

PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA

PCH COLINO 2




CL2-PAE-001-00-24

OUTUBRO/2024

Diretor Operações:
Vágner Serrato - V2I Energia
ENERGÉTICA SERRA DA
PRATA S/A

Responsável Técnico Seg. Barragem:
Henrique Y. Vieira– Prosenge Eng.
Eng. Civil - CREA PR 61.964/D



Responsável elaboração PAE:
Henrique Y. Vieira– Prosenge Eng.
Eng. Civil - CREA PR 61.964/D

00	30/10/2024	Emissão inicial	PBE	Prosenge Projetos e Engenharia
Revisão	Data	Objeto da revisão	Redação	Empresa

PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA.....	1
PCH COLINO 2.....	1
1 APRESENTAÇÃO.....	1
2 HISTÓRICO.....	1
2.1 Identificação do Responsável Técnico.....	1
2.1.1 Empresa Executora.....	1
2.1.2 Responsável Técnico.....	2
2.2 Objetivo.....	2
2.3 Organização do Relatório.....	2
3 INFORMAÇÕES GERAIS DA BARRAGEM.....	5
3.1 Localização e acessos.....	8
3.2 Reservatório.....	11
3.3 Barragem.....	12
3.4 Vertedouro.....	13
3.5 Circuito Hidráulico.....	14
3.6 Instrumentação.....	14
3.7 Níveis Operacionais.....	16
4 DETECÇÃO, AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA	25
4.1 Avaliação do Risco.....	25
4.1.1 Risco Hidrológico.....	25
4.1.2 Risco de Colapso Estrutural.....	26
4.2 Análise dos Potenciais Modos de Ruptura.....	27
5 ESTUDO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM.....	30
5.1 Modelo da Brecha.....	30
5.1.1 Parâmetros de Formação de Brecha de Ruptura.....	30
5.1.2 Parâmetros de Ruptura da Barragem.....	32
5.1.3 Variáveis Hidráulicas.....	32
5.2 Modelo Hidráulico.....	34
5.2.1 Seções Hidráulicas.....	36
5.2.2 Áreas de Armazenamento.....	38

5.2.3	Processo De Ruptura – HEC-RAS	38
5.3	Dados de Entrada	39
5.3.1	Calibração dos Parâmetros de Entrada	40
5.3.2	Fluxograma	40
5.3.3	Hipótese e Prováveis Modos de Ruptura	41
5.4	Resultados	42
5.4.1	Parâmetros da Brecha	43
5.4.2	Propagação da Onda	44
5.4.3	Modo de Ruptura Determinístico 1 – RDC 1 (Decamilenar)	44
5.4.4	Modo de Ruptura Determinístico 2 – RDC 2 (<i>Sunny Day</i>)	45
5.4.5	Resumo hidráulico	47
5.4.6	Região de Amortecimento	51
5.5	Mapas de Inundação	51
5.5.1	Zoneamento de Risco	53
5.5.2	Zona De Autossalvamento (ZAS)	55
5.5.3	Zona Secundária De Salvamento (ZSS)	55
5.5.4	Seções de Interesse	55
6	AGÊNCIAS E ENTIDADES ENVOLVIDAS	57
6.1	Agentes Interno	57
6.2	Agentes Externos	58
6.3	Identificação e contatos do Empreendedor, do Coordenador do PAE e das entidades constantes do Fluxograma de Notificação	58
7	CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE SEGURANÇA E RISCO DE RUPTURA	60
7.1	Condição Hidrológica	60
7.2	Condição Estrutural	60
7.2.1	Monitoramento das Estruturas	60
7.2.2	Revisão Periódica de Segurança	62
7.2.3	Tramitação das Informações	62
7.3	Sistema de monitoramento e controle de estabilidade da barragem	69
8	RESPONSABILIDADES DE TODOS OS AGENTES ENVOLVIDOS	70

8.1	Agente Interno – ENERGÉTICA SERRA DA PRATA S. A.	70
8.2	Agentes Externos	71
8.3	Atribuições Conjuntas entre a Usina e Agentes Externos	75
8.3.1	1º Etapa - Protocolo PAE aos Agentes Externos	75
8.3.2	2º Etapa - Cadastro e mapeamento da população existente na ZAS	75
8.3.3	Etapas Posteriores – Articulação com agentes externos após cadastro ZAS.....	75
9	PROGRAMA DE AÇÕES PREVENTIVAS, TÃO LOGO IDENTIFICADAS SITUAÇÕES EMERGÊNCIAIS.....	76
9.1	Situação Normal (VERDE).....	76
9.2	Situação Atenção (AMARELO)	77
9.3	Situação de Alerta (LARANJA)	77
9.4	Situação de Emergência 1 (VERMELHO CLARO).....	78
9.5	Situação de Emergência 2 (VERMELHO ESCURO).....	78
10	PLANO DE EVACUAÇÃO	80
10.1	Estradas Atingidas.....	80
10.2	Propriedades Atingidas.....	80
10.3	Zona de Autossalvamento – ZAS.....	81
10.4	Resumo Plano de Evacuação – Risco Hidrodinâmico.....	83
11	FLUXO DE INFORMAÇÃO E ACIONAMENTO	86
11.1	Meios de Comunicação – Sistema Sonoro	86
11.2	Acionamento em Caso de Emergências	86
11.3	Programa de treinamento e divulgação para envolvidos e para Balneário atingido (ZAS) 88	
11.4	Medidas Especificas, em articulação com poder público, para resgate das pessoas	88
11.5	Dimensionamento dos recursos humanos e materiais necessários em caso emergências 88	
11.6	Plano de comunicação.....	88
11.7	Definição in loco com agentes externos das rotas de fuga e pontos de encontro na ZAS 89	
12	FORMULÁRIOS DE DECLARAÇÃO DE INÍCIO DA EMERGÊNCIA, DE DECLARAÇÃO DE ENCERRAMENTO DA EMERGÊNCIA E DE MENSAGEM DE NOTIFICAÇÃO.....	89

13	RELAÇÃO DAS ENTIDADES PÚBLICAS E PRIVADAS QUE RECEBERAM CÓPIA DO PAE COM OS RESPECTIVOS PROTOCOLOS DE RECEBIMENTO	89
14	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	91
15	EQUIPE TÉCNICA	92
16	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
17	ANEXOS	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Montante da PCH Colino 2	6
Figura 2 – Jusante da PCH Colino 2	7
Figura 3 – Desenho Acesso Geral da PCH Colino 2	9
Figura 4 – Desenho Acesso Estrada Vicinal da PCH Colino 2	10
Figura 5 - Planta geral do Barragem.....	12
Figura 6 - Barragem, seção típica.....	13
Figura 7 – Curva de Descarga – Vertedouro	14
Figura 8 – Localização da Instrumentação do Barramento	15
Figura 9 - Arranjo geral da PCH Colino 2	17
Figura 10 – Arranjo Geral de Montante.....	18
Figura 11 – Planta da Barragem.....	19
Figura 12 – Seções da Barragem.....	20
Figura 13 – Seção do Vertedouro Tulipa	21
Figura 14 – Arranjo Geral de jusante.....	22
Figura 15 – Circuito de Geração - Planta e Seção	23
Figura 16 – Planta Casa de Força.....	24
Figura 17 - Representação dos parâmetros de forma da brecha de ruptura.....	31
Figura 18 – Exemplo dos tempos da onda.....	33
Figura 19. Seção transversal obtida do MDT.....	37
Figura 20. Seção do MDT com calha inserida através de interpolação de seções topobatimétricas.	38
Figura 21 - Representação esquemática de entrada e saída de dados no modelo HEC-RAS	41
Figura 22 - Modelo 2D HEC-RAS PCH Colino 2 do vale a jusante.....	41
Figura 23 – Seções da Barragem da PCH Colino 2	42
Figura 24 - Propagação de hidrogramas nas seções de controle rio Colino RDC 1 (Decamilenar).	44
Figura 25 - Altura Incremental da onda propagada nas seções de controle rio Colino – RDC 1 (Decamilenar).	45
Figura 26 - Propagação de hidrogramas nas seções de controle rio Colino, RDC 2 (<i>Sunny Day</i>)	46
Figura 27 - Altura Incremental da onda propagada nas seções de controle rio Colino, RDC 2 (<i>Sunny Day</i>)	46
Figura 28 – Níveis de Segurança e Risco de Ruptura.....	63

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Aproveitamentos Hidrelétricos no Rio Colino, próximos a PCH Colino 2.....	10
Tabela 2 – Curva CotaxÁreaxVolume – PCH Colino 2.....	11
Tabela 3 - Curva de descarga Vertedouro.....	13
Tabela 4 – Instrumentação – Barragem.....	15
Tabela 5 – Risco de Ocorrência do evento de Projeto com Tempo de Retorno TR (%).....	25
Tabela 3 - Barragem - Resultados das análises de estabilidade	26
Tabela 6. Coeficientes de descarga	30
Tabela 7 - Vazões de projeto	39
Tabela 8 - Parametrização das brechas dos modos de ruptura (<i>piping</i>) da Barragem Colino 2	43
Tabela 9. Parametrização das brechas dos modos de ruptura sinérgica (galgamento) da Barragem Colino 1.	43
Tabela 10 - Resumo das estruturas das Usinas – Rio Colino.....	47
Tabela 11 – Tempo de chegada da onda e níveis de água em cada seção para TR 10.000 anos.....	48
Tabela 12 – Tempo de chegada da onda e níveis de água em cada seção - QMLT.....	49
Tabela 13 – Legenda para Risco Hidrodinâmico	55
Tabela 14 – Localização das Seções de Interesse	55
Tabela 15 – Níveis de Segurança e risco Ruptura	64
Tabela 16 – Ações de resposta (Normal)	76
Tabela 17 – Ações de resposta (Atenção).....	77
Tabela 18 – Ações de resposta (Alerta).....	77
Tabela 19 – Ações de resposta (Emergência 1)	78
Tabela 20 – Ações de resposta (Emergência 2)	78
Tabela 21 – Estimativa das propriedades atingidas – Rompimento TR 10.000 anos.....	81
Tabela 22 – Características das infraestruturas/edificações localizadas na ZAS da barragem	82
Tabela 23 – Resumo do Plano de Evacuação	84
Tabela 24 – Legenda para Risco Hidrodinâmico	85
Tabela 25 – Entidades que recebem PAE	89
Tabela 26 – Controle das Entidades que receberam uma cópia do PAE.....	90

1 APRESENTAÇÃO

O presente relatório contempla o Plano de Ação de Emergências da PCH Colino 2, rio Colino, pertencente a pertencente à **ENERGÉTICA SERRA DA PRATA S/A.** do grupo V2i Energia, localizada no estado da Bahia.

Visa atender a Política Nacional de Segurança de Barragens – Lei Federal nº Lei 12.334 de 20 de setembro de 2010 alterada pela 14.066 de 30 de setembro de 2020, a Resolução Normativa – ANEEL - Nº 1064/2023.

O presente Plano de Ação de Emergências (PAE) possui o intuito de atender à Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010/2020 e a Resolução Normativa nº 1.064 de 2 de maio de 2023, onde a barragem da PCH Colino 2 foi classificada como Barragem de categoria B, Categoria de Risco Baixo e Dano Potencial Alto. Dano confirmado pelo estudo de rompimento a ser detalhado no item 5.

Conforme a lei citada uma barragem com classificação de Dano Potencial Alto necessita de um Plano de Ação de Emergências – PAE. Para obtenção dos dados foi realizada uma Inspeção Civil Regular, junho/2024, por uma equipe técnica multidisciplinar, com o objetivo de verificar todas as estruturas civis da usina, e percorrer o trecho de jusante do barramento para identificação dos pontos de risco. Da visita resultou o Relatório de Inspeção Civil **CL2-C-ISR-001-00-24- ISR 2024 - PCH Colino 2** apresentado no Anexo I do Plano de Segurança da Barragem.

2 HISTÓRICO

Em novembro de 2016 O consultor Paulo Vilas Bôas Machado, elaborou o primeiro Plano de Segurança de Barragens, através do documento **PSB PCH Colino 2 (PSB-C2-V1-T1-R0 a PSB-C2-V4-T2-R0)**, o qual será revisado e substituído pelo documento em questão.

Já em novembro/2021 foi elaborado pela Fractal Engenharia o primeiro Plano de Ação de Emergências (**975-CL2-PAE-RT**), sendo última versão emitida em novembro/2022. Este documento foi revisado e substituído pelo novo PAE, documento em questão de acordo com nova legislação e mudanças devido a primeira Revisão periódica de segurança da barragem também realizada em 2024.

2.1 Identificação do Responsável Técnico

2.1.1 Empresa Executora

PROSENGE Projetos e Engenharia Ltda – ME – CNPJ 21.082.963/0001-51

www.prosenge.com

Endereço Escritório: Rua Lauro Linhares 2123 sala 204 Bloco B – Trindade Shopping Florianópolis – SC – Cep: 88036-003

Telefone (48) 3206-8509 ou 98407-2613

E-mail: patricia@prosenge.com

2.1.2 Responsável Técnico

Engenheiro Civil: Henrique Yabrudi Vieira - Telefone: (49) 99124-0254

CREA Bahia – 3000155682BA

henrique@prosenge.com

ART BA20240692212

2.2 Objetivo

De acordo com a Lei 12.334 de setembro de 2010 alterada pela Lei 14.066/2020 e da Resolução Normativa nº 1.064 de 2 de maio de 2023, todas as barragens deverão ser classificadas conforme o risco e o dano potencial associado.

Após a classificação da barragem PCH Colino 2, verificou-se a necessidade de elaboração do Plano de Segurança da Barragem, pois a classificação indica categoria de risco Baixo e dano potencial Alto o que resulta em uma barragem **Classe B**, e conseqüentemente se fez necessário a elaboração do Plano de Ação de Emergências (PAE), documento em questão.

O Plano de Ação de Emergência (PAE) contempla procedimentos tanto em situações de normalidade como de anormalidade, que deverão ser revistos continuamente, de modo a possibilitar uma ação rápida e segura quando da eminência de um desastre ou da efetivação dele. Deverá ser dada ampla divulgação aos órgãos e instituições envolvidas, principalmente as prefeituras das cidades afetadas.

O Plano de Ação de Emergência (PAE) visa ainda estabelecer os procedimentos que contribuam para minimizar os danos causados nas áreas de jusante, decorrentes de situações críticas que possam vir a acontecer em virtude de riscos hidrológicos ou da ruptura da barragem. A atenção deste trabalho deverá ser voltada, principalmente, com as conseqüências à jusante com hipotética ruptura da barragem, com a indicação dos níveis e mapas das ondas de cheia normal e com a ruptura da barragem.

O Plano de Ação de Emergência (PAE) define as responsabilidades, conforme as atribuições de cada órgão de Governo e Organizações de suporte, sendo que para o agente operador deve caber a tarefa de alertar os órgãos públicos sobre a possibilidade de ocorrências de eventos extremos, independente da origem dos mesmos, visando à minimização de danos causados por um eventual desastre.

2.3 Organização do Relatório

O estudo está dividido segundo a seguinte estrutura:

- Cap.1 – Introdução
- Cap.2 – Histórico

- Cap.3 – Informações Gerais da Barragem
- Cap.4 – Detecção, Avaliação e Classificação das Situações de Emergência
- Cap.5 – Estudo do Rompimento da Barragem
- Cap.6 – Agências e Entidades Envolvidas
- Cap.7 – Caracterização dos Níveis de Segurança e Risco de Ruptura
- Cap.8 – Responsabilidades de todos os Agentes Envolvidos
- Cap.9 – Programa de Ações Preventivas, tão logo Identificadas Situações Emergências
- Cap.10 – Acessos, Mapas de Áreas Sujeitas a Inundações Potenciais
- Cap.11 – Fluxo de Informação e Acionamento
- Cap.12 – Formulários de declaração de início da emergência, de declaração de encerramento da emergência e de mensagem de notificação
- Cap.13– Relação das entidades públicas e privadas que receberam cópia do PAE com os respectivos protocolos de recebimento
- Cap.14 – Conclusões e Recomendações
- Cap.15 – Equipe Técnica
- Cap.16 – Bibliografia
- Cap.17 – Anexos
 - Anexo I – Dados (somente digital)
 - Anexo II – Área Resguardada e Acessos
 - Anexo III – Curva de Referência
 - Anexo IV – Seções Restituição
 - Anexo V – Mapas de Inundação
 - Anexo VI – Zona de Auto salvamento
 - Anexo VII – Fluxograma de Acionamento
 - Anexo VIII – Risco Hidrodinâmico
 - Anexo IX – Apresentação PAE
 - Anexo X – Formulários
 - Anexo XI – Articulação
 - Anexo XII – Plano de Divulgação

- Anexo XIII – Plano de Comunicação
- Anexo IX – ART

3 INFORMAÇÕES GERAIS DA BARRAGEM

A barragem da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Colino 2 está situada nas coordenadas 17° 04'21" S e 40° 06' 17" O.

A barragem consiste de um maciço de solo compactado com 28,00 m de altura máxima, 155,00 m de extensão e crista na El. 464,00. O talude de montante tem inclinação 2H:1V abaixo da cota 460,00 m, e inclinação 1,6 H:1 V entre cotas 460,00 m e 464,00 m. Existe proteção em rocha tipo rip-rap entre as cotas 458,00 e 464,00. Na face de jusante com duas bermas de equilíbrio de 2,50 m de largura, a inclinação dos taludes é de 1,8 H:1 V, com bermas até EL. 460,00 m, sendo que acima da El.460,00 esta inclinação passa a ser de 1,6 H:1 V. O controle das infiltrações no interior da barragem é efetuado através de um filtro vertical e de um tapete drenante horizontal.

Existe instrumentação na barragem, constituída de 5 piezômetros de tubo aberto, 8 marcos superficiais e 1 medidor de vazão.

Sob a barragem de terra foi instalada tubulação para manter constante para jusante a vazão sanitária durante a operação da usina. Foi instalada válvula a jusante do barramento, na El.433,32. O emboque da tubulação que leva à válvula está posicionado na El.451,53 m e é protegido por uma grade.

O sistema extravasor é do tipo "tulipa", com estrutura de concreto armado aduzindo para túnel escavado na ombreira direita, que fez parte do sistema de desvio do rio durante a construção. A crista do vertedouro está na cota 460,00 m e o raio do bocal de entrada é 5,10 m. O shaft tem comprimento de 8 m e diâmetro equivalente de 6 m. A transição entre o shaft e o túnel tem raio de curvatura de 10 m, sendo executada em concreto armado. O túnel é escavado em rocha sã, tendo cota de fundo 438,00 m a montante e 435,00 m a jusante, e extensão de 70 m. A seção do túnel é em arco- retângulo com medidas internas de 3,80 m de largura na base e 6,5 m de altura. O extravasor tem capacidade escoar a cheia decamilenar, com pico de 236 m³/s, com uma sobre-elevação máxima de 2,44 m no reservatório (RPS-2024).

O circuito de geração está posicionado na margem direita e é constituído de tomada de água, túnel de adução, conduto forçado, casa de força e canal de fuga. A casa de força abriga duas unidades geradoras do tipo Francis de eixo horizontal, com potência instalada total de 16,00 MW, aproveitando uma queda bruta de 203,00 m.

Abaixo estão apresentadas algumas fotos gerais das estruturas de montante e jusante (Figura 1 e Figura 2), arranjos gerais das estruturas civis (Figura 9 a Figura 15) e Ficha resumo para segurança da Barragem.




Figura 1 – Montante da PCH Colino 2



Figura 2 – Jusante da PCH Colino 2

A ficha técnica da Usina está apresentada abaixo e no Anexo I – Dados (1-Gerais).

FICHA TÉCNICA - PCH Colino 2

FOTO		CASCATA		
		Usina Montante:	Inexistente	
		Usina Jusante:	Colino I	
IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR		ÓRGÃOS EXTRAVASORES - VERTEDOIRO		
Nome:	PCH Colino II	Tipo:	Tulipa	
Municípios:	Medeiros Neto/Prado/Tex. Freitas- BA	Capacidade (m ³ /s):	235.92 TR 10.000 anos	
Proprietário:	ENERGÉTICA SERRA DA PRATA S.A.	Elevação da Crista (m):	460.00	
		Fundação:	granito-gnaisse	
		Comprimento (m):	5,10 (raio)	
DATAS		TOMADA D'ÁGUA		
Conclusão Barramento:	Dec-07	Tipo:	Gravidade	
Início Operação:	Jan-08	Comprimento (m):	8.80	
Manutenção Barragem:	-----	Comportas	Número:	1
			Largura (m):	3.00
			Altura (m):	4.00
			Soleira (m):	452.50
BACIA HIDROGRÁFICA		TUNEL DE ADUÇÃO		
Curso d'Água:	Rio Colino	Tipo:	Escavado rocha/seção arco retangular	
Bacia (ANEEL):	05-Atlantico Leste	Comprimento (m):	950.00	
Sub-Bacia (ANEEL):	55- São Matheus, Itanhém e outros	Arco retângulo (m):	3 (L) x 4 (H)	
Coordenadas Usina:	07"O	CONDUTOS FORÇADO		
		Unidades:	1	
		Diâmetro (m):	1.85	
		Comprimento Total (m):	850.00	
RESERVATÓRIO		CASA DE FORÇA		
Área Drenagem - (km ²):	164.00	Tipo:	Abrigada	
Área NA Normal - (km ²):	1.47	Potência Instalada (MW)	16.00	
Volume NA Normal (hm ³):	22.00	Unidades Geradoras:	2 Francis Horizontal	
Vazão Sanitária (m ³ /s):	0.47	Vazão Máxima (m ³ /s):	9.10	
Vazão Média - QMLT(m ³ /s)	7.17	Queda Bruta (m)	203.00	
Níveis de Água (m):	Máx. Max.:	Nível de água jusante (m):	Máx Max:	260.00
	Normal:		Normal:	257.00
	Mínimo:		Mínimo:	255.10
BARRAGEM		TURBINA		
Tipo:	Solo compactado	Potência Nominal [MW]	8 Unitária	
Comprimento (m):	165.00	Vazão Nominal [m ³ /s]	4.55 Unitária	
Altura Máxima (m):	28.00	Rotação (rpm)	900.00	
Largura Crista (m):	6.00	GERADOR		
Elevação da Crista (m):	464.00	Potência Nominal [kVA]	8720 Unitária	
Fundação:	granito-gnaisse	Rotação (rpm)	900.00	
		Fator de Potência	0.90	

3.1 Localização e acessos

A PCH Colino 2 faz parte de um conjunto de três PCHs da Energética Serra da Prata S.A., junto com duas outras, a PCH Colino 1 (implantada no Córrego Colino, afluente da margem direita do Rio Jucuruçu do Sul) e a PCH Cachoeira da Lixa (no Rio Jucuruçu do Sul). O conjunto das três PCHs é denominado "Complexo Serra da Prata".

Esses aproveitamentos estão situados no extremo sul do Estado da Bahia, entre os Municípios de Teixeira de Freitas, Medeiros Neto e Itamaraju.

O acesso à usina faz-se através da rodovia BR-101 que liga todo litoral do país, de onde parte-se no sentido sul da cidade de Porto Seguro em direção a cidade de Teixeira de Freitas. Continuando pela BA-290 por cerca de 65 km até cidade de Medeiros Neto, segue-se pela BA-126 por 41 km no sentido norte, até cruzamento com estrada vicinal vira-se a direita e por cerca de 8 km com placas indicativas até usinas ESPRA.

Na Figura 3 e Figura 4 a seguir apresenta-se o desenho geral e detalhado de acesso a Usina.

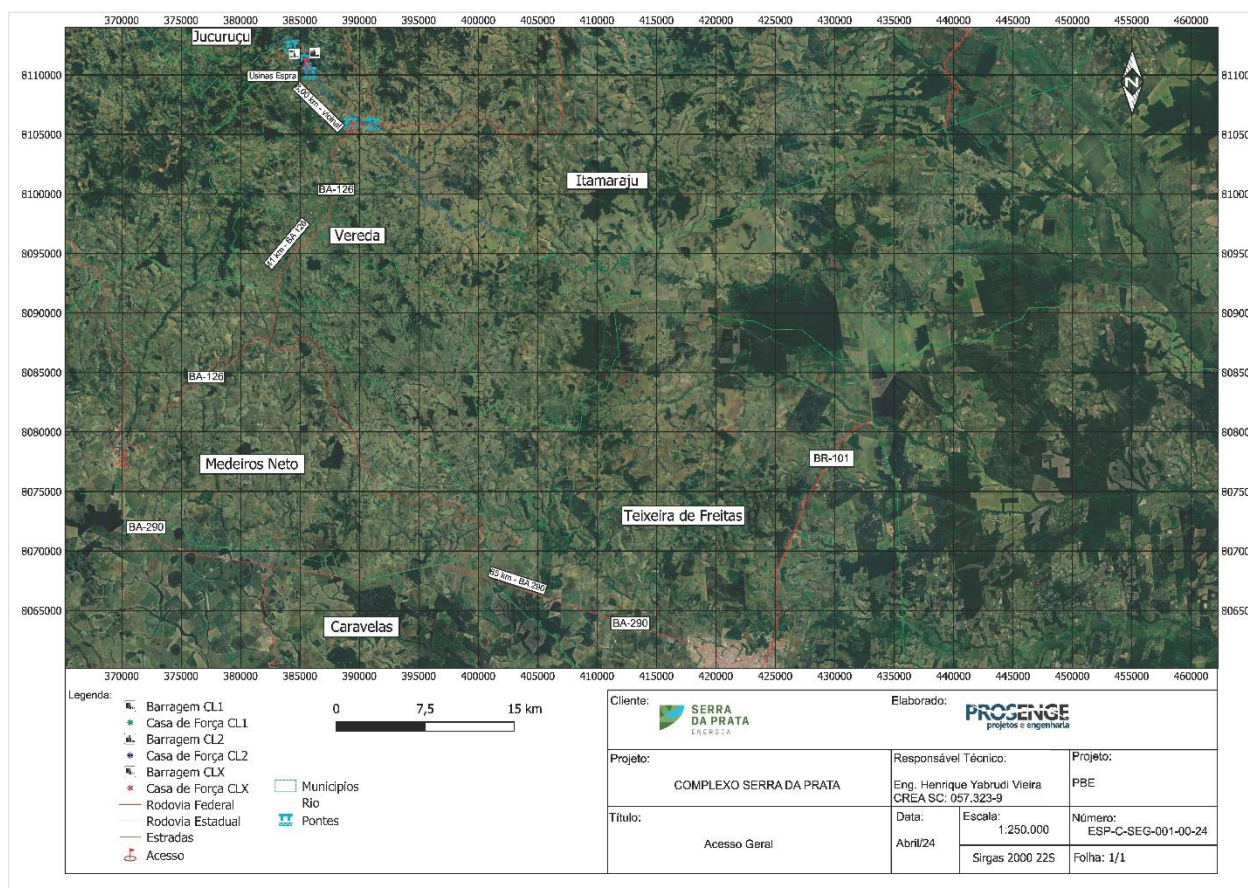


Figura 3 – Desenho Acesso Geral da PCH Colino 2

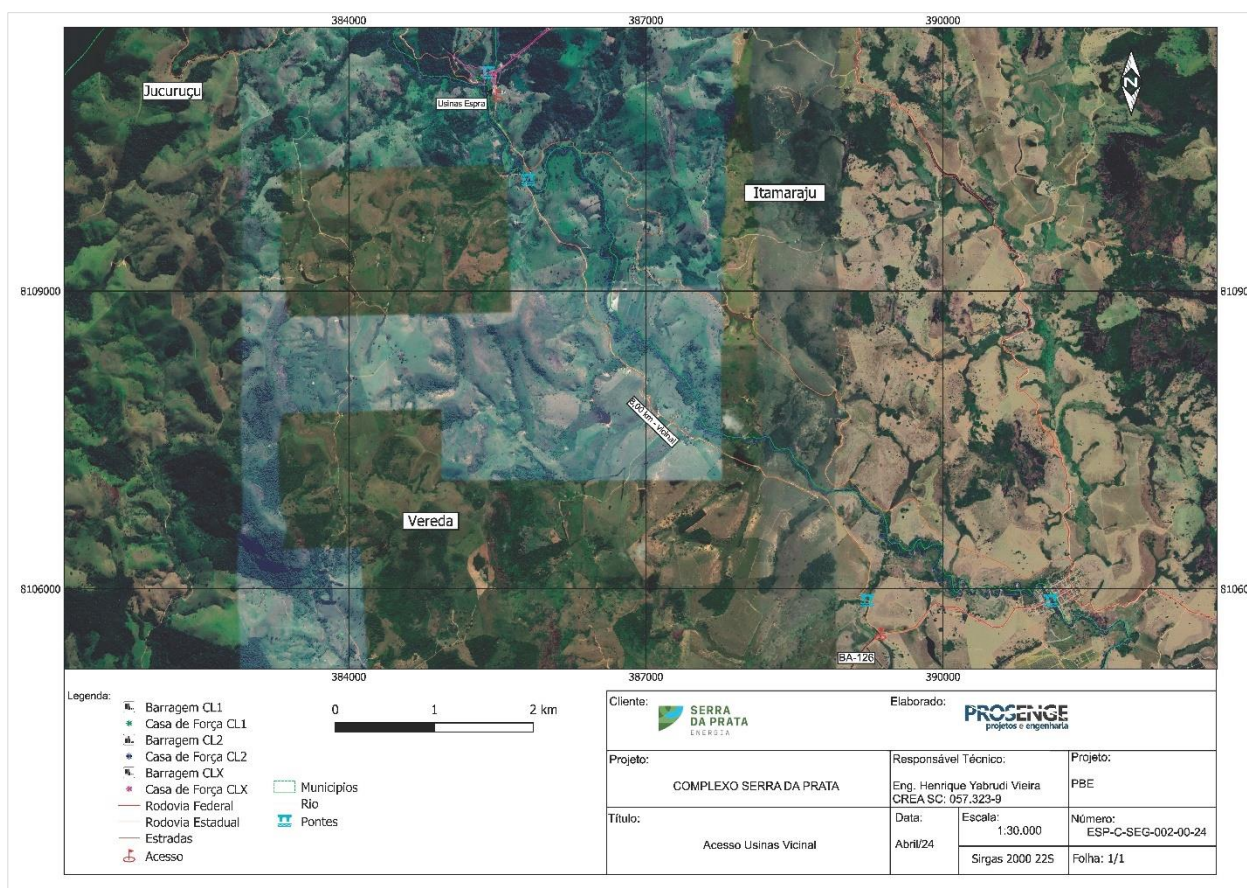


Figura 4 – Desenho Acesso Estrada Vicinal da PCH Colino 2

O desenho ESP-C-SEG-003-00-24-Area Resguardada CL2, apresenta mapa da área definida em campo com cercas, portões, cancela e interfone para preservar área da usina também no Anexo I – 1 Gerais.

A Tabela abaixo apresenta a localização relativa da PCH Colino 2 na divisão de quedas do Rio Colino, de acordo com ANEEL.

Tabela 1 – Aproveitamentos Hidrelétricos no Rio Colino, próximos a PCH Colino 2

Posição em relação à PCH Colino 2	Aproveitamento	Potência Instalada (MW)	Proprietário
Montante	Sem usina operação		
PCH Colino 2		16,00	ENERGÉTICA SERRA DA PRATA S/A.
Jusante	PCH Colino 1	11,00	ENERGÉTICA SERRA DA PRATA S/A.

Fonte (Aneel, 2024)

3.2 Reservatório

Foi obtida a curva cota x área x volume do projeto básico (WaterMark Engenharia e Sistemas Ltda – setembro 2003), sendo obtido para NA Normal na El. 460,00 m uma área de 1,48 km² e um volume de 22 hm³. Segue abaixo a curva do reservatório da PCH Colino 2.

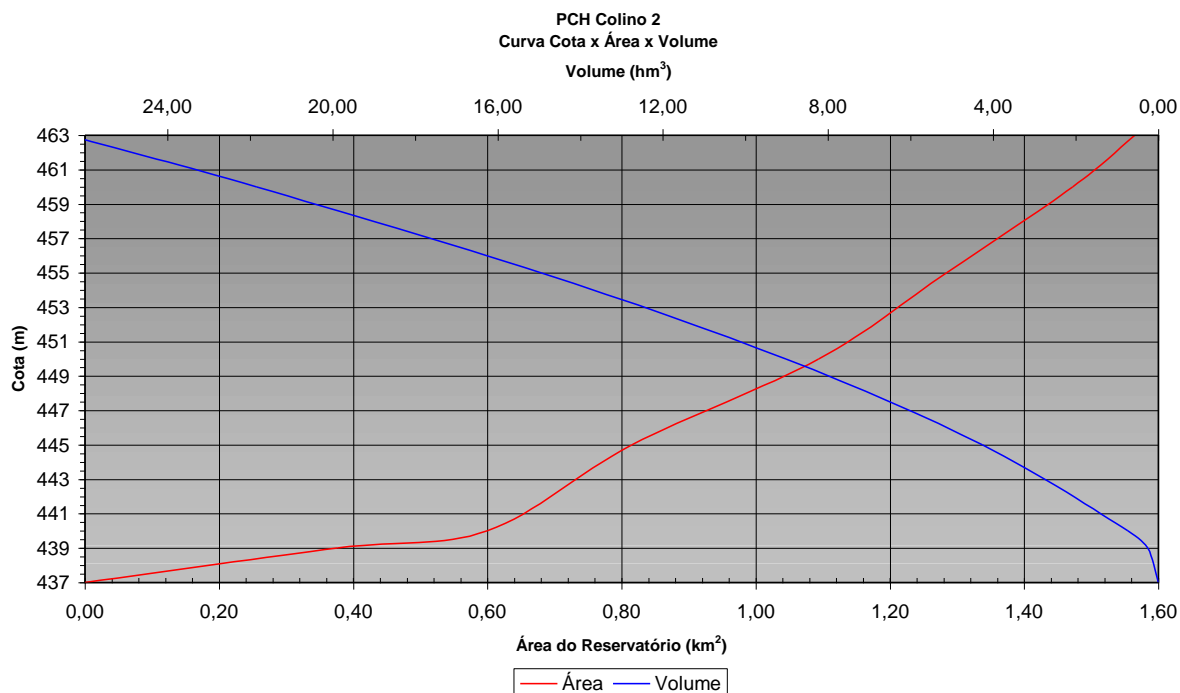


Tabela 2 – Curva CotaxÁreaxVolume – PCH Colino 2

Cota	Volume Total	área
(m)	(hm ³)	(km ²)
437	0,000	0,000
439	0,500	0,360
441	1,000	0,660
443	2,500	0,730
445	4,000	0,815
447	6,000	0,925
449	8,000	1,040
451	10,000	1,140
453	12,500	1,210
455	15,00	1,280
456	16,20	1,320
457	17,50	1,360
458	19,00	1,400
459	20,40	1,440
460	22,00	1,480
461	23,20	1,520
463	26,00	1,570

Fonte: Projeto Básico - WaterMark

3.3 Barragem

A barragem consiste de um maciço de solo compactado com 28,00 m de altura máxima, 155,00 m de extensão e crista na El. 464,00. O talude de montante tem inclinação 2H:1V abaixo da cota 460,00 m, e inclinação 1,6 H:1 V entre cotas 460,00 m e 464,00 m. Existe proteção em rocha tipo rip-rap entre as cotas 458,00 e 464,00. Na face de jusante com duas bermas de equilíbrio de 2,50 m de largura, a inclinação dos taludes é de 1,8 H:1 V, com bermas até EL. 460,00 m, sendo que acima da El. 460,00 esta inclinação passa a ser de 1,6 H:1 V. O controle das infiltrações no interior da barragem é efetuado através de um filtro vertical e de um tapete drenante horizontal.

