



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BARRAGENS E  
GESTÃO AMBIENTAL**

**LUIS HENRIQUE RAMBO**

**AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DA BARRAGEM LABOURRIE/AP À LUZ DE  
DIFERENTES METODOLOGIAS**

**TUCURUÍ  
2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BARRAGENS E  
GESTÃO AMBIENTAL**

**LUIS HENRIQUE RAMBO**

**AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DA BARRAGEM LABOURRIE/AP À LUZ DE  
DIFERENTES METODOLOGIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva

TUCURUÍ

2020

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)  
autor(a)**

---

R167a Rambo, Luis Henrique  
Avaliação da segurança da barragem Labourrie/AP à luz  
de diferentes metodologias / Luis Henrique Rambo. — 2020.  
124 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva  
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental, Núcleo de  
Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Universidade  
Federal do Pará, Tucuruí, 2020.

1. Barragem de Rejeitos. 2. Labourrie. 3. Análise de  
Segurança. I. Título.

CDD 624

---

LUIS HENRIQUE RAMBO

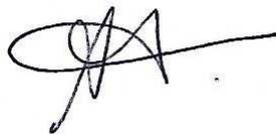
**AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DA BARRAGEM LABOURRIE/AP À LUZ DE  
DIFERENTES METODOLOGIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva

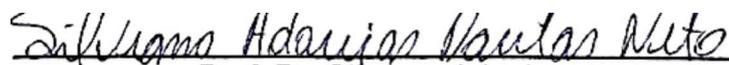
Aprovada em 05 de março de 2020.

BANCA EXAMINADORA:



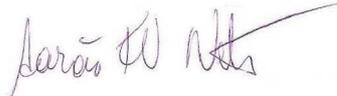
---

Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva — Orientador Universidade  
Federal de Roraima — UFRR



---

Prof. Dr. Silvrano Adonias Dantas Neto  
Universidade Federal do Ceará – UFC (Examinador Externo)



---

Prof. Dr. Aarão Ferreira Lima  
Universidade Federal do Pará — UFPA (Examinador Interno)

Dedico este trabalho à minha família, amigos e colegas de profissão que fiz ao longo desta jornada sem fim, pois não se encerra aqui, sendo apenas uma nova etapa.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus primeiramente por se fazer presente em todos os momentos mais difíceis de minha vida, me trazendo paz de espírito, serenidade e coragem para enfrentar as batalhas mais árduas.

Ao meu filho Henrique, pela companhia nas madrugadas me chamando para ir deitar ou durante as longas noites quando acordava e queria ficar mais 5 minutos “eternos” comigo. Te amo sem fim...Obrigado pela sua alegria e companheirismo todos os dias me esperando para poder dormir.

A minha querida mãe Vânia que sempre me educou da melhor forma, sendo a maior incentivadora do meu trabalho, nunca deixando de acreditar na minha conquista. Te amo demais e sem fim.

Aos meus queridos irmãos André Felipe e Marcelo Augusto, meus exemplos de dedicação e garra que tenho muito orgulho. Amo vocês.

Ao meu pai Sérgio Tarsício, que sem ele a Geotecnia para mim não teria sentido, a Engenharia não teria graça e a prática não teria importância. Amo você.

A minha esposa Ana que, apesar de eu ter prometido à ela que não viajaria mais, encontrei mais um lugar incrível para conhecer, o estado do Pará, mais precisamente Tucuruí e realmente foi muito bom. Valeu a pena tudo. Te amo.

Ao meu orientador Adriano Frutuoso da Silva, do qual estive sempre ao meu lado apoiando e incentivando o trabalho, com idéias, sugestões e cobrança de modo saudável me fazendo querer melhorar a cada dia. Muito obrigado pela sua amizade e atenção prestada a mim e minha família.

A todos os amigos do Mestrado, e destacando aos que tive maior convívio como Gabriel Banha com nossas incansáveis viagens, histórias e muitas risadas, muito obrigado.

Renan Modesto, obrigado por acreditar e confiar, na certeza de que estamos aqui não somente para isso, pois temos caráter e dignidade, sabemos de todas as dificuldades que passamos para poder cursar o mestrado e desfrutaremos do sucesso que será comemorado para sempre. Muito Obrigado.

Max, coração enorme, orgulhoso de Paraubepas/PA, excelente pessoa e profissional, sempre muito prudente e com muita humildade sem deixar de ser firme nas colocações. Amigo que fiz e merece meu respeito. Meu obrigado.

Pedro Henrique, Abner e Lucas, ninguém disse que seria fácil né? Somos prova disso...Obrigado mesmo pelas dicas, conversas, lamentações, reclamações e principalmente...o apoio em qualquer momento.

A Prof. Gabrielle Curcino, que me indicou, recomendou e incentivou a fazer o curso. Gratidão.

Meu amigo Paulo Giraldi, conselhos e palavras de incentivo sempre. Obrigado.

Ao meu mestre de graduação Mauro Menegotto. Muito obrigado.

Amigos e colegas de empresa Luiz Berwanger, André Capistrano, Camilla Probst, Aloísio e demais pessoas que trabalhei na Geotesc Fundações. Obrigado por participarem de minha jornada profissional.

Aos amigos eternos de faculdade Protásio, Júlio Palma, Fábio Gasparetto, Alcyone Oliveira, Christiano Arsego, Luciano Marafon, Ricardo de Marco, Vinícius, Paulo e aos amigos de Chapecó que sempre me receberam muito bem.

Aos professores Alberto Sayão, Ortigão, Marcos Porto, Silvrano Adonias pelo apoio, incentivo e lições de engenharia das quais jamais esquecerei em cada contato feito.

A Cleane Pinheiro, Frederico Medeiros, Wagner Coelho, Marco Túlio e toda a equipe da Defesa Civil do Estado do Amapá e ANM (Walter Arcoverde e Luiz Henrique) pela confiança em mim depositada em todas as convocações para as

missões em barragens do estado e contribuições em minha carreira profissional e pessoal.

Aos meus queridos discentes da Universidade Federal do Amapá que sempre foram meus parceiros, dando o maior apoio para minha conquista.

A todos aqueles que de forma indireta torceram por mim, mesmo que à distância e sem o contato do qual tínhamos antigamente no período de trecho de obra com longas viagens pelo Brasil.

Ao Eng Edilson Brito que disponibilizou seu tempo e procurou contribuir com as informações da barragem, através de algumas fotos apresentadas ao longo da dissertação.

Aos professores do PEBGA que acreditam no curso e estão procurando melhorar a cada turma que se inicia, um título tão nobre merece a dedicação e reconhecimento. Sucesso e Parabéns.

Tempos difíceis criam homens fortes.  
Homens fortes criam tempos fáceis.  
Tempos fáceis criam homens fracos.  
Homens fracos criam tempos difíceis.

(Provérbio Oriental)

## RESUMO

Nos últimos anos, as Barragens no Brasil tem sido constantemente relacionadas a ocorrências de inúmeros problemas de engenharia, seja na concepção, métodos contrutivos, controle, monitoramento, instrumentação etc., essas situações foram criadas em decorrência de alguns acidentes ocorridos como os casos de Mariana e Brumadinho/MG. A concepção e construção de forma inadequada dessas estruturas representam um grande risco para sociedade, meio ambiente e economia. Desse modo, neste trabalho, optou-se, como estudo de caso, analisar a segurança da barragem de disposição de rejeito Laborrie, localizada no distrito do Lourenço, no estado do Amapá, a partir de análise de risco e dano potencial associado. As metodologias utilizadas foram: SABESP, COGERH (modificado), USACE, CNRH Res. 143/2012 e Portaria 70.389/2017 da ANM. O estudo identificou a similaridade nos métodos, oscilando nos pesos utilizados para cálculos, assim como identificou o método que não utiliza algum quesito relevante na análise de barragens de rejeito. Portanto, conclui-se que para o estudo de caso da Barragem Laborrie, a utilização para avaliação de risco de barragens de rejeitos através da metodologia da ANM e da resolução 143, são as mais indicadas, o que não invalida a utilização das outras metodologias, porém, deverá ser analisada cada particularidade do método proposto, de modo a preencher as informações que realmente tenham relevância e impacto direto na busca de uma aproximação maior do resultado.

**Palavras-chave:** Barragem de rejeitos, Laborrie, Análise de Segurança.

## ABSTRACT

In recent years, dams in Brazil have been constantly related to the occurrence of numerous engineering problems, whether in design, construction methods, control, monitoring, instrumentation, etc., these situations were created as a result of some accidents that occurred, such as Mariana's cases and Brumadinho / MG. The inadequate design and construction of these structures represents a great risk to society, the environment and the economy. Thus, in this work, we chose, as a case study, to analyze the safety of the Laborrie tailings dam, located in the Lourenço district, in the state of Amapá, based on risk analysis and associated potential damage. The methodologies used were: SABESP, COGERH (modified), USACE, CNRH Res. 143/2012 and ANM Ordinance 70.389 / 2017. The study identified the similarity in the methods, oscillating in the weights used for calculations, as well as identified the method that does not use any relevant item in the analysis of tailings dams. Therefore, it is concluded that for the Laborrie Dam case study, the use for risk assessment of tailings dams using the ANM methodology and resolution 143, are the most indicated, which does not invalidate the use of the other methodologies, however, each particularity of the proposed method must be analyzed, in order to fill in the information that really has relevance and direct impact in the search for a closer approximation of the result.

**Keywords:** Tailings dam, Laborrie, Security Analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Tipos de Alçamento em Barragem de Rejeito.....	26
Figura 2	- Arranjo Típico de Hidrociclones ao Longo da Crista da Barragem.....	29
Figura 3	- Método de Descarga: (a) Periférica de Polpa por um Único Ponto; (b) Periférica de Polpa por Spigots.....	30
Figura 4	- Entidades responsáveis pela fiscalização da segurança de barragens.....	41
Figura 5	- Arranjo Institucional Estabelecido para a Regulação da Segurança de Barragens.....	42
Figura 6	- Garimpo do Lourenço Envolto por um Conjunto de Áreas Protegidas.....	57
Figura 7	- Distritos Mineiros no Amapá.....	58
Figura 8	- Localização do Distrito Aurífero do Lourenço e da Região do Projeto Araguari (onde foram desenvolvidos estudos prospectivos para ouro pela empresa Terraconsult 1986)..	60
Figura 9	- Pilares Fundamentais para a Segurança de Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeitos.....	63
Figura 10	- Estágios da Mina e Custos Potenciais de Reabilitação.....	68
Figura 11	- Exemplo de formulário/ficha de inspeção de barragem	72
Figura 12	- Barragem Laborrie e Distrito do Lourenço.....	73
Figura 13	- Principais Bacias Hidrográficas do rio Araguari.....	74
Figura 14	- Disposição de rejeito na barragem Laborrie (a) 2015, (b) 2017.....	75
Figura 15	- Seção Tipo da Barragem de rejeito Laborrie.....	76
Figura 16	- Barragem de rejeito Laborrie, N.A. próximo ao galgamento em 2018.....	76
Figura 17	- Abertura de extravasor no corpo da barragem, em 2018	77
Figura 18	- Abertura de extravasor na ombreira direita da barragem, em 2018.....	77
Figura 19	- Rebaixamento do N.A. após a abertura dos extravasores	78

Figura 20	-	Processos erosivos ao longo do talude de jusante.....	78
Figura 21	-	Abertura na ombreira esquerda da barragem.....	79
Figura 22	-	Trincas longitudinais na crista.....	102
Figura 23	-	Erosão e crista longitudinais.....	103
Figura 24	-	Afundamento.....	103
Figura 25	-	Deterioração dos taludes.....	103
Figura 26	-	Surgência.....	104
Figura 27	-	Erosão no talude.....	104
Figura 28	-	Canal Extravasor 1.....	105
Figura 29	-	Erosão próximo ao extravasor 1.....	105

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Exemplos de rupturas em barragens de contenção de rejeitos.....	34
Quadro 2	- Características da gestão de barragens convencionais e rejeitos em alguns países.....	43
Quadro 3	- Diferenças na gestão de barragens de rejeitos.....	62
Quadro 4	- Classificação segundo a periculosidade potencial – PP.....	80
Quadro 5	- Classificação segundo o estado real (ER) da barragem.....	80
Quadro 6	- Escores para classificação dos parâmetros das constantes.....	83
Quadro 7	- Escores para classificação dos parâmetros variáveis.....	83
Quadro 8	- Parâmetros de classificação do potencial de perigo para danos a propriedades e perdas de vidas.....	84
Quadro 9	- Matriz referente às características técnicas – CT.....	90
Quadro 10	- Matriz referente ao estado de conservação – EC.....	91
Quadro 11	- Matriz referente ao plano de segurança da barragem – OS....	92
Quadro 12	- Matriz referente ao dano potencial associado – DPA.....	93
Quadro 13	- Matriz de classificação - características técnicas (CT).....	95
Quadro 14	- Matriz de classificação - plano de segurança – OS.....	97
Quadro 15	- Elementos contemplados pelas metodologias.....	98
Quadro 16	- Ficha de inspeção.....	100
Quadro 17	- Matriz referente ao estado de conservação – EC.....	101

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Principais causas de acidentes em barragens de rejeitos...	37
Tabela 2	- Rupturas de barragens de rejeito entre 1915 e 2014.....	38
Tabela 3	- Rupturas em função do tipo de alteamento.....	39
Tabela 4	- Ranking dos países em função da ruptura.....	40
Tabela 5	- Critérios gerais para classificação de categoria de risco...	50
Tabela 6	- Matriz de classificação de categoria de risco e dano potencial associado.....	52
Tabela 7	- Classe e índice de comportamento.....	81
Tabela 8	- Classificação do índice de condição.....	85
Tabela 9	- Periculosidade (P).....	86
Tabela 10	- Vulnerabilidade (V).....	87
Tabela 11	- Importância estratégica (I).....	88
Tabela 12	- Potencial de risco (PR).....	88
Tabela 13	- Frequência de inspeções.....	89
Tabela 14	- Requisitos mínimos quanto à manutenção.....	89
Tabela 15	- Critério para instrumentação.....	89
Tabela 16	- Matriz categoria de risco, Resolução CNRH nº 143.....	94
Tabela 17	- Matriz de dano potencial associado, Resolução CNRH nº 143.....	94
Tabela 18	- Matriz para classificação final da barragem, Portaria ANM nº 70.389/2017.....	98
Tabela 19	- Classificação de acordo com a metodologia da SABESP	106
Tabela 20	- Classificação de acordo com os parâmetros constantes (USACE).....	108
Tabela 21	- Classificação de acordo com os parâmetros variáveis (USACE).....	108
Tabela 22	- Classificação quanto ao potencial de perigo (USACE).....	108
Tabela 23	- Classificação do índice de condição.....	108
Tabela 24	- Classificação segundo a periculosidade (COGERH).....	110
Tabela 25	- Classificação segundo a vulnerabilidade (COGERH).....	110

Tabela 26	-	Importância estratégica (COGERH).....	110
Tabela 27	-	Potencial de risco (COGERH).....	111
Tabela 28	-	Critérios para instrumentação.....	111
Tabela 29	-	Classificação de acordo Resolução 143 (CNRH).....	112
Tabela 30	-	Classificação de acordo ANM (2018).....	114

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABMS	Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento
AESA/PB	Agência Executiva
AGERH	Agencia Estadual de Recursos Hídricos
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANM	Agência Nacional de Mineração
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
BAT	Best Avaliable Technic
CBDB	Comitê Brasileiro de Barragens
CDA	Canadian Dam Association
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGH	Centrais de Geração Hidrelétricas
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
COOAGAL	Cooperativa de Mineração dos Garimpeiros do Lourenço
COPAM	Conselho de Política Ambiental
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
CRI	Categoria de Risco
CTAP	Câmara Técnica de Análise de Projetos
CTIL	Câmara Técnica Institucional e Legal
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DPA	Dano Potencial Associado
EPA	Environment Protetion Authority (Austrália)
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FEMARH	Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

FOB	Free On Board
GT	Grupo de Trabalho
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
ICMM	International Council on Mining Metals
ICME	International Council on Metals and the Environment
ICOLD	International Commission of Large Dams
ICOMI	Sociedade Brasileira de Indústria e Comércio de Ferro e Manganês
IEPA	Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IMASUL/MS	Instituto do Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul
IMAP	Instituto do Meio Ambiente e de Ordenamento Territorial do Amapá
INEA	Instituto Estadual do Meio Ambiente
INEMA –	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IPAAM	Instituto Ambiental de Proteção do Amazonas
ISO	International Organization for Standardization
MAC	Mining Association of Canadá
MIN	Ministério da Integração Nacional
MME	Ministério de Minas e Energia
MNA	Mineração Novo Astro
MPBA	Mineração Pedra Branca do Amapari
MPF	Ministério Público Federal
MYYSA	Mineração Yukio Yoshidome
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NDAE	Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia
OEMA	Órgãos Gestores Estaduais do Meio Ambiente
OERH	Órgãos Gestores Estaduais de Recursos Hídricos
PAE	Plano de Ações Emergências
PAEBM	Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração
PEBGA	Pós-Graduação em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental

PLC	Projeto de Lei da Câmara
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
RPSB	Revisão Periódica de Segurança de Barragem
RSB	Relatório Anual de Segurança de Barragens
RT	Relatório Técnico
SB	Segurança de Barragens
SEMA/AP	Secretaria de Estado do Meio Ambiente / Amapá
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento
SEDAM	Secretaria do Estado do Desenvolvimento Ambiental
SEMARH	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SEMAS	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade
SIGBM	Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração
SIH	Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
UFPA	Universidade Federal do Pará
UNEP	United Nations Environment Programme
WSDE	Washington State Department of Ecology
ZAS	Zona de Auto Salvamento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>21</b>
1.1	MOTIVAÇÃO.....	21
1.2	OBJETIVOS.....	24
1.2.1	Objetivo Geral.....	24
1.2.2	Objetivos Específicos.....	24
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	25
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>26</b>
2.1	BARRAGEM DE TERRA PARA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS	26
2.1.1	Definição.....	26
2.1.2	Planejamento, Projeto e Execução de Barragem de Rejeitos	27
2.2	ACIDENTES E INCIDENTES COM BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITO.....	33
2.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE A LEGISLAÇÃO DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITO.....	40
2.3.1	Cenário Internacional.....	42
2.3.2	Cenário Nacional.....	44
2.3.2.1	<i>Lei Nº 12.334/2010 (PNSB).....</i>	<i>48</i>
2.3.2.2	<i>Resolução Nº 143/2012 (CNRH).....</i>	<i>49</i>
2.3.2.3	<i>Portaria Nº 70.389/2017 (ANM).....</i>	<i>51</i>
2.3.2.4	<i>Resolução nº 04/2019 (ANM).....</i>	<i>53</i>
2.4	ATIVIDADE MINERADORA NO ESTADO DO AMAPÁ	55
2.5	GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITO.....	61
2.5.1	Gerenciamento de Risco.....	64
2.5.1.1	<i>Responsabilidades relativas à segurança das barragens de retenção de rejeitos.....</i>	<i>67</i>
2.5.1.2	<i>Fases da gestão de segurança em barragens de retenção de rejeitos.....</i>	<i>68</i>

<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA.....</b>	<b>71</b>
3.1	COMENTÁRIOS INTRODUTÓRIOS.....	71
3.2	ESTUDO DE CASO.....	73
3.3	ANÁLISE RISCO E METODOLOGIA DE TOMADA DE DECISÃO DA SABESP.....	79
3.4	METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCO DO USACE ....	82
3.5	METODOLOGIA POTENCIAL DE RISCO DA COGERH MODIFICADO.....	85
3.6	MÉTODO DA RESOLUÇÃO CNRH Nº143/2012.....	90
3.7	MÉTODO DA PORTARIA ANM Nº 70.389/2017.....	95
3.8	ANÁLISES REALIZADAS.....	98
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....</b>	<b>100</b>
4.1	INSPEÇÃO DA BARRAGEM LABORRIE.....	100
4.2	CLASSIFICAÇÕES DA BARRAGEM.....	106
4.2.1	Metodologia da SABESP.....	106
4.2.2	Metodologia de classificação de risco do USACE.....	108
4.2.3	Metodologia Potencial de Risco da COGERH Modificado.....	109
4.2.4	Método da Resolução CNRH nº143/2012.....	112
4.2.5	Método da Portaria ANM nº 70.389/2017.....	113
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>116</b>
5.1	CONCLUSÕES.....	116
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	119
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>120</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos, as barragens no Brasil tem sido constantemente relacionadas a ocorrências de inúmeros problemas de engenharia, seja na concepção, métodos construtivos, controle, monitoramento, instrumentação. Essas situações foram criadas em decorrência de alguns acidentes ocorridos, como os casos de Mariana e Brumadinho/MG, deixando rastros de morte, desaparecidos e para os sobreviventes, insegurança com relação a este tipo de obra de engenharia acima de tudo.

Além disso, a alta produtividade das empresas mineradoras no Brasil e no mundo, cada vez mais cria a necessidade de alternativas tecnológicas para diminuição de riscos ambientais causados pelos métodos de disposição dos rejeitos.

Historicamente, existem registros de que, 400 anos antes da era cristã, os egípcios já recuperavam ouro a partir de depósitos aluvionares, usando processos de separação por gravidade. A partir do século XVIII, com a invenção da máquina a vapor (início da revolução industrial), ocorreram inovações mais significativas na área de tratamento de minérios. Por volta da metade do século XIX, a mineração se limitava praticamente à mineração de ouro, cobre e chumbo. A evolução dos processos de beneficiamento de minério sofreu grande impulso no final do século XIX e início do século XX. O desenvolvimento de equipamentos maiores, métodos de extração mais eficientes e a otimização de processos através da automação e computação, levaram o processo de beneficiamento ao nível que se conhece hoje (LUZ, SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

Dada a relevância da atividade mineral e a necessidade de se conciliar os interesses econômicos, sociais e ambientais (tripé da sustentabilidade), ações e políticas devem ser adotadas de forma a possibilitar o máximo de proveito social e econômico das atividades humanas com o mínimo de impacto ambiental e, com isso, permitir o uso dos recursos naturais de forma a não impedir ou limitar o uso e gozo do meio ambiente por gerações atuais e futuras.

Infelizmente nem todos os acidentes são relatados, e muito não são expostos de forma correta os dados para que a sociedade e engenharia de barragens seja fortalecida através de pesquisas dos casos ocorridos, deixando de contribuir para uma melhoria nas técnicas, metodologias, instrumentações e fiscalizações em barragens de rejeitos.

A maneira de como a cultura de segurança de barragens tem entrado no Brasil passa infelizmente –, como em outras partes do mundo –, no rastro de algumas rupturas de barragens de rejeito. Esses eventos foram criando as condições para a edição de leis, primeiramente em Minas Gerais, em 2005, pelo COPAM (Conselho de Política Ambiental), e depois em nível federal com a promulgação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) em setembro de 2010.

Os acidentes em barragens provocaram sempre, reações da sociedade em todo o mundo, levando a tentativas diversas de regulamentação legal, que obrigue os proprietários de barragens a tomarem providências efetivas de redução de riscos. Nos países mais desenvolvidos, como USA, Canadá, diversos países da Europa, Austrália, África do sul estas ações resultaram em regulamentações sobre a segurança de barragens e estes países contam com legislação sobre o assunto (ÁVILA, 2017).

A Lei Federal nº 12.334 estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e está em vigor desde 2010, com todos os seus pontos já regulamentados. Pela lei, a gestão e a regulação ficam em última instância no domínio das entidades oficiais responsáveis pelas outorgas, ou por direitos relacionados com as barragens, como a Agência Nacional de Mineração (ANM) para barragens de rejeito, a Agência Nacional de Águas (ANA) para barragens de usos múltiplos, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para as hidrelétricas, e as entidades fornecedoras das licenças ambientais de instalação e operação para as barragens restantes.

O grande desafio da gestão de resíduos de mineração é a mitigação de impactos negativos inerentes a sua produção e permanência. Nas avaliações ambientais da economia de mineração, por exemplo, são frequentes palavras como passivo e legado associadas a depósitos de rejeitos. Os riscos potenciais de rupturas de barragens, contaminações do solo e da água subterrânea, erosão eólica e hídrica,

assoreamentos de drenagens naturais a jusante dos depósitos etc. são aspectos comuns que “rondam” a disposição dos rejeitos no meio ambiente.

Nesse contexto, encontra-se a atividade mineradora no estado do Amapá, que desde 1970 é palco de exploração mineral, a qual desenvolveu-se num primeiro momento de forma artesanal, com a extração de ouro, e em um segundo momento de forma industrializada. Ao longo dos anos a mineração no experimentou períodos de altos e baixos, ainda assim, esteve e continua desempenhando papel importante no contexto socioeconômico amapaense.

As barragens de rejeitos tem sido alvo de constantes fiscalizações nos últimos anos, principalmente após as tragédias de Mariana e Brumadinho-MG. Isso tem feito com que os órgãos competentes se mobilizem na busca de informações em seus respectivos estados de modo a contribuir na fiscalização e segurança de barragens.

No caso do estado do Amapá, objeto deste estudo, de acordo com relatório técnico nº 001/2019-NAQ/IMAP existem 23 (vinte e três) barragens de rejeito de mineração, distribuídas nos seguintes municípios: Pedra Branca do Amapari, Mazagão, Porto Grande, Laranjal do Jari, Calçoene e Oiapoque. Saliente-se ainda que, conforme o mesmo relatório, 08 (oito) estão inativas e 10 (dez) não licenciadas.

Além disso, muitas dessas barragens não possuem cadastro na ANA, ANM, CBDB etc, tendo em vista que na atividade de mineração ainda existam explorações clandestinas e outras em desacordo com a Política Nacional de Segurança de Barragens e leis vigentes do país.

A concepção e construção de forma inadequada dessas estruturas representam um grande risco para sociedade, meio ambiente e economia. Desse modo, nesse trabalho, optou-se, como estudo de caso, avaliar a segurança da barragem de disposição de rejeito “Laborrie”, localizada no estado do Amapá.

Para reforçar a importância de tal estudo, ressalta-se que houve uma ação em conjunto de órgãos estaduais e federais, com o intuito de reafirmar o risco iminente comprovado na primeira ação de inspeção na barragem, realizada entre os dias 19 e

20 de dezembro de 2017 e buscar alternativas para sanar o risco de rompimento da barragem.

Tendo em vista a possibilidade de rompimento da barragem de garimpo de ouro "Laborrie", cabe informar que para a jusante da mesma existe o Rio Tajauí que mais adiante se encontra com o Rio Araguari, que por sinal é um dos principais do estado, com enorme diversidade de espécies de peixes e que ao longo do de sua extensão encontram-se ainda as Usinas Hidrelétricas de Cachoeira Caldeirão, Coaracy Nunes e Ferreira Gomes.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a segurança da barragem de garimpo de ouro "Laborrie", localizada no distrito do Lourenço/AP, quanto ao risco e dano potencial.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar levantamento bibliográfico sobre a gestão de segurança de barragens de rejeito;
- Identificar e analisar as possíveis patologias encontradas na barragem de rejeito "Laborrie";
- Classificar a Barragem quanto ao risco e dano potencial associado de acordo com as resoluções vigentes;
- Avaliar a aplicabilidade das metodologias: SABESP, COGERH, USACE, CNRH Res. 143/2012 e ANM Port.70.389/2017.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos, iniciando-se por esta introdução, que apresenta a motivação da pesquisa, objetivos e estrutura do conteúdo.

