



Operation & Maintenance

CODE
GRE.OEM.R.88.BR.H.68497.09.002.04

PAGE
1 of 32

TITLE: Plano de Ação de Emergência PCH Mourão - RN1064-23 ANEEL

AVAILABLE LANGUAGE: PT

Plano de Ação de Emergência PCH Mourão - RN1064-23 ANEEL

File: GRE.OEM.R.88.BR.H.68497.09.002.04.docx

04	22.12.23	<i>O & M Country</i>	BRUNA GOMIDES GOUVEIA	RAQUEL MARTINS	JULIANA MARTINS PEREIRA	JULIANA MARTINS PEREIRA													
03	15.12.22	<i>O & M Country</i>	BRUNA GOMIDES GOUVEIA		JULIANA MARTINS PEREIRA	JULIANA MARTINS PEREIRA													
02	15.12.21	<i>O & M Country</i>	BRUNA GOMIDES GOUVEIA		JULIANA MARTINS PEREIRA	JULIANA MARTINS PEREIRA													
01	20.12.19	<i>O & M Country</i>	JULIANA MARTINS PEREIRA		ANTÔNIO SERGIO PORTELINHA	ANTÔNIO SERGIO PORTELINHA													
00	30.07.19	<i>O & M Country</i>	JULIANA MARTINS PEREIRA		JULIANA MARTINS PEREIRA	ANTÔNIO SERGIO PORTELINHA													
<i>REV.</i>	<i>DATE</i>	<i>DESCRIPTION</i>	<i>PREPARED</i>	<i>CONTRIBUTION</i>	<i>VERIFIED</i>	<i>VALIDATED</i>													
PROGETTO / IMPIANTO PROJECT / PLANT <i>PCH MOURÃO</i>		EGP CODE																	
		<i>GROUP</i>	<i>FUNCIÓN</i>	<i>TYPE</i>	<i>ISSUER</i>	<i>COUNTRY</i>	<i>TEC.</i>	<i>PLANT</i>			<i>SYSTEM</i>	<i>PROGRESSIVE</i>	<i>REVISION</i>						
		GR	OE	R	8	8	B	R	H	6	8	4	9	7	0	9	0	0	2
CLASSIFICATION		<i>PUBLIC</i> <input checked="" type="checkbox"/>		<i>CONFIDENTIAL</i> <input type="checkbox"/>		UTILIZATION SCOPE <i>Basic Design, Detailed Design, Issue for Construction, etc.</i>													
		<i>COMPANY</i> <input type="checkbox"/>		<i>RESTRICTED</i> <input type="checkbox"/>															

Controle de Distribuição do Plano de Ação de Emergência

Somente para Uso Oficial

Cópia	Entidade	Recebimento	Identificação	Assinatura

Controle de Revisão: Atualização dos Contatos dos Agentes Internos e Externos, Treinamentos, Informações Técnicas

Revisão	Data	Preparado	Revisão / Atualização / Descrição
00	30.07.2019	JULIANA MARTINS PEREIRA	Emissão Inicial
01	20.12.19	Juliana Martins Pereira	Atualização da equipe
02	15.12.21	Juliana Martins Pereira	Atualização da equipe
03	15.12.22	Bruna Gomes	Atualização de equipe
04	22.12.23	Bruna Gomides	Atualização de equipe, Relatório de Plano de Evacuação, Relatório de Cadastramento ZAS

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	4
2. RESPONSÁVEIS PELO DOCUMENTO	4
2.1. REFERÊNCIA	4
3. IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDEDOR	5
4. IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL TÉCNICO DO PSB E PAE	5
4.1. COORDENADOR RESPONSÁVEL PELO PAE	5
5. RESPONSABILIDADES GERAIS DO PAE	5
5.1. EMPREENDEDOR	5
5.2. COORDENADOR RESPONSÁVEL PELO PAE	5
5.3. COORDENAÇÃO TÉCNICA CIVIL - ENGENHEIRO RESPONSÁVEL PELO PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM.....	6
5.4. RESPONSÁVEL LOCAL NA BARRAGEM	6
5.5. ORGANIZAÇÃO DA EQUIPE TÉCNICA	6
6. CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE SEGURANÇA.....	9
7. AÇÕES ESPERADOS PARA CADA NÍVEL DE RESPOSTA	10
8. FLUXOGRAMA DE NOTIFICAÇÕES E COMUNICAÇÃO	11
8.1. SISTEMA DE PROTEÇÃO, DEFESAS CIVIS E AGENTES INTERNOS E EXTERNOS	12
9. SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA DE RUPTURA DA BARRAGEM	14
9.1. PARÂMETROS E CRITÉRIOS ADOTADOS –	15
9.2. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES.....	21
9.3. CONCLUSÕES	29
10. TREINAMENTOS - PAE.....	30
11. ASSINATURA DOS RESPONSÁVEIS	31
12. ANEXOS.....	32

	<p>Operation & Maintenance</p>	<p>CODE GRE.OEM.R.88.BR.H.68497.09.002.04</p>
		<p>PAGE 4 of 32</p>

1. INTRODUÇÃO

O **Plano de Ação de Emergência (PAE)** é parte integrante do **Plano de Segurança da Barragem (PSB)** da PCH Mourão e tem por finalidade atender a Resolução Normativa da ANEEL nº 1064 de 2 de maio de 2023, que estabelece as ações a serem executadas pelo empreendedor.

O PAE constitui peça obrigatória para barragens classificadas como A ou B segundo a matriz de classificação da barragem, ou conforme sua categoria de risco e dano potencial associado como médio ou alto.

Conforme apresentado no **PSB**, a PCH Mourão foi **classificada como “C”**, avaliada na Categoria de Risco Baixo e Dano Potencial Associado Médio. O **PSB** é um documento formal em que estão estabelecidas as ações a serem executadas visando a manutenção da integridade física da barragem, bem como em caso de situação de emergência.

Apesar da classificação “C” da barragem não obrigar a apresentação do **PAE**, a ANEEL, através do Ofício Circular nº 2/2019-SFG, determinou sua elaboração para este aproveitamento, com prazo estabelecido para 30 de julho de 2019 através do Ofício nº 112/2019-SFG da ANEEL.

O presente documento apresenta o **PAE de Ruptura de Barragem**, conforme determina o §3º do Artº13 da RN1024/2023 ANEEL, e considera o conteúdo mínimo previsto no Artº12 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, conduzida pelo responsável técnico do **PSB**.

De acordo com o §12º do Artº13 da RN696/15 ANEEL, o **PAE** deve estar disponível no site do empreendedor, no empreendimento e nas prefeituras envolvidas, bem como ser encaminhado aos organismos de defesa civil.

O PAE pode ser encontrado no site: <https://www.enel.com.br/pt/quemsomos/archive/d2018-comportamento-etico/plano-de-acao-de-emergencia.html#>

2. RESPONSÁVEIS PELO DOCUMENTO

Responsável pela elaboração do documento:

- Engenheira Bruna Gomides Gouveia

Responsável pela aprovação do documento:

- Engenheira Juliana Martins Pereira

2.1. REFERÊNCIA

- Ref. [1]: EN783.RE.PP022 Rev.B – PCH MOURÃO - AVALIAÇÃO HIDRÁULICA E DE

	<p>Operation & Maintenance</p>	<p>CODE GRE.OEM.R.88.BR.H.68497.09.002.04</p>
		<p>PAGE 5 of 32</p>

RUPTURA DE BARRAGEM - Dezembro de 2018.

3. IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDEDOR

- Diretor Jayme Barg

4. IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL TÉCNICO DO PSB E PAE

- Engenheira Juliana Martins Pereira

4.1. COORDENADOR RESPONSÁVEL PELO PAE

- Marcel Leandro Cocchi da Motta

5. RESPONSABILIDADES GERAIS DO PAE

5.1. EMPREENDEDOR

A gestão do **PAE** é atribuição da **ENEL** que, em conjunto com o **Engenheiro Responsável pela Barragem**, manterá a gestão operativa utilizando a estrutura presente na Empresa, incluindo os recursos de telecomunicação para transferência de dados e informações e, se necessário, para conectar-se a terceiros.

É atribuição do **Empreendedor**:

1. Providenciar a elaboração e atualização do PAE;
2. Promover treinamentos internos e manter os respectivos registros das atividades;
3. Participar de simulações de situações de emergência, em conjunto com os agentes externos.

Abaixo se encontram elencados os profissionais envolvidos, atribuições e responsabilidades para gerir os procedimentos em situação de emergência.