Os documentos da barragem estão apresentados no Anexo I – Dados – 2 Estruturas.

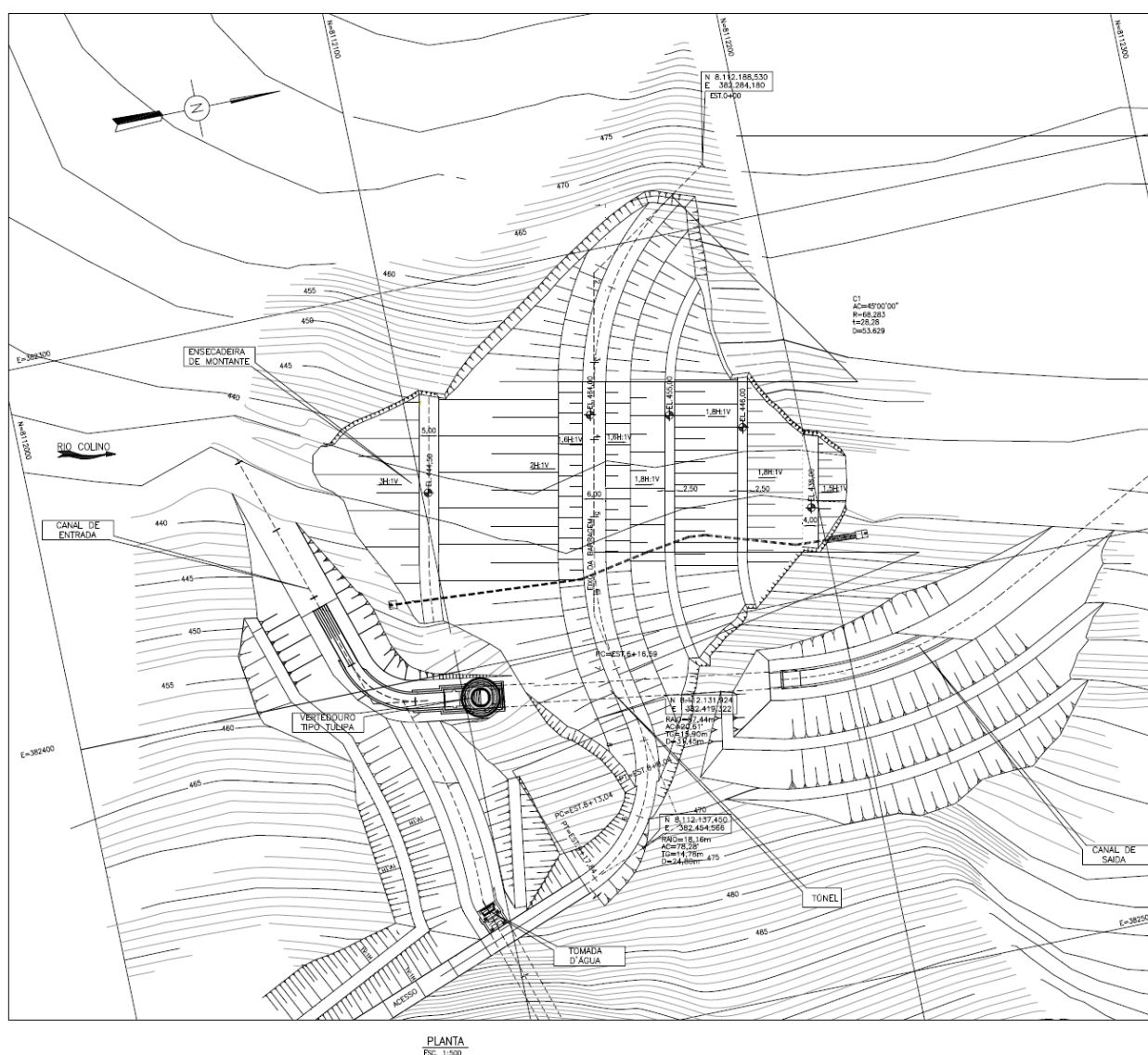


Figura 5 - Planta geral do Barragem

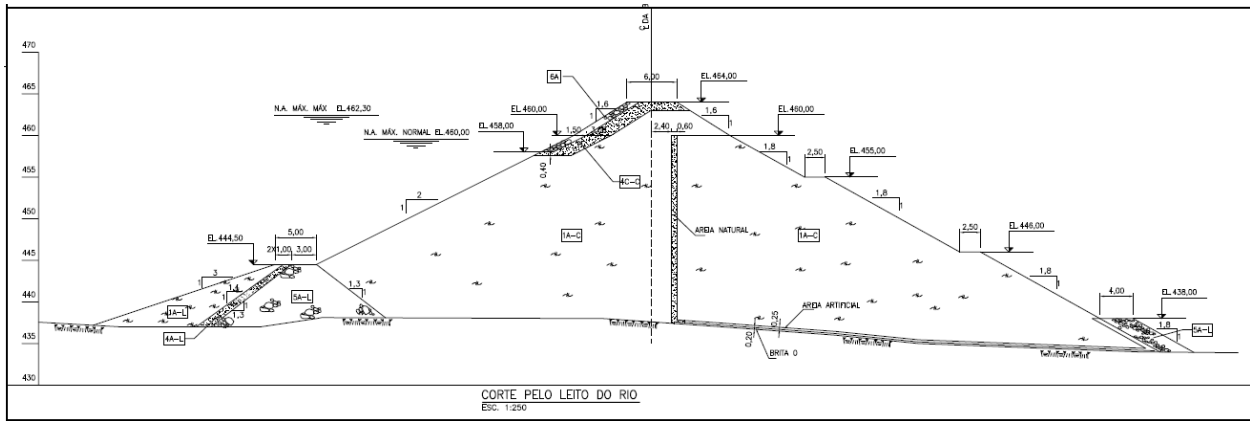


Figura 6 - Barragem, seção típica

3.4 Vertedouro

O sistema extravasor é do tipo “tulipa”, com estrutura de concreto armado aduzindo para túnel escavado na ombreira direita, que fez parte do sistema de desvio do rio durante a construção. A crista do vertedouro está na cota 460,00 m e o raio do bocal de entrada é 5,10 m. O shaft tem comprimento de 8 m e diâmetro equivalente de 6 m. A transição entre o shaft e o túnel tem raio de curvatura de 10 m, sendo executada em concreto armado. O túnel é escavado em rocha sã, tendo cota de fundo 438,00 m a montante e 435,00 m a jusante, e extensão de 70 m. A seção do túnel é em arco- retângulo com medidas internas de 3,80 m de largura na base e 6,5 m de altura. O extravasor tem capacidade escoar a cheia decamilenar, com pico de 236 m³/s, com uma sobrelevação máxima de 2,44 m no reservatório (RPS-2024).

Os documentos do vertedouro estão apresentados no Anexo I – Dados – 2 Estruturas.

A curva abaixo apresenta curva de descarga do Vertedouro Tulipa.

Tabela 3 - Curva de descarga Vertedouro

NA (m)	Q (m ³ /s)
460,00	0,00
460,02	0,03
460,05	0,27
460,10	1,54
460,20	5,10
460,50	21,19
460,75	40,07
461,00	61,70
461,25	86,22
461,50	113,34
461,75	142,83
462,00	174,50
462,25	208,22
462,50	243,88
462,75	281,36

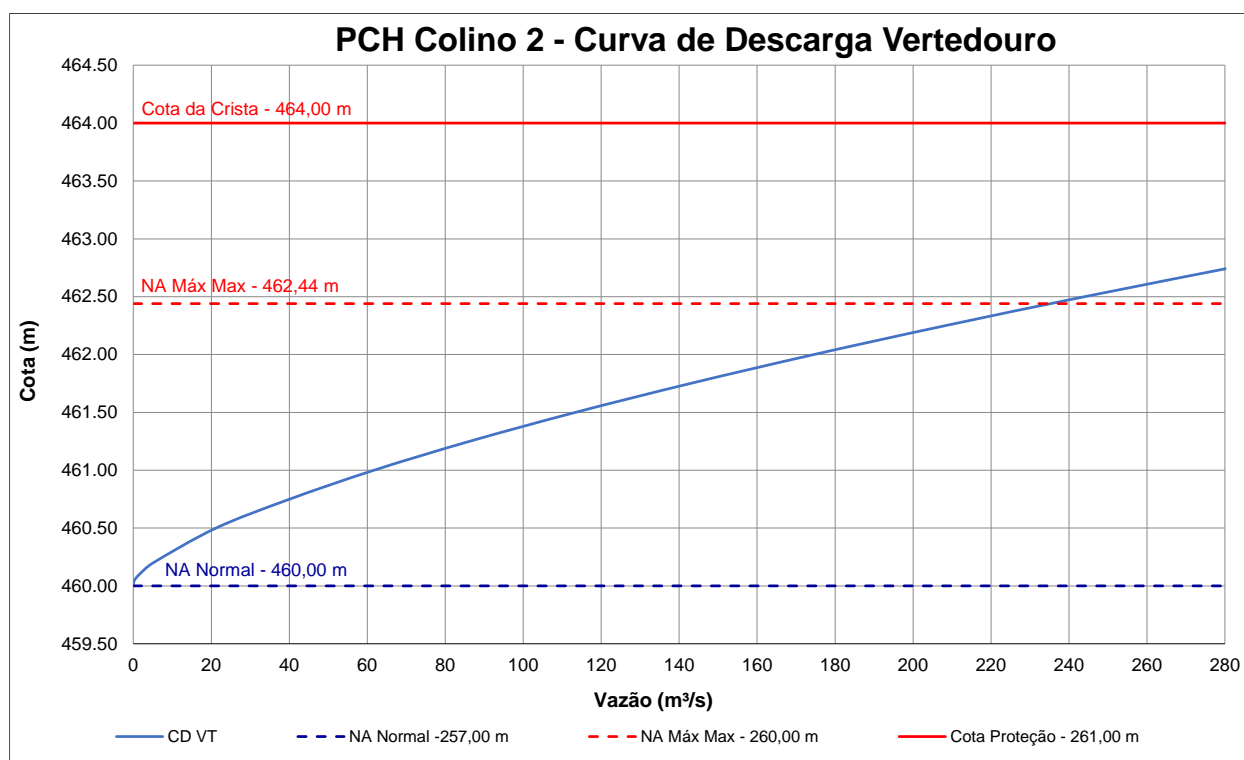


Figura 7 – Curva de Descarga – Vertedouro

3.5 Circuito Hidráulico

O circuito de geração está posicionado na margem direita e é constituído de tomada de água, túnel de adução, conduto forçado, casa de força e canal de fuga. A casa de força abriga duas unidades geradoras do tipo Francis de eixo horizontal, com potência instalada total de 16,00 MW com 2 unidades geradoras tipo Francis de eixo horizontal, aproveitando uma queda bruta de 203,00 m.

Os documentos da do circuito e casa de força estão apresentados no Plano de Segurança da Barragem (CL2-PSB-001-00-24), Anexo I – Documentos de Projeto – 5 Circuito de geração).

3.6 Instrumentação

A instrumentação implantada possui o objetivo de monitorar a barragem de terra. O conjunto de instrumentação consiste em:

- 5 Piezômetros abertos tipo Casagrande na barragem, sendo três na fundação (PSP-11, 21 e 31) e dois no filtro (PSP-22 e 32);
- 8 Marcos superficiais distribuídos ao longo da crista da estrutura da barragem de terra;
- 01 medidor de vazão na jusante do barramento.

Na Figura abaixo pode-se observar a localização da instrumentação da barragem de terra.

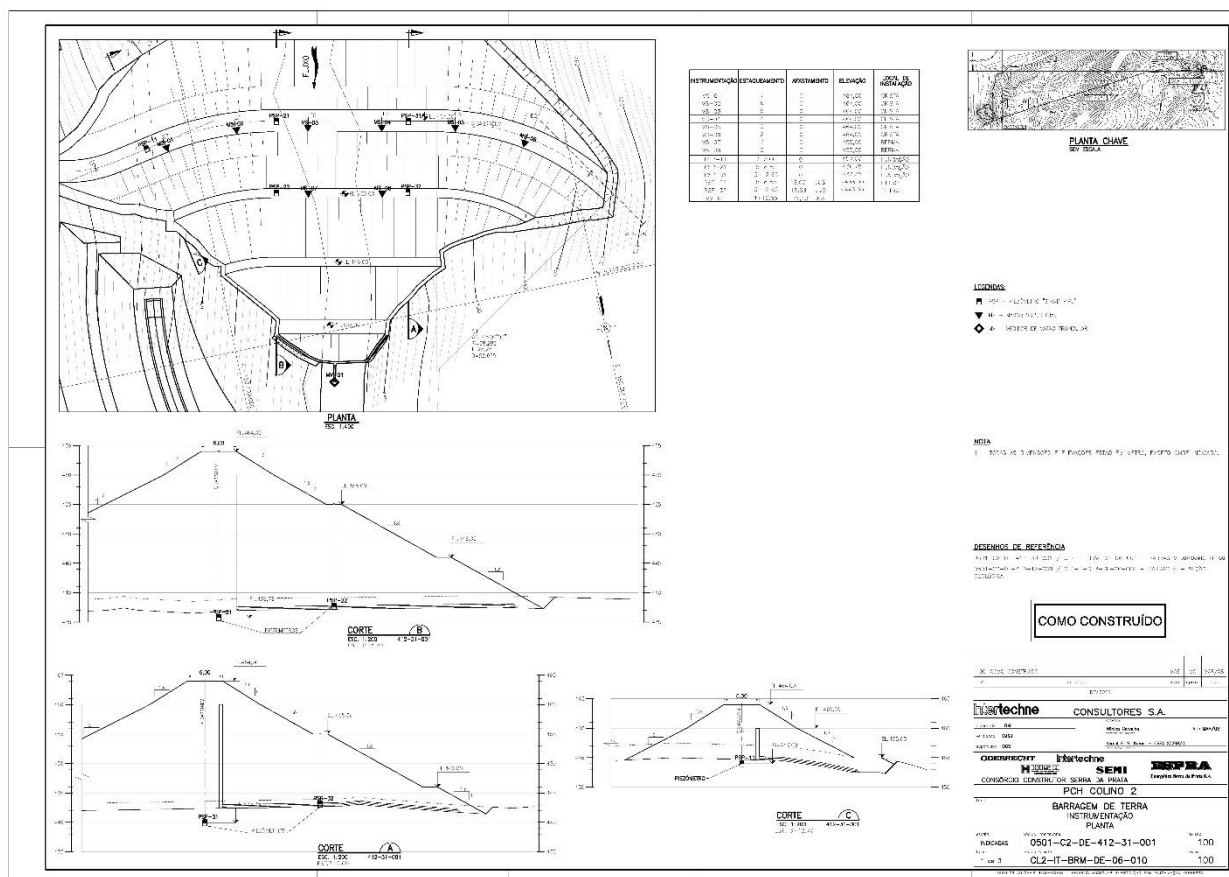


Figura 8 – Localização da Instrumentação do Barramento

Segue abaixo a função de cada instrumento bem como o tipo de monitoramento das estruturas.

Tabela 4 – Instrumentação – Barragem

TIPO DE INSTRUMENTO	CARACTERÍSTICAS	TIPO DE MONITORAMENTO
Piezômetros de Tubo Aberto (PZ)	São utilizados para medir a pressão - Nível de Água (NA) - da água intersticial nos locais selecionados tais como tapete drenante, maciço, contato do maciço de solo compactado da barragem com a fundação e na fundação da barragem.	Devem ser observados os limites informados pela projetista da barragem, Intertechne bem como os seus níveis de alerta (quando e se ocorrerem).
Marcos Superficiais (MS)	Possuem a finalidade de medir eventuais recalques do maciço da barragem, por meio de levantamentos topográficos de precisão. Para as medições, é necessária a implantação de uma referência de nível (RN), instalada no terreno natural, em local afastado da influência da implantação das estruturas.	Por se tratar de um monitoramento que exige equipe independente daquela de O&M, uma vez que a verificação das coordenadas tridimensionais destes MSs exige um serviço de topografia, este monitoramento será executado por topógrafos e resultará em relatório específico.
Medidor de Vazão (MV)	É utilizado para medir a percolação de água da barragem de enrocamento/terra ou jusante de barramento de concreto.	Leitura da vazão percolada considerando suas possíveis variações (a maior ou a menor), bem como a coloração da água percolada (mais ou menos límpida) em relação à cor da água do reservatório.

Os documentos referentes a Instrumentação de Auscultação estão apresentados no Plano de Segurança da Barragem (CL2-PSB-001-00-24), Anexo I – Documentos de Projeto – 7- Instrumentação.

3.7 Níveis Operacionais

Os níveis da PCH Colino 2 são:

- NA Normal Montante = 460,00 m;
- NA Máximo Maximorum Montante = 462,44 m (235 m³/s – TR 10.000 anos – RPS 2024);
- Cota Proteção Barramento = 464,00;
- NA Normal Jusante = 257,00 m;
- NA Máximo Maximorum Jusante = 260,00 m;
- Cota de Proteção Casa de Força = 261,00.

O ESP-C-SEG-003-00-24-Area Resguardada CL2 (Anexo II) apresenta as áreas de proteção do reservatório e casa de força bem como o arranjo geral da usina com destaque as principais estruturas.

Os desenhos principais do Barramento e arranjo estão apresentados no Anexo I – Dados, 2 - Estruturas. Todos os documentos da Usina estão apresentados no Anexo I do Plano de Segurança da Barragem – CL2-PSB-001-00-24.

Abaixo está apresentado arranjo geral, barramento e circuito geração.

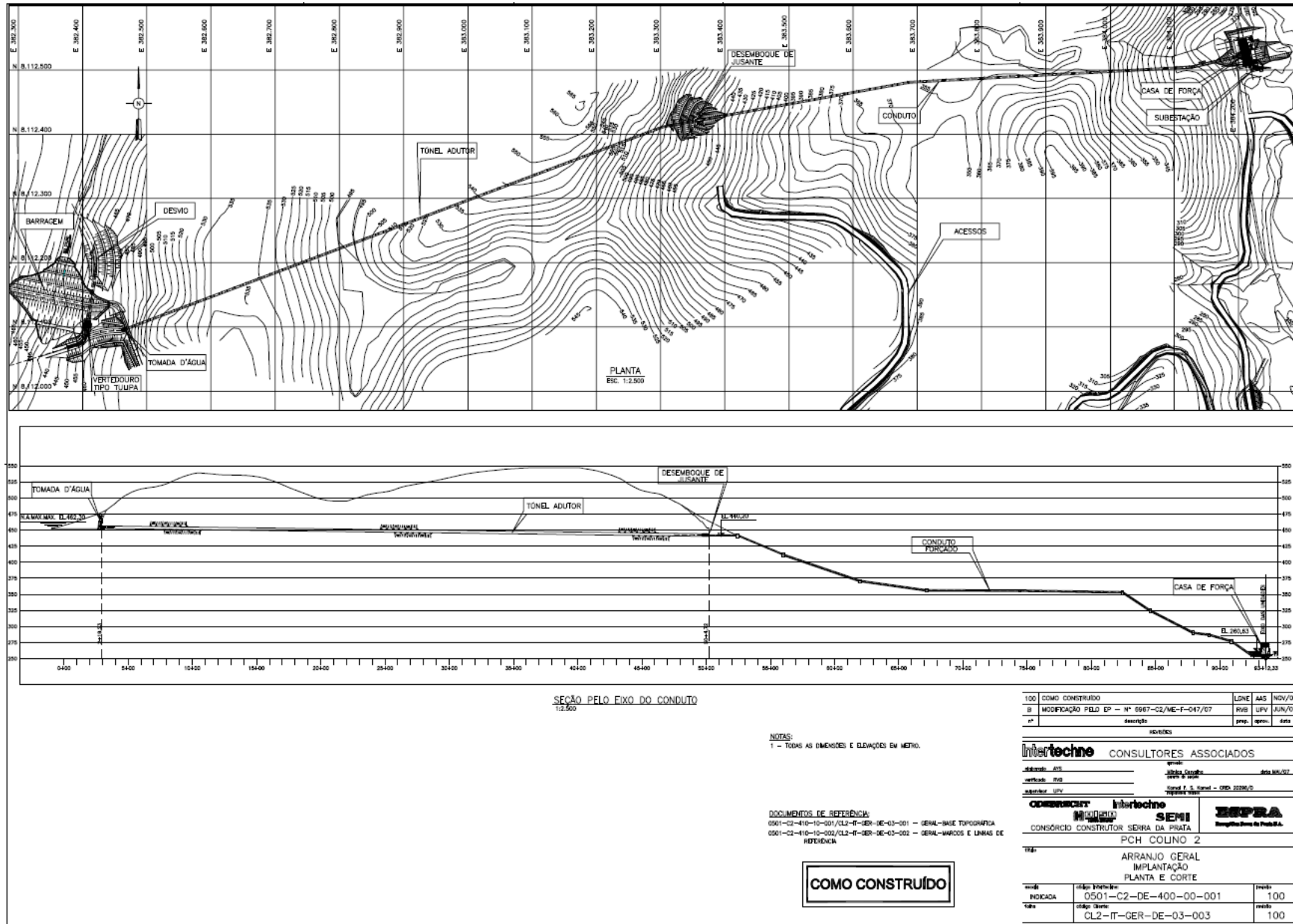
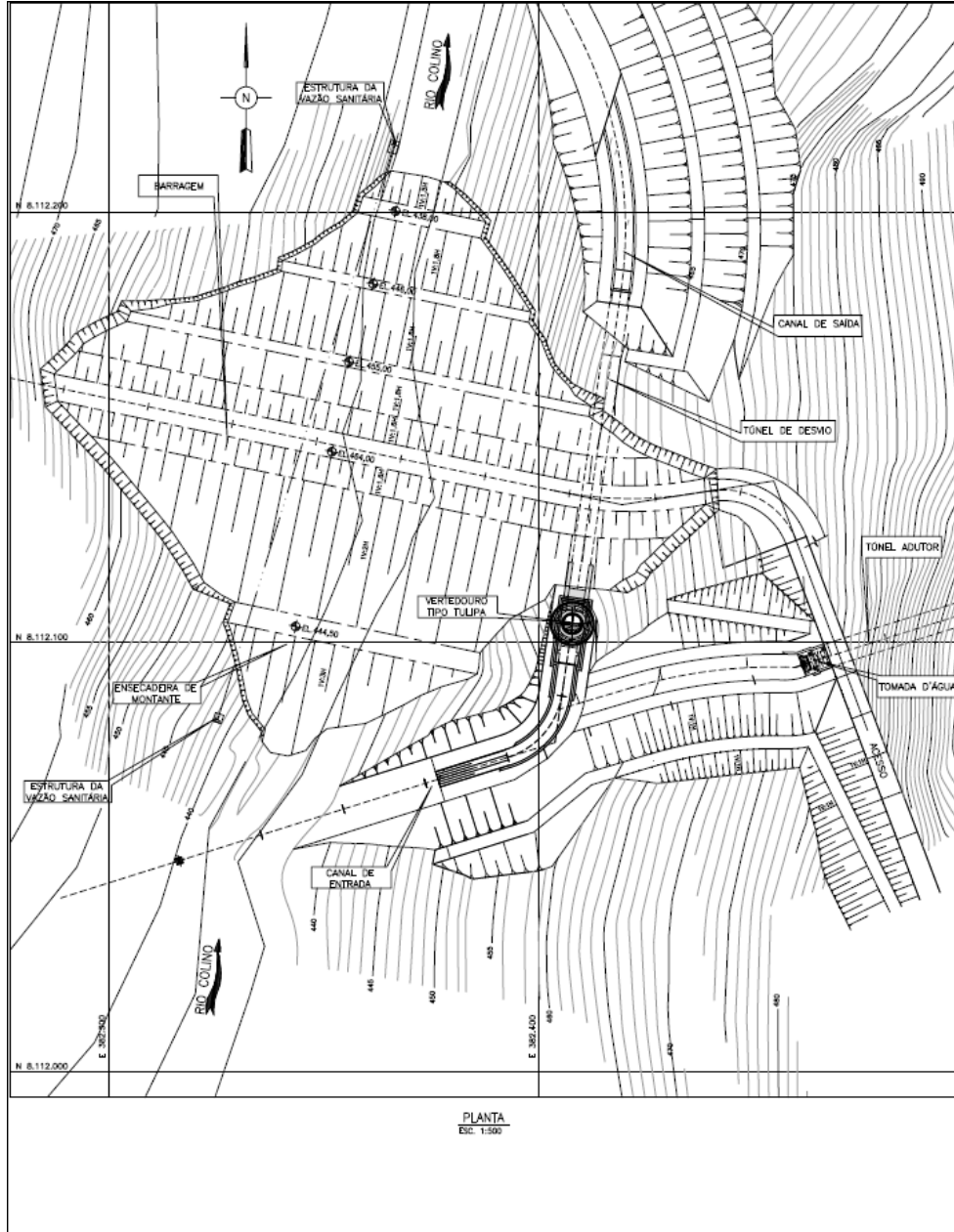
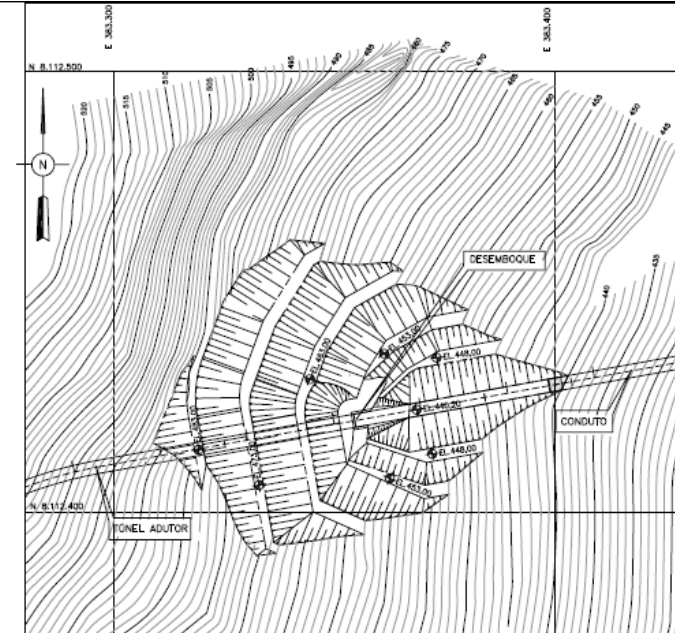


Figura 9 - Arranjo geral da PCH Colino 2



PLANTA
Esc. 1:500



PLANTA
Esc. 1:500

NOTAS:
1 - TODAS AS DIMENSÕES E ELEVACIONES EM METRO.

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA:
0001-C2-410-10-001/CL2-IT-GER-DE-03-001 - GERAL-BASE TOPOGRÁFICA
0001-C2-410-10-002/CL2-IT-GER-DE-03-002 - GERAL-MAPAS E LINHAS DE REFERÊNCIA

COMO CONSTRUÍDO

100	COMO CONSTRUÍDO	LOTE	AAS	NOV/04
B	MODIFICAÇÃO PELO EP - N° 0967-C2/ME-F-047/07	RUB	005	MAI/07
A*	Descrição:	prep.	aprov.	data

REVISÃO:

Inter-tecne CONSULTORES ASSOCIADOS
 Diretor: C.M. Projeto: _____
 Gerente: C.S. Projeto: _____
 Engenheiro: J.P. Projeto: _____

COMSUCET **Inter-tecne** **SEMI** **SEBRAE**
 CONSÓRCIO CONSTRUTOR SERRA DA PRATA

PCH COLINO 2
 ARRANO GERAL
 BARRAGEM, VERTEDOURO, T.A., DESMO E DESEMOQUE
 PLANTA

INDICADA	Índice	Quantidade
0501-C2-DE-400-00-002	100	100
CL2-IT-GER-DE-03-004	100	100

