

UHE Paranoá
Plano de Segurança de Barragem
Volume IV - Plano de Ação de Emergência
Seção II – Detecção, Avaliação e Classificação das Situações
de Emergência

Cliente/Revisão



Produção



Atualização

Intertechne

REVISÃO

Revisão	Descrição	Empresa	Execução	Verificação	Aprovação	Data
A	Emissão	FRACTAL	JDL	PGL	HLR	27/04/2017
0	Atendimento	FRACTAL	JDL	RBX	PGL	07/06/2017
1	Atualização	CEB G	CEB G	CEB G	CEB G	28/02/2019
2	Atualização	CEB G	CEB G	CEB G	CEB G	05/06/2019
3A	Atualização	INTERTECHNE	GDO	HAP	HAP	14/05/2024
3B	Atendimento	INTERTECHNE	GDO	VYL	HAP	29/05/2024
3C	Atendimento	INTERTECHNE	GDO	VYL	HAP	18/10/2024

UHE PARANOÁ

APRESENTAÇÃO

O presente documento é parte integrante do Plano de Ação de Emergência da Barragem Paranoá (Volume IV do Plano de Segurança de Barragens), juntamente com os seguintes materiais:

Seção I	Informações Gerais do PAE e da Barragem	24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0410
Seção II	Deteccção, Avaliação e Classificação das Situações de Emergência	24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0420
Seção III	Procedimentos de Notificação e Sistema de Alerta	24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0430
Seção IV	Responsabilidades Gerais no PAE	24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0440
Seção V	Síntese do Estudo de Inundação	24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0450
Seção VI	Implantação do PAE	24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0460

SUMÁRIO

1	SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA.....	5
1.1	CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE SEGURANÇA	6
1.1.1	Nível 0 (Verde) - Normal.....	7
1.1.2	Nível 1 (Amarelo) – Atenção.....	7
1.1.3	Nível 2 (Laranja) – Alerta.....	7
1.1.4	Nível 3 (Vermelho) – Emergência.....	8
1.2	ANÁLISE DE POTENCIAIS MODOS DE RUPTURA.....	8
1.3	ESTRUTURAS VULNERÁVEIS.....	9
1.4	DETECÇÃO E AVALIAÇÃO DAS SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA	10
1.4.1	Indicadores Qualitativos	12
1.4.2	Indicadores Quantitativos	14
2	ANÁLISE DA RUPTURA DA BARRAGEM.....	16
2.1	DADOS UTILIZADOS.....	17
2.1.1	Reservatório	17
2.1.2	Vazões Máximas	18
2.1.3	Sistema Extravasor	20
2.1.4	Topografia	21
2.2	FORMAÇÃO DA BRECHA DE RUPTURA	21
2.3	CRITÉRIOS E CENÁRIOS	23
2.4	CARTAS DE INUNDAÇÃO.....	24
2.4.1	Zona de Autossalvamento (ZAS).....	24
2.4.2	Área atingida	25
2.5	ESTRATÉGIA, RECURSOS E MEIO DE DIVULGAÇÃO E ALERTA	25
3	REFERÊNCIAS.....	26
4	APÊNDICES.....	28
5	RECOMENDAÇÕES	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Conformação do barramento da UHE Paranoá.	9
Figura 2. Vista geral do empreendimento.	10
Figura 3. Sistema de gestão de emergências.	11
Figura 4. Diagrama de Operação do reservatório Paranoá.	16
Figura 2-1 – Curva cota x volume reservatório UHE Paranoá.	17
Figura 2-2 – Hidrogramas de projeto (Fonte: 889-PCHPA-RT-RPS-HMO-0004).	20
Figura 2.3 – Modelo de terreno.	21
Figura 2.4 - Parâmetros para Definição da Brecha.	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 – Curva cota x volume (Fonte: 312-PCHPA-CD-PAE-001).	18
Tabela 2-2 – Vazões máximas (Fonte: 899-PCHPA-RT-RPS-HMO-0004).	18
Tabela 2-3 – Hidrograma de cheias.	19
Tabela 2-4 – Vazão unitária de 1 comporta.	20
Tabela 2-5 – Descrição das brechas simuladas.	23
Tabela 2-6 – Descrição dos cenários simulados.	23