5.2. COORDENADOR RESPONSÁVEL PELO PAE

O coordenador do **PAE** é responsável, por delegação do Empreendedor pelas seguintes ações;

- Detectar, avaliar e classificar as situações de emergência em potencial;
- Declarar situação de emergência e executar as ações descritas no PAE;
- Executar as ações previstas no fluxograma de notificação;
- Iniciar o processo de notificação para a zona de Autossalvamento (ZAS)

	<p>Operation & Maintenance</p>	<p>CODE GRE.OEM.R.88.BR.H.68497.09.002.04</p>
		<p>PAGE 6 of 32</p>

- Notificar os agentes externos e autoridades públicas em caso de situação de emergência;
- Emitir declaração de encerramento de emergência;
- Elaborar o relatório de fechamento de eventos de emergência.

O coordenador do PAE receberá treinamentos através da coordenação técnica civil.

5.3. COORDENAÇÃO TÉCNICA CIVIL - ENGENHEIRO RESPONSÁVEL PELO PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM

Profissional competente para dar o suporte técnico relativo ao comportamento e segurança da barragem e das estruturas hidráulicas. Responsável pela emissão de atestados de responsabilidade técnica junto ao **Conselho Regional de Engenharia e Agronomia – CREA** para os assuntos que se referem à segurança da barragem.

5.4. RESPONSÁVEL LOCAL NA BARRAGEM

Encarregado geral da barragem, indicado para execução das manobras e inspeções rotineiras de campo.

5.5. ORGANIZAÇÃO DA EQUIPE TÉCNICA

Será apresentada nesse item a organização da equipe técnica capacitada a realizar atividades relacionadas à segurança de barragens em situação de Emergência.

	<p>Operation & Maintenance</p>	<p>CODE GRE.OEM.R.88.BR.H.68497.09.002.04</p>
		<p>PAGE 7 of 32</p>

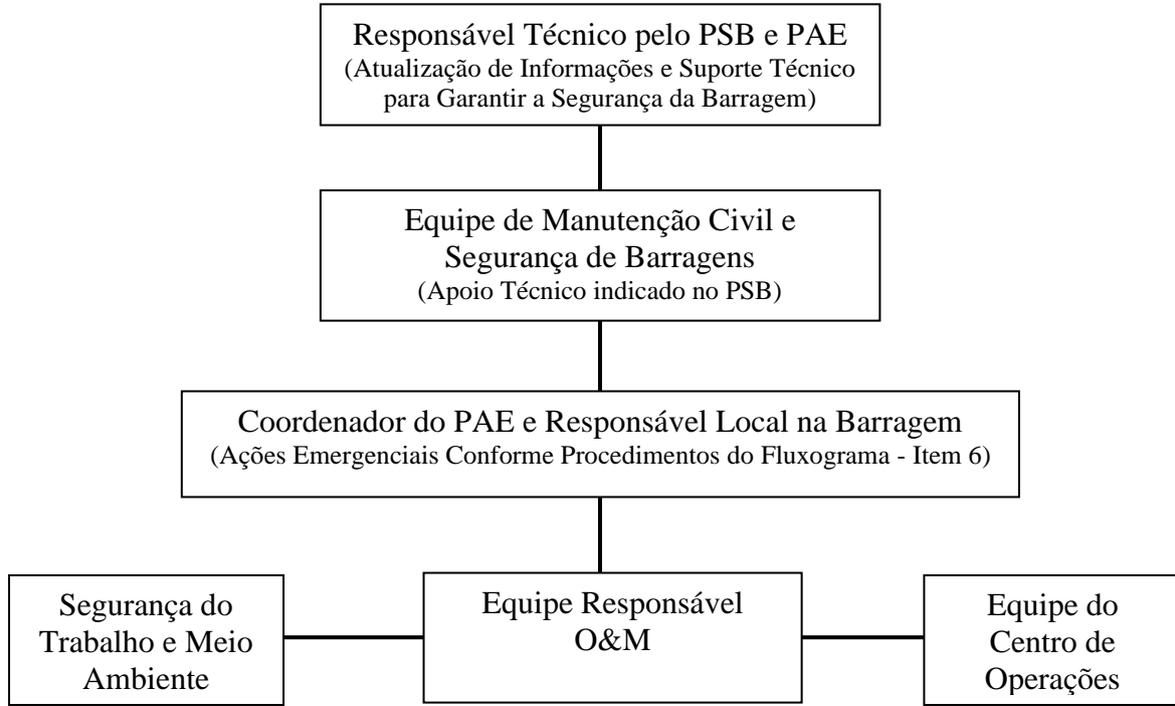


Figura 1 – Organização da Equipe Técnica

A tabela a seguir apresenta o número de profissionais e disponibilidade em operação normal e emergencial da barragem da PCH Mourão, conforme diretriz organizacional nº 1271 de 21 de novembro de 2023 e diretriz organizacional nº 2146 de 13 de dezembro de 2023. A equipe disponível indicada no **item 6 do PSB**, com qualificação técnica de segurança de barragens.

Tabela 1 – Disponibilidades em Operação Normal e Emergência

Responsável Técnico pelo PSB e PAE				
Nº de pessoas	Função	Disponibilidade em operação normal	Disponibilidade em emergência	Localização
1	Gerente	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ

Equipe de Manutenção Civil e Segurança de Barragem				
Nº de pessoas	Função	Disponibilidade em operação normal	Disponibilidade em emergência	Localização
6	Especialista	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
11	Especialistas	Parcial	Total	Rio de Janeiro-RJ

Coordenador do PAE e Responsável Local na Barragem				
Nº de pessoas	Titulação	Disponibilidade em operação normal	Disponibilidade em emergência	Localização
1	Técnico	Total	Total	Campo Mourão-PR

Equipe Responsável O&M				
Nº de pessoas	Titulação	Disponibilidade em operação normal	Disponibilidade em emergência	Localização
1	Coordenador	Total	Total	Piraju-SP
1	Encarregado	Total	Total	Campo Mourão-PR
1	Mantenedor	Total	Total	Campo Mourão-PR
1	Técnico	Total	Total	Piraju-SP

Equipe de Segurança do Trabalho e Meio Ambiente				
Nº de pessoas	Titulação	Disponibilidade em operação normal	Disponibilidade em emergência	Localização
1	Gerente de QSMS	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
2	Coordenadoras de QSMS	Parcial	Total	Rio de Janeiro-RJ
1	Especialista de Meio Ambiente	Total	Total	Piraju-SP
1	Técnico de Segurança do Trabalho	Total	Total	Piraju-SP

Equipe do Centro de Operações				
Nº de pessoas	Titulação	Disponibilidade em operação normal	Disponibilidade em emergência	Localização
1	Gerente	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
1	Supervisor	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
2	Técnicos	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ

Comunicação e Mídia				
Nº de pessoas	Titulação	Disponibilidade em operação normal	Disponibilidade em emergência	Localização
1	Diretora de Comunicação com a Mídia	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
1	Responsável Relações com a Mídia	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
1	Responsável de Relações Institucionais	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
1	Diretora de Regulação	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ

	Operation & Maintenance	CODE GRE.OEM.R.88.BR.H.68497.09.002.04
		PAGE 9 of 32

1	Responsável de Relações Institucionais	Total	Total	Rio de Janeiro-RJ
---	--	-------	-------	-------------------

6. CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE SEGURANÇA

As ações demandadas frente à identificação de uma anomalia na barragem da PCH Mourão serão efetuadas em função do NÍVEL DE RESPOSTA frente à situação observada.

Os níveis de resposta **NORMAL (NR-0)** e **ATENÇÃO (NR-1)** se referem às situações anômalas que não comprometem, imediatamente, a segurança da barragem, mas que demandam ações ditas preventivas de modo a evitar a evolução. Os níveis de **ALERTA (NR-2)** e **EMERGÊNCIA (NR-3)**, por se referirem às situações de risco à segurança no curto prazo ou de ruptura iminente, ativam um processo de emergência na estrutura, exigindo o cumprimento do estabelecido neste PAE.

Os critérios para o enquadramento do NÍVEL DE RESPOSTA encontram-se indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – Critérios para enquadramento do Nível de Resposta (NR) (Parte 1/2)

SITUAÇÃO ADVERSA	NORMAL (NR-0)	Quando as anomalias encontradas não comprometem a segurança da barragem, mas devem ser monitoradas e controladas ao longo do tempo. Configura ESTADO NORMAL . Segurança da estrutura não é afetada.
	ATENÇÃO (NR-1)	Quando as anomalias encontradas não comprometem a segurança da barragem no curto prazo, mas devem ser controladas, monitoradas ou reparadas. Configura ESTADO DE ATENÇÃO . Segurança da estrutura pode ser afetada em médio prazo.

