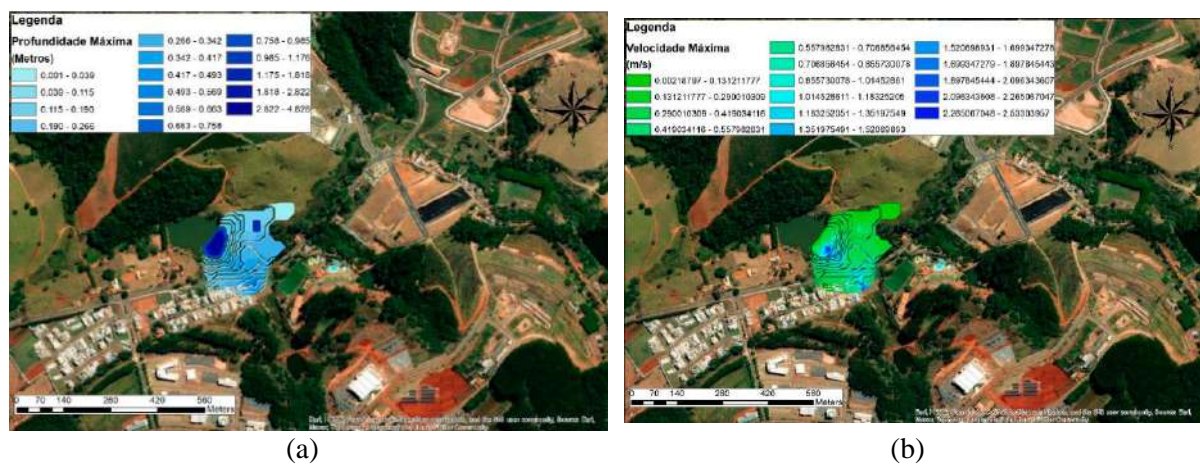
De acordo com Carvalho e Silva (2022), foi utilizado o software HEC-RAS, em sua versão 6.3.1, para simular o rompimento hipotético das estruturas, fazendo-se uso da extensão RASMapper para criação do terreno e vetorização dos elementos de estudo. Para a simulação da brecha e geração do hidrograma de ruptura hipotética, considerou-se *piping* para a barragem de montante e galgamento para a barragem de jusante, utilizando o software HEC-HMS em sua versão 4.10.

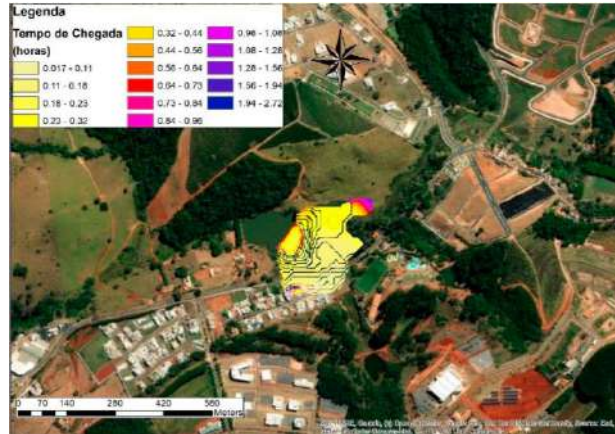
A condição mais crítica para a simulação do rompimento seria para a primeira barragem a montante por galgamento, em um dia chuvoso com uma vazão de descarga decamilenar, vindo a ocorrer por consequência o galgamento do barramento a jusante. Entretanto, para simular essa situação, seria necessário analisar e calcular, a partir de dados pluviométricos de uma estação local, a precipitação máxima provável.

Para o presente trabalho, a mancha da ruptura hipotética foi estimada considerando um dia de sol, ocorrendo *piping* na barragem de montante (Barragem Condomínio Montante), ocasionando galgamento na barragem a jusante (Barragem Condomínio), em que ambas se encontram com sua capacidade total de armazenamento. De acordo com Carvalho e Silva (2022), este seria o cenário mais provável de operação.

Os mapas de inundação obtidos por Carvalho e Silva (2022) e que serão empregados neste trabalho estão apresentados na Figuras 25.

Figura 25 – Envoltória de inundação: (a) Profundidade, (b) Velocidade e (c) Tempo de chegada da onda.





(c)

Fonte: Carvalho e Silva (2022).

É possível observar nos mapas que a envoltória de inundação abrange cerca de 16 imóveis, estando 8 localizados no Condomínio Lagoa dos Ipês, e outros 8, às margens da Avenida Luiz Gomide. Os imóveis em questão são residências unifamiliares construídos em alvenaria de 1 ou 2 pavimentos.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e os dados obtidos pelo Censo de 2010, consta-se que para cada moradia no estado de Minas Gerais residem aproximadamente 3,2 pessoas, resultando em aproximadamente 50 pessoas impactadas devido ao rompimento hipotético das barragens Condomínio Montante e Condomínio.



## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste tópico são apresentadas as classificações dos barramentos de acordo com cada metodologia estudada, bem como uma discussão dos resultados.

### **4.1 Classificação brasileira**

#### **4.1.1 Barragem Condomínio Montante**

De acordo com os critérios para a classificação de barragens estabelecidos na Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012, conforme APÊNDICE III, são apresentados os formulários preenchidos com as características da barragem em questão.

Referente às características técnicas (CT), um somatório equivalente a 18 foi obtido e no quesito estado de conservação (EC), o somatório é igual a 1. E na categoria plano de segurança de barragens (PS), pontuou-se 2. Dessa forma, a pontuação total para a categoria de risco (CRI) é igual a 21, resultando na faixa de classificação baixa por ser menor ou igual a 35.

Tratando-se do Dano Potencial Associado (DPA), o somatório é equivalente a 20, sendo este maior ou igual a 16, resultando na classificação alta quanto ao DPA.

Segundo a Resolução nº 236, 30 de janeiro de 2017 (ANA, 2017), referente a esses resultados a Barragem Condomínio Montante se enquadra na Classe A. Dessa forma, a barragem deve ter uma periodicidade mínima de 5 anos para a revisão periódica de segurança, devendo também apresentar-se inspeções regulares semestralmente, de acordo com a Resolução nº 742, 17 de outubro de 2011 (ANA, 2011).

Para as barragens com Classe A e B é exigido o Plano de Ação de Emergência (PAE), com conteúdo mínimo de acordo com o disposto no ANEXO II (ANA, 2017). Como a barragem foi classificada como Classe A, o PAE se torna obrigatório. Observa-se que dentro das exigências do PAE está o estudo de mancha de inundação com levantamento de população residente na mancha, bem como a descrição das características geológicas, hidrológicas e sísmicas da região.

#### **4.1.2 Barragem Condomínio**

No APÊNDICE IV são apresentados os formulários preenchidos com as características da barragem condomínio.

Referente às características técnicas (CT), resultou-se um somatório equivalente a 18. No estado de conservação (EC), o somatório de pontos é igual a 1 e na categoria plano de segurança

de barragens (PS), pontuou-se 2. Dessa forma, a pontuação total para a categoria de risco (CRI) é igual a 21, resultando na faixa de classificação baixa por ser menor ou igual a 35.

Tratando-se do Dano Potencial Associado (DPA), o somatório ficou equivalente a 20, sendo este maior ou igual a 16, resultando na classificação alta quanto ao DPA.

Segundo a Resolução nº 236, 30 de janeiro de 2017 (ANA, 2017), referente a esses resultados a Barragem Condomínio se enquadra na Classe A, devendo possuir uma periodicidade mínima de 5 anos para a revisão periódica de segurança e apresentar inspeções regulares semestralmente, de acordo com a Resolução nº 742, 17 de outubro de 2011 (ANA, 2011).

Conforme explicitado no Item 4.1.1, o PAE é exigido para a Barragem Condomínio pelo seu enquadramento na Classe A, segundo a Resolução nº 236, 30 de janeiro de 2017 (ANA, 2017), tendo como algumas das exigências do conteúdo mínimo o estudo de mancha de inundação e a descrição geológica, hidrológica e sísmica da região.

Atualmente, de acordo com a classificação já realizada pelo IGAM e cadastrada no SNISB, o CRI e DPA das duas barragens estudadas é médio para ambos os parâmetros, pertencendo a Classe C, devendo a barragem ter uma periodicidade mínima de 10 anos para a revisão periódica de segurança e apresentar inspeções regulares anualmente, de acordo com a Resolução nº 742, 17 de outubro de 2011 (ANA, 2011).

## **4.2 Classificação australiana**

A classificação das barragens objetos de estudo foi realizada pela metodologia do estado australiano de *New South Wales* (NSW), de acordo com os critérios publicados na Regulamentação de Segurança de Barragens em 2019, respeitando as características mínimas preconizadas pela Comissão Australiana de Grandes Barragens (*Australian Commission on Large Dams - ANCOLD*).

### **4.2.1 Barragem Condomínio Montante**

As matrizes de Avaliação de Categoria de Consequências foram utilizadas conforme as características da Barragem Condomínio Montante e foi obtido o nível severidade de danos médio, como apresentado no APÊNDICE V.

O resultado para severidade de danos acompanha os maiores níveis dentro das três matrizes de avaliação. No caso da Barragem Condomínio Montante, uma das características foi avaliada como nível médio de severidade, sendo que o restante é avaliado como nível menor.

Dentro da matriz de Avaliação de Categoria de Consequências – Custo de Infraestrutura, foi avaliado que o custo de manutenções residenciais, comerciais, de infraestrutura na comunidade e reparos ou substituição da barragem seria menor que 10 milhões de dólares australianos, sendo este critério caracterizado como nível menor de severidade.

Para justificar tal escolha, foi feito um comparativo com o acidente ocorrido no município de Brumadinho – MG em 2019. Segundo acordo judicial de reparação integral entre a Vale, empresa responsável pela barragem, e o Governo de Minas, o Ministério Público de Estado, o Ministério Público Federal e a Defensoria Pública de Minas Gerais, assinado em 4 de fevereiro de 2021, ficou determinado um valor estimado de R\$37,7 bilhões tendo em vista a reparação socioeconômica e socioambiental (PORTAL MG, 2021).

A catástrofe, de acordo com o ANDES (2022), foi uma ruptura que descarregou 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração na bacia do Rio Paraopeba. A mancha de inundação alcançou mais de 300 quilômetros, atingindo 18 municípios e afetando 944 mil pessoas, causando também centenas de vítimas fatais.

O somatório do volume das duas barragens analisadas é de 11000 m<sup>3</sup>, de menor escala e com armazenamento apenas de água. Fazendo uma proporção de valores em relação aos volumes, tem-se que o custo de reparação para os danos de uma possível ruptura das barragens Condomínio e Condomínio Montante seria de R\$35 milhões de reais.

A cotação do dólar australiano no dia 27/01/2023 é de 3,66 real brasileiro. Dessa forma, 35 milhões de reais correspondem a 9,44 milhões de dólares australianos. Ainda, pode acontecer desse resultado estar superestimado pelo fato de a barragem conter água e não rejeitos, como no caso de Brumadinho (2019) e, como descrito por Pereira, Cruz e Guimarães (2019), os danos ambientais provenientes do rompimento de barragens de rejeito são mais acentuados que para barragens de contenção de água. De qualquer forma, mesmo com a possibilidade de resultado superestimado, o valor considerado encontra-se na menor categoria dentro dos custos de infraestrutura.

Na matriz de Avaliação de Categoria de Consequências – Impactos Ambientais, no que diz respeito aos ecossistemas, a ruptura da Barragem Condomínio também foi avaliada como nível médio de severidade por se considerar que a falha impactaria nos ecossistemas por um pequeno período, sendo a recuperação natural esperada.

Com o resultado da Avaliação de Categoria de Consequências como médio, é necessário realizar a análise da classificação considerando as tabelas de Perda de Vidas Humanas e de Pessoas em Risco.

Uma simplificação da metodologia de Graham (1999) para o cálculo da Perda de Vidas Humanas, recomendada pelo NSW, foi utilizada. Justifica-se a simplificação dessa metodologia pelo fato de envolver análises profundas sobre o cenário de ruptura, as manchas de inundação e o tempo de aviso, os quais não são foco deste estudo.