LISTA DE QUADRO

Quadro 1. Cores padrões dos níveis de segurança.	6
Quadro 2. Situações de Emergência.	12

1 SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA

Para a elaboração do PAE da Barragem Paranoá, levou-se em consideração as principais situações de emergência passíveis de ocorrência na barragem, segundo informações de projeto, operacionais e de história das estruturas. O presente documento expõe meios de descrever, avaliar e classificar os níveis de segurança das situações de emergência.

Sabendo que estas situações podem variar de acordo com as características da barragem em estudo, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA)¹, devem ser consideradas, em geral, as seguintes ocorrências:

- Eventos anormais naturais, exteriores à barragem, como: tempestades, sismos, cheias provocadas por precipitações intensas ou por ruptura de barragens a montante, bem como por ondas induzidas pelo deslizamento de encostas no reservatório;
- Eventos excepcionais provocados pelo homem, exteriores à barragem, tais como: atos de guerra ou sabotagem;
- Circunstâncias anômalas de comportamento que derivam de deteriorações no corpo da barragem e/ou sua fundação, nos órgãos extravasores e seu equipamento de operação (eventos internos); e que são consequência das características da estrutura e do seu estado de manutenção, podendo incluir valores excessivos de variáveis, tais como as variações do volume do concreto ou as alterações de natureza físico-química das propriedades dos materiais;
- Outras situações internas à barragem relacionadas com a exploração e operação que derivam da operação dos respectivos órgãos extravasores, ou ainda situações que podem ocorrer nas instalações da barragem, tais como incêndios, inundações e atos de vandalismo.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), considera-se iniciada uma situação de emergência quando:

- For observada uma situação que possa comprometer a segurança da barragem a qualquer momento;
- For observado mau funcionamento de dispositivos de descarga que propicie inundação de área a jusante a qualquer momento;
- For constatada, a qualquer momento, anomalia que resulte na pontuação maior ou igual a 08 (oito) pontos na matriz de Estado de Conservação, referente a Categoria de Risco da barragem de acumulação d'água².

¹ AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Manual do Empreendedor – Volume IV. Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE. Brasília: ANA, 2015.

² ANEEL. Resolução Normativa ANEEL nº 1.064, de 2 de maio de 2023.

UHE PARANOÁ

O operador e o responsável da barragem devem estar atentos aos três pontos supracitados, em relação ao início de uma situação de emergência.

1.1 CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE SEGURANÇA

A avaliação e classificação das situações de emergência baseiam-se em quatro níveis de alerta gradualmente crescentes. Os níveis de segurança obedecem a um código de cores padrão (Quadro 1).

Quadro 1. Cores padrões dos níveis de segurança.

Nível 0 (Verde) Normal	Situações normais e/ou pequenas ocorrências anômalas ou eventos externos à barragem que não comprometem sua segurança, devendo ser controladas e monitoradas ao longo do tempo. Fazem parte do cotidiano da equipe de segurança de barragens da empresa, necessitando, apenas, de notificação interna adequada.
Nível 1 (Amarelo) Atenção	Situações anômalas ou eventos externos à barragem que não comprometem sua segurança no curto prazo, devendo ser controladas, monitoradas e reparadas ao longo do tempo. A equipe de segurança de barragens da empresa deve providenciar notificações internas e externas, conforme necessidade.
Nível 2 (Laranja) Alerta	Situações anômalas ou eventos externos à barragem que representam, no curto prazo, risco à sua segurança, devendo ser tomadas, de imediato, as devidas providências para sua extinção. A equipe de segurança de barragens da empresa deve providenciar notificações internas e externas, conforme necessidade.
Nível 3 (Vermelho) Emergência	Situações anômalas ou eventos externos à barragem que representam risco de ruptura iminente, devendo ser tomadas as devidas providências para reduzir danos humanos e materiais, decorrentes de seu colapso. Deve ser efetuado o alerta antecipado.