Tabela 2 – Critérios para enquadramento do Nível de Resposta (NR) (Parte 2/2)

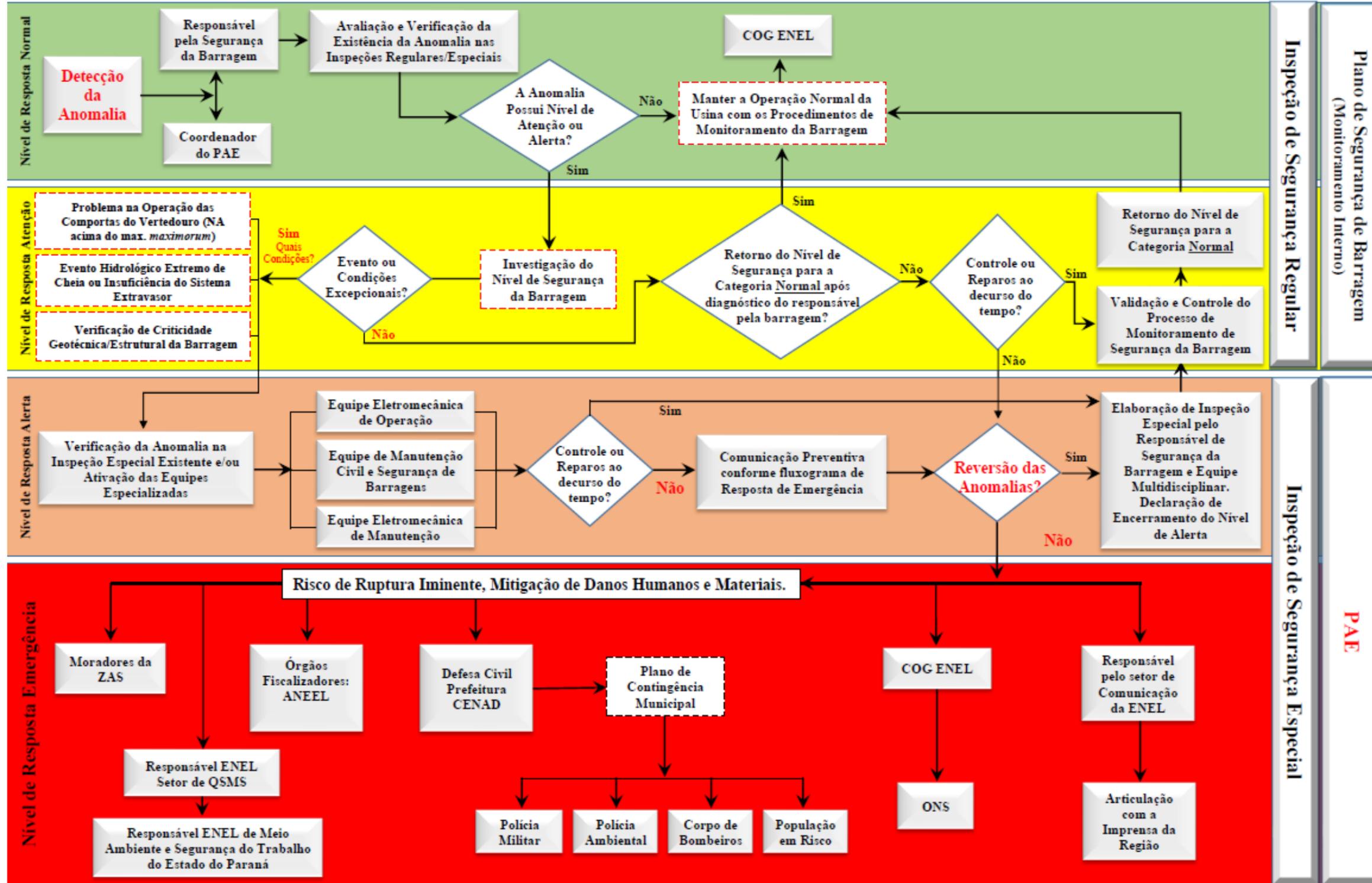
SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA	ALERTA (NR-2)	Quando as anomalias encontradas representam risco à segurança da barragem no curto prazo, devendo ser tomadas providências para a eliminação do problema. Configura ESTADO DE ALERTA . Segurança da estrutura pode ser afetada em curto prazo, sendo a situação ainda passível de mitigação. Considera-se que não há certeza de que se consiga controlar a situação, requerendo total prioridade das ações mitigadoras. Requer a realização de atividade(s) de Inspeção de Segurança Especial.
------------------------	----------------------	---

	EMERGÊNCIA (NR-3)	<p>Quando as anomalias encontradas representem risco de ruptura iminente ou em que a ruptura está ocorrendo, devendo ser tomadas medidas para prevenção e redução dos danos materiais e humanos decorrentes do colapso da barragem.</p> <p>Configura ESTADO DE EMERGÊNCIA.</p> <p>O alerta para a evacuação da Zona de Autossalvamento é obrigatório, assim como o acionamento de todos os agentes externos listados neste PAE.</p> <p>A Situação de Emergência encontra-se fora do controle e está afetando a segurança estrutural da barragem de maneira severa e irreversível. Um acidente é inevitável ou a estrutura já se encontra em colapso.</p>

7. AÇÕES ESPERADOS PARA CADA NÍVEL DE RESPOSTA

As ações esperadas para cada situação envolvem a adoção de ações de controle/resposta e de notificação próprias para cada nível de resposta conforme indicado no fluxo a seguir.

8. FLUXOGRAMA DE NOTIFICAÇÕES E COMUNICAÇÃO



8.1. SISTEMA DE PROTEÇÃO, DEFESAS CIVIS E AGENTES INTERNOS E EXTERNOS

CARGO	CONTATO	ENDEREÇO ELETRÔNICO	TELEFONE
Responsável Legal Diretor	Jayme Barg		
Engenheiro Responsável pelo Plano de Segurança de Barragem e Gerente Segurança de Barragem e Infraestrutura Civil	Juliana Martins Pereira		
Responsável pelas ações do PAE	Marcel Leandro Cocchi da Motta		
Coordenação de O&M	Diego Rosa		
Mantenedor Operação	Wesley da Silva		
Gerente de Segurança do Trabalho e Meio Ambiente QSMS	Karla Maria de Carvalho		
Coordenadora de Segurança do Trabalho	Alessandra Conceição		
Coordenadora de Meio Ambiente	Soraya Cavalieri		
Responsável pela Segurança do Trabalho	Valdivino Rosa Eterno		
Responsável de Meio Ambiente	James Colodel		
Gerente do Centro de Operações - COG	Ronaldo Ribeiro Filho		
Tempo Real - COG	Tempo Real		
Diretora de Comunicação	Janaina Vilella		
Responsável de Relações com a Mídia	Maria Fernanda de Freitas		
Responsável de Relações Institucionais	Alexandra Valença		
Diretora de Regulação	Anna Paula Pacheco		
Responsável de Regulação	Diego Bittner		

ENTIDADE	ENDEREÇO ELETRÔNICO	TELEFONE	ENDEREÇO
Prefeitura Municipal de Campo Mourão	prefeitura@campomourao.pr.gov.br	(44) 3518-1144	Rua Brasil - nº 1487, Centro.
CEPDEC – Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Paraná	-	(41) 3281-2513	Palácio das Araucárias - Rua Jacy Loureiro de Campos, S/N - Setor C - Curitiba/PR



Operation & Maintenance

CODE
GRE.OEM.R.88.BR.H.68497.09.002.03

PAGE
13 of 32

5ª CORPDEC – Coordenadoria Regional de Proteção e Defesa Civil	-	(44) 3218-6150	Av. Guaira, 63 - Zona 07, Centro, Maringá-PR, 87020-050
11º Batalhão de Polícia Militar	-	(44) 3525-3013	Av. José Tadeu Nunes, 216, Jd. N. Sra. Aparecida - Campo Mourão/PR
5º Grupamento de Bombeiros	5gb-cmourao@pm.pr.gov.br	(44) 3523-3797	Av. João Bento, 660, Centro - Campo Mourão/PR
SEAMA – Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente	seamacampo@gmail.com	(44) 3525-4449	R. Amílton Tavela Borges, 159 - Conj. Res. Ilha Bela, Campo Mourão - PR

	<p>Operation & Maintenance</p>	<p>CODE GRE.OEM.R.88.BR.H.68497.09.002.03</p>
		<p>PAGE 14 of 32</p>

9. SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA DE RUPTURA DA BARRAGEM

A seguir, será apresentado de forma sucinta, os estudos de ruptura de barragem da PCH Mourão, de acordo com a Ref. [01].

Para a elaboração do plano de ação emergencial, foi considerado o cenário para a Fase de Iminente Colapso que consiste na Ruptura da Barragem e os possíveis danos que uma de onda decorrente deste fenômeno poderia acarretar no vale a jusante da PCH Mourão.

A PCH Mourão foi construída no rio Mourão, no município de Campo Mourão, na região noroeste do Estado do Paraná, a aproximadamente 456 km da capital Curitiba. As coordenadas geográficas da usina são 24°06'18"S e 52°19'48"W.

A área da bacia de drenagem do aproveitamento é de 573 km² e o respectivo reservatório apresenta um espelho d'água de 11,20 km² com nível máximo normal na El. 609,00 m.