Dessa forma, utilizou-se a equação empírica mais crítica (EQUAÇÃO 1), na qual o tempo de aviso é menor que 15 minutos, considerando-se uma ruptura rápida e sem observadores da barragem e de seus indícios de provável ruptura, com aproximadamente 50 pessoas em risco na mancha de ruptura.

$$PLL = 0,5 \times PAR \quad (1)$$

$$PLL = 0,5 \times 50 = 25 \text{ fatalidades}$$

Assim, utilizando o PLL de 25 e o potencial de severidade dos danos como “Médio”, a classificação pelo Potencial de Perda de Vidas Humanas (QUADRO 4) para a Barragem Condomínio Montante é Classe Alta A.

Ainda, deve ser realizada a classificação pelo número de Pessoas em Risco (QUADRO 5). Como foram consideradas 50 pessoas em risco dentro da mancha de inundação e o potencial de severidade dos danos “Médio”, a classificação para a Barragem Condomínio Montante pelo número de Pessoas em Risco é Classe Alta C.

Como a classificação pelo Potencial de Perda de Vidas Humanas resulta em uma classificação mais crítica, a Barragem Condomínio Montante deve seguir essa classificação, sendo a classificação final para o método australiano de NSW como Classe Alta A.

#### **4.2.2 Barragem Condomínio**

Os mesmos critérios utilizados para a Barragem Condomínio Montante foram considerados na classificação da Barragem Condomínio pelo fato de o PAR, o PLL e a área da mancha de inundação não se alterarem. Assim, a classificação segue o nível de severidade de danos médio, como apresentado no APÊNDICE V, e o Potencial de Perda de Vidas Humanas (QUADRO 4) para a Barragem Condomínio, ou seja, a classificação é Classe Alta A.

#### **4.3 Classificação canadense**

A classificação das barragens pela metodologia canadense foi feita analisando as barragens individualmente, seguindo os moldes da província de Quebec, sendo regulamentado pelo *Dam Safety Regulation - DSR* (2022).

### 4.3.1 Barragem Condomínio Montante

Primeiramente calculou-se o valor atribuído à vulnerabilidade da barragem (V) utilizando-se das tabelas de Características Físicas (CF) e Características Variáveis (CV), apresentadas no APÊNDICE I.

A tabela de Características Físicas contém 4 parâmetros, de “a” até “d”. A atribuição dos pontos para uma barragem de terra (a), com fundação de rocha sã (b), com altura de 4 m (c) e capacidade de reservatório de 0,0025 hm<sup>3</sup> (d) corresponde a 10, 2, 1 e 1, respectivamente. Logo, a média aritmética para o CF é expressa através da Equação 4.

$$\overline{M}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

$$\overline{M}_s(CF) = \frac{10 + 2 + 1 + 1}{4} = 3,5$$

As Características Variáveis são compostas por 4 elementos a serem pontuados e são setorizadas de “e” até “h”. O item “f” é referente a sismicidade e é pontuado em relação as zonas divididas no mapa do Canadá. Como a região em que se encontra a barragem analisada não apresenta tremores de terra, foi adotado o menor valor disponível para o item “f”. Assim, a pontuação para uma barragem de aterro com idade (e) igual a 30 anos, sismicidade (f) zona 1, encontrando-se aceitável a condição da barragem (g) e aceitável a confiabilidade das instalações de descarga (h), corresponde a 2,50, 1, 5 e 5, respectivamente. A média aritmética para o CV é calculada através da Equação 4.

$$\overline{M}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

$$\overline{M}_s(CV) = \frac{2,5 + 1 + 5 + 5}{4} = 3,38$$

A tabela com os valores atribuídos pode ser observada no APÊNDICE VI.

De posse das duas médias aritméticas, fazendo a multiplicação entre elas obtém-se o valor de V, como explicitado abaixo pela Equação 5.

$$V = \overline{M}_s(CF) \times \overline{M}_s(CV) \quad (5)$$

$$V = 3,5 \times 3,38 = 11,83$$

A partir do APÊNDICE II é possível associar a situação do entorno da barragem para encontrar o valor numérico do potencial de consequências associado a falha (C). A barragem em questão enquadra-se na Categoria de Alta Consequência por se tratar de uma área habitada

permanentemente contendo 10 ou mais residências e menos de 1.000 residentes. Dessa, forma a pontuação atribuída é igual a 5.

Fazendo a multiplicação entre V e C, obtém-se o valor de P, como mostrado na Equação 6.

$$P = V \times C \quad (6)$$

$$P = 11,83 \times 5 = 59,15$$

Portanto, de acordo com o Quadro 6, esse valor encontra-se no intervalo  $25 \leq P < 70$ , sendo classificada a Barragem Condomínio Montante como Classe C. É importante ressaltar que o Quebec no Canadá possui 4 classes, sendo a Classe C a segunda classe menos crítica. Dessa forma, a Barragem Condomínio Montante poderia se classificar como classe baixa à média.

#### 4.3.2 Barragem Condomínio

Do mesmo modo descrito no tópico anterior, foi realizada a classificação da Barragem Condomínio.

Para as Características Físicas, a atribuição dos pontos para uma barragem de terra (a), com fundação de rocha sã (b), com altura de 7 m (c) e capacidade de reservatório de 8500 m<sup>3</sup> equivalente a 0,0085 hm<sup>3</sup> (d), corresponde a 10, 2, 1,40 e 1, respectivamente. Logo, a média aritmética para o CF é obtida através da Equação 4.

$$\overline{M}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

$$\overline{M}_s(CF) = \frac{10 + 2 + 1,4 + 1}{4} = 3,6$$

Para as Características Variáveis a pontuação para uma barragem de aterro com idade (e) igual a 20 anos, sismicidade (f) zona 1, encontrando-se boa a condição da barragem (g) e aceitável a confiabilidade das instalações de descarga (h), corresponde a 4, 1, 3 e 5, respectivamente. Portanto, a média aritmética para o CV é dada através da Equação 4.

$$\overline{M}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

$$\overline{M}_s(CF) = \frac{4 + 1 + 3 + 5}{4} = 3,25$$

A tabela com os valores atribuídos pode ser observada no APÊNDICE VII.

Logo, a vulnerabilidade ( $V$ ) associada ao barramento é apresentada na Equação 5, multiplicando-se as duas médias aritméticas obtidas anteriormente.

$$V = \overline{M}_s(CF) \times \overline{M}_s(CV) \quad (5)$$

$$V = 3,6 \times 3,25 = 11,70$$

Sendo a situação do entorno da barragem a mesma da Barragem Condomínio Montante, a Barragem Condomínio também se enquadra na Categoria de Alta Consequência, sendo atribuída a pontuação igual a 5. Dessa forma, o valor de  $P$  é apresentado a seguir, de acordo com a Equação 6.

$$P = V \times C \quad (6)$$

$$P = 11,70 \times 5 = 58,50$$

Portanto, de acordo com o Quadro 6, esse valor também se encontra no intervalo  $25 \leq P < 70$ , sendo classificada como Classe C. A Classe C pode ser interpretada entre classes baixa e média.

#### 4.4 Classificação norte-americana

##### 4.4.1 Barragem Condomínio Montante

Na classificação proposta pelo FEMA (2004) o Quadro 7 é utilizado. Como o número de perda de vidas humanas calculado anteriormente pela metodologia de Graham (1999) com simplificações é de 25 fatalidades, considera-se que é provável a perda de vidas humanas, o que automaticamente implica em nível Alto do Dano Potencial Associado da barragem na classificação do FEMA, mesmo que as perdas econômicas, sociais e ambientais não sejam consideradas como altas.

Para a classificação proposta pelo ICOLD (2016) o Quadro 8 é utilizado. O Parâmetro  $H^2 \times \sqrt{V}$  é calculado considerando a altura ( $H$ ) de 4 m da barragem e o volume ( $V$ ) de 0,0025 hm<sup>3</sup>. A Equação 7 é utilizada.

$$H^2 \times \sqrt{V} \quad (7)$$

$$4^2 \times \sqrt{0,0025} = 0,8$$

Mesmo com o Parâmetro  $H^2 \times \sqrt{V}$  sendo considerado como baixo por ser menor que 20, o Risco Econômico ser considerado moderado, o Risco Ambiental considerado como baixo ou moderado e as Interrupções Sociais consideradas de nível regional, a Barragem Condomínio Montante é classificada com Dano Potencial Associado Alto (III) pela metodologia proposta pelo ICOLD, pelo número de Perda de Vidas Humanas ser maior que 10.

#### 4.4.2 Barragem Condomínio

Da mesma forma feita para a Barragem Condomínio Montante, na classificação proposta pelo FEMA (2004) o Quadro 7 é utilizado e o número de Perda de Vidas Humanas de 25 fatalidades implica em nível Alto do Dano Potencial Associado da barragem na classificação do FEMA, mesmo que as perdas econômicas, sociais e ambientais não sejam consideradas como altas.

Para a classificação proposta pelo ICOLD (2016), o Parâmetro  $H^2 \times \sqrt{V}$  é calculado considerando a altura (H) de 7 m da barragem e o volume (V) de 0,0085 hm<sup>3</sup>. A Equação 7 é utilizada.

$$H^2 \times \sqrt{V} \quad (7)$$

$$7^2 \times \sqrt{0,0085} = 4,5$$

Novamente, mesmo com o Parâmetro  $H^2 \times \sqrt{V}$  sendo considerado como baixo por ser menor que 20, o Risco Econômico ser considerado moderado, o Risco Ambiental considerado como baixo ou moderado e as Interrupções Sociais consideradas de nível regional, a Barragem Condomínio é classificada com Dano Potencial Associado Alto (III) pela metodologia proposta pelo ICOLD, pelo número de Perda de Vidas Humanas ser maior que 10.

#### 4.5 Classificação portuguesa

De acordo com a lei portuguesa (PORTUGAL, 2018), os barramentos analisados são contemplados no Regulamento de Pequenas Barragens por se tratarem de barragens com altura inferior a 10 m ou com altura superior a 10 m e inferior a 15 m cujo reservatório tenha capacidade igual ou inferior a 1 hm<sup>3</sup>.

Contudo, devem ser classificadas em função da perigosidade (X) e dos danos potenciais associados (Y). O valor de Y relacionado aos danos potenciais associados, cuja avaliação é realizada pelo número de edificações fixas com caráter residencial permanente, é o mesmo para os dois barramentos, sendo equivalente a 16.

##### 4.5.1 Barragem Condomínio Montante

Inicialmente calculou-se o valor numérico associado a perigosidade da barragem (X), sendo um barramento de altura 4 m e volume 0,0025 hm<sup>3</sup>, X é obtido pela Equação 7. Analisando o Quadro 9, a barragem se enquadra no intervalo  $Y \geq 10$  e  $X < 1000$ , correspondente



a Classe II, considerada como média por ser a classificação intermediária entre 3 classes (I, II e III).

$$H^2 \times \sqrt{V} \quad (7)$$

$$4^2 \times \sqrt{0,0025} = 0,8$$

#### 4.5.2 Barragem Condomínio

Da mesma forma foi calculado a perigosidade da barragem (X), sendo um barramento de altura 7 m e volume 0,0085 hm<sup>3</sup>, X é obtido pela equação 7. Portanto, de acordo com o Quadro 9 a barragem se enquadra no intervalo  $Y \geq 10$  e  $X < 1000$ , correspondente a Classe II, considerada como média por ser a classificação intermediária entre 3 classes (I, II e III).

$$H^2 \times \sqrt{V} \quad (7)$$

$$7^2 \times \sqrt{0,0085} = 4,5$$

#### 4.6 Comparação entre classificações

O Quadro 11 apresenta um resumo das classificações obtidas para as duas barragens de estudo.

Quadro 11 – Resumo das Classificações.