Figura 10 – Arranjo Geral de Montante

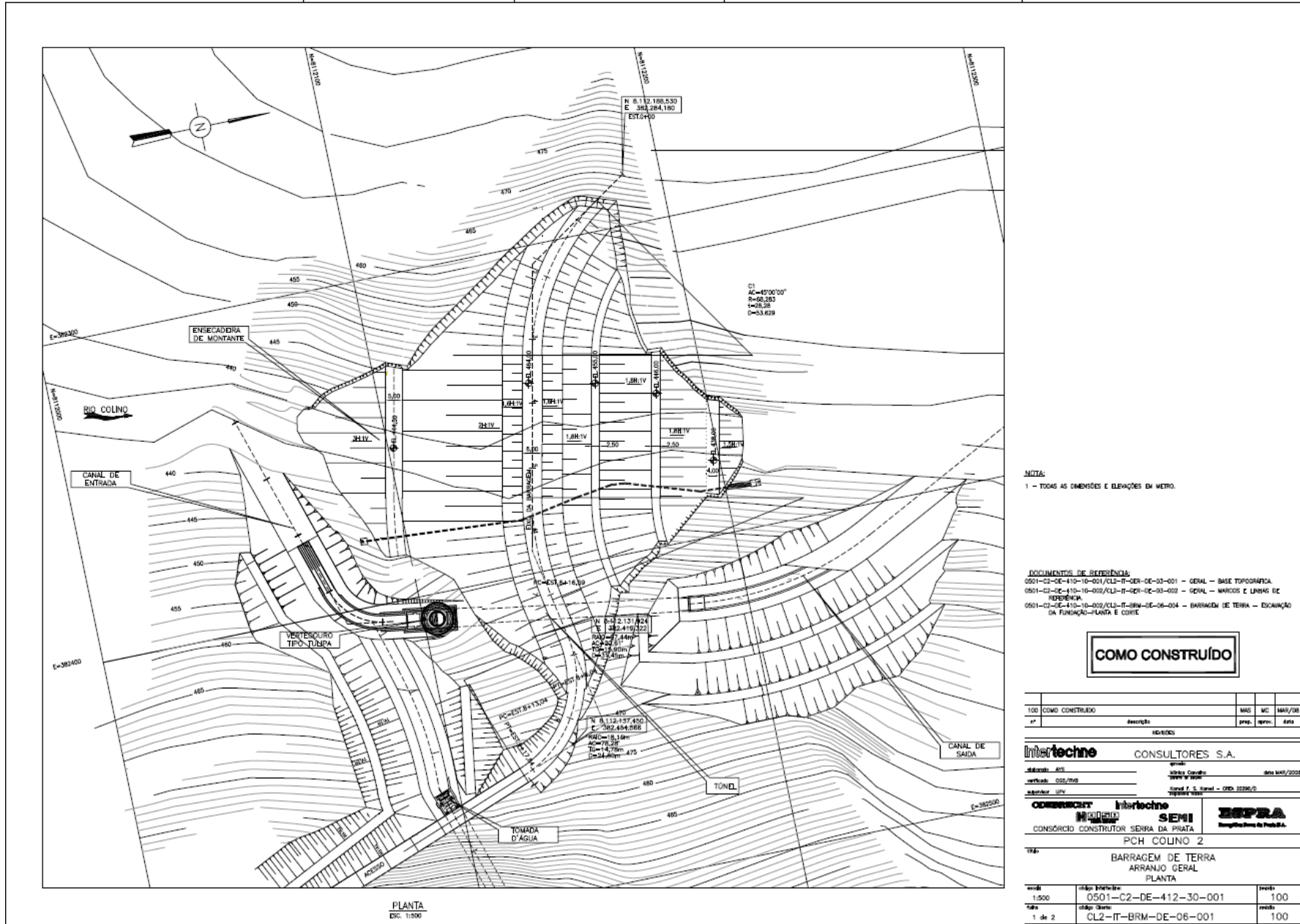


Figura 11 – Planta da Barragem

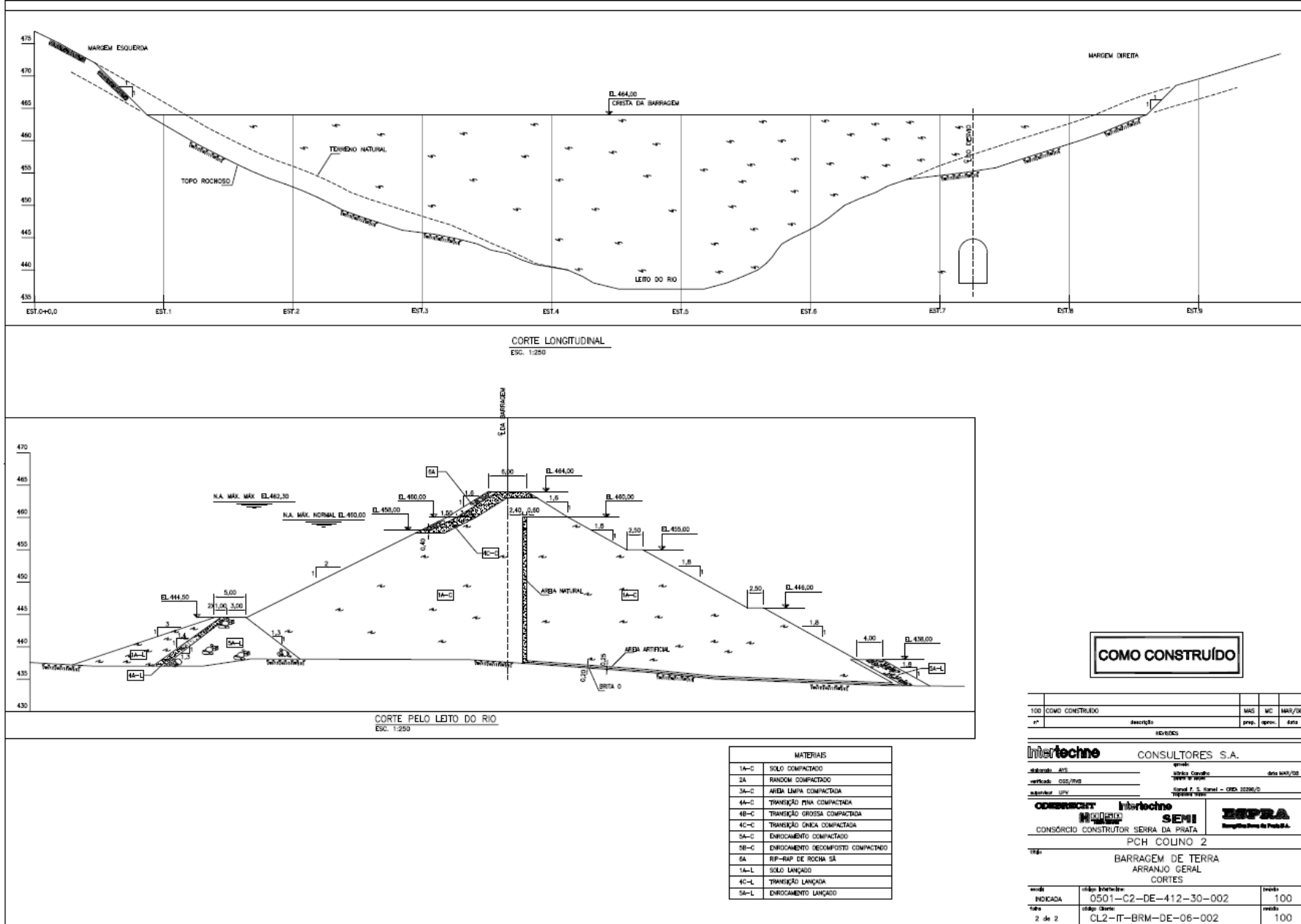


Figura 12 – Seções da Barragem

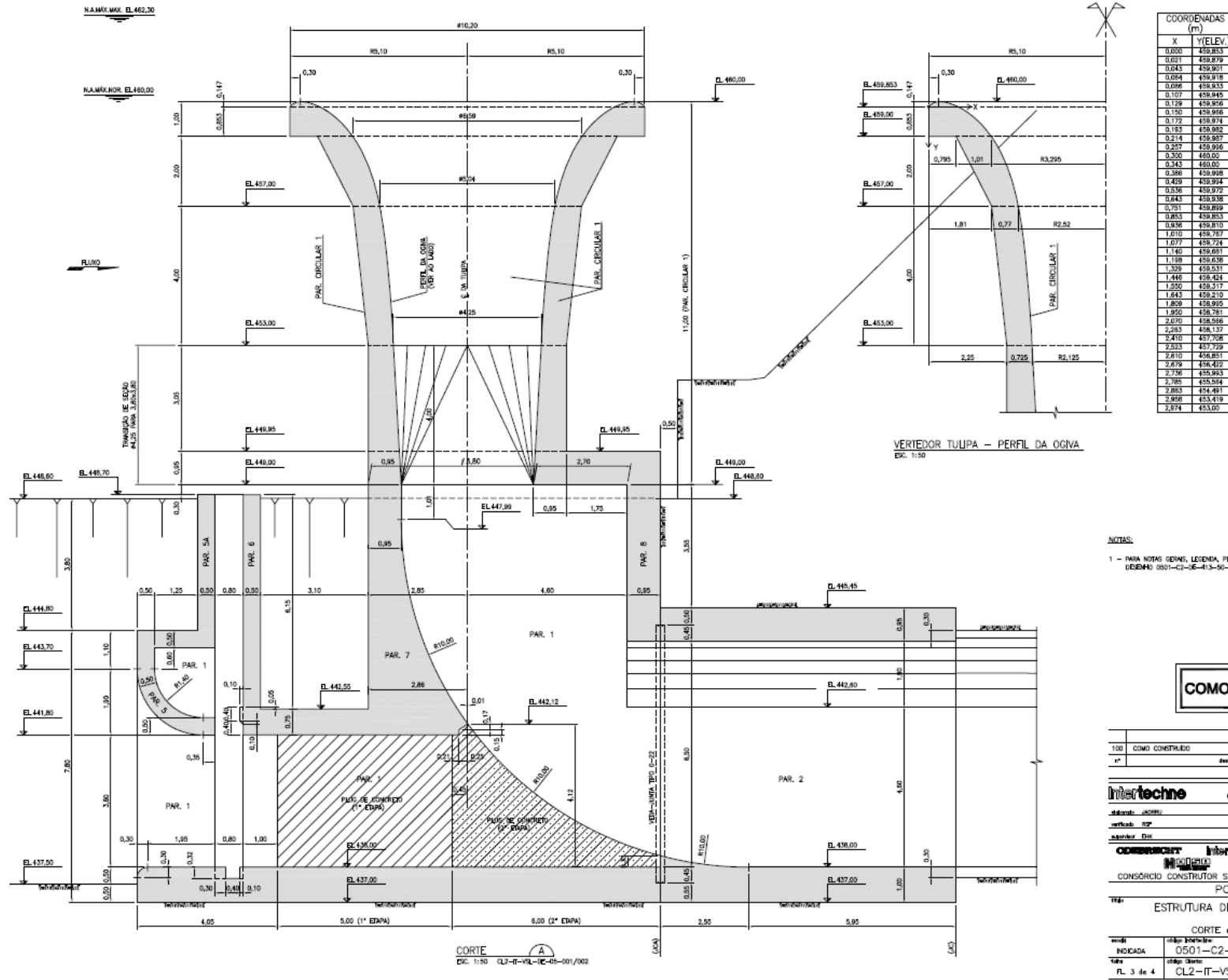
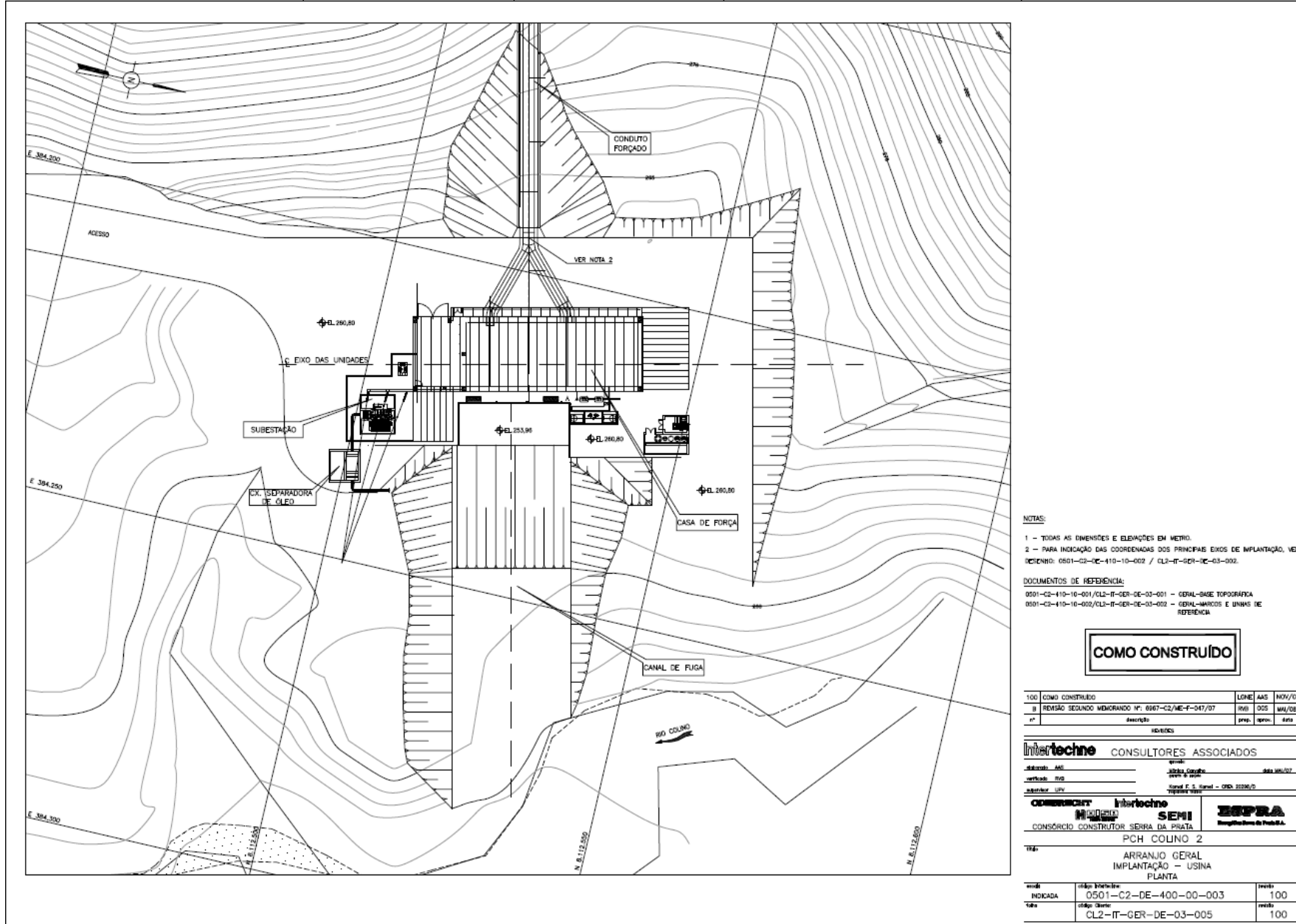


Figura 13 – Seção do Vertedouro Tulipa



NOTAS:
1 - TODAS AS DIMENSÕES E ELEVACIONES EM METRO.
2 - PARA INDICAÇÃO DAS COORDENADAS DOS PRINCIPAIS EIXOS DE IMPLANTAÇÃO, VER DESENHO: 0501-C2-DE-410-10-002 / CL2-IT-GER-DE-03-002.

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA:
0501-C2-410-10-001/CL2-IT-GER-DE-03-001 - GERAL-BASE TOPOGRÁFICA
0501-C2-410-10-002/CL2-IT-GER-DE-03-002 - GERAL-MARCOS E UNHAS DE REFERÊNCIA

COMO CONSTRUÍDO

100	COMO CONSTRUÍDO	LOTE	005	NOV/08
101	REVISÃO SEGUNDO MEMORANDO Nº. 0367-C2/ME-F-047/07	REV	005	MAR/08
nº	descricao	prep.	aprov.	data

Interlocne CONSULTORES ASSOCIADOS

Elaborado: AAS
Verificado: RVS
Autorizado: LUP

Projeto: Serra da Pirata
Data: 04/01/07
Projeto Nº: 004
Cadastrado: 020260/0

CONSORCIO CONSTRUTOR SERRA DA PIRATA

Interlocne SEMI SERRA

CONSORCIO CONSTRUTOR SERRA DA PIRATA

PCH COLINO 2

ARRANJO GERAL IMPLANTAÇÃO - USINA PLANTA

INDICADA	0501-C2-DE-400-00-003	100
CL2	CL2-IT-GER-DE-03-005	100

Figura 14 – Arranjo Geral de jusante

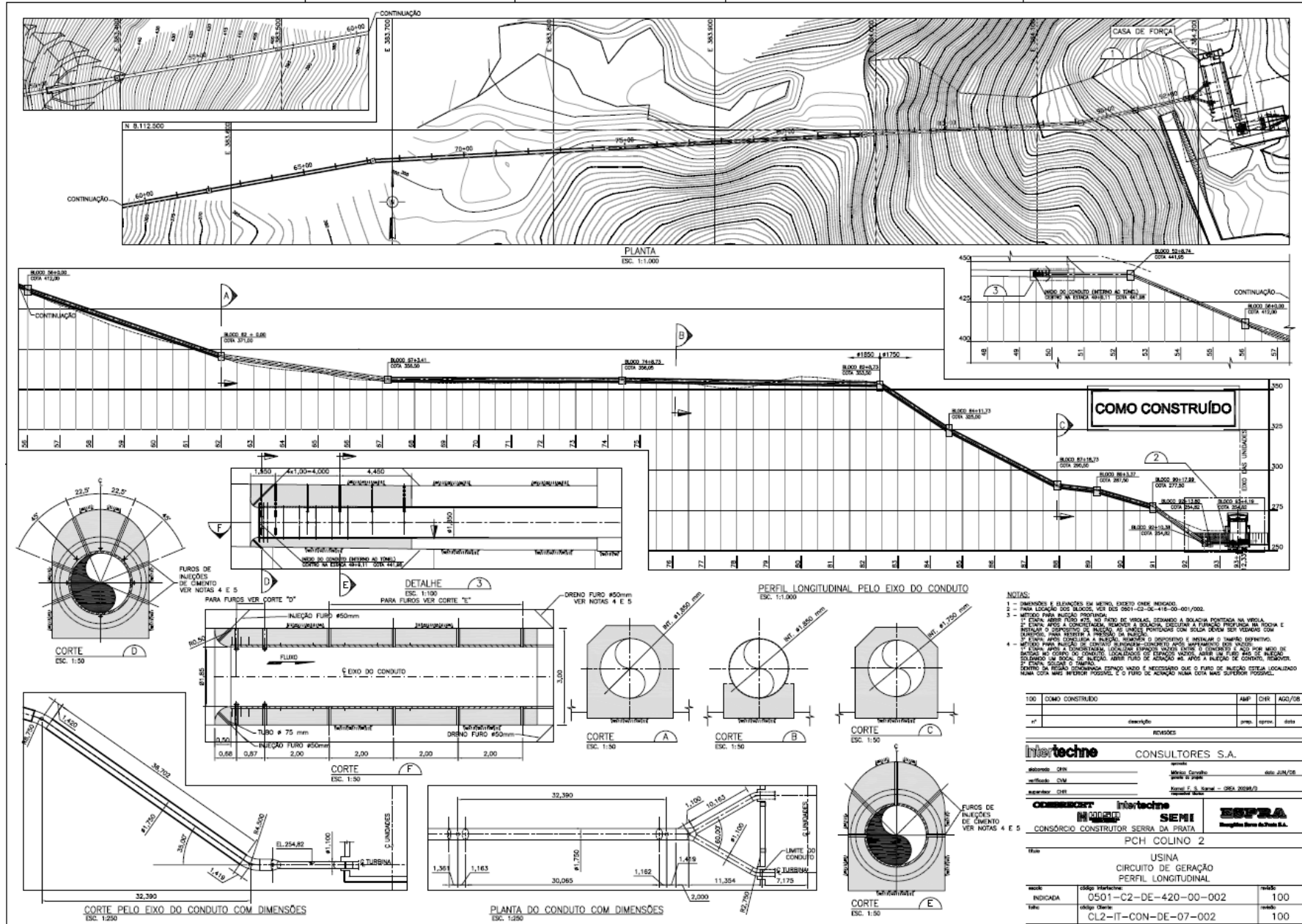
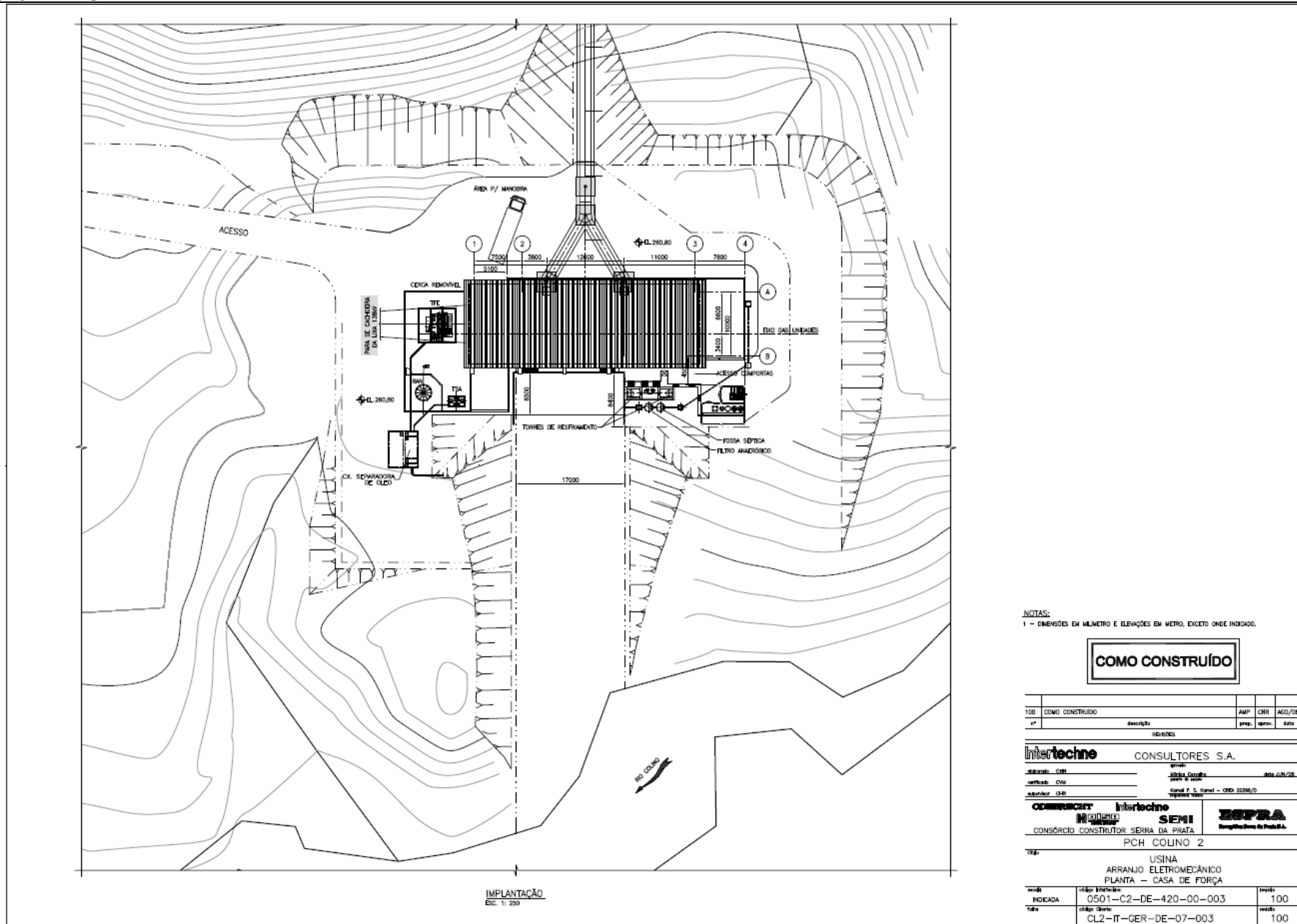


Figura 15 – Circuito de Geração - Planta e Seção



NOTAS:
1 - DIMENSÕES EM MILÍMETRO E ELEVACIONES EM METRO, EXCETO ONDE INDICADO.

COMO CONSTRUÍDO

100	COMO CONSTRUÍDO	AMP	CNR	AGU/CR
1*	Descrição	prop.	aprov.	data
REVISÃO				
Intertechne		CONSULTORES S.A.		
elaborado: CPM	verificado: CPM	aprovado: CPM	data: 28/01/08	
autorizador: JAP	Coord. F. S. Canal - CEP 22266-000			
CONSORCIO CONSTRUTOR SEIRA DA PRATA		SEMI		
CONSORCIO CONSTRUTOR SEIRA DA PRATA		SEMI		
PCH COLINO 2				
TÍT.: USINA ARRANJO ELETROMECÂNICO PLANTA - CASA DE FORÇA				
INDICADA	CL2-IT-C2-DE-420-00-003	100		
CL2-IT-C2-DE-420-00-003	100			

Figura 16 – Planta Casa de Força

4 DETECÇÃO, AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA

4.1 Avaliação do Risco

O estudo das ameaças de desastres e do grau de vulnerabilidade dos corpos e sistemas hidráulicos receptores aos efeitos adversos permite a avaliação, a definição e hierarquização das áreas de maior risco. Os riscos identificados para o barramento da PCH Colino 2 são de natureza hidrológica e estrutural, conforme descrito a seguir.

4.1.1 Risco Hidrológico

A bacia hidrográfica da Pequena Central Hidrelétrica Colino 2 possui área de drenagem de 164,00 Km². No reservatório o volume total é de 22,00 hm³ formado por um barramento em solo compactado com altura máxima de 28,000 m.

A probabilidade de uma determinada cheia ocorrer ou ser ultrapassada num ano qualquer é o inverso do tempo de retorno $P = \frac{1}{TR}$, e a de não acontecer é $p = 1 - P$.

A probabilidade de ocorrer pelo menos uma cheia que seja igual e (ou exceda) àquela de período de retorno TR, num intervalo de “n” anos qualquer pode ser dada pela expressão:

$$J = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^n$$

Equação 1: Risco de Ocorrência do evento de Projeto com Tempo de Retorno

Portanto, o risco adotado pelo projeto da obra hidráulica da PCH Colino 2 pode ser analisado pela Tabela a seguir:

Tabela 5 – Risco de Ocorrência do evento de Projeto com Tempo de Retorno TR (%)

TR (anos)	Período de Vida da Estrutura (em anos)			
	1	10	25	50
2	50	99,9	100	100
100	1,00	9,56	22,21	39,49
500	0,20	1,98	4,88	9,52
1.000	0,10	0,99	2,47	4,88
10.000	0,01	0,10	0,25	0,50

É importante ressaltar que os riscos assumidos pelo projeto são significativamente pequenos, ou seja, para um tempo de retorno adotado os riscos de ocorrerem cheias maiores ou iguais à cheia do projeto (TR 10.000 anos) variam de **0,01% a 0,50%** considerando os diferentes períodos de vida útil do empreendimento. A Barragem garante um borda livre de 1,56 m.

4.1.2 Risco de Colapso Estrutural

Na elaboração da RPS-2024 foram atualizados estudos hidrológicos e com isso necessidade de atualização da estabilidade da barragem principal. No item 3.4 da revisão periódica de segurança da barragem (CL2-RPS-001-00-24) está apresentado toda análise da estabilidade das estruturas.

4.1.2.1 Barragem de Terra

Na elaboração da RPS-2024 foram atualizados estudos hidrológicos e com isso necessidade de atualização da estabilidade da barragem principal. No item 3.4 da revisão periódica de segurança da barragem (CL2-RPS-001-00-24) está apresentado toda análise da estabilidade da estrutura. A Barragem de terra da PCH Colino 2 está construído de acordo com os critérios da Eletrobrás e as condições de estabilidade estão com os fatores segurança superiores aos preconizados nas normas.

A memória de cálculo apresentada no item 3.4 da Revisão periódica de Segurança (CL2-RPS-001-00-24) elaborado em 2024, obteve os seguintes coeficientes de segurança para estabilidade da Barragem de terra.

Tabela 6 - Barragem - Resultados das análises de estabilidade

USINA	SEÇÃO DE ANÁLISE	CONDIÇÃO DE CARREGAMENTO	TALUDE	FS calc.	FS _{adm.}	Situação
COLINO 2	A	Operação normal/Atual	Jusante	1,59	1,50	Ok
		Caso excepcional	Jusante	1,58	1,30	Ok
		Operação com sismo	Jusante	1,42	1,10	Ok
			Montante	1,73	1,10	Ok
		Rebaixamento Rápido	Montante	2,12	1,20	Ok
	B	Operação normal/Atual	Jusante	1,58	1,50	Ok
		Caso excepcional	Jusante	1,54	1,30	Ok
		Operação com sismo	Jusante	1,37	1,10	Ok
			Montante	1,73	1,10	Ok
		Rebaixamento Rápido	Montante	2,01	1,20	Ok
	C	Operação normal/Atual	Jusante	2,07	1,50	Ok
		Caso excepcional	Jusante	1,97	1,30	Ok
		Operação com sismo	Jusante	1,80	1,10	Ok
			Montante	1,29	1,10	Ok
		Rebaixamento Rápido	Montante	1,48	1,20	Ok
	LR	Operação normal/Atual	Jusante	1,53	1,50	Ok
		Caso excepcional	Jusante	1,53	1,30	Ok
		Operação com sismo	Jusante	1,37	1,10	Ok
			Montante	1,70	1,10	Ok
		Rebaixamento Rápido	Montante	1,91	1,20	Ok

Fonte: CL2-RPS-001-00-24

Memória completa está apresentado no Capítulo 3.4 da RPS-2024 – CL2- RPS-001-00-24 RPS PCH Colino 2.

LOGO, TODAS AS ESTRUTURAS DO BARRAMENTO ESTÃO EM CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE ADEQUADAS COM FATORES DE SEGURANÇA DENTRO DOS CRITÉRIOS DE PROJETO ELETROBRÁS E NORMAS.

4.2 Análise dos Potenciais Modos de Ruptura

O primeiro passo no desenvolvimento do estudo hidráulico de ruptura hipotética de uma barragem é a realização da Análise de Potenciais Modos de Ruptura (APMR). Do inglês *Potential Failure Mode Analysis* (PFMA), esta análise, segundo FERC (2005), é um procedimento informal executado para levantamento das prováveis formas de ruptura de uma barragem. Tal procedimento foi realizado em escritório pela Prosenge, usando registros das inspeções civis da PCH Colino 2.

A APMR é fundamentada em levantamento de informações diversas existentes a respeito da barragem. Tais dados podem ser compostos por histórico de operação hidráulica do reservatório e do barramento, monitoramento geotécnico e estrutural da barragem, relatórios de inspeções regulares, plantas, croquis e memoriais de cálculo do projeto executivo, entre outros. A equipe técnica de especialistas em segurança de barragens deve-se munir destas informações e iniciar as reuniões, do tipo “brainstorm”, para desenvolvimento dos prováveis modos de ruptura que a barragem poderá sofrer numa situação catastrófica.

A APMR é composta, basicamente, pelo levantamento de todas as informações disponíveis sobre a barragem, bem como aquelas obtidas mediante inspeção visual durante visita ao local. Tal levantamento de informações consiste em buscar:

- Estudos de engenharia (estabilidade e outros esforços das estruturas associadas);
- Banco de dados da auscultação;
- DATUM vertical do projeto;
- Estudos hidrológicos;
- Séries temporais de monitoramento pluviométrico e fluviométrico da área de drenagem da barragem, bem como do próprio barramento;
- Imagens aéreas atualizadas ao longo do vale a jusante da barragem;
- Histórico operacional ou séries temporais da operação do reservatório e dispositivos de descarga;
- Registros de atividade sísmica recente; e
- Caracterização demográfica ao longo do vale a jusante da barragem.

Outras informações, se justificadas como importantes, podem ser incorporadas na lista acima. Em relação à vistoria das estruturas civis do barramento, os seguintes procedimentos são elencados:

- Verificação visual direcionada para definição dos potenciais modos de ruptura;
- Verificação das condições estruturais e geológicas da barragem; e,
- Entrevista com proprietários/mantenedores, a fim de incorporar informações no processo de definição dos potenciais modos de ruptura.

Sendo assim, questões importantes foram avaliadas e discutidas. São elas:

- Como a barragem poderia romper?
- O que acontece se a barragem romper?
- Estão identificados os potenciais modos de ruptura e estão os mesmos sendo apropriadamente monitorados por inspeções visuais e auscultação?
- Quais ações poderiam ser tomadas para reduzir áreas atingidas pelo rompimento da barragem ou mitigar as consequências desse evento catastrófico?

Ao longo do documento são apresentados os modelos numéricos que fundamentaram o estudo hidráulico da ruptura hipotética da barragem da PCH Colino 2, bem como os dados e informações da APMR, utilizados nas simulações dos cenários para delimitação das manchas de inundação e mapeamento das áreas atingidas.

Desta forma, 2 (dois) modos de ruptura foram identificados. Esses prováveis modos de ruptura determinaram as formas que a barragem poderá romper segundo situações de emergência. Os tipos de causas relacionadas às evidências/consequências identificadas estão associados aos modos de ruptura. O caráter descritivo da APMR determina o primeiro passo para reconhecimento de estruturas vulneráveis e associação a riscos.

No Quadro abaixo estão resumidos os prováveis modos de ruptura identificados para o presente estudo, como relevantes, com as associações de causa e evidência.

Quadro 1 - Rompimento por *Colapso* – Estruturas de Terra

Modo de ruptura	Causa	Evidência/Consequência
<p>Modo RDC 1 – Rompimento por <i>piping</i> vertendo a vazão Decamilenar em Condição de Carregamento Excepcional (CCE); e</p> <p>Modo RDC 2 – Rompimento por <i>piping</i> vertendo uma vazão média (Sunny Day) em Condição de Carregamento Normal (CCN).</p>	<p>Falha do sistema de drenagem interna;</p> <p>Gradientes hidráulicos elevados; Fluxo concentrado no contato/interface com estrutura de concreto;</p> <p>Fluxo preferencial criado por vegetação e/ou animais.</p>	<p>Surgência d'água; Carreamento de partículas;</p> <p>Alteração de poropressão (leitura dos piezômetros);</p> <p>Aumento ou redução de vazão (leitura dos medidores de vazão);</p> <p>Subsidência;</p> <p>Vazão descontrolada e ruptura do aterro e/ou fundação;</p> <p>Formação de trincas no contato entre estruturas.</p>

5 ESTUDO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nas simulações das consequências (hidrograma de ruptura) para as hipóteses acidentais identificadas no capítulo 4 (cheias natural/extremas e rompimento da barragem).

Nesta etapa ocorre a estimativa e avaliação das consequências e seus respectivos efeitos físicos decorrentes de eventos anormais que possam ocorrer, bem como a determinação e o mapeamento das áreas vulneráveis devido as ondas de cheia em cada um dos cenários de acidentes. O comportamento da onda de enchente e as áreas atingidas são obtidos mediante a utilização de programas simuladores de rompimento e propagação das cheias.

5.1 Modelo da Brecha

5.1.1 Parâmetros de Formação de Brecha de Ruptura

Os parâmetros de formação da brecha, inseridos no modelo HEC-RAS, são a geometria da brecha, tempo de desenvolvimento e os coeficientes hidráulicos necessários à quantificação das vazões geradas pela seção transversal da brecha.

HEC (2010) e USACE (2014) colocam que o módulo de formação de brecha de ruptura do modelo HEC-RAS permite modos de ruptura por galgamento, *piping* ou colapso instantâneo. Tendo em vista que a PCH Colino 2 é de solo compactado, os processos de ruptura hipotética da barragem podem ser deflagrados por *piping*.

Baseado no tipo de material de construção da barragem, USACE (2014) sugere o emprego da Tabela 7 como norteador na adoção dos valores dos coeficientes de descarga associados ao corpo do barramento e ao *colapso*.

Tabela 7. Coeficientes de descarga

Tipo de barragem	Coeficiente de vazão da brecha	Coeficiente de descarga para o <i>piping</i>
Barragem de argila ou núcleo de argila	1,44 – 1,82	0,5 – 0,6
Barragem de enrocamento	1,44 – 1,66	0,5 – 0,6
Concreto em arco	1,71 – 1,82	0,5 – 0,6
Concreto (gravidade)	1,44 – 1,66	0,5 – 0,6

Adaptado de USACE (2014).

O presente trabalho considera a representação da brecha através dos parâmetros de largura, altura e declividade de abertura do prisma (H:V). Este conceito, de tratar a brecha como uma forma prismática, é uma simplificação utilizada para representá-la numericamente em modelos numéricos como HEC-RAS.

A Figura 17 ilustra os parâmetros de forma da brecha de ruptura, bem como sua representação no modelo numérico conceitual.