Fonte: adaptado de ANA (2015).

A classificação quanto aos níveis de segurança baseia-se na análise de eventos e irregularidades passíveis de ocorrência no empreendimento. Em geral, esta classificação não implica em uma ocorrência sequencial, podendo existir uma situação de nível de emergência sem que o mesmo implique na passagem por níveis de segurança inferiores.

Estabelecidos critérios de apoio à decisão e realizada a classificação quanto aos níveis de segurança e risco de ruptura, o Coordenador do PAE deve declarar, para os níveis superiores a zero, Estado de Atenção, Alerta ou Emergência, bem como executar as ações previamente descritas no PAE para cada nível.

O coordenador do PAE deverá ser um profissional treinado e capacitado para o desempenho da função, designado pelo empreendedor da usina, com conhecimento total sobre as estruturas da

UHE PARANOÁ

barragem, autonomia e autoridade para mobilização de equipamentos, materiais, mão-de-obra e suprimentos diversos.

Com o presente documento, o coordenador do PAE tem subsídio para identificar as situações de emergência, para então, na Seção III (24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0430), buscar o procedimento de notificação adequado, bem como a definição dos responsáveis.

1.1.1 Nível 0 (Verde) - Normal

O nível mínimo de alerta (Nível 0) configura uma situação normal de rotina, onde a probabilidade de acidente grave é desprezível. Isto é, os eventos diversos e as irregularidades operacionais e gerenciais detectadas no aproveitamento não afetam a segurança da barragem, somente sua funcionalidade.

Enquadram-se neste nível, os eventos e irregularidades estáveis, sem consequências nocivas ao vale a jusante ou com lenta evolução temporal, bem como as anomalias passíveis de controle pelo empreendedor.

Neste caso, as notificações devem ser internas, uma vez que a situação pode ser resolvida internamente, cabendo a responsabilidade ao proprietário do empreendimento. Normalmente, são monitoradas pela equipe de segurança de barragens da empresa, até que, em curto ou médio prazo, seja efetuada a manutenção e reparo.

1.1.2 Nível 1 (Amarelo) – Atenção

O nível de atenção (Nível 1) corresponde a primeira escala de situações não normais, sendo caracterizado pela existência de uma situação adversa com possibilidade de comprometimento da segurança estrutural da barragem e ocorrência de danos ao vale a jusante.

Neste nível, as notificações ainda devem ser internas, uma vez que a situação pode ser controlada internamente pelos próprios funcionários. Com exceção da entidade fiscalizadora (ANEEL), que deverá ser notificada, e dos empreendimentos a montante e jusante, quando houver.

Deve-se estabelecer, com declaração por escrito, mediante formulário adequado (24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0410 a mudança de nível para o ESTADO DE ATENÇÃO na barragem. Para mais informações, consultar as fichas de emergência Nível 1 (Apêndice 2).

1.1.3 Nível 2 (Laranja) – Alerta

O nível de alerta (Nível 2) configura uma situação adversa identificada no Nível 1, mas não extinta ou não controlada, continuando a afetar a segurança da barragem. Neste caso, pode ocorrer um acidente a qualquer momento, uma vez que a integridade e operacionalidade da estrutura é afetada.

Enquadram-se neste nível, os eventos ou irregularidades com rápida evolução temporal, onde a tomada de decisão é realizada de forma imediata, não havendo tempo hábil para um estudo

UHE PARANOÁ

aprofundado da situação. Ressaltam-se também, situações anormais onde não há possibilidade de controle, tornando-se indispensável a intervenção de entidades externas, bem como anomalias passíveis de agravamento, com ocorrência de graves consequências ao vale a jusante.

Devido ao risco iminente, as notificações devem ser internas e externas. Os principais agentes e órgãos a serem alertados são: (i) a população na ZAS; (ii) a entidade fiscalizadora (ANEEL); (iii) os empreendimentos de montante e jusante, quando houver; e (iv) os órgãos integrantes do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC). Consultar Seção III (24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0430).