<b>Classificação (País)</b>	<b>Classe Barragem Condomínio Montante</b>	<b>Classe Barragem Condomínio</b>
Lei nº12.334/2010 (Brasil)	<b>CLASSE A</b> CRI <sup>(1)</sup> Baixo e DPA <sup>(2)</sup> Alto	<b>CLASSE A</b> CRI <sup>(1)</sup> Baixo e DPA <sup>(2)</sup> Alto
Estado de NSW/2019 (Austrália)	<b>CLASSE ALTA A</b> PLL <sup>(3)</sup> alto A e PAR <sup>(4)</sup> alto C	<b>CLASSE ALTA A</b> PLL <sup>(3)</sup> alto A e PAR <sup>(4)</sup> alto C
Estado de Quebec/2022 (Canadá)	<b>CLASSE C</b>	<b>CLASSE C</b>
FEMA/2004 (EUA)	<b>ALTO</b>	<b>ALTO</b>
ICOLD/2016 (EUA)	<b>ALTO (III)</b>	<b>ALTO (III)</b>
Decreto-lei nº 21/2018 (Portugal)	<b>CLASSE II</b>	<b>CLASSE II</b>

NOTA: (1) Categoria de Risco, (2) Dano Potencial Associado, (3) Potencial de Perda de Vidas Humanas e (4) Pessoas em Risco.

Fonte: dos Autores (2023).

A classificação das barragens quando realizada pelas diretrizes do Brasil, pode variar entre quatro classes, sendo elas A, B, C e D, nas quais os barramentos incluídos na categoria A são os mais críticos. Há dois tópicos a serem avaliados: a Categoria de Risco (CRI) e o Dano Potencial Associados (DPA). Ambos são julgados em alto, médio ou baixo.

Para definir qual o nível da categoria de risco, três subgrupos são avaliados, sendo eles as Características Técnicas (CT), com 6 itens, o Estado de Conservação (EC), também contemplando 6 itens e o Plano de Segurança da Barragem (PS), com mais 5 itens. Então, a depender do somatório desses itens, define-se o grau do CRI.

O DPA é avaliado dentro de quatro critérios. Dentre eles, no que diz respeito a possíveis perdas de vidas humanas, caso existam pessoas residindo à jusante do talude, independentemente da quantidade, implica-se com que o nível do DPA seja alto. Quando o DPA é considerado alto, independente do resultado do CRI, a barragem se enquadra na Classe A. Foi observado que a classificação cadastrada no SNISB consta como DPA médio para ambas as barragens, o que não está em conformidade com a situação de jusante, onde há existência de residências.

No estado de NSW da Austrália, uma barragem pode ser classificada em sete níveis, sendo eles: Muito Baixo, Baixo, Significativo, Alto C, Alto B, Alto A e Extremo. A avaliação da categoria de consequências constitui um passo importante da classificação, sendo que alguns detalhes são analisados. Em destaque, é possível perceber que a classificação de NSW é a única que analisa o risco ambiental em uma tabela própria com 5 critérios, na qual características como ecossistemas e a existência de animais ameaçados na região de jusante são avaliadas. A questão da qualidade da água também é um diferencial, porém pode-se perceber que esse critério é analisado pelo fato da regulamentação do estado de NSW abranger barragens com qualquer tipo de material armazenado, diferentemente do Brasil, por exemplo, que possui regulamentações específicas para barragens de acúmulo de água e para barragens de rejeito. Ainda, o custo de recuperação e reparo de infraestruturas também é analisado.

Além disso, a tabela de avaliação da categoria de consequências relacionada aos riscos sociais e à saúde do estado de NSW, a qual é analisada em 8 critérios, possibilita uma análise mais detalhada sobre critérios importantes da sociedade, como o número de empresas e empregos afetados e a interrupção de meios de comunicação, gás, água, energia e meios de transporte, os quais não são analisados nos outros países estudados. Por fim, o estado australiano de NSW prioriza a classificação quanto à perda de vidas humanas, sendo que uma ou mais fatalidades implicam em classe alta (A, B ou C) ou extrema.

A classificação canadense, assim como a brasileira, varia em quatro classes, A, B, C e D, sendo a Classe A mais extrema. Para avaliar uma barragem 2 quesitos principais são considerados, sendo eles a vulnerabilidade do barramento (a qual abrange as características físicas em 4 critérios e as características variáveis também em 4 critérios) e as características da área afetada, separadas em 6 categorias de consequência. Diferente dos demais países, o

Canadá é o único que leva em consideração a sismicidade na região onde a barragem está implantada.

Nota-se que a classificação proposta pelo FEMA nos Estados Unidos é bem enxuta e fácil de ser aplicada, atingindo o propósito de criação dessa classificação. A metodologia é realizada em relação ao Dano Potencial Associado, sendo dividida entre níveis Baixo, Significativo e Alto. Resumidamente, a classificação é baseada apenas em dois critérios: Perda de Vidas Humanas e Perdas Econômicas, Ambientais e Sociais. O FEMA não traz outros detalhes, o que traz um teor de subjetividade à classificação. Basicamente, se existir probabilidade de uma ou mais fatalidades, o Dano Potencial Associado é de nível alto, não importando as Perdas Econômicas, Ambientais e Sociais.

O ICOLD, nos Estados Unidos, possui uma classificação simples, dividida entre níveis Baixo (I), Médio (II) e Alto (III), ligados ao Dano Potencial Associado, que considera 5 critérios na avaliação, sendo eles relacionados às características físicas da barragem, à perda de vidas, ao risco econômico, ao risco ambiental e às interrupções sociais. Diferentemente da classificação brasileira, do estado australiano de NSW e do FEMA, o ICOLD considera que o número de vidas em risco apenas implica na classificação Alto (III) quando este é maior que 10.

A legislação portuguesa divide a classificação entre classes I, II e III, sendo a Classe I a mais crítica. Assim como a classificação do ICOLD, Portugal utiliza as características físicas da barragem relacionadas a uma equação empírica dependente de sua altura e de sua capacidade volumétrica. Diferentemente dos outros países, a legislação portuguesa relaciona o número de edificações na classificação ao invés de analisar o número de pessoas isoladas em risco. A barragem apenas será pertencente à Classe I quando for considerada de grande porte (característica física medida pela equação empírica) atrelada à existência de mais de 10 residências de caráter permanente em risco.

Em relação aos outros países estudados nos quais a probabilidade de uma ou mais fatalidades implica nas classificações mais críticas, as classificações do ICOLD, do Canadá (Quebec) e de Portugal deixam de ser submetidas primordialmente ao risco potencial à vida e consideram apenas barramentos com cenários mais catastróficos, baseado em suas dimensões, como implicantes da classe mais alta de periculosidade. Essa característica das três classificações citadas está atrelada à uma maior aceitação de desastres em relação às outras classificações estudadas. No Quadro 12 é apresentado um resumo com algumas características de classificação de cada país, para melhor visualização.

Quadro 12 – Resumo comparativo das classificações estudadas.

<b>Classificação (País)</b>	<b>Subjetividade</b>	<b>Conhecimento Técnico Necessário</b>	<b>Quantidade de critérios avaliativos</b>	<b>Severidade em relação ao número de fatalidades</b>	<b>Número de Classes</b>
<b>Lei nº12.334/2010 (Brasil)</b>	Baixa	Alto	21	Alta	4
<b>Estado de NSW/2019 (Austrália)</b>	Baixa	Alto	14	Alta	7
<b>Estado de Québec/2022 (Canadá)</b>	Média	Alto	9	Média	4
<b>FEMA/2004 (EUA)</b>	Alta	Médio	2	Alta	3
<b>ICOLD/2016 (EUA)</b>	Alta	Médio	5	Média	3
<b>Decreto-lei nº 21/2018 (Portugal)</b>	Alta	Médio	2	Baixa	3

Fonte: dos Autores (2023).

Dentre as diretrizes para a classificação de barragens dos países estudados, os níveis de classificação não são iguais quando comparados entre si, sendo que Portugal e os Estados Unidos (tanto no FEMA quanto ICOLD) possuem 3 classes, o Brasil e o Canadá (Quebec) possuem 4 classes e a Austrália (NSW), por sua vez, apresenta 7 classes.

Mesmo com a diferença entre os níveis de classificação é possível comparar a intensidade da classificação dos países. As classificações do Brasil e dos EUA enquadram as barragens estudadas em seus níveis mais críticos, enquanto a Austrália não classifica as barragens no nível mais crítico possível, enquadrando-as no segundo nível mais crítico, sendo ela a classificação com níveis mais fragmentados entre os países analisados. Dessa forma, os três países citados consideram que as barragens possuem um alto nível de periculosidade.

Os resultados para classificação portuguesa, por sua vez, demonstraram um nível intermediário. O Canadá também apresentou um resultado similar, sendo que em Portugal a classificação, que é dividida em três partes, resultou no segundo nível, enquanto no Canadá, com a divisão em quatro classes, resultou-se no segundo nível. Sendo assim, dos países estudados, Portugal e Canadá possuem as classificações mais amenas. Tal fato pode ser justificado pois esses dois países são menos severos em relação aos possíveis danos permanentes causados pela ruptura do barramento.

Vale ressaltar que as classificações brasileira e canadense, mesmo possuindo o mesmo número de classes conforme demonstrado no Quadro 12, possuem resultados diferentes de classe para a barragem em cascata, sendo a estrutura categorizada em Classe A no Brasil e em

Classe C no Canadá, com a designação de Classe A como sendo o nível mais crítico para ambas as classificações.

Observou-se que os métodos de classificação dos EUA (FEMA e ICOLD) e de Portugal, são os mais simples dentre as diretrizes dos países estudados. Apesar de toda classificação demandar de profissionais qualificados para a sua realização e da execução do estudo de mancha de inundação, a menor complexidade facilita a categorização do barramento para os responsáveis pela classificação.

Conforme pode-se observar no Quadro 12, o nível de subjetividade da classificação proposta pelo FEMA (2004) foi considerado alto e não requer alto nível de conhecimento técnico, por não possuir avaliação de muitos critérios. Já a classificação brasileira possui baixo nível de subjetividade, necessitando alto nível de conhecimento técnico para avaliação de todos os quesitos presentes na regulamentação. Mesmo com a diferença entre as duas classificações comparadas, sendo a classificação proposta por FEMA mais enxuta que a proposta no Brasil, ambas apresentaram resultados equivalentes (classe alta).

Como discutido por Lima et al. (2021), geralmente, a conformidade com as regulamentações para a garantia da segurança pode tornar as atividades inviáveis para a manutenção de pequenas barragens, pois essas geralmente não são construídas para gerar lucros, como no caso das barragens estudadas neste trabalho. Assim, os autores levantaram a necessidade de criação de critérios específicos e simplificados para a classificação brasileira de pequenas barragens. Pereira (2019) faz a mesma observação, destacando pontos de melhoria na PNSB, como o fato de algumas práticas dessa legislação se aplicarem majoritariamente às barragens de médio e grande porte. No entanto, um ponto de atenção é o fato de essas simplificações acarretarem num maior grau de subjetividade, podendo abrir brechas para erros de classificação.

Ainda, pode-se perceber que como há existência de infraestruturas à jusante do barramento, independentemente dos demais critérios de avaliação, resulta-se em níveis de classificação mais críticos para a barragem em cascata estudada neste trabalho.

Em síntese, todas as classificações constituem um ponto importante para o controle de riscos associados a possível ruptura da barragem, sendo que as classes das barragens designarão a frequência de inspeções regulares e revisões periódicas de segurança, o grau de monitoramento da estrutura e detalhamento do Plano de Ação de Emergência no caso de falha.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusão

Neste trabalho foi realizada uma comparação entre a classificação de barragens brasileira, preconizada pela Lei nº 12.334/2010, e algumas regulamentações internacionais relevantes para a segurança de barragens, com o objetivo de se conhecer as metodologias mais utilizadas no mundo e avaliar as diferenças entre elas e o método utilizado no Brasil. Para isso, duas barragens de acúmulo de água e em cascata, localizadas no campus da Universidade Federal de Lavras em Minas Gerais, foram utilizadas como objeto de estudo. As classificações internacionais estudadas foram a Regulamentação de Segurança de Barragens do estado australiano de *New South Wales* (NSW Government Gazette, 2019), a regulamentação do estado canadense de Quebec (*Dam Safety Regulation*, 2022), as regulamentações utilizadas pelo FEMA (FEMA, 2004) e pelo ICOLD (ICOLD, 2016) nos Estados Unidos e o Decreto-lei nº 21/2018 de Portugal (PORTUGAL, 2018).