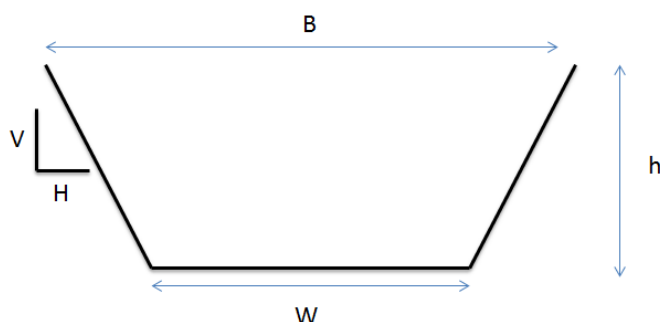


Figura 17 - Representação dos parâmetros de forma da brecha de ruptura

USACE (2014) argumenta que o procedimento de determinação de parâmetros de formação da brecha de ruptura de barragens, no caso de barragens de terra e enrocamento, apresenta maior complexidade. Dependendo do tipo de barragem, a heterogeneidade dos materiais e do controle de qualidade da construção, demanda maior perícia nos procedimentos arrojados em normas. Por sua vez, Schaefer (1992) coloca que a representação numérica do rompimento hipotético de uma barragem de concreto ou elementos mecânicos da barragem, tal como comportas, constituem um procedimento de baixa complexidade. Neste caso, a ruptura hipotética de uma barragem de concreto ou de um elemento rígido é analisada de forma instantânea.

Os valores recomendados para os parâmetros de forma geométrica e tempo de formação das brechas de ruptura, para cada tipo de barragem, encontram-se expostos no Quadro 2.

Quadro 2 - Faixas e possíveis valores para caracterização da brecha

Tipo de barragem	Largura média da brecha (Bm)	Componente horizontal da declividade lateral da brecha (H:V)	Tempo de formação da brecha (tf) [h]	Agência (EUA)
Terra/Enrocamento	(0,5 até 3,0) x hd (1,0 até 5,0) x hd (2,0 até 5,0) x hd (0,5 até 5,0) x hd*	0 até 1,0 0 até 1,0 0 até 1,0 (maior) 0 até 1,0	0,5 até 4,0 0,1 até 1,0 0,1 até 1,0 0,1 até 4,0*	USACE (1980) FERC NWS USACE (2007)
Concreto (Gravidade)	Múltiplos blocos Típico < 0,5 L Típico < 0,5 L Múltiplos blocos	Vertical Vertical Vertical Vertical	0,1 até 0,5 0,1 até 0,3 0,1 até 0,2 0,1 até 0,5	USACE (1980) FERC NWS USACE (2007)
Concreto em arco	Toda o barramento Toda o barramento (0,8 x L) até L (0,8 x L) até L	Declividade do vale 0 até a declividade do vale 0 até a declividade do vale 0 até a declividade do vale	<0,1 <0,1 <0,1 <0,1	USACE (1980) FERC NWS USACE (2007)
Escambros	(0,8 x L) até L (0,8 x L) até L	1,0 até 2,0	0,1 até 0,3 <0,1	FERC NWS

Adaptado de USACE (2014).

*Nota: Barragens com grande volume de água armazenado, e que tenham grande extensão de crista, continuarão erodindo por longos períodos, podendo apresentar maiores larguras e tempos de formação da brecha. h_d = altura da barragem; L = largura de crista da barragem.

5.1.2 Parâmetros de Ruptura da Barragem

Para a Barragem Colino 2, aplicam-se os seguintes parâmetros de formação de brecha, bem como os mecanismos ou modos de ruptura:

- Posição: Local ao longo do eixo longitudinal da estrutura do barramento onde estará o centroide da brecha;
- Modo de ruptura: Definição da ruptura hipotética segundo galgamento ou colapso estrutural;
- Forma: Largura da base da brecha e declividade de abertura do prisma (H:V);
- Tempo de formação: Tempo de desenvolvimento da brecha de ruptura;
- Coeficientes de vazão: Coeficiente hidráulico associado à abertura da brecha; e
- Cota do reservatório: Cota do reservatório no início da abertura da brecha.

5.1.3 Variáveis Hidráulicas

A análise hidráulica, das saídas dos modelos numéricos, é crucial para a funcionalidade do PAE e construção das cartas de inundação e procedimentos de tomada de decisão. Sendo assim, as seguintes variáveis hidráulicas são extraídas e pós processadas do modelo numérico hidráulico:

- Cota de pico para os cenários de ruptura e para as vazões naturais da bacia;
- Altura incremental da coluna d'água (altura da onda);
- Vazão de pico;
- Tempo de pico, Tempo de inundação (fim) e Tempo de chegada; duração e,
- Velocidade da onda.

As cotas são extraídas dos perfis hidráulicos da superfície da linha d'água ao longo do vale a jusante da área em estudo, com referencial altimétrico comumente tido como zero IBGE. Esses valores são interpretados em relação a cotas das estruturas e benfeitorias de referência ao longo do vale a jusante, de modo a determinar o nível de impacto da onda de cheia.

A altura da coluna d'água é calculada pela diferença entre as cotas do cenário de escoamento da vazão de referência e as ondas induzidas pelos modos de ruptura hipotética.

A vazão de pico é extraída dos hidrogramas da cheia em diferentes locais do vale a jusante.

O tempo de pico é calculado pela diferença entre o instante de início da ruptura e o instante de pico do cotograma para cada local do vale a jusante determinado como estratégico. O tempo de inundação é calculado como o tempo de permanência do nível d'água superior a uma determinada cota de referência. O tempo de chegada é calculado como o instante em que a onda induzida pela ruptura hipotética atinge uma cota de referência gerada por uma elevação incremental, a ser adotada de acordo com barragem e vale de jusante. No caso da PCH Colino

2 por ser barragem de terra e vale de jusante somente com ribeirinhos e distritos já dentro da ZSS, foi adotado de 0,61 m (~2 ft – FEMA 2013).

A velocidade da onda é calculada com base no tempo de deslocamento dos picos do cotograma ao longo do vale a jusante, que equivale à velocidade da massa d'água da onda induzida pela ruptura hipotética.

O comportamento da onda de inundação induzida pela ruptura da barragem é avaliado por dois cenários hidrológicos, *Sunny Day* e evento hidrológico crítico relacionado a vazão de projeto da barragem. Os dois cenários hidrológicos são associados aos prováveis modos de ruptura da barragem, definidos na Análise preliminar.

A recomendação de FEMA (2013) é de uso de vazões de referência para fins de comparação da magnitude da inundação incremental por uma ruptura de barragens em relação a eventos de cheias naturais. Com base na mesma diretriz, adota-se a elevação incremental de 0,61 m (~2 ft) para parametrizar o tempo de chegada da onda de inundação induzida pela ruptura hipotética da barragem e delimitar a extensão da Zona de Autossalvamento a jusante do empreendimento. Esse critério de avaliação da chegada da onda é adequado frente aos requisitos das regulamentações da Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB, Lei 12.334/2010.

A Figura 18 ilustra os tempos de referência em relação à onda induzida pela ruptura hipotética da barragem. Estão apresentados o tempo de pico a partir do início da ruptura da barragem, o tempo de chegada da onda e o tempo de fim da inundação acima da elevação de referência para indicar o tempo de chegada.

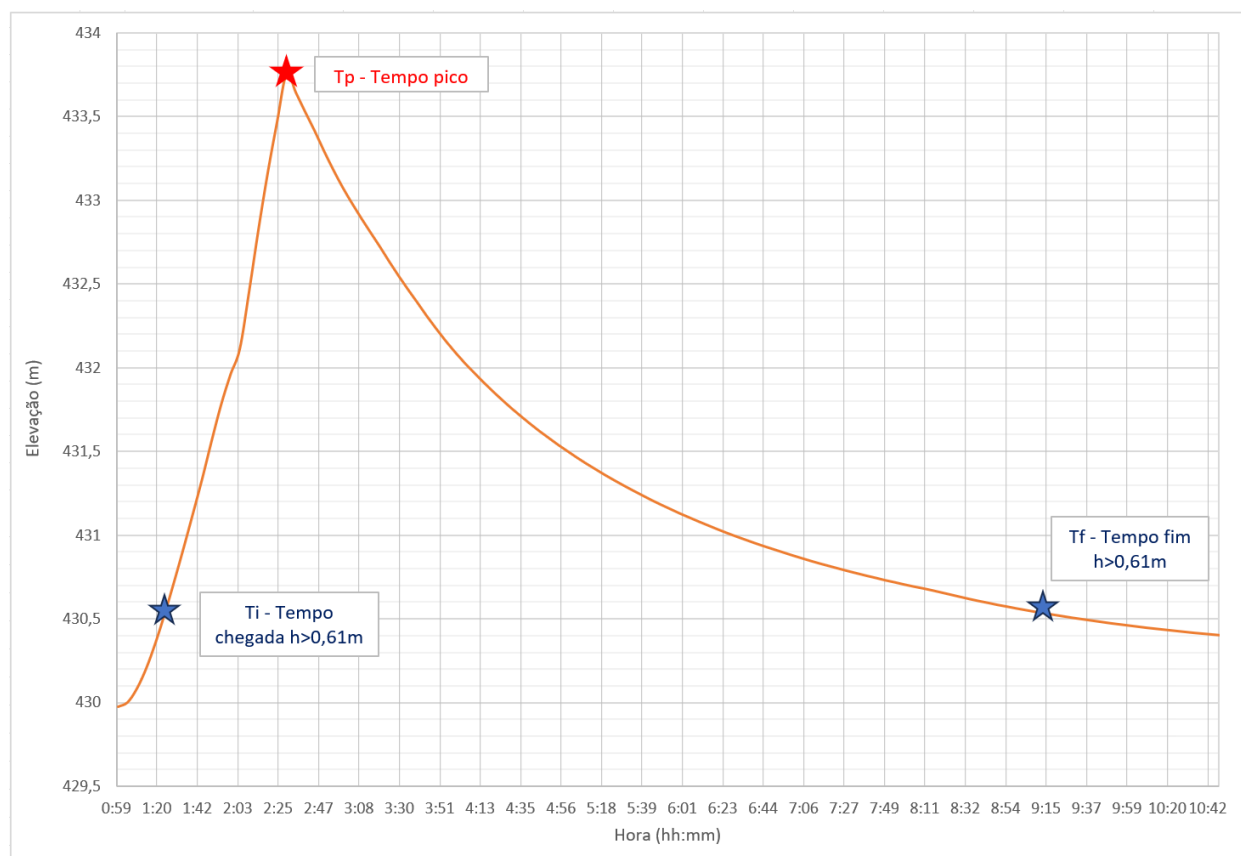


Figura 18 – Exemplo dos tempos da onda

5.2 Modelo Hidráulico

O HEC-RAS (HEC, 2016) é um modelo unidimensional e bidimensional, de fundo fixo, capaz de efetuar os cálculos dos perfis de superfície d'água em escoamento permanente e não permanente, em canais com superfície livre. Esses perfis podem ser calculados em regimes subcríticos, supercrítico e misto, podendo ocorrer mudanças de um regime para outro. O procedimento de cálculo baseia-se na solução da equação da conservação do momento unidimensional. O modelo também utiliza as equações de momento em situações onde o perfil da superfície d'água varia rapidamente. Essas situações incluem, dentre outras, os ressaltos hidráulicos, as pontes e as confluências de rios. Permite, ainda, a avaliação do efeito de estruturas hidráulicas (pontes, galerias, barragens, etc).

O modelo possui um módulo dedicado à análise de rompimento de barragens, onde é possível determinar os parâmetros de formação da brecha. A formação da brecha no HEC-RAS é tratada com a parametrização de largura, altura, tempo de formação e tipo de deflagração.

A formulação matemática unidimensional do HEC-RAS é baseada nas equações da conservação do momento de St. Venant.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + A \frac{|Q|Q}{K^2} + q \frac{Q}{A} = 0$$

$$L \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

Onde Q é a vazão [m³/s]; h é a altura da coluna d'água [m]; x é a distância ao longo do rio [m]; t é o tempo [s]; A é a área da seção de escoamento [m²]; L é a largura da superfície d'água [m]; K é capacidade de transporte [m³/s]; g é a aceleração da gravidade [m/s²]; q é o fluxo lateral [m³/s/m]; β é o fator de distribuição do fluxo [adim].

O HEC-RAS e outros modelos comerciais são baseados na Eq.(1) para obtenção de sua solução hidráulica. A capacidade de transporte das formulações hidráulicas ainda é baseada em experimentos de cunho unidirecional e bidimensional, segundo a fórmula de Gauckler-Manning:

$$V = \frac{1}{n} S^{\frac{1}{2}} R^{\frac{2}{3}} \quad (2)$$

Onde V é a velocidade [m/s]; n é o coeficiente de rugosidade de Manning; S é a declividade do escoamento [m/m]; Rh raio hidráulico [m].

Já a versão bidimensional do HEC-RAS é baseada nas equações de conservação da massa e conservação do momentum de Navier-Stokes pelas seguintes relações:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(h.u)}{\partial x} + \frac{\partial(h.v)}{\partial y} + q = 0$$

$$\therefore H(x, y, t) = z(x, y) + h(x, y, t) \quad (3)$$

Componente x da equação da conservação do momento:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_f \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot u + f \cdot v \quad (4)$$

Componente y da equação da conservação do momento:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_f \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot v + f \cdot u \quad (5)$$

Onde q é o fluxo externo, u e v são as componentes de velocidade, g é a aceleração da gravidade, H é a energia específica, h é a profundidade d'água, z é a superfície altimétrica, c_f é o coeficiente de atrito do leito e f é o parâmetro de Coriolis.

Goodell (2012) argumenta que o modelo HEC-RAS, para estudos de rompimento de barragens, pode apresentar instabilidades numéricas. Isso é comum, pois a complexidade hidráulica de um estudo de rompimento é grande, onde a variação da vazão no tempo e no espaço atinge o escoamento rapidamente variado. Para este tipo de simulação o engenheiro deve utilizar, no HEC-RAS, a opção de regime composto (do inglês "mixed flow regime") para estabilizar a solução numérica em casos de mudanças bruscas de regime hidráulico entre subcrítico e supercrítico.

Para tal, o modelo HEC-RAS é estabilizado empregando a técnica de inércia local parcial (Local Partial Inertia – LPI), discutida por Fread et al. (1996). Com esta técnica é possível estabilizar a solução numérica para escoamentos não permanentes e não uniformes do modelo HEC-RAS, principalmente para eventos de rompimento de barragens. Os parâmetros do método são costumeiramente ajustados para garantir estabilidade numérica aos modelos hidráulicos de ruptura de barragens.

A seguinte simplificação é empregada na formulação do modelo HEC-RAS como fator de redução nos termos inerciais da equação do momentum, tal como:

$$\varphi \left[\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)}{\partial x} \right] + Ag \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (6)$$

Segundo as condições:

$$\sigma = F_T - F_r^m (F_r \leq F_T; m \geq 1)$$

$$\sigma = 0 (F_r > F_T) \quad (7)$$

Onde φ representa o fator LPI multiplicador dos termos inerciais; F_T é o número limite de Froude, o qual determina o coeficiente φ igual a zero para valores de 1 até 2; F_r representa o número de Froude; m representa o expoente da equação, o qual altera o formato da curva da equação e varia entre 1 e 128.

5.2.1 Seções Hidráulicas

No modelo unidirecional a representação do rio se dá por um eixo e a geometria do canal é definida a partir de seções transversais, ou seções hidráulicas. Estas seções devem ser posicionadas ao longo do comprimento do rio em espaçamentos condizentes com as singularidades hidráulicas existentes no curso d'água e com os critérios de estabilidade numérica do modelo.

O posicionamento das seções deve ser feito de forma tal que represente o canal inteiro uniformemente e as singularidades hidráulicas, como pontos de mudança brusca de declividade, afunilamentos, ilhas e fluxo por estruturas hidráulicas existentes no curso do rio.

As seções devem sempre estar posicionadas de maneira perpendicular ao fluxo e devem conter informações como fundo do canal, distância das margens, declividade das paredes do canal e parâmetros de rugosidade de cada região da seção.

O espaçamento das seções transversais é um dos maiores fatores de causa de instabilidade numérica em modelos unidirecionais de regime de vazão não permanente. O manual de referências hidráulicas do HEC-RAS 5.0.6 (2016) sugere as equações de Fread (1993) e Samuels (1989) para se estabelecer um espaçamento mínimo entre as seções.

$$\Delta x \leq \frac{cTr}{20} \quad (8)$$

$$\Delta x \leq \frac{0,15D}{S_0} \quad (9)$$

Onde Δx é o distanciamento das seções [m], c é a velocidade da onda [m/s], Tr é o tempo de ascensão da onda [s], D é a profundidade média do canal [m] e S_0 é a declividade média do canal [m/m].

5.2.1.1 Seções Topobatimétricas

As seções topobatimétricas são essenciais para um modelo hidráulico preciso. Estas representam a geometria real do fundo do rio em determinada região. Tendo em vista o elevado custo para o levantamento deste tipo de seções, em quantidade suficiente para a elaboração de modelos de ruptura de barragens, o engenheiro deve fazer uso de estratégias que combinem precisão hidráulica do modelo com a otimização dos recursos disponíveis.

Através de uma amostra de seções topobatimétricas, em conjunto com recursos de fotointerpretação, é possível estimar a calha do rio em regiões as quais não foram contempladas

com seções topobatimétricas. Este processo deve ser realizado de maneira cuidadosa e sempre aliado com processos de calibração do perfil hidráulico resultante do modelo numérico, a fim de garantir a razoabilidade das premissas adotadas e a confiabilidade dos resultados.

5.2.1.2 Seções de MDT ou MDS

As seções obtidas a partir de Modelo Digital de Terreno (MDT) ou Modelo Digital de Superfície (MDS) determinam uma estratégia importante, permitindo a modelagem de trechos de corredeiras e estreitamentos, mesmo que não exista uma seção topobatimétrica na região em análise. Desta forma, de maneira complementar, essas seções fazem parte do principal mecanismo de estabilização numérica dos modelos hidráulicos de vazão não permanente, que é o aumento da densidade de seções hidráulicas ao longo da região em estudo.

Dependendo da região a ser modelada e os resultados do processo de calibração, o Engenheiro pode optar por atribuir ou não uma calha para a seção em questão. A calha pode ser estimada através de geometrias prismáticas ou obtida através de recursos mais elaborados que envolvam seções topobatimétricas e fotointerpretação.

A Figura 19 e a Figura 20 ilustram seções provenientes do MDT com e sem calha inserida, com base no acoplamento do modelo MDT aos dados dos levantamentos das seções batimétricas.

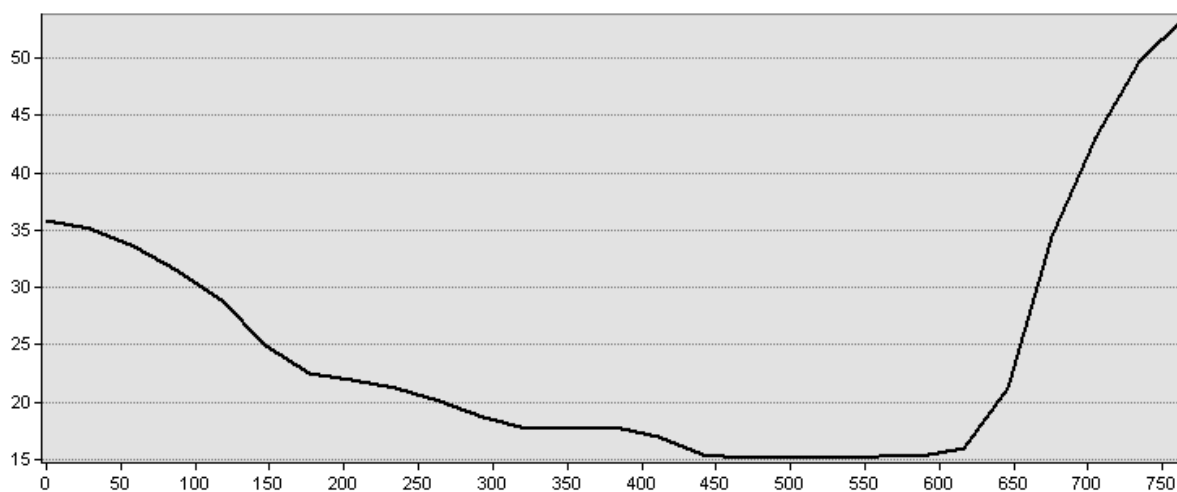


Figura 19. Seção transversal obtida do MDT.

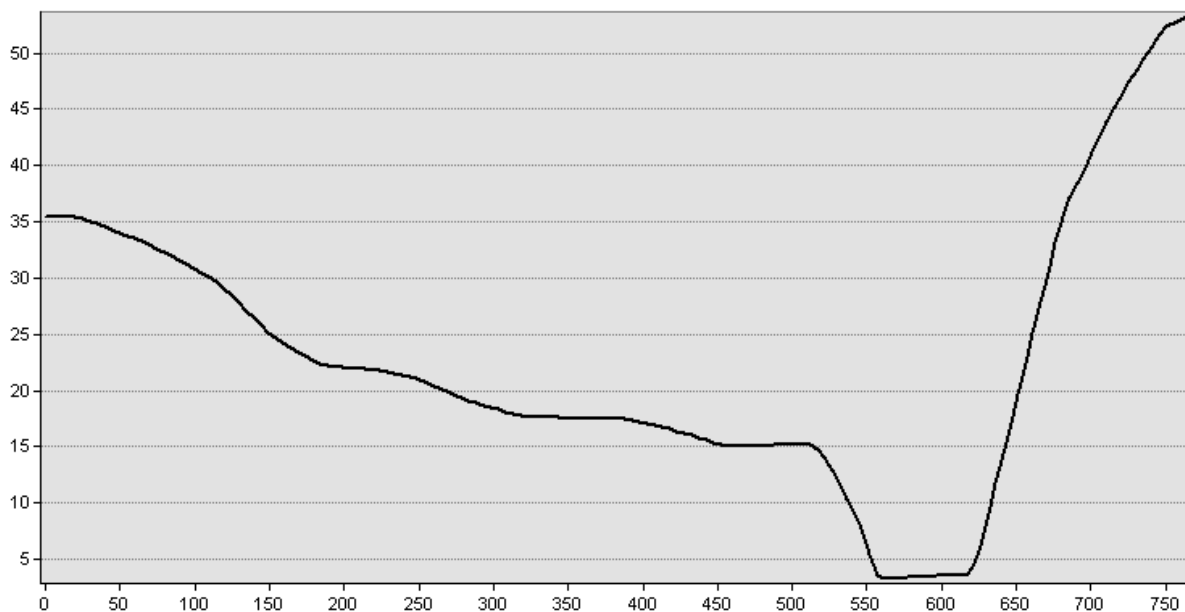


Figura 20. Seção do MDT com calha inserida através de interpolação de seções topobatimétricas.

Destaca-se que a V2I Energia, buscando uma resposta mais assertiva nos resultados dos estudos do hipotético rompimento da barragem da PCH Colino 2, contratou a empresa especializada SAI Brasil para realizar o Modelo Digital do Terreno (MDT) da área de interesse. Ademais, foram levantadas 8 seções topobatimétricas para aferição da calha dos rios Colino e Jucuruçu (Figura 22). Estes levantamentos estão apresentados no Anexo I – 3 Topografia. Também foi obtido ortofotocarta atualizada do trecho em qualidade compatível a identificar propriedades atingidas.

5.2.2 Áreas de Armazenamento

A área de armazenamento é um dispositivo existente no modelo unidirecional HEC-RAS para representação de áreas de reservatórios ou áreas onde a hipótese de fluxo unidirecional não é representativa.

Uma área de armazenamento deve sempre estar conectada ao canal do rio, outra área de armazenamento ou algum tipo de estrutura lateral, podendo essa última ser o próprio terreno para condições naturais ou alguma estrutura de contenção/barramento construída pelo homem. Este dispositivo só é levado em consideração nos cálculos hidráulicos de modelos com fluxo não permanente, quando é computada a vazão de entrada e saída nas áreas de armazenamento, sendo parte importante dos cálculos de balanço de massa do modelo. Os dados de cota, área e volume das áreas de armazenamento são levantados através do modelo digital de terreno pelo software HEC-RAS.

Foi entrado com reservatório de acordo com cotaxvolume apresentado no Item 3.2.

5.2.3 Processo De Ruptura – HEC-RAS

Para o modelo HEC-RAS, os seguintes parâmetros de formação da brecha devem ser inseridos para a simulação de ruptura hipotética de barragens:

- Largura da geratriz inferior da brecha;

- Largura média da brecha;
- Declividades das paredes laterais da brecha (H:V);
- Coeficiente de vazão da brecha;
- Coeficiente de descarga do *piping* (se houver);
- Cota inicial da formação da brecha;
- Tempo de formação da brecha;
- Modo de ruptura; e,
- Cota do reservatório no instante da ruptura.

Em relação aos parâmetros supracitados, as bases teóricas são apresentadas no Item 5.1.1, enquanto os resultados obtidos são apresentados no Item 5.4.1.

Com o modelo HEC-RAS é possível, após a definição do plano de ruptura da barragem, realizar a propagação da onda no vale a jusante, o mapeamento das áreas atingidas e criar as manchas georreferenciadas de inundação.

5.3 Dados de Entrada

O desenvolvimento do presente estudo foi baseado em dados hidrológicos, topográficos e estruturais da PCH Colino 2. O Quadro 3 resume os dados empregados no desenvolvimento do modelo numérico para ruptura hipotética da barragem em questão.

Quadro 3 - Resumo de dados empregados no estudo de ruptura hipotética da PCH Colino 2

Tipo de base dados	Variável
Hidrológicos	Qmlt e Vazão de cheia para a 10.000 anos da Barragem Colino 2.
Dispositivos de descarga	Cuirva de Descarga do vertedouro das Barragem Colino 2, item 3.4.
Cota x Área x Volume do reservatório	Cota área volume do reservatório de Colino 2, item 3.2
Arranjo da Barragem	Dimensões, cotas e posicionamento das estruturas associadas do barramento e dispositivos de descarga da barragem Colino 2, item 3.3.
Base cartográfica	Modelo digital de superfície por aerolevamento pela empresa SAI

As vazões de referência foram obtidas da documentação da PCH Colino 2, e estão resumidas na Tabela 8.

Tabela 8 - Vazões de projeto

Período de recorrência (TR – anos)	Vazão [m³/s]
Qmlt	6,95
10.000 (RPS-2024)	235,00

O modelo hidráulico proposto contemplou um trecho de 46 km do rio Colino, tendo início no reservatório da PCH Colino 2 e se estendendo após do distrito de São José do Pardo, município Itamaraju - Bahia.

5.3.1 Calibração dos Parâmetros de Entrada

Os coeficientes de rugosidade de Manning foram adotados conforme recomendações bibliográficas para a morfologia da região.

Foi variado coeficiente de rugosidade (*manning*) de acordo com tabela abaixo.

Descrição	Manning (n)
Calha	0,040
Corredeiras	0,075
Cidade – Concentração Urbana	0,015

Para as regiões mais íngremes, inclinação superior a 0,2%, os valores de Manning foram calculados com a Equação 10, a qual foi desenvolvida por Jarrett (1984) para cursos d'água íngremes. Na equação "S" é a declividade [m/m] e "R" é o raio hidráulico [m].

$$n = 0,39 S^{0,38} (0,3048 R)^{-0,16} \quad (10)$$

5.3.2 Fluxograma

Os hidrogramas de ruptura foram calculados no modelo HEC-RAS, através dos dados do reservatório e dos parâmetros da brecha definidos com base em valores empíricos apresentados no Item 5.1.1. Após a definição dos hidrogramas de ruptura da PCH Colino 2 foi realizada a propagação hidráulica dos hidrogramas ao longo do vale a jusante do empreendimento.

O modelo HEC-RAS 6.5 (Figura 22) contemplou 46 km do vale de jusante da PCH Colino 2, foi identificado 27 seções de interesse com pontos atingidos ou estruturas como pontes e Casa de Força.

Os parâmetros de formação da brecha, definidos através de características da Barragem Chave do Vaz, são: Cota da geratriz inferior da brecha; Largura média da brecha (B_m); Coeficiente de vazão da brecha (C_d); Tempo de formação (T_f); e Cota do reservatório no momento da ruptura.

A Figura 21 mostra o fluxo de atividades para gerar as cartas de inundação e quantificar os potenciais atingidos.

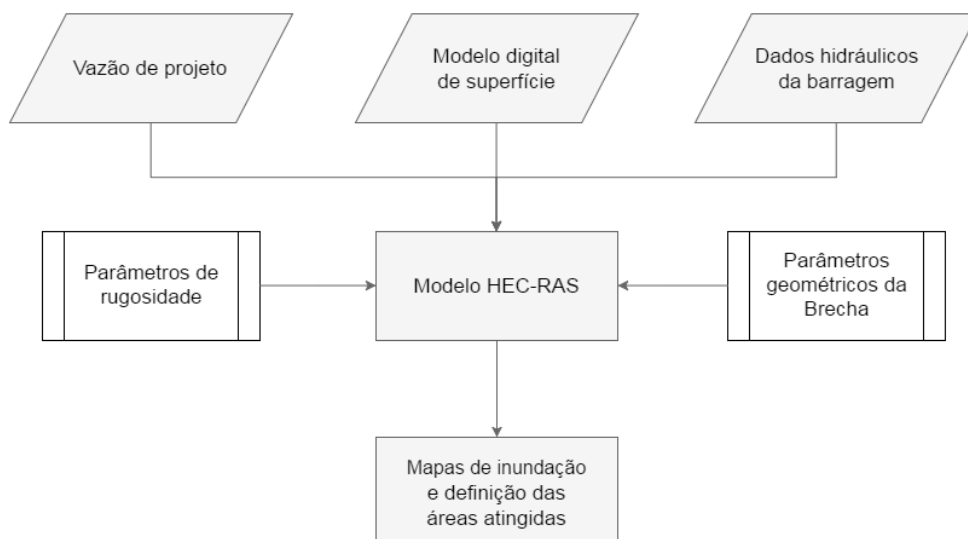


Figura 21 - Representação esquemática de entrada e saída de dados no modelo HEC-RAS

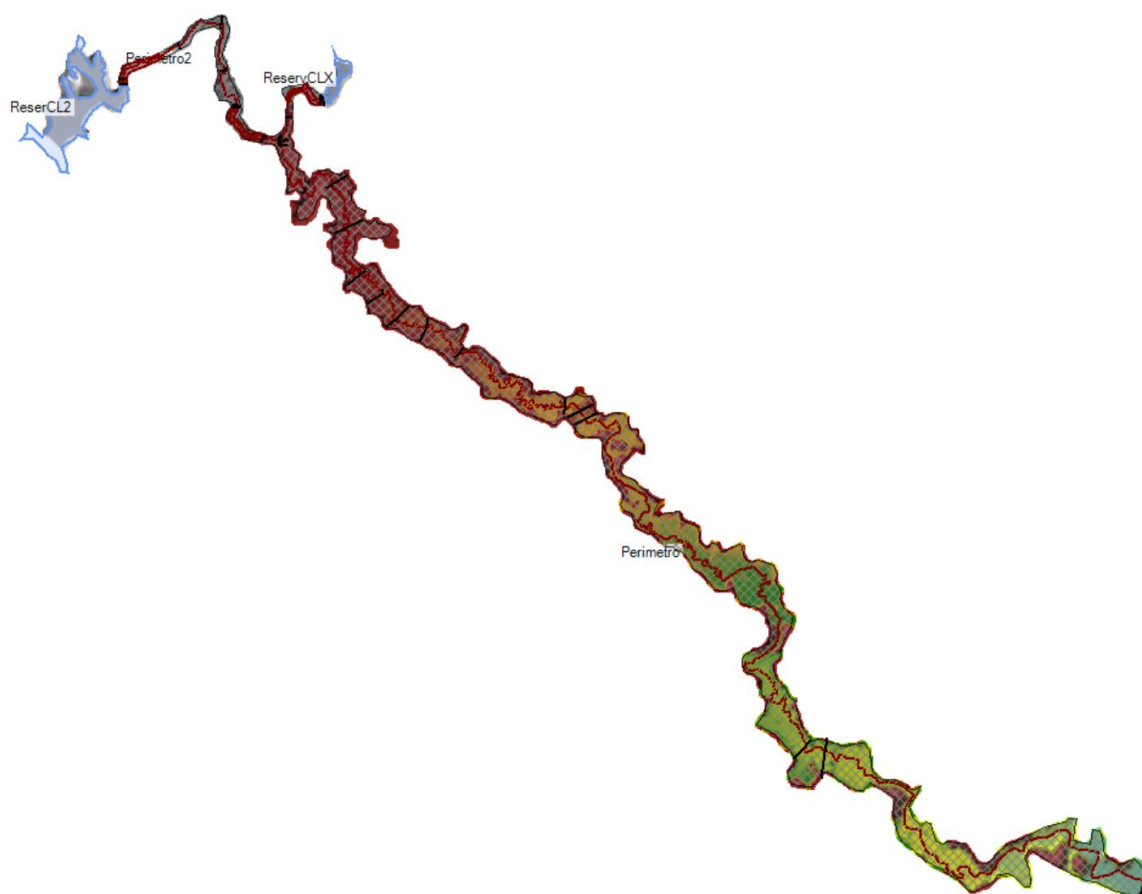


Figura 22 - Modelo 2D HEC-RAS PCH Colino 2 do vale a jusante

5.3.3 Hipótese e Prováveis Modos de Ruptura

Para o desenvolvimento da APMR (item 4.2) da Barragem Colino 2 foram identificadas as estruturas susceptíveis a prováveis modos de ruptura, tais como:

- Barragem de terra

O arranjo geral do empreendimento é composto por uma barragem de solo compactado um vertedouro tipo tulipa (Figura 23).