Deve-se estabelecer, com declaração por escrito, mediante formulário adequado (24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0410), ESTADO DE ALERTA na barragem, na Zona de Autossalvamento (ZAS) e em possíveis áreas impactadas a jusante. Para mais informações, consultar as fichas de emergência Nível 2 (Apêndice 2).

1.1.4 Nível 3 (Vermelho) – Emergência

O nível de emergência (Nível 3) configura uma situação adversa de ruptura iminente. Neste caso, um acidente é inevitável, fugindo do controle dos responsáveis e afetando de maneira severa e irreversível a segurança da barragem.

Caracterizando uma catástrofe inevitável, as notificações devem ser internas e externas. Os principais agentes e órgãos a serem alertados são:

- (i) A população na ZAS;
 - (ii) A entidade fiscalizadora (ANEEL);
 - (iii) Os empreendimentos de montante e jusante, quando houver; e
 - (iv) Os órgãos integrantes do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC).
- Consultar Seção III (24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0430).

Deve-se estabelecer, com declaração por escrito, mediante formulário adequado, ESTADO DE EMERGÊNCIA na barragem (24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0410), na Zona de Autossalvamento (ZAS) e em possíveis áreas impactadas a jusante. Para mais informações, consultar as fichas de emergência Nível 3 (Apêndice 2).

1.2 ANÁLISE DE POTENCIAIS MODOS DE RUPTURA

A análise de potenciais modos de ruptura (APMR) de uma barragem é essencial para compreender os possíveis cenários de falha de uma barragem, visando mitigar os riscos associados e proteger as comunidades e meio ambiente. A partir das análises de APMR realizadas na barragem de Paranoá, foram estabelecidos três cenários para a delimitação das áreas de inundação e o mapeamento das regiões afetadas. Estes cenários englobam a ruptura mais provável (piping), a ruptura extrema (galgamento da barragem) e a operação hidráulica extrema, sendo uma análise mais aprofundada apresentada ao longo deste documento.

UHE PARANOÁ

Entre os potenciais modos de falha analisados, considera-se que o mais plausível de ocorrência é o de ruptura mais provável. Tal conclusão é embasada no relatório UHEPA.RL.O&M.C.RA.24.REV07.04, que indica um significativo carreamento de solo nos drenos da galeria de desvio, localizados no vale próximo à base da encosta. A presença desse fenômeno de carreamento sugere uma condição desfavorável, aumentando a propensão a possíveis falhas na estrutura da barragem.