O Capítulo 2, referencial teórico, apresenta informações sobre uma revisão da literatura referente a segurança de barragens de rejeito, legislações, projeto, monitoramento e instrumentação dessas estruturas, acidentes e incidentes de barragens.

No Capítulo 3 é apresentada a metodologia adotada para realização desta pesquisa. São apresentados os dados da barragem objeto de estudo, descrição e as principais etapas para a elaboração desta dissertação.

No Capítulo 4, apresentação e análise dos resultados, descrevem-se os resultados do levantamento de dados da barragem, classificação da barragem de acordo com o risco e dano potencial associado, bem como análise estrutural da barragem, com diagnóstico da segurança da obra.

No Capítulo 5, apresenta-se as conclusões obtidas a partir das análises dos resultados apresentados no Capítulo 4, e, contribuindo com sugestões para os trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

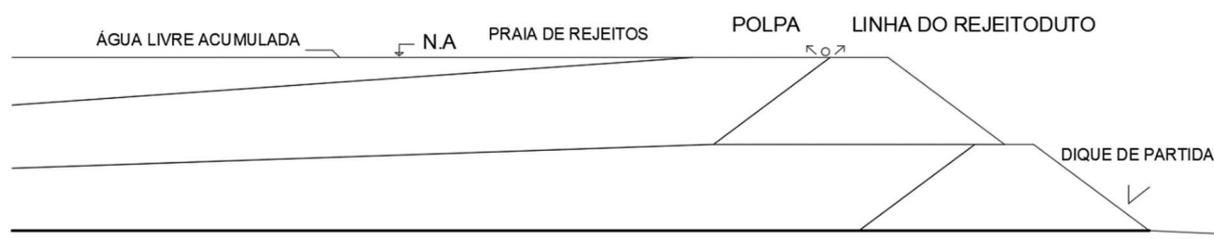
### 2.1 BARRAGEM DE TERRA PARA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS

#### 2.1.1 Definição

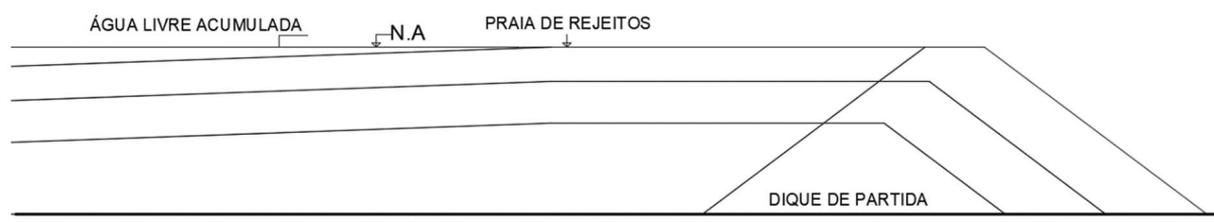
O Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), atual Agência Nacional de Mineração (ANM), através da Portaria nº 416/2012, artigo 2º define: “barragens, barramentos, diques, reservatórios, cavas exauridas com barramentos construídos, associados às atividades desenvolvidas com base em direito minerário, utilizados para fins de contenção, acumulação ou decantação de rejeito de mineração ou descarga de sedimentos provenientes de atividades em mineração, com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas”.

As barragens de disposição de rejeitos podem ser consideradas como estruturas de contenção (Figura 1) construídas de modo convencional utilizando solo argiloso, enrocamento com núcleo argiloso, ou criadas através dos próprios rejeitos a partir dos métodos de montante, jusante ou de linha de centro (ALBUQUERQUE FILHO, 2004).

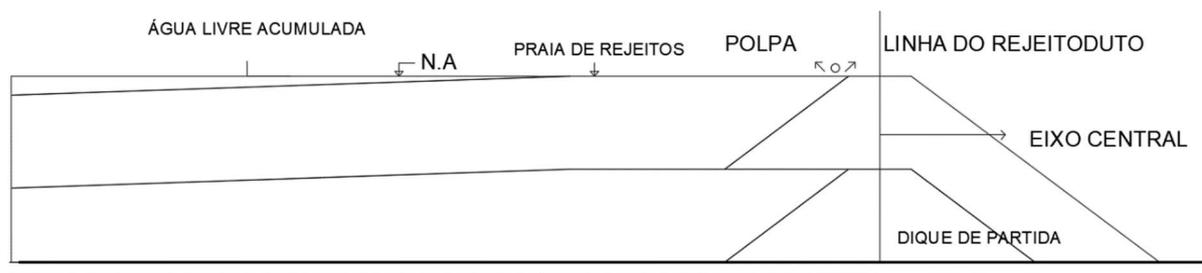
Figura 1 - Tipos de Alçamento em Barragem de Rejeito



(a) Método de Montante



(b) Método de Jusante



(c) Método de Linha de Centro

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

### 2.1.2 Planejamento, Projeto e Execução de Barragem de Rejeitos

O planejamento e o projeto da barragem de rejeitos devem incluir programas de ensaios em campo e em laboratório das fundações, rochas e materiais de empréstimo, para avaliar suas propriedades físicas e mecânicas, além das características das águas subterrâneas, sua localização e composição. No planejamento de uma barragem de rejeitos, são fundamentais análises de estabilidade, previsão de recalques, estudo da percolação, controle de erosão, estudo de impactos ambientais e de recuperação ambiental. Na etapa de construção, a instrumentação de campo é importante para assegurar que a obra cumpra as especificações de projeto (LOZANO, 2006).

Segundo Duarte (2008), barragens civis ou convencionais tem qualquer fim menos a contenção de rejeitos. Outro ponto que diferencia as barragens de rejeito é a sua construção em etapas, as quais, acompanham o ritmo de lavra, desta forma à medida que são gerados rejeitos, os alteamentos são executados.

Estas, também, são reconhecidas por gerarem um impacto ambiental significativo; eventuais falhas resultam em grandes volumes de rejeitos descarregados no meio ambiente.

Para Nery (2013), a operação de barragens de rejeitos através dos métodos convencionais é simples e de baixo custo. Entretanto, o potencial de impacto sobre o

meio ambiente é alto, pois são necessárias grandes áreas de disposição, além de estruturas de contenção como diques, barragens ou bacias. Os custos associados às obras destes sistemas de disposição são elevados devido à necessidade de impermeabilização da área antes da disposição, geralmente feita com geomembranas ou com camada de material impermeável, para evitar os riscos de contaminação do solo e do lençol freático. Também existem os riscos com relação ao rompimento dos diques, que representam motivo de preocupação para populações vizinhas. Além disso, a vida útil do depósito é curta, em comparação com métodos em que se tem o resíduo com maior teor de sólidos, e o descomissionamento da área é um processo lento.

Segundo Lozano (2006), as barragens de rejeitos representam uma fonte de poluição importante, portanto sua construção, desde a escolha da localização até o fechamento, deve seguir as normas ambientais e os critérios econômicos, geotécnicos, estruturais, sociais e de segurança e risco.

A diversidade de tamanhos e usos das barragens e aterros reflete-se, também, nas condições de manutenção dessas estruturas. Algumas são impecavelmente mantidas, atendendo normas de segurança compatíveis com os padrões internacionais mais exigentes, enquanto outras se apresentam com sérios riscos de serem ultrapassados os limites de segurança, podendo, inclusive, resultar no rompimento da estrutura (ESPÓSITO, 2000).

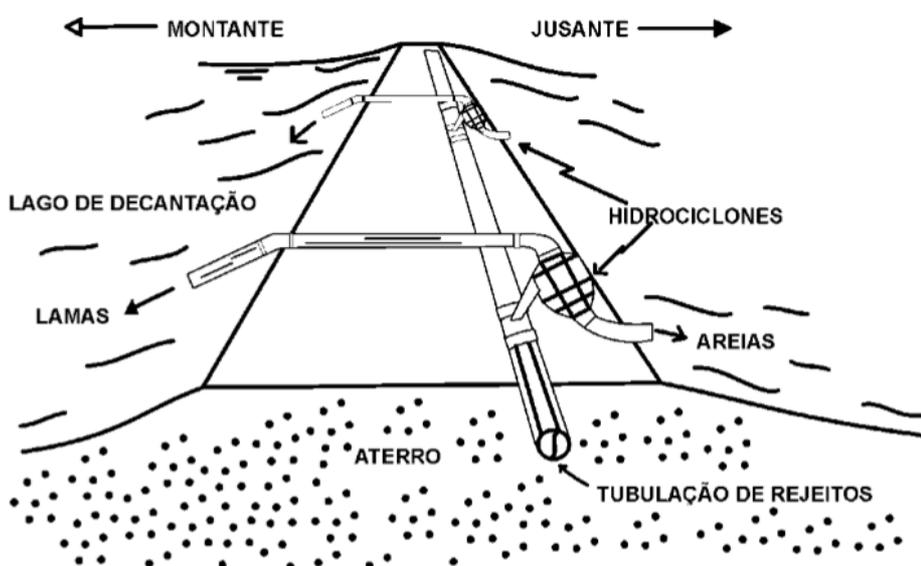
Ávila (2011), calcula que a cada 30 anos, as barragens ao redor do mundo aumentaram dez vezes em volume e dobraram em altura para armazenar os resíduos em consequência dos processos de extração e beneficiamento de minério. Atualmente, no mundo, cerca de 670.000 toneladas de rejeitos são geradas por dia, número que deve chegar a 1 milhão de toneladas/dia de rejeitos em 2030.

A construção de barragens de rejeitos com a técnica de aterro hidráulico pelo método de montante constitui a forma mais antiga e simples, caracterizando-se como uma evolução natural dos procedimentos empíricos de disposição de rejeitos. A etapa inicial de construção deste tipo de barragem consiste normalmente na execução de um dique de partida de terra compactada ou enrocamento. Por razões técnicas e construtivas, o rejeito é lançado a montante da periferia da crista por canhões ou

hidrociclones formando uma praia de deposição, que servirá como fundação e fornecerá material para a execução dos alteamentos subsequentes conforme ilustração na Figura 2. Este processo é repetido continuamente até que a cota final prevista da barragem seja atingida (ALBUQUERQUE FILHO, 2004).

De acordo com Luz (2010), junto aos métodos de disposição, a hidrociclonação possibilita a seleção e adequação dos materiais construtivos, portanto, tornou-se uma etapa muito importante na construção de uma barragem de rejeitos.. Podendo-se observar na ilustração da Figura 2, a localização do sistema de hidrociclonação em relação ao dique inicial (aterro) da barragem.

Figura 2 - Arranjo Típico de Hidrociclones ao Longo da Crista da Barragem

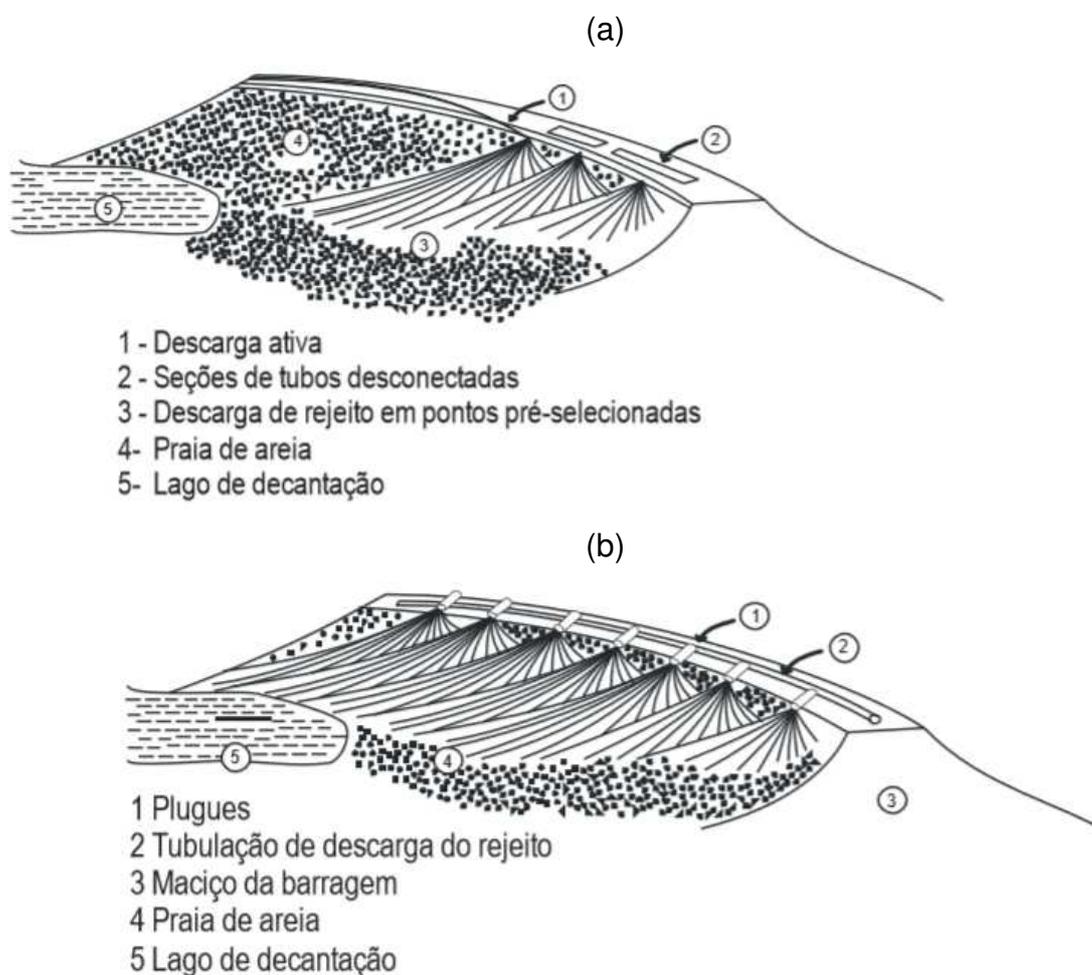


Fonte: (Luz 2010).

A descarga da polpa pode ocorrer por um ou vários pontos, segundo plugues (spigots) que controlam a descarga da polpa. No primeiro caso, as tubulações de transporte devem ser desconectadas e relocadas, de modo a possibilitar a formação sequencial de depósitos adjacentes (Figura 3A), enquanto os plugues realizam as mesmas funções, isto é, lançar os rejeitos em áreas contíguas. Os spigots ficam posicionados ao longo da tubulação, normalmente espaçados entre 15 e 45 m. O emprego desses dispositivos possibilita, ainda, o controle do lançamento dos rejeitos por válvulas individuais em cada um deles (Figura 3B) (LUZ, 2010).

A polpa é descarregada ao longo do perímetro da crista do dique, formando uma praia. A descarga pode ser feita com ciclones, ou com uma seqüência de tubulações menores perpendiculares à tubulação principal, chamados “spigots”, que permitem uma melhor uniformidade na formação da praia. Como os rejeitos têm uma distribuição granulométrica ampla, as partículas mais grossas e mais pesadas sedimentam mais rapidamente, ficando nas zonas perto do dique, e as partículas menores e menos densas ficam em suspensão e são transportadas para as zonas internas da bacia de sedimentação (LOZANO, 2006).

Figura 3 – Método de descarga: (a) Periférica de polpa por um único ponto; (b) Periférica de polpa por spigots.



Fonte: Vick (1983); Luz (2010).

Nas etapas posteriores, são construídos diques em todo o perímetro da bacia. O tamanho dos diques nos alteamentos é uma variável que depende das necessidades operacionais da mina. O dique inicial geralmente é compactado e sempre maior que os diques das etapas seguintes.

O método de montante apresenta como principais vantagens o baixo custo de sua construção, a necessidade de menor volume de materiais, a rapidez e a simplicidade na execução dos alteamentos, normalmente realizados pela equipe técnica da própria mineradora (VICK, 1983).

O principal agravante relacionado à adoção do método de montante reside no fato de que os alteamentos são realizados sobre materiais (rejeitos) depositados em curto intervalo de tempo e conseqüentemente encontram-se pouco consolidados. Neste sentido, sob condição saturada e estado de compactação fofo, estes rejeitos tendem a apresentar baixa resistência ao cisalhamento e susceptibilidade à liquefação sob carregamentos dinâmicos ou estáticos. Adicionalmente, a dificuldade na implantação de um sistema eficiente de drenagem interna para controle do nível d'água e da percolação dentro da barragem constitui um problema adicional, com reflexos diretos na estabilidade global da estrutura e riscos de piping no talude de jusante. Todas estas restrições, no entanto, não inviabilizam a utilização do método construtivo de montante (ALBUQUERQUE FILHO, 2004).

Porém, mesmo com o grande número de barragens construídas a montante, após os acidentes de Mariana e Brumadinho, a ANM através da Resolução 04/2019, proíbe a utilização do método em todo o território nacional e emite prazo para o descomissionamento de todas elas.

Essa resolução ainda é discutida por profissionais de engenharia, pois acredita-se que a construção tem eficiência comprovada, e que o simples fato de eliminar essa metodologia seria como desacreditar nos conceitos da engenharia, e, no caso da brasileira, onde se tem inúmeras construções de sucesso com a mesma metodologia.

A construção de barragens de rejeitos pelo método de jusante representa um desenvolvimento relativamente novo. Sua origem relaciona-se à necessidade de que

os alteamentos sucessivos não fossem executados sobre o rejeito previamente depositado e pouco consolidado (ALBUQUERQUE FILHO, 2004). Nesse sentido, Albuquerque Filho (2004), afirma que a adoção de estruturas construídas pela técnica de alteamento para jusante possibilitou a execução de barragens de rejeitos de maior porte e com fatores de segurança mais satisfatórios.

Klohn (1981), relaciona uma série de vantagens envolvidas no processo de construção de barragens de rejeitos com alteamentos sucessivos à jusante. Dentre elas, destacam-se:

- Nenhuma parte da barragem é construída sobre o rejeito previamente depositado e conseqüentemente pouco consolidado;
- O processo de lançamento e compactação da barragem pode ser controlado pelas técnicas convencionais de construção;
- O sistema de drenagem interna pode ser executado durante a construção da barragem, permitindo o controle sobre a linha de saturação e aumentando a estabilidade da estrutura;
- A barragem de rejeitos construída pelo método de jusante resiste satisfatoriamente a efeitos dinâmicos, como forças sísmicas;
- A construção pode ser escalonada sem comprometimento da segurança da estrutura;
- As atividades de construção da barragem não provocam interferência na operação dos rejeitos;
- Não existe limitação técnica quanto a altura máxima da barragem.

Ferraz (1993), destaca ainda como vantagem do método de jusante a possibilidade de redução significativa das dimensões do extravasor de cheias. A inexistência de restrições ao contato da lâmina d'água junto à crista da barragem, devido a presença de uma zona impermeável no talude de montante, justifica esta afirmação. Assim, o reservatório pode acumular volumes muito maiores de água, seja para recirculação de água na planta industrial, seja para retenção de cheias ou de possíveis fluidos tóxicos liberados pelo rejeito.

Em contrapartida, Albuquerque Filho (2004), destaca como principal desvantagem na construção de barragens de rejeitos pelo método de jusante a

necessidade de grandes volumes de material e conseqüentemente o alto custo envolvido na execução destas estruturas.

Quanto a construção de barragens de rejeitos pelo método da linha de centro representa basicamente uma variação do método de jusante em que o alteamento da crista é realizado de forma vertical. O primeiro alteamento é executado lançando-se o aterro sobre o limite montante da praia e o talude de jusante do maciço do dique de partida, com os alteamentos subseqüentes devendo ser coincidentes a este eixo durante toda a vida útil da barragem (ALBUQUERQUE FILHO, 2004).

De maneira geral, Albuquerque Filho (2004), considera o método da linha de centro uma solução geometricamente intermediária entre os dois métodos anteriormente descritos, agregando assim vantagens e desvantagens de ambos. Entretanto, o comportamento estrutural destas estruturas encontra-se mais próximo das barragens construídas pelo método de jusante.

Albuquerque Filho (2004), ainda garante que a facilidade construtiva e a exigência de volumes relativamente menores de material no processo de construção da barragem são fatores favoráveis à adoção do método da linha de centro. Adicionalmente, destaca-se a possibilidade de execução do sistema de drenagem interna, permitindo maior controle da linha de saturação e da percolação dentro do maciço da barragem.

## 2.2 ACIDENTES E INCIDENTES COM BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITO

De acordo com Vieira (2005), acidente é uma anomalia de grande porte correspondente à ruptura parcial ou total de uma obra e/ou a sua completa desfuncionalidade, com graves conseqüências econômicas e sociais. Incidente é um evento físico indesejável, de pequeno porte, que prejudica a funcionalidade da obra, podendo vir a gerar eventuais acidentes, ainda que muito pequenos, se não corrigidos a tempo.

No Brasil, tem-se registro do primeiro acidente em 1986, na Barragem Fernandinho, em Rio Acima, Minas Gerais, deixando um total de 7 mortos. Lamentavelmente novos acidentes continuaram a ocorrer, sendo eles: Barragem de

Rio Verde, localizado no distrito de Nova Lima-MG, em 2001, lama e resíduos de mineração encobriram 2 quilômetros de uma estrada, provocando o assoreamento, degradação de cursos hídricos, destruição de mata ciliar e 5 (cinco) mortes; em Cataguases, 2003, com vazamento de lixívia negra; em Miraí, 2006 e 2007, vazamento de rejeitos de bauxita, ambos ocasionando a interrupção do fornecimento de água e em Itabirito, Barragem Herculano, 2014, 3 mortes (ÁVILA, 2016).

Sabbo (2017), indica que falhas ocorrem muitas vezes, devido à falta de aplicação adequada dos métodos conhecidos, de projetos mal elaborados, de supervisão deficiente e negligência das características vitais incorporadas na fase de construção a falta de manutenção da obra no decorrer dos anos e em alguns casos o abandono da barragem após a sua inativação.

Davies (2002), citou que assumindo um inventário mundial de 3500 barragens de rejeitos conhecidas, nos últimos 30 anos (1970 a 2001) ocorreram 2 a 5 falhas por ano, o que é equivalente a uma probabilidade anual em algum lugar entre 1 em 700 a 1 em 1750. Esta taxa de falha não oferece uma comparação favorável com menos de 1 em 10.000 que parece representar represas convencionais.

No Quadro 1, seguem alguns casos de rupturas em barragens de contenção de rejeitos.

Quadro 1 - Exemplos de rupturas em barragens de contenção de rejeitos

Ano	Mina/Local	Causa da ruptura	Danos provocados
1965	El Cobre/Chile	Terremoto/Liquefação	210 vítimas, soterramento do povoado
1970	Mufaline Mine/Africa	Não definida	89 vítimas – 453.000 m <sup>3</sup> de rejeitos saturados
1970	Buffalo Creek/West/ Virgínia	Não definida	110 mortos, 1100 feridos, 1500 casas destruídas – 595.000 m <sup>3</sup> de lama
1972	Impala Platinun/África do Sul	Entubamento (piping)	12 vítimas, 3 milhões de m <sup>3</sup> de lama fluíram por 45 km, destruindo estradas, pontes e soterrando reservatório de água potável.

... Continuação da quadro			
1974	Prealpi/Trento/Itália	Material de Construção	268 vítimas. Liberação de 200.000 m <sup>3</sup> de rejeitos
1985	Cerro Negro/Chile	Sismo Induzido e Liquefação	Lama de rejeitos fluiu até 85 km a jusante
1985	Pico S. Luiz/MG/Brasil	Solapamento do pé do aterro e entubamento	Lama fluiu até 10 km a jusante. Pontes e estrada de ferro.
1986	Fernandinho/Itaminas/MG/Brasil	Liquefação	4 vítimas. Destruição de laboratórios e equipamentos
1996	Mina do Porco/Bolívia	Entubamento (piping)	3 vítimas – fazendas, gado, flora e fauna; 300 km de rio contaminados
2001	Macacos, distrito de Nova Lima, MG	Dique alteado a uma cota acima do previsto em projeto; inclinação muito acentuada dos taludes do dique; problemas na implantação do projeto como falta de investigação geotécnica, elaboração de projetos, construção controlada e monitoramento; lançamento inadequado de rejeitos (FEAM, 2008).	5 operários morreram no acidente que atingiu aproximadamente 43 hectares e assoreou 6,4 km do leito do córrego Taquaras.
2003	Cataguas es, MG	Falta de manutenção do barramento	Lançamento dos rejeitos industriais na bacia do rio Paraíba do Sul, comprometendo a qualidade da água a jusante.
2007	Miraí, MG	Falha na barragem de rejeitos após forte chuva	4000 moradores das cidades de Miraí e Muriaé, na Zona da Mata, desabrigados; lavouras e pastagens destruídas e o abastecimento de água comprometido em cidades dos estados de MG e RJ
2009	Barcarena, PA,	Transbordamento de canais de drenagem em torno da bacia de lama vermelha após chuva forte	Comprometimento da água para 13 comunidades ribeirinhas

... Continuação da quadro			
2014	Herculano/Itabirito/MG	Falha na barragem	2 mortos e 1 desaparecido
2015	Germano/Bento Rodrigues/MG	falha da barragem de rejeitos de Fundão devido à drenagem insuficiente, levando à liquefação das areias de rejeitos logo após um pequeno terremoto.	destruiu 158 casas, pelo menos 17 pessoas mortas e 2 desaparecidas; A lama polui os rios North Gualaxo, Carmel e Rio Doce por 663 km, destruindo 15 quilômetros quadrados de terra ao longo dos rios e afastando os moradores do suprimento de água potável. 32 milhões de m3 de rejeitos.
2018	Barcarena/Pará	transbordamento da bacia de lama vermelha após fortes chuvas [ <i>a empresa, no entanto, mantém que nenhum transbordamento ocorreu!</i> ]	Líquidos altamente alcalinos e carregados de metal inundaram as áreas residenciais vizinhas, tornando inutilizável o suprimento de água potável na área.
2019	Córrego Feijão/Brumadinho/MG do	Falha na barragem de rejeitos nº1	A onda de rejeitos devastou a estação de carregamento da mina, sua área administrativa e duas bacias menores de retenção de sedimentos; depois viajou aprox. 7 km de descida até chegar a Rio Paraopeba, destruindo uma ponte do ramo ferroviário da mina e se espalhando para partes da comunidade local Vila Ferteco, perto da cidade de Brumadinho; 270 pessoas foram mortas e 11 estão desaparecidas. 12 milhões de m3 de rejeitos.
2019	Machadinho do Oeste, RO	Falha na barragem após fortes chuvas	7 pontes danificadas, 100 famílias isoladas, nenhuma morte ou ferimento relatado
2019	N. Senhora do Livramento/MT	Falha na barragem de rejeitos	Rejeitos percorreram entre 1 e 2km, interrompendo uma linha de energia

Fonte: Adaptado de Wise Uranion Project (2020)

Os acidentes em barragens de rejeitos continuam insistentemente a ocorrer no Brasil, com conseqüências indesejáveis para a sociedade e para o setor de mineração e indústria, como um todo. Além destes acidentes ocorrem incidentes, estes mais numerosos, onde não ocorre a ruptura, mas ocorre o vazamento de sólidos para jusante com conseqüências variáveis. Segundo Ávila (2011) existem ainda numerosos incidentes que, infelizmente não são informados, porque os proprietários não os revelam, tirando a chance de aprendizado com suas causas.