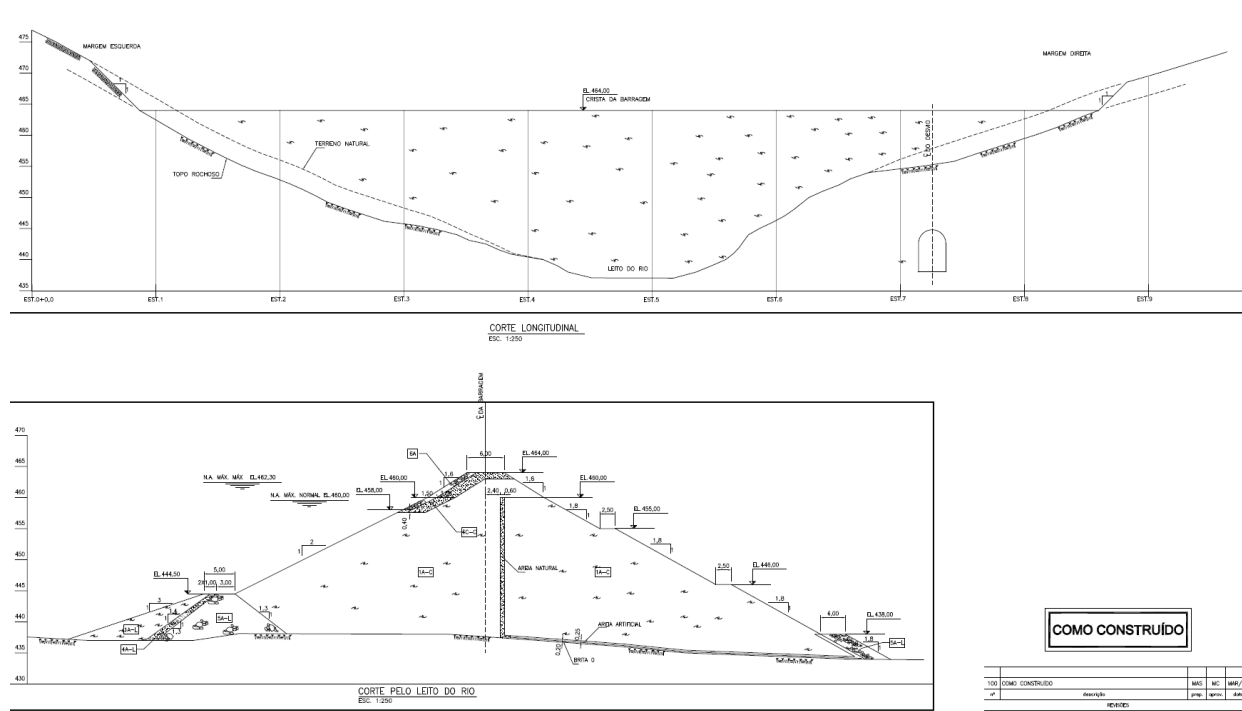


Figura 23 – Seções da Barragem da PCH Colino 2

Fonte: 0501-C2-DE-412-30-002-R100 - Barragem – Arranjo Geral - Cortes

Nesta linha, considerou-se a região central da Barragem como possível local de formação da brecha de ruptura. A região central é a seção com maior altura e extensão, a qual poderá gerar o cenário de maior dano potencial.

Os seguintes cenários prováveis de ruptura da Barragem Colino 2 foram definidos e identificados, segundo o maior dano potencial ao vale a jusante, segundo os modos de ruptura elencados na análise preliminar, como:

- **Modo RDC 1** – Rompimento por *piping* na região central do barramento, vertendo a vazão decamilar em Condição de Carregamento Excepcional (CCE) e culminando à ruptura sinérgica por galgamento da PCH Colino 1; e
- **Modo RDC 2** – Rompimento por *piping* na região central do barramento, vertendo uma vazão média (*Sunny Day*) em Condição de Carregamento Normal (CCN) e culminando à ruptura sinérgica por galgamento da PCH Colino 1.

5.4 Resultados

Os seguintes resultados são apresentados e discutidos no presente documento referente ao estudo de ruptura hipotética da PCH Colino 2:

- Parâmetros da brecha;

- Propagação da onda induzida pela ruptura;
- Perfis hidráulicos dos modos de ruptura; e,
- Apêndice detalhado de configurações dos modelos HEC-RAS e resultados por seção transversal de controle mostradas nas cartas de inundação.

5.4.1 Parâmetros da Brecha

No item 5.1.1 foram apresentadas formas de cálculo e valores esperados para os parâmetros de brechas em diferentes tipos e características de barragens. Cabe ressaltar que a concepção dos parâmetros da brecha são os insumos com maior grau de incerteza no modelo de ruptura.

Após os estudos de parametrização, os parâmetros da brecha da Barragem Colino 2 foram definidos para todos os modos de ruptura aqui analisados. A seguir são apresentados os parâmetros de brecha, estando todos os valores em conformidade com a referência de Schaeffer (1992) e USACE (2014). Será realizado efeito cascata caso ocorra galgamento da Barragem Colino 1 a partir de 10 cm do galgamento da Crista, ou seja, El. 261,10 m.

Tabela 9 - Parametrização das brechas dos modos de ruptura (*piping*) da Barragem Colino 2

Parâmetros	Parâmetros selecionados	
	RDC 1	RDC2
Cota geratriz inferior (m)	446,00	446,00
Cota de formação do colapso (m)	455,00	455,00
Largura de base – B (m)	18,00	18,00
Coefficiente de vazão da brecha	1,5	1,5
Coefficiente de descarga do piping	0,5	0,5
Declividade lateral esquerda (H:V)	0,9	0,9
Declividade lateral direita (H:V)	0,9	0,9
Tempo de formação – Tf (h)	1,50	1,50

Tabela 10. Parametrização das brechas dos modos de ruptura sinérgica (galgamento) da Barragem Colino 1.

Parâmetros	Parâmetros selecionados	
	RDC 1	RDC2
Cota geratriz inferior (m)	252,00	252,00
Cota de formação do colapso (m)	(*)	(*)
Largura de base – B (m)	20,00	20,00
Coefficiente de vazão da brecha	1,5	1,5
Coefficiente de descarga do piping	0,5	0,5
Declividade lateral esquerda (H:V)	0,9	0,9
Declividade lateral direita (H:V)	0,9	0,9
Tempo de formação – Tf (h)	1,00	1,00

(*) Overtopping

As vazões de pico na formação das brechas para os modos RDC 1 e RDC 2 são iguais a 235 m³/s e 6,95 m³/s, respectivamente.

Cabe ressaltar que os cenários de ruptura selecionados neste estudo determinam condições conservadoras de ruptura e adequadas ao planejamento das ações de resposta em caso de situações de emergência.

5.4.2 Propagação da Onda

Com os parâmetros da brecha calculados, o modelo HEC-RAS 6.5- 2D foi usado para simular o rompimento e propagar a onda de cheia no vale a jusante da Barragem Colino 2. Os resultados hidráulicos são analisados mediante 27 seções transversais localizadas rio Colino.

5.4.3 Modo de Ruptura Determinístico 1 – RDC 1 (Decamilenar)

As Figura 24 e ilustram o comportamento das ondas de ruptura ao longo do vale a jusante da PCH Colino 2 para o modo RDC 1(Decamilenar), onde são apresentados um hidrograma e uma curva de altura incremental da onda de ruptura para cada seção.

Neste caso, a ruptura inicia durante o carregamento gerado pela sobrelevação máxima no barramento durante o evento de cheia decamilenar.

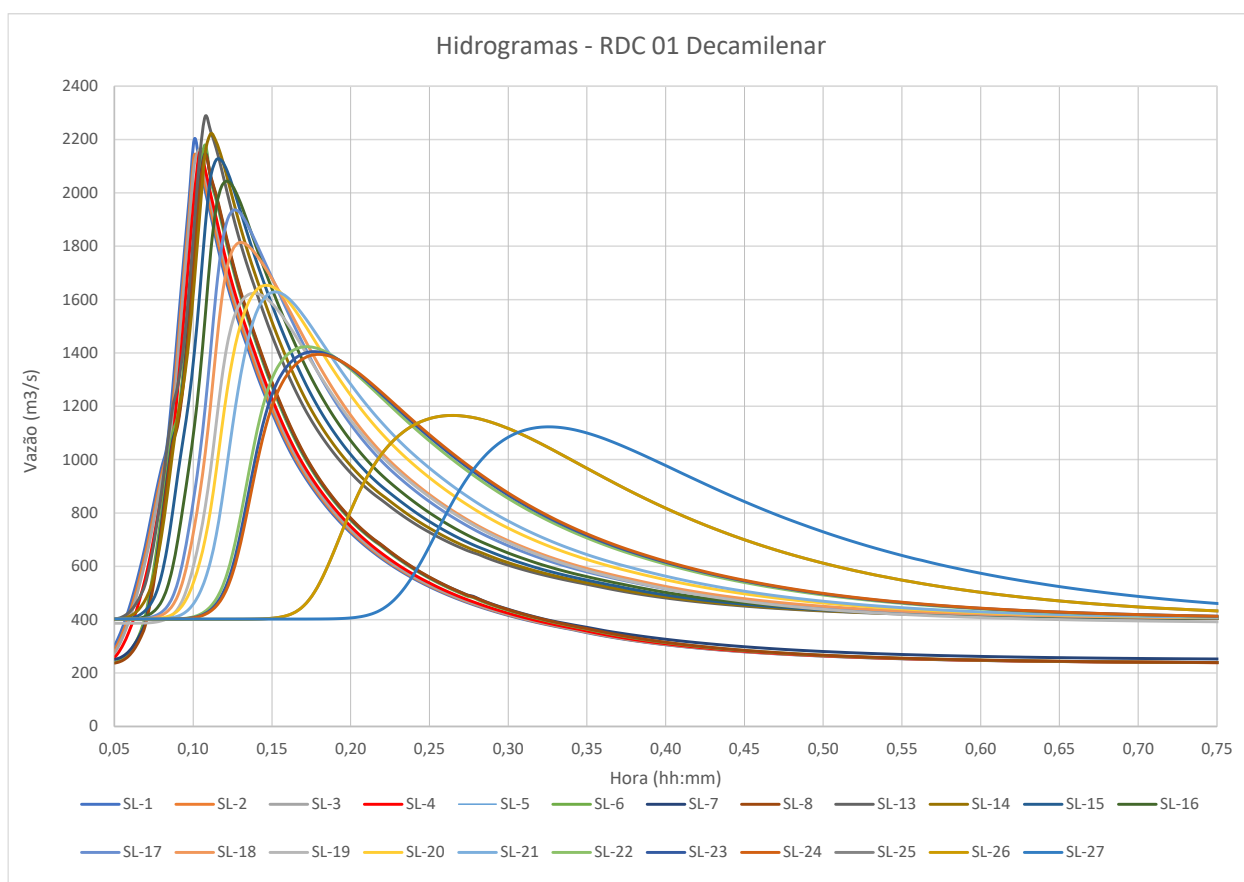


Figura 24 - Propagação de hidrogramas nas seções de controle rio Colino RDC 1 (Decamilenar).

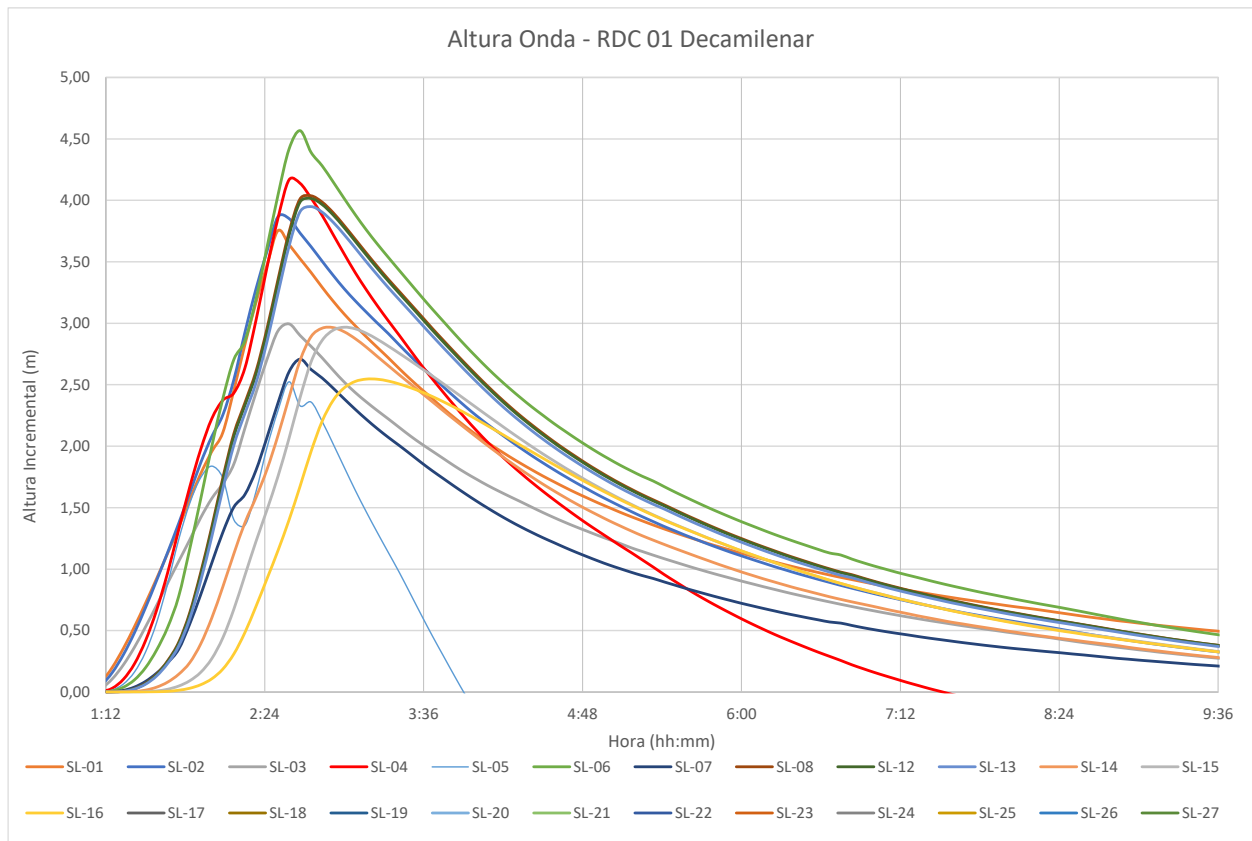


Figura 25 - Altura Incremental da onda propagada nas seções de controle rio Colino – RDC 1 (Decamilenar).

O pico da onda induzida pela ruptura da PCH Colino 2 atinge uma altura incremental máxima da ordem de 5 m, na região a 40 m do barramento da PCH Colino 1. Próximo ao barramento de Colino 2, a altura incremental é da ordem de 4 m. Após a confluência com o rio Jucuruçu, a maior altura incremental é da ordem de 4 m na própria seção de confluência entre os rios. No rio Jucuruçu, a maior altura incremental é também em torno de 4 m na seção imediatamente a montante da confluência com o rio Colino. Percebe-se que no rio Jucuruçu, há efeito de remanso e, inclusive, inverção do sentido do escoamento (vazões negativas) devido à passagem da onda de ruptura pelo rio Colino.

Como as alturas incrementais superam a marca de 0,61 m, considera-se segunda a FEMA (2013) que há dano potencial associado. Portanto, a ruptura da PCH Colino 2, em um cenário de cheia decamilenar, provoca mudanças significativas no rio Colino e Jucuruçu.

5.4.4 Modo de Ruptura Determinístico 2 – RDC 2 (*Sunny Day*)

As Figura 26 e Figura 27 ilustram o comportamento das ondas de ruptura ao longo do vale a jusante da PCH Colino 2 para o modo RDC 2 (*Sunny Day*), onde são apresentados um hidrograma e uma curva de altura incremental da onda de ruptura para cada seção de interesse. Neste caso, a ruptura inicia durante o carregamento em condição normal de operação da barragem (CCN), com passagem de uma vazão média de longo termo.

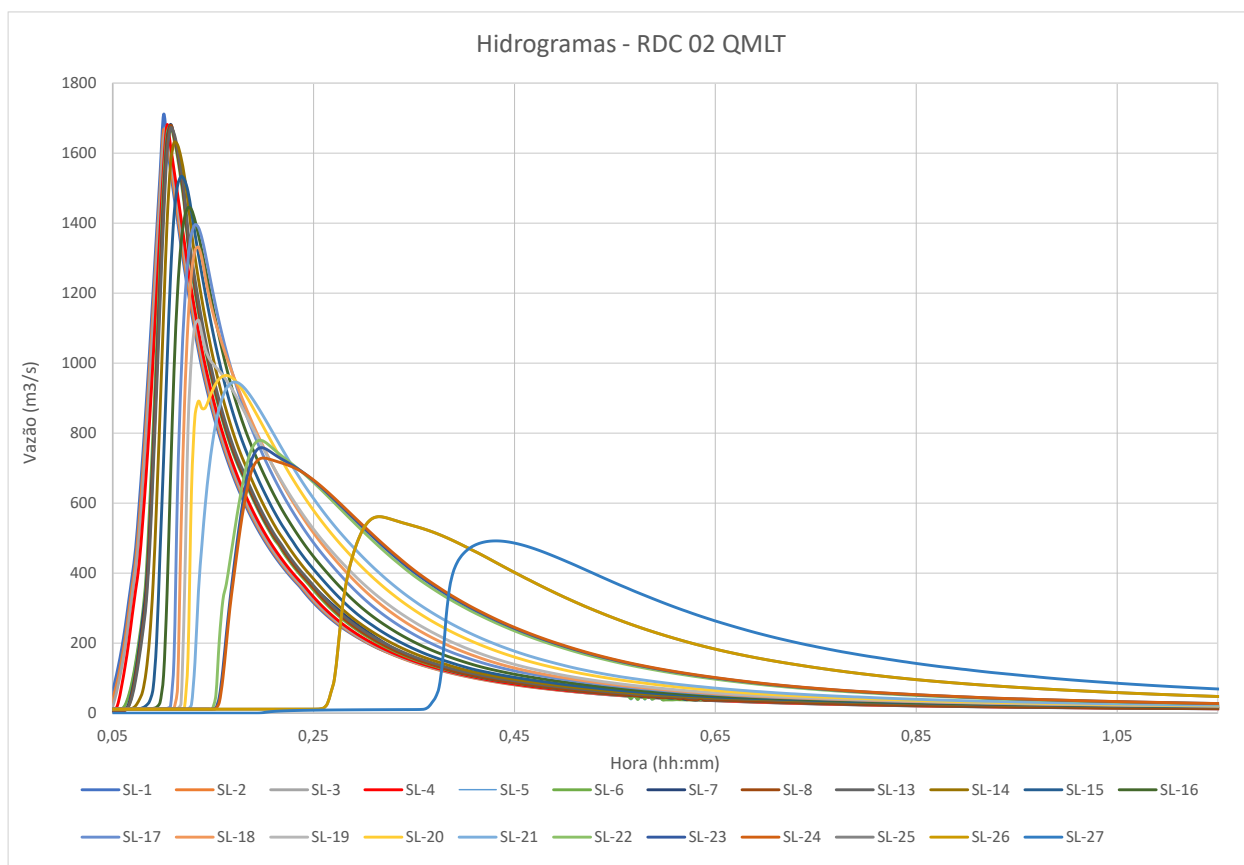


Figura 26 - Propagação de hidrogramas nas seções de controle rio Colino, RDC 2 (*Sunny Day*)

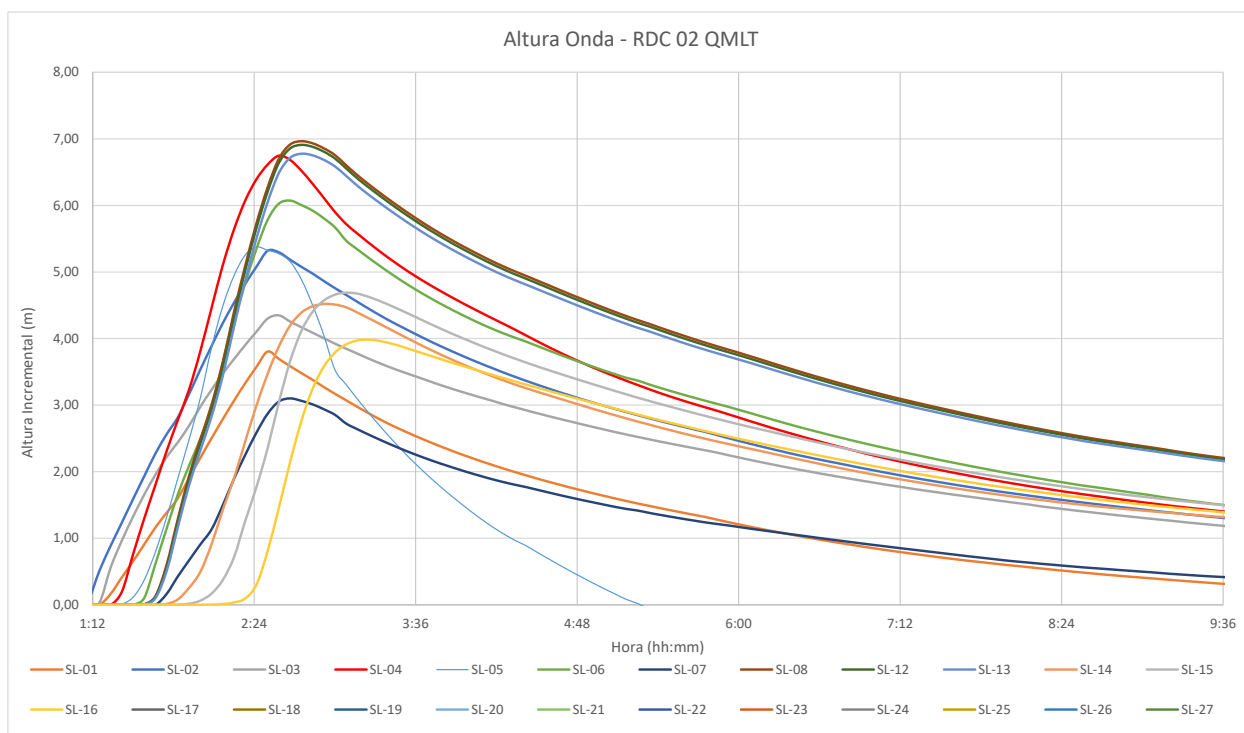


Figura 27 - Altura Incremental da onda propagada nas seções de controle rio Colino, RDC 2 (*Sunny Day*)

O pico da onda induzida pela ruptura da PCH Colino 2 atinge uma altura incremental máxima da ordem de 6 m, na região a 40 m do barramento da PCH Colino 1. Próximo ao barramento de Colino 2, a altura incremental é da ordem de 4 m. Após a confluência com o rio Jucuruçu, a maior

altura incremental é da ordem de 7 m na própria seção de confluência entre os rios. No rio Jucuruçu, a maior altura incremental é em torno de 7 m na seção imediatamente a montante da confluência com o rio Colino. Percebe-se que no rio Jucuruçu, há efeito de remanso e, inclusive, inverção do sentido do escoamento (vazões negativas) devido à passagem da onda de ruptura pelo rio Colino.

Como as alturas incrementais superam a marca de 0,61 m, considera-se segunda a FEMA (2013) que há dano potencial associado. Portanto, a ruptura da PCH Colino 2, em um cenário de vazão média, provoca mudanças significativas no rio Colino e Jucuruçu.

5.4.5 Resumo hidráulico

Nas tabelas abaixo estão resumidos os resultados hidráulicos para as 24 seções transversais de interesse no trecho, para os prováveis modos de ruptura apresentados no presente ciclo de atividades. Os seguintes parâmetros hidráulicos estão resumidos: NA Normal, NA Rompimento, Altura da Onda, Tempo de início onda, Tempo pico onda, Tempo de inundação (duração), Velocidade Máx.da onda e Vazão Máx. A Tabela 11 apresenta somente as cotas de proteção e níveis atingidas para estruturas das usinas.

Importante ressaltar que foi realizado efeito cascata na Barragem PCH Colino 1, pois superou cota da crista da Barragem na El. 261,10 m.

Tabela 11 - Resumo das estruturas das Usinas – Rio Colino

Estrutura	Condição	Cota de Proteção (m)	NA Máximo (m)	
			TR 10.000 anos	QMLT
Barragem PCH Colino 2	Natural sem rompimento	464,00	462,44	460,00
	Com rompimento barragem		462,44	460,00
Casa de Força Colino 2	Natural sem rompimento	261,00	260,40	257,32
	Com rompimento barragem		264,57	264,07
Barragem PCH Colino 1	Natural sem rompimento	262,20 (com mureta)	259,98	257,28
	Com rompimento barragem		262,50	262,66
Casa de Força Colino 1	Natural sem rompimento	122,40	121,08	117,26
	Com rompimento barragem		125,12	124,23

(*) Destacados em VERMELHO ocorre inundação

Tabela 12 – Tempo de chegada da onda e níveis de água em cada seção para TR 10.000 anos

Zona	Seções de Interesse	Distância da Barragem Colino 2 (m)	RDC01 - TR 10.000 ANOS								
			Nível de água (m)			Tempo (hh:mm)			Velocidade Máx. (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)	
			Normal	Rompimento	Máxima Onda	Δ Início Onda	Δ Pico Onda	Duração			
Barragem Colino 2 - Tempo após Rompimento											
ZAS	SL-01	Jusante Barragem Colino 2	145	430,00	433,76	3,75	00:20	01:20	07:15	11,01	2.200,94
	SL-02	Seção Intermédiaria - Colino 2	1496	343,90	347,76	3,87	00:20	01:20	06:25	12,11	2.141,61
	SL-03	Escola Margem esquerda	2611	276,15	279,14	3,00	00:25	01:25	05:45	11,45	2.163,42
	SL-04	Casa de Força Colino 2	3664	260,40	264,57	4,17	00:25	01:25	04:25	3,13	2.151,92
	SL-05	Barragem PCH Colino 1 e Limite ZAS	4636	259,98	262,50	2,52	00:30	01:25	02:00	4,00	2.179,91
ZSS	SL-06	Jusante Barragem Colino 1	4676	250,44	255,01	4,57	00:35	01:30	07:10	7,80	2.179,55
	SL-07	Seção Intermédiaria - Colino 1	5949	135,14	137,85	2,71	00:45	01:30	04:40	16,58	2.147,80
	SL-08	Casa de Força Colino 1	6317	121,08	125,12	4,04	00:40	01:35	06:30	3,56	2.142,58
	SL-12	Junção Rio Colino e Jucuruçu	6349	121,04	125,06	4,02	00:40	01:35	06:30	4,13	2.294,23
	SL-13	Centro Operação - Espra e Propriedades MD	6421	120,96	124,91	3,95	00:45	01:35	06:20	5,02	2.286,88
	SL-14	Ponte	7799	119,16	122,12	2,96	00:50	01:45	05:30	4,31	2.221,68
	SL-15	Propriedade ME	9014	117,90	120,87	2,97	01:00	01:50	05:45	1,53	2.123,67
	SL-16	Propriedade MD	10297	117,08	119,62	2,55	01:10	02:00	05:35	1,38	2.044,10
	SL-17	Propriedade MD	12075	115,82	118,32	2,54	01:25	02:30	06:35	1,58	1.933,20
	SL-18	Propriedade MD	13008	115,61	118,14	2,54	01:30	02:35	06:50	1,95	1.812,17
	SL-19	Propriedade MD	13853	115,43	117,96	2,53	01:35	02:35	06:55	0,92	1.623,77
	SL-20	Propriedade MD	14847	115,43	117,96	2,53	01:35	02:40	07:00	1,11	1.653,37
	SL-21	Propriedade MD	15972	114,99	117,44	2,46	01:40	02:45	06:55	3,23	1.628,43
	SL-22	Início Distrito de São João da Prata	20820	113,53	115,65	2,12	02:05	03:30	06:50	1,00	1.423,01
	SL-23	Ponte Distrito de São João da Prata	21230	113,30	115,52	2,22	02:10	03:30	07:05	3,10	1.404,87
	SL-24	Final Distrito de São João da Prata	21422	113,09	115,38	2,28	02:10	03:35	07:25	1,73	1.394,39
	SL-25	Início Distrito de São José do Pardo	35102	104,04	105,98	1,94	03:45	05:55	08:30	1,11	1.165,65
SL-26	Final Distrito de São José do Pardo	35698	103,90	105,84	1,95	03:50	06:00	08:30	1,12	1.165,65	
SL-27	Fim do Modelo - Limite ZSS	45974	69,21	70,14	0,93	05:20	06:40	04:25	1,49	1.122,88	

(*) Destacados em laranja ocorre inundação

Tabela 13 – Tempo de chegada da onda e níveis de água em cada seção - QMLT

Zona	Seções de Interesse	Distância da Barragem Colino 2 (m)	RDC 02 - DIA DE SOL (QMLT)								
			Nível de água (m)			Tempo (hh:mm)			Velocidade Máx. (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)	
			Normal	Rompimento	Máxima Onda	Δ Início Onda	Δ Pico Onda	Duração			
Barragem Colino 2 - Tempo após Rompimento											
ZAS	SL-01	Jusante Barragem Colino 2	145	429,34	433,15	3,81	00:20	01:20	06:30	11,01	1.709,98
	SL-02	Seção Intermédiaria - Colino 2	1496	341,86	347,17	5,32	00:10	01:20	14:50	11,17	1.665,78
	SL-03	Escola Margem esquerda	2611	274,29	278,64	4,35	00:15	01:25	13:20	11,02	1.677,76
	SL-04	Casa de Força Colino 2	3664	257,32	264,07	6,75	00:20	01:25	15:10	2,73	1.680,60
	SL-05	Barragem PCH Colino 1 e Limite ZAS	4636	257,28	262,66	5,38	00:30	01:15	03:00	3,66	1.679,83
ZSS	SL-06	Jusante Barragem Colino 1	4676	248,18	254,25	6,07	00:30	01:30	14:45	6,90	1.679,72
	SL-07	Seção Intermédiaria - Colino 1	5949	134,28	137,38	3,10	00:45	01:30	06:30	15,46	1.682,06
	SL-08	Casa de Força Colino 1	6317	117,26	124,23	6,96	00:35	01:35	23:35	3,81	1.679,25
	SL-12	Junção Rio Colino e Jucuruçu	6349	117,26	124,17	6,91	00:40	01:35	01:40	3,75	1.674,69
	SL-13	Centro Operação - Espra e Propriedades MD	6421	117,24	124,02	6,78	00:40	01:35	02:00	4,58	1.671,00
	SL-14	Ponte	7799	116,83	121,35	4,52	00:55	01:45	13:45	4,07	1.630,34
	SL-15	Propriedade ME	9014	115,38	120,07	4,69	01:05	01:55	16:50	1,96	1.533,44
	SL-16	Propriedade MD	10297	114,86	118,85	3,98	01:20	02:05	16:30	1,46	1.444,34
	SL-17	Propriedade MD	12075	113,79	117,17	3,67	01:35	02:55	15:55	1,51	1.395,16
	SL-18	Propriedade MD	13008	113,32	116,99	3,67	01:40	03:00	18:50	2,49	1.331,31
	SL-19	Propriedade MD	13853	112,49	116,82	4,33	01:50	03:00	15:45	1,79	1.122,92
	SL-20	Propriedade MD	14847	112,49	116,82	4,33	01:55	03:05	18:25	1,60	964,84
	SL-21	Propriedade MD	15972	111,98	116,28	4,30	02:05	03:10	21:35	3,05	945,53
	SL-22	Início Distrito de São João da Prata	20820	110,27	114,30	4,03	02:40	04:30	23:50	1,32	779,25
	SL-23	Ponte Distrito de São João da Prata	21230	110,19	114,12	3,93	02:45	04:40	00:05	3,71	758,53
	SL-24	Final Distrito de São João da Prata	21422	110,16	113,94	3,79	02:45	04:45	00:00	2,73	728,57
	SL-25	Início Distrito de São José do Pardo	35102	101,68	104,37	2,69	05:25	08:00	21:00	0,94	561,26
SL-26	Final Distrito de São José do Pardo	35698	101,52	104,23	2,71	05:35	08:10	19:20	1,21	561,26	
SL-27	Fim do Modelo - Limite ZSS	45974	67,99	69,34	1,35	07:55	09:15	22:20	1,30	492,09	

(*) Destacados em laranja ocorre inundação

- A zona de auto salvamento fica definida como 30 min da onda de rompimento, ou seja, até SL-05 cerca de 4,64 km a jusante do barramento PCH Colino 2.

- A Zona de Secundária de Segurança fica definida como o fim do modelo, SL-27 cerca de 45,97 km da barragem PCH Colino 2.

5.4.6 Região de Amortecimento

A barragem da PCH Colino 2 é considerada de médio porte, com altura máxima de 28 m e reservatório com volume da ordem de 22 hm³. Em um evento de ruptura a barragem é capaz de gerar uma mudança significativa no regime fluviométrico do rio Colino e Jucuruçu. Devido ao trecho de alta declividade e de corredeiras no vale a jusante da PCH Colino 2, até a confluência com o rio Jucuruçu, percebe-se que a onda de ruptura atinge a confluência de maneira integral, sofrendo quase nenhum amortecimento. Isso está de acordo com o esperado considerando o relevo desse trecho.

O maior impacto foi observado pela ruptura em cenário de *Sunny day*, em que a onda de ruptura atingiu uma altura incremental da ordem de 6,00 m na seção imediatamente a jusante do barramento de Colino 1. Nesse cenário observou-se dano potencial (altura incremental superior a 0,61 m) até um trecho de 45 km do barramento de Colino 2 segundo a FEMA (2013).

Para a ruptura no cenário de cheia decamilenar, verificou-se dano potencial até uma distância de 35 km do barramento de Colino 2.