Este aproveitamento está constituído por uma barragem de concreto, com vertedouro de soleira livre, descarregador de fundo, tomada d'água, túnel de adução, chaminé de equilíbrio, dois condutos forçados de aço, casa de força, canal de fuga e subestação. Uma parte do reservatório e todo o circuito hidráulico de geração estão situados no Parque Estadual Lago Azul.

A barragem possui 495 m de comprimento total, sendo 130 m de vertedouro de soleira livre e 19 m de altura máxima.

A jusante do barramento se encontram, a ponte da BR 487 a aproximadamente 100 m do eixo do barramento e, a uma distância de aproximadamente 8 km pela calha do rio, a PCH Salto Natal, que aproveita uma queda d'água de 89,61 m e com área do reservatório de 0,61 km².

A seguir, serão apresentados os principais aspectos dos estudos de ruptura de barragem da PCH Mourão, de acordo com a Ref. [01].

Cenário 1: Ruptura da barragem para “sunny day”, com a vazão média de longo termo $Q_{mlt} = 13,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Cenário 2: Ruptura por transbordamento, para a cheia de projeto com período de retorno de 1.000 anos, de $846,3 \text{ m}^3/\text{s}$

A **Tabela 2** a seguir apresenta o tempo de chegada da onda proveniente de uma ruptura hipotética da barragem, assim como as cotas máximas que serão atingidas.

Tabela 3 - Curva cota x volume do reservatório da barragem da Usina Mourão

Seção	Distância desde a barragem	Vazão Máxima	Nível de Água Máximo	Nível de Água inicial	Tempo de Chegada da Onda	LE _{max}	V _{max}
	(m)	(m ³ /s)	(m)	(m)	(h)	(m)	(m/s)
CENÁRIO 1							
Ponte	3	18130	581,16	576,55	1	155	16,5
Casa de Força	2672	16820	538,82	524,87	3	213	12,3
PCH Salto Natal	8150	14531	527,72	518,80	10	692	1,8
CENÁRIO 2							
Ponte	3	20469	579,77	579,07	1	162	17,3
Casa de Força	2672	19356	539,78	528,91	3	222	12,7
PCH Salto Natal	8150	17429	528,48	522,38	10	694	2,1

9.1. PARÂMETROS E CRITÉRIOS ADOTADOS –

9.1.1. Geometria do Trecho

Nas imagens de satélite disponibilizadas através do Site BingMap, conforme apresentado na Figura 2 a seguir, o trecho do rio Mourão que seria afetado num eventual rompimento do barramento da PCH Mourão é caracterizado por baixa densidade demográfica e extensas propriedades rurais.



Figura 2 - Imagem de satélite do trecho modelado, com a localização das pontes (Bing Map)

Os dados geométricos utilizados foram o perfil longitudinal do rio, as seções transversais e os dados gerais de interesse da barragem. O perfil longitudinal do rio e as seções transversais foram obtidos do SRTM com 30 m de resolução, com espaçamento suficiente para a realização de simulações.

A barragem possui 495 m de extensão, com a sua crista na cota 611,00 m e a cota mais baixa da barragem está na cota 592,00 m, aproximadamente, resultando na altura máxima de 19 m.

Os dados cartográficos obtidos do SRTM possuem discrepâncias em relação à altimetria e, desta forma, para manter as mesmas características, os dados da barragem foram alterados para que ficassem na mesma base dos dados do SRTM, fazendo a transposição de cotas e mantendo a sua altura.

O modelo digital de elevação obtido do SRTM foi processado por meio do aplicativo Global Mapper e por meio deste, foram extraídas curvas de nível espaçadas de 2m em 2m.

Os dados obtidos do SRTM indicam que o reservatório se encontra na cota 582m e, como o modelo digital de terreno obtido com resolução de 30m não permite detectar a presença de barragens, etc., as curvas de nível de jusante foram criadas de tal forma que o curso d'água aparentasse com grande declividade no trecho imediatamente a jusante da barragem.

Assim, as cotas de fundo e da crista da barragem passaram a ser 581,00m e 600,00m, respectivamente.

O aspecto das curvas de nível nas proximidades da barragem é apresentado na figura a seguir.

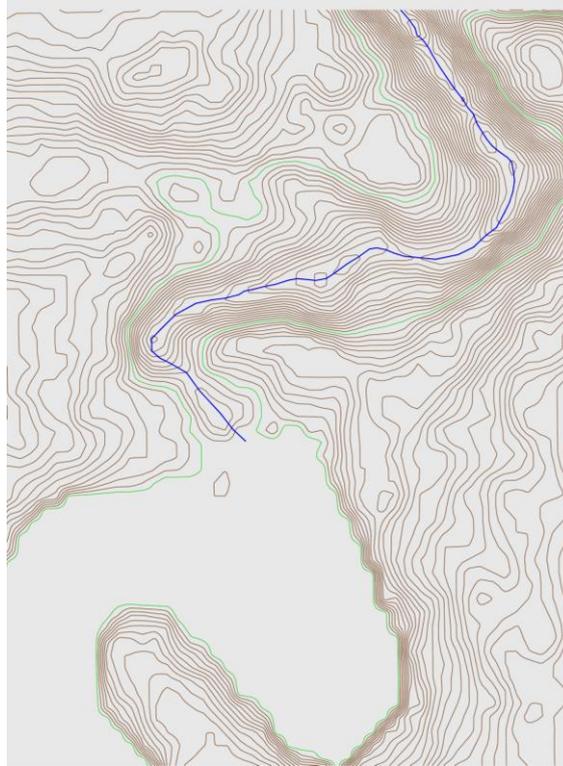


Figura 3 - Aspecto das curvas de nível nas imediações da barragem

9.1.2. Formação da Brecha de Ruptura

Para o presente caso, por se tratar de barragem de concreto, admitiu como tipo de rompimento, ruptura “instantânea”, com tempo de formação da brecha igual a 1 minuto, tendo a brecha com formato retangular, com 160m de largura e cota de base igual a 582,5m.

A largura de 160m foi adotada considerando a largura do vertedouro de 130m e blocos laterais que totalizam 160m nas juntas de concretagem, conforme figura a seguir.

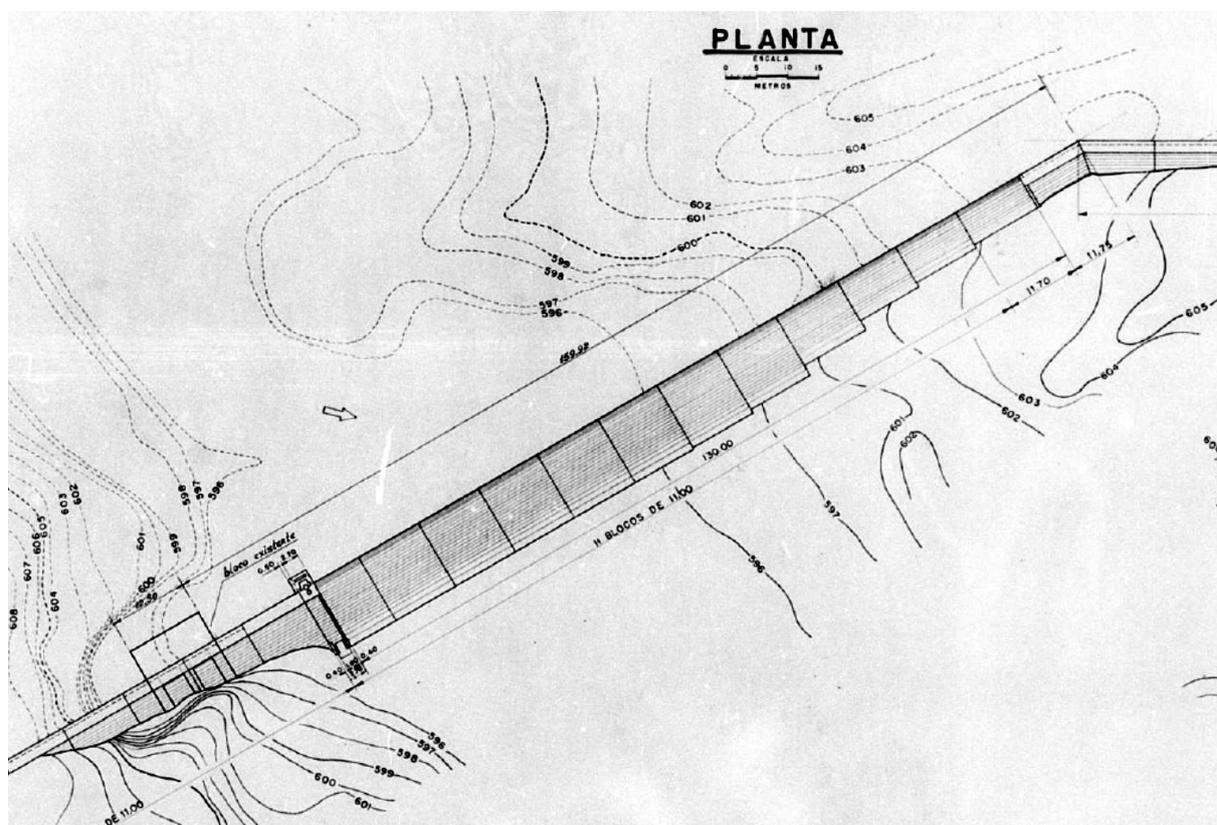


Figura 4 - Vertedouro e barragem da margem direita

9.1.3. Cenários de Ruptura considerados e Condições Iniciais

Com relação às causas da ruptura e às características do escoamento afluente no momento da mesma, foram considerados dois cenários:

Cenário 1: Ruptura da barragem para “sunny day”, com a vazão média de longo termo $Q_{mlt} = 13,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Para as simulações, foi adotada a vazão de $50 \text{ m}^3/\text{s}$, para suplantiar os problemas de convergência do modelo matemático (esta vazão é pequena face as resultantes da ruptura hipotética da barragem).