Registra-se, ainda, que entre 1970 e 1998 ocorreram 25 grandes acidentes com barragens de contenção de rejeitos. A maioria resultou de condicionantes geológicos e geotécnicos (sismos, fundações, entubamento ou piping, liquefação e materiais de construção, entre outros).

Na Tabela 1, consta a distribuição da frequência de acidentes, segundo suas causas.

Tabela 1 – Principais causas de acidentes em barragens de rejeitos.

Causas	Nº de acidentes	Frequência Relativa (%)
Liquefação	21	46,7
Entubamento	11	24,4
Não definida	13	28,9
Total	45	100,00

Fonte: IBRAM (2016; Arnez (1999).

Em 2001, o ICOLD (International Commission on Large Dams), publicou um boletim Bulletin 121: "Tailings Dams, Risk of Dangerous Occurrences, Lessons Learnt From Practical Experiences" com o resultado de um trabalho da comissão de barragens de rejeitos que, durante cinco anos, inventariou os acidentes e incidentes ocorridos desde 1970. Participaram deste inventário representantes de 52 países, que colaboraram com informações sobre acidentes e incidentes. Cerca de 400 casos foram analisados para identificar as causas principais destes eventos (DUARTE, 2008).

No exterior, algumas associações criaram procedimentos de segurança de barragens para serem disponibilizados a seus associados, porém outros em formas de website, plataformas de ensino online etc. O que importa neste caso é que de fato

houve uma mobilização para a discussão do assunto entre os interessados, como exemplos podem ser citados no Brasil e Exterior, o CBDB, ABMS, IBRAM, MAC, ICMM, ICOLD dentre outros.

As barragens de mineração, que não possuem um Plano de Ação de Emergência (PAE), estão sujeitas à ausência de responsabilidades e ações a serem tomadas. Em geral, quando está para ocorrer a ruptura, fica evidente desencontro de informações e/ou ingerência nas tomadas de ações. Antes da eventual ruptura, essas ingerências e desencontros de informações podem afigurar condições que ocasionarão o agravamento e até o colapso em si da barragem. (LIMA, 2015)

O levantamento efetuado em 2014 pelo ICOLD e apresentado no trabalho de Fernandes (2017) referente as rupturas de barragens ocorridas entre os anos de 1915 a 2014, apresentado no Bulletin 121 (ICOLD), considera as rupturas de barragens em cinco categorias, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Rupturas de barragens de rejeito entre 1915 e 2014

	Rupturas/Acidentes – Barragens					Total
	1 - Rupturas muito graves (B. Rejeito)	2 - Rupturas Graves (B.Rejeito)	3 - Demais rupturas (B.Rejeito)	4 - Demais acidentes relacionados a (B.Rejeito)	5 - Demais acidentes relacionados a Rejeito	
2010-19	4	5	12	1	0	-
2000-09	10	7	8	1	0	2
1990-99	9	10	21	1	0	1
1980-89	5	9	37	5	0	2
1970-79	4	8	39	0	3	7
1960-69	4	3	41	0	2	7
1950-59	0	0	7	0	0	50
1940-49	1	1	5	0	0	54
1930-39	0	0	2	0	0	56
1920-29	1	0	0	0	0	41
1910-19	0	1	1	0	0	26
1900-09	-	-	-	-	-	22
	38	44	173	8	5	268

Fonte: Icold (2014) modificado por Fernandes (2017)

**Sendo:**

(1) = Rupturas muito graves de barragens de rejeitos, com perdas de vida de aproximadamente 20 pessoas e/ou derramamento igual ou superior a 1.000.000m<sup>3</sup> de semi-sólidos e/ou danos em 20km ou mais.

(2) = Rupturas graves de barragens de rejeitos, com perdas de vida e/ou derramamento igual ou superior a 100.000m<sup>3</sup> de semi-sólidos e/ou danos em 20km ou mais.

(3) = Demais tipos de rupturas de barragens de rejeitos, com falhas de engenharia ou de processo, que podem ser classificadas como muito grave ou grave, sem perdas de vida.

(4) = Outros tipos de acidentes relacionados a barragens de rejeitos, exceto aqueles que podem ser classificados como 1, 2 ou 3.

(5) = Outros tipos de acidentes não relacionados a rejeitos ou de causas desconhecidas, tais como águas subterrâneas, fundação, etc.

Ainda de acordo com Fernandes (2017), em relação ao tipo de alteamento e/ou função dos barramentos, tem-se que das 268 rupturas cadastradas, 32% refere-se a alteamentos de montante (87 estruturas) e, deste percentual, cerca de 22% sem indicação de perdas de vida humana. Entretanto, tem-se um total de 110 estruturas que não apresentam esse tipo de informação, ou seja, 41% das rupturas não podem ser classificadas em função do tipo de alteamento, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Rupturas em função do tipo de alteamento

Tipo de Ruptura	Tipo de alteamento/função						Total
	Montante	Jusante	Linha de Centro	Retenção de Água	Outros	Não Informadas	
1	11	3	-	3	1	20	38
2	14	2	-	2	2	24	44
3	60	20	10	21	1	61	173
4	-	2	1	1	-	4	8
5	2	-	-	2	-	1	5
	87	27	11	29	4	110	268

Fonte: Fernandes (2017)

A Tabela 4, apresenta um ranking dos países em função de suas rupturas em barragens, podendo assim, perceber que o Brasil ocupava no ano de 2014 apenas o 8º (oitavo) lugar, e com um total de de rupturas bem abaixo dos primeiros países.

Tabela 4 – Ranking dos países em função da ruptura

	Rupturas			4 - Outros Acidentes	5 - Causas Desconhecidas ou sem rejeitos	Total
	1 - Muito Grave	2 - Grave	3 - Demais			
<b>1º Usa</b>	7	12	68	5	1	93
<b>2º Chile</b>	2	5	32	-	-	39
<b>3º Canadá</b>	2	1	12	-	3	18
<b>4º China</b>	6	4	5	1	-	16
<b>5º Filipinas</b>	6	4	5	-	-	15
<b>6º Reino Unido</b>	-	-	13	-	-	13
<b>7º África</b>	3	1	5	1	-	10
<b>8º Brasil</b>	2	4	2	-	-	8
-	-	-	-	-	-	212

Fonte: Fernandes (2017)

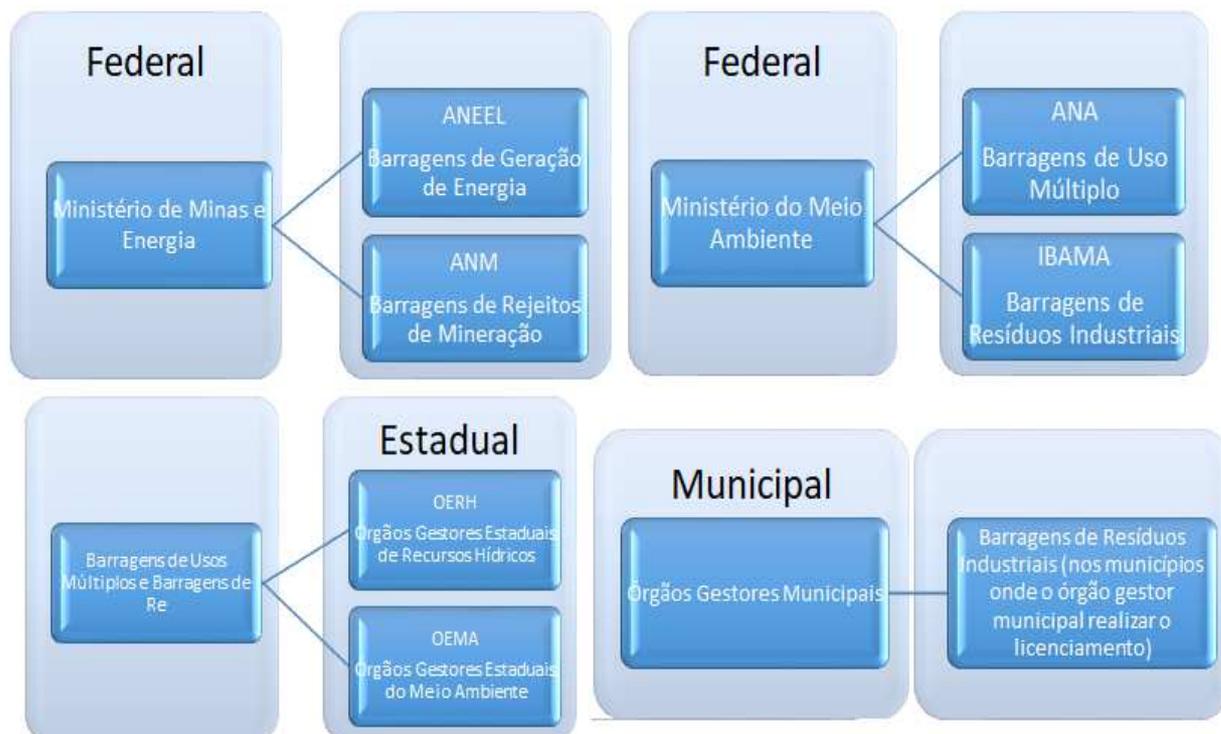
### 2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A LEGISLAÇÃO DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITO

O art. 5º da Lei Federal Nº 12.334/2010 definiu as entidades responsáveis pela fiscalização da segurança de barragens. A maior parte do universo das barragens brasileiras, identificadas sob o escopo da Lei deve ser regulada e fiscalizada por entidades estaduais que compõem o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Essas barragens são destinadas a usos múltiplos. A Figura 04 apresenta as entidades responsáveis pela fiscalização da segurança de barragens nas esferas federal, estadual e municipal.

Outra parte das barragens será fiscalizada pela ANA (barragens para usos múltiplos), pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (barragens cujo uso preponderante seja a geração de energia) e pela Agência Nacional de Mineração – ANM (barragens contendo rejeitos de minério).

Por fim, uma parte menor das barragens, em princípio, será regulada e fiscalizada pelos órgãos que compõem o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), isto é, no âmbito federal, pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e, nos âmbitos estadual e municipal, pelos órgãos ambientais licenciadores (barragens de contenção de resíduos industriais).

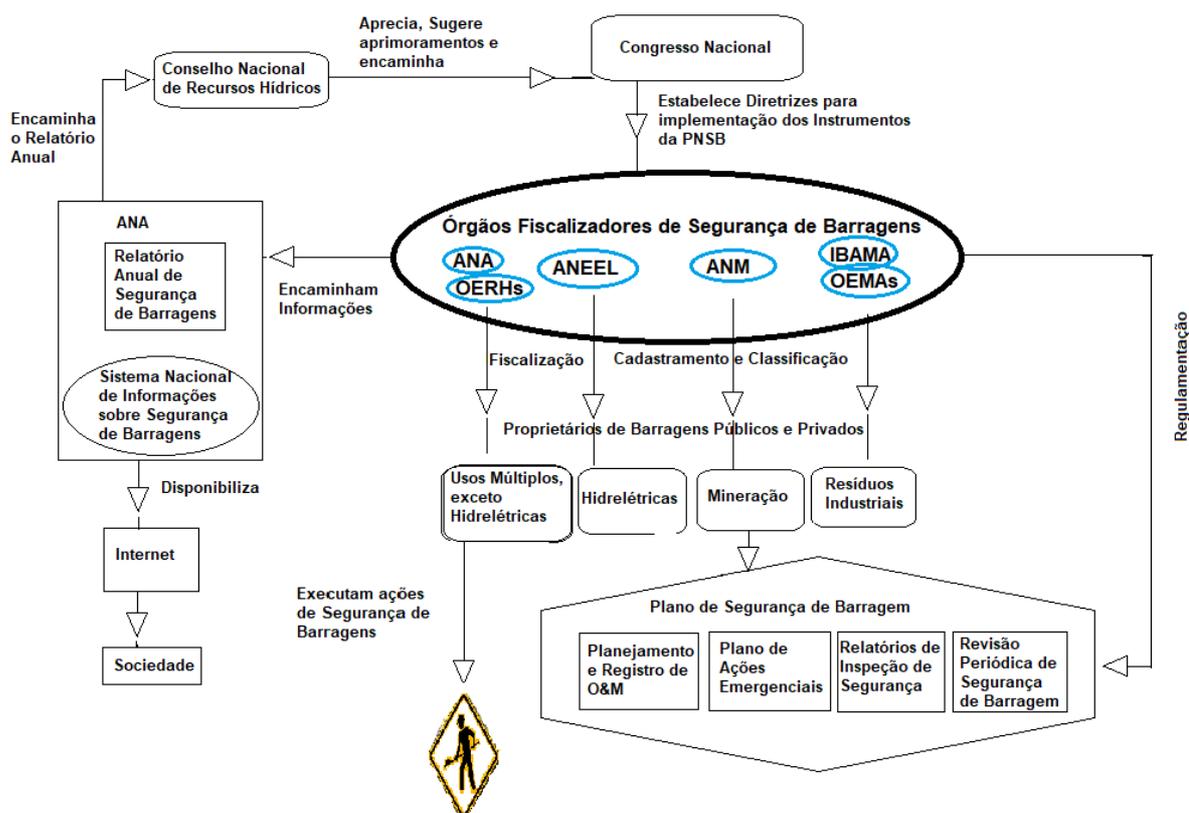
Figura 4 – Entidades responsáveis pela fiscalização da segurança de barragens



Fonte: Adaptado do Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens (ANA, 2016)

Das competências estabelecidas na Lei nº 12.334/2010 para fiscalizadores e empreendedores, assim como para outros entes governamentais, resulta um arranjo institucional e o estabelecimento de fluxos de informações. Esse arranjo, apresentado na Figura 5, se inicia com as ações das entidades fiscalizadoras e empreendedores e termina com as informações atingindo o Congresso Nacional e a sociedade civil.

Figura 5 – Arranjo institucional estabelecido para a regulação da segurança de barragens



Fonte: ANA (2020) elaborado pelo autor (2020)

### 2.3.1 Cenário Internacional

Os itens a seguir apresentam informações resumidas de um estudo feito por Duarte (2008), que englobam tanto barragens convencionais quanto barragens de contenção de rejeitos, uma vez que a legislação de muitos países não faz distinção entre os diferentes tipos de barragens. Deste modo o Quadro 2 apresenta algumas características relacionadas a gestão em barragens de rejeitos em alguns países.

Quadro 2. – Características da gestão de barragens convencionais e rejeitos em alguns países

País	Barragens Sujeitas a Legislação H=altura e V= volume	Classificação do Risco	Exigências	Inspeções
Austrália	De acordo com a classe	Divisão em 3 classes de acordo com a compilação de dados de altura e categoria de risco	Exige aplicação da legislação; NOI – Notificação de Intenção (documento englobando aspectos ambientais a serem aprovados).	De acordo com a classe, a inspeção será a cada um, dois ou três anos.
Noruega	H > 4 m e V > 500.000 m <sup>3</sup>	Três classes de acordo com o número de habitantes a jusante	Padrões de projeto e de obra civil; Alarme, se necessário.	Aprovação do Programa de Inspeção e Vistoria.
Romênia	H > 10 m V > 10.000.000 m <sup>3</sup> (áreas habitáveis devem estar a menos de 10 km)	Quatro classes de acordo com volume e altura da barragem	O Estado define alguns padrões de projeto de acordo com a classe da barragem; Controle documental; Sistema de alarme; Plano de emergência	A própria empresa define a inspeção e o método de monitoramento; Inspeções especiais acompanhadas por peritos, em caso de eventos excepcionais
Portugal	H > 15 m ou  V > 1.000.000 m <sup>3</sup>	Duas classes: - Grandes Barragens H > 15 m ou V > 1.000.000 m <sup>3</sup> ou perdas de vidas humanas, conseqüências econômicas importantes); - Peq. Barragens	Há regras gerais (não impõe métodos precisos); Sist de monitoramento; Plano de emergência; Sist de alarme (transmissão da comunicação por telefone, rádio ou sinal sonoro).	Três tipos: - contínua; - especial; - excepcional.
África do Sul	H > 5 m e V > 50.000 m <sup>3</sup>	Classif. de risco de segurança (níveis elevado, médio ou baixo) Em termos ambientais: classif. quanto à extensão, duração e intensidade dos impactos, considerados significativos ou não significativos	Inventário das barragens atualizado; Aplicação da legislação; Relatório do Programa de Gestão Ambiental; Análise do Ciclo de Vida.	Devem ser realizada por consultores independentes

Fonte:Duarte (2008)

### 2.3.2 Cenário Nacional

No Brasil, o Ministério da Integração Nacional, juntamente com a Agência Nacional de Águas (ANA) e com a Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica (SIH), vem colocando em prática ações para prevenir e minimizar os riscos de acidentes com barragens em todo o país. Em parceria com estados, municípios e proprietários, o Governo Federal faz levantamento para acompanhar permanente e sistematicamente a situação dessas obras, já concluídas ou em andamento. Órgãos da administração federal, governos estaduais e agentes da iniciativa privada participam do processo de cadastramento e avaliação da situação das construções (DUARTE, 2008)

Segundo ANM (2018), cronologicamente, o histórico da temática de Segurança de Barragens no Brasil segue o seguinte arcabouço:

- a) 2003: Projeto de Lei nº 1.181/2003;
- b) 2003: criado Grupo de Trabalho no âmbito da Câmara Técnica de Análise de Projetos (CTAP) do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (GT SB CTAP/CNRH) para discutir o tema;
- c) 2004: ao final dos trabalhos, o Grupo de Trabalho encaminhou minuta de substitutivo, que foi discutida e aprovada pela Câmara Técnica de Assuntos Legais e Institucionais (CTIL) e, posteriormente, pelo plenário do CNRH, dando origem ao Projeto de Lei PLC-168/2009;
- d) 2010: publicada a Lei nº 12.334/2010, que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), servindo como um marco importante na gestão da segurança de barragens no país.

Os dados técnicos reunidos no levantamento sobre a situação das barragens no país orientam a adoção de providências para a melhoria da segurança das obras. O Governo Federal faz o trabalho de prevenção em consonância com o artigo 21 da Constituição Federal (BRASIL, 1988), que estabelece como competência da União o planejamento e a promoção da defesa permanente contra calamidades públicas e, ainda, com base nos Artigos 1º e 2º do Decreto nº 5.376 (BRASIL, 2005), que dispõe sobre a organização do Sistema Nacional de Defesa Civil (DUARTE, 2008).

A construção de barragens sujeitas a licenciamento ambiental conforme Resolução 237 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1997) exige grande conhecimento técnico e obediência a criteriosas normas de segurança que vão desde a elaboração do projeto à execução e manutenção das obras, exigindo assim, cautela com relação à escolha de profissionais, instalações, matéria-prima, equipamentos a serem utilizados tanto na execução como manutenção do empreendimento, sendo que as companhias seguradoras poderão atuar de forma efetiva na fiscalização do cumprimento das medidas necessárias de segurança.

No que diz respeito a legislação aplicada a Barragens, tem-se as seguintes informações:

Normativos decorrentes do evento de Brumadinho-MG

- Resolução nº 1, de 28 de janeiro de 2019 – Conselho Ministerial de Supervisão de Respostas a Desastres;
  - Resolução nº 2, de 28 de janeiro de 2019 - Conselho Ministerial de Supervisão de Respostas a Desastres;
  - Moção nº 72, de 29 de janeiro de 2019 - Conselho Nacional de Recursos Hídricos;
  - Resolução Conjunta SEMAD/FEAM nº 2.765, de 30 de janeiro de 2019.
- (i) Pareceres acerca da competência fiscalizatória de Centrais de Geração Hidrelétricas (CGH);
- Ofício ANA 207/2017 - Política Nacional de Segurança de Barragem - PNSB;
  - Nota Técnica - Divergência de interpretação, entre ANA e ANEEL, acerca do art. 5º da Lei 12.334/2010;
  - Processo sobre a responsabilidade da ANEEL nas CGHs incluindo parecer da PFANEEL em Fevereiro de 2018.

(ii) LEGISLAÇÃO FEDERAL

- LEI Nº 12.334, DE 20 DE SETEMBRO DE 2010;
- Resolução CNRH nº 37, de 26 de março de 2004;
- Resolução CNRH nº 143, de 10 de julho de 2012;
- Resolução CNRH nº 144, de 10 de julho de 2012;
- Resolução CNRH nº 178, de 29 de junho de 2016.

### (iii) ENTIDADES FISCALIZADORAS

#### ANA

- Resolução nº 236, de 30/01/2017 - Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança;
- Resolução nº 132, de 22/02/2016 - Estabelece critérios complementares de classificação de barragens reguladas pela ANA, quanto ao Dano Potencial Associado (DPA).

#### ANEEL

- Resolução Normativa nº 696, de 15 de dezembro de 2015.

#### ANM

- Portaria nº 70.389, de 17 de Maio de 2017.

#### SEMARH/AL

- Portaria nº 491, de 08 de Setembro de 2015;
- Portaria nº 492, de 08 de Setembro de 2015;
- Portaria nº 674, de 28 de Dezembro de 2016;
- Portaria nº 697, de 29 de Dezembro de 2016.

#### INEMA/BA

- Portaria nº 16.481 de 11 de Julho de 2018;
- Portaria nº 16.482 de 11 de Julho de 2018.

#### ADASA/DF

- Resolução nº 10, de 13 de Maio de 2011;
- Lei Distrital nº 6.362, de 22 de agosto de 2019.

#### SEMA/MA

- Portaria nº 005, de 19 de Janeiro de 2016.

#### SEMAD-IGAM /MG

- Resolução Conjunta SEMAD/IGAM nº 2257, de 31 de Dezembro de 2014.

#### SEMA/MT

- Resolução SEMA-MT nº99/2017, de 19 de setembro de 2017.

#### APAC/PE

- Resolução nº 02, de 22 de Dezembro de 2016.

#### AGUASPARANÁ / PR

- Portaria 046/2018, de 04 de dezembro de 2018.

#### SEMARH/SE

- Portaria SEMARH nº 20, de 16 de Novembro de 2015.

#### DAEE/SP

- Portaria DAEE nº 3907, de 15 de dezembro de 2015.

#### CETESB/SP

- Decisão de Diretoria nº 279/2015/C, de 18 de Novembro de 2015.

#### IMASUL/MS

- Resolução nº 044, de 20 de Dezembro de 2016.

#### AESA/PB

- Resolução 03, de 11 de Fevereiro de 2016;
- Resolução 04, de 25 de Novembro de 2016.

#### SEMA/RS

- Decreto nº 52.931, de 7 de Março de 2016;
- Portaria SEMA nº 136, de 29 de dezembro de 2017.

#### SEDAM/RO

- Instrução Normativa 003, de 05 de Novembro de 2018;
- Portaria nº 379, de 15 de Dezembro de 2017.

#### IPAAM/AM

- Portaria Normativa IPAAM nº 139 de 03 de dezembro de 2018.

#### IMAP/AP

- Portaria nº 435 / 2018 - UPE/IMAP.

#### AGERH/ES

- Resolução Agerh nº071/2018;
- Resolução Agerh nº 072/2018.

#### SEMAS/PA

- Instrução Normativa nº 02/2018, de 07 de fevereiro de 2018.

#### INEA/RJ

- Resolução INEA nº 165, de 26 de dezembro de 2018.

#### FEMARH/RR

- Instrução Normativa nº 03, de 20 de dezembro de 2017.

### 2.3.2.1 Lei Nº 12.334/2010 (PNSB)

Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.

Art. 1º. Esta Lei estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Parágrafo único. Esta Lei aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

- I - altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);
- II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m<sup>3</sup> (três milhões de metros cúbicos);
- III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- IV - categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 6º.

Art. 3º São objetivos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB):

- I - garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências;
- II - regulamentar as ações de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros de barragens em todo o território nacional;
- III - promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens;

IV - criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público, com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança;

V - coligir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos;

VI - estabelecer conformidades de natureza técnica que permitam a avaliação da adequação aos parâmetros estabelecidos pelo poder público;

VII - fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos.

Art. 4º São fundamentos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB):

I - A segurança de uma barragem deve ser considerada nas suas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros;

II - A população deve ser informada e estimulada a participar, direta ou indiretamente, das ações preventivas e emergenciais; III - O empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações para garanti-la;

#### *2.3.2.2 Resolução nº 143/2012 (CNRH)*

Esta resolução estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo seu volume, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 do qual atribuiu ao CNRH a competência para definição dos critérios.

Também refere-se a dano potencial associado o dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, podendo ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e impactos sociais, econômicos e ambientais e área afetada definida como área, a jusante e a montante, potencialmente comprometida por eventual ruptura da barragem, cuja metodologia de definição de seus limites deverá ser determinada pelo órgão fiscalizador.

Quanto a categoria de Risco, o art 4º. Define que as barragens serão classificadas de acordo com aspectos da própria barragem que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente, levando-se em conta os seguintes critérios gerais conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Critérios gerais para classificação de categoria de risco

<b>I – Características Técnicas</b>	<b>II – Estado de Conservação da Barragem</b>	<b>III – Plano de Segurança da Barragem</b>
a) altura do barramento; b) comprimento do coroamento da barragem; c) tipo de barragem quanto ao material de construção; d) tipo de fundação da barragem; e) idade da barragem; f) tempo de recorrência da vazão de projeto do vertedouro;	a) confiabilidade das estruturas extravasoras; b) confiabilidade das estruturas de captação; c) eclusa; d) percolação; e) deformações e recalques; f) deterioração dos taludes	a) existência de documentação de projeto; b) estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem; c) procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento; d) regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem; e) relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação

Fonte: CNRH (2012)

Quanto aos critérios gerais a serem utilizados para classificação quanto ao dano potencial associado na área afetada são:

- I - existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas;
- II - existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários;
- III - existência de infraestrutura ou serviços;
- IV - existência de equipamentos de serviços públicos essenciais;
- V - existência de áreas protegidas definidas em legislação;
- VI - natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados;
- VII - volume.

Quanto ao volume de seu reservatório, nas barragens de rejeito mineral e/ou resíduo industrial, deverá ser considerado os seguintes aspectos:

- I - muito pequeno: reservatório com volume total inferior ou igual a 500 mil metros cúbicos;
- II - pequena: reservatório com volume total superior a 500 mil metros cúbicos e inferior ou igual a 5 milhões de metros cúbicos;
- III - média: reservatório com volume total superior a 5 milhões de metros cúbicos e inferior ou igual ou inferior a 25 milhões de metros cúbicos;
- IV - grande: reservatório com volume total superior a 25 milhões e inferior ou igual a 50 milhões de metros cúbicos.
- V - muito grande: reservatório com volume total superior a 50 milhões de metros cúbicos.

Quanto as barragens de acumulação de água, quanto ao volume de seu reservatório, as considerações serão as seguintes:

- I - pequena: reservatório com volume inferior a 5 milhões de metros cúbicos;
- II - média: reservatório com volume igual ou superior a 5 milhões de metros cúbicos e inferior ou igual a 75 milhões de metros cúbicos;
- III - grande: reservatório com volume superior a 75 milhões de metros cúbicos e inferior ou igual a 200 milhões de metros cúbicos;
- IV - muito grande: reservatório com volume superior a 200 milhões de metros cúbicos.

#### *2.3.2.3 Portaria nº 70.389/2017 (ANM)*

Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e 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 para Barragens de Mineração,

conforme arts. 8º, 9º, 10º, 11º e 12º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).

Considerando que compete ao DNPM, no âmbito de suas atribuições, fiscalizar as atividades de pesquisa e lavra para o aproveitamento mineral e a segurança das barragens destinadas à disposição de rejeitos resultantes destas atividades, desenvolvidas com base em títulos outorgados pela própria autarquia e pelo Ministério de Minas e Energia (MME).