A maior concentração de benfeitorias é na proximidade da confluência entre os rios e no distrito São João da Prata, a 15 km da confluência dos rios. Para o cenário RDC01, a onda de ruptura leva 2h05min para atingir a cidade. Para o cenário RDC02, o tempo de chegada é de 02h40min. Observou-se que há benfeitorias potencialmente afetadas pela onda de ruptura. Assim sendo, a ruptura da PCH Colino 2, para todos os cenários considerados, **apresenta potencial de perdas de vidas humanas associadas exclusivamente ao barramento, o que permitiria a classificação quanto ao Dano Potencial Associado (DPA) como ALTO.**

5.4.6.1 Limite Físico a Jusante da PCH Colino 2

O limite físico do trecho estudado, foi de montante da Barragem da PCH Colino 2 até encontro fim modelo, compreendendo cerca de 46 km. Este trecho compreende:

- limite máximo de 25 km - Volume Reservatório entre 3 e 50 hm³, de acordo ANA;
- Tempo chegada onda maior que 3 horas, de acordo com ANA;
- Passagem pelos distritos ribeirinhos;
- Passagem e efeito cascata com barragem jusante – CL1 – de acordo ANEEL.

5.5 Mapas de Inundação

Mediante os resultados obtidos com os cenários de ruptura, fez-se a identificação das áreas atingidas pela mancha de inundação, bem como a fotointerpretação do trecho de, aproximadamente, 46 km a jusante do barramento. Os mapas de inundação, por estarem georreferenciados e plotados em pranchas padronizadas, segundo ABNT, são chamados de mapas de inundação.

Expostas nos documentos CL2-RDC1-001-00-24 (Enchentes - Decamilenar) e CL2-RDC2-001-00-24 (Sunny-Day), os mapas de inundação sumarizam informações estratégicas do estudo de ruptura hipotética da PCH Colino 2, auxiliando a realização das ações a serem tomadas em momentos de crise. Sendo assim, são apresentados os resultados hidráulicos de:

- NA Normal (m)
- NA Rompimento (m)
- Altura da Onda (m)
- Tempo de início onda (hh:mm);
- Tempo pico onda (hh:mm);
- Tempo de inundação (duração) (hh:mm):
- Velocidade Máx .da onda (m²/s)
- Vazão Máx. (m³/s).

As cotas (Nas) são extraídas dos perfis hidráulicos da superfície da linha d'água ao longo do vale a jusante da área em estudo, dos resultados da modelagem numérica hidráulica em regime não permanente e não uniforme.

Por sua vez, a altura é calcula pela diferença entre as cotas do cenário de escoamento da vazão de referência e as ondas induzidas pelos modos de ruptura hipotética. Nesta linha, a altura incremental é a diferença entre as cotas do cenário de escoamento das vazões de referência e as ondas induzidas pelos modos de ruptura.

A vazão de pico é extraída dos hidrogramas da cheia em diferentes locais do vale a jusante, referentes às seções de controle indicadas nos mapas de inundação.

O tempo de pico é calculado pela diferença entre o instante de início da ruptura e o instante de pico do cotograma para cada local do vale a jusante determinado como estratégico, enquanto o tempo de inundação é calculado como o tempo de permanência do nível d'água superior a uma determinada cota de referência, determinada pelo erro altimétrico esperado do produto cartográfico usado na modelagem hidráulica numérica. Por sua vez, o tempo de chegada é calculado como o instante em que a onda induzida pela ruptura hipotética atinge uma cota de referência gerada por uma elevação incremental de 0,61 m (~2 ft).

A velocidade média da onda é calculada com base no tempo de deslocamento dos picos dos hidrogramas ao longo do vale a jusante. A velocidade da onda é calculada em km/h em relação a toda a massa d'água em movimento. É uma informação estratégica para planejamento das áreas prioritárias para ações de prevenção e evacuação. O tempo de inundação, ou submersão, associado à informação de velocidade da onda é crucial para avaliar a capacidade e dificuldade de locomoção das populações atingidas.

São representadas em mapas de inundação, também, o risco hidrodinâmico. Este é o produto direto entre a velocidade e a profundidade do escoamento, sendo uma variável importante de tomada de decisão, a qual ilustra espacialmente a capacidade destrutiva de uma onda induzida pela ruptura hipotética da barragem da PCH Colino 2.

No item abaixo apresenta as prováveis consequências esperadas da onda de ruptura baseada na variável “perigo hidrodinâmico” ou “inundação dinâmica”, empregados na graduação dessa variável nas cartas de inundação.

5.5.1 Zoneamento de Risco

Esse processo consiste na divisão do território potencialmente atingido pela onda de cheia, sendo classificada segundo os riscos envolvidos, a magnitude do dano, a vulnerabilidade e os tempos de alerta envolvidos (Balbi, 2008).

Conforme Almeida (2001) as principais características hidrodinâmicas envolvidas em um zoneamento são:

- a) áreas atingidas (determina quais elementos em risco serão afetadas, população, estruturas, etc);
- b) cotas máximas dos níveis d’água ou alturas máximas;
- c) instante de chegada da onda de cheia;
- d) instante de chegada da altura máxima;
- e) grau de perigo em função da velocidade e altura ($V \times H$), em m^2/s ;
- f) velocidade máxima do escoamento.

O tempo entre a identificação da emergência e a chegada da onda de cheia nos locais habitados é o primeiro parâmetro para a classificação da área de risco. O tempo eficaz de aviso permite com que as pessoas preparem a mobilização e a evacuação das zonas mais sensíveis, sendo este o fator primordial para a mitigação do efeito das cheias. A USBR (1999) adotou um critério para estimar a perda de vidas em função do tempo de alerta (Quadro 2 a seguir).

Quadro 4 – Número esperado de vítimas em função do tempo de alerta

Tempo de aviso (min)	Perda de vidas	Número esperado de vítimas
0 a 15	Significante	NEV= 50% no número de pessoas em risco
15 a 90	Potencialmente significativa	NEV= (número de pessoas em risco) ^{0,6}
Mais de 90	Perda de vidas virtualmente Eliminada	NEV= 0.0002 x número de pessoas em risco

Fonte: Adaptado de USBR, 1999.

Segundo Cestari (2013) a importância de uma submersão se deve à capacidade da cheia de provocar danos às pessoas, edificações e aos bens. Os principais parâmetros para classificar os

danos são: a área atingida, a profundidade da cheia (H) e a sua velocidade de propagação (V). A ameaça provocada por esses fatores combinados corresponde ao risco hidrodinâmico calculado pela equação a seguir.

$$\text{Risco hidrodinâmico} = H \times V$$

Onde:

Risco hidrodinâmico = m²/s

H = profundidade (m);

V = velocidade do fluxo (m/s)

De acordo com o estudo de Synaven et al. (2000), que teve como objetivo estabelecer valores para os quais as cheias provocam danos, obteve-se as seguintes referências do Quadro abaixo.

Quadro 5 – Consequências do Risco Hidrodinâmico

Risco Hidrodinâmico (m ² /s)	Consequências
<0,5	Crianças e deficientes são arrastados
0,5 – 1	Adultos são arrastados
1 – 3	Danos de submersão em edifícios e estruturais em casas fracas
3 – 7	Danos estruturais em edifícios e possível colapso
> 7	Colapso de certos edifícios

Fonte: Adaptado de SYNAVEN, 2000.

Viseu (2006) estabeleceu critérios para graduação do risco em função da profundidade e da velocidade. Considera-se o fato de que na área inundada existam edificações para proteção das pessoas em diferentes profundidades. Este é o princípio de evacuação vertical, em que se considera que as pessoas podem se deslocar para pavimentos superiores na tentativa de evitar a cheia. Os Quadros 4 e 5 a seguir apresentam estas graduações.

Quadro 6 – Nível de perigo para seres humanos

Nível	Classe	Inundação Estática (H)	Inundação Dinâmica (HxV)
Reduzido	Verde	< 1 m	< 0,5 m ² /s
Médio	Amarelo	1 m – 3 m	0,5 m ² /s – 0,75 m ² /s
Importante	Laranja	3 m – 6 m	0,75 m ² /s – 1,0 m ² /s
Muito Importante	Vermelho	> 6 m	> 1,0 m ² /s

Fonte: Adaptado de VISEU, 1998

Quadro 7 – Nível de perigo para edificações

Nível	Classe	Inundação Dinâmica (HxV)	Velocidade (V)
Reduzido	Verde	< 3 m ² /s	< 2 m/s
Médio	Amarelo	3 m ² /s – 5 m ² /s	2 m/s – 4 m/s
Importante	Laranja	5 m ² /s – 7 m ² /s	4 m/s – 5,5 m/s
Muito Importante	Vermelho	> 7 m ² /s	> 5,5 m ² /s

Fonte: Adaptado de VISEU, 1998

O risco hidrodinâmico será avaliado somente para a condição de dimensionamento do Vertedouro, ou seja, TR 10.000 anos, e seguirá a legenda da Tabela 15 a seguir.

Tabela 14 – Legenda para Risco Hidrodinâmico

Risco Hidrodinâmico (m ² /s)	Consequências
< 0,5	Crianças e deficientes são arrastados
0,5 -1	Adultos são arrastados
1 -3	Danos de submersão em edifícios e estruturas em casas fracas
3-7	Danos estruturais em edifícios e possível colapso
>7	Colapso de certos edifícios

5.5.2 Zona De Autossalvamento (ZAS)

De acordo com recomendações de FEMA (2013) e FERC (2014), bem como de documentação da ABRAGE (2017), a Zona de Autossalvamento (ZAS) é definida como a região, imediatamente a jusante da barragem, em que se considera não haver tempo suficiente para uma adequada intervenção dos serviços e agentes de proteção civil em caso de acidente. Sua extensão é definida pela menor das seguintes distâncias: 10 km ou a distância percorrida pela onda de inundação em trinta minutos.

O tempo de chegada da onda é calculado como o instante em que a onda induzida pela ruptura hipotética atinge uma cota de referência gerada por uma elevação incremental de 0,61 m (~2 ft). Para a PCH Colino 2, a distância correspondente ao trecho percorrido pela frente de onda foi de 30 min da onda.

Desta forma, **para a PCH Colino 2, adotou-se uma Zona de Autossalvamento (ZAS) de 4,64 km**, de modo que todo esse trecho seja alertado numa eventual situação de crise, não dependendo da atuação das autoridades competentes.

5.5.3 Zona Secundária De Salvamento (ZSS)

Complementarmente, **a Zona Secundária de Salvamento (ZSS) compreende um trecho de 41,34 km no vale a jusante, após ZAS**. De acordo com a lei 12.334/2010, mediante a atualização pela lei 14.066/2020, a ZSS é entendida como todo o trecho não definido como ZAS.

5.5.4 Seções de Interesse

As benfeitoras foram identificadas pela ortofotocarta obtida pelo aerolevanteamento realizado pela empresa SAI, considerando o momento da ruptura nas seções onde foram detectadas benfeitorias em risco, listadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Localização das Seções de Interesse

Seções	Descrição	Distância da Barragem Colino 2 (m)
Rio Colino - PCHs Colino 1 e 2		
SL-01	Jusante Barragem Colino 2	145
SL-02	Seção Intermediária - Colino 2	1496
SL-03	Escola Margem esquerda	2611

Seções	Descrição	Distância da Barragem Colino 2 (m)	
SL-04	Casa de Força Colino 2	3664	
SL-05	Barragem PCH Colino 1 e Limite ZAS	4636	
SL-06	Jusante Barragem Colino 1	4676	
SL-07	Seção Intermédiaria - Colino 1	5949	
SL-08	Casa de Força Colino 1	6317	
Rio Jucuruçu - PCH Cachoeira da Lixa			
Seções	Descrição	Distância da Barragem Cachoeira da Lixa (m)	
SL-09	Jusante Barragem Cachoeira da Lixa	67	
SL-10	Seção Intermédiaria - Cachoeira da Lixa	1419	
SL-11	Casa de Força Cachoeira lixa	1870	
Seções	Descrição	Distância após Junção Rios (m)	Distância após Junção Rios Acumulado (m)
Rio Colino - Após Junção com rio Jucuruçu			
SL-12	Junção Rio Colino e Jucuruçu	32	6349
SL-13	Centro Operação - Espra e Propriedades MD	104	6421
SL-14	Ponte	1482	7799
SL-15	Propriedade ME	2697	9014
SL-16	Propriedade MD	3980	10297
SL-17	Propriedade MD	5758	12075
SL-18	Propriedade MD	6691	13008
SL-19	Propriedade MD	7536	13853
SL-20	Propriedade MD	8530	14847
SL-21	Propriedade MD	9655	15972
SL-22	Início Distrito de São João da Prata	14503	20820
SL-23	Ponte Distrito de São João da Prata	14913	21230
SL-24	Final Distrito de São João da Prata	15105	21422
SL-25	Início Distrito de São José do Pardo	28785	35102
SL-26	Final Distrito de São José do Pardo	29381	35698
SL-27	Fim do Modelo - Limite ZSS	39657	45974

Os mapas de inundações juntamente com informações das seções interesse estão apresentados no Anexo V.

6 AGÊNCIAS E ENTIDADES ENVOLVIDAS

Deverão ser evitadas informações prematuras e inexatas a respeito do desenvolvimento da situação, a fim de impedir especulações e pânico, sendo de responsabilidade da Empresa Operadora, **ENERGÉTICA SERRA DA PRATA S. A.**, centralizar a veiculação de informações.

6.1 Agentes Interno

- Empresa

ENERGÉTICA SERRA DA PRATA S/A. – CNPJ 05.982.449/0001-16

Estabelecida na Cidade de Salvador, Estado da Bahia, na Avenida Tancredo Neves, nº 450, 23º andar, salas 2301/2302, Caminho das Árvores, CEP 41820-901

PCH Colino 2 - CNPJ/MF sob o nº. 05.982.449/0003-88

Cidade Vereda, Estado da Bahia, IV. Povoado de São João da Prata, S/N, CEP. 45.955-000

- Representantes Legais

Vágner Serrato - V2I Energia

Telefone: (33) 98871-8000

vagner.serratto@v2ienergia.com

- Coordenador de O&M e Coordenador do PAE

Felipe Moraes - V2I Energia

Telefone: (33) 9997-8584

felipe.moraes@v2ienergia.com

- Coordenador Planta e Suplente do PAE

Igor Rivelino Kucharski - V2I Energia

Telefone: (73) 3294-8352 (73) 98157-3255

igor.rivelino@v2ienergia.com

- Identificação do Responsável Técnico da Barragem

Engenheiro Civil: Henrique Yabrudi Vieira - Telefone: (49) 99124-0254

CREA Bahia – 3000155682BA

henrique@prosenge.com

ART BA20240692212

Quadro 8 - Equipe de Segurança da PCH Colino 2

Área	Cargo	Nome	Telefones	E-mail
Gerência do Complexo	Gerente de O&M	Anderson Silveira	(21) 99183-3774	anderson.silveira@v2ienergia.com
Operação e Manutenção	Coordenador de O&M Coordenador do PAE	Felipe Moraes	(33) 99997-8584	felipe.moraes@v2ienergia.com
Coorporativo	Analista ambiental	Beatriz Braga	(21) 99847-3479	beatriz.braga@v2ienergia.com
Coorporativo	Líder Equipe de Manutenção	Igor Rivelino Kucharski	(73) 3294-8352 (73) 98157-3255	igor.rivelino@v2ienergia.com
Consultoria	Responsável técnico da Barragem	Henrique Y Vieira	(49) 99124-0254	henrique@prosenge.com

6.2 Agentes Externos

Os agentes externos envolvidos são três municípios atingidos: Jucuruçu, Vereda e Itamaraju todos no estado da Bahia. A cidade mais próxima com recursos de Defesa Civil e Corpo de Bombeiros é Teixeira de Freitas também no estado da Bahia.

6.3 Identificação e contatos do Empreendedor, do Coordenador do PAE e das entidades constantes do Fluxograma de Notificação

Deverão ser evitadas informações prematuras e inexatas a respeito do desenvolvimento da situação, a fim de impedir especulações e pânico, sendo de responsabilidade da Empresa Operadora, **ENERGÉTICA SERRA DA PRATA S. A.**, centralizar a veiculação de informações. O Quadro 9 apresenta o resumo geral dos agentes envolvidos.

Em uma eventual emergência os agentes principais a serem avisados estão listados no Anexo VIII – 1- Geral, sendo agentes internos e externos.

Quadro 9 – Lista de contatos do PAE

PAE DA BARRAGEM COLINO 2			
EMPREENDEADOR	Nome:	Pequena Central Hidrelétrica Colino 2	
	Identificador ANEEL:	PCHPHBA028997-3	
	Empreendedor:	ENERGÉTICA SERRA DA PRATA S.A.	
	Diretor		Vágner Serrato - V2I Energia
			(33) 98871-8000 vagner.serrato@v2ienergia.com
Responsável Tec. Seg. Barragem:		Eng. Civil Henrique Yabrudi Vieira - CREA/BA: 3000155682	
		(48) 3206-8509 henrique@prosenge.com	
COORDENADOR PAE	Nome:	Felipe Moraes - V2I Energia	
	Contatos	(33) 9997-8584 felipe.moraes@v2ienergia.com	
ELABORAÇÃO DO PAE	Nome:	Prosenge Projetos e Engenharia LTDA	
	Fone:	(48) 3206-8509	
ENCARREGADO ELABORAÇÃO PAE:	Nome:	Eng. Civil Henrique Yabrudi Vieira - CREA/BA: 3000155682	
	Contatos:	(48) 3206-8509 henrique@prosenge.com	
FISCALIZADORA	Nome:	Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL	

PAE DA BARRAGEM COLINO 2		
	Contatos:	(61) 2192-8758
BARRAGENS NO CURSO DE ÁGUA	Montante – Sem usina	Jusante - PCH Colino 1
AUTORIDADES E SISTEMA DE DEFESA CIVIL	Defesa Civil - 199	Estadual Bahia Nome do contato: Coronel Carlos Miguel Filho Fone: (71) 3115-3000/ 3001
		CENAD (Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres) Armin Augusto Braun (61) 2034-4600 e (61) 2034-4515
	Corpo De Bombeiros - 193	Estadual Bahia - Salvador Comandante Geral: CEL BM Adson Marchesini Fone: (71) 3116-4666 E-mail: cg.gabinete@cbm.ba.gov.br
		18º BBM - Batalhão de Bombeiros Militar - Municipal Teixeira de Freitas (73) 3292-8339
	Prefeituras municipais:	Prefeitura: Jucuruçu/BA Nome: Prefeito Arivaldo de Almeida Costa Fone: (73) 3662-2193
		Prefeitura: Vereda/BA Nome: Prefeito Manrick Gregório Prates Teixeira Fone: (73) 3661-2123
Prefeitura: Itamaraju/BA Nome: Prefeito Marcleo Angenica Fone: (73) 3828-1000 e 0800 000 1061 gabinete.itamaraju@gmail.com		
OUTRAS AGÊNCIAS	POLÍCIA MILITAR - 190	
	POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL - 191	
	INMET	Nome do contato: Instituto nacional de meteorologia Fone: (61) 2102-4700

7 CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE SEGURANÇA E RISCO DE RUPTURA

O monitoramento de segurança se dará por duas condições: Hidrológica e Estrutural.

7.1 Condição Hidrológica

A condição hidrológica será controlada no Barramento, deverá ser monitorado os níveis do reservatório com leitura da régua automatizada e/ou visual para observação de uma eventual anomalia com potencial ruptura da barragem.

O vertedouro de soleira livre é a estrutura que controlará as cheias na PCH Colino 2. De acordo com as condições operacionais do vertedouro as cheias se comportarão conforme o gráfico abaixo.

A **EMERGÊNCIA 2** poderá ocorrer em qualquer condição de escoamento em conjunto com o rompimento da barragem.

Na Figura 28 estão indicados os diversos níveis de segurança baseados na vazão do vertedouro (possível de ser obtida pelo NA do reservatório), importante observar que a partir da cheia de 100 anos já fica definido o nível de emergência 1.

A Tabela 16 também indica os níveis de segurança com as respectivas ações a serem tomadas. Nessa tabela os níveis de segurança para a condição hidrológica estão descritos na alínea a).

7.2 Condição Estrutural

A boa condição estrutural do barramento se dará pelo monitoramento conforme critérios estabelecidos no Plano de Segurança da Barragem.

Este Plano tem como objetivo determinar as condições relativas à segurança estrutural e operacional da barragem e vertedouro, identificando os problemas e recomendando tanto reparos corretivos, restrições operacionais e/ou modificações quanto análise/estudos para determinar as soluções dos problemas.

O Plano de Segurança da Barragem contém os Manuais de Operação, Manutenção e Inspeção (OMI) para a Barragem.

A manutenção das boas condições estruturais do barramento da PCH Colino 2 garante sua integridade e reduz drasticamente as possibilidades de um acidente com o rompimento da barragem.

A Tabela 16 apresenta os níveis de segurança para as condições estruturais, na alínea b), juntamente com as providências a serem tomadas pela equipe de operação.

7.2.1 Monitoramento das Estruturas

O sistema de monitoramento está contemplado nos manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e monitoramento do relatório de segurança da barragem, sendo que este faz parte do Plano de Segurança da Barragem. Este Manual contém:

- Procedimentos de inspeções civis visuais informando onde e o que se deve observar;

- Listas de inspeções a serem utilizadas nas inspeções civis;
- Instruções de trabalho para procedimentos de manutenções mais comuns de reparos nas estruturas.

Não menos importantes são os programas de inspeções visuais classificadas em três níveis:

7.2.1.1 Inspeções Rotineiras

São aquelas que devem ser executadas pela equipe de operação. A frequência dessas inspeções deverá ser definida de acordo com o recomendado no item a ser inspecionado. Não gera relatórios específicos, mas apenas comunicações de eventuais anomalias detectadas. Deverão ser preenchidas as listas de verificações de acompanhamento para cada estrutura civil.

7.2.1.2 Inspeção de Segurança Regular

A inspeção de segurança regular será realizada por equipe de Segurança de Barragem, composta de profissionais treinados e capacitados e deverá abranger todas as estruturas do barramento do empreendimento e retratar suas condições de segurança, conservação e operação. A frequência destas inspeções deverá ser **ANUAL** conforme a classificação do barramento. Os aspectos a serem vistoriados, analisados e relatados neste tipo de inspeção estão detalhados nas listas de verificações anuais. Também deverão ser analisados os dados das inspeções rotineiras.

Os relatórios de inspeção de segurança regular deverão conter minimamente estas informações:

- Identificação do representante legal do empreendedor;
- Identificação do responsável técnico;
- Avaliação da instrumentação disponível na barragem ou necessidade de instalação, indicando necessidade de manutenção, reparo ou aquisição de equipamentos;
- Avaliação de anomalias que acarretem mau funcionamento, em indícios de deterioração ou em defeitos construtivos da barragem;
- Comparativo com inspeção de segurança regular anterior;
- Diagnóstico do nível de segurança da barragem;
- Indicação de medidas necessárias à garantia da segurança da barragem.

7.2.1.3 Inspeções Segurança Especial

As inspeções especiais serão realizadas quando convocadas. Esta convocação normalmente será fruto de uma avaliação, por parte da equipe de engenharia de inspeção e manutenção, após uma grande enchente ou onde se detecte algum problema que mereça atenção especial.

Depois de cheias e chuvas torrenciais com recorrência maior que 100 anos, observações não usuais tais como fissuras, recalques, surgências de água e indícios de instabilidade de taludes

devem ser verificadas. Aumento da vazão nos medidores de vazão sem motivo aparente e principalmente com carreamento de material é motivo para acionamento de alerta e de inspeção especial.

7.2.2 Revisão Periódica de Segurança

A Revisão Periódica de Segurança (RPS) tem o objetivo de diagnosticar o estado geral de segurança da barragem com vistas aos avanços tecnológicos, atualização de informações hidrológicas na bacia bem como os critérios de projeto e uso do solo na bacia a montante do barramento. Deve ser realizado a cada 7 anos conforme a classificação da barragem (Classe B).

7.2.3 Tramitação das Informações

O fluxograma apresenta as atividades da equipe de inspeção e manutenção das estruturas civis e a interface com a Gerência da Usina sendo de inspeções e de ações.

O fluxograma de inspeções (Fluxograma 1) indica a sequência dos procedimentos para as inspeções nas estruturas de acordo com a periodicidade necessária.

O fluxograma de segurança da barragem (Fluxograma 2) indica a sequência na tomada de decisões com base nos dados obtidos nas inspeções e no relatório das inspeções.

O fluxograma de ações (Fluxograma 3) indica a sequência na tomada de decisões com base no nível de emergência.

Caso o fluxograma de ações entrar em **EMERGÊNCIA 1** deverá seguir procedimento do Plano de Ação de Emergência, Figura 28 e Item 7.

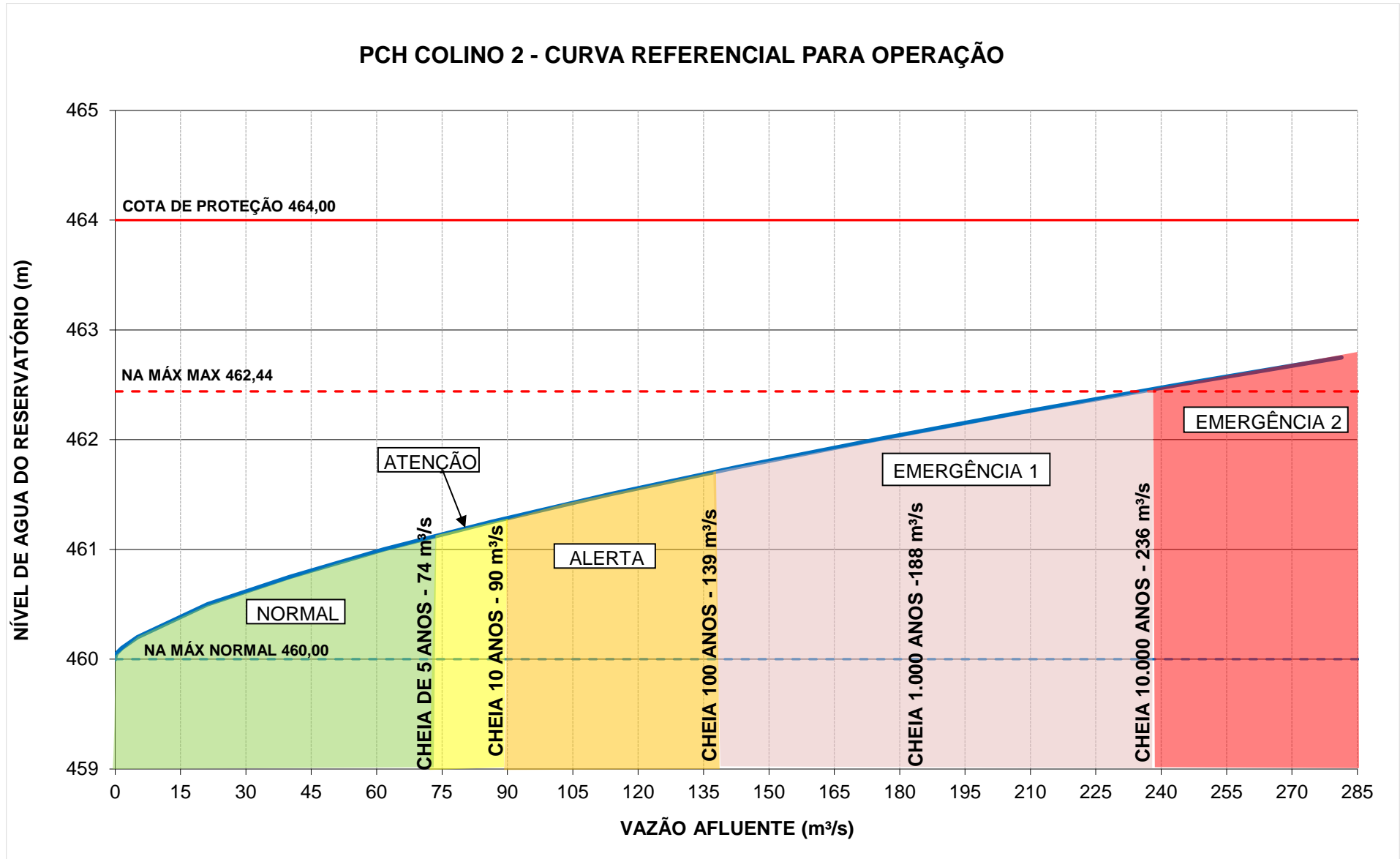


Figura 28 – Níveis de Segurança e Risco de Ruptura

Tabela 16 – Níveis de Segurança e risco Ruptura

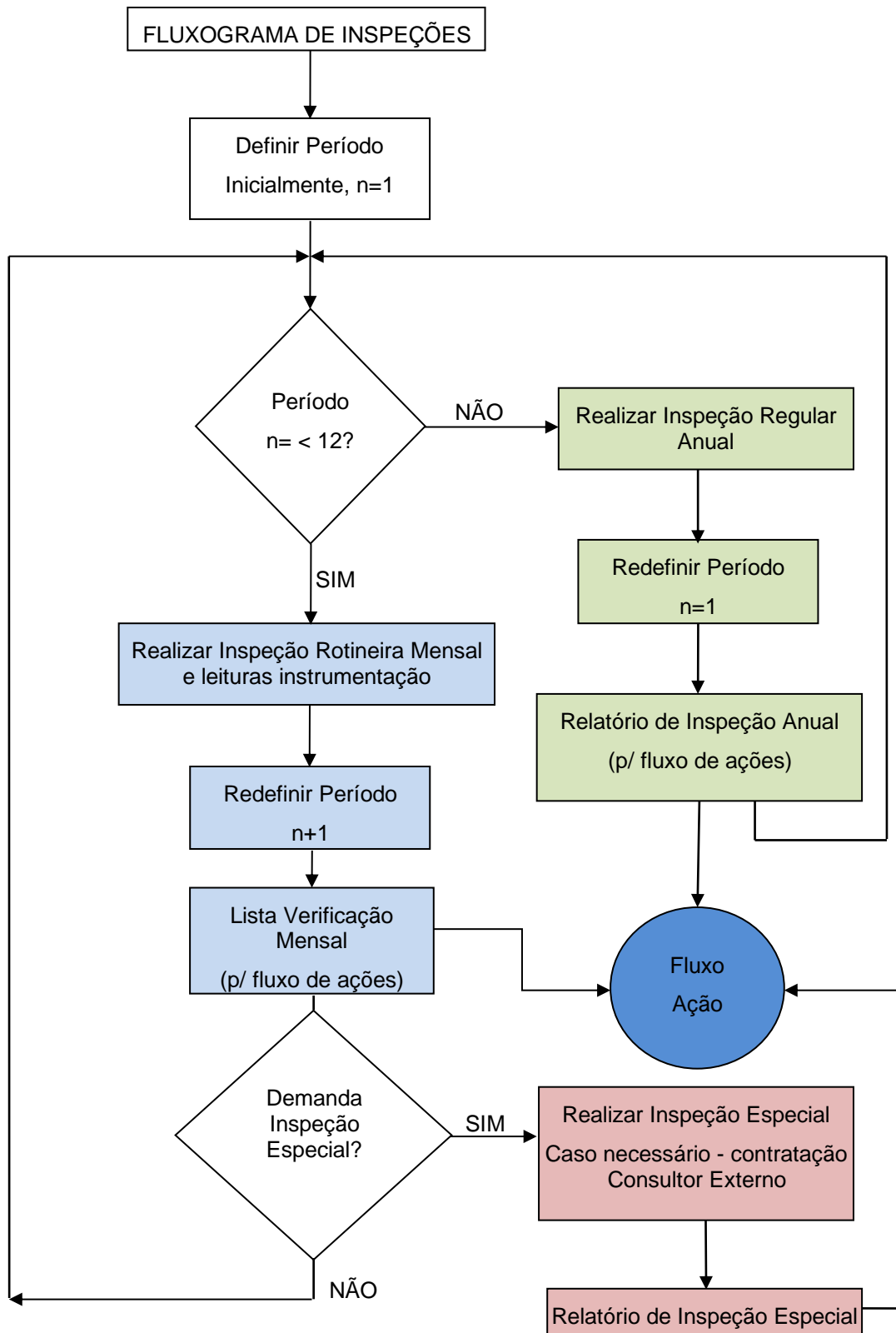
Nível de Segurança	Condições e Situações
<p>Nível Normal (VERDE)</p> <p>a) Operação normal das estruturas de descarga</p>	<p>a) Vertimentos até 74,05 m³/s (NA 460,00 a 461,20 m - TR 5 anos) – Realizar o monitoramento das precipitações, deplecionamento controlado e análise das previsões de chuva para controle do nível do reservatório.</p>
<p>Nível Atenção (AMARELO)</p> <p>a) Localidades com possibilidade de alagamento na ZAS</p>	<p>a) cheia de 74,06 até 89,82 m³/s (TR até 10 anos) – Aviso aos agentes externos da condição de enchente com possibilidade de alagamento em localidades do município (Distrito São João Prata).</p>
<p>Nível Alerta (LARANJA)</p> <p>a) Localidades com possibilidade de alagamento na ZAS</p> <p>b) Início Infiltração na Barragem com qualquer condição hidrológica</p>	<p>a) cheia de 89,82 até 139,14 m³/s (TR entre 10 e 100 anos) – Aviso aos agentes externos da condição de enchente com alagamento em localidades dos municípios (Vereda e Itamaraju);</p> <p>b) manutenção imediata para reduzir a infiltração ou recuperar o sistema de operação do vertedouro;</p>
<p>Nível Emergência 1 (VERMELHO CLARO)</p> <p>a) Localidades com alagamento municípios de jusante, abrir comportas da tomada d'água de modo aumentar capacidade de descarga, NA Máx Max. 462,44 m</p> <p>b) Infiltração sem controle ou nível do reservatório chegando no NA Máx Max com vertedouro sem condições de operação</p>	<p>a) cheia de 139,14 até 235,92 m³/s (até TR 10.000 anos) – Aviso aos agentes externos da condição de enchente com alagamento em localidades dos municípios (Vereda e Itamaraju);</p> <p>b) Infiltração sem controle na barragem/vertedouro → retirar pessoas dos pontos localizados na ZAS e atingidos de jusante;</p>
<p>Nível Emergência 2 (VERMELHO ESCURO)</p> <p>b) Ruptura está prestes a ocorrer, ocorrendo ou acabou de ocorrer com qualquer condição hidrológica.</p>	<p>Rompimento da Barragem com formação da onda de cheia com qualquer condição hidrológica → Aviso aos agentes externos da condição de ruptura iminente ou ocorrida e retirada dos atingidos de jusante localizados na ZAS e atingidos de jusante.</p>

a) nível de alerta devido as condições hidrológicas;

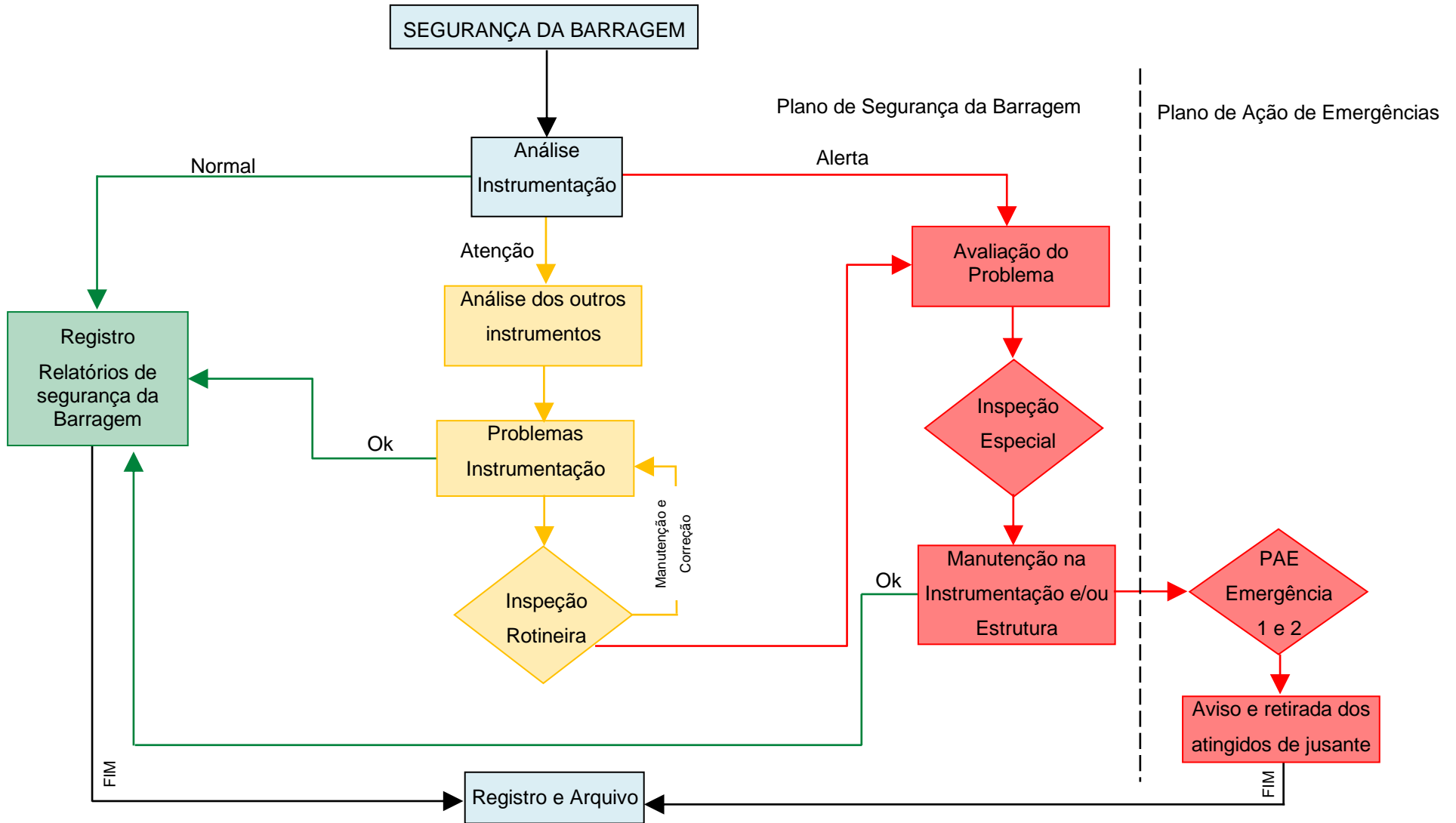
b) nível de alerta devido as condições da barragem ou sistema de operação do vertedouro.