Ambos os barramentos estudados se encontram sem anomalias ou condições que representem a instabilidade dos taludes e, mesmo considerando-se o fato de a Barragem Condomínio estar atualmente vazia, a existência de residências de caráter permanente e a rodovia MG-335 a jusante implicam na classificação de nível mais alto pela regulamentação brasileira (Classe A) e norte-americana (FEMA e ICOLD) e em nível considerado alto na regulamentação australiana. No Canadá e em Portugal as classes dessas barragens resultaram em níveis intermediários.

Durante os estudos, observou-se em um relatório de inspeção de segurança especial de 2019 que a Universidade Federal de Lavras optou pela descaracterização dos dois maciços pelo fato da manutenção e inspeção de barragens de Classe A e a elaboração do PAE no Brasil serem onerosas para a instituição. Porém, vale ressaltar que essas barragens possuem caráter de amortecimento de cheias, sendo que a existência delas contribui para alguns bairros do município de Lavras.

Caso as barragens sejam mantidas, é recomendado que a UFLA realize a limpeza do talude a jusante da Barragem Condomínio Montante e que seja feita a reabilitação do extravasor em conjunto com o devido estudo hidrológico da bacia, dando base para o cálculo do trânsito de cheias do reservatório. Estas questões são importantes para definir primeiramente, o cenário mais representativo para o estudo de *Dam Break*.

Por fim, observou-se o alto nível de detalhamento e robustez da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 e que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens no Brasil,

em relação às práticas internacionais estudadas, considerando a quantidade de critérios avaliativos de cada uma delas. Considera-se que o objetivo deste trabalho, sendo ele a avaliação das diferenças entre a classificação da PNSB no Brasil e as metodologias de classificação internacionais estudadas, foi atingido.

## **5.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Como sugestões para trabalhos futuros, sugere-se a utilização de um estudo para determinação da mancha de inundação mais representativo para as barragens estudadas, considerando os cenários mais críticos, incluindo a barragem da FAPEMIG, não pertencente a Universidade Federal de Lavras, localizada à jusante. Após o estudo com o cenário mais crítico é importante o cadastro dos indivíduos residentes dentro da mancha obtida, para melhor conhecimento do número de pessoas em risco e elaboração do PAE, além de serem utilizadas formas de se estimar o número de indivíduos transientes.

Para o desenvolvimento das classificações com maior precisão, recomenda-se a realização de campanhas de investigação geológica-geotécnicas nos maciços, bem como a instalação de instrumentações de monitoramento para um melhor entendimento dos materiais constituintes da barragem e da sua linha freática.

Além disso, a metodologia de classificação do NSW da Austrália requer o cálculo de perdas de vidas. Neste trabalho, foi utilizada uma simplificação deste parâmetro, portanto aconselha-se a utilização do cálculo de forma integral.

Vale ressaltar que as classificações realizadas nesse trabalho são de uso estritamente acadêmico, pelo fato de terem sido utilizadas simplificações na obtenção dos resultados. Assim, este trabalho não deve ser utilizado para outras finalidades.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Geração de Manchas para Classificação de Barragens Quanto ao Dano Potencial Associado - Metodologia Simplificada**, ANA. Brasília, 2017. 43p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Guia Prático de Pequenas Barragens. **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens**, v. 8, ANA. Brasília, 2016. 130p.

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

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Resolução nº 91, de 02 de abril de 2012**. Estabelece a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança de Barragem e da Revisão Periódica de Segurança da Barragem [...]. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Resolução nº 236, de 30 de janeiro de 2017 (alterada pela Resolução nº 121, de 9 de maio de 2022)**. 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 [...]. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Resolução nº 742, de 17 de outubro de 2011**. Estabelece a periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das inspeções de segurança regulares de barragem, conforme art. 9º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Serviços Analíticos e Consultivos em Segurança de Barragens**, Produto 3 – Classificação de Barragens: Melhores Práticas Nacionais e Internacionais. ANA, Brasília, 2013. 103p.



AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Resolução nº95, de 7 de fevereiro de 2022**. Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (AGERH). **Cartilha de Segurança de Barragens**. ANA. Brasília, 2020. 28p.

ANDES – SINDICATO NACIONAL DOS DOCENTES DAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR. **Três anos após o rompimento da barragem de Brumadinho (MG), atingidos ainda cobram justiça**, 2022. Disponível em: <https://www.andes.org.br/conteudos/noticia/tres-anos-apos-o-rompimento-da-barragem-de-brumadinho-mG-atingidos-ainda-cobram-justica1>. Acesso em: 31 jan. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS - CNRH. **Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012**. Estabelece os critérios gerais para classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e volume do reservatório. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 04 de set. 2012b.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS - CNRH. **Resolução nº 144, de 10 de julho de 2012**. Estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

CALIFORNIA DEPARTMENT OF WATER RESOURCES, Site Pixel. Disponível em: <https://pixel-ca-dwr.photoshelter.com/galleries/C0000OxvlgXg3yfg/G00003Y CcmDTx48Y /Oroville-Spillway-Incident>. Acesso em: 07 de jul. 2022.

CANADIAN DAM ASSOCIATION (CDA). **Dams in Canada**. Ottawa, 2019.

CANADIAN DAM ASSOCIATION (CDA). **Dam Safety Guidelines 2007 (2013 Edition)**. 2013.

CARDOSO, I. F.; COSETTI, J.; BERNARDO, L. M.; SILVA, M. G. da F. M. da. **Análise de anomalias em barragens da bacia do rio Itaúnas**. Esfera Acadêmica Tecnologia, Vitória, v. 6, n. 2, p. 26-50, 2021.

CARVALHO, M. C. P; SILVA, L. G. V. **Análise de ruptura hipotética para barragens em cascata**. 54 p., Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2022.

ENGWHERE. **Barragens de concreto**, São Tomás de Aquino, 2018. Disponível em: <https://www.engwhere.com.br/barragem-de-concreto/>. Acesso em: 12 jul. 2022.

ERSOY, B.; HASELSTEINER, R. The seepage analysis of the embankment dams of flood retention basin in Poland. In: 26th International Commission on Large Dams Congress, Vienna, 2018. **Proceedings...** pp. 1635-1646. Vienna, 2018.

FEMA. FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. **Federal Guidelines for Dam Safety: Hazard Potential Classification Systems for Dams**. FEMA 333, 2004.

FOSTER, M; FELL, R; SPANNAGLE, M. The statistics of embankment dam failures and accidents. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 37, n. 5, 2000.

GAIOTO, N. **Introdução ao projeto de barragens de terra e de enrocamento**. São Carlos: Ed. USP São Carlos, Brasil. 126p, 2003

GRAHAM, W. J. **A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure**, DSO-99-06, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado. Disponível em: <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/TechDev/DSOTechDev/DSO-99-06.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Carta do Brasil – Escala 1:50.000 Folha SF-23-X-C-I-1**. 1ª ed. 1975.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Rompimento da Barragem de Fundão: Documentos relacionados ao desastre da Samarco em Mariana/MG**. Brasília, 2020. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/cites-e-comercio-exterior/cites?id=117>. Acesso em: 20 jun. 2022.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). *Bulletin 157 - Small Dams: Design, Surveillance and Rehabilitation*. 141 p. 2016.

KOSKINAS, A.; TEGOS, A.; TSIRA, P.; DIMITRIADIS, P.; ILIOPOULOU, T.; PAPANICOLAOU, P.; KOUTSOYIANNIS, D.; WILLIAMSON, T. Insights into the Oroville Dam 2017 Spillway Incident. *Geosciences MDPI*, v. 9, n. 1, p. 37, 2019.

LIMA, D. A. de; LIMA, G. T. N. P. de; JÚNIOR, V. E. M.; FAIS, L. M. C. F. Application of a simplified methodology for classification of small dams in cascade. *Rev. Ambient. Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 2021.

MINAS GERAIS. **Lei nº 23.291, de 25 de fevereiro de 2019**. Institui a política estadual de segurança de barragens. Minas Gerais Diário do Executivo, 2019.

MORGENSTERN, N. R.; VICK, S.G.; VIOTTI, C. B.; WATTS, B. D. **Relatório sobre as Causas Imediatas da Ruptura da Barragem de Fundão**. Comitê de Especialistas para Análise da Ruptura da Barragem de Rejeitos de Fundão, 2016. Disponível em: <https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2017/10/relatorio-sobre-as-causas-imediatas-da-ruptura-da-barragem-de-fundao.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2022.

NAVA, F. R. **Pequenas Barragens: Uma oportunidade de desenvolvimento científico, técnico e regulamentador**. 190 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental) – Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2018.

NSW GOVERNMENT GAZETTE. **Dams Safety New South Wales – Societal and individual risk rating methodology for Dams Safety Act 2015**. No 137. 2019.

PAIVA, C. A.; FILHO, J. F. do P. **Gestão empresarial de emergências: uma análise dos Planos de Ação Emergencial de barragens de alto dano potencial associadas instaladas no município de Ouro Preto/MG**. Gestão da Produção, Operações e Sistemas (GEPROS), Bauru, v. 15, n. 2, p. 111-134, 2020.

PEREIRA, C. E.; VISEU, M. T.; MELO, J. F.; MARTINS, T.; SALLA, M. R.; MOTA, K. R. R. **Comparação entre modelos simplificados e o modelo HEC-RAS no estudo de áreas de inundação para o caso de Minas Gerais, Brasil**. *Recursos Hídricos*, v. 38, n. 1, 2017.

PEREIRA, L. F.; CRUZ, G. de B.; GUIMARÃES, R. M. F. **Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra.** Journal of Environmental Analysis and Progress, Recife, v. 04, n. 02, p. 122-129, 2019.

PEREIRA, L. F. **Segurança de barragens no Brasil: um breve comparativo com a legislação internacional e análise da influência da cobertura do solo de APPs sobre manchas de inundação (estudo de caso da PCH Pedra Furada, Ribeirão – PE).** 128 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2019.

PERINI, D. S. **Estudos dos processos envolvidos na análise de riscos de barragens de terra.** 128 p., Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

PORTAL MG. **Entenda o Acordo Judicial,** 2021. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/pro-brumadinho/pagina/entenda-o-acordo-judicial>. Acesso em: 31 jan. 2023.

PORTUGAL. **Decreto-Lei 344/2007.** Diário da República, 1ª série – Nº 198 – 15 de outubro de 2007.

PORTUGAL. **Decreto-Lei 21/2018.** Diário da República, 1ª série — Nº 62 — 28 de março de 2018.

POSSAN, E. **Modulo I - barragens: Aspectos Legais, Técnicos e Socioambientais.** Barragens de Concreto. Curso Segurança de Barragens. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Brasília, 2020.

QUEBEC. **Dam Safety Act.** Gazette officielle du Québec of 26 December 2021. Disponível em: <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/en/document/cs/s-3.1.01>. Acesso em: 19 dez. 2022.

QUEBEC. **Dam Safety Regulation.** Gazette officielle du Québec of 26 December 2021. Disponível em: <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/en/document/cr/s-3.1.01,%20r.%201>. Acesso em: 19 dez. 2022.

REVISTA MINERAÇÃO E SUSTENTABILIDADE. **Seminário internacional em MG debate gestão de barragens**, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://revistamineracao.com.br/2018/01/23/seminario-internacional-em-mg-debate-gestao-de-barragens/>. Acesso em: 21 jul. 2022.

ROMANINI, A. **Introdução ao Projeto de Barragens de Terra**. 1 Ed. Sinop, Mato Grosso, 2020.

ROSSI, C. L. C. U. **Proposta de abordagem simplificada para avaliação dos efeitos oriundos da ruptura de barragens**. 2020. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

SANTOS, W. A. M. **Estudo das condições gerais da barragem de Itans no município de Caicó/RN**. 58 f. Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA, Campus Angicos, Angicos, 2019.