O empreendedor deverá cadastrar as barragens de mineração diretamente no Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM), integrando o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, sendo ele obrigado a cadastrar todas as barragens de mineração em construção, em operação e desativadas sob sua responsabilidade.

No caso de descadastramento por fechamento ou descaracterização de uma barragem de mineração, o empreendedor deverá apresentar ao DNPM por meio do SIGBM, documento atestando o fechamento ou a descaracterização da citada estrutura elaborado por profissional legalmente habilitado acompanhado da respectiva anotação de responsabilidade técnica. Os estudos e planos a serem executados para o barramento principal devem abranger as situações peculiares de cada estrutura auxiliar de contenção do reservatório, os mapas de inundação e as análises de risco.

Na matriz de classificação de categoria de risco e dano potencial associado, a ANM conforme Tabela 6 a seguir traz suas recomendações.

Tabela 6 – Matriz de classificação de categoria de risco e dano potencial associado

Categoria de Risco	Dano Potencial Associado		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	B	C	D
Baixo	B	C	E

Fonte: ANM (2017)

A periodicidade máxima da RPSB será definida em função do DPA, sendo:

DPA alto: a cada 3 (três) anos;

DPA médio: a cada 5 (cinco) anos; e

DPA baixo: a cada 7 (sete) anos.

O documento físico do PAEBM deverá ter capa vermelha e o nome da barragem em destaque, visando fácil localização no momento de sinistro e deverá estar em local de fácil acesso no empreendimento, preferencialmente no escritório da equipe de segurança de barragem, ou em local mais próximo à estrutura.

Devem ser entregues cópias físicas do PAEBM para as Prefeituras e aos organismos de Defesa Civil. Quando solicitados, os empreendedores devem fornecer às autoridades citadas no caput informações complementares que esclareçam o conteúdo do PAEBM, assim como este documento deve conter em seus anexos relação das autoridades públicas que receberão a cópia do citado Plano, sendo que os respectivos protocolos de recebimento devem ser inseridos no PAEBM.

#### *2.3.2.4 Resolução nº 04/2019 (ANM)*

Esta Resolução estabelece medidas regulatórias para as barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método denominado "a montante" ou por método declarado como desconhecido.

Onde no seu art. 2º, deixa claro e enfatizada a proibição da utilização do método de alteamento a montante em todo o território nacional. Também ficam os empreendedores responsáveis por quaisquer barragens de mineração, proibidos de conceber, construir, manter e operar nas localidades associadas às atividades desenvolvidas com base em direito minerário e inseridos nas chamadas Zonas de Autossalvamento que são:

- I – Instalações destinadas a atividades administrativas, de vivência, de saúde e de recreação;
- II – Barragens de mineração ou estruturas vinculadas ao processo operacional de mineração para armazenamento de efluentes líquidos,

situadas imediatamente à jusante da barragem de mineração cuja existência possa comprometer a segurança da barragem à montante; e  
III – Qualquer instalação, obra ou serviço que manipule, utilize ou armazene fontes radioativas.

As questões de instalações de refeitórios a jusante por exemplo, foi emitido um prazo de até 12 de outubro de 2019, para ser desativadas ou removidas as instalações, obras e serviços referenciadas nos incisos I e III do art. 3º; e II - até 15 de agosto de 2022.

O não atendimento ao disposto na resolução 04/2019 da ANM, implicará na interdição da barragem de mineração até que se cumpra os prazos e requisitos dispostos.

Houve também uma solicitação ao projetista, de modo a atendimento a calcular os fatores de segurança para as barragens de mineração, independentemente do método construtivo adotado, com base na ABNT NBR 13.028/2017, nas normas internacionais e nas boas práticas de engenharia, sendo vedada para as análises de estabilidade e estudos de susceptibilidade à liquefação na condição não drenada valores inferiores a 1,3 para resistência de pico. E no caso de não atendimento a esta medida, fica a barragem de mineração imediatamente interditada e o empreendedor obrigado a suspender o aporte operacional na barragem e a notificar a ANM por meio do SIGBM, bem como a implementar ações de controle e mitigação para garantir a segurança da estrutura e avaliar a necessidade de evacuação da área à jusante, até que o fator de segurança retorne aos valores mínimos.

Nas questões de instrumentação e monitoramento o empreendedor responsável por barragem de mineração, classificada com Dano Potencial Associado alto, deverá implementar, até 15 de dezembro de 2020, sistema de monitoramento automatizado de instrumentação com acompanhamento em tempo real e período integral, seguindo os critérios definidos pelo projetista.

As barragens de mineração que necessitam ter PAEBM, com exceção de barragens convencionais construídas em etapa única, conforme o Cadastro Nacional

de Barragem de Mineração, devem contar com sistemas automatizados de acionamento de sirenes instaladas fora da mancha de inundação e outros mecanismos adequados ao eficiente alerta na ZAS, instalados em lugar seguro, e dotados de modo contra falhas em caso de rompimento da estrutura, complementando os sistemas de acionamento manual local e remoto.

Como precaução, e com vistas a minimizar o risco de rompimento, em especial por liquefação, das barragens alteadas pelo método a montante ou por método declarado como desconhecido, o empreendedor deverá concluir a elaboração de projeto técnico executivo de descaracterização da estrutura, que deverá contemplar, no mínimo, obras de reforço da barragem à jusante ou a construção de nova estrutura de contenção à jusante, ambos conforme definição técnica do projetista, com vistas a minimizar o risco de rompimento por liquefação ou reduzir o dano potencial associado, obedecendo a todos os critérios de segurança, sendo o projeto técnico referido deverá ser elaborado por equipe externa e independente, legalmente habilitada e com experiência comprovada pelo CONFEA/CREA.

No art. 13º, é importante ressaltar que os estudos, projetos, relatórios e registros das obras relacionados a esta Resolução deverão ser anexados ao Plano de Segurança de Barragens.

## 2.4 ATIVIDADE MINERADORA NO ESTADO DO AMAPÁ

A mineração é uma das principais atividades econômicas do Amapá, tendo desempenhado um importante papel no processo de desenvolvimento do estado. A vocação regional para a atividade mineradora remonta aos tempos de território federal, quando foi implantado o primeiro e mais duradouro projeto de mineração na Amazônia – o Projeto ICOMI. Essa experiência despertou o interesse pelas riquezas do Amapá, e promoveu o desenvolvimento de várias regiões graças a projetos como Jari, Carajás, Trombetas e outros (IEPA, 2010).

Lestra e Nardi (1993), relataram que em 1602, holandeses adentraram no estuário do rio Amazonas, no rio Maracá, onde descobriram ouro. Esse acontecimento pode ser considerado o início da garimpagem na Amazônia. Os holandeses

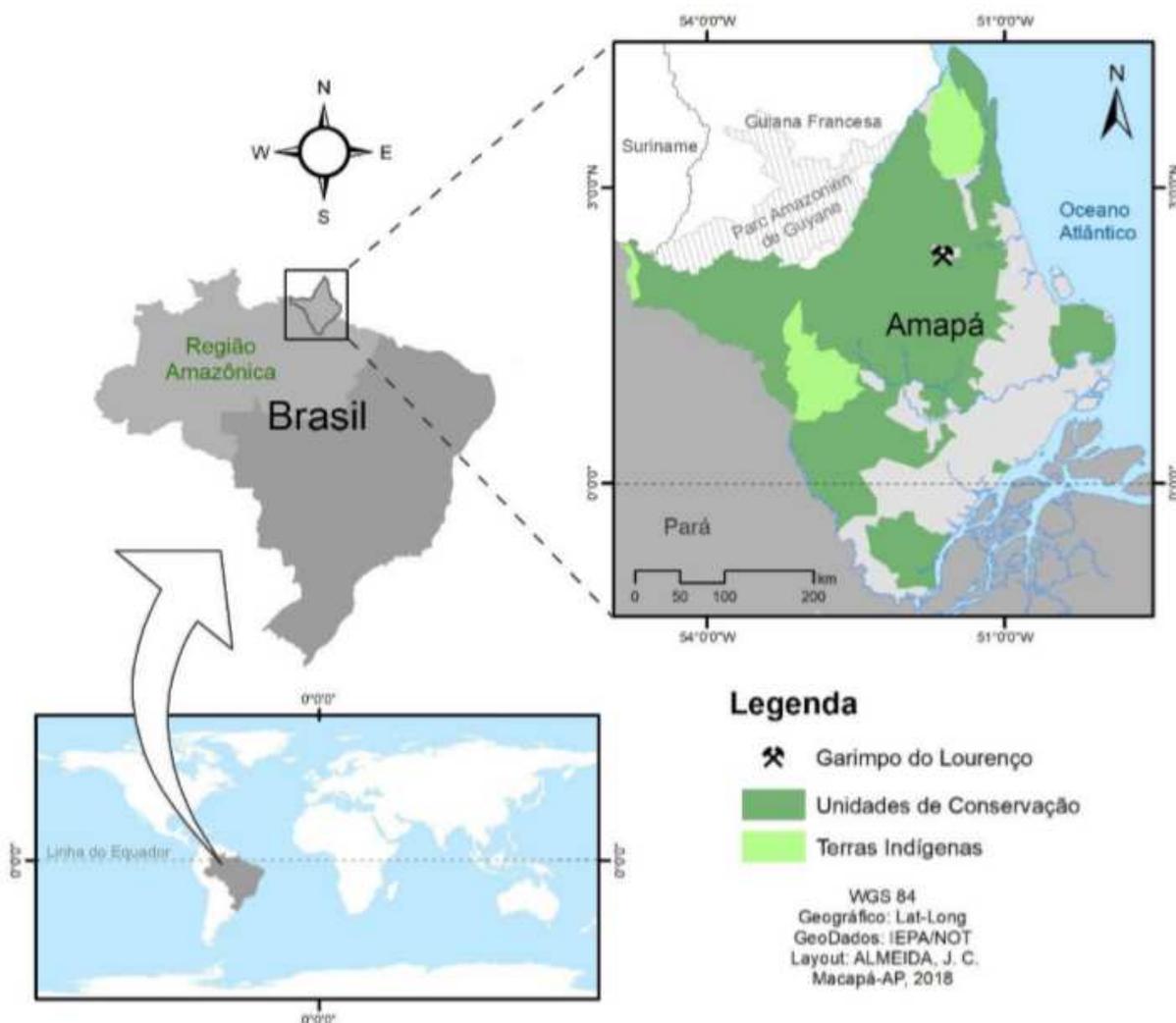
permaneceram por mais de uma década no igarapé Pedreira, um afluente do Maracá, extraindo ouro. Lopes (1983) menciona para o mesmo período a presença de ingleses na região do rio Cajari, que se dedicaram a colonização da área e provavelmente visavam, também, à exploração dos recursos minerais lá existentes.

Chagas (2019), cita que a garimpagem de ouro se intensificou no Estado do Amapá até o final do século XIX. Em 1882, foram descobertas ocorrências de ouro no igarapé Flexal, ao sul da cidade do Amapá. Essas descobertas foram atribuídas a garimpeiros (crioulos) oriundos da Guiana Francesa, que trouxeram para região os seus conhecimentos ancestrais da mineração de ouro.

Em 1894 foi descoberto ouro na localidade de Lourenço, no Alto Rio Calçoene, Norte do Amapá. Logo a região foi intensamente ocupada, recebendo entre 6.000 e 10.000 garimpeiros. Na época, os franceses dominaram a região e todo ouro era escoado para a Guiana. A produção aurífera da Guiana Francesa, que era de 1500 quilos anuais, pulou para cinco toneladas. O conflito se acirrou com a proibição do acesso dos brasileiros às minas, atitude esta premeditada, visando criar condições favoráveis à França para anexar a região contestada à Guiana (PICANÇO, 1981; MEIRA, 1997; COSTA, 1998; CHAGAS, 2019).

O Amapá foi detentor de um dos maiores depósitos de mineração de manganês do planeta, explorado pela empresa ICOMI até a exaustão, de 1953 a 1997. Atualmente, somente uma empresa de mineração de ouro encontra-se em operação no Amapá, mas persistem várias frentes de atividades de garimpagem em condições de lavras clandestinas e de alto risco ambiental e social. Entre as atividades garimpeiras ativas no Amapá, a região conhecida como “Lourenço”, localizada ao Norte do Estado, remonta o século XIX e se mantém em produção ainda hoje, o que a distingue como uma das mais antigas frentes de mineração artesanal em operação no Brasil. Ao longo dos anos, o Garimpo do Lourenço ficou ilhado por um conjunto de áreas protegidas, incluindo Unidades de Conservação e Terras Indígenas (Figura 6). (CHAGAS, 2019).

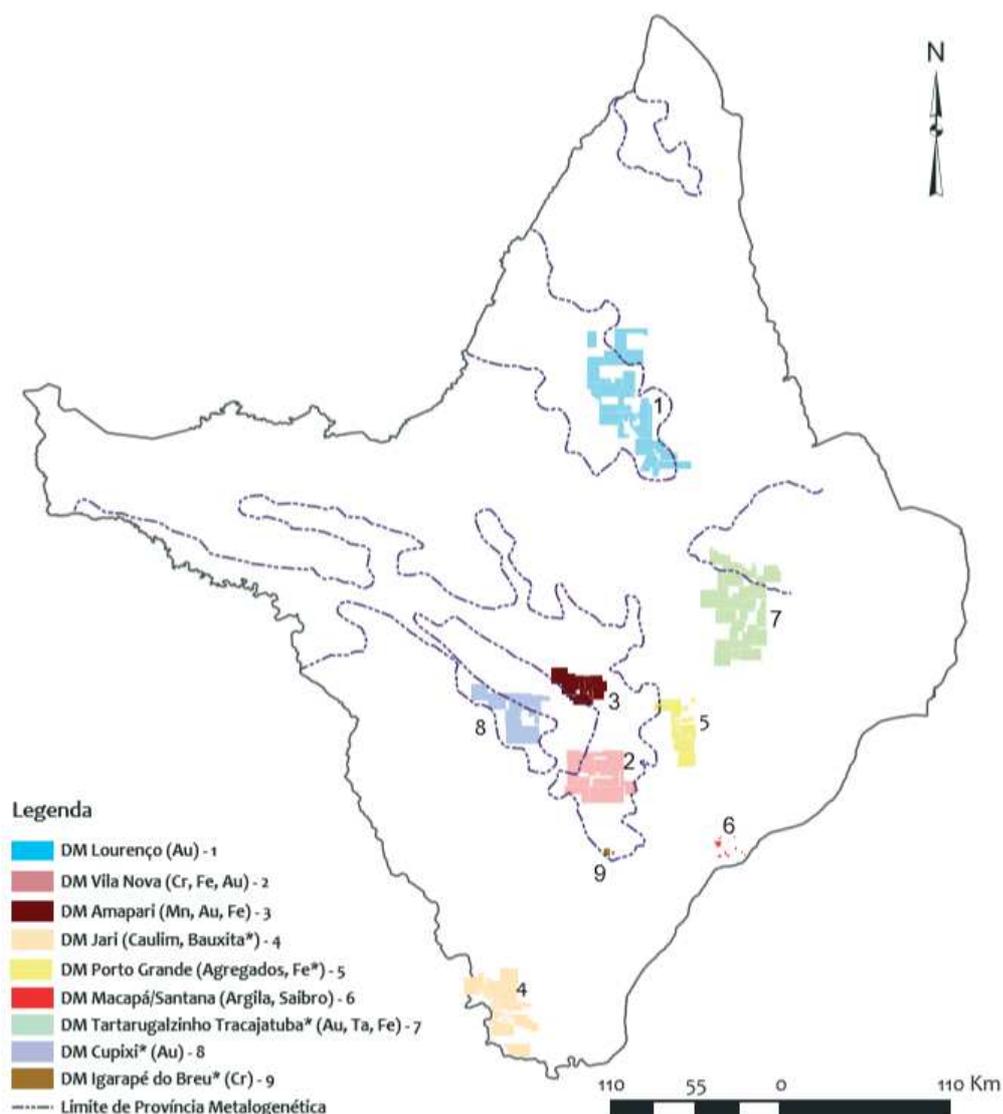
Figura 6 – Garimpo do Lourenço envolto por um conjunto de áreas protegidas



Fonte: (CHAGAS, 2019) Elaborado pelo Geógrafo Jodson Almeida (2018)

No Estado do Amapá foi possível a caracterização de pelo menos nove distritos mineiros, alguns coincidentes com os distritos metalogenéticos apresentados por Faraco, et al. (2000). São seis distritos produtivos e três potenciais (Figura 7). Destacam-se ainda outras ocorrências de substâncias minerais importantes conhecidas no estado: tantalita, gás natural e petróleo, rochas ornamentais e torianita. (IEPA, 2010)

Figura 7 – Distritos mineiros no Amapá



Fonte: IEPA (2010)

A Mina de Ouro Tucano se tornou do grupo Mineração Pedra Branca do Amapari (MPBA) em 2003, mas somente em 2005 que começaram as produções e comercializações do produto. Em 2010, foi adquirida pela Beadell Brasil Ltda.

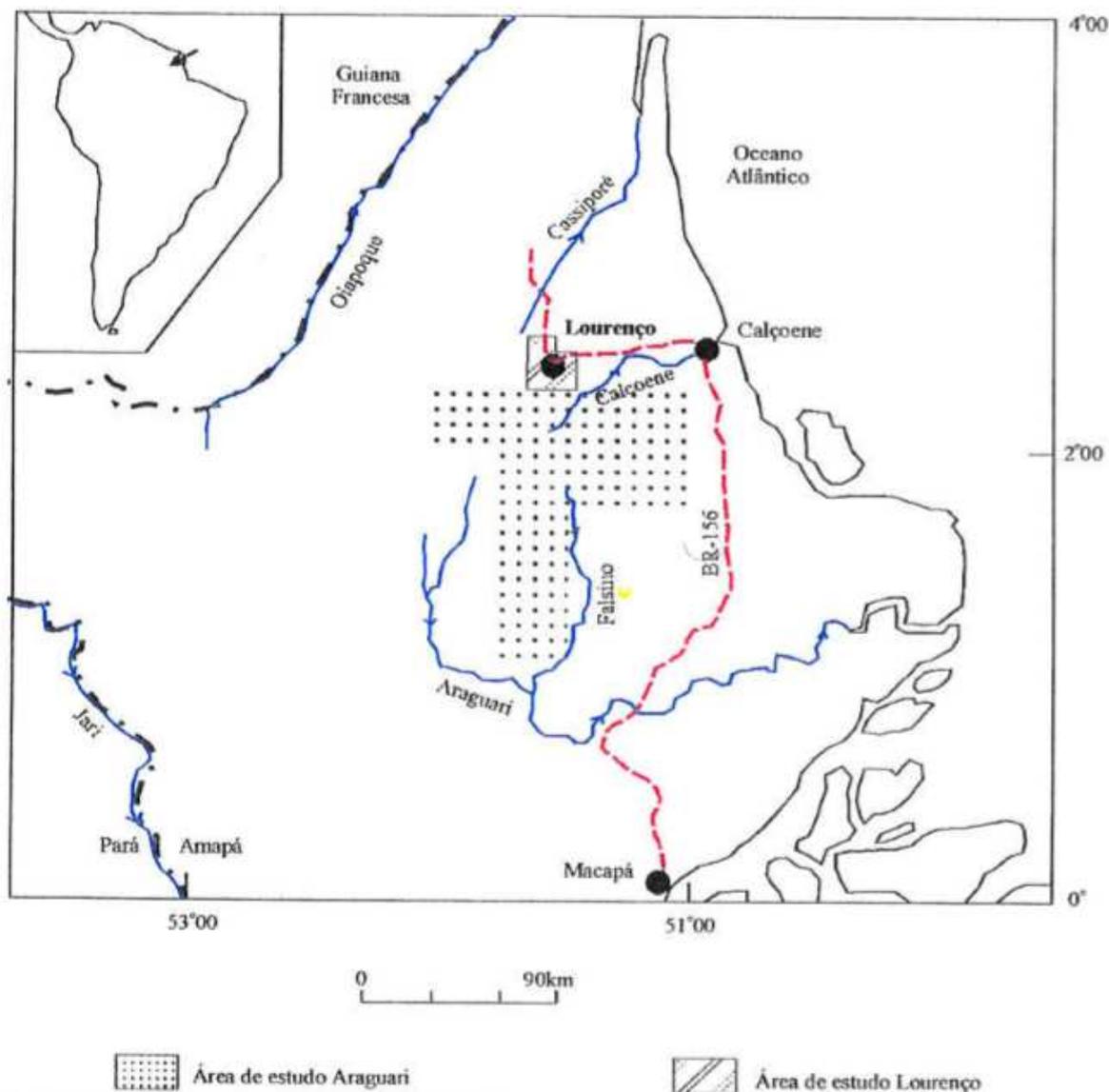
Chagas (2019), cita que entre os anos de 1984 e 1994, a região também abrigou empresas de mineração que aproveitaram o conhecimento tradicional dos garimpeiros para explorar alvos com potencial aurífero e aferir alta lucratividade. As empresas Mineração Novo Astro (MNA) e Mineração Yukio Yoshidome (MYRSA) operaram no Lourenço e respondem por um passivo socioambiental que foi assumido por uma cooperativa de garimpeiros, criada para suceder, de forma organizada, as

empresas de mineração que deram por encerradas suas atividades no Lourenço. A partir de 1994, com a efetivação do processo de transferência dos direitos minerários da MNA, o controle do Garimpo do Lourenço passou à Cooperativa de Mineração dos Garimpeiros do Lourenço (COOGAL) e as frentes de lavra, que antes eram desenvolvidas por empresas de mineração especializadas, se tornaram de alto risco operacional e ambiental. Como consequência, aumentaram os acidentes de trabalho e a degradação ambiental na região, com impactos diretos e indiretos nas unidades de conservação e terras indígenas do entorno.

O morro do Labourrie (próximo de Salamangone) foi explorado pela Mineração Yukio Yoshidome S/A no período de 1989 a 1992. A empresa iniciou com a extração secundária e a seguir, prospectou em mina subterrânea (DA SILVA, 2005). Foram investidos sete milhões de dólares para uma produção total de 1,1 toneladas de ouro (IEPA, 2010).

O trabalho de Nogueira (2002), aponta que o depósito de ouro de Salamangone representa um dentre os vários depósitos e prospectos de ouro, que ocorrem no Distrito Aurífero de Lourenço, localizado na região centro-norte do Estado do Amapá (Figura 8), que faz parte de um conjunto de rochas supra-crustais afetado por metamorfismo de alto grau, parcialmente migmatizado e de complexos cálcio alcalinos, de idade Paleoproterozóica. O sistema filoniano quartzoso hospeda-se em rochas granitóides de composição tonalítica e granodiorítica. A Mineração Novo Astro AS. (MNA), detentora dos direitos de lavra da jazida de Salamangone, encerrou as atividades da mina em 1995, após ter produzido cerca de 16 toneladas de ouro, associado à rocha sã, saprolito e latossolos, desde 1984.

Figura 8 - Localização do Distrito Aurífero do Lourenço e da região do projeto Araguari (onde foram desenvolvidos estudos prospectivos para ouro pela empresa Terraconsult 1986).



Fonte: Nogueira (2002)

No quesito impactos ambientais referentes a barragens de rejeito no Amapá, Chagas (2010) faz uma série de estudos relacionados a qualidade da água dos rios Amapari e Araguari, onde pode constatar alguns impactos atribuídos à Indústria Comércio de Minérios (ICOMI) decorrentes do rompimento da bacia de rejeito do baixinho em 1987, de deslizamentos do bota fora de uma das minas denominada de F-12, e da utilização de herbicida a base de diclorofenil para controle da vegetação da faixa de segurança da ferrovia que liga Serra do Navio ao Porto de Santana, dos

quais foram relatados também em Relatório da Comissão Parlamentar de Inquérito da ICOMI (AMAPÁ, 1999).

## 2.5 GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITO

Durante os últimos trinta anos, aspectos ambientais também cresceram em importância. A atenção foi amplamente voltada para estabilidade física e econômica das barragens, considerando o potencial de dano ambiental e os mecanismos de transporte de contaminantes. Aspectos de estabilidade física têm permanecido na vanguarda, por causa de recentes acidentes que tomaram infeliz publicidade para a indústria da mineração, com implicações financeiras severas em muitos casos. (DUARTE, 2008).

Segundo Davies (2011) uma ruptura significativa de uma barragem de contenção de rejeitos certamente pode apresentar um custo direto elevado, além de custos indiretos, como a desvalorização do patrimônio físico e ambiental.

Numa primeira fase, o controle da segurança das barragens era basicamente orientado para a segurança estrutural e hidráulica-operacional, em que a característica básica era investir na causa potencial da ruptura da barragem. A regra era optar pelo controle rigoroso do projeto, construção e operação como forma de garantir à sociedade, em geral, e às populações residentes nos vales a jusante, uma segurança satisfatória, compatível com probabilidade de ruptura extremamente baixa. Posteriormente, as técnicas de observação do comportamento das barragens durante a operação vieram reforçar o controle da segurança em longo prazo (DUARTE, 2008).

Durante o Século XX, muitos fatores facilitaram a construção de grandes barragens, com cada vez mais conhecimento e controle dos aspectos de segurança, tais como melhor compreensão do comportamento dos materiais, novos desenvolvimentos na ciência de mecânica do solo, introdução de maquinaria cada vez mais forte para movimentação de terra, dentre outros aspectos. Um número significativo de barragens passaram a atingir grandes dimensões, com alturas máximas que, em algumas obras, ultrapassam 300 metros e, em cerca de uma centena delas, ultrapassam 150 metros (ICOLD, 1994; DUARTE, 2008).

O Quadro 3 apresenta algumas das principais diferenças entre a gestão de barragens de rejeito convencionais e de contenção de rejeitos segundo Szymanski (1999) e descritas no trabalho de Duarte (2008) onde ressalta que em muitos países, as barragens de contenção de rejeitos são projetadas, construídas e operadas sobre as mesmas legislações e revisões das barragens convencionais.