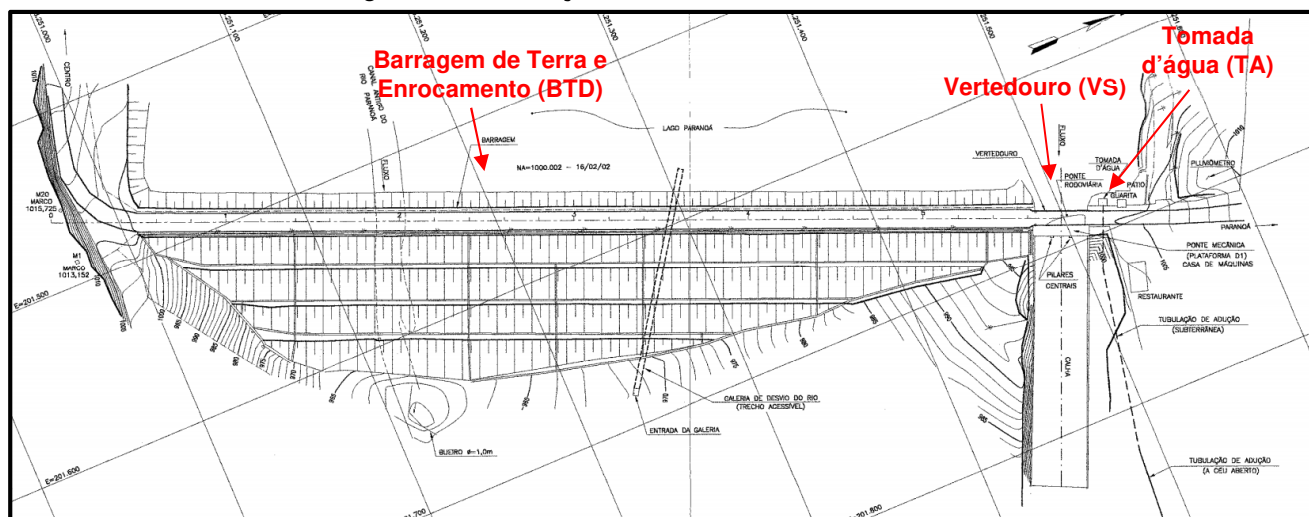
1.3 ESTRUTURAS VULNERÁVEIS

Com o desenvolvimento da APMR foram identificadas as estruturas civis da Barragem Paranoá, conforme vistoria das estruturas:

- Ombreira Direita (OD);
- Barragem de Terra e Enrocamento (BTD);
- Muros de Aproximação;
- Vertedouro de Superfície – Controlado (VS);
- Tomada d'água (TA); e
- Ombreira Esquerda (OE).

Detalhes construtivos e geométricos destas estruturas encontram-se descritos e ilustrados na Seção I do Volume IV do PSB (24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0410), referente ao PAE, conforme Figura 1.

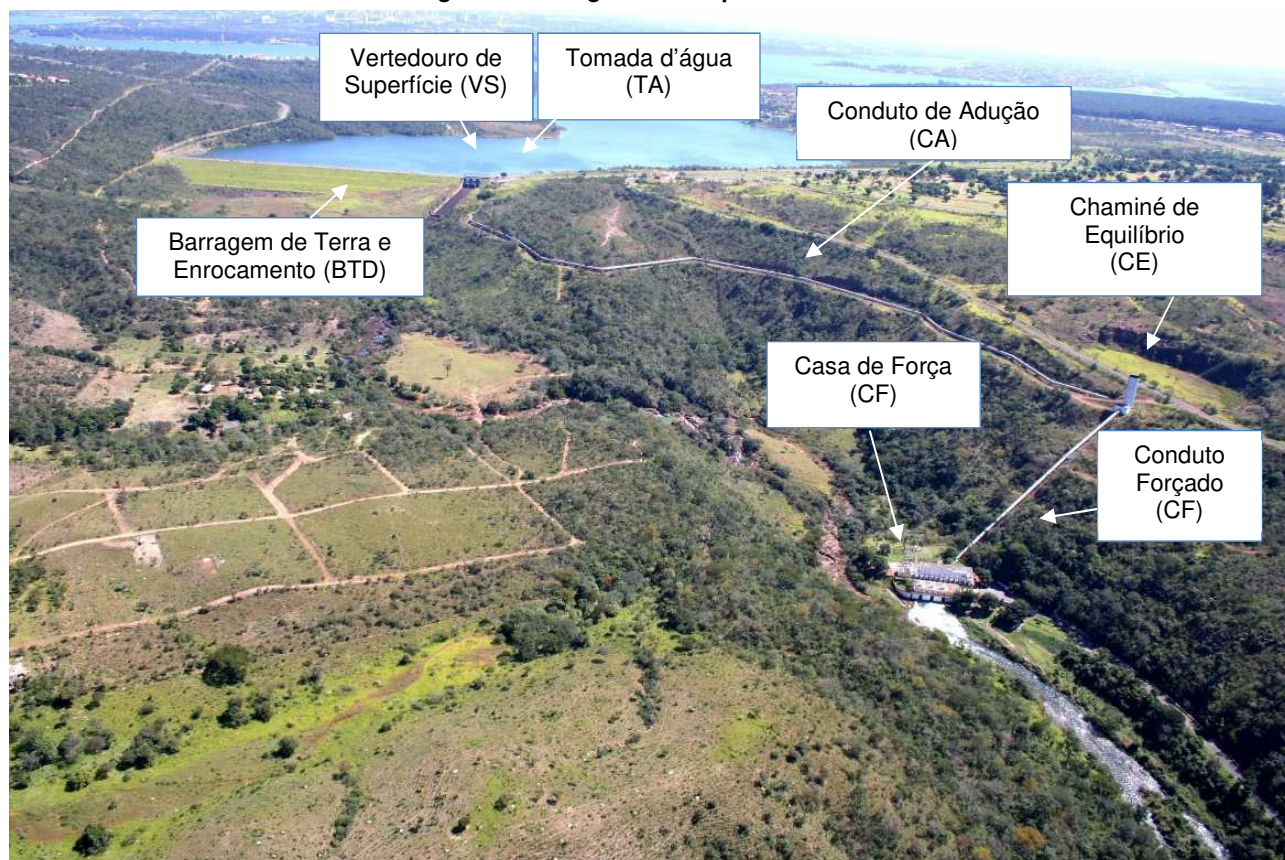
Figura 1. Conformação do barramento da UHE Paranoá.