EMERGÊNCIA 2 – A ruptura do barramento pode ocorrer em qualquer condição hidrológica formação de brecha ou em eventos extremos. O alerta aos órgãos responsáveis deve ser emitido assim que constatada a impossibilidade de reverter o problema possibilitando a retirada de todos os atingidos a jusante do barramento.

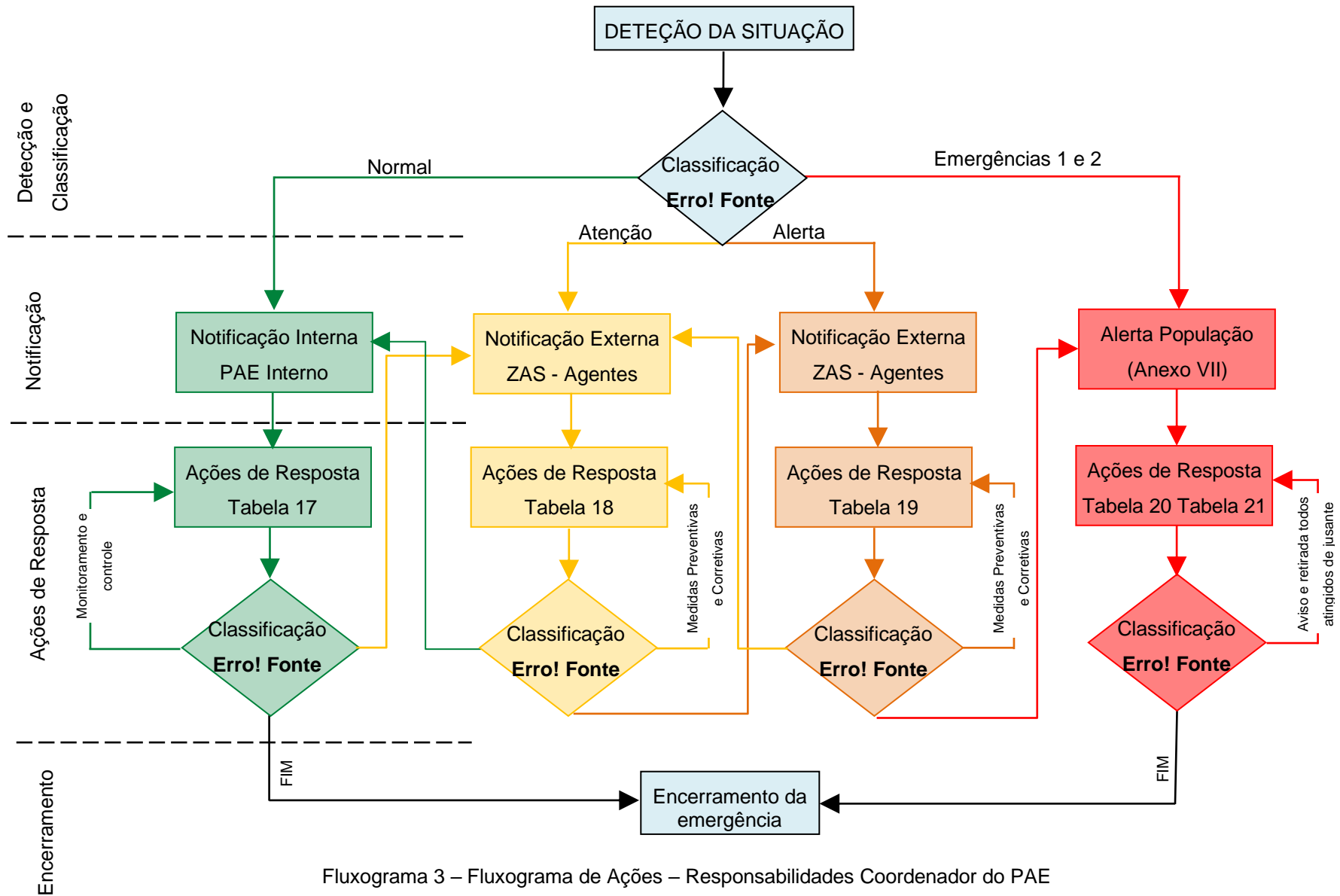
IMPORTANTE – A observação em campo de surgências de água na barragem, deve ser imediatamente informado ao supervisor e responsável técnico pelo segurança da barragem. Caso a barragem esteja em risco de colapso o reservatório deve ser rebaixado ao nível mínimo possível através das comportas das máquinas o que reduz substancialmente o impacto da onda de cheia em um eventual rompimento.



Fluxograma 1 – Fluxograma de Inspeções – n = mês



Fluxograma 2 – Fluxograma de Segurança da Barragem - manutenção da instrumentação e estruturas



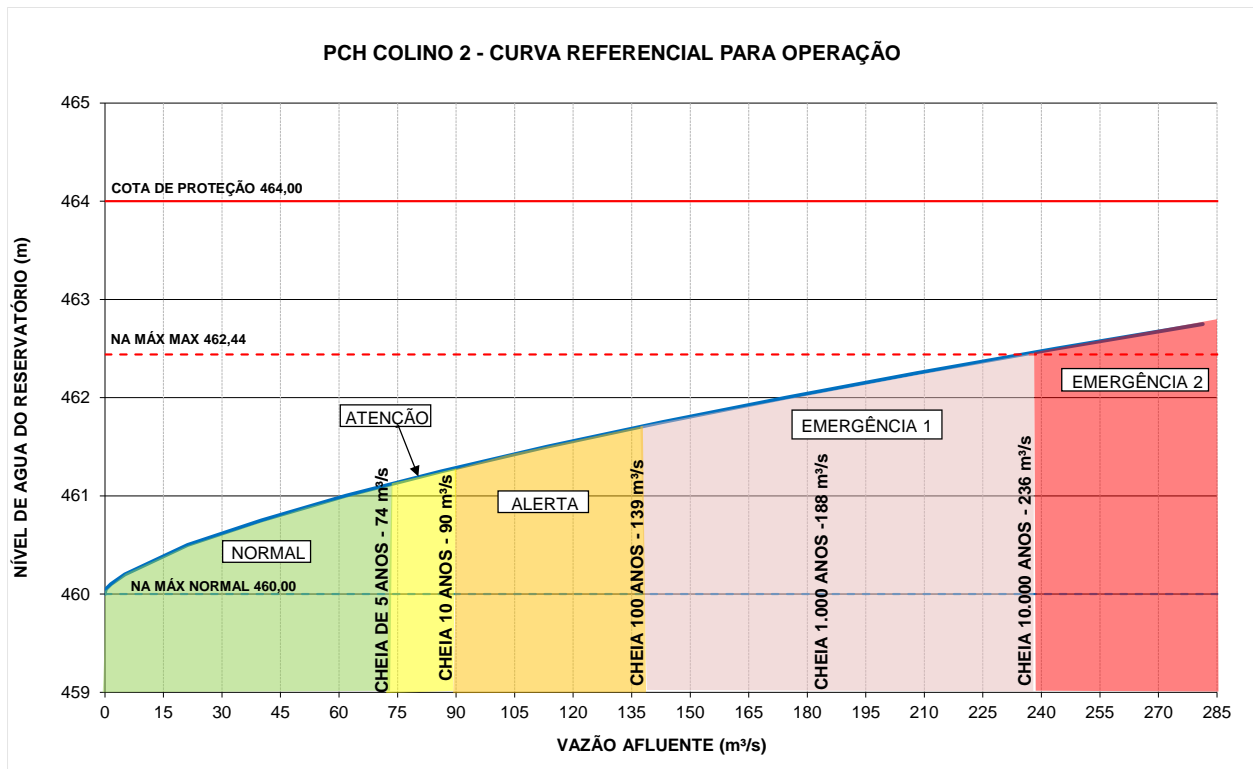
Fluxograma 3 – Fluxograma de Ações – Responsabilidades Coordenador do PAE

7.3 Sistema de monitoramento e controle de estabilidade da barragem

O sistema de monitoramento e controle de estabilidade da barragem é realizado pelos itens 7.1

- Condição Hidrológica e 7.2-Condição Estrutural já descritos acima e resumidos abaixo:

- Condição Hidrológica – será controlada no Barramento, deverá ser monitorado os níveis do reservatório com leitura da régua automatizada e/ou visual para observação de uma eventual anomalia com potencial ruptura da barragem. A Figura 28 apresenta as condições: Normal, Atenção, Alerta, Emergência 1 e 2.



- Condição Estrutural - A boa condição estrutural do barramento se dará pelo monitoramento das inspeções rotineiras, regulares e especiais. O item 7.2.1 apresenta sistema de monitoramento.

A tramitação das informações e análises da condição hidrológica e estrutural da Barragem está apresentado item 7.2.3.

8 RESPONSABILIDADES DE TODOS OS AGENTES ENVOLVIDOS

As possíveis consequências danosas que ocorrerem durante ou após uma situação de emergência as pessoas, as propriedades e a infraestrutura a jusante, não serão de responsabilidade dos encarregados desta operação se seguirem corretamente as regras operativas aprovadas.

Em situações de emergência, o processo de decisões sobre a operação do reservatório assumirá configuração descentralizada, que incluirá autoridade para mobilização de recursos humanos, materiais e financeiros.

O poder público, nos três diferentes níveis tem a responsabilidade de desenvolver ações e atividades de defesa civil, em situação de normalidade e anormalidade, garantindo o direito de propriedade e a incolumidade a vida, conforme a Lei Federal nº 895 de 16 de agosto de 1993.

Na falta de regulamentos ou reguladores governamentais, principalmente municipais, o proprietário da barragem deverá prever o seu desenvolvimento institucional em conjunto com os órgãos de Defesa Civil, Bombeiros e Prefeituras de modo a aprimorar o Plano de Ação de Emergências (PAE).

8.1 Agente Interno – ENERGÉTICA SERRA DA PRATA S. A.

O proprietário da Usina é a ENERGÉTICA SERRA DA PRATA S. A., e controla a operação da Usina.

Será de responsabilidade da Operadora:

- Correção de qualquer deficiência constatada;
- Operação segura e continuada, manutenção e inspeção das estruturas da Usina e do reservatório;
- Inspeção e manutenção nas estruturas civis da Usina;
- Preparação adequada para emergências, manutenção dos acessos, disponibilidade de equipes preparadas bem como de equipamentos;
- Manutenção dos meios de comunicação prevendo sempre alternativas devido a possíveis falhas que são comuns em emergências;
- Manter observação sobre todas as estruturas da usina, principalmente nas mais distantes, contra possíveis ações predatórias de terceiros, incluindo animais;
- Providenciar a elaboração e atualizar o PAE;
- Promover treinamentos internos e manter os respectivos registros das atividades;
- Detectar, avaliar e classificar as situações de emergência em potencial, de acordo com os níveis de resposta;
- Declarar situação de emergência e executar as ações descritas no PAE;

- Executar as ações previstas no fluxograma de notificação;
- Alertar a população potencialmente afetada na ZAS;
- Notificar as autoridades públicas em caso de situação de emergência;
- Emitir declaração de encerramento da emergência;
- Providenciar a elaboração do relatório de encerramento de eventos de emergência.

8.2 Agentes Externos

Os agentes externos diretos serão Defesa Civil do Estado da Bahia, Corpo de Bombeiros do Estado da Bahia e dos municípios de jusante, Polícia Militar e Civil e, Secretaria da Saúde dos municípios atingidos de jusante todos no estado de Bahia.

8.2.1.1 Sistema De Proteção E Defesa Civil

A Lei nº 12.608/2012¹ criou a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), visando uma atuação conjunta entre a União, Estados, Distrito Federal e Municípios, com uma abordagem sistêmica de ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação de áreas onde possa acontecer ou já tenha ocorrido desastres de grandes proporções na população brasileira.

Tal legislação dispôs sobre o SINPDEC (Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil), que é composto pela administração pública da União, Estados, Distrito Federal e Municípios, bem como por entidades da sociedade civil responsáveis pelas ações de Defesa Civil no país.

O SINPDEC atua na prevenção de desastres, mitigação de riscos, preparação, resposta e recuperação por meio dos seguintes agentes em suas respectivas escalas de atuação:

- Federal: Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC), pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) e pelo Centro Nacional de Gerenciamento de Desastres (CENAD);
- Estadual: Coordenadorias Estaduais de Defesa Civil (CEDEC) e Coordenadorias Regionais de Defesa Civil (REPDEC) que comportam diversos órgãos estaduais como polícia militar e o Corpo de Bombeiros;
- Municipal: Comissões Municipais de Defesa Civil (COMDEC) que comportam diversos órgãos da administração pública municipal, como secretarias de saúde, subprefeituras, serviços de água e esgoto.

¹ Atualizada pela Lei Federal nº 14.066/2020.

Nesse contexto, conforme disposto pela ABRAGE (2017) e ABRAGE (2018), o PAE é um documento que deve ser compatibilizado pelo Ente Federado no Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil Municipal.

Para a Zona de Autossalvamento, isso se deve por meio das seguintes ações²:

- Estabelecimento, em conjunto com o empreendedor, de estratégias de comunicação e de orientação à população potencialmente afetada na ZAS;
- Participação de simulações de situações de emergência, em conjunto com o empreendedor, prefeituras e população potencialmente afetada na ZAS.

Fora da Zona de Autossalvamento (ZAS), denominada Zona de Segurança Secundária (ZSS), o alerta antecipado compete aos Serviços Municipais de Proteção Civil e Entes Federados, sendo estes responsáveis pelas ações de aviso, mobilização, treinamento e evacuação da população residente em áreas potencialmente afetadas, conforme Lei nº 12.608/2012, Lei nº 14.066/2020.e Decreto nº 8.572/2015.

Contudo, o § 6º do Art. 12º da Lei nº 14.066/2020, salienta que o empreendedor deverá estender os elementos de autoproteção existentes na ZAS aos locais habitados da ZSS nos quais os órgãos de proteção e defesa civil não possam atuar tempestivamente em caso de vazamento ou rompimento da barragem. Isso deve ser alinhado com as Defesa Civil e demais órgãos.

8.2.1.1.1 Defesa Civil

As atribuições de Defesa Civil (Estadual e Municipal) de acordo Lei 12.608/2012, artigos 5º, 7º e 8º são:

Art. 5º - São objetivos da PNPDEC (Política Nacional de Proteção e Defesa Civil):

- I - reduzir os riscos de desastres;*
- II - prestar socorro e assistência às populações atingidas por desastres;*
- III - recuperar as áreas afetadas por desastres;*
- IV- incorporar a redução do risco de desastre e as ações de proteção e defesa civil entre os elementos da gestão territorial e do planejamento das políticas setoriais;*
- V- promover a continuidade das ações de proteção e defesa civil;*
- VI- estimular o desenvolvimento de cidades resilientes e os processos sustentáveis de urbanização;*
- VII- promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência;*
- VIII- monitorar os eventos meteorológicos, hidrológicos, geológicos, biológicos, nucleares, químicos e outros potencialmente causadores de desastres;*

² Nota Técnica nº 59/2013-SFG/ANEEL, ABRAGE, 2017, e ABRAGE, 2018.

- IX- produzir alertas antecipados sobre a possibilidade de ocorrência de desastres naturais;*
- X- estimular o ordenamento da ocupação do solo urbano e rural, tendo em vista sua conservação e a proteção da vegetação nativa, dos recursos hídricos e da vida humana;*
- XI- combater a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco e promover a realocação da população residente nessas áreas;*
- XII- estimular iniciativas que resultem na destinação de moradia em local seguro;*
- XIII - desenvolver consciência nacional acerca dos riscos de desastre;*
- XIV- orientar as comunidades a adotar comportamentos adequados de prevenção e de resposta em situação de desastre e promover a autoproteção; e*
- XV- integrar informações em sistema capaz de subsidiar os órgãos do SINPDEC na previsão e no controle dos efeitos negativos de eventos adversos sobre a população, os bens e serviços e o meio ambiente.*

Art. 7º - Compete aos Estados:

- I - executar a PNPDEC em seu âmbito territorial;*
- II - coordenar as ações do SINPDEC em articulação com a União e os Municípios;*
- III - instituir o Plano Estadual de Proteção e Defesa Civil;*
- IV - identificar e mapear as áreas de risco e realizar estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades, em articulação com a União e os Municípios;*
- V - realizar o monitoramento meteorológico, hidrológico e geológico das áreas de risco, em articulação com a União e os Municípios;*
- VI - apoiar a União, quando solicitado, no reconhecimento de situação de emergência e estado de calamidade pública;*
- VII - declarar, quando for o caso, estado de calamidade pública ou situação de emergência; e*
- VIII - apoiar, sempre que necessário, os Municípios no levantamento das áreas de risco, na elaboração dos Planos de Contingência de Proteção e Defesa Civil e na divulgação de protocolos de prevenção e alerta e de ações emergenciais.*

Art. 8º - Compete aos Municípios:

- I - executar a PNPDEC em âmbito local;*
- II - coordenar as ações do SINPDEC no âmbito local, em articulação com a União e os Estados;*
- III - incorporar as ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal;*
- IV - identificar e mapear as áreas de risco de desastres;*
- V - promover a fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas;*
- VI - declarar situação de emergência e estado de calamidade pública;*
- VII - vistoriar edificações e áreas de risco e promover, quando for o caso, a intervenção preventiva e a evacuação da população das áreas de alto risco ou das edificações vulneráveis;*

- VIII - organizar e administrar abrigos provisórios para assistência à população em situação de desastre, em condições adequadas de higiene e segurança;*
- IX - manter a população informada sobre áreas de risco e ocorrência de eventos extremos, bem como sobre protocolos de prevenção e alerta e sobre as ações emergenciais em circunstâncias de desastres;*
- X - mobilizar e capacitar os radioamadores para atuação na ocorrência de desastre;*
- XI - realizar regularmente exercícios simulados, conforme Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil;*
- XII - promover a coleta, a distribuição e o controle de suprimentos em situações de desastre;*
- XIII - proceder à avaliação de danos e prejuízos das áreas atingidas por desastres;*
- XIV - manter a União e o Estado informados sobre a ocorrência de desastres e as atividades de proteção civil no Município;*
- XV - estimular a participação de entidades privadas, associações de voluntários, clubes de serviços, organizações não governamentais e associações de classe e comunitárias nas ações do SINPDEC e promover o treinamento de associações de voluntários para atuação conjunta com as comunidades apoiadas; e*
- XVI - prover solução de moradia temporária às famílias atingidas por desastres.*

8.2.1.1.2 Corpo de Bombeiros

Decreto Federal n.º 7.163, de 29 de abril de 2010, que regulamenta o inciso I do art. 10-B da Lei nº 8.255, de 20 de novembro de 1991, que dispõe sobre a organização básica do CBMDF, estabelece:

Art. 2º Compete ao Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal:

- I - realizar serviços de prevenção e extinção de incêndios;*
- II - realizar serviços de busca e salvamento;*
- III - realizar perícias de incêndio relacionadas com sua competência;*
- IV - prestar socorro nos casos de sinistros, sempre que houver ameaça de destruição de haveres, vítimas ou pessoas em iminente perigo de vida;*
- V - realizar pesquisas técnico-científicas, com vistas à obtenção e ao desenvolvimento de produtos e processos voltados para a segurança contra incêndio e pânico;*
- VI - realizar atividades de segurança contra incêndio e pânico, com vistas à proteção das pessoas e dos bens públicos e privados;*
- VII - executar atividades de prevenção aos incêndios florestais;*
- VIII - executar atividades de defesa civil;*
- IX - executar as ações de segurança pública que lhe forem cometidas pelo Presidente da República, em caso de grave comprometimento da ordem pública e durante a vigência de estado de defesa, de estado de sítio e de intervenção no Distrito Federal;*

X - executar ações de emergência médica em atendimento pré-hospitalar e socorros de urgência;

XI - desenvolver na comunidade a consciência para os problemas relacionados com incêndios, acidentes em geral e pânico;

XII - promover e participar de campanhas educativas direcionadas à comunidade em sua área de atuação; e

XIII - fiscalizar, na área de sua competência, o cumprimento da legislação referente à prevenção contra incêndio e pânico.

8.3 Atribuições Conjuntas entre a Usina e Agentes Externos

8.3.1 1º Etapa - Protocolo PAE aos Agentes Externos

Após o término do Plano de Ação de Emergência, deverá ser protocolado o novo Plano de Ação de Emergências de modo agentes externos tomarem conhecimento. Importante entregar apresentação constante no Anexo IX.

Esta apresentação deverá verificar a detecção da emergência, a tomada de decisão, os meios de comunicação, o fluxo de informação, o tempo de mobilização e os equipamentos, infraestrutura e pessoal disponível. Esta apresentação está no Anexo IX.

8.3.2 2º Etapa - Cadastro e mapeamento da população existente na ZAS

Já foi elaborado o cadastro da ZAS pela empresa Azurit, apresentado no Anexo VIII – 3 Cadastro da ZAS.

8.3.3 Etapas Posteriores – Articulação com agentes externos após cadastro ZAS

Deverá ser agendado nova reunião, logo após protocolo novo PAE, com agentes externos: prefeitura e corpo de bombeiros, para definição das próximas etapas:

- Definição do Sistema sonoro em caso de emergências.
- Programa de treinamento e divulgação para envolvidos na ZAS atingidos. Importante as prefeituras envolvidas terem o Plano de contingências implantado para realização das ações junto com comunidade (Anexo XII).
- Medidas Especificas, em articulação com poder público, para resgate das pessoas;
- Dimensionamento dos recursos humanos e materiais necessários em caso emergências;
- Plano de comunicação a ser elaborado em conjunto com agentes externos (Anexo XIII);
- Definição in loco com agentes externos das rotas de fuga e pontos de encontro na ZAS, bem como a Instalação das placas de rotas de fuga e pontos de encontros na ZAS, de acordo com modelo Anexo VII – subitens 3 e 4;
- Implementar e Operacionalizar o PAE com realização de simulado com agentes externos e ZAS.

9 PROGRAMA DE AÇÕES PREVENTIVAS, TÃO LOGO IDENTIFICADAS SITUAÇÕES EMERGÊNCIAIS

Ações preventivas devem ser iniciadas de maneira apropriada, para prevenir a ruptura ou para limitar danos onde a ruptura for inevitável.

Neste item serão descritas as providências a serem tomadas nas diversas situações, para as quais os sistemas de comunicação deverão ser operados continuamente, 24h por dia, 7 dias por semana. Os operadores e demais responsáveis deverão poder ser encontrados em qualquer tempo. As demais entidades envolvidas também devem manter a capacidade de mobilização.

As condições de operação do reservatório serão monitoradas diretamente pela equipe da operação da Usina, continuamente, 24h por dia, 7 dias por semana.

As condições das estruturas do barramento e dos vertedouros também serão monitoradas através de inspeções: rotineiras e/ou remotas pela equipe da Usina, programadas pela equipe de inspeção e de emergências.

Os mapas de inundação foram elaborados com a utilização de restituição no trecho de jusante da Barragem, podendo ocorrer um erro nas elevações de até 1,00 m. Como sistema de prevenção aos moradores de jusante da barragem os mesmos devem ser avisados a partir de cheias de 10 anos para evacuação da área em casa de enchentes e com risco de rompimento da Barragem.

Conforme a Figura 28 – Níveis de Segurança e Risco de Ruptura e a Tabela 16 – Níveis de Segurança e risco Ruptura, do item 7 as situações serão classificadas como:

9.1 Situação Normal (VERDE)

Tabela 17 – Ações de resposta (Normal)

VERTIMENTOS até 74 m³/s (NA entre 460 a 461,20) TR 5 anos		
Prioridade	Ação	Responsabilidade
1	Observar a pluviometria da região e os dados Geração se indicam aumentos de vazão afluente.	Operação
2	Realizar inspeção regular/rotineira no barramento e vertedouro buscando observar alguma anomalia na estrutura. Realizar leituras da instrumentação.	Operação
3	Caso ocorra uma diminuição brusca do nível do reservatório e/ou seja detectado vazamento ou problema na barragem com potencial de ruptura, deverá ser acionado Responsável pela Segurança da Barragem para verificação do Problema, podendo ser acionada EMERGÊNCIA 1 e caso não solucionado EMERGÊNCIA 2 .	Operação

9.2 Situação Atenção (AMARELO)

Tabela 18 – Ações de resposta (Atenção)

VERTIMENTOS de 74 até 90 m ³ /s – TR até 10 ANOS		
Prioridade	Ação	Responsabilidade
1	Observar a pluviometria da região e os dados Geração se indicam aumentos de vazão afluente.	Operação
2	Realizar inspeção rotineira (equipe interna de segurança da Barragem) no barramento e nível do barramento buscando observar alguma anomalia na estrutura que necessite reparo. Realizar leituras da instrumentação.	Operação
3	Aviso aos agentes externos da condição de enchente com possibilidade de alagamento em localidades do município (Distrito São João Prata), podendo ocorrer aumento de acordo com previsão pluviométrica.	Coordenador PAE
4	Caso ocorra uma diminuição brusca do nível do reservatório e/ou seja detectado vazamento ou problema na barragem com potencial de ruptura, deverá ser acionado Responsável pela Segurança da Barragem para verificação do Problema, podendo ser acionada EMERGÊNCIA 1 e caso não solucionado EMERGÊNCIA 2 .	Operação

9.3 Situação de Alerta (LARANJA)

Tabela 19 – Ações de resposta (Alerta)

VERTIMENTOS de 90 até 139 m ³ /s – TR entre 10 e 100 anos		
Prioridade	Ação	Responsabilidade
1	Observar a pluviometria da região e os dados Geração se indicam aumentos de vazão afluente.	Operação
2	Realizar inspeção rotineira (equipe interna de segurança da Barragem) no barramento e nível do barramento buscando observar alguma anomalia na estrutura que necessite reparo. Realizar leituras da instrumentação.	Operação
3	Cheia - Aviso aos agentes externos da condição de enchente com alagamento em localidades dos municípios (Vereda e Itamaraju) para que mesmo possam retirar a população das áreas de alague, manter o controle nos sistemas de monitoramento e previsão de chuvas.	Coordenador PAE
4	Caso ocorra uma diminuição brusca do nível do reservatório e/ou seja detectado vazamento ou problema na barragem com potencial de ruptura, deverá ser acionado Responsável pela Segurança da Barragem para verificação do Problema, podendo ser acionada EMERGÊNCIA 1 e caso não solucionado EMERGÊNCIA 2 .	Operação
5	Após a condição de enchente (>100 anos) deverá ser realizada uma inspeção de segurança regular completa no barramento e no vertedouro para verificar as condições gerais da estrutura civil.	Resp. Seg. Barragem e equipe de segurança da Barragem

9.4 Situação de Emergência 1 (VERMELHO CLARO)

Tabela 20 – Ações de resposta (Emergência 1)

VERTIMENTOS de 139 até 236 m ³ /s – > TR entre 100 e 10.000 anos		
Prioridade	Ação	Responsabilidade
1	Observar a pluviometria da região e os dados Geração se indicam aumentos de vazão afluente.	Operação
2	Avaliar Instrumentação da Barragem, valores de referência para condição do instrumento.	Resp. Seg. Barragem e/ou consultor externo
3	Realizar inspeção rotineira (equipe interna de segurança da Barragem) no barramento e nível do barramento buscando observar alguma anomalia na estrutura que necessite reparo.	Operação
4	Acionar sistema de alerta da ZAS conforme Plano de Comunicação.	Coordenador PAE
5	Cheia - Aviso aos agentes externos (defesa civil, corpo bombeiros e prefeituras) da condição de enchente com alagamento na ZAS para que mesmo possam retirar a população das áreas de alague, manter o controle nos sistemas de monitoramento e previsão de chuvas (Mapas de Inundação TR 10.000 anos.)	Coordenador PAE
6	Abrir comportas da tomada aumentar capacidade de descarga e modo baixar nível do reservatório	Operação
7	Caso ocorra uma diminuição brusca do nível do reservatório e/ou seja detectado vazamento ou problema na barragem com potencial de ruptura, deverá ser acionado Responsável pela Segurança da Barragem para verificação do Problema, podendo ser acionada EMERGÊNCIA 1 e caso não solucionado EMERGÊNCIA 2 .	Operação
8	Após a condição de enchente (TR entre 1.000 e 10.000 anos) deverá ser realizada uma inspeção especial no barramento e no vertedouro para verificar as condições gerais da estrutura civil.	Resp. Seg. Barragem/ equipe de segurança da Barragem e/ou consultor externo

9.5 Situação de Emergência 2 (VERMELHO ESCURO)

Tabela 21 – Ações de resposta (Emergência 2)

RUPTURA PRESTES A OCORRER, OCORRENDO OU ACABOU DE OCORRER COM QUALQUER CONDIÇÃO HIDROLÓGICA		
Prioridade	Ação	Responsabilidade
1	Acionar sistema de alerta da ZAS conforme Plano de Comunicação, acionar Sirenes	Coordenador PAE
2	Nesta situação a operadora deverá comunicar a defesa civil para a retirada da população atingida de jusante. Os Mapas de Inundação com Dam Break para os diversos tempos de recorrência devem servir de orientação para a retirada da população. Sempre com a maior antecedência possível. Utilizar mapas de rompimento TR 10.000 anos	Coordenador PAE

NA SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA 2 DEVERÃO SER AVISADOS E RETIRADOS TODOS OS ATINGIDOS DE JUSANTE BUSCANDO A SEGURANÇA DOS ATINGIDOS. A RETIRADA SE

DARÁ PELOS AGENTES EXTERNOS (DEFESA CIVIL, CORPO DE BOMBEIROS, POLÍCIA MILITAR, ETC).