SBB ENGENHARIA. **Fissuras longitudinais na crista de uma barragem de terra instrumentada com pares de pinos**. [2015]. 1 fot., color., JPG, 174 KB, 220 dpi, 1299x478. Disponível em: [https://biblioteca.ana.gov.br/sophia\\_web/acervo/detalhe/66095](https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/66095). Acesso em: 05 jul. 2022.

SCHULTZ, B. **Irrigation, drainage and flood protection in a rapidly changing world**. *Irrigation and Drainage*, Delft, The Netherlands, v.50, 2011.

SISTEMA DE OUTORGA DE ÁGUA DO RIO GRANDE DO SUL (SIOUT). **Relatório das vistorias de nível I**, 30p., 2019.

TERCINI, O. T.; ANDREETTA, A. B.; JUNIOR, E. C. **Estudos de Dam Break**. In: II Encontro Nacional de Desastres. Evento *on-line*. 2020.

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA). **Relatório de Inspeção de Segurança Especial de Barragens**. 53 p. 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA). **Inspeção de Segurança Regular de Barragens: barragens próximas ao condomínio Lagoa dos Ipês (1 e 2)**. 57 p. 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG). **Dois anos após a tragédia de Brumadinho, danos ainda são desconhecidos**. Notícias UFMG, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/dois-anos-apos-a-tragedia-de-brumadinho-danos-ainda-sao-desconhecidos>. Acesso em: 20 jul. 2022.

USINA HIDRELÉTRICA QUEIMADO. **Conheça o Programa de Gestão de Processos Erosivos da UHE Queimado**, 2019. Disponível em: <https://uhequeimado.com.br/web/2020/01/30/conheca-o-programa-de-gestao-de-processos-erosivos-da-uhe-queimado/>. Acesso em: 21 jul. 2022.

VALE. **Brumadinho**, 2019. Disponível em: <https://www.vale.com/pt/web/esg/brumadinho>. Acesso em: 20 jul. 2022.

VIANNA, L. F. V. **Metodologias de análise de risco aplicadas em planos de ação de emergência de barragens: auxílio ao processo de tomada de decisão**. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

WISHART, M. J.; SATORU U.; PISANIELLO, J. D.; TINGEY-HOLYOAK J.L.; LYON, K. N.; GARCÍA, E. B. **Laying the Foundations: A Global Analysis of Regulatory Frameworks for the Safety of Dams and Downstream Communities**. Sustainable Infrastructure Series. Washington, DC: World Bank, 2020.

WORLD BANK. **Good Practice Note on Dam Safety**. World Bank, Washington, DC. 2020.

**ANEXO I - CNRH, BRASIL**  
**QUADRO PARA CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA**

<b>NOME DA BARRAGEM:</b>														
<b>NOME DO EMPREENDEDOR:</b>														
<b>DATA:</b>														
<b>II.1 - CATEGORIA DE RISCO</b>														
	<b>Pontos</b>													
1	Características Técnicas (CT)													
2	Estado de Conservação (EC)													
3	Plano de Segurança de Barragens (PS)													
<b>PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC + PS</b>		<b>0</b>												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO</th> <th style="width: 40%;">CATEGORIA DE RISCO</th> <th style="width: 30%;">CRI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">ALTO</td> <td style="text-align: center;">&gt; = 60 ou EC* &gt; =8 (*)</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">MÉDIO</td> <td style="text-align: center;">35 a 60</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">BAIXO</td> <td style="text-align: center;">&lt; = 35</td> </tr> </tbody> </table>			FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	CATEGORIA DE RISCO	CRI		ALTO	> = 60 ou EC* > =8 (*)		MÉDIO	35 a 60		BAIXO	< = 35
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	CATEGORIA DE RISCO	CRI												
	ALTO	> = 60 ou EC* > =8 (*)												
	MÉDIO	35 a 60												
	BAIXO	< = 35												
<p>(*) Pontuação (maior ou igual a 8 ) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providencias imediatas pelo responsável da barragem.</p>														
<b>II.2 - DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>		<b>Pontos</b>												
	DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO</th> <th style="width: 40%;">DANO POTENCIAL ASSOCIADO</th> <th style="width: 30%;">DPA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">ALTO</td> <td style="text-align: center;">&gt; = 16</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">MÉDIO</td> <td style="text-align: center;">10 &lt; DPA &lt; 16</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">BAIXO</td> <td style="text-align: center;">&lt; = 10</td> </tr> </tbody> </table>			FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO	DPA		ALTO	> = 16		MÉDIO	10 < DPA < 16		BAIXO	< = 10
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO	DPA												
	ALTO	> = 16												
	MÉDIO	10 < DPA < 16												
	BAIXO	< = 10												
<b>RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO:</b>														
	<b>CATEGORIA DE RISCO</b>	Alto / Médio / Baixo												
	<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>	Alto / Médio / Baixo												

## II.1 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)

### 1 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT

Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de Barragem quanto ao material de construção (c)	Tipo de fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão de Projeto (f)
Altura $\leq$ 15m (0)	comprimento $\leq$ 200m (2)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)
15m < Altura < 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado - CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)
30m $\leq$ Altura $\leq$ 60m (2)	-	Terra homogênea /enrocamento / terra enrocamento (3)	Rocha alterada sem tratamento / rocha alterada fraturada com tratamento (3)	entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)
Altura > 60m (3)	-	-	Rocha alterada mole / saprolito / solo compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável (10)
-	-	-	Solo residual / aluvião (5)	-	-

CT =  $\sum$  (a até f):



**II.1 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)**

**2 - ESTADO DE CONSERVAÇÃO - EC**

<b>Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)</b>	<b>Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)</b>	<b>Percolação (i)</b>	<b>Deformações e Recalques (j)</b>	<b>Deterioração dos Taludes / Parâmetros (k)</b>	<b>Eclusa (*) (l)</b>
Estruturas civis e hidroeletrônicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletrônicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0)	Não possui eclusa (0)
Estruturas civis e hidroeletrônicas 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 hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, parâmetros, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e parâmetros, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo. (1)	Estruturas civis e hidroeletrônicas bem mantidas e funcionando (1)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos 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 hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, parâmetros, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas (10)	-	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente (8)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados e sem medidas corretivas (4)

**EC = Σ (g até l):**

II.1 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)

3 - PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM - PS

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

PS =  $\sum$  (n até r):

**II.2 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA  
(ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)**

<b>Volume Total do Reservatório (a)</b>	<b>Potencial de perdas de vidas humanas (b)</b>	<b>Impacto ambiental (c)</b>	<b>Impacto sócio-econômico (d)</b>
Pequeno < = 5 milhões m <sup>3</sup> (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	INEXISTENTE ( não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)
Médio 5 milhões a 75 milhões m <sup>3</sup> (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (4)	MUITO SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) (5)	BAIXO ( existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (4)
Grande 75 milhões a 200 milhões m <sup>3</sup> (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (8)	-	ALTO (existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
Muito Grande > 200 milhões m <sup>3</sup> (5)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)	-	-

**DPA =  $\sum$  (a até d):**

--

ANEXO II  
PSB - BRASIL

CONTEÚDO MÍNIMO E NÍVEL DE DETALHAMENTO DO PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM

VOLUMES	CONTEÚDO MÍNIMO
Volume I Informações Gerais	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Identificação do Empreendedor;</li><li>2. Caracterização do empreendimento;</li><li>3. Características técnicas do Projeto e da construção;</li><li>4. Indicação da Área do entorno das instalações e seus respectivos acessos a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes;</li><li>5. Estrutura organizacional, contatos dos responsáveis e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da barragem;</li><li>6. Quando for o caso, indicação da entidade responsável pela regra operacional da barragem;</li><li>7. Classificação da barragem quanto à Categoria de Risco e quanto ao Dano Potencial Associado.</li></ol>
Volume II Documentação Técnica do Empreendimento	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Projetos em nível básico e/ou executivo. Na inexistência desses projetos, estudos simplificados no que se refere a caracterização geotécnica do maciço, fundações e estruturas associadas, levantamento geométrico (topografia) e estudo hidrológico/hidráulico das estruturas de descarga;</li><li>2. Para barragens construídas após 21/09/2010: Projeto como construído (As built);</li><li>3. Manuais dos Equipamentos;</li><li>4. Licenças ambientais, outorgas e demais requerimentos legais.</li></ol>

Volume III Planos e Procedimentos	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Regra operacional dos dispositivos de descarga;</li><li>2. Planejamento das manutenções;</li><li>3. Plano de monitoramento e instrumentação;</li><li>4. Planejamento das Inspeções de Segurança da barragem;</li><li>5. Cronograma de testes de equipamentos hidráulicos, elétricos e mecânicos.</li></ol>
--------------------------------------	---

<p>Volume IV Registros e Controles</p>	<p>1.Registros de operação;</p> <p>2.Registros da manutenção;</p> <p>3.Registros de Monitoramento e Instrumentação;</p> <p>4.Registros dos testes de equipamentos hidráulicos, elétricos e mecânicos;</p> <p>5.Relatórios de Inspeções de Segurança Regular (RISR) de Barragens, devendo conter:</p> <p>a) Identificação do representante legal do empreendedor;</p> <p>b) Identificação do responsável técnico pela elaboração do Relatório e respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica;</p> <p>c) Ficha de Inspeção visual preenchida, englobando todas as estruturas da barragem e a indicação de anomalias;</p> <p>d) Avaliação e registro, inclusive fotográfico, de todas as anomalias encontradas, avaliando suas causas, desenvolvimento e consequências para a Segurança da barragem;</p> <p>e) Comparação com os resultados da Inspeção de Segurança Regular anterior;</p> <p>f) Avaliação das condições e dos registros da instrumentação existente;</p> <p>g) Classificação do NPA (Normal, Atenção, Alerta ou Emergência);</p> <p>h) Classificação do NPGB (Normal, Atenção, Alerta ou Emergência);</p> <p>i) Extrato de Inspeção de Segurança Regular - ISR;</p> <p>j) Assinatura do responsável Técnico pela elaboração do Relatório;</p> <p>k) Declaração do Estado Geral de Conservação e Segurança da Barragem</p> <p>l) Ciente do representante legal do empreendedor.</p> <p>6. Relatório de Inspeção de Segurança Especial (RISE) de Barragem, devendo conter:</p> <p>a) Identificação do representante legal do empreendedor;</p> <p>b) Identificação do responsável técnico pela elaboração do Relatório e respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica;</p> <p>c) Ficha de Inspeção visual preenchida, englobando todas as estruturas da barragem e a indicação de anomalias;</p> <p>d) Avaliação e registro, inclusive fotográfico, de todas as anomalias encontradas, avaliando suas causas, desenvolvimento e consequências para a Segurança da barragem;</p> <p>e) Comparação com os resultados da Inspeção de Segurança Regular anterior;</p> <p>f) Avaliação das condições e dos registros da instrumentação existente;</p> <p>g) Classificação do NPA (Normal, Atenção, Alerta ou Emergência);</p> <p>h) Classificação do NPGB (Normal, Atenção, Alerta ou Emergência);</p> <p>i) Extrato de Inspeção de Segurança Especial - ISE;</p> <p>j) Atestado de Confiabilidade das Estruturas e assessórios da Barragem em operação, assinada pelo responsável técnico por sua elaboração, com respectiva ART, e pelo empreendedor;</p> <p>k) Declaração do Estado Geral de Conservação e Segurança da Barragem</p> <p>l) Ciente do representante legal do empreendedor.</p>
<p>Volume V Revisão Periódica de Segurança da Barragem</p>	<p>1.Resultado de Inspeção de Segurança Especial da barragem e de suas estruturas associadas;</p> <p>2.Reavaliação do projeto existente com análise conclusiva da estabilidade da barragem, de acordo com os critérios de projeto aplicáveis à época da Revisão;</p> <p>3.Atualização das séries e estudos hidrológicos e confrontação desses estudos com a capacidade dos dispositivos de descarga existentes, se pertinente;</p> <p>4.Reavaliação dos procedimentos de operação, manutenção, testes, instrumentação e monitoramento;</p> <p>5.Reavaliação do Plano de Ação de Emergência- PAE, quando for o caso;</p> <p>6.Revisão dos Relatórios anteriores das Revisões Periódicas de Segurança de Barragem;</p> <p>7.Considerações sobre eventual reavaliação da classificação quanto à Categoria de Risco e quanto ao Dano Potencial Associado;</p> <p>8.Conclusões sobre a Segurança da barragem;</p> <p>9.Recomendações de melhorias a implementar para reforço da Segurança da barragem;</p> <p>10.Estimativa preliminar dos custos e prazos para implantação das recomendações;</p> <p>11. Resumo Executivo da Revisão Periódica de Segurança de Barragem (RPSB), contendo:</p> <p>a) Identificação da barragem e empreendedor;</p> <p>b) Identificação do responsável Técnico pela Revisão Periódica;</p> <p>c) Período de realização do trabalho;</p> <p>d) Listagem dos estudos realizados;</p> <p>e) Conclusões;</p> <p>f) Recomendações;</p> <p>g) Plano de Ação de melhorias e cronograma de implantação das ações indicadas no trabalho.</p>