Fonte: Barragem do Paranoá – Planta – Arranjo (UPA-D-001).

UHE PARANOÁ

Figura 2. Vista geral do empreendimento.



Fonte: CEB Geração S.A. (2011)

Os possíveis locais de formação da brecha de ruptura da Barragem Paranoá estão listados abaixo, tendo sido selecionadas as estruturas de maior altura do barramento. A escolha por estes pontos foi realizada mediante informações da planta do arranjo geral.

- Barragem de terra da margem direita (OD); e,
- Vertedouro controlado por comportas.

A altura da brecha variou, aproximadamente, entre 33,00 m e 36,00 m, alcançando seu valor máximo em 35,80 m.

1.4 DETECÇÃO E AVALIAÇÃO DAS SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA

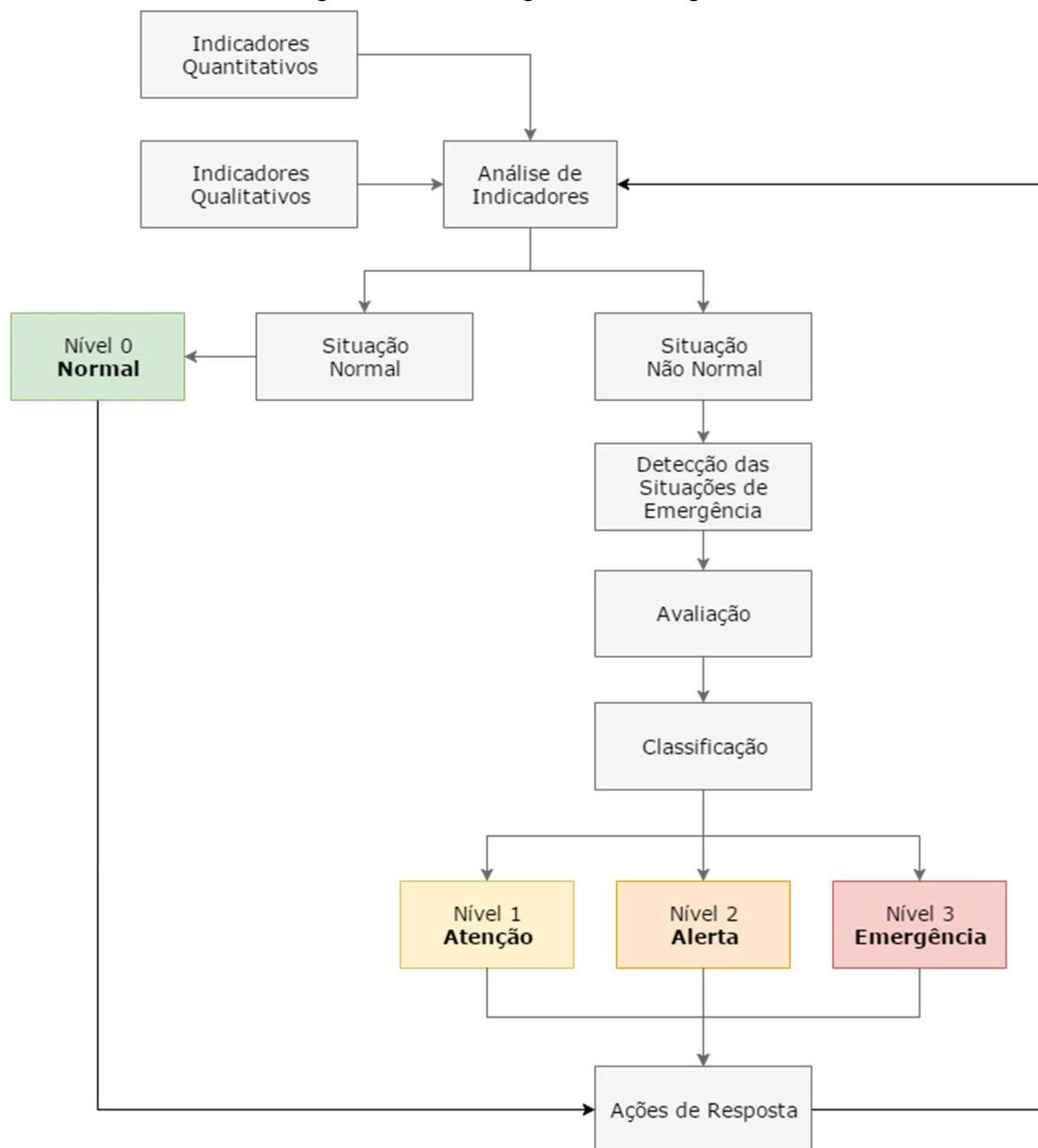
Com a apresentação dos níveis de segurança e da APMR, a operacionalização do PAE tem início pela detecção das potenciais situações de risco passíveis de ocorrência na barragem em estudo. Para tanto, faz-se uso de monitoramentos periódicos, devendo ser realizadas inspeções de segurança regular nas estruturas do empreendimento, bem como a análise dos resultados da instrumentação da barragem e do reservatório.