10 PLANO DE EVACUAÇÃO

O estudo das áreas de risco de desastre permitiu a elaboração dos mapas temáticos, relacionados com a ameaça, vulnerabilidade e o risco de inundação, os quais servem de embasamento para a definição dos métodos a serem adotados para prevenir, preparar ou responder quando da ocorrência de grandes cheias ou rompimento da barragem.

Os estudos indicaram que os níveis de água resultante do rompimento da Barragem da PCH Colino 2 são médios que os níveis de enchente sem rompimento, isso devido ao médio volume do reservatório (22 hm³). Como orientação ao sistema de prevenção, os moradores de jusante da barragem devem ser avisados a partir de enchentes de 10 anos e qualquer indício de possibilidade de rompimento da barragem para evacuação da área e Acessos.

Nos mapas de inundação, estão indicados os acessos/ estradas, bem como propriedades/construções atingidos com as condições de cheias ou rompimento para os tempos de recorrência estudados.

O principal do plano de evacuação é o “mapa de inundação”, no qual estão definidos os limites de proteção e segurança para os quais não se espera que o nível d’água seja ultrapassado, além de indicar os locais de concentração, rotas de fuga e os seja ultrapassado e os tempos disponíveis para atuação antes da chegada da onda de cheia.

No Plano de Evacuação também está definido a Zona de Autossalvamento (ZAS), ou seja, a região a jusante da barragem em que se considera não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em caso de acidente. Esta zona de Autossalvamento ficou definida com tempo da onda de 30 min, cerca de 4,60 km a partir da Barragem PCH Colino 2.

Este plano de evacuação deverá ser de conhecimento e auxílio aos agentes de Defesa Civil de modo a ter único documento, as informações necessárias para determinar as prioridades de evacuação, os pontos de envio de transporte, as medidas de controle de tráfego e vias a serem bloqueadas, estratégias de resgate e medidas de segurança nas áreas de inundação.

10.1 Estradas Atingidas

Nos mapas de inundação estão indicados os acessos atingidos com as condições de cheias ou rompimento para os tempos de recorrência estudados.

- Estradas Vicinais: Foram atingidas estradas vicinais em ambas as margens do rio, paralelos ao mesmo em diversos pontos para todos os tempos de recorrência.
- Pontes: atingidas com rompimento da barragem em qualquer condição hidrológica.

10.2 Propriedades Atingidas

As propriedades atingidas foram quantificadas de acordo com a Tabela 22 e com auxílio das imagens obtidas no levantamento topográfico da SAI. É importante ressaltar que algumas

propriedades ribeirinhas no distrito de São João da Prata também são atingidas na condição de enchentes a partir 10 anos, sem considerar o rompimento da barragem da PCH Colino 2.

Já a Tabela 12 apresenta detalhes dos níveis atingidos, tempos de onda, velocidade máxima atingida e vão máxima alcançada por seção de interesse em condições de enchente e em caso de rompimento da Barragem da PCH Colino 2. Como estão muito próximas da barragem, o tempo de chegada e de pico da onda nessas seções é bastante curto, sendo então necessária a evacuação desses locais o mais breve possível na ocorrência da **EMERGÊNCIA 2** com risco de rompimento da barragem.

Foram estimadas as propriedades atingidas sendo descritas conforme Tabela 22 a seguir.

Tabela 22 – Estimativa das propriedades atingidas – Rompimento TR 10.000 anos

BARRAGEM COLINO 2			
Infraestrutura e Edificações - DB 10.000			
Zona	Município	Margem Rio	Quantidade Propriedades Atingidas
Autossalvamento	Jucuruçu	Esquerda	1
	Itamaraju	Esquerda	0
	Vereda	Direita	1
Total ZAS			2
Segurança Secundária	Jucuruçu	Esquerda	0
	Itamaraju	Esquerda	189
	Vereda	Direita	153
Total ZSS			342
Total ZAS e ZSS			344

Todas as seções indicadas se referem a pontos estratégicos de infraestrutura a jusante do barramento da PCH Colino 2 e estão indicadas nos mapas de inundação. Nessas localidades podemos ter alagamentos devidos às cheias estudadas e/ou rompimento da barragem. Os Quadros a seguir indicam o resultado da simulação dos estudos para as seções de interesse onde ocorre inundação com propriedades atingidas.

Os mapas de inundação para QMLT e o tempos de recorrência de 10.000 anos estão apresentados no Anexo V – Mapas de Inundação, divididos nos seguintes desenhos:

- CL2-C-RDC1-001-00-24 – Mapa de Inundação – TR 10.000 Anos – Natural e Rompimento – Folhas 01 a 10.
- CL2-C-RDC2-001-00-24 – Mapa de Inundação – Dia de Sol QMLT – Natural e Rompimento – Folhas 01 a 10;

10.3 Zona de Autossalvamento – ZAS

A Zona de Autossalvamento (ZAS) é determinada como aquela região a jusante da barragem em que não há tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em caso de acidente (ANA, 2016). Neste sentido, considera-se que a ZAS é delimitada utilizando-se uma

distância de 10 km a jusante da barragem ou a distância que corresponde a um tempo de chegada de onda de inundação igual a trinta minutos, sendo considerado sempre o ponto menor entre os dois critérios.

Essa área é chamada de Zona de Autossalvamento (ZAS), pois em caso de rompimento não há tempo hábil para a chegada de socorro sendo que a população atingida deve sair da área de risco por conta própria mediante aviso de emergência.

No estudo de rompimento da barragem da PCH Colino 2 o local do limite da ZAS se encontra a 30 min da onda, ou seja, 4,60 km da barragem, sendo nesse caso adotado o critério de distância para a pior condição de estudo que é o rompimento da capacidade extrema do Vertedouro com a cheia de 10.000 anos.

Dentro da ZAS existem (01) Casa de Força e (01) Escola no vale a jusante que poderão ser afetadas pela onda de cheia no caso de uma ruptura da barragem. O Tabela 23 apresenta a localização e principais características das seções dentro da ZAS.

Tabela 23 – Características das infraestruturas/edificações localizadas na ZAS da barragem

BARRAGEM COLINO 2					
Infraestrutura e Edificações na ZAS					
Denominação	Descrição	Coordenada geográfica Latitude	Coordenada geográfica Longitude	Distância do barramento (Km)	Cota DB (m) - TR 10.000 anos
SL-01	Jusante Barragem Colino 2	17° 4'16.37"S	40° 6'21.20"O	0,15	433,76
SL-02	Seção Intermédiana - Colino 2	17° 3'55.33"S	40° 5'44.95"O	1,50	347,76
SL-03	Escola Margem esquerda	17° 3'38.96"S	40° 5'16.91"O	2,61	279,14
SL-04	Casa de Força Colino 2	17° 4'8.73"S	40° 5'18.46"O	3,66	264,57
SL-05	Barragem PCH Colino 1 e Limite ZAS	17° 4'31.86"S	40° 5'7.35"O	4,64	262,50

Próximas às propriedades atingidas, foram sugeridas e identificadas rotas de fuga e pontos de encontro, que deverão ser confirmadas por autoridades competentes *in loco* (Empreendedor e Defesa Civil). As rotas de fuga foram sugeridas até onde não há o risco de inundação e deverão ser definidas como ponto de encontro da população residente na zona de autossalvamento.

A população dessas áreas deve ser orientada a se locomover e a identificar as rotas de fuga em caso de situação de emergência com risco de rompimento da barragem, sendo que esse deslocamento deve ser considerado como realizado por meios próprios e de maneira mais rápida possível mediante o aviso a ser implantado identificando a emergência.

As edificações atingidas e as áreas de fuga estão identificadas nos Mapas Zona de Autossalvamento:

- CL2-C-ZAS-001-00-24 – Zona de Autossalvamento – Rompimento – TR 10.000 Anos – Folha 01.

Os mapas da ZAS estão apresentados no Anexo VI – Zona de Autossalvamento.

10.4 Resumo Plano de Evacuação – Risco Hidrodinâmico

Este resumo será definido o plano de evacuação que será utilizado aos agentes externos, como Defesa Civil de modo a ter único documento, as informações necessárias para determinar as prioridades de evacuação, os pontos de envio de transporte, as medidas de controle de tráfego e vias a serem bloqueadas, estratégias de resgate e medidas de segurança nas áreas de inundação.

O risco hidrodinâmico foi obtido diretamente do processamento da mancha de inundação provocada pelo rompimento da barragem para a ocorrência de uma TR 10.000 anos, sendo obtido pela relação Profundidade x Velocidade da onda de inundação de acordo com as cotas do terreno, e seguirá a legenda da Tabela 14 apresentado no Item 5.5.1 para elaboração do mapa de Risco Hidrodinâmico.

No Mapa do Risco hidrodinâmico do Anexo VII – Risco Hidrodinâmico, apresenta detalhes das consequências, onde foi possível avaliar pontos atingidos para a TR 10.000 anos.

Abaixo será apresentado uma tabela resumo dos pontos atingidos, indicando zona de autossalvamento (ZAS) e zona de segurança secundária (ZSS). Nesta tabela estará apresentado pontos atingidos (estradas, rodovias, propriedades, etc) com informações necessárias como:

- **ZAS – Zona de Autossalvamento:** Responsabilidade de alerta do empreendedor;
- **ZSS – Zona de Segurança Secundária:** Responsabilidade de alerta dos agentes externos;
- **Seção de Interesse:** Seção atingida bem como distância da Barragem;
- **Níveis de água:** Normal (nível atingido somente com enchente), Rompimento (nível atingido – rompimento + enchente), altura da onda de inundação;
- **Início da Onda:** tempo do início da inundação após rompimento da Barragem;
- **Pico da Onda:** tempo do nível máximo da onda de inundação atingido após o rompimento da barragem;
- **Duração:** tempo necessário para rio voltar a condição normal, ou seja, dissipação da onda de rompimento;
- **Velocidade Máxima:** necessário para estimativa do risco hidrodinâmico;
- **Vazão máxima:** necessário para comportamento hidrodinâmico;
- **Risco Hidrodinâmico:** relação altura onda x velocidade máxima;

Tabela 24 – Resumo do Plano de Evacuação

Seções de Interesse			Distância da Barragem Colino 2 (m)	RDC01 - TR 10.000 ANOS								Risco Hidrodinâmico (m²/s)
				Nível de água (m)			Tempo (hh:mm)			Velocidade Máx. (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)	
				Normal	Rompimento	Máxima Onda	Δ Início Onda	Δ Pico Onda	Duração			
Barragem Colino 2 - Tempo após Rompimento												
ZAS	SL-01	Jusante Barragem Colino 2	145	430,00	433,76	3,75	00:20	01:20	07:15	11,01	2.200,94	
	SL-02	Seção Intermédiana - Colino 2	1496	343,90	347,76	3,87	00:20	01:20	06:25	12,11	2.141,61	
	SL-03	Escola Margem esquerda	2611	276,15	279,14	3,00	00:25	01:25	05:45	11,45	2.163,42	< 0,5
	SL-04	Casa de Força Colino 2	3664	260,40	264,57	4,17	00:25	01:25	04:25	3,13	2.151,92	3-7
	SL-05	Barragem PCH Colino 1 e Limite ZAS	4636	259,98	262,50	2,52	00:30	01:25	02:00	4,00	2.179,91	>7
ZSS	SL-06	Jusante Barragem Colino 1	4676	250,44	255,01	4,57	00:35	01:30	07:10	7,80	2.179,55	
	SL-07	Seção Intermédiana - Colino 1	5949	135,14	137,85	2,71	00:45	01:30	04:40	16,58	2.147,80	
	SL-08	Casa de Força Colino 1	6317	121,08	125,12	4,04	00:40	01:35	06:30	3,56	2.142,58	1-3
	SL-12	Junção Rio Colino e Jucuruçu	6349	121,04	125,06	4,02	00:40	01:35	06:30	4,13	2.294,23	
	SL-13	Centro Operação - Espra e Propriedades MD	6421	120,96	124,91	3,95	00:45	01:35	06:20	5,02	2.286,88	3-7
	SL-14	Ponte	7799	119,16	122,12	2,96	00:50	01:45	05:30	4,31	2.221,68	1-3
	SL-15	Propriedade ME	9014	117,90	120,87	2,97	01:00	01:50	05:45	1,53	2.123,67	< 0,5
	SL-16	Propriedade MD	10297	117,08	119,62	2,55	01:10	02:00	05:35	1,38	2.044,10	0,5 -1
	SL-17	Propriedade MD	12075	115,82	118,32	2,54	01:25	02:30	06:35	1,58	1.933,20	< 0,5
	SL-18	Propriedade MD	13008	115,61	118,14	2,54	01:30	02:35	06:50	1,95	1.812,17	3-7
	SL-19	Propriedade MD	13853	115,43	117,96	2,53	01:35	02:35	06:55	0,92	1.623,77	0,5 -1
	SL-20	Propriedade MD	14847	115,43	117,96	2,53	01:35	02:40	07:00	1,11	1.653,37	0,5 -1
	SL-21	Propriedade MD	15972	114,99	117,44	2,46	01:40	02:45	06:55	3,23	1.628,43	< 0,5
SL-22	Início Distrito de São João da Prata	20820	113,53	115,65	2,12	02:05	03:30	06:50	1,00	1.423,01	3-7	
SL-23	Ponte Distrito de São João da Prata	21230	113,30	115,52	2,22	02:10	03:30	07:05	3,10	1.404,87	3-7	

Seções de Interesse			Distância da Barragem Colino 2 (m)	RDC01 - TR 10.000 ANOS								
				Nível de água (m)			Tempo (hh:mm)			Velocidade Máx. (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)	Risco Hidrodinâmico (m²/s)
				Normal	Rompimento	Máxima Onda	Δ Início Onda	Δ Pico Onda	Duração			
Barragem Colino 2 - Tempo após Rompimento												
SL-24	Final Distrito de São João da Prata	21422	113,09	115,38	2,28	02:10	03:35	07:25	1,73	1.394,39	1-3	
SL-25	Início Distrito de São José do Pardo	35102	104,04	105,98	1,94	03:45	05:55	08:30	1,11	1.165,65	< 0,5	
SL-26	Final Distrito de São José do Pardo	35698	103,90	105,84	1,95	03:50	06:00	08:30	1,12	1.165,65	0,5 -1	
SL-27	Fim do Modelo - Limite ZSS	45974	69,21	70,14	0,93	05:20	06:40	04:25	1,49	1.122,88		

Tabela 25 – Legenda para Risco Hidrodinâmico

Risco Hidrodinâmico (m²/s)	Consequências
< 0,5	Crianças e deficientes são arrastados
0,5 -1	Adultos são arrastados
1-3	Danos de submersão em edifícios e estruturas em casas fracas
3-7	Danos estruturais em edifícios e possível colapso
>7	Colapso de certos edifícios

11 FLUXO DE INFORMAÇÃO E ACIONAMENTO

11.1 Meios de Comunicação – Sistema Sonoro

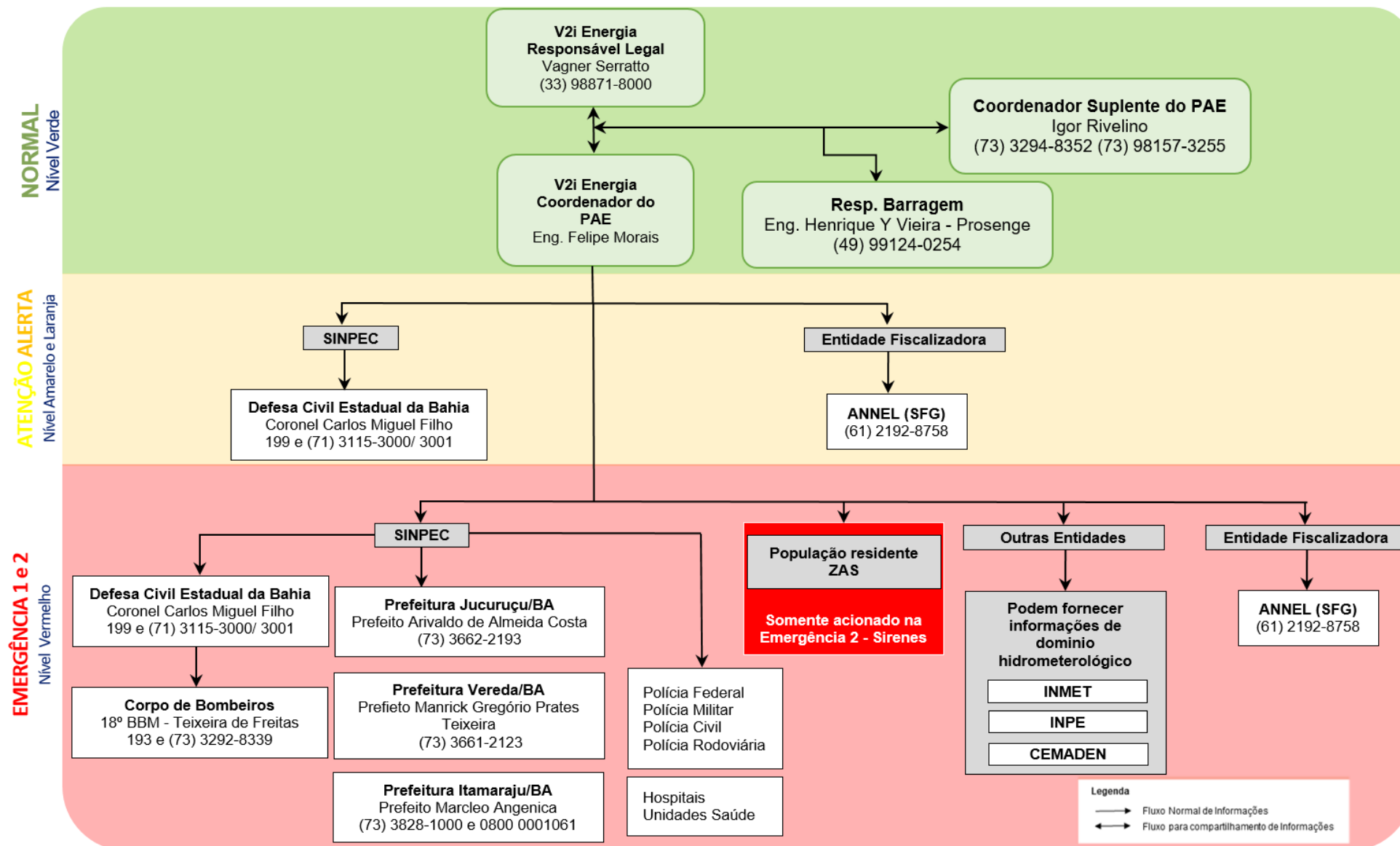
O acionamento de emergências será realizado através de telefone com a Defesa Civil do Estado da Bahia, bem como com a Defesa Civil municipal de Teixeira de Freitas, Corpo de Bombeiros, Polícia Militar, e Prefeitura dos municípios de Jucuruçu, Vereda e Itamaraju (atingidos).

Foi elaborado o Plano de comunicação com comunidade de jusante em caso de emergência, principalmente na Zona de Autossalvamento em conjunto com órgãos externos. Este sistema será definido em conjunto com Prefeitura/Corpo de Bombeiros após o cadastro da população na ZAS e irá prever meios de comunicação tipo:

- sistema alerta principal por Sirenes na ZAS (a ser instalado);
- sistema secundário rádio comunicador Walk Talk no trecho ZAS;
- sistema terciário a partir de contato telefônico/mensagem com ZAS.

11.2 Acionamento em Caso de Emergências

O acionamento em caso de emergência dos agentes envolvidos se dará pelo Fluxograma 4 que mostra a sequência de tramitação das informações. Este fluxograma apresenta o responsável pelo acionamento, Gerência Operação e ENERGÉTICA SERRA DA PRATA S.A., e os agentes externos envolvidos, Defesa Civil do estado da bahia, bem como Corpo de Bombeiros, Polícia Militar, e Prefeitura dos municípios de Jucuruçu, Vereda e Itamaraju (atingidos).



Fluxograma 4 – Acionamento emergências

Este fluxograma está apresentado no Anexo VIII – subitem 2 e deverá ficar na Usina em local de fácil visualização em caso de emergência com o contato dos atingidos para evacuação da área em casos extremos.

Este fluxograma deverá ser acionado nas seguintes hipóteses:

- Cheias ocorridas a partir do **tempo de recorrência de 10 anos**, ou seja, **vazão afluyente maior que 90 m³/s**, juntamente com aumento da Pluviometria na região. Nesta condição agentes externos deverão ser avisadas das enchentes para controle das emergências;
- Vazamento na Barragem sem controle com risco de colapso ou rompimento.

Como o risco de galgamento da barragem da PCH Colino 2 em condições normais de operação é baixo, quase nulo, a segurança da estrutura depende da qualidade do monitoramento e da agilidade na recuperação de eventuais danos estruturais.

O rebaixamento do reservatório é uma condição possível de ser realizada (em condições hidrológicamente favoráveis) até o limite imposto pelas comportas da Tomada de Água. Esse procedimento reduz de maneira substancial os danos a jusante decorrentes do rompimento da barragem devido a redução do volume do reservatório.

É um procedimento que pode ser realizado com segurança permitindo também a redução dos esforços sobre o barramento facilitando trabalhos de recuperação da estrutura.

11.3 Programa de treinamento e divulgação para envolvidos e para Balneário atingido (ZAS)

Importante as prefeituras envolvidas terem o Plano de contingências implantado para realização das ações junto com comunidade. Porém no Anexo XII está apresentada algumas referências de meios de divulgação aos atingidos na Zona de Autossalvamento, no caso, somente Escola no município de Jucuruçu/BA.

11.4 Medidas Especificas, em articulação com poder público, para resgate das pessoas

O resgate de pessoas será somente na escola que está dentro da ZAS.

Logo, é recomendado somente instalação das rotas de fuga, do ponto de encontro e sistema sonoro de alerta, conforme já detalhado no item 11.1.

11.5 Dimensionamento dos recursos humanos e materiais necessários em caso emergências

Será utilizado sistema de acionamento definido no Plano de Comunicação e eventuais necessidade de acordo com simulado.

11.6 Plano de comunicação

O plano de comunicação está detalhado no Anexo XIII.

11.7 Definição in loco com agentes externos das rotas de fuga e pontos de encontro na ZAS

Após definição do Plano de Comunicação com agentes externos, será instalado as placas de rotas de fuga e pontos de encontros na ZAS, de acordo com modelo Anexo VII – subitens 3 e 4 5.

12 FORMULÁRIOS DE DECLARAÇÃO DE INÍCIO DA EMERGÊNCIA, DE DECLARAÇÃO DE ENCERRAMENTO DA EMERGÊNCIA E DE MENSAGEM DE NOTIFICAÇÃO

As declarações estão apresentadas no Anexo X.

13 RELAÇÃO DAS ENTIDADES PÚBLICAS E PRIVADAS QUE RECEBERAM CÓPIA DO PAE COM OS RESPECTIVOS PROTOCOLOS DE RECEBIMENTO

A implementação eficaz de um PAE exige que os documentos base sejam controlados, com a distribuição de cópias restringidas a todas as entidades com responsabilidades instituídas, garantindo o conhecimento e a utilização de planos sempre atualizados. Assim, deve estar identificada a relação das entidades que receberam cópia (Tabela 26).

Deverá ser mantido uma cópia física atualizada do PAE na sala de controle da Usina.

Tabela 26 – Entidades que recebem PAE

Entidade	Nº de cópias (Digital)
Entidade Fiscalizadora (ANEEL)	1
Secretaria De Estado De Defesa Civil Do Estado - BA	1
Corpo De Bombeiros Militar Do Estado – BA	1
Corpo de Bombeiros – Teixeira de Freitas - BA	1
Prefeituras envolvidas – Jucuruçu, Vereda, Itamaraju - BA	1 (física)

Tabela 27 – Controle das Entidades que receberam uma cópia do PAE

1	<p>Nome: _____ Data: ____/____/____</p> <p>Empresa / Instituição: _____</p> <p>Protocolo: _____</p>
2	<p>Nome: _____ Data: ____/____/____</p> <p>Empresa / Instituição: _____</p> <p>Protocolo: _____</p>
3	<p>Nome: _____ Data: ____/____/____</p> <p>Empresa / Instituição: _____</p> <p>Protocolo: _____</p>
4	<p>Nome: _____ Data: ____/____/____</p> <p>Empresa / Instituição: _____</p> <p>Protocolo: _____</p>
5	<p>Nome: _____ Data: ____/____/____</p> <p>Empresa / Instituição: _____</p> <p>Protocolo: _____</p>
6	<p>Nome: _____ Data: ____/____/____</p> <p>Empresa / Instituição: _____</p> <p>Protocolo: _____</p>
7	<p>Nome: _____ Data: ____/____/____</p> <p>Empresa / Instituição: _____</p> <p>Protocolo: _____</p>

14 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Importante implantar e operacionalizar o PAE com instalação dos pontos de encontro, rotas de fuga e sistema sonoro de acordo com já dimensionado no Anexo VIII – subitem 3. E após este realizar simulado com presença dos agentes externos como Defesa Civil, Corpo de Bombeiros, Prefeituras e atingidos dentro da ZAS.

Está prevista que a necessidade de revisão e adaptação deste plano se fará necessária quando:

- Houver alteração na estrutura do operador, incorporação ou revisão do Plano de Segurança da Barragem (mudanças características da Barragem), e por força de legislação;
- Atualização dos nomes dos responsáveis da Usina e das equipes de operação, manutenção, monitoramento e de inspeção;
- Atualização dos responsáveis, principalmente nos órgãos Estaduais.

Devido as características das estruturas e região do entorno a barragem da PCH Colino 2 foi classificada como **Classe B**, Categoria de Risco Baixo e Dano Potencial Associado Alto. Barragem Classe B necessita realizar a Revisão Periódica de Segurança (RPS) a cada 7 anos onde o produto a ser elaborado consta de um relatório onde estarão listadas as considerações sobre o exame de toda a documentação existente, a avaliação dos critérios de projeto, a análise da instrumentação, a identificação de anomalias e as condições de manutenção, e quais as Recomendações e Conclusões sobre a segurança da Barragem, devendo ser reavaliadas as condições de segurança das estruturas do barramento sendo então realizada novamente a classificação da barragem nos critérios da lei de segurança vigente na época do RPS.

Neste ano de 2024 foi realizada a primeira revisão periódica de segurança com revisão estudos hidrológicos, hidráulicos, estruturais, geotécnicos e com isso revisão de todo Plano de Segurança da Barragem e Plano de Ação de Emergências.

Recomenda-se após a condição de enchente maiores 139 m³/s (TR 100 anos) deverá ser realizada uma inspeção no Barramento para verificar as condições gerais da estrutura civil, em particular a calha do vertedouro no trecho em rocha sã. Essa inspeção pode ser realizada pela equipe de segurança de barragem do empreendedor.

Recomenda-se após condição de cheia igual ou maior que 187 m³/s (TR 1.000 ANOS) seja realizada uma inspeção de Segurança Especial na estrutura do barramento e região do entorno. Essa inspeção deve ser realizada por equipe de consultores especialistas.

15 EQUIPE TÉCNICA

Nome	Formação	Função
Henrique Yabrudi Vieira	Engenharia Civil	Hidráulica – Segurança de Barragens
Patrícia Becker	Engenharia Civil	Estruturas – Segurança de Barragem

As Anotações de Responsabilidade Técnica (ART) dos profissionais envolvidos nos trabalhos estão apresentadas no Anexo XIX.

16 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. B. de. **A gestão do risco em sistemas hídricos: conceitos e metodologias aplicadas a vales com barragens**. 6º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, APR. Cabo Verde, 2003.

ALMEIDA. Antônio Betâmio de. **Emergências e Gestão do Risco: Risco a Jusante de Barragens**. Lisboa, 2001.

ALMEIDA, A. B. **Emergência e gestão do risco**. In: Curso de Exploração e Segurança de Barragens. Capítulo 7. Lisboa: Instituto Nacional da Água (INAG), 2001. 104p

AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS, **Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis**, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1995.

AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS, **Guidelines for Chemical Transportation Risk Analysis**, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 2000.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens Volume IV - Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE, Versão final 02 para editoração – Abril de 2016.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - Manual do empreendedor da Ana relativo a revisão periódica, plano de segurança de barragens, plano de ação de emergência e inspeções de segurança de barragens (<http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/ManualEmpreendedor>).

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – Resolução Normativa Nº 1064, de 02 de maio de 2023 - Estabelece critérios e ações de segurança de barragens associadas a usinas hidrelétricas fiscalizadas pela ANEEL de acordo com o que determina a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.

BARBOSA, N. P.; MENDONÇA, A. V.; SANTOS, C. A. G.; LIRA, B. B. **Barragem de Camará**. Universidade Federal da Paraíba – Centro de Tecnologia. Ministério Público Federal. Procuradoria da República no Estado da Paraíba. PB, 2004. Disponível em: www.prpbf.mpf.gov.br/. Acesso em 23/09/2008.

CESTARY JÚNIOR, Euclides. **Estudo De Propagação De Ondas Em Planície De Inundação Para Elaboração De Plano De Ação Emergencial De Barragens – Uhe Três Irmãos Estudo De Caso**. 2013. 224 f. Dissertação (Mestrado): Curso de Engenharia Civil, Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2013.

CETESB. **Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos**. Norma P4.261, Maio/2003.

COLLISCHONN, V. **Análise do rompimento da barragem de Ernestina**. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre: UFRGS, 1997.

CRUZ, P.T. **100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção, Projetos**. Oficina de Textos, São Paulo, 2004.

DUARTE, Moacir. **Riscos Industriais: Etapas para a investigação e a prevenção de acidentes**. Rio de Janeiro: FUNENSEG, 2002.

FEMA. FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY, Federal Guidelines for Inundation Mapping of Flood Risks Associated with Dam Incidents and Failures - FEMA P-946. 2013.

FEEMA. **Manual do Curso de Análise de Riscos Ambientais**. Agosto de 1998.

FROEHLICH, D. Embankment-Dam Breach Parameters. In: Hydraulic Engineering, Proceedings of the 1987 National Conference, ASCE, Williams burg, VA, pp. 570-575, 1987.

FROEHLICH, D. Embankment-Dam Breach Parameters Revisited. In: First International Conference, Water Resources Engineering, Environmental and Water Resources Institute (EWRI), ASCE, Water Resources Engineering Proceeding, pp. 887-891, 1995.

FROEHLICH, D. Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties. ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 134, No. 12. Pp. 1708-1721. 2008.

GUIA BÁSICO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS, Comitê Brasileiro De Grandes Barragens, Núcleo Regional De São Paulo.

LEI Nº 12.334, de 20 de Setembro de 2010, **Política Nacional de Segurança de Barragens**, Presidência da República. Alterada pela Lei Federal 14.066/2020.

MENESCAL, R. A.; VIEIRA, V. P. P. B.; FONTENELLE, A. S.; OLIVEIRA, S. K. F. 2001. **Incertezas, Ameaças e Medidas Preventivas nas Fases de Vida de uma Barragem.** XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Anais, Fortaleza – CE.

MENESCAL, R. A.; MIRANDA, A. N.; PITOMBEIRA, E. S.; PERINI, D. S. **As Barragens e as Enchentes.** Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 2004 Florianópolis - SC.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **A Segurança de Barragens e a Gestão de Recursos Hídricos no Brasil** / [Organizador, Rogério de Abreu Menescal]. Brasília: Proágua, 2005.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens.** Brasília, 2002.

SILVA, M. M. A.; LACERDA, M. J.; SILVA, P. K.; SILVA, M. M. P. **Impactos Ambientais causados em decorrência do rompimento da Barragem Camará no município de Alagoa Grande, PB.** Revista de Biologia e Ciências da Terra. Volume 6 – Número 1. 2006.

SILVEIRA, J.F.A. **Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento.** Oficina de Textos, São Paulo, 2006.

SYNAVEN, K. **The pilot Project Kyrkojarvi dam and reservoir, Seinajoki**, Finland. In- Internacional Seminal And Worksjop Risk Assesment, Dam-Break Flood Análisis And Emergency Action Planning. Seinajoki- Finnish Environment Institute, 2000.

WISEU, T.; MARTINS, R. **Safety risks of small dams.** In- BERGA, L. (Ed.) Dam Safety. Rotterdam- Balkema, 1998. p. 283-288.

17 ANEXOS

- Anexo I – Dados (somente digital)
- Anexo II – Área Resguardada e Acessos
- Anexo III – Curva de Referência
- Anexo IV – Seções Interesse
- Anexo V – Mapas de Inundação
- Anexo VI – Zona de Auto salvamento
- Anexo VII – Risco Hidrodinâmico
- Anexo VIII – Fluxograma de Acionamento
- Anexo IX – Apresentação PAE
- Anexo X – Formulários
- Anexo XI – Articulação
- Anexo XII – Plano Divulgação
- Anexo XIII – Plano de Comunicação
- Anexo XIX – ART

ANEXO I – DADOS (SOMENTE DIGITAL)

ANEXO II – ÁREA RESGUARDADA E ACESSOS

ANEXO III – CURVA DE REFERÊNCIA

ANEXO IV – SEÇÕES INTERESSE

ANEXO V – MAPAS DE INUNDAÇÃO

ANEXO VI – ZONA DE AUTO SALVAMENTO

ANEXO VII – RISCO HIDRODINÂMICO

ANEXO VIII – FLUXOGRAMA DE ACIONAMENTO

ANEXO IX – APRESENTAÇÃO PAE

ANEXO X – FORMULÁRIOS

ANEXO XI – ARTICULAÇÃO

ANEXO XII – PLANO DIVULGAÇÃO

ANEXO XIII – PANO DE COMUNICAÇÃO

ANEXO XIX – ART