Cenário 2: Ruptura por transbordamento (overtopping), para a cheia de projeto com período de retorno de 1.000 anos, de $846,3 \text{ m}^3/\text{s}$

Nos dois cenários foi considerado que o reservatório da PCH Salto Natal se encontra na cota 518,00 m, correspondente ao seu NA máximo normal.

9.1.4. Topologia do modelo matemático

Para a representação do reservatório, foi utilizada a curva Cota x Volume e, para representar a vazão afluente ao reservatório, foi criado um afluente fictício a montante da barragem, formando uma confluência com o curso onde está conectado o reservatório.

A curva cota x volume é apresentada na Tabela 3 a seguir e a sua adequação para ser coerente com as cotas obtidas do SRTM, na Tabela 4.

Tabela 4 - Curva cota x volume do reservatório da barragem da Usina Mourão

Cota	Volume	V. Útil
(m)	(hm ³)	(%)
601,76	7,40	0
602,00	8,27	1,52
602,50	10,27	5,01
603,00	12,67	9,20
603,50	15,07	13,39
604,00	17,87	18,28
604,50	20,67	23,17
605,00	24,67	30,16
605,50	29,07	37,84
606,00	33,87	46,22
606,50	38,67	54,60
607,00	43,47	62,98
607,50	48,27	71,36
608,00	53,07	79,75
608,50	58,67	89,52
609,00	64,67	100,00
609,50	71,07	111,18
610,00	77,87	120,00

Tabela 5 – Curva cota x volume do reservatório da barragem da Usina Mourão, com as cotas coerentes com os dados utilizados nas simulações

Cota (m)	Volume (hm³)
580,00	0,00
584,00	1,00
586,00	3,00
589,00	5,00
590,76	7,40
591,00	8,27
591,50	10,27
592,00	12,67
592,50	15,07
593,00	17,87
593,50	20,67
594,00	24,67
594,50	29,07
595,00	33,87
595,50	38,67
596,00	43,47
596,50	48,27
597,00	53,07
597,50	58,67
598,00	64,67
598,50	71,07
599,00	77,87
599,50	86,00
600,00	94,00
600,50	103,00



Figura 5 - Posição das seções topobatimétricas utilizadas

9.2. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Os resultados das simulações hidrodinâmicas das ondas de ruptura da barragem são apresentados na forma de linhas de água para diferentes instantes, sendo apresentadas, também, as envoltórias dos níveis máximos alcançados em diferentes seções transversais do curso d'água, ao longo do trecho simulado.

9.2.1. Resultados do Cenário 1 – Ruptura da Barragem em “sunny day”

Os resultados das simulações hidrodinâmicas da ruptura da barragem, em “sunny day”, são apresentados, a seguir, na Tabela 5 e da Figura 6 à Figura 8.

Observa-se que, para efeito de simulação, considerou-se que o rompimento teria ocorrido com a vazão no curso d'água seria aquela correspondente à vazão média de longo termo.

Tabela 6 – Resultados da Envolvória da Onda de Ruptura da Barragem - Cenário 1 (Ruptura em “sunny day”)

Seção	Progressiva (m)	Vazão Máxima (m³/s)	Largura Superficial (m)	Cota NA Max (m)	Velocidade (m/s)	Tempo de Chegada da onda (min)	NA Inicial (m)
28597	0	18206	162	581.16	21.3	0	577.04
Ponte	3	18130	155	579.02	16.5	1	576.55
27428	201	17859	115	575.22	25.6	1	571.05
26622	309	17706	141	571.45	20.0	1	566.91
25946	473	17645	255	569.96	11.8	1	564.62
25211	632	17643	202	569.26	13.2	2	558.55
24455	779	17629	166	568.33	12.4	2	555.88
23494	918	17618	158	567.09	14.0	2	555.26
22402	1080	17614	121	564.85	19.5	2	552.94
21724	1297	17611	103	561.82	26.0	2	551.88
21060	1532	17607	101	559.09	21.3	3	551.37
20293	1671	17606	123	556.42	16.7	3	550.59
19569	1800	17602	98	551.27	29.5	3	544.59
18639	1976	17245	108	544.06	24.3	3	541.92
17891	2157	16957	198	541.12	10.1	3	540.36
17390	2377	16921	134	540.43	10.8	3	533.90
16768	2539	16870	189	539.56	11.3	3	526.47
C. Força	2672	16820	213	538.82	12.3	3	524.87
15209	2841	16805	242	538.39	7.9	3	524.79
14308	3023	16763	356	538.41	3.5	4	524.53
13157	3209	16763	280	537.92	7.9	4	524.41
12701	3426	16762	363	537.64	7.1	4	524.42
12018	3659	16753	262	537.64	4.9	4	524.41
11093	3851	16753	220	536.67	15.0	5	524.41
10198	3985	16497	139	534.01	18.1	5	524.41
9479	4206	15605	125	531.56	18.3	5	524.21
8648	4430	15277	179	529.84	12.7	5	521.55
7756	4574	15103	230	529.21	8.8	6	518.79
7061	4761	14825	354	529.04	5.9	6	518.80
6528	4947	14932	308	528.69	6.7	6	518.80
5750	5126	14845	252	528.44	6.8	6	518.80
4916	5240	14763	236	528.15	7.2	7	518.80
4330	5433	14687	281	528.04	5.9	7	518.80
3860	5621	14701	278	527.85	7.7	7	518.80
3122	5754	14585	383	527.94	3.7	7	518.80

Seção	Progressiva (m)	Vazão Máxima (m³/s)	Largura Superficial (m)	Cota NA Max (m)	Velocidade (m/s)	Tempo de Chegada da onda (min)	NA Inicial (m)
1848	5862	14626	359	527.42	7.3	8	518.80
1026	6026	14529	367	527.43	5.1	8	518.80
215	6336	14542	403	527.59	4.0	8	518.80
-849	6528	14553	446	527.69	3.1	8	518.80
-1798	6719	14542	441	527.64	3.2	8	518.80
-2597	6951	14551	455	527.69	2.8	9	518.80
-3411	7148	14534	387	527.58	3.2	9	518.80
-4626	7313	14541	589	527.77	1.9	9	518.80
-5464	7430	14540	692	527.78	1.8	9	518.80
-6484	7599	14530	613	527.45	1.9	9	518.80
-8210	7722	14534	741	527.74	1.7	10	518.80
-8911	7949	14532	729	527.72	1.9	10	518.80
Barragem.	8150	14531	692	527.72	1.8	10	518.80

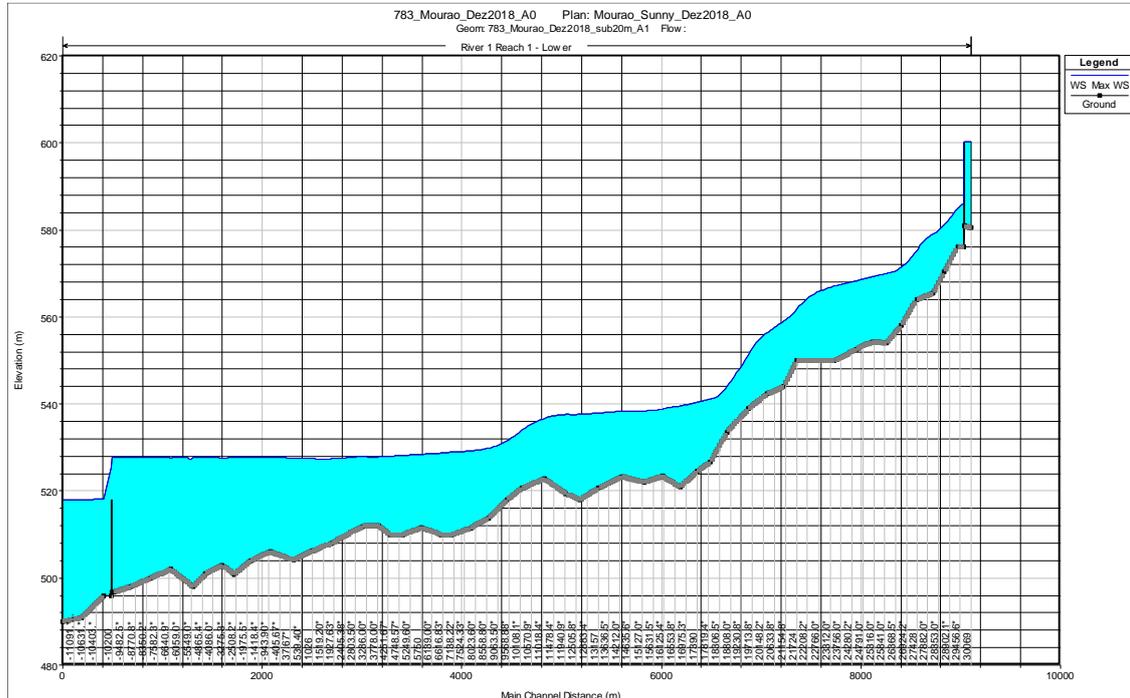


Figura 6 – Cenário 1 - Envolvória dos níveis d'água máximos no trecho de jusante da barragem – Ruptura da barragem em "sunny day"