Quadro 3 – Diferenças na gestão de barragens de rejeitos

<b>Convencionais</b>	<b>Contenção de Rejeitos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- geralmente construídas em estágio único, em um curto período de tempo;</li> <li>- vistas como um recurso, com finalidade de abastecimento de água, geração de energia elétrica, dentre outros. Assim, sua construção, operação e manutenção recebem um alto padrão de cuidado e atenção pelos proprietários, que geralmente possuem sua própria equipe de engenheiros experientes;</li> <li>- são tipicamente de propriedade do Estado ou companhia de utilidade pública, com autoridades que gerenciam o recurso água. Estes proprietários geralmente possuem recursos substanciais à sua disposição, e tem um relacionamento diferente com público, já que a barragem objetiva diretamente o benefício público;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- São tipicamente construídas em estágios;</li> <li>- aumento progressivo da carga dos rejeitos na fundação do reservatório com o tempo, e por isso sua segurança deve ser continuamente reavaliada.</li> <li>- Uma condição estável não é alcançada até que cesse a operação da mina, são vistas por muitos proprietários como improdutivas, ou parte da operação com perda de dinheiro;</li> <li>- O significado destes aspectos é que as atitudes e os esforços na operação da mina são naturalmente menos voltados para o gerenciamento dos rejeitos;</li> <li>- Geralmente são de propriedade da companhia de mineração, não fornecem nenhum benefício direto ao público;</li> <li>- retêm materiais sólidos e água que podem ser considerados contaminantes, se liberados para o meio ambiente. A composição destes materiais depende do processo industrial e do tipo de mineral explorado. A contaminação do meio ambiente pode acontecer através de drenagem ácida, infiltração dos contaminantes para o lençol freático, contaminação do solo e água superficial a jusante, podendo até mesmo afetar a fauna local que utiliza a água da barragem para consumo.</li> </ul>

Fonte: Soares (2010)

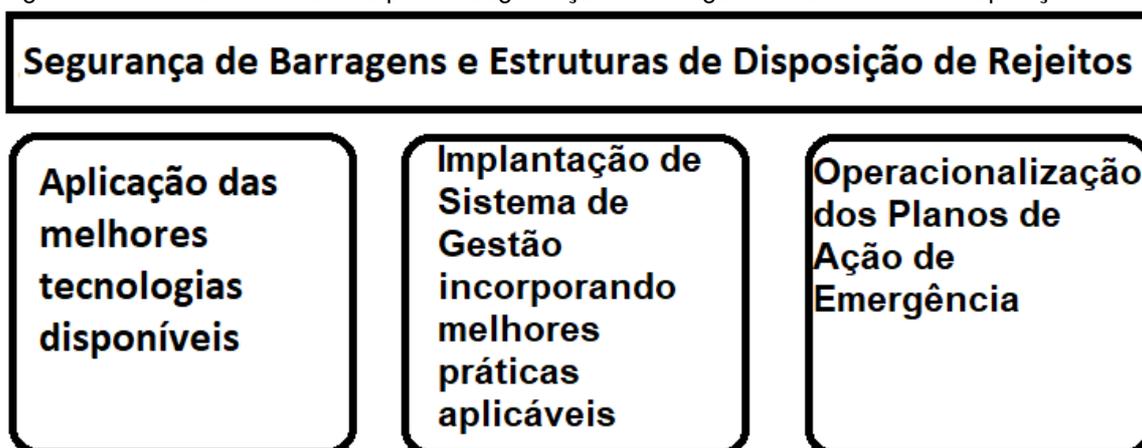
Vários órgãos no Brasil criaram seu sistema de gestão de barragens, como por exemplo a ANM tem o SIGBM que é uma ferramenta que auxilia a gestão das centenas de barragens de mineração brasileiras. O citado sistema, diariamente, analisa as informações que nele foram inseridas e gera respostas que, por vezes, devem ser concatenadas com ações a serem executadas pelos agentes fiscalizadores em cada unidade regional.

Já a ANA utiliza o SNISB, que tem por objetivo, coletar, armazenar, tratar, gerir e disponibilizar, para a sociedade, as informações relacionadas à segurança de barragens em todo o território nacional. A inserção de informações no sistema está sob a responsabilidade de cada entidade ou órgão fiscalizador de segurança de barragens no Brasil.

O CREA/MG junto ao CONFEA disponibiliza formulários para que os empreendedores repassem as informações de conformidade com as normas exigidas pelo Conselho Federal de Engenharia (CONFEA). Os dados vão alimentar a plataforma digital do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNSB). A partir deles, as barragens serão classificadas quanto à periculosidade, ajudando a orientar as ações de fiscalização por todo o estado. Inicialmente, a ação será concentrada em barragens de rejeito de minério, avaliando a segurança por meio da atuação dos profissionais da engenharia, da agronomia e das geociências.

O IBRAM (2019a), elaborou um guia de boas práticas relacionadas a gestão de barragens e estruturas de disposição de rejeitos da qual a Figura 9 ilustra dentro da segurança de barragens e estruturas de disposição de rejeitos uma sugestão de pilares fundamentais para a gestão.

Figura 9 – Pilares fundamentais para a segurança de barragens e estruturas de disposição de rejeitos



Fonte: Bittar (2017) adaptado de IBRAM (2019)

### 2.5.1 Gerenciamento de Risco

O processo de gerenciamento de risco envolve a implantação da avaliação de risco para verificar as formas potenciais de ruptura e consequência, o plano de gerenciamento de risco para reduzir os riscos no projeto ou operação, e um plano de contingência para desenvolver uma resposta ótima em cenários de rupturas. Todas as estruturas possuem algum grau de risco, mesmo depois da implantação do plano de gerenciamento de risco. Um plano de contingência é requerido para identificar os riscos que não podem ser eliminados, identificando e mitigando danos, responsabilidades, notificações, resposta a emergências, monitoramento e resposta técnica (DUARTE, 2008)

A ISO 31.000 (2009), define risco como o “efeito da incerteza nos objetivos”. “Esta definição alerta-nos, de uma forma elegante, para a necessidade de identificar os objetivos que se pretende atingir, as incertezas a considerar e os possíveis //+ ou consequências de desvios” (ALMEIDA, 2012; IBRAM, 2019).

Não há como negar que todas as barragens de contenção precisam necessariamente de um plano de contingência, essa necessidade se faz devido a diversidade que pode ocorrer do desastre ou acidente, a proporção pode ser devastadora tanto para os seres humanos quanto ao meio ambiente.

Para as Barragens de Mineração, de acordo com o artigo 8º da Portaria DNPM nº 416/2012, o Plano de Segurança da Barragem (PSB) deverá ser composto ordinariamente por 4 (quatro) volumes. Entretanto, caso a barragem tenha Dano Potencial Associado Alto ou tenha sido solicitada pelo agente fiscalizador, o Plano de Segurança de Barragens (PSB) deverá conter 5 (cinco) volumes, sendo o último o do PAEBM, a saber:

- Volume I- Informações Gerais;
- Volume II - Planos e Procedimentos;
- Volume III - Registros e Controles;
- Volume IV - Revisão Periódica de Segurança de Barragem; e
- Volume V – Plano de Ações Emergenciais para Barragens de Mineração.

O Plano de Ações Emergenciais para Barragens de Mineração deverá ser usado no momento do sinistro, geralmente em casos de urgência, com determinações de que seja de capa vermelha, informações de fácil acesso e entendimento pelos agentes envolvidos devendo também contemplar dados com as situações de emergência, ações a serem tomadas em cada caso estudado e descrito no documento elaborado pelo empreendedor.

As comunidades mais afetadas pelos acidentes com rejeitos precisam saber como conduzir perante a tal situação de desastre, e isso deve estar previsto em segundos/minutos dependendo da distância do local afetado. Quanto mais rápido agir, maior a probabilidade de salvar vidas e redução dos impactos.

Um público informado irá inicialmente questionar a aceitabilidade de qualquer imposição externa de risco. É comum para a companhia empreender todo o gerenciamento de riscos e isso pode ser uma ferramenta de muito valor para incorporar os atores sociais ao processo permitindo que a comunidade potencialmente afetada participe das organizações das respostas para melhor entender os aspectos e preparar planos de emergência mais eficazes (MCLEOD; PLEWES, 1999).

Cada parte interessada e envolvida tem suas especificidades, limitações e deve ser levada em consideração tanto na elaboração quanto na tomada de decisão. Desta forma uma boa gestão da segurança se torna imprescindível, assim como o diálogo entre a comunidade afetada e o proprietário, do qual deverá apresentar os sistemas de segurança, metodologias envolvidas de controle e monitoramento, procurando assim, garantir uma confiança mútua.

Os custos efetivos para a diminuição do risco envolvem a definição de um nível de risco aceitável, reduzindo o risco de rompimento em valores aceitáveis e com a implementação de um procedimento de gestão de emergência para assegurar que não haverá perda de vida com o rompimento da barragem. As abordagens para a redução do risco para os sistemas de barragens de contenção de rejeitos podem incluir melhorias estruturais, melhoria nas inspeções, monitoramento e manutenção. As abordagens para redução do risco a jusante incluem a preparação de mapas de inundação, a estimativa do tempo de chegada da onda da cheia em diferentes locais,

a duração da inundação, a implementação e manutenção de procedimentos e sistemas para advertência de emergências (MINERE, 2019).

As barragens de contenção de rejeitos apresentam dois tipos significativos de riscos ambientais potenciais em longo prazo: o risco de falha da estrutura e o risco da poluição. Visto que alguns riscos aumentarão, outros diminuirão ou remanescerão com o tempo, os eventos naturais, tais como inundações, terremotos ou os deslizamentos de terra adicionam riscos e incertezas em longo prazo. Identificar a combinação dos fatores que contribuem ao risco é importante ao considerar toda a estratégia em longo prazo da gestão de risco para uma barragem de contenção de rejeitos (DUARTE, 2008).

No caso de ruptura destas estruturas, devem-se considerar as consequências com prejuízos diretos, como a perda de vidas humanas e os danos materiais na estrutura e nas áreas inundadas. Há ainda que considerar os prejuízos indiretos, resultantes da interrupção das atividades produtivas nas zonas afetadas e da impossibilidade de exploração dos recursos hídricos. A determinação exata do valor total dos prejuízos é de difícil estimativa, se não mesmo impossível, principalmente no que se refere a avaliar valores de vidas perdidas (FONTENELLE, 2007).

Também deve ser compreendido que não é possível atingir uma garantia absoluta de segurança. Para cada barragem há um conjunto de cenários de deterioração que têm maior probabilidade de desenvolver-se e, para cada um deles, subsiste sempre certo risco de ocorrência de um acidente ou incidente (VIEIRA, 2005; DUARTE, 2008).

Medeiros (1999), acrescenta a esses fatores a segurança financeira, aquela capaz de garantir o retorno do investimento sob forma de desenvolvimento, sendo que a aprovação da licença de operação de empreendimentos irá depender da garantia financeira com recursos necessários à efetiva implantação dos planos direcionados ao descomissionamento das barragens.

Outro ponto importante em relação à segurança de barragens é a ocorrência de deterioração a qual pode ser reduzida por intermédio de adequadas medidas preventivas de projeto, construção e operação, bem como de conservação e

manutenção. As obras devem ser inspecionadas e observadas ao longo da vida, de modo a permitir o controle das suas condições de segurança e operacionalidade. Estas ações podem ser classificadas em: estruturais, consistindo de obras de recuperação e reforço; e não-estruturais, constituídas por inspeções formais de barragens através de check-lists, treinamento de gerentes e técnicos (capacitação), monitoramento das instrumentações instaladas nas barragens (piezômetros e medidores de vazão pelo maciço e fundação), plano de ação de emergência, etc. (FONTENELLE, 2007).

Para selecionar os critérios associados a eventos extremos, pode-se utilizar uma consideração baseada no risco. O princípio é que uma barragem, cuja ruptura possa causar um dano excessivo ou a perda de muitas vidas, deve ser projetada para um padrão de segurança proporcionalmente mais alto que o de uma barragem cuja ruptura resultaria em menor dano ou menor perda de vidas (FONTENELLE, 2007).

#### *2.5.1.1 Responsabilidades relativas à segurança das barragens de contenção de rejeitos*

As responsabilidades para a segurança de barragens são compartilhadas por diferentes atores, tais como proprietários, operadores, projetistas (e construtores), legisladores e entidades envolvidas. As partes interessadas devem estar envolvidas durante todo o ciclo de vida de uma barragem (DUARTE, 2008).

Já segundo o Ministério da Integração Nacional (MIN, 2002) todas as barragens devem ser inspecionadas periodicamente para detectar eventuais deteriorações e recomendar ações remediáveis:

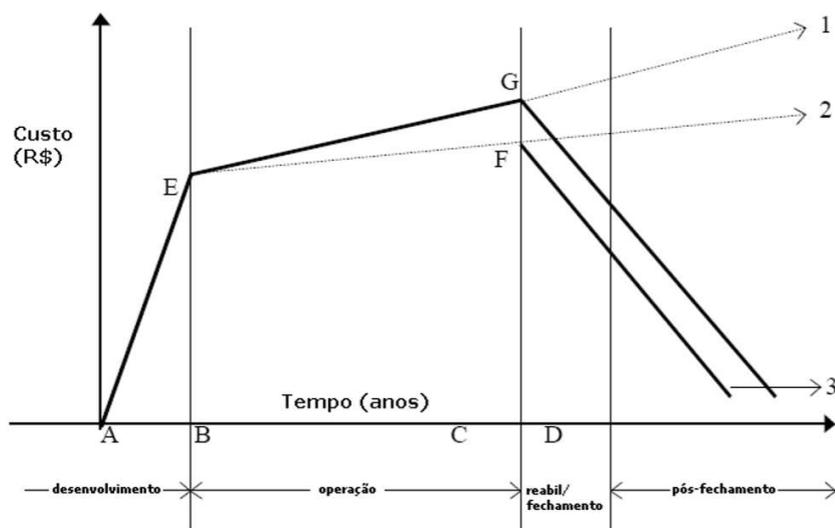
- Inspeções de Rotina;
- Inspeções Formais;
- Inspeções de Especialistas;
- Inspeções de Emergência.

Toda barragem deve ser instrumentada de acordo com seu porte e riscos associados e ter os dados analisados periodicamente com a realização das leituras. Todos os instrumentos devem ser dotados de valores de controle ou limites.

### 2.5.1.2 Fases da gestão de segurança em barragens de contenção de rejeitos

As minas que apresentam como forma de disposição as barragens de contenção de rejeitos passam por pelo menos quatro fases distintas de gestão - desenvolvimento, operação, reabilitação / fechamento e pós-fechamento. A Figura 10 ilustra estas fases e as mudanças no custo da reabilitação e da gestão em longo prazo sobre a vida útil da mina. Mostra como os custos contínuos, tais como aqueles de monitoramento e de manutenção na fase do pós fechamento, podem variar dependendo da adequação da reabilitação na altura do fechamento.

Figura 10 – Estágios da mina e custos potenciais de reabilitação



Fonte: Mac (1998) modificado por Duarte (2008)

A Figura 10 acima ilustra os custos médios potenciais sobre a época da reabilitação e do pós fechamento em mineração que contém barragens de contenção de rejeitos, sendo:

- Data de partida, A, é a data em que os primeiros distúrbios e preparação do local para a mineração começam;

- A fase de desenvolvimento, AB, é o período que conduz ao começo das operações da mineração;
- A fase de operação, BC, é o período após o desenvolvimento do local, quando a extração do minério e dos minerais ocorrem e os rejeitos são produzidos. O cessamento da mineração e da disposição dos rejeitos ocorre em C;
- Durante a fase de reabilitação/fechamento, CD, a reabilitação é realizada na preparação para o fechamento do local da mina em D;
- Na fase de pós-fechamento, os trabalhos de reabilitação continuam até total atendimento dos critérios de descomissionamento. A manutenção das barragens de contenção de rejeitos e o monitoramento de seus efeitos ambientais podem continuar por um período indefinido.

No início das operações de mineração haverá uma obrigação para reabilitação do local no ponto E. Se nenhuma reabilitação progressiva for realizada durante todo o período operacional, o custo de reabilitação do local aumentará ao ponto G, quando as operações cessam. Se a reabilitação progressiva for realizada durante o período operacional, representado pela linha EF, o custo para reabilitar o local estará reduzido ao ponto F.

Há três níveis de custo potencial na fase de pós-fechamento, dependendo da extensão e do sucesso da reabilitação. Verifique-se:

- I. Custos de reabilitação, monitoramento e manutenção do local continuarão a aumentar se nenhuma reabilitação ocorrer antes ou durante o fechamento;
- II. Ocorrerá custos, mas ligeiramente mais baixos se a reabilitação progressiva ocorrer durante a fase operacional, mas nenhuma reabilitação adicional será realizada durante o fechamento;
- III. Custos contínuos do pós-fechamento (monitoramento e manutenção) serão mais baixos se a reabilitação for realizada durante o fechamento.

O projeto as built é importante para a atualização dos projetos finais, manutenção da edificação e pela retro-alimentação que pode ser gerada para projetos futuros, além de ser uma exigência legal de entregar aos futuros proprietários os projetos que representam necessariamente o executado. Esta exigência, no entanto,

não é prática comum das empresas que se limitam a entregar o projeto aprovado. (DUARTE, 2008).

### 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

#### 3.1 COMENTÁRIOS INTRODUTÓRIOS

Para as ações de segurança de barragens, a definição de prioridades é essencial, portanto a classificação de barragens é um elemento indispensável, e neste trabalho será abordada em maior parte quanto ao risco.

Deste modo, pode-se delimitar os pontos a serem observados como manutenção preventiva, preditiva e evitando quando possível a corretiva, sendo assim, que possa servir de referência para todas as etapas, sejam elas de inspeção e sua periodicidade, monitoramento, melhorias, instrumentação, planos de ações emergenciais e até treinamentos.

Portanto, neste capítulo é feita uma descrição da barragem, objeto de estudo, bem como descrição do método de inspeção e das metodologias de classificação de risco, que serão utilizadas para avaliação da segurança da barragem.

Após os levantamentos dos dados e documento sobre a barragem Laborrie, foi realizada uma inspeção de campo, de acordo com o Manual de Fiscalização para barragens de rejeito da Agencia Nacional de Mineração (ANM). A Figura 11 apresenta o formulário utilizado para inspeção da barragem. e Portaria ANM nº 70.389 de 19 de maio de 2018.

As metodologias a serem utilizadas foram as seguintes:

- I. Metodologia de Tomada de Decisões para Barragens da Companhia de Saneamento de São Paulo - SABESP;
- II. Metodologia do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América (U.S. Army Corps of Engineers - USACE);
- III. Metodologia da Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do Ceará - COGERH;
- IV. Metodologia do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (Resolução nº143/2012)

V. Metodologia da Agência Nacional de Mineração – ANM (Portaria 70.389/2017).

A escolha desses modelos justifica-se pelo fato de serem modelos utilizados na prática de avaliação de segurança de barragens e pela quantidade considerável de parâmetros usados para classificação de risco.

Figura 11 - Exemplo de formulário/ficha de inspeção de barragem

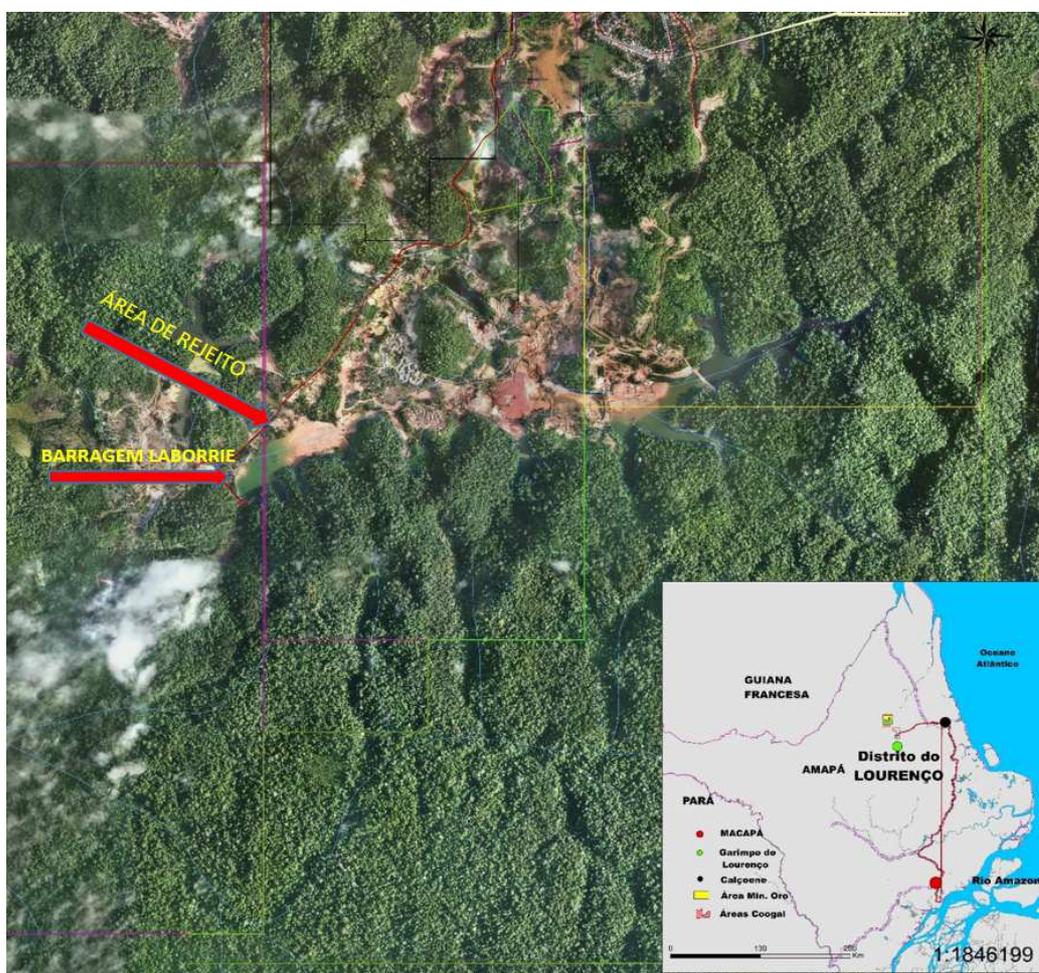
DNPM Departamento Nacional de Produção Mineral		FORMULÁRIO / FICHA DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM					
BARRAGEM DE MINERAÇÃO: IB	MINA	MINERADORA	Nº Processo DNPM				
TECNICO DA MINERADORA:	CARGO: Engº Geotécnica	ASSINATURA:					
TECNICO DO DNPM	CARGO: ESP. REG. MINERAIS	ASSINATURA:					
BARRAGEM ATIVA:	SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>	BARRAGEM REJEITO <input type="checkbox"/>	SEDIMENTO <input checked="" type="checkbox"/>				
Coordenadas da Barragem: Condições meteorológicas:							
<b>1 - SITUAÇÃO DOS ACESSOS</b>							
1.1- Conservação Geral	BOM <input checked="" type="checkbox"/>	REGUL <input type="checkbox"/>	DEFIC. <input type="checkbox"/>	Obs:			
1.2- Revestimento do Piso	BOM <input checked="" type="checkbox"/>	REGUL <input type="checkbox"/>	DEFIC. <input type="checkbox"/>				
1.3- Taludes	BOM <input checked="" type="checkbox"/>	REGUL <input type="checkbox"/>	DEFIC. <input type="checkbox"/>				
1.4- Dispositivos de drenagem	BOM <input checked="" type="checkbox"/>	REGUL <input type="checkbox"/>	DEFIC. <input type="checkbox"/>				
<b>2 - MACIÇO DA BARRAGEM / OMBREIRAS</b>							
2.1- Trinca(s) Identificada(s) SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>							
Trinca	Comprimento (m)	Abertura (mm)	Longit. / Transv.	Local/Coordenadas			
T1							
T2							
T3							
2.2- Recalques/ Depressão/ Abatimento Identificados SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>							
Anomalia	Local/ Coordenadas			Obs:			
A1							
A2							
A3							
2.3- Surgência(s) D'Água Identificada(s) SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>							
Surgência	Local	Carreamento visível de sólidos	Alteração Significativa da vazão				
S1	PG PROXIMO OMB. OSQ	NÃO					
S2							
S3							
2.4- Erosões Superficiais SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>							
Erosões	Local/ Coordenadas			Obs:			
E1							
E2							
E3							
2.5- Drenagem Superficial NÃO se aplica/ Inexistente <input type="checkbox"/>							
Estado de limpeza	BOM <input checked="" type="checkbox"/>	REGUL <input type="checkbox"/>	DEFIC. <input type="checkbox"/>	Obs:			
Condições estruturais	BOM <input checked="" type="checkbox"/>	REGUL <input type="checkbox"/>	DEFIC. <input type="checkbox"/>				
2.6- Revestimento (deve estar controlado, quando aplicado, livre de vegetação arbustiva e arbórea - art. 47)							
Talude de Jusante	BOM <input checked="" type="checkbox"/>	REGUL <input type="checkbox"/>	DEFIC. <input type="checkbox"/>	Obs:			
Talude de Montante	BOM <input checked="" type="checkbox"/>	REGUL <input type="checkbox"/>	DEFIC. <input type="checkbox"/>				
Crista	BOM <input checked="" type="checkbox"/>	REGUL <input type="checkbox"/>	DEFIC. <input type="checkbox"/>				
2.7- Presença de animais							
Animais (verificar pegadas / fezes)	SIM <input type="checkbox"/>	NÃO <input checked="" type="checkbox"/>					
Presença de tocas ou buracos	SIM <input type="checkbox"/>	NÃO <input checked="" type="checkbox"/>					
Fungos/Cupins	SIM <input checked="" type="checkbox"/>	NÃO <input type="checkbox"/>	CONTROLADOS				
2.8- Drenagem Interna NÃO SE APLICA/ INEXISTENTE <input type="checkbox"/>							
Assoreamento da saída do dreno/colêda	SIM <input checked="" type="checkbox"/>	NÃO <input type="checkbox"/>	Obs: PRESENÇA COLÊDA				
Carreamento visível de sólidos	SIM <input type="checkbox"/>	NÃO <input checked="" type="checkbox"/>					
Alteração significativa da vazão	SIM <input type="checkbox"/>	NÃO <input checked="" type="checkbox"/>					
Saturação ao redor do dreno	SIM <input type="checkbox"/>	NÃO <input checked="" type="checkbox"/>					
Medidor de vazão operante	SIM <input checked="" type="checkbox"/>	NÃO <input type="checkbox"/>					
<b>3 - RESERVATÓRIO</b>							
Erosões ou processos de instabilização	SIM <input type="checkbox"/>	NÃO <input checked="" type="checkbox"/>	Obs:				
Borda Livre Operacional:	SIM <input checked="" type="checkbox"/>	NÃO <input type="checkbox"/>					
Lançamento de Rajeito Ativo	SIM <input type="checkbox"/>	NÃO <input checked="" type="checkbox"/>					
Formação de Praia	SIM <input type="checkbox"/>	NÃO <input checked="" type="checkbox"/>	Local: NÃO SE APLICA				
<b>4 - EXTRAVASOR(ES)</b> NÃO SE APLICA/ INEXISTENTE <input type="checkbox"/>							
Obstrução da seção de embocadura	SIM <input type="checkbox"/>	NÃO <input checked="" type="checkbox"/>	Obs:				
Danos na(s) estrutura(s)	SIM <input type="checkbox"/>	NÃO <input checked="" type="checkbox"/>					
<b>5 - INSTRUMENTAÇÃO</b> (listar anomalias quanto a integridade física, identificação, acesso para leitura)							
5	Medidor de Nível d'água	1	Piezômetros	5	Marcos Superficiais	Extensômetros	Simógrafos
	Inclinômetros	1	Medidor de Vazão	X	Outros. Especificar:	04 REOVA LÍQUIMÉTRICA.	
Obs:							

Fonte: ANM (2019)

### 3.2 ESTUDO DE CASO

O local do estudo, deu-se em uma barragem de rejeito de ouro, denominada “Barragem Laborrie”, localizada no município de Calçoene, mais precisamente no Distrito do Lourenço, de coordenadas geográficas  $2^{\circ}16'47.41''N$  e  $51^{\circ}39'21.77''W$  (Figura 12), é de responsabilidade da Cooperativa de Garimpeiros do Lourenço COOAGAL. Tal cooperativa atua há alguns anos já neste local, considerado como um dos três garimpos mais antigos do Brasil ainda em processo de extração atuante de forma legal.