Volume VI  
Plano de Ação de  
Emergência

1. Apresentação e objetivo do PAE;
2. Identificação e contatos do Empreendedor, do Coordenador do PAE e das entidades constantes do Fluxograma de Notificação;
3. Descrição geral da barragem e estruturas associadas, incluindo acessos à barragem e características hidrológicas, geológicas e sísmicas;
4. Recursos materiais e logísticos na barragem;
5. Classificação das situações de Emergência em potencial conforme nível de Resposta;
6. Procedimentos de Notificação (incluindo o Fluxograma de Notificação) e Sistema de Alerta;
7. Responsabilidades no PAE (empreendedor, Coordenador do PAE, equipe técnica e Defesa Civil);
  
8. Estudo de rompimento e propagação da cheia associada com os respectivos mapas, indicação da ZAS e pontos vulneráveis potencialmente afetados;
9. Plano de Treinamento do PAE;
  
10. Meios e recursos disponíveis para serem utilizados em situações de Emergência em potencial;
  
11. Formulários de Declaração de início da Emergência, de Declaração de encerramento da Emergência e de mensagem de Notificação;
  
12. Relação das entidades públicas e privadas que receberam cópia do PAE com os respectivos protocolos de recebimento.

**ANEXO III**  
**NSW – AUSTRÁLIA**

<b>AVALIAÇÃO DE CATEGORIA DE CONSEQUÊNCIAS – CUSTOS DE INFRAESTRUTURA</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Menor</b>	<b>Médio</b>	<b>Maior</b>	<b>Catastrófico</b>
<b>Residencial, comercial, infraestrutura na comunidade, reparos ou substituição da barragem</b>	<\$10M*	\$10M até \$100M	\$100M até \$1B	>\$1B

\* Cotação em dólar australiano

<b>AVALIAÇÃO DE CATEGORIA DE CONSEQUÊNCIAS – IMPACTOS AMBIENTAIS</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Menor</b>	<b>Médio</b>	<b>Maior</b>	<b>Catastrófico</b>
<b>Duração da recuperação</b>	<1 ano	1 a 5 anos	5 a 20 anos	>20 anos
<b>Águas</b>	Ruptura da barragem não contaminaria águas.	Ruptura da barragem contaminaria águas.	Ruptura da barragem contaminaria significativamente águas.	Ruptura da barragem contaminaria águas por um longo período.
<b>Ecosistemas</b>	Não é esperado que a ruptura impacte em ecossistemas. Remediação é possível.	Ruptura da barragem impactaria ecossistemas por um pequeno período e a recuperação natural é esperada.	Ruptura da barragem impactaria significativamente ecossistemas e é esperado que a recuperação ambiental leve muitos anos.	Ruptura da barragem impactaria significativamente ecossistemas por um longo período ou permanentemente. Remediação não provável.
<b>Comunidades ecológicas ameaçadas de extinção e espécies ameaçadas</b>	É esperado dano mínimo. Recuperação dentro de um ano.	É esperado que as perdas sejam recuperadas dentro de alguns anos.	Impactos severos. Recuperação levará muitos anos.	Perdas permanentes ou dano às comunidades ameaçadas de extinção/espécies em extinção.
<b>Material acumulado por uma barragem de rejeitos</b>	Sólido/líquido benigno.	Líquido salino / conteúdo sólido desagradável.	Conteúdo ácido.	Conteúdo altamente reativo/tóxico.

<b>AVALIAÇÃO DE CATEGORIA DE RISCOS – IMPACTOS SOCIAIS E NA SAÚDE</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Menor</b>	<b>Médio</b>	<b>Maior</b>	<b>Catastrófico</b>
<b>Saúde humana (ex.: pela contaminação da água, falta de água ou liberação de esgoto/toxinas)</b>	<100 pessoas afetadas	100 a 1.000 pessoas afetadas	>1.000 até 10.000 pessoas afetadas por mais de um mês	>10.000 pessoas afetadas por um ano ou mais
<b>Perda de serviços da comunidade (ex.: água, gás, eletricidade, comunicação ou transporte)</b>	<100 pessoas afetadas	100 até 1.000 pessoas afetadas	>1.000 até 10.000 pessoas afetadas por mais de um mês	>10.000 pessoas afetadas por um ano ou mais
<b>Equipe de organizações de serviços emergenciais ou voluntários</b>	<1.000 pessoas/dia	1.000 até 10.000 pessoas/dia	>10.000 até 100.000 pessoas/dia	>100.000 pessoas/dia
<b>Deslocamento de pessoas</b>	<100 pessoas são obrigadas a se mudar de suas casas por mês	100 até 1.000 pessoas são obrigadas a se mudar de suas casas por mês	>1.000 até 10.000 pessoas são obrigadas a se mudar de suas casas por mês	>10.000 pessoas são obrigadas a se mudar de suas casas por mês
<b>Deslocamento de empresas</b>	As empresas param por <20 meses úteis.	As empresas param por 20 até 200 meses úteis	As empresas param por 200 até 2.000 meses úteis	As empresas param por >2.000 meses ou muitas falências de empresas
<b>Empregos afetados</b>	<100 empregos afetados	100 até 1.000 empregos afetados	>1.000 até 10.000 empregos afetados	>10.000 empregos afetados
<b>Perda de patrimônio</b>	Alguns danos físicos para um item do patrimônio local	Dano físico significativo para um item do patrimônio local	Dano físico significativo para um item do patrimônio registrado no Heritage Act 1977 (NSW)*	Dano físico significativo para um item do patrimônio registrado no Heritage Act 1977 (NSW) ou que é tombado por outra lei; Dano físico significativo a um local incluído na Lista de Patrimônio da Commonwealth, de acordo com a Lei de 1999 da Proteção Ambiental e Conservação da Biodiversidade da Commonwealth, ou uma propriedade inscrita na Lista do Patrimônio Mundial.
<b>Perda de facilidades recreacionais</b>	Dano em área recreacional de significância local.	Perda de área recreacional de significância estadual.	Perda de área recreacional de significância nacional.	Perda de área recreacional de significância nacional e internacional.



## APÊNDICE I – QUEBEC, CANADÁ

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS (CF)</b>				
<b>Tipo de barragem quanto ao material de construção (a)</b>		<b>Tipo de Fundação (b)</b>	<b>Altura (m) (c)</b>	<b>Capacidade do reservatório (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) (d)</b>
De concreto em arco <b>(1)</b>	Barragem de terra <b>(10)</b>	Rocha tratada <b>(1)</b>	≤ 5 <b>(1)</b>	≤ 1 <b>(1)</b>
De concreto à gravidade <b>(2)</b>	Açude de enrocamento <b>(4)</b>	Rocha sã <b>(2)</b>	10 <b>(2)</b>	50 <b>(3)</b>
De concreto em contraforte <b>(3)</b>	Estacas prancha de aço <b>(7)</b>	Till glacial tratado <b>(3)</b>	20 <b>(3.5)</b>	1000 <b>(5)</b>
Aterro de concreto à gravidade <b>(3)</b>	Açude livre de enrocamento <b>(8)</b>	Till glacial <b>(4)</b>	30 <b>(4.5)</b>	2000 <b>(6.5)</b>
Barreira de concreto ou estaca prancha de aço acima de uma barragem de terra <b>(6)</b>	Barragem de enrocamento com faceamento em concreto e aterro à montante <b>(3)</b>	Argila tratada <b>(6)</b>	40 <b>(5)</b>	5000 <b>(8)</b>
Contraforte de madeira (praias de rejeito) <b>(9)</b>	Contraforte de madeira (berço) <b>(8)</b>	Argila <b>(7)</b>	50 <b>(5.8)</b>	≥ 6000 <b>(10)</b>
Barragem de terra com "berço" de madeira ou estacas prancha de aço <b>(10)</b>	De madeira ou estacas prancha com preenchimento de pedra <b>(6)</b>	Depósitos aluviais tratados <b>(8)</b>	100 <b>(8)</b>	
Açude livre - escudo de concreto <b>(7)</b>		Depósitos aluviais ou desconhecidos <b>(10)</b>	≥ 160 <b>(10)</b>	

$$CF = \sum (a \text{ até } d) :$$

$$\overline{CF} = \frac{\sum(a \text{ até } d)}{4} =$$

CARACTERÍSTICAS VARIÁVEIS (CV)						
Idade da Barragem (anos) (e)				Sismicidade (Zona) (f)	Condição da barragem (g)	Confiabilidade das instalações de descarga (h)
Aterro	Concreto	Açude livre de enrocamento	Madeira			
0 (8)	0 (1)	≤ 5 (5)	0 (1)	1 (1)	Muito bom (1)	Satisfatória (1)
5 (7.5)	5 (1.5)	10 (6)	5 (1.5)	2 (1)	Bom (3)	Aceitável (5)
10 (6.5)	10 (2)	15 (7)	10 (2)	3 (2)	Aceitável (5)	Insatisfatória ou indeterminada (10)
15 (5)	20 (3)	20 (8)	20 (8)	4 (6)	Ruim ou indeterminado (10)	
20 (4)	40 (7)	25 (9)	≥ 30 (10)	5 (8)		
25 (3)	50 (9)	≥ 30 (10)				
30 (2.5)	≥ 55 (10)					
40 (2)						
50 (1.5)						
≥ 60 (1)						

$$CF = \sum (e \text{ até } h) :$$

$$\overline{CV} = \frac{\sum(e \text{ até } g)}{4} =$$

## OBSERVAÇÕES:

### Características Físicas (CF)

(a) - **Tipo de barragem quanto ao material de construção:** Para qualquer outro tipo de barragem, equivalência com o tipo de barragem presente na tabela com as características mais próximas deve ser estabelecida.

(b) - **Tipo de fundação:** O tratamento inclui toda a geotecnia métodos destinados a reduzir a permeabilidade da fundação e aumentar sua resistência à erosão interna ou aumentar a capacidade de carga da fundação ou a estabilidade da barragem.

(c) - **Altura:** Os pontos para alturas intermediárias devem ser determinados considerando que os pontos variam linearmente entre os valores, exceto barragens com menos de 5 m, as quais sempre terão 1 ponto.

(d) - **Capacidade do reservatório:** Os pontos para capacidades intermediárias serão determinados considerando que os pontos variam linearmente entre os vários valores de represamento capacidade, exceto uma capacidade de captação de 1.000.000 m<sup>3</sup> ou menos, que sempre recebe 1 ponto.

### Características Variáveis (CV)

#### (e) – Idade da Barragem:

**Barragem de Aterro:** Esta categoria inclui os seguintes tipos de barragens: barreira de concreto ou estacas pranchas de aço a montante da barragem de terra, barragem de enrocamento com núcleo de terra a montante e aterro.

**Barragem de Concreto:** Esta categoria inclui os seguintes tipos de barragens: gravidade de concreto, aterro de gravidade de concreto, arco de concreto, aço cheio de pedra ou cheio de terra berços de estacas-pranchas, contrafortes de concreto, açude livre - lindagem de concreto, barragem de enrocamento com revestimento de concreto, estacas-pranchas de aço.