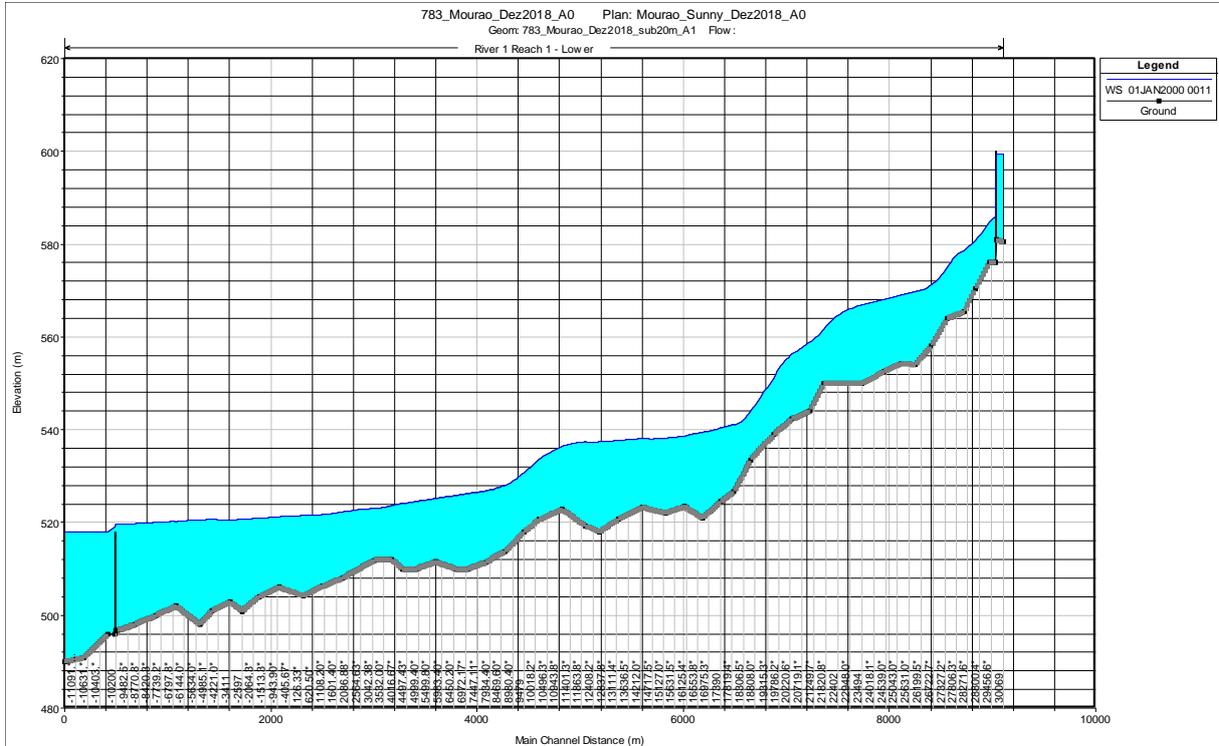


Figura 7 – Cenário 1- Chegada da onda de ruptura da barragem na última seção a jusante (barragem da PCH Salto Natal)

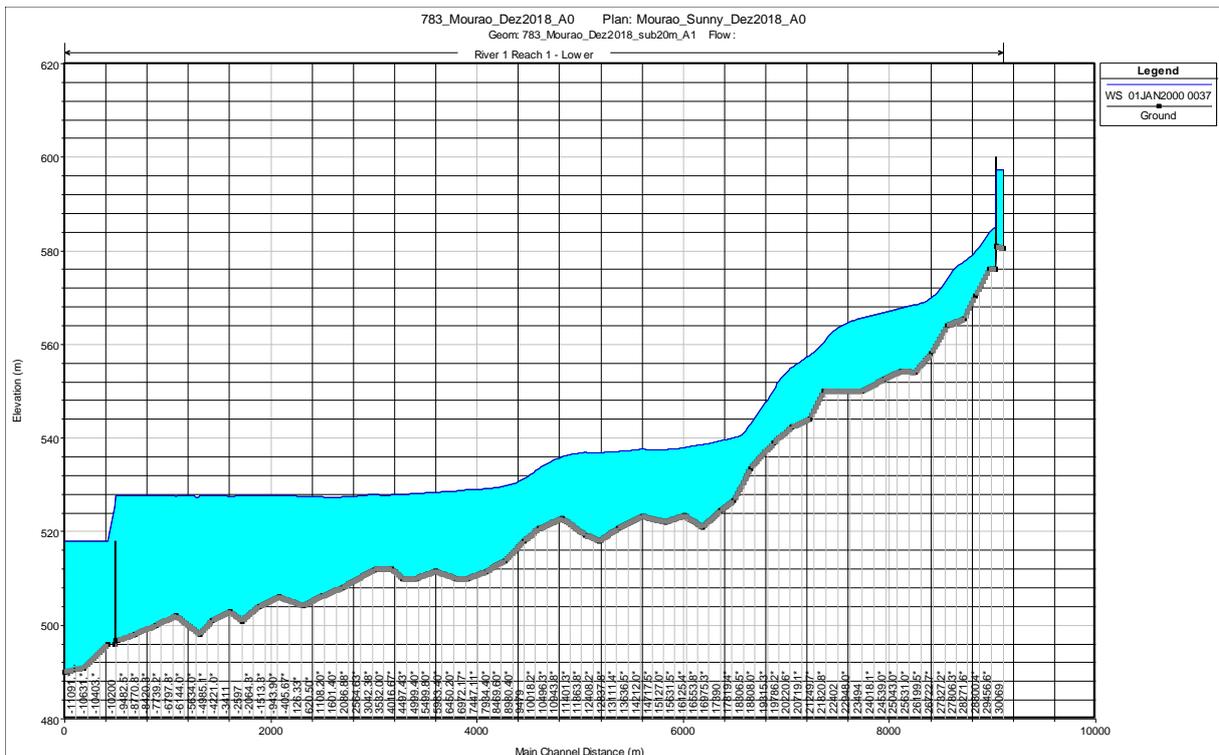


Figura 8 – Cenário 1 - Nível máximo na última seção a jusante (barragem da PCH Salto Natal)

9.2.2. Resultados do Cenário 2 – Ruptura da Barragem por “Overtopping”

Os resultados das simulações hidrodinâmicas da ruptura da barragem, por “overtopping”, são apresentados, a seguir na Tabela 6 e da Figura 10 à Figura 12.

Observa-se que, para efeito de simulação, considerou-se que a vazão no curso d’água seria aquela correspondente à vazão máxima de projeto, com recorrência de 1.000 anos.

A figura a seguir, apresenta os hidrogramas para as cheias com períodos de retorno de 500 e de 1000 anos, extraído do relatório de avaliação hidrológica e hidráulica da PCH Mourão.