Figura 12 – Barragem Laborrie e Distrito do Lourenço

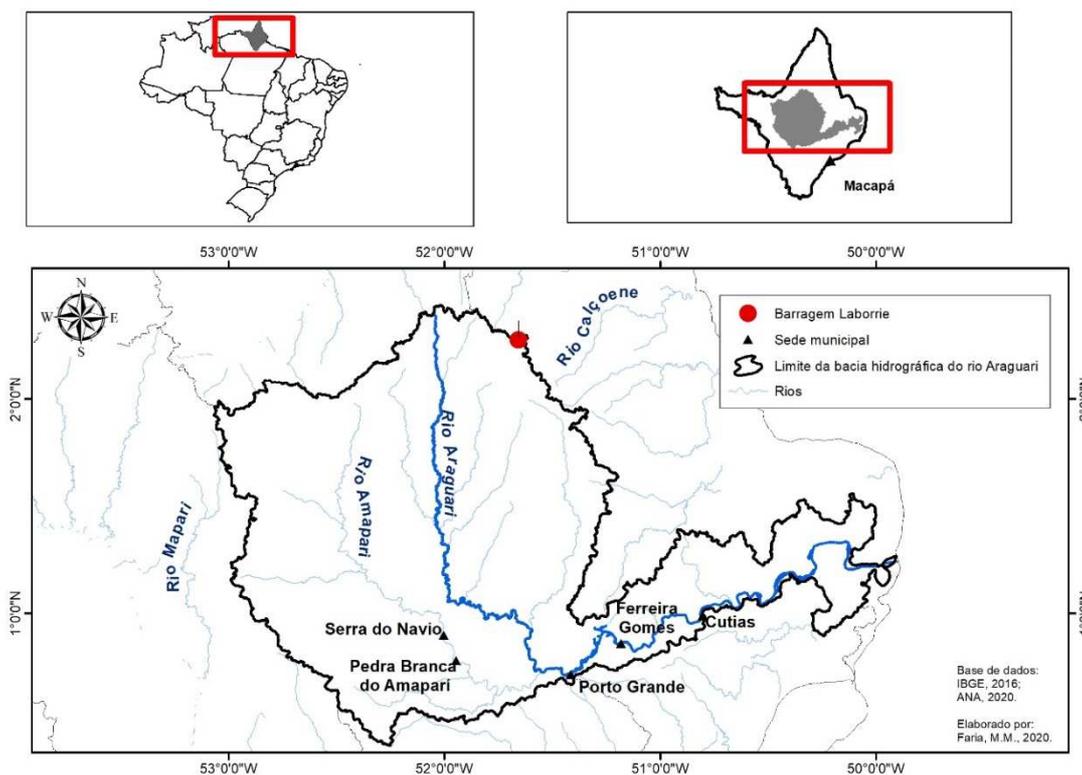


Fonte: RT/IMAP (2017)

A Figura 13 apresenta o mapa da bacia hidrográfica do rio Araguari na qual a Barragem Laborrie está inserida, com identificação do local da barragem. Demonstrando desta maneira a importância e o impacto ambiental que pode ser

gerado em caso de algum acidente ou incidente nesta localidade, pois como já exposto anteriormente, o Rio Araguari tem relação direta com as maiores Hidrelétricas do estado.

Figura 13 - Principais bacias hidrográficas do rio Araguari



Fonte: Autor (2020)

Nessa bacia existe uma atividade intensa de garimpo de ouro, sendo considerada para a localidade de Lourenço a principal fonte de renda, sabe-se também que geralmente em processos de extração de ouro, e, principalmente em garimpos existe uma grande utilização de produtos químicos como Mercúrio e Cianeto, e que esses materiais pesados possuem alto impacto ambiental se despejados ou em contato com a natureza, inclusive aos peixes, que a população mais próxima poderá estar utilizando para seu consumo próprio, podendo colocar em risco a vida da população.

A continuidade da exploração e produção de ouro, de forma não ordenada, ocasionar um aumento no volume de rejeito considerável, como pode ser observado na Figura 14 (a) e (b).

Figura 14 – Disposição de rejeito na barragem Laborrie (a) 2015, (b) 2017

(a)



(b)



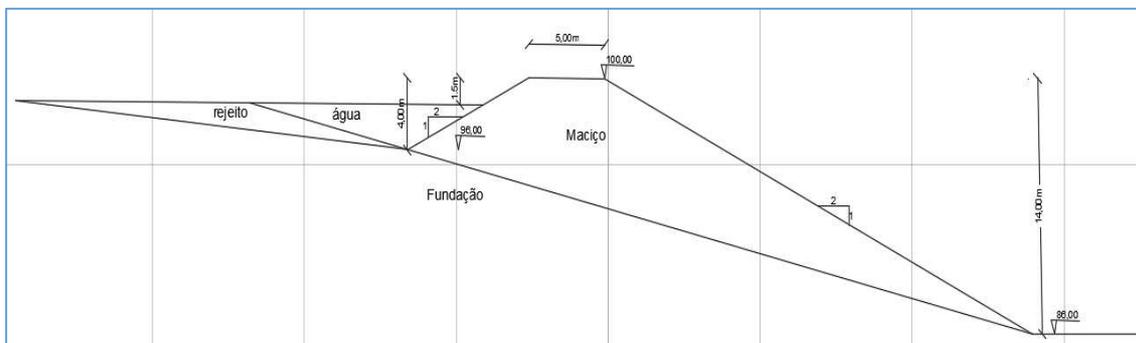
Fonte: IMAP (2018)

A barragem Laborrie possui um volume de água + rejeito de aproximadamente de 600.000,00 m<sup>3</sup> de acordo com dados do IMAP/AP (2018).

O maciço da Barragem Laborrie consiste de um aterro de solo compactado, com altura de 4,00 m a montante e 14,00 m a jusante, comprimento de crista de 110,00 m e 5,00 m de largura. Os taludes tem inclinação de 1V:2H a montante e 1V:2H a

jusante. A Figura 15 apresenta a seção típica da barragem obtida a partir da interpretação de imagens e inspeção de campo.

Figura 15 – Seção tipo da barragem de rejeito Laborrie.



Fonte: Autor

**\*Nota:** As medidas foram fornecidas pelo IMAP/AP (2018)

Cabe ressaltar que não se tem um projeto específico da barragem para possível confronto e/ou adequação de valores, o que existe são registros de imagens durante o processo de alteamento da barragem do qual também não constam dados oficiais de processo construtivo assim como o controle de execução e material utilizado para compor o maciço.

A Figura 16 apresenta a barragem com nível d'água próximo ao galgamento, no ano de 2018, e as Figuras 17 e 18 apresentam a abertura de um extravasor no corpo da barragem e outro na ombreira direita, respectivamente.

Figura 16 - Barragem de rejeito Laborrie, N.A. próximo ao galgamento em 2018



Fonte: acervo autor (2020)

Figura 17 - Abertura de extravasor no corpo da barragem, em 2018



Fonte: acervo autor (2020)

Figura 18 – Abertura de extravasor nna ombreira direita da barragem, em 2018



Fonte: acervo autor (2020)

A Figura 19 mostra o rebaixamento do nível do reservatório após a abertura dos extravasores.

Figura 19 – Rebaixamento do N.A. após a abertura dos extravasores



Fonte: RT/IMAP (2018)

As Figuras 20 e 21 apresentam ocorrências de processos erosivos no talude de jusante da barragem e abertura ombreira esquerda, registradas após o rebaixamento do nível da água do reservatório.

Figura 20 – Processos erosivos ao longo do talude de jusante



Fonte: Eng Edilson Brito, acervo pessoal (2020)

Figura 21 – Abertura na ombreira esquerda da barragem



Fonte: Eng Edilson Brito, acervo pessoal (2020)

### 3.3 ANÁLISE RISCO E METODOLOGIA DE TOMADA DE DECISÃO DA SABESP

Esta metodologia desenvolvida por Kuperman et al. (2001), apresenta como critério a classificação das barragens a partir dos seguintes dos seguintes parâmetros: periculosidade potencial (PP) e estado real de funcionamento (ER), que, pela equação 1, obtém-se o índice de comportamento (IC).

$$IC = 0,4PP + 0,6ER$$

Equação 1

A periculosidade potencial é o somatório dos índices atribuídos aos fatores descritos no Quadro 4 e o estado real corresponde ao somatório dos fatores apresentados no Quadro 5.

Quadro 4 - Classificação segundo a periculosidade potencial - PP.

Importância para SABESP (A)	Dim. (B)	Vol. De Água (C)	Impacto a Jusante			Tipo de Barragem (G)	Órgão Vertente (H)	Vazão de Projeto (I)
			Social (D)	Ambiental (E)	Econômico (F)			
Pequena (10)	Pequena (10)	Baixo (5)	Baixo (10)	Baixo (10)	Baixo (5)	Concreto (15)	De superfície sem controle (15)	VMP (*) 1000 < Tr < 10000 (20)
Média (8)	Média (6)	Pequeno (4)	Pequeno (8)	Pequeno (8)	Pequeno (4)	Enrocamento (12)	De superfície com controle (10)	100 < Tr < 1000 (12)
Significativa (6)	Grande (2)	Médio (3)	Médio (6)	Médio (3)	Médio (3)	Terra (8)	De fundo (5)	Tr < 100 ou desconhecido ou calculado há mais de 20 anos (2)
Grande (4)		Grande (2)	Grande (0)	Grande (0)	Grande (0)			
Elevada (2)		Elevado (1)						
<b>Classificação segundo a Periculosidade Potencial (PP)</b>						Sendo: Tr = Período de retorno VMP = Vazão máxima provável		
PP < 60 = elevada;								
60 ≤ PP ≤ 80 = significativa;								
PP > 80 = baixa;								

Fonte: Kuperman et al. (2001)

**Sendo:**

Coluna A = Importância para a SABESP; Coluna B = Dimensão; Coluna C = Volume de água armazenada; Coluna D = Impacto social a jusante; Coluna E = Impacto ambiental a jusante; Coluna F = Impacto econômico a jusante; Coluna G = Tipo de barragem; Coluna H = Órgão vertente; Coluna I = Vazão de projeto.

Quadro 5 - Classificação segundo o estado real (ER) da barragem.

Informações de Projeto	Frequência na Avaliação do Comportamento	Percolação	Deformações	Nível de Deterioração dos Paramentos ou Taludes	Erosões à Jusante	Condição dos Equipamentos dos Carregadores
5 Completas	10 Adequada	20 Conforme previsto em projeto	20 Conforme previsto em projeto ou inexistente	15 Mínimo ou nenhum	15 Mínimas ou inexistentes	15 Boa
4 Parciais	6 Razoável	15 Fora do previsto mas não crítica	15 Fora do previsto mas não crítica	12 Baixo	12 Poucas	8 Razoável
2 Incompletas	2 Inadequada	5 Crítica	5 Crítica	6 Moderado	6 Moderadas	6 Ruim
0 inexistentes	0 nenhuma	0 desconhecida	0 desconhecida	4 Alto	4 Elevadas	3 Inoperantes ou sem registro
				3 excessivo	3 significativas	
Classificação segundo o Estado Real (ER):						
ER > 80 = Satisfatório;						
60 ≤ ER ≤ 80 = Regular;						
ER < 60 = Insatisfatório						

Fonte: Kuperman et al. (2001)

Como resultado final, a cada barragem é atribuído um número que determina sua inserção em uma das seguintes classes conforme Tabela 7. Conforme se pode observar, nesta metodologia pontuações mais elevadas indicam condições de menor risco.

Tabela 7 - Classe e índice de comportamento

Classe	Índice de Comportamento
IC > 70	Normal
60 < IC < 70	Atenção
50 < IC < 60	Alerta
IC < 50	Emergência

De acordo com o valor do Índice de Comportamento - IC, cada barragem poderá ser classificada nas seguintes situações (KUPERMAN et al., 2001):

- a) IC > 70, normalidade: não há defeitos reportáveis; caracteriza a barragem ou situação que não possui qualquer restrição à operação ou que comprometa a segurança da estrutura. Não requer quaisquer ações imediatas;
- b) 70 > IC > 60, atenção: há alguns defeitos que não comprometem o desempenho da unidade; as anomalias ou restrições existentes não apresentam risco à segurança da barragem a curto prazo, porém devem ser controladas e monitoradas. Levantamentos e estudos devem ser realizados para confirmar ou alterar o índice de comportamento da unidade. Não há, ainda, necessidade de priorizar eventuais intervenções corretivas;
- c) 60 > IC > 50, alerta: existem anomalias que podem representar eventual risco à segurança da barragem e/ou à operação do sistema. Há necessidade de uma avaliação detalhada da real situação da barragem, reavaliação do índice de comportamento e estudo de alternativas para reparos. Devem ser tomadas providências para eliminação ou controle do problema;
- d) IC < 50, emergência: estudos detalhados sobre a barragem indicam haver anomalias que representam risco à segurança da mesma e/ou à operação do sistema. Dependendo do tipo de barragem e do problema apresentado a situação pode ficar fora de controle e haver risco de ruptura iminente, dependendo da operação do

sistema. Pode haver necessidade de rebaixamento imediato do reservatório, eventualmente de abandono do local e de acionamento de um plano de ação emergencial.

### 3.4 METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCO DO USACE

Essa metodologia foi idealizada por Andersen et al. (1999), utilizando como base 13 escores de risco em barragens, os quais são divididos em três categorias: as primeiras duas categorias (parâmetros de constantes físicas e parâmetros variáveis) descrevem a vulnerabilidade da barragem, representada pela probabilidade de ruptura e a terceira categoria descreve as conseqüências, isto é o potencial de danos às populações e às propriedades.

Essa classificação gera um escore global (S), que vem a ser a soma da vulnerabilidade (V) com o triplo do escore do parâmetro de potencial de perigo referente a danos a propriedades e perdas de vidas. A soma é dividida por 50 para a normalização, como ilustrado na Equação 2.

$$S = \frac{(V+3C)}{50} \quad \text{Equação 2}$$

A Vulnerabilidade (V) da barragem pode ser obtida pela soma aritmética da média dos escores das constantes físicas (A) com a média aritmética dos escores da soma dos parâmetros das variáveis (B), conforme a Equação 3.

$$V = \left( \frac{A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6}{6} \right) + \left( \frac{B1 + B2 + B3 + B4 + B5 + B6}{6} \right) \quad \text{Equação 3}$$

Os escores para cada um dos 13 parâmetros estão determinados nos Quadros 6 (escores de A) e 7 (escores de B).

Quadro 6 - Escores para classificação dos parâmetros das constantes

<b>A1</b>	<b>Altura da Barragem (m)</b>	<b>Escore</b>
	<10	1
	10-30	3
	30-100	6
	>100	10
<b>A2</b>	<b>Largura do Coroamento (m)</b>	
	>15	1
	6-15	3
	3-6	6
	<3	10
<b>A3</b>	<b>Tipo de Barragem</b>	
	Terra e Enrocamento	4
	Terra	10
<b>A4</b>	<b>Tipo de Fundação</b>	
	Rocha	1
	Rocha Tratada	2
	Solo argiloso	4
	Solo argiloso tratado	6
	Aluvião tratado	8
	Aluvião	10
<b>A5</b>	<b>Capacidade de armazenamento (hm<sup>3</sup>)</b>	
	<1	1
	1 – 50	2
	50 – 1.000	4
	1000 – 5.000	6
	>5.000	10
<b>A6</b>	<b>Tipo de Sistema de Filtração</b>	
	Filtração Moderna	1
	Drenos horizontais e Verticais	
	Aterro homogêneo resistente ao “piping”	
	Poços de Alívio, drenos de pé	
	Sem controle drenagem interna	10

Fonte: Silva (2017)

Quadro 7 - Escores para classificação dos parâmetros variáveis.

<b>B1</b>	<b>Idade da Barragem - (anos)</b>	<b>Escore</b>
	0 – 5	8
	5 – 15	7
	15 – 30	3
	30 – 50	2
	> 50	1
<b>B2</b>	<b>Altura Hidráulica máxima atingida no reservatório (%) – como um % da altura hidráulica máxima.</b>	
	>95%	1
	75 - 95%	5
	50 - 75%	8
	> 50%	10

Fonte: Silva (2017)

...Continuação do quadro		
<b>B3</b>	<b>Sismicidade – Velocidade de deslocamento do topo rochoso (m/s)</b>	
	< 4	1
	4 – 8	2
	8 – 16	6
	16 – 32	8
	> 32	10
<b>B4</b>	<b>Confiabilidade do vertedouro – opera em condições de Confiabilidade</b>	
	Satisfatório	1
	Insatisfatório	10
<b>B5</b>	<b>Continuidade do Monitoramento da barragem - a continuidade do monitoramento é crítica para resposta imediata em condições adversas e de cargas elevadas.</b>	
	Mudanças diárias	1
	Presença diária	4
	Instrumentação Automatizada	6
	Presença inconstante	10
<b>B6</b>	<b>Altura Normal do reservatório – como um % da carga máxima)</b>	
	Reservatório seco	1
	<50%	3
	50% - 75%	6
	>75%	10

Fonte: Silva (2017)

O Quadro 8 apresenta os escores para a pontuação dos danos a propriedades e perdas de vidas (C) (função da densidade populacional, da extensão das áreas agrícolas e do desenvolvimento de indústrias).

Quadro 8 - Parâmetros de classificação do potencial de perigo para danos a propriedades e perdas de vidas.

<b>C - Danos a propriedades e perdas de vidas (função da densidade populacional, das áreas agrícolas e desenvolvimento de indústrias)</b>		
<b>Potencial de Perigo</b>	<b>Área Afetada</b>	<b>Escore</b>
Mínimo	Área não habitada e não desenvolvida com poucos recursos naturais	1
Significante	Território pouco ocupado, com terras agrícolas	3
Importante	Áreas rurais desenvolvidas (menos de 2.000 habitantes), indústrias de pequeno e médio porte, alguns recursos naturais	5
Alto	Áreas rurais e Urbanas desenvolvidas (menos de 2.000 habitantes), indústrias de porte médio a grande, recursos naturais importantes	8
Muito Alto	Cidades importantes (com mais de 100.000 habitantes), área com indústrias importantes.	10
Notas:		
a) O tamanho da área afetada deverá ser determinado a partir de resultados de análises de rupturas de barragens. A área afetada é igual a área de inundação. Quando os resultados de tais estudos não estão disponíveis, utilizar uma previsão pessimista da área de inundação.		
b) O termo "indústria" inclui usinas hidrelétricas.		

Fonte: Silva (2017)

Esse método do USACE é baseado em uma metodologia desenvolvida pela organização canadense Hydro-Quebec que utiliza o conceito de índices de condição

( $IC = 1 - S$ ) que variam de 0 a 100, em que se medem as condições operacionais da barragem e seu desempenho. A Tabela 8 apresenta a classificação das barragens:

Tabela 8 - Classificação do índice de condição

Zona	Índice de condição ( $IC = 1 - S$ )	Descrição da condição
1	85 a 100	Excelente: Sem defeitos visíveis. Algum envelhecimento ou desgaste pode ser visível.
	70 a 84	Bom: Somente pequenas deteriorações ou defeitos são evidentes.
2	55 a 69	Razoável: Algumas deteriorações ou defeitos são evidentes, mas a função não é significativamente afetada
	40 a 54	Marginal: Deterioração moderada, mas a função ainda é adequada
3	25 a 39	Pobre: Deterioração grave em pelo menos algumas porções da estrutura. A função é inadequada
	10 a 24	Muito pobre: Deterioração extensa, mal funcional
	0 a 9	Falha: Não mais funções, falha geral ou falha completa de um componente estrutural principal

Fonte: Silva (2017)

Segundo Fontenelle (2007), uma das deficiências da metodologia do USACE é que o método não considera para efeito de pontuação a situação da barragem no que se refere a percolação, deformação e deterioração.

### 3.5 METODOLOGIA POTENCIAL DE RISCO DA COGERH MODIFICADO

Essa metodologia foi proposta inicialmente por Menescal et al. (2001), para classificação das barragens de represamento de água sob responsabilidade da Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH), essencialmente quanto à sua segurança estrutural, hierarquizando-as, de modo a atender uma demanda da empresa, tendo em vista a gestão das barragens.

Contudo, para que esse modelo pudesse ser aplicado às barragens de rejeito, Duarte (2008), propôs alterações de alguns parâmetros do modelo proposto por Menescal et al. (2001), ficando definindo assim, como “modelo de potencial de risco modificado”.

Essa metodologia calcula o potencial de risco (PR), a partir de três parâmetros: P – periculosidade (composto por descritores relativos a parâmetros intrínsecos da barragem ou características técnicas do projeto); V – vulnerabilidade

(composto por descritores associados ao estado atual da barragem) e I – importância estratégica (com descritores relacionados à consequência de uma eventual ruptura da barragem).

O potencial de risco (PR) é calculado através da seguinte equação 4:

$$PR = \frac{(P + V)}{2} \times I \quad \text{Equação 4}$$

A periculosidade representa as características técnicas da barragem, sendo um conjunto dos seus parâmetros indica se o estado atual da barragem oferecer algum perigo. É obtida através da Tabela 9 e da Equação 5.

Tabela 9 - Periculosidade (P)

<b>Dimensão da Barragem</b> <sup>1</sup>	<b>Vol. Total do Reservatório</b> <sup>2</sup>	<b>Tipo de Barragem</b> <sup>3</sup>	<b>Tipo de Fundação</b> <sup>4</sup>	<b>Vazão de Projeto</b> <sup>5</sup>
Altura ≤ 10m (1)	Pequeno < 0,5hm <sup>3</sup> (3)	Concreto (4)	Rocha (1)	Decamilenar (1)
Altura 10 a 20m (3)	Médio até 5hm <sup>3</sup> (5)	Alvenaria de pedra / Concreto rolado (6)	Rocha alterada / Saprolito (4)	Milenar (2)
Altura 20 a 50m (6)	Regular 5 a 20hm <sup>3</sup> (7)	Terra / Enrocamento (8)	Solo residual / Aluvião até 4m (5)	500 anos (4)
Altura > 50m (10)	Muito grande > 20hm <sup>3</sup> (10)	Terra/Rejeito (10)	Aluvião arenoso espesso / Solo orgânico (10)	Inferior a 500 anos ou Desconhecida (10)

- P >30 – Elevado
- P = 20 a 30 – Significativo
- P = 10 a 20 – Baixo a Moderado
- Obs: Se a vazão for desconhecida, deverá ser reavaliada, independentemente da pontuação.

Fonte: Duarte (2008)

$$P = \sum_{i=1}^5 p_i \quad \text{Equação 5}$$

Em que P – periculosidade e  $p_i$  peso de cada parâmetro.

A vulnerabilidade representa a situação atual da barragem e procura medir o quanto as estruturas estão vulneráveis a uma possível ruptura e a extensão dos danos daí advindos. É obtida através da Tabela 10 e da Equação 6.

Tabela 10 - Vulnerabilidade (V)

Col.6	Col. 7	Col. 8	Col. 9	Col. 10	Col. 11	Col. 11	Col. 12
> 30 anos (0)	Existem projetos "as built" e avaliação do desempenho (1)	Muito Satisfatória (2)	Totalmente Controlada Pelo sistema de drenagem (1)	Sem alteamento/ até a data de avaliação (0)	Totalmente controlada pelo sistema de drenagem (1)	Inexistente (1)	Com algum tipo de instrumentação (incluindo piezômetro) e com um programa de monitoramento (0)
10 a 30 anos (1)	Existem projetos "as built" (3)	Satisfatória (3)	Sinais de umedecimento nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras (4)	Método Jusante (1)	Sinais de umedecimento nas áreas de jusante, talude ou ombreira (4)	Falhas no rip-rap e na proteção de jusante (3)	Com algum tipo de instrumentação (mas sem piezômetro) e com um programa de monitoramento (3)
5 a 10 anos (2)	Só projeto básico (5)	Suficiente (6)	Zonas úmidas em taludes de jusante, ombreiras, área alagada a jusante devida ao fluxo (6)	Método de linha de centro (3)	Zonas úmidas em taludes de jusante, ombreira, área alagada a jusante devida a fluxo (6)	Falha de proteções; drenagens insuficiente e sulcos nos taludes (7)	Com algum tipo de instrumentação (mas sem piezômetro) e sem programa de monitoramento (6)
< 5 anos (3)	Não existe projeto (7)	Não satisfatório (10)	Surgência de água em taludes, ombreiras e área de jusante (10)	Método Montante (10)	Surgência de água em taludes, ombreiras e área de jusante (10)	Depressão no rip-rap, escorregamentos, Sulcos profundos de erosão, Vegetação (10)	Sem nenhuma instrumentação e sem programa de monitoramento (10)

\* **Legenda:**

Coluna 6: Tempo de Operação

Coluna 7: Projeto (As Built)

Coluna 8: Confiabilidade das Estruturas do Vertedouro

Coluna 9: Percolação

Coluna 10: Alteamento

Coluna 11: Deformação, Afundamentos e Assentamentos / Coluna 12: Deterioração dos taludes / Paramentos / Coluna 13: Instrumentação e Monitoramento. **Obs:** Pontuação (10) em qualquer coluna implica em intervenção na barragem, a ser definida com base em Inspeção Especial.

V &gt; 40 – Elevada

V = 22 – 40 – Moderada a Elevada

V = 5 a 22 – Baixa a Moderada

V &lt; 5 – Muito baixa

Fonte: Duarte (2008)

$$V = \sum_6^{12} v_i$$

Equação 6

Em que: V – vulnerabilidade e  $v_i$  – peso de cada parâmetro

A importância estratégica representa a dimensão de possíveis impactos (econômicos, financeiros e ambientais) provocados em caso de ruptura da barragem. É obtida através da Tabela 11 e da Equação 7.

Tabela 11 - Importância estratégica (I).

<b>Volume Atual (hm<sup>3</sup>) (A)</b>	<b>População a Jusante (B)</b>	<b>Interesse econômico e Ambiental (C)</b>
Grande > 20 (2,0)	Grande (2,5)	Elevado (1,5)
Médio 5 a 20 (1,5)	Média (2,0)	Médio (1,2)
Baixo < 5 (1)	Pequena (1,0)	Pequeno (1,0)

Fonte: Duarte (2008)

$$I = \frac{A + B + C}{3}$$

Equação 7

O potencial de risco PR pode ser visto na Tabela 12.

Tabela 12 - Potencial de risco (PR).

<b>Classe</b>	<b>Potencial de Risco – PR</b>
A	> 70 (ou Vi=10) – alto / emergencia
B	46 a 70 – médio / alerta
C	28 a 46 – normal
D	16 a 27 – baixo
E	< 15 – muito baixo

Fonte: Duarte (2008)

A Tabela 13 apresenta a frequência de inspeções de acordo com o tipo de inspeção e classificação da barragem.

Tabela 13 - Frequência de inspeções.

<b>Tipo de Inspeção</b>	<b>Classificação da Barragem</b>				
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
Rotina	-	12/ano Mensal	4/ano Trimestral	2/ano Semestral	1/ano Anual
Periódica	-	1/ano Relatório completo	1/ano (relatório simplificado) 1/2 anos (relatório completo)	1/2 anos (relatório simplificado)	1/4 anos (relatório simplificado)
Formal	-	1/5 anos	1/10 anos	1/15 anos	1/15 anos
Especial	Para definir intervenção e reclassificação	Em oportunidades tais como cheias excepcionais, rebaixamento rápido do reservatório, sismos etc.			
Emergência	Após eventos de magnitude especial.				