**Barragem de Açude livre de enrocamento:** Esta categoria inclui os seguintes tipos de barragens: açude livre de enrocamento e açude de enrocamento.

**Barragem de Madeira:** Esta categoria inclui os seguintes tipos de barragens: berços de madeira cheios de pedra ou terra e contrafortes de madeira (berços ou margens mortas).

\*Os pontos para danos intermediários devem ser determinados considerando que os pontos variam linearmente entre os vários valores de idade. Exceto para a Barragem de Açude livre de enrocamento quando com 5 anos ou menos, sempre recebe 5 pontos.

#### (g) – Condição da Barragem:

**Muito bom:** A barragem não apresenta indícios de qualquer deficiência ou apresenta deterioração confinada mínima considerado normal ou sem consequências.

**Bom:** A barragem mostra evidências apenas de deterioração menor ou deficiências que não afetam o bom operação de seus componentes.

**Aceitável:** A barragem apresenta indícios de deterioração exigindo reparos sem, no entanto, imediatamente colocando em risco a estrutura; uma barragem neste estado requer trabalhos de manutenção e reparação no imediato ou futuro próximo sem o qual a barragem se tornaria cada vez mais vulnerável. A barragem também pode mostrar evidências de deficiências que não afetem sua segurança imediata, mas que exijam um acompanhamento próximo.

**Ruim ou indeterminado:** A barragem mostra evidências de deterioração severa única ou múltipla que pode afetar sua estabilidade ou tornar certas partes inoperantes, ou a barragem mostra evidências de deficiências graves susceptíveis de colocar em risco a sua segurança ou o estado da barragem não pode ser determinado.

## APÊNDICE II – QUEBEC, CANADÁ

<b>CARACTERÍSTICAS DA ÁREA AFETADA</b>	
<b>Características da área afetada (Densidade populacional e extensão de áreas destruídas ou infraestruturas e serviços gravemente danificados)</b>	<b>Categoria de Consequência</b>
<p>Área desabitada.</p> <p style="text-align: center;">OU</p> <p>Área contendo infraestruturas mínimas ou serviços como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uma segunda barragem categorizada como Consequência Muito Baixa;</li> <li>- Uma estrada de acesso aos recursos;</li> <li>- Terras agrícolas;</li> <li>- Uma instalação comercial sem acomodações.</li> </ul>	<b>Muito Baixa</b>
<p>Área ocasionalmente habitada contendo menos de 10 chalés ou residências sazonais.</p> <p style="text-align: center;">OU</p> <p>Área contendo uma instalação comercial que fornece acomodação para menos de 25 pessoas ou que tenha menos de 10 unidades de alojamento (ou seja, 10 chalés, 10 parques de campismo, 10 quartos de hotel).</p> <p style="text-align: center;">OU</p> <p>Área contendo infraestruturas ou serviços limitados, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uma segunda barragem categorizada como Consequência Baixa;</li> <li>- Uma estrada local.</li> </ul>	<b>Baixa</b>
<p>Área permanentemente habitada contendo menos de 10 residências ou ocasionalmente habitadas e contendo 10 ou mais chalés ou residências sazonais.</p> <p style="text-align: center;">OU</p> <p>Área contendo uma instalação comercial sazonal que fornece acomodação para 25 ou mais pessoas ou que contenha 10 ou mais unidades de alojamento ou que funcione durante todo o ano e oferece acomodação para menos de 25 pessoas ou tem menos de 10 unidades de alojamento.</p> <p style="text-align: center;">OU</p> <p>Zona com infraestruturas moderadas ou serviços como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uma segunda barragem categorizada como Consequência Moderada;</li> <li>- Uma estrada de alimentação;</li> <li>- Uma linha ferroviária (local ou regional);</li> <li>- Uma empresa com menos de 50 funcionários;</li> <li>- Uma tomada de água principal a montante ou a jusante da barragem que abastece um município.</li> </ul>	<b>Moderada</b>

<p>Área habitada permanentemente contendo 10 ou mais residências e menos de 1.000 residentes.</p> <p style="text-align: center;">OU</p> <p>Área contendo uma instalação comercial que opera durante todo o ano e oferece acomodação para 25 ou mais pessoas ou tem 10 ou mais unidades de alojamento.</p> <p style="text-align: center;">OU</p> <p>Área que contém infraestruturas ou serviços significativos, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uma segunda barragem categorizada como Consequência Alta;</li> <li>- Uma estrada regional;</li> <li>- Uma linha ferroviária (transcontinental ou transfronteira);</li> <li>- Uma escola;</li> <li>- Uma empresa que tem de 50 a 499 funcionários.</li> </ul>	<b>Alta</b>
<p>Área permanentemente habitada com uma população de mais de 1.000 e menos de 10.000.</p> <p style="text-align: center;">OU</p> <p>Área que contém grandes infraestruturas ou serviços como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uma segunda barragem categorizada como Consequência Muito Alta;</li> <li>- Uma autoestrada ou estrada nacional;</li> <li>- Uma empresa com 500 ou mais funcionários;</li> <li>- Um parque industrial;</li> <li>- Um local de armazenamento de substâncias perigosas.</li> </ul>	<b>Muito Alta</b>
<p>Área habitada permanentemente com uma população de 10.000 ou mais.</p> <p style="text-align: center;">OU</p> <p>Área contendo infraestruturas ou serviços substanciais tal como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uma segunda barragem categorizada como Consequência Severa;</li> <li>- Um hospital;</li> <li>- Um grande complexo industrial;</li> <li>- Um grande local de armazenamento de substâncias perigosas.</li> </ul>	<b>Severa</b>

<b>VALORES PARA AS CONSEQUÊNCIAS NA FALHA DA BARRAGEM</b>	
<b>Categoria de Consequência</b>	<b>Pontuação</b>
Muito Baixa	1
Baixa	2
Moderada	3
Alta	5
Muito Alta	8
Severa	10

**APÊNDICE III - CNRH, BRASIL**  
**QUADRO PARA CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA**

<b>NOME DA BARRAGEM:</b>	Barragem Condomínio Montante	
<b>NOME DO EMPREENDEDOR:</b>	Universidade Federal de Lavras (UFLA)	
<b>DATA:</b>	21/11/2022	
<b>II.1 - CATEGORIA DE RISCO</b>		
		<b>Pontos</b>
1	Características Técnicas (CT)	18
2	Estado de Conservação (EC)	1
3	Plano de Segurança de Barragens (PS)	2
<b>PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC + PS</b>		<b>21</b>
	<b>CATEGORIA DE RISCO</b>	<b>CRI</b>
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	ALTO	$\geq 60$ ou $EC^* \geq 8$ (*)
	MÉDIO	35 a 60
	BAIXO	$\leq 35$
(*) Pontuação (maior ou igual a 8 ) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providencias imediatas pelo responsável da barragem.		
<b>II.2 - DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>		
		<b>Pontos</b>
	DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)	20
	<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>	<b>DPA</b>
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	ALTO	$\geq 16$
	MÉDIO	$10 < DPA < 16$
	BAIXO	$\leq 10$
<b>RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO:</b>		
	<b>CATEGORIA DE RISCO</b>	Alto / Médio / <b>Baixo</b>
	<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>	<b>Alto</b> / Médio / Baixo

## II.1 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)

### 1 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT

Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de Barragem quanto ao material de construção (c)	Tipo de fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão de Projeto (f)
Altura $\leq$ 15m (0)	comprimento $\leq$ 200m (2)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)
15m < Altura < 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado - CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)
30m $\leq$ Altura $\leq$ 60m (2)	-	Terra homogênea / enrocamento / terra enrocamento (3)	Rocha alterada sem tratamento / rocha alterada fraturada com tratamento (3)	entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)
Altura > 60m (3)	-	-	Rocha alterada mole / saprolito / solo compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável (10)
-	-	-	Solo residual / aluvião (5)	-	-

CT = $\sum$ (a até f):	18
------------------------	----

II.1 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)

2 - ESTADO DE CONSERVAÇÃO - EC

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)	Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)	Percolação (i)	Deformações e Recalques (j)	Deterioração dos Taludes / Parâmetros (k)	Eclusa (*) (l)
Estruturas civis e hidroeletrromecânicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletrromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0)	Não possui eclusa (0)
Estruturas civis e hidroeletrromecânicas 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 hidroeletrromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo. (1)	Estruturas civis e hidroeletrromecânicas bem mantidas e funcionando (1)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrromecânicos 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 hidroeletrromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrromecânicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas (10)	-	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente (8)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrromecânicos com problemas identificados e sem medidas corretivas (4)

EC = $\sum$ (g até l):	1
------------------------	---



II.1 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)

3 - PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM - PS

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

PS = $\sum$ (n até r):	2
------------------------	---

**II.2 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA  
(ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)**

<b>Volume Total do Reservatório (a)</b>	<b>Potencial de perdas de vidas humanas (b)</b>	<b>Impacto ambiental (c)</b>	<b>Impacto sócio-econômico (d)</b>
Pequeno < = 5 milhões m <sup>3</sup> (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	INEXISTENTE ( não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)
Médio 5 milhões a 75 milhões m <sup>3</sup> (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (4)	MUITO SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) (5)	BAIXO ( existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (4)
Grande 75 milhões a 200 milhões m <sup>3</sup> (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (8)	-	ALTO (existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
Muito Grande > 200 milhões m <sup>3</sup> (5)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)	-	-

**DPA =  $\sum$  (a até d):**                      20

**APÊNDICE IV - CNRH, BRASIL**  
**QUADRO PARA CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA**

<b>NOME DA BARRAGEM:</b>	Barragem Condomínio	
<b>NOME DO EMPREENDEDOR:</b>	Universidade Federal de Lavras (UFLA)	
<b>DATA:</b>	21/11/2022	
<b>II.1 - CATEGORIA DE RISCO</b>		
		<b>Pontos</b>
1	Características Técnicas (CT)	18
2	Estado de Conservação (EC)	1
3	Plano de Segurança de Barragens (PS)	2
<b>PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC + PS</b>		<b>21</b>
	<b>CATEGORIA DE RISCO</b>	<b>CRI</b>
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	ALTO	$\geq 60$ ou $EC^* \geq 8$ (*)
	MÉDIO	35 a 60
	BAIXO	$\leq 35$
(*) Pontuação (maior ou igual a 8 ) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providencias imediatas pelo responsável da barragem.		
<b>II.2 - DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>		
		<b>Pontos</b>
	DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)	20
	<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>	<b>DPA</b>
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	ALTO	$\geq 16$
	MÉDIO	$10 < DPA < 16$
	BAIXO	$\leq 10$
<b>RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO:</b>		
	<b>CATEGORIA DE RISCO</b>	Alto / Médio / <b>Baixo</b>
	<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>	<b>Alto</b> / Médio / Baixo

## II.1 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)

### 1 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT

Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de Barragem quanto ao material de construção (c)	Tipo de fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão de Projeto (f)
Altura $\leq$ 15m (0)	comprimento $\leq$ 200m (2)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)
15m < Altura < 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado - CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)
30m $\leq$ Altura $\leq$ 60m (2)	-	Terra homogênea / enrocamento / terra enrocamento (3)	Rocha alterada sem tratamento / rocha alterada fraturada com tratamento (3)	entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)
Altura > 60m (3)	-	-	Rocha alterada mole / saprolito / solo compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável (10)
-	-	-	Solo residual / aluvião (5)	-	-

CT = $\sum$ (a até f):	18
------------------------	----

II.1 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)

2 - ESTADO DE CONSERVAÇÃO - EC

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)	Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)	Percolação (i)	Deformações e Recalques (j)	Deterioração dos Taludes / Parâmetros (k)	Eclusa (*) (l)
Estruturas civis e hidroeletrromecânicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletrromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0)	Não possui eclusa (0)
Estruturas civis e hidroeletrromecânicas 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 hidroeletrromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo. (1)	Estruturas civis e hidroeletrromecânicas bem mantidas e funcionando (1)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrromecânicos 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 hidroeletrromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrromecânicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas (10)	-	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente (8)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrromecânicos com problemas identificados e sem medidas corretivas (4)