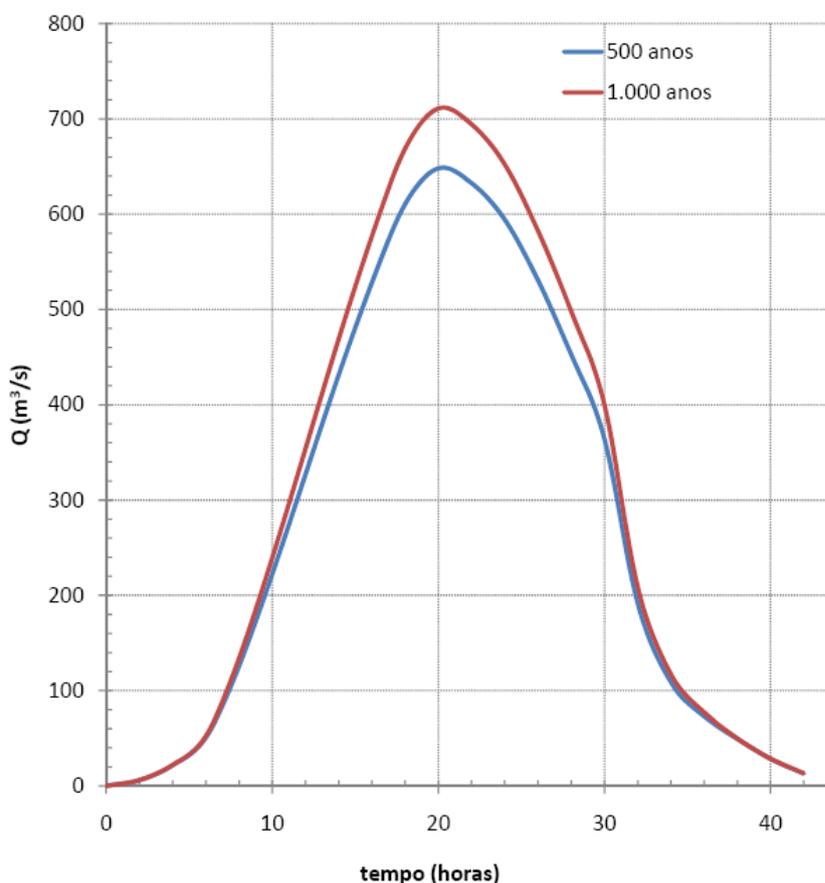


Figura 9 - Hidrogramas das vazões com período de retorno de 500 e 1000 anos

Tabela 7 – Resultados da Envoltória da Onda de Ruptura da Barragem - Cenário 2 (Ruptura por "Overtopping")

Seção	Progressiva (m)	Vazão Máxima (m³/s)	Largura Superficial (m)	Cota NA Max (m)	Velocidade (m/s)	Tempo de Chegada da onda (min)	NA Inicial (m)
28597	0	20674	171	581.88	22.0	0	580.23
Ponte	3	20469	162	579.77	17.3	1	579.07
27428	201	20334	121	575.99	26.5	1	572.86
26622	309	20207	151	572.37	20.7	1	570.89
25946	473	20165	259	570.91	11.9	2	566.98
25211	632	20147	212	570.21	13.6	2	560.69
24455	779	20134	175	569.29	13.1	2	559.17
23494	918	20132	166	568.02	14.8	2	557.93
22402	1080	20125	126	565.72	20.4	2	555.25
21724	1297	20121	108	562.68	27.0	2	556.37
21060	1532	20120	105	559.98	22.5	3	555.25
20293	1671	20116	128	557.25	17.7	3	553.26
19569	1800	20112	101	551.99	30.9	3	546.89
18639	1976	19780	113	544.91	25.2	3	544.80
17891	2157	19524	203	542.15	10.6	3	543.17
17390	2377	19480	138	541.44	11.6	3	535.64
16768	2539	19395	197	540.54	12.0	3	528.19
C. Força	2672	19356	222	539.78	12.7	3	528.91
15209	2841	19337	252	539.35	8.4	3	528.90
14308	3023	19288	374	539.32	3.8	4	528.31
13157	3209	19300	331	538.84	9.0	4	528.47
12701	3426	19289	382	538.55	7.5	4	528.51
12018	3659	19279	265	538.51	5.3	4	528.45
11093	3851	19270	232	537.56	15.4	4	528.46
10198	3985	18963	146	535.04	18.6	5	528.47
9479	4206	18693	132	532.68	19.5	5	527.41
8648	4430	18021	192	530.94	13.5	5	524.94
7756	4574	17923	273	530.28	10.2	5	521.42
7061	4761	17829	372	530.02	6.5	6	522.38
6528	4947	17865	311	529.69	7.3	6	522.41
5750	5126	17833	260	529.42	7.5	6	522.42
4916	5240	17787	244	529.08	8.1	6	522.41
4330	5433	17725	288	528.89	6.7	7	522.40
3860	5621	17678	292	528.71	8.5	7	522.39

Seção	Progressiva (m)	Vazão Máxima (m³/s)	Largura Superficial (m)	Cota NA Max (m)	Velocidade (m/s)	Tempo de Chegada da onda (min)	NA Inicial (m)
3122	5754	17458	388	528.74	4.2	7	522.39
1848	5862	17490	367	528.24	7.9	7	522.37
1026	6026	17334	374	528.16	5.7	8	522.39
215	6336	17389	413	528.34	4.5	8	522.37
-849	6528	17415	457	528.45	3.5	8	522.38
-1798	6719	17414	448	528.39	3.6	8	522.38
-2597	6951	17413	462	528.45	3.2	8	522.38
-3411	7148	17413	395	528.31	3.7	9	522.38
-4626	7313	17431	599	528.55	2.2	9	522.38
-5464	7430	17438	692	528.56	2.0	9	522.38
-6484	7599	17424	613	528.11	2.1	9	522.38
-8210	7722	17430	745	528.51	1.9	10	522.38
-8911	7949	17430	731	528.48	2.1	10	522.38
Barragem	8150	17429	694	528.48	2.1	10	522.38

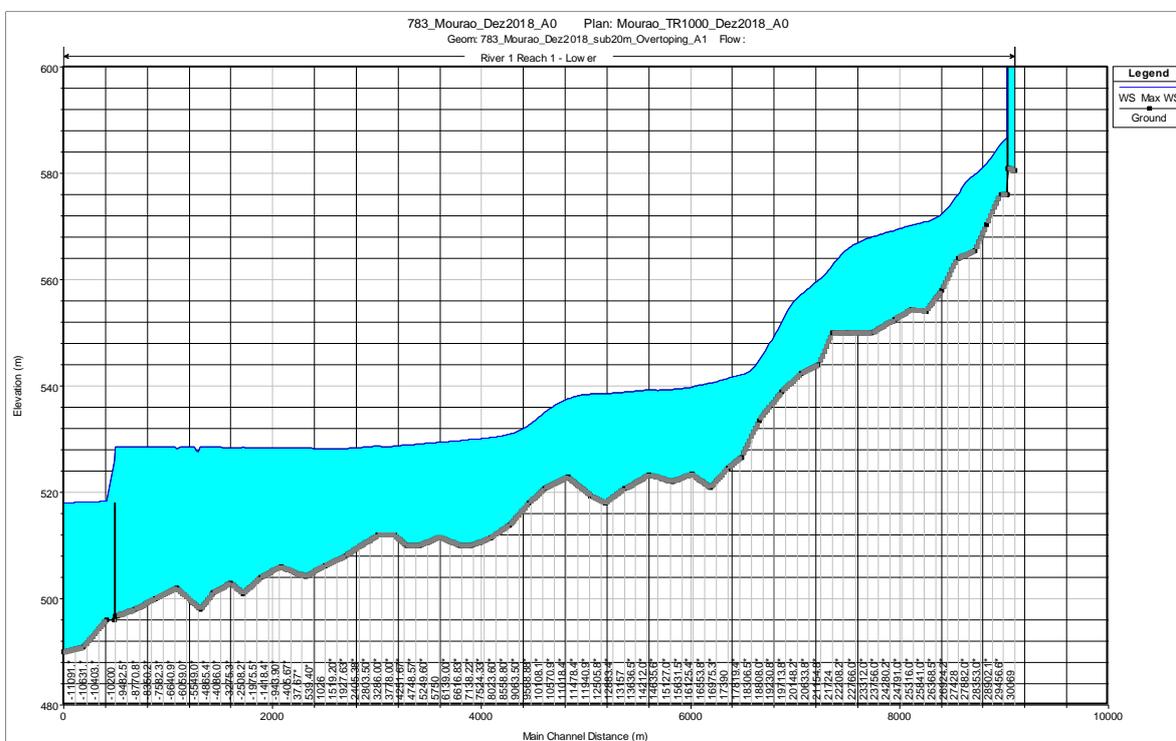


Figura 10 – Cenário 2 - Envoltória dos níveis d'água máximos e linha d'água para a vazão milenar, no trecho de jusante da barragem – Ruptura da Barragem por "Overtopping"