Fonte: Duarte (2008)

As Tabelas 14 e 15 apresentam os requisitos mínimo quanto à manutenção de acordo com a classe já definida e critérios para instrumentação de acordo com a altura da barragem.

Tabela 14 - Requisitos mínimos quanto à manutenção.

<b>Classe da Barragem</b>	<b>Requisitos Mínimos</b>
A	Intervenção e reclassificação
B	M – deficiências médias
C	P – pequenas deficiências
D	P – pequenas deficiências
E	I – deficiências inexistentes ou irrelevantes

Fonte: Duarte (2008)

Tabela 15 - Critério para instrumentação

<b>Altura da Barragem (m)</b>	<b>Deslocamentos</b>		<b>Tensões Totais</b>	<b>Vazões</b>	<b>Piezômetros</b>	<b>Sismologia</b>
	<b>Superficiais</b>	<b>Internos</b>				
<10	-	-	-	-	-	-
10 a 20	(x)	-	-	(x)	(x)	-
20 a 50	x se classe B ou I = 2	-	-	x vazão total se classe B ou I = 2	x se classe B ou I = 2	x
>50	x	(x)	(x)	(x) vazão parcial ou x vazão total	x	x se classe B ou I = 2

**NOTA: x – Dispositivo obrigatório (x) – Dispositivo opcional**

Fonte: Duarte (2008)

### 3.6 MÉTODO DA RESOLUÇÃO CNRH Nº 143/2012

A Lei federal nº 12.334 de 2010 institui, como primeiro de seus instrumentos, um sistema de classificação de barragens por categoria de risco e dano potencial associado a ser regulamentado pelo regulamentado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

Desse modo, em atendimento ao artigo 7º da lei, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos divulgou através da Resolução nº 143, julho de 2012, as regras gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado, volume do reservatório.

É válido ressaltar que cada uma das autarquias de fiscalização de barragens poderá estabelecer critérios específicos ou complementares aos critérios gerais estabelecidos pelo CNRH.

O Método proposto pelo CNRH divide 16 critérios de avaliação em quatro grupos: características técnicas, estado de conservação, plano de segurança de barragens e dano potencial. Os critérios ou descritores, como também são chamados no âmbito de avaliação de risco, são atribuídos valores constantes que somados, definem a Categoria de Risco e o Dano Potencial Associado do barramento.

A Categoria de Risco (CRI) é determinada por meio das Equações 8 e os descritores são apresentados nos Quadros de 9 a 11.

$$CRI = \sum_{1}^{3} CT + \sum_{7}^{4} EC + \sum_{13}^{5} PS \quad \text{Equação 8}$$

Em que: CT - características técnicas; EC - estado de conservação; PS - plano de segurança.

Quadro 9 - Matriz referente às características técnicas - CT

<b>Altura (a)</b>	<b>Comprimento (b)</b>	<b>Vazão de Projeto (c)</b>
Altura ≤ 15 m (0)	Comprimento ≤ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)
15 m < Altura < 30 m (1)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)
30 m < Altura < 60 m (4)	200 ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)
Altura > 60 m (7)	Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou Desconhecida/ Estudo não confiável (10)

Fonte: Resolução 143

Quadro 10 - Matriz referente ao estado de conservação - EC

<b>Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (d)</b>	<b>Percolação (e)</b>	<b>Deformações e Recalques (f)</b>	<b>Deterioração dos Taludes / Paramentos (g)</b>
Estruturas civis bem mantidas e em operação normal /barragem sem necessidade de estruturas extravasoras (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (0)	Não existe deterioração de taludes e paramentos (0)
Estruturas com problemas identificados e medidas corretivas em implantação (3)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes e ombreiras estáveis e monitorados (3)	Existência de trincas e abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de vegetação arbustiva (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Existência de trincas e abatimentos sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Erosões superficiais, ferrugem exposta, presença de vegetação arbórea, sem implantação das medidas corretivas necessárias. (6)
Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas (10)	Surgência nas áreas de jusante com carreamento de material ou com vazão crescente ou infiltração do material contido, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)

Fonte: Resolução 143

Quadro - 11 - Matriz referente ao plano de segurança da barragem - PS

<b>Documentação de Projeto (h)</b>	<b>Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (i)</b>	<b>Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento (j)</b>	<b>Plano de Ação Emergencial - PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (k)</b>	<b>Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (l)</b>
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui profissional técnico qualificado (próprio ou contratado) responsável pela segurança da barragem (1)	Possui apenas manual de procedimentos de monitoramento (2)	Não possui PAE (não é exigido pelo órgão fiscalizador) (2)	Emite regularmente apenas relatórios de Análise de Segurança (2)
Projeto básico (5)	Possui unidade administrativa sem profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (3)	Possui apenas manual de procedimentos de inspeção (4)	PAE em elaboração (4)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção e monitoramento (4)
Projeto conceitual (8)	Não possui unidade administrativa e responsável técnico qualificado pela segurança da barragem (6)	Não possui manuais ou procedimentos formais para monitoramento e inspeções (8)	Não possui PAE (quando for exigido pelo órgão fiscalizador) (8)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção visual (6)
Não há documentação de projeto (10)	-	-	-	Não emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento e de Análise de Segurança (8)

Fonte: Resolução 143

O Quadro 12 apresenta os descritores para o cálculo do DPA, o qual é obtido pelo somatório dos pesos de *a* a *d*, conforme apresentado na Equação 9.

$$DPA = \sum (a \text{ até } d) \quad \text{Equação 9}$$

Quadro 12 - Matriz referente ao dano potencial associado - DPA

<b>Volume Total do Reservatório (a)</b>	<b>Existência de população a jusante (b)</b>	<b>Impacto ambiental (c)</b>	<b>Impacto sócio-econômico (d)</b>
Muito Pequeno ≤ 500 mil m <sup>3</sup> (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	INSIGNIFICANTE (área afetada a jusante da barragem encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais e a estrutura armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes , segundo a NBR 10.004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 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) (3)	POUCO SIGNIFICATIVO (área afetada a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes , segundo a NBR 10.004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m <sup>3</sup> (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (5)	SIGNIFICATIVO (área afetada a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APPs, e armazena apenas resíduos Classe II B – Inertes , segundo a NBR 10.004 da ABNT) (6)	MÉDIO (existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)

... Continuação do quadro			
Grande 25 milhões a 50 milhões m <sup>3</sup> (4)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (10)	MUITO SIGNIFICATIVO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe II A - Não Inertes, segundo a NBR 10004 da ABNT) (8)	ALTO (existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infra-estrutura de relevância sócioeconômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande ≥ 50 milhões m <sup>3</sup> (5)		MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I- Perigosos segundo a NBR 10004 da ABNT) (10)	

Fonte: Resolução 143

A partir dos valores obtidos cálculo do CRI e DPA, classifica-se as barragens quanto a categoria de risco e o dano potencial associado, de acordo com os critérios apresentados nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 - Matriz categoria de risco, Resolução CNRH nº 143.

<b>Categoria de Risco</b>	<b>CRI</b>
<b>Alto</b>	≥60 ou EC*≥ 10
<b>Médio</b>	35 a 60
<b>Baixo</b>	≤ 35

Fonte: Resolução 143

(\*) Pontuação (10) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providencias imediatas pelo responsável da barragem.

Tabela 17 - Matriz de dano potencial associado, Resolução CNRH nº 143

<b>Dano Potencial Associado</b>	<b>DPA</b>
<b>Alto</b>	≥13
<b>Médio</b>	7 < DPA < 13
<b>Baixo</b>	≤ 7

Fonte: Resolução 143

### 3.7 MÉTODO DA PORTARIA ANM Nº 70.389/2017

Agencia Nacional de Mineração (ANM) utiliza a mesma metodologia preconizada pela Resolução do CNRH nº 143/2012, para a classificação e segurança de barragens de rejeito quanto ao risco e dano potencial. Entretanto, apresenta algumas alterações nos valores dos pesos descritos e nas faixas de classificação do CRI.

O Quadro 13 apresenta matriz de classificação quanto às características técnicas (CT) utilizada pela ANM. Comparando com a matriz contemplada pela Resolução do CNRH nº 143, foi acrescentada duas categorias na matriz: método construtivo e auscultação.

Quadro 13 - Matriz de classificação - características técnicas (CT)

<b>Altura (a)</b>	<b>Comprimento (b)</b>	<b>Vazão de Projeto (c)</b>	<b>Método Construtivo (d)</b>	<b>Auscultação (e)</b>
Altura $\leq$ 15 m (0)	Comprimento $\leq$ 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)	Etapa única (0)	Existe instrumentação de acordo com o projeto técnico (0)
15 m < Altura < 30 m (1)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)	Alteamento a jusante (2)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto, porém em processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (2)

... Continuação do quadro				
30 m < Altura < 60 m (4)	200 ≤ Comprimento ≤ 600m (2)	TR = 500 anos (5)	Alteamento por linha de centro (5)	Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de instrumentos para adequação ao projeto (6)
Altura > 60 m (7)	Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou Desconhecida/ Estudo não confiável (10)	Alteamento a montante ou desconhecido ou que já tenha sido alteada a montante ao longo do ciclo de vida da estrutura (10)	Barragem não instrumentada em desacordo com o projeto (8)

Fonte: Portaria 70.389

Com relação ao Estado de Conservação (EC), a Portaria ANM nº 70.389/2017 manteve os mesmos critérios da Resolução do CNRH nº 143/2012 (Quadro 10). Quanto ao Plano de Segurança (OS), a Portaria ANM nº 70.389/2017 fez algumas alterações nos critérios, conforme destaca no Quadro 14.

Quadro 14 - Matriz de classificação - plano de segurança - PS

<b>Documentação de Projeto (j)</b>	<b>Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (k)</b>	<b>Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento (l)</b>	<b>Plano de Ação Emergencial - PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (m)</b>	<b>Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança (n)</b>
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui profissional técnico qualificado (próprio ou contratado) responsável pela segurança da barragem (1)	Possui apenas manual de procedimentos de monitoramento (2)	Não possui PAE (não é exigido pelo órgão fiscalizador) (2)	Emite regularmente apenas relatórios de Análise de Segurança (2)
Projeto "como está" (3)	Possui unidade administrativa sem profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (3)	Possui apenas manual de procedimentos de inspeção (4)	PAE em elaboração (4)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção e monitoramento (4)
Projeto básico (5)	Não possui unidade administrativa e responsável técnico qualificado pela segurança da barragem (6)	Não possui manuais ou procedimentos formais para monitoramento e inspeções (8)	Não possui PAE (quando for exigido pelo órgão fiscalizador) (8)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção visual (6)
Projeto conceitual (8)	-	-	-	Não emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento e de Análise de Segurança (8)
Não há documentação de projeto (10)	-	-	-	-

Fonte: Portaria 70.389

A partir da Portaria ANM nº 70.389/2017, o cálculo do CRI é determinado conforme Equação 8, porém a primeira parcela, referente as características técnicas, corresponde ao somatório do peso de cinco descritores. Quanto ao Dano Potencial Associado (DPA), a Portaria ANM nº 70.389/2017 manteve os mesmos critérios da Resolução do CNRH nº 143/2012 (Quadro 12; Equação 7).

Definida as faixas de categoria de risco e dano potencial associado, o resultado da classificação final da barragem obtido é combinando estas faixas, conforme apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 - Matriz para classificação final da barragem, Portaria ANM nº 70.389/2017

Categoria de Risco	Dano Potencial Associado		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	B	C	D
Baixo	B	C	E

Fonte: Portaria 70.389

### 3.8 ANÁLISES REALIZADAS

Com os critérios definidos a partir dos descritores de cada método, foram levantados os elementos da barragem Laborrie, realizada a classificação de risco e dano potencial da barragem, por cada metodologia, bem como a comparação entre os resultados obtidos. O Quadro 15 apresenta os elementos descritores correspondentes aos cinco métodos utilizados para classificação da barragem.

Quadro 15 - Elementos contemplados pelas metodologias

N.	SABESP	USACE	COGERH (Modificada)	Resolução CNRH 143/2012	Portaria ANM 70389/2017
1	Importância para SABESP	Altura da Barragem	Dimensão da barragem	Altura	Altura
2	Dim.	Largura do Coroamento	Vol. Total do Reservatório	Comprimento	Comprimento
3	Vol. de Água	Tipo de barragem	Tipo de Barragem	Vazão de Projeto	Vazão de Projeto
4	Impacto a Jusante (social)	Tipo de Fundação	Tipo de Fundação	Confiabilidade das estruturas extravasoras	Método Construtivo

... Continuação do quadro					
5	Impacto a Jusante (ambiental)	Capacidade de armazenamento	Vazão de Projeto	Percolação	Auscultação
6	Impacto a Jusante (Econômico)	Tipo de Sistema de Filtração	Tempo de operação	Deformações e Recalques	Confiabilidade das estruturas extravasoras
7	Tipo de Barragem	Idade da Barragem	Projeto (As Built)	Deterioração dos Taludes / Paramentos	Percolação
8	Órgão Vertente	Altura Hidráulica máxima	Confiabilidade das estruturas vertedouras	Documentação de Projeto	Deformações e Recalques
9	Vazão de Projeto	Sismicidade	Alteamento	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem	Deterioração dos Taludes / Paramentos
10	Informações de Projeto	Confiabilidade do vertedouro	Percolação	Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento	Documentação de Projeto
11	Frequência na Avaliação do Comportamento	Continuidade do Monitoramento da barragem	Deformações a fundamentos assentamentos	Plano de Ação Emergencial - PAE	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem
12	Percolação	Altura Normal do reservatório	Deterioração dos taludes/ paramentos	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança	Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento
13	Deformações	Danos a propriedades	Instrumentação e Monitoramento	Volume Total do Reservatório	Plano de Ação Emergencial - PAE
14	Nível de Deterioração dos Paramentos ou Taludes			Existência de população a jusante	Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança
15	Erosões à Jusante			Impacto ambiental	Volume Total do Reservatório
16	Condição dos Equipamentos dos Carregadores			Impacto sócio-econômico	Existência de população a jusante
17					Impacto ambiental
18					Impacto sócio-econômico

Fonte: Autor (2020)

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

### 4.1 INSPEÇÃO DA BARRAGEM LABORRIE

A inspeção da barragem foi realizada de acordo as recomendações do Manual de Fiscalização para barragens de rejeito da Agencia Nacional de Mineração (ANM), (Quadro 16).

Quadro 16 – Ficha de inspeção

Barragem de Mineração: Laborrie				
Mineradora Cooagal				
Barragem Ativa	SIM	NÃO	Barragem:	rejeito
Coordenadas da Barragem	2°16'47.41"N 51°39'21.77"W			
Condições Meteorológicas	Nublado			
1. SITUAÇÃO DOS ACESSOS		bom regular	deficiente	
1.1 Conservação Geral				
1.2 Revestimento do Piso				
1.3 Taludes				
1.4 Dispositivo de Drenagem				
2. MACIÇO DA BARRAGEM/OMBREIRAS				
2.1 Trincas identificadas		sim	não	
Trinca	Comprimento (m)	Abertura (mm)	Longit./Transv.	Local/Coordenadas
T1				
T2				
T3				
2.2 Recalques/Depressão/Abatimento Identificados		sim	não	
Anomalia	Local/Coordenadas			
A1				
A2				
A3				
2.3 Surgências de Água identificadas		sim	não	
Surgência	Local	Carreamento visível de sólidos		Alteração significativa da vazão
S1				
S2				
S3				
2.4 Erosões Superficiais		sim	não	
Erosões	Local/Coordenadas			
E1				
E2				
E3				
2.5 Drenagem Superficial		não se aplica/inexistente		
Estado de Limpeza	bom regular	deficiente		
Condições Estruturais	bom regular	deficiente		
2.6 Revestimento (deve ser controlado, quando aplicado, livre de vegetação arbustiva e arbórea art 47)				
Talude de Jusante	bom regular	deficiente		
Talude de Montante	bom regular	deficiente		
Crista	bom regular	deficiente		
2.7 Presença de Animais				
Animais (verificar pegadas/fezes)		sim	não	
Presença de tocas ou buracos		sim	não	
Formigas/cupins		sim	não	
2.8 Drenagem Interna		não se aplica/inexistente		
Assoreamento da saída do dreno/colóide		sim	não	
Carreamento visível dos sólidos		sim	não	
Alteração significativa da vazão		sim	não	
Saturação ao redor do Dreno		sim	não	
Medidor de vazão operante		sim	não	
3.0 RESERVATÓRIO				
Erosões ou processos de estabilização		sim	não	
Borda livre operacional		sim	não	
Lançamento de Rejeito Ativo		sim	não	
Formação de Praia		sim	não	
4.0 EXTRAVALORES		não se aplica/inexistente		
Obstrução da seção de emboque		sim	não	
Danos nas estruturas		sim	não	
5.0 INSTRUMENTAÇÃO (listar anomalias quanto a integridade física, identificação, acesso para a leitura)				
0 Medidor do Nível d'Água		0 Piezômetros	0 Marcos Superficiais	
0 Inclinômetros		0 Medidor de Vazão		
0 Extensômetros		0 Sismógrafos	Outros:especificar	

Fonte: Autor (2020)

O Quadro 17 apresenta a ficha de inspeção da barragem, realizada por mim em fevereiro de 2018, e está classificado de acordo com a matriz referente ao estado de conservação.

Quadro 17 - Matriz referente ao estado de conservação - EC

<b>Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (d)</b>	<b>Percolação (e)</b>	<b>Deformações e Recalques (f)</b>	<b>Deterioração dos Taludes / Paramentos (g)</b>
Estruturas civis bem mantidas e em operação normal /barragem sem necessidade de estruturas extravasoras (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (0)	Não existe deterioração de taludes e paramentos (0)
Estruturas com problemas identificados e medidas corretivas em implantação (3)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes e ombreiras estáveis e monitorados (3)	Existência de trincas e abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de vegetação arbustiva (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Existência de trincas e abatimentos sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Erosões superficiais, ferrugem exposta, presença de vegetação arbórea, sem implantação das medidas corretivas necessárias. (6)
Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas (10)	Surgência nas áreas de jusante com carreamento de material ou com vazão crescente ou infiltração do material contido, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)

Fonte: Resolução 143

As Figuras a seguir apresentam algumas ocorrências observadas durante a inspeção da barragem. Na crista da barragem, apresenta anomalias como curvas (Figura 22), erosões e trincas longitudinais (Figura 23), afundamentos e buracos, sem estruturas de drenagem e meio-fio, sinais de movimento. Isso é preocupante, tendo em vista a probabilidade de galgamento do reservatório.

Figura 22 – Trincas logitudinais na crista



Fonte: RT/IMAP (2017)

Figura 23 – Erosão e trincas longitudinais



Fonte: RT/IMAP (2017)

Outra patologia encontrada junto a crista da barragem pode ser vista na Figura 24 da qual apresenta o afundamento de parte do maciço, do qual se apresenta saturado, elevando o risco.

No talude de Montante: devido o reservatório estar em sua cota máxima, sem borda livre, não foi possível avaliar devidamente suas condições estruturais, mas o nível d'água próximo ao galgamento.

Figura 24 - Afundamento



Fonte: RT/IMAP (2017)

Quanto ao talude de Jusante conforme Figura 25, este apresenta erosões, escorregamentos, falta de proteção granular, falta de revestimento, afundamentos e buracos, árvores e arbustos, erosão no encontro com as ombreiras, áreas úmidas.

Figura 25 – Deterioração dos taludes



Fonte: RT/IMAP (2017)

A Figura 26 apresenta a surgência encontrada em alguns pontos no pé da barragem, porém, não se observa o carreamento de material sólido, que possivelmente poderia ocasionar um piping.

Figura 26 - Surgência



Fonte: RT/IMAP (2017)

A falta de cuidado ou má execução pode ser observada na Figura 27, onde apresenta um tipo de trinca, justamente no encontro com a ombreira esquerda, o que pode fragilizar e comprometer a estrutura do maciço.

Figura 27 – Erosão no talude



Fonte: RT/IMAP (2017)

Cabe destacar que não há um vertedouro projetado, o que existe é extravasador localizado na estrutura da crista com a ombreira direita, descrito aqui de extravasador 1 (Figura 28), executado como medida para evitar galgamento, após a construção da obra e no período de cheia. Esta estrutura apresenta obstrução/entulhos, erosões nos taludes, na base do canal e na área à jusante.

Figura 28 – Canal extravasador 1



Fonte: RT/IMAP (2017)

Logo abaixo do canal extravasador 1, existe a possibilidade de desmoronamento de um talude, assim como possíveis obstruções no canal (Figura 29). A falta de limpeza pode obstruir a saída do canal extravasador e posteriormente gerando o aumento da pressão na barragem, e por conseguinte levar ao galgamento.

Figura 29 – Erosão próximo ao extravasador 1



Fonte: RT/IMAP (2017)

## 4.2 CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM CORRESPONDENTE AS METODOLOGIAS

A classificação de risco da barragem Laborrie foi realizada utilizando cinco metodologias SABESP (KUPERMAN et al., 2001), USACE (ANDERSEN et al., 1999), COGERH modificado (DUARTE, 2008), CNRH nº 143/2012 e ANM nº 70.389/2017. A seguir são apresentados e discutidos os resultados obtidos correspondentes a cada metodologia.

### 4.2.1 Metodologia da SABESP

Conforme já descrito no Capítulo 3 a metodologia aplicada pela SABESP, através dos resultados de periculosidade potencial e estado real de funcionamento da barragem determina-se um índice de comportamento, representadas na Tabela 19.

Tabela 19 – Classificação de acordo com a metodologia da SABESP

Classificação Periculosidade Potencial (PP)		Total de pontos e resultados
(A) Importância para SABESP	Significativa	6
(B) Dimensão	Pequena	10
(C) Vol. De Água Armazenada	Grande	2
(D) Impacto A jusante (Social)	Médio	6
(E) Impacto A jusante Ambiental	Grande	0
(F) Impacto A jusante Econômico	Grande	0
(G) Tipo de Barragem	Terra	8
(H) Órgão Vertente	Não se aplica	0
(I) Vazão de Projeto	Tr < 100 ou desconhecido ou calculado há mais de 20 anos	2
	Σ	34
Classificação Periculosidade Potencial (PP)	PP < 60 = elevada;	<b>ELEVADA</b>
Classificação segundo o ER		
Informações de Projeto	inexistentes	0
Frequência na Avaliação do Comportamento	nenhuma	0
Percolação	desconhecida	0
Deformações	desconhecida	0
Nível de Deterioração dos Paramentos ou Taludes	excessivo	3
Erosões à Jusante	significativas	3
Condição dos Equipamentos dos Carregadores	Não se aplica	0
	Σ	6
Classificação segundo o Estado Real (ER):	ER < 60 = Insatisfatório	<b>INSATISFATÓRIO</b>
Classe e Índice de Comportamento		
Classe	Índice de Comportamento	
IC < 50	Emergência	<b>EMERGÊNCIA</b>
IC = 0,4xPP + 0,6xER =	IC = 0,4x34 + 0,6x6 = 17,2	

Fonte: Autor (2020)

Para a classificação de acordo com a metodologia da SABESP, no que diz respeito as considerações, as condições mais relevantes são as seguintes:

- Impacto para a SABESP: foi considerado “significativa”, pois em caso de rompimento do maciço, o contato com outros rios possivelmente poderia contaminar o Rio Araguari, de grande importância para o estado e do qual mantém 3 Hidrelétricas em funcionamento como já destacado;
- Impacto a Jusante (Social): da mesma forma do exposto acima, foi utilizado um nível médio de impacto pois não há população com moradia a jusante;
- Impacto a Jusante (Econômico): neste caso, o impacto tende a ser grande, pois a contaminação dos rios interfere diretamente na população que sobrevive do pescado assim como para o consumo próprio dos ribeirinhos que por ventura moram as margens dos rios;
- Órgão vertente e condição dos equipamentos carregadores: não se aplica a esta barragem;
- Vazão de projeto: não se tem projeto da referida obra, do mesmo modo, sem informações quanto a vazão estimada;
- Nível de Deterioração dos Paramentos ou Taludes e Erosões à Jusante: conforme inspeção visual já apresentada no item 4.1, portanto, em condição de forma excessiva nos taludes e erosões significativas;
- No estado real da barragem as ponderações ficam por conta da falta de projeto, nenhuma avaliação do comportamento da barragem, assim como os deslocamentos pois não há monitoramento, instrumentação ou até outro mecanismo que possa fornecer dados reais da barragem.

Com isso, os resultados obtidos quanto ao potencial de periculosidade por ser menor que 60 (sessenta) foi considerado como ELEVADO, assim como, no estado real foi definido como INSATISFATÓRIO e através dos resultados anteriores obtidos, utilizando a Equação 1, pode-se concluir como índice de comportamento como EMERGÊNCIA.

#### **4.2.2 Metodologia de classificação de risco do USACE**

Para a classificação através de parâmetros constantes e variáveis segue abaixo, nas Tabelas 20, 21, 22 e 23 que alternam entre parâmetros constantes e variáveis um resumo das escolhas de acordo com os dados da barragem.

Tabela 20 – Classificação de acordo com os parâmetros constantes (USACE)

<b>Escores para Classificação dos parâmetros das constantes</b>			
A1	Altura da Barragem (m)	10-30	3
A2	Largura do Coroamento (m)	3-6	6
A3	Tipo de Barragem	Terra	10
A4	Tipo de Fundação	Solo argiloso tratado	6
A5	Capacidade de armazenamento (hm3)	50 – 1000	4
A6	Tipo de Sistema de Filtração	Sem controle drenagem interna	10
		$A = \frac{A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6}{6} = \frac{39}{6} = 6,5$	

Fonte: Autor (2020)

Tabela 21 – Classificação de acordo com os parâmetros variáveis (USACE)

B1	Idade da Barragem - (anos)	15 – 30	3
B2	Altura Hidráulica máxima atingida no reservatório (%) – como um % da altura hidráulica máxima.	75 - 95%	5
B3	Sismicidade – Velocidade de deslocamento do topo rochoso (m/s)	Não aplica	0
B4	Confiabilidade do vertedouro – opera em condições de Confiabilidade	Insatisfatório	10
B5	Continuidade do Monitoramento da barragem - a continuidade do monitoramento é crítica para resposta imediata em condições adversas e de cargas elevadas.	Presença inconstante	10
B6	Altura Normal do reservatório – como um % da carga máxima (altura ou capacidade?) Reservatório seco	>75%	10
		$B = \frac{B1 + B2 + B3 + B4 + B5 + B6}{6} = \frac{35}{6} = 5,83$	
		$V = A + B = 6,5 + 5,83 = 12,33$	
		$S = \frac{(V + 3C)}{50} = \frac{(12,33 + 3 \times 8)}{50} = 0,72$	

Fonte: Autor (2020)

Tabela 22 - Classificação quanto ao potencial de perigo (USACE)

<b>C - Danos a propriedades e perdas de vidas (função da densidade populacional, das áreas agrícolas e desenvolvimento de indústrias)</b>			
<b>Potencial de Perigo</b>	Áreas rurais e Urbanas desenvolvidas (menos de 2.000 habitantes), indústrias de porte médio a grande, recursos naturais importantes	8	<b>ALTO</b>

Fonte: Autor (2020)

Tabela 23 – Classificação do índice de condição

<b>Classificação do Índice de Condição</b>		
<b>Zona</b>	<b>Índice de condição (IC = 1– S)</b>	<b>Descrição da condição</b>
<b>3</b>	0 a 9	Falha: Não mais funções, falha geral ou falha completa de um componente estrutural principal

Fonte: Autor (2020)

Já para a metodologia USACE as considerações são as seguintes:

- Tipo de fundação: solo argiloso tratado e sem controle de drenagem interna, devido à falta de projeto e portanto, apenas com informações através de alguns registros fotográficos, foi definido como um solo compactado;
- Idade da barragem: segundo relatos, ela possui entre 10 a 30 anos, e nesta metodologia, caso ela possuísse 14 anos teria uma nota inferior, porém, nada que pudesse afetar diretamente o cálculo, ou seja, a condição continua de risco alto;
- Altura hidráulica máxima atingida: ainda conforme as fotos já apresentadas, já houve caso de chegar à próximo de 95% do volume utilizado, ou seja, geralmente essa barragem trabalha com um nível alto, porém, foi considerado entre 75 e 95%, tendo em vista a abertura de 02 (dois) canais extravadores;
- Sismicidade: por não haver controle ou monitoramento, a premissa adotada é que não se aplica;
- Confiabilidade do vertedouro: neste caso, mesmo que não aplicável, foi considerado como insatisfatório, pois mesmo com a abertura de canais, um na barragem e outro próximo da ombreira direita, a ação apenas reduziu a pressão que estava sendo exercida;
- Altura normal do reservatório: devido a ser uma região com alto índice pluviométrico, foi considerado acima de 75%;
- Danos a propriedades e perdas de vidas: foi considerado de nível alto, pois os recursos naturais da região são muito importantes, mesmo não possuindo um levantamento de área afetada ou inundação específico para o caso em questão;
- Descrição da condição: falha geral ou completa de um componente estrutural principal.