EC = $\sum$ (g até l):	1
------------------------	---

II.1 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)

3 - PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM - PS

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

PS = $\sum$ (n até r):	2
------------------------	---

**II.2 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA  
(ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)**

<b>Volume Total do Reservatório (a)</b>	<b>Potencial de perdas de vidas humanas (b)</b>	<b>Impacto ambiental (c)</b>	<b>Impacto sócio-econômico (d)</b>
Pequeno < = 5 milhões m <sup>3</sup> (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	INEXISTENTE ( não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)
Médio 5 milhões a 75 milhões m <sup>3</sup> (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (4)	MUITO SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) (5)	BAIXO ( existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (4)
Grande 75 milhões a 200 milhões m <sup>3</sup> (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (8)	-	ALTO (existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
Muito Grande > 200 milhões m <sup>3</sup> (5)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)	-	-

<b>DPA = <math>\sum</math> (a até d):</b>	<b>20</b>
---	-----------

**APÊNDICE V**  
**NSW - AUSTRÁLIA**

<b>AVALIAÇÃO DE CATEGORIA DE CONSEQUÊNCIAS – CUSTOS DE INFRAESTRUTURA</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Menor</b>	<b>Médio</b>	<b>Maior</b>	<b>Catastrófico</b>
<b>Residencial, comercial, infraestrutura na comunidade, reparos ou substituição da barragem</b>	<\$10M*	\$10M até \$100M	\$100M até \$1B	>\$1B
* Cotação em dólar australiano				

<b>AVALIAÇÃO DE CATEGORIA DE CONSEQUÊNCIAS – IMPACTOS AMBIENTAIS</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Menor</b>	<b>Médio</b>	<b>Maior</b>	<b>Catastrófico</b>
<b>Duração da recuperação</b>	<1 ano	1 a 5 anos	5 a 20 anos	>20 anos
<b>Águas</b>	Ruptura da barragem não contaminaria águas.	Ruptura da barragem contaminaria águas.	Ruptura da barragem contaminaria significativamente águas.	Ruptura da barragem contaminaria águas por um longo período.
<b>Ecosistemas</b>	Não é esperado que a ruptura impacte em ecossistemas. Remediação é possível.	Ruptura da barragem impactaria ecossistemas por um pequeno período e a recuperação natural é esperada.	Ruptura da barragem impactaria significativamente ecossistemas e é esperado que a recuperação ambiental leve muitos anos.	Ruptura da barragem impactaria significativamente ecossistemas por um longo período ou permanentemente. Remediação não provável.
<b>Comunidades ecológicas ameaçadas de extinção e espécies ameaçadas</b>	É esperado dano mínimo. Recuperação dentro de um ano.	É esperado que as perdas sejam recuperadas dentro de alguns anos.	Impactos severos. Recuperação levará muitos anos.	Perdas permanentes ou dano às comunidades ameaçadas de extinção/espécies em extinção.
<b>Material acumulado por uma barragem de rejeitos</b>	Sólido/líquido benigno.	Líquido salino / conteúdo sólido desagradável.	Conteúdo ácido.	Conteúdo altamente reativo/tóxico.



<b>AVALIAÇÃO DE CATEGORIA DE RISCOS – IMPACTOS SOCIAIS E NA SAÚDE</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Menor</b>	<b>Médio</b>	<b>Maior</b>	<b>Catastrófico</b>
<b>Saúde humana (ex.: pela contaminação da água, falta de água ou liberação de esgoto/toxinas)</b>	<100 pessoas afetadas	100 a 1.000 pessoas afetadas	>1.000 até 10.000 pessoas afetadas por mais de um mês	>10.000 pessoas afetadas por um ano ou mais
<b>Perda de serviços da comunidade (ex.: água, gás, eletricidade, comunicação ou transporte)</b>	<100 pessoas afetadas	100 até 1.000 pessoas afetadas	>1.000 até 10.000 pessoas afetadas por mais de um mês	>10.000 pessoas afetadas por um ano ou mais
<b>Equipe de organizações de serviços emergenciais ou voluntários</b>	<1.000 pessoas/dia	1.000 até 10.000 pessoas/dia	>10.000 até 100.000 pessoas/dia	>100.000 pessoas/dia
<b>Deslocamento de pessoas</b>	<100 pessoas são obrigadas a se mudar de suas casas por mês	100 até 1.000 pessoas são obrigadas a se mudar de suas casas por mês	>1.000 até 10.000 pessoas são obrigadas a se mudar de suas casas por mês	>10.000 pessoas são obrigadas a se mudar de suas casas por mês
<b>Deslocamento de empresas</b>	As empresas param por <20 meses úteis.	As empresas param por 20 até 200 meses úteis	As empresas param por 200 até 2.000 meses úteis	As empresas param por >2.000 meses ou muitas falências de empresas
<b>Empregos afetados</b>	<100 empregos afetados	100 até 1.000 empregos afetados	>1.000 até 10.000 empregos afetados	>10.000 empregos afetados
<b>Perda de patrimônio</b>	Algum dano físico para um item do patrimônio local	Dano físico significativo para um item do patrimônio local	Dano físico significativo para um item do patrimônio registrado no Heritage Act 1977 (NSW)*	Dano físico significativo para um item do patrimônio registrado no Heritage Act 1977 (NSW) ou que é tombado por outra lei; Dano físico significativo a um local incluído na Lista de Patrimônio da Commonwealth, de acordo com a Lei de 1999 da Proteção Ambiental e Conservação da Biodiversidade da Commonwealth, ou uma propriedade inscrita na Lista do Patrimônio Mundial.
<b>Perda de facilidades recreacionais</b>	Dano em área recreacional de significância local.	Perda de área recreacional de significância estadual.	Perda de área recreacional de significância nacional.	Perda de área recreacional de significância nacional e internacional.

## APÊNDICE VI – QUEBEC, CANADÁ

<b>BARRAGEM CONDOMÍNIO MONTANTE</b>				
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS (CF)</b>				
Tipo de barragem quanto ao material de construção (a)	Tipo de Fundação (b)	Altura (m) (c)	Capacidade do reservatório (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) (d)	
De concreto em arco (1)	Barragem de terra (10)	Rocha tratada (1)	≤ 5 (1)	≤ 1 (1)
De concreto à gravidade (2)	Açude de enrocamento (4)	Rocha sã (2)	10 (2)	50 (3)
De concreto em contraforte (3)	Estacas prancha de aço (7)	Till glacial tratado (3)	20 (3.5)	1000 (5)
Aterro de concreto à gravidade (3)	Açude livre de enrocamento (8)	Till glacial (4)	30 (4.5)	2000 (6.5)
Barreira de concreto ou estaca prancha de aço acima de uma barragem de terra (6)	Barragem de enrocamento com faceamento em concreto e aterro à montante (3)	Argila tratada (6)	40 (5)	5000 (8)
Contraforte de madeira (praias de rejeito) (9)	Contraforte de madeira (berço) (8)	Argila (7)	50 (5.8)	≥ 6000 (10)
Barragem de terra com "berço" de madeira ou estacas prancha de aço (10)	De madeira ou estacas prancha com preenchimento de pedra (6)	Depósitos aluviais tratados (8)	100 (8)	
Açude livre - escudo de concreto (7)		Depósitos aluviais ou desconhecidos (10)	≥ 160 (10)	

<b>CF = ∑ (a até d) :</b>	<b>14</b>
---------------------------	-----------

$\overline{CF} = \frac{\sum(a \text{ até } d)}{4} = \frac{14}{4} =$	<b>3.5</b>
---	------------

**BARRAGEM CONDOMÍNIO MONTANTE**

**CARACTERÍSTICAS VARIÁVEIS (CV)**

Idade da Barragem (anos) (e)				Sismicidade (Zona) (f)	Condição da barragem (g)	Confiabilidade das instalações de descarga (h)
Aterro	Concreto	Açude livre de enrocamento	Madeira			
0 (8)	0 (1)	≤ 5 (5)	0 (1)	1 (1)	Muito bom (1)	Satisfatória (1)
5 (7.5)	5 (1.5)	10 (6)	5 (1.5)	2 (1)	Bom (3)	Aceitável (5)
10 (6.5)	10 (2)	15 (7)	10 (2)	3 (2)	Aceitável (5)	Insatisfatória ou indeterminada (10)
15 (5)	20 (3)	20 (8)	20 (8)	4 (6)	Ruim ou indeterminado (10)	
20 (4)	40 (7)	25 (9)	≥ 30 (10)	5 (8)		
25 (3)	50 (9)	≥ 30 (10)				
30 (2.5)	≥ 55 (10)					
40 (2)						
50 (1.5)						
≥ 60 (1)						

$$CF = \sum (e \text{ até } h) : \quad \mathbf{13.5}$$

$$\overline{CV} = \frac{\sum(e \text{ até } g)}{4} = \frac{13.5}{4} = \mathbf{3.38}$$

## APÊNDICE VII – QUEBEC, CANADÁ

<b>BARRAGEM CONDOMÍNIO</b>				
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS (CF)</b>				
Tipo de barragem quanto ao material de construção (a)	Tipo de Fundação (b)	Altura (m) (c)	Capacidade do reservatório (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) (d)	
De concreto em arco (1)	Barragem de terra (10)	Rocha tratada (1)	≤ 5 (1)	≤ 1 (1)
De concreto à gravidade (2)	Açude de enrocamento (4)	Rocha sã (2)	10 (2)	50 (3)
De concreto em contraforte (3)	Estacas prancha de aço (7)	Till glacial tratado (3)	20 (3.5)	1000 (5)
Aterro de concreto à gravidade (3)	Açude livre de enrocamento (8)	Till glacial (4)	30 (4.5)	2000 (6.5)
Barreira de concreto ou estaca prancha de aço acima de uma barragem de terra (6)	Barragem de enrocamento com faceamento em concreto e aterro à montante (3)	Argila tratada (6)	40 (5)	5000 (8)
Contraforte de madeira (praias de rejeito) (9)	Contraforte de madeira (berço) (8)	Argila (7)	50 (5.8)	≥ 6000 (10)
Barragem de terra com "berço" de madeira ou estacas prancha de aço (10)	De madeira ou estacas prancha com preenchimento de pedra (6)	Depósitos aluviais tratados (8)	100 (8)	
Açude livre - escudo de concreto (7)		Depósitos aluviais ou desconhecidos (10)	≥ 160 (10)	

<b>CF = ∑ (a até d) :</b>	<b>14.4</b>
---------------------------	-------------

$\overline{CF} = \frac{\sum(a \text{ até } d)}{4} = \frac{14.4}{4} =$	<b>3.6</b>
---	------------

**BARRAGEM CONDOMÍNIO**

**CARACTERÍSTICAS VARIÁVEIS (CV)**

Idade da Barragem (anos) (e)				Sismicidade (Zona) (f)	Condição da barragem (g)	Confiabilidade das instalações de descarga (h)
Aterro	Concreto	Açude livre de enrocamento	Madeira			
0 (8)	0 (1)	≤ 5 (5)	0 (1)	1 (1)	Muito bom (1)	Satisfatória (1)
5 (7.5)	5 (1.5)	10 (6)	5 (1.5)	2 (1)	Bom (3)	Aceitável (5)
10 (6.5)	10 (2)	15 (7)	10 (2)	3 (2)	Aceitável (5)	Insatisfatória ou indeterminada (10)
15 (5)	20 (3)	20 (8)	20 (8)	4 (6)	Ruim ou indeterminado (10)	
20 (4)	40 (7)	25 (9)	≥ 30 (10)	5 (8)		
25 (3)	50 (9)	≥ 30 (10)				
30 (2.5)	≥ 55 (10)					
40 (2)						
50 (1.5)						
≥ 60 (1)						

**CF = ∑ (e até h) : 13**

$$\overline{CV} = \frac{\sum(e \text{ até } g)}{4} = \frac{13}{4} = \mathbf{3.25}$$