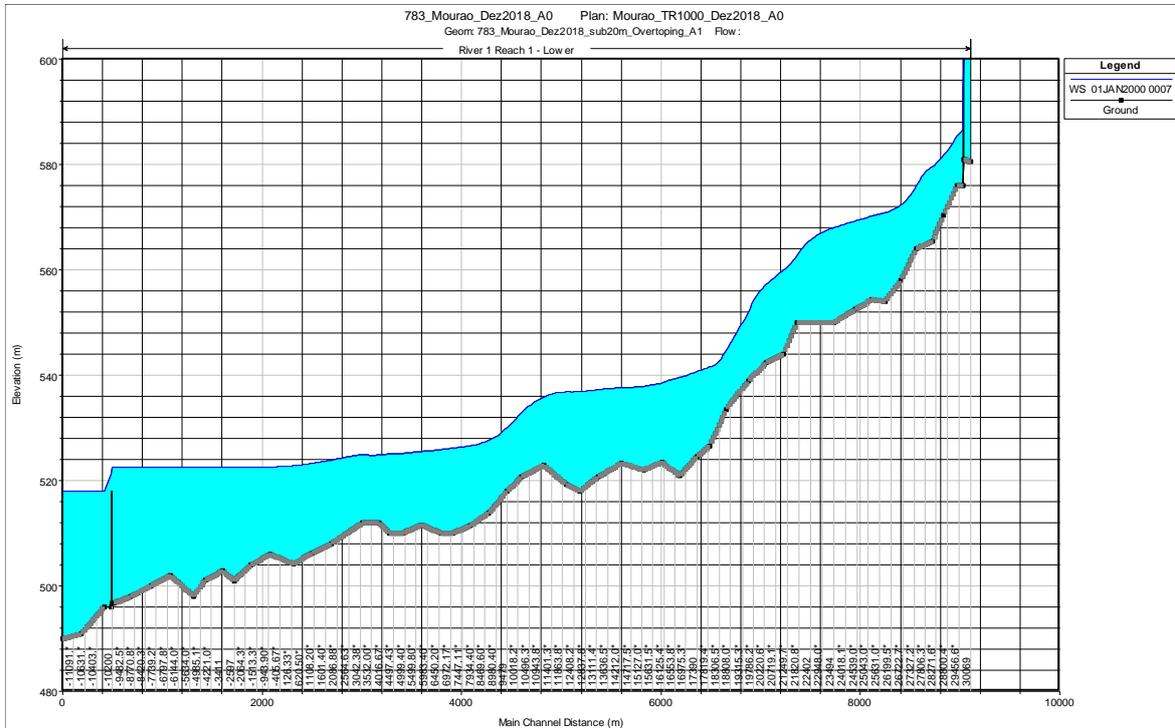


Figura 11– Cenário 2 - Chegada da onda de ruptura da barragem na última seção de jusante, na barragem da PCH Salto Natal

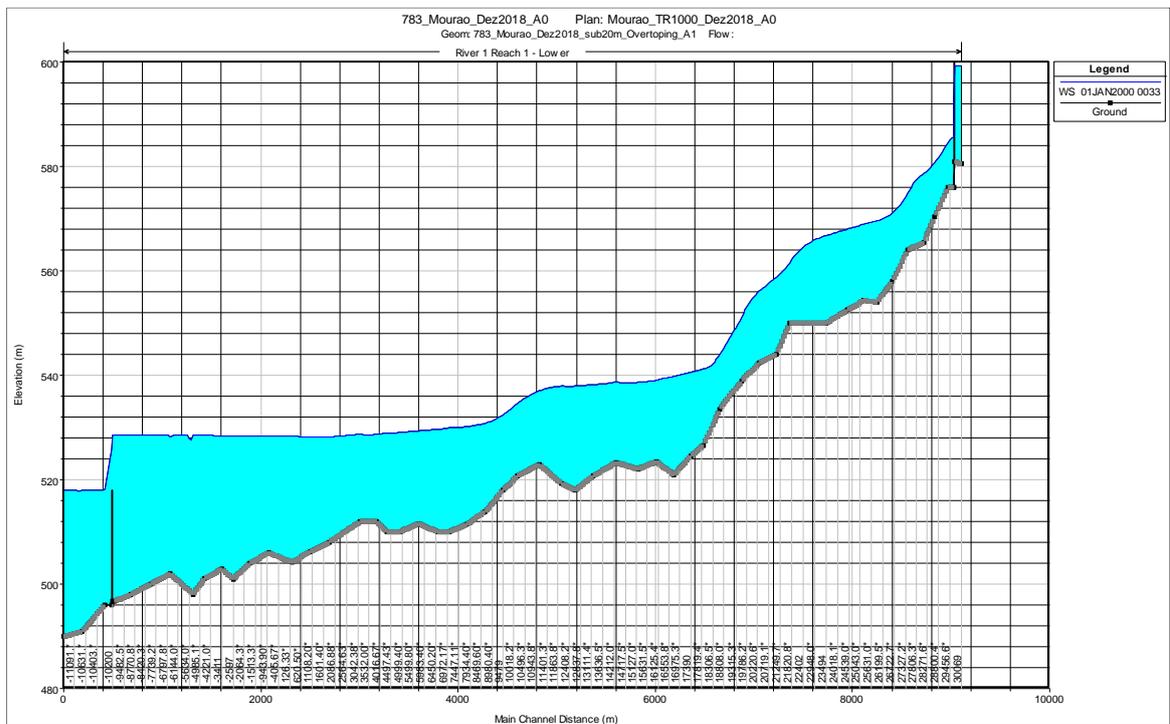


Figura 12 – Cenário 2 - Nível máximo na última seção a jusante, na barragem da PCH Salto Natal

9.3. CONCLUSÕES

A análise da propagação da onda de ruptura da barragem, constata-se que a onda de ruptura da barragem por transbordamento (Cenário 2 – Ruptura por “overtopping”) é ligeiramente superior àquela resultante da onda ruptura da barragem por “piping” (Cenário 1 – Ruptura em “Sunny Day”).

Apresenta-se resumidamente, no quadro a seguir, os principais resultados das análises hidrodinâmicas de propagação das ondas de ruptura da barragem:

Tabela 8 - Resumo dos resultados de ruptura da barragem

Principais Resultados das Simulações Hidrodinâmicas	Cenário 1 – Ruptura por “piping” (“Sunny Day”)	Cenário 2 – Ruptura por Transbordamento (“Overtopping”)
Tempo de chegada da onda na ponte da rodovia	1 min	1 min
Vazão Máxima na seção da casa de força da PCH Mourão (m ³ /s)	16800	19400
NA Máximo na seção da casa de força da PCH Mourão(m)	538,8	539,8
Distância da barragem à casa de força da PCH Mourão	2,7	2,7

Devido ao fato da barragem ser de concreto, a sua eventual ruptura é do tipo frágil, isto é, o rompimento se processa de forma muito rápida, da ordem de alguns minutos e, em caso de iminência da ruptura, esse tempo não é expressivo, porém poderá ser suficiente para se tomar medidas emergenciais, com comunicações e ações preventivas para se evitar ou reduzir as perdas de vidas humanas.

De acordo com o mapa da envoltória da área de inundação, os locais mais críticos quanto às consequências de uma eventual ruptura da barragem é a ponte da rodovia e a casa de força.

O tempo de chegada da onda de ruptura da barragem até a casa de força é de aproximadamente 3 minutos.

No Anexo 1 são apresentadas as manchas de inundação.

	Operation & Maintenance	CODE GRE.OEM.R.88.BR.H.68497.09.002.03
		PAGE 30 of 32

10. TREINAMENTOS - PAE

Todos os participantes do Plano de Ação Emergencial deverão ser alvo de treinamento para conscientização e familiarização com as atividades que deverão exercer. O treinamento deverá dar ênfase à mobilização dos recursos internos envolvidos.

Anualmente os integrantes deverão participar dos cursos de reciclagem das atividades, que terão como finalidade a preparação para a prontidão efetiva, e que serão ministrados após a atualização geral dos cadastros e antes do início da estação chuvosa.

Os treinamentos seguirão conforme resolução 1064/2023 :

§ 8º O exercício prático de simulação de situação de emergência deve ser realizado com a população da ZAS com frequência e organização definida conjuntamente com os órgãos de proteção e defesa civil, no que couber.

§ 9º A frequência para realização do exercício prático de simulação de que trata o §8º não deverá exceder 3 anos, salvo manifestação dos órgãos de proteção e defesa civil competentes.



Operation & Maintenance

CODE
GRE.OEM.R.88.BR.H.68497.09.002.03

PAGE
31 of 32

11. ASSINATURA DOS RESPONSÁVEIS

Jayme Barg

Responsável Legal
CREA: 1989105709

Eng. Juliana Martins Pereira

Responsável Técnico
CREA: 2605272010



Operation & Maintenance

CODE
GRE.OEM.R.88.BR.H.68497.09.002.03

PAGE
32 of 32

12. ANEXOS

ANEXO 1: MAPAS ZAS

Item	Nº Enel Green Power	Título
1	GRE.OEM.R.88.BR.H.01113.09.005.00	Relatório Cadastramento ZAS
2	GRE.OEM.R.88.BR.H.01113.09.009.00	Mapa Propriedades ZAS

ANEXO 2: PLANO DE EVACUAÇÃO

Item	Nº Enel Green Power	Título
1	GRE.OEM.R.88.BR.H.01113.09.007.00	Plano de Evacuação