#### **4.2.3 Metodologia Potencial de Risco da COGERH Modificado**

Nesta metodologia foram considerados desde a periculosidade, vulnerabilidade, potencial de risco, importância estratégica assim como inspeções, manutenções e instrumentação, de acordo com as Tabelas 24, 25, 26, 27 e 28.

Tabela 24 – Classificação segundo a periculosidade (COGERH)

Col	Descrição	Dados	Escore
1	Dimensão da Barragem	Altura 10 a 20m Comprimento ≤ 2000m	3
2	Vol. Total do Reservatório	Muito grande > 20hm <sup>3</sup>	10
3	Tipo de Barragem	Terra/enrocamento	8
4	Tipo de Fundação	Solo residual / Aluvião até 4m	5
5	Vazão de Projeto	Inferior a 500 anos ou Desconhecida	10
	P >30 – Elevado	ELEVADO	Σ36

Fonte: Autor (2020)

Tabela 25 – Classificação segundo a vulnerabilidade (COGERH)

Descrição	Dados	Escore
Tempo de Operação	10 a 30 anos	1
Projeto (As Built)	Não existe projeto	7
Confiabilidade das Estruturas do Vertedouro	Não aplicável	0
Alteamento	Sem alteamento/até a data de avaliação	10
Percolação	urgência de água em taludes, ombreiras e área de jusante	0
Deformação, Afundamentos e Assentamentos	urgência de água em taludes, ombreiras e área de jusante	10
Deterioração dos taludes / Paramentos	Falha de proteções; drenagens insuficiente e sulcos nos taludes	7
Instrumentação e Monitoramento	Sem nenhuma instrumentação e sem programa de monitoramento	10
	Σ	45

Obs: Pontuação (10) em qualquer coluna implica em intervenção na barragem, a ser definida com base em Inspeção Especial.

	V > 40 – Elevada	ELEVADA
--	------------------	---------

Fonte: Autor (2020)

Tabela 26 – Importância estratégica (COGERH)

Importância Estratégica (I).			
A	<b>Volume Atual (hm<sup>3</sup>)</b>	Grande > 20	2,0
B	<b>População a Jusante</b>	Pequena	1,0
C	<b>Interesse econômico e Ambiental</b>	Elevado	1,5
	$I = \frac{A + B + C}{3} = \frac{4,5}{3} = 1,5$		

Fonte: Autor (2020)

Tabela 27 – Potencial de risco (COGERH)

<b>Potencial de Risco (PR).</b>				
<b>Classe</b>				<b>B</b>
<b>Potencial de Risco – PR</b>		46 a 70		<b>médio / alerta</b>
<b>Frequência de inspeções.</b>				
<b>Tipo de Inspeção</b>				
<b>Rotina</b>	<b>Periódica</b>	<b>Formal</b>	<b>Especial</b>	<b>Emergência</b>
12/ano Mensal	1/ano Relatório completo	1/5 anos	Em oportunidades tais como cheias excepcionais, rebaixamento rápido do reservatório, sismos etc.	Após eventos de magnitude especial.
<b>Requisitos mínimos quanto à manutenção</b>				
<b>Classe da Barragem</b>		<b>Requisitos Mínimos</b>		
<b>B</b>		M – deficiências médias		

Fonte: Autor (2020)

Tabela 28 – Critérios para instrumentação

<b>Altura da Barragem (m)</b>	<b>Deslocamentos</b>		<b>Tensões Totais</b>	<b>Vazões</b>	<b>Piezômetros</b>	<b>Sismologia</b>
	<b>Superficiais</b>	<b>Internos</b>				
10 a 20	(x)	-	-	(x)	(x)	-
NOTA: x – Dispositivo obrigatório (x) – Dispositivo opcional						

Fonte: Autor (2020)

Na utilização da COGERH, as informações relevantes consideradas são:

- Tipo de barragem: terra/enrocamento; Tipo de fundação: solo residual (argiloso); Vulnerabilidades: sem projeto, sem informações do tipo de alteamento e instrumentação; Vazão: desconhecida; Confiabilidade do vertedouro: não se aplica e se fosse considerado como no caso anterior, ainda se encontraria em condição de vulnerabilidade elevada; Importância estratégica: considerado população pequena, pois não tem outra opção e neste caso, não existe população a jusante tão próximo a barragem; Frequência das inspeções: sendo de classe B, o rigor para a apresentação de relatórios, assim como os tipos de inspeções é muito maior, pois barragem de classe A é necessária intervenção e uma possível reclassificação se for o caso; Critérios para instrumentação: dispositivos opcionais para vazão e piezômetros. Alteamento: desconhecido; Percolação: surgências e sem informações de drenagem; Deformação: sem instrumentação e monitoramento; Deterioração dos taludes: erosões conforme inspeção visual.

Conforme descrito nos itens, em caso de pontuação igual a 10 (dez) em algum quesito, já implica na intervenção da barragem e neste caso, somente no item

vulnerabilidade tem 03 (três) casos, ou seja, é notório a necessidade urgente de acompanhamento através de um responsável técnico, assim como, órgãos devem ser informados imediatamente. Ao mesmo tempo em que no item de manutenção apenas considere deficiências médias segundo esta metodologia, acaba sendo também importante no quesito de critérios para instrumentação, onde recomenda a instalação em alguns pontos de acordo com a altura da barragem.

#### 4.2.4 Método da Resolução CNRH nº143/2012

Neste método, os valores constantes são atribuídos de acordo com CT, EC, PD e assim define-se a sua categoria de risco, dano potencial associado e sua classe, sendo apresentado de modo objetivo na Tabela 29.

Tabela 29 – Classificação de acordo Resolução 143 (CNRH)

<b>CATEGORIA DE RISCO (CRI)</b>		<b>Pontos</b>
Características Técnicas - CT		0+1+10=11
Estado de Conservação - EC		0+10+10+10=28
Plano de Segurança de Barragens - PS		10+1+8+8+8=35
<b>Pontuação Total (CRI) = CT + EC + PS</b>		<b>11+28+35=74</b>
<b>Classificação de Risco</b>		<b>ALTO</b>
<b>Faixa de Classificação</b>	<b>Categoria de Risco</b>	<b>CRI</b>
	<b>Alto</b>	≥ 60 ou EC* = 8 (*)
	Médio	35 < CRI < 60
	Baixo	≤35
(*) Pontuação (8) e m qualquer coluna d e Estado d e Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA D E RISCO ALTA e necessidade providências imediatas pelo responsável da barragem		
<b>Dano Potencial Associado (DPA)</b>		<b>Pontos</b>
Volume Total do Reservatório		2
Existência da População a Jusante		0
Impacto Ambiental		10
Impacto Sócio-Econômico		5
Pontuação Total (DPA)		17
<b>Classificação de Dano</b>		<b>ALTO</b>
<b>Classe</b>		<b>A</b>
<b>Faixa de Classificação</b>	<b>Dano Potencial Associado (DPA)</b>	<b>DPA</b>
	<b>Alto</b>	≥13
	Médio	10<DPA<13
	Baixo	≤10

Fonte: Autor (2020)

Para a utilização da resolução nº 143 CNRH foram utilizadas as seguintes premissas:

- Estado de conservação: problemas identificados na estrutura, umidades e surgência em áreas da barragem, trincas, mas sem escorregamentos ou abatimentos;
- Características técnicas: altura <15 metros, comprimento entre 50 e 200m, vazão desconhecida;
- Plano de segurança: sem projeto, porém, consta um engenheiro responsável, e não consta manuais ou procedimentos formalizados de modo a garantir a segurança do barramento;
- Dano potencial associado: no impacto sócio econômico foi considerado a não existência de instalações na área afetada da barragem.

Segundo a metodologia, caso o empreendedor da barragem não apresente informações sobre determinado critério especificado nos incisos e alíneas previstos na resolução 143/2012, o órgão fiscalizador aplicará a pontuação máxima para o referido critério.

A categoria de risco foi definida como ALTA, assim como o dano potencial associado também classificado como ALTO.

Isso corrobora a necessidade de implantação do PAEBM, assim como as inspeções periódicas, mapa de inundação considerando o cenário de maior dano e, dependendo do caso deverá haver constar a ZAS.

#### **4.2.5 Método da Portaria ANM nº 70.389/2017**

A ANM, outro órgão muito atuante na fiscalização de barragens, também através de sua própria metodologia, procura definir de modo prático o dano potencial associado e categoria de risco conforme Tabela 30.

Cabe ressaltar que cabe ao órgão ou à entidade fiscalizadora estabelecer a periodicidade, a qualificação da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de

detalhamento das Inspeções de Segurança Regular e Especial e da Revisão Periódica de Segurança de Barragem.

Tabela 30 – Classificação de acordo ANM (2018)

<b>CATEGORIA DE RISCO (CRI)</b>		<b>Pontos</b>
Características Técnicas - CT		0+1+10+10+8=29
Estado de Conservação - EC		0+10+10+10=30
Plano de Segurança de Barragens - PS		10+1+8+8+8=35
<b>Pontuação Total (CRI) = CT + EC + PS</b>		29+30+35=94
<b>Classificação de Risco</b>		
<b>Faixa de Classificação</b>	<b>Categoria de Risco</b>	<b>CRI</b>
	<b>Alto</b>	≥ 65 ou EC* = 10 (*)
	Médio	37 < CRI < 65
	Baixo	≤37

(\*) Pontuação (10) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade providências imediatas pelo responsável da barragem.

<b>Dano Potencial Associado (DPA)</b>		<b>Pontos</b>
Volume Total do Reservatório		2
Existência da População a Jusante		0
Impacto Ambiental		10
Impacto Sócio-Econômico		5
Pontuação Total (DPA)		17
<b>Classificação de Dano</b>		<b>ALTO</b>
<b>Faixa de Classificação</b>	<b>Dano Potencial Associado (DPA)</b>	<b>DPA</b>
	<b>Alto</b>	≥13
	Médio	7<DPA<13
	Baixo	≤7

Fonte: Autor (2020)

Na metodologia da ANM, pode-se observar similaridades de alguns componentes e valores de avaliação ao da resolução nº 143, portanto, não houve considerações que ocasionassem uma diferença relevante neste estudo de caso.

As considerações para esta metodologia, tem aspectos já citados na metodologia anterior, porém, o que se pode destacar são as situações de emergências, onde no art nº 37 da Portaria da ANM nº 70.389/2017, recomenda que o empreendedor ao ter conhecimento de uma situação de emergência, deve avaliar

através do coordenador do PAEBM, alguns níveis de emergência, sendo o nível 1 já quando alguma anomalia detectada em coluna do quadro da categoria de risco, no local de estado de conservação, e neste estudo de caso, por sinal encontram-se 3 vezes no item, o que reforça a condição de situação de emergência em nível 1 inicialmente.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 CONCLUSÕES

Após a inspeção na barragem e através da classificação de risco por 05 (cinco) metodologias para barragens de rejeito, tendo como estudo de caso a Barragem Laborrie, localizada no Distrito do Lourenço, no município de Calçoene/AP, pode se confirmar a priori que o estado desse maciço é de alerta.

Mesmo com parâmetros variáveis e constantes, com pesos diferentes entre os métodos envolvidos, percebe-se a concordância em todos os casos no que diz respeito a classificação de risco alto e dano potencial associado alto, neste caso, cabe lembrar que geralmente o DPA é muito relacionado a presença de população à jusante, o que não é este o caso, mas, o possível rompimento da barragem de Laborrie, do ponto de vista da engenharia poderia chegar até os municípios de Porto Grande e Ferreira Gomes, mesmo que em pequenas proporções, porém, teria a condição de causar alteração na qualidade da água, do qual é represada por 02 usinas Hidrelétricas: Cachoeira Caldeirão e Coaracy Nunes.

Outro ponto a ser levantado é que o Parque Montanhas do Tumucumaque está localizado apenas a 2km da barragem de Laborrie, sendo este parque uma das reservas ambientais mais intocadas do estado, e, com ligação ao Norte com a Guiana Francesa e com a República do Suriname, fazendo parte do conjunto de Parques Nacionais Fronteiriços da Amazônia Brasileira.

A utilização da metodologia da SABESP, mesmo que adaptada para barragens de rejeito, demonstrou-se satisfatória, pois as descrições dos requisitos geralmente são similares aos outros métodos, e, mesmo nos casos de diferenças de pesos envolvidos, a situação aferida de emergência no caso em questão, comprova a importância de tal método, porém, necessita de maiores informações quanto a possíveis ações se comparado a metodologia da COGERH no que se refere a instrumentação, manutenção e inspeções.

Obviamente que cada órgão tem sua liberdade para criar e gerenciar modelos de quadros e tabelas que possam contribuir para a segurança de barragens de

mineração, a diversidade de material envolvido e tipos de barragens faz com que uma limitação poderia ser perigosa tendendo em alguns casos a limitar a possibilidade de uma análise de um projetista mais conservador, do qual como por exemplo, necessitaria de maior quantidade de instrumentação ou monitoramento.

Contudo, a constante mudança de resoluções e acidentes ocorridos nos últimos anos demonstra a necessidade de estar ajustando parâmetros, pensando em novos modelos e hipóteses simplificadoras para os casos envolvidos, deixando assim uma análise mais segura.

A metodologia as USACE, adaptada por Andersen (2001), tem boa aplicação a barragens de rejeitos, porém, ela necessitaria de uma informação da qual no Brasil ainda não é muito exposta a sociedade, que é referente a área de inundação da barragem, esse tipo de situação pode até gerar especulações imobiliárias.

Essa informação do possível mapa de inundação, contribui para a análise de danos a propriedades e perda de vidas, mas, no caso da barragem Laborrie, a perda de vidas não é o fator principal, e sim, a contaminação de com mercúrio e cianeto, que são alguns dos materiais utilizados no processo de garimpo na cooperativa Cooagal.

Um ponto que se apresenta de modo negativo na utilização da metodologia USACE é a falta de parâmetros relacionados a percolação, deformação e deterioração conforme apontado por Fontenelle (2007), e fica nítido mediante a comparação entre os métodos utilizados, onde 4 (quatro) solicitam algum tipo de informação relacionada a estes pontos.

A metodologia da COGERH adaptado por Duarte (2008) é completa, e abrange uma considerável quantidade de variedade de barragens, assim como os quesitos técnicos envolvidos, isso se deve a um excelente trabalho desenvolvido na região Nordeste, com relatórios disponíveis das atuações em sites nos mesmos moldes da ANA.

Do mesmo modo, foi observado que o critério para chegar no nível classe A de emergência, é mais exigente, pois no caso da barragem Laborrie, a mesma ficou apenas em nível de alerta, o que não foi satisfatório tendo em vista as condições reais do empreendimento, além disso, cabe ressaltar que a metodologia recomenda de

qualquer modo em caso de pontuação igual a 10 (dez), na pontuação de qualquer item da vulnerabilidade, implica na intervenção da barragem, da qual, poderá ter um nova classificação após análise mais criteriosa.

Com relação a resolução 143 e a metodologia da ANM, as duas são muito próximas, em vários quesitos, com pouca variação na pontuação, porém, oscilando mais na classificação da categoria de risco, já no DPA o parâmetro é o mesmo.

Portanto, conclui-se que para o estudo de caso da Barragem Laborrie, a utilização para avaliação de risco de barragens de rejeitos através da metodologia da ANM e da resolução 143, são as mais indicadas, o que não invalida a utilização das outras metodologias, porém, deverá ser analisada cada particularidade do método proposto, de modo a preencher as informações que realmente tenham relevância e impacto direto na busca de uma aproximação maior do resultado.

A inspeção visual da barragem contribui para a aferição de metodologias, porquanto como pode ser observado na inspeção da barragem Laborrie, o excesso de erosões, trincas, falta de projetos, monitoramento e instrumentação, fundamento comprovou a eficiência dos métodos, mesmo aquele que não identificou como nível alto e sim nível médio (COGERH).

Uma barragem está em constante necessidade de acompanhamento, diante das mudanças/alterações que a mesma irá sofrer ao longo de sua construção/utilização e até a fase de desativar ou até descomissionamento da mesma, por esses e outros motivos a importância de controle de dados como projetos, instrumentação, monitoramento, relatórios, inspeções, alteamentos, alterações de uso etc.

A barragem Laborrie não possui um Plano de Ações Emergenciais em Barragens de Mineração (PAEBM) até o momento, não está cadastrada pelos seus empreendedores, mas, o que se sabe é que novos pontos de garimpagem estão sendo abertos dentro do local, e é perigoso se ações não forem tomadas de modo enérgico, pois sem os requisitos mínimos de projeto, sem instrumentação, monitoramento não se pode ter uma garantia de que ações de segurança da barragem estejam sendo tomadas.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugerem-se:

- Levantamento do estudo de risco e dano potencial das outras 22 barragens de rejeito de mineração do estado do Amapá;
- Realizar sugestão de monitoramento e instrumentação para essa e outras barragens próximas a Labourrie;
- Estudo de mancha de inundação do local, com suposição de rompimento utilizando *softwares* com programas em 2D e 3D;
- Coletar amostras indeformadas para realização de ensaios de laboratório, para estudos de análises de estabilidade das barragens de rejeito no estado do Amapá;
- Realizar estudos de probabilidade de rompimento da barragem e, se possível uma retroanálise para se obter o coeficiente de segurança da mesma;
- Elaborar um mapeamento geral do local onde se encontra a barragem Labourrie constando sugestões de novos barramentos baseados nas necessidades de mitigação dos impactos ambientais causados no local;

## 5 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE FILHO, L. H. **Avaliação do comportamento geotécnico de barragens de rejeitos de minério de ferro através de ensaios de piezocone.** Departamento de Engenharia Civil. f. 215. Dissertação (Mestrado) – UFOP, Ouro Preto, 2004.

ALMEIDA, R. R. **Recursos Minerais do Brasil: Mineração no Brasil: um importante recurso econômico.** 2012. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/geografia/recursos-minerais-brasil.htm>>.

ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO. **Principais Substâncias Metálicas.** Coord. Geral Wagner Fernandes Pinheiro, Osvaldo Barbosa Ferreira Filho, Carlos Augusto Ramos Neves; Equipe Técnica por Marina Dalla Costa... [et. Al.]; – Brasília: DNPM, 2018.

ANA. **Relatório de Segurança de barragens 2012-2013.** Disponível em <[http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/Seguranca/RSB\\_2012\\_2013\\_25092015.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/Seguranca/RSB_2012_2013_25092015.pdf)>. Acesso em: janeiro, 2020.

ARNEZ, F.I.V. **Avaliação das principais causas de acidentes em barragens de contenção de rejeitos causados pelos fatores geológicos e geotécnicos.** São Paulo, SP. f. 83. (Dissertação) – Mestrado. Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999.

ÁVILA, J. **A disposição de rejeitos sem barragens.** 2011. VII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental REGEO. 2011.

ÁVILA, J. P. **Acidentes em barragens de rejeitos no Brasil.** Palestra. 2017. Disponível em: <<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wp-content/uploads/2017/10/arqnot10056.pdf>> Acesso em: 24 de fev. 2019.

ÁVILA, J. P. **Barragens de Rejeitos no Brasil..** Comitê Brasileiro de Barragens e Pimenta de Avila Consultoria Ltda. 2016.

BITTAR, R.J. **Relato do Tema 2 – Acidentes e Incidentes em Barragens de Rejeitos: Como Prevenir ou atenuá-los?** II Seminário de Gestão de Riscos e Segurança de Barragens de Rejeitos. Belo Horizonte. 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral DNPM e Ministério de Minas e Energia. **Portaria nº 416 de 03 de setembro de 2012,** Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança, Revisão Periódica de Segurança e Inspeções Regulares e Especiais de Segurança das Barragens de Mineração conforme a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens.2012.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (...). Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 18 julho. 2000.

BRASIL. **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.** Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA (...). Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 09 janeiro, 1997.

BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.** Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (...). Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 21 setembro, 2010.

BRASIL. **Portaria nº 416 de 3 de setembro de 2012.** Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança (...). Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 11 dezembro, 2013.

BRASIL. **Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012.** Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco e dano potencial associado (...). Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 04 setembro, 2012.

BRASIL. **Resolução nº 144, de 10 de julho de 2012.** Estabelece critérios para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens (...). Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 04 setembro. 2012.

CBDB. **A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI:** cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens. [coordenador, supervisor, Flavio Miguez de Mello; editor, Corrado Piasentin]. Rio de Janeiro: CBDB, 2011.

CHAGAS, M.A.A. **Conflitos, gestão ambiental e o discurso do desenvolvimento sustentável da mineração no Estado do Amapá.** F. 232. Tese (Doutorado em Ciências) - Desenvolvimento Socioambiental, pelo Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará. Belém, 2010.

DAVIES, M. **Filtered Dry Stacked Tailings – The Fundamentals.** Proceedings Tailings and Mine Wast. Vancouver, 2011.

DAVIES, M. P. **Tailings Impoundment Failures: Are Geotechnical Engineers Listening?** Geotechnical news, 2002, p. 31-36.

DUARTE, A. P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2008.

ESPÓSITO, T. J. **Metodologia probabilística e observacional aplicada a barragens de rejeitos construídas por aterro hidráulico.** f. 359. Tese (Doutorado) Universidade de Brasília, 2000.

FERNANDES, R. B. **Metodologia para unificação do sistema de classificação de barragens de rejeito.** 2017. 156 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2017.

FERRAZ, F. **Disposição de Rejeitos de Mineração: Aperfeiçoamento Técnico dos Serviços de Engenharia em Atividades de Mineração**, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 1993.

FONTENELLE, A. S. **Proposta metodológica de avaliação de riscos em barragens do Nordeste Brasileiro**. Estudo de caso: Barragens do Estado do Ceará. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

IEPA. **Diagnóstico do Setor Mineral do Estado do Amapá**. Coordenador Marcelo José de Oliveira. Macapá: Iepa. Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, 2010.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DE ORDENAMENTO TERRITORIAL DO AMAPÁ. **Relatório Técnico Nº 001/2019-NAQ/IMAP**. Macapá, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração/Instituto Brasileiro de Mineração**; organizador, Instituto Brasileiro de Mineração. Brasília: IBRAM, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Relatório Anual de Atividades Minerárias** (Julho de 2017/Junho 2018). Brasília, 2018. Disponível em: <[http://portaldamineracao.com.br/ibram/wpcontent/uploads/2018/07/Diagrama%C3%A7%C3%A3o\\_Relat%C3%B3rioAnual\\_vers%C3%A3oweb.pdf](http://portaldamineracao.com.br/ibram/wpcontent/uploads/2018/07/Diagrama%C3%A7%C3%A3o_Relat%C3%B3rioAnual_vers%C3%A3oweb.pdf)> Acesso em: 20. fev. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração/Instituto Brasileiro de Mineração**; organizador, Instituto Brasileiro de Mineração. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2019.

ICOLD, Bulletin 121 - Tailings Dams, Risk of Dangerous Occurrences. Lessons learnt from practical experiences. Tailings.info. Tailings Related Accidents - Failures, Breaches and Mudflows, <http://www.tailings.info/knowledge/accidents.htm>. 2014.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). Disponível em <<http://www.icold-cigb.org/>>. Acesso em janeiro, 2020.

KLOHN, E. J. **The development of current tailings dam design and construction methods. Design and Construction of Tailings Dams**, Colorado School of Mines, Colorado, USA, 1981, p. 2-75.

LESTRA, A D.; NARDI, J. I. S. **O ouro da Amazonia, o mito e a realidade**. Belem: Grafisa, 1993.

LIMA, C. S. **Desenvolvimento de um Plano de Ação Emergencial para Barragens ou Diques com Dano Potencial Associado Alto Alicerçado na Legislação Específica do DNPM com Foco na região Carbonífera Sul Catarinense**. Criciúma, SC. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense UNESC. Criciúma. 2015.

LOZANO, F. A. E. **Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. f. 128. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações. São Paulo, 2006.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios**. 5 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

MCLEOD, H & PLEWES, H. **Risk Management Analyses (RMA)**. Canada: Klohn-Crippen Consultants. 1998.

MEDEIROS, C. H. de A. C. Utilização da técnica de análise de probabilidade de risco na avaliação de segurança de barragens. In: **XXIII Seminário Nacional de Grandes Barragens**, 1999, Belo Horizonte, 1999.

NERY, K. D. **Caracterização geotécnica e avaliação da compactação de um resíduo da produção de alumina (lama vermelha) desaguado por filtro prensa**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia, Minas Gerais, 2013.

NOGUEIRA, S. A. A. **Contribuição ao estudo metalogenético do depósito de ouro de Salamangone, Distrito Aurífero de Lourenço, Amapá**. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SABBO, G. R. ASSIS, M. M. G. BERTEQUINI, A. B. T. Barragens de retenção de rejeitos de mineração. **Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba**, SP, v. 02, n. 01, jan./ago., 2017. p. 3-15.

SILVA, M. L. **“O Território Imaginado”**: Amapá, de Território a Autonomia Política (1943-1988). f. 380 Tese (Doutorado em História) - Programa de Pós-Graduação em História. Universidade de Brasília – UNB, DF, 2017.

SOARES, L. **Barragem de Rejeitos**. Comunicação Técnica para o Livro Tratamento de Minérios, 5. ed. Capítulo 19. Editores: Adão B. da Luz, João Alves Sampaio e Silvia Cristina A. França. CETEM, 2010, p. 831-896.

VICK, S.G. **Planning, Design and Analysis of Tailings Dams**. John Wiley & Sons, Inc., 369 p. 1983.

VIEIRA, V. P. P. B. **Análise de riscos em recursos hídricos**: fundamentos e Aplicações. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), Porto Alegre, nov. 2005.

Wise Uranium Project. Tailings Dam Safety: **Chronology of major tailings dam failures**. Disponível em: <<https://www.wise-uranium.org>>. Acesso em: 12 jan. 2020.