Junto às inspeções de segurança regular, deve-se manter todo o procedimento de inspeção visual rotineira, bem como leitura dos equipamentos de auscultação com periodicidade adequada. A manutenção e o funcionamento adequado dos equipamentos de auscultação são fatores imprescindíveis à segurança das estruturas da barragem.

UHE PARANOÁ

A Figura 3 resume os níveis apresentados anteriormente, inserindo-os dentro de um sistema de Gestão de Segurança, desde o procedimento de inspeção e detecção com classificação dos níveis de emergência até as ações de resposta.

Figura 3. Sistema de gestão de emergências.



De forma a facilitar a avaliação das situações de emergência e classificação quanto ao seu nível de segurança, são definidos indicadores qualitativos e quantitativos baseados nas características da Barragem Paranoá. Dessa forma, consideram-se indicadores qualitativos ou evidências, todos os eventos naturais e anomalias que possam vir a contribuir para o prejuízo da segurança das estruturas da obra, bem como do vale a jusante. Por sua vez, os indicadores quantitativos são definidos com base na variação numérica das grandezas consideradas essenciais para a boa operacionalidade da obra.

UHE PARANOÁ

Sabendo que o monitoramento, análise e classificação das situações de emergência são de suma importância para o bom desenvolvimento do Plano de Ação de Emergência da Barragem Paranoá, os formulários das inspeções de segurança da barragem devem estar disponíveis junto ao PAE, facilitando a consulta aos critérios de caracterização dos níveis de emergência.

Os principais modos de falha com potencial para geração de situações de emergência, os indicativos qualitativos e quantitativos para cada uma dessas situações, assim como a classificação quanto aos níveis de emergência, estão sintetizados nos itens a seguir. Cabe salientar que, eventualmente, possam vir a ocorrer situações diferentes das apresentadas, por dificuldade de previsão antecipada de sua ocorrência. Estes cenários podem ser identificados durante as atividades de rotina dos operadores do aproveitamento e/ou por meio das inspeções periódicas.

1.4.1 Indicadores Qualitativos

O Quadro 2 expõe as situações de emergência detectáveis para a Barragem Paranoá, caracterizando-as quanto ao seu modo de falha, suas classificações quanto ao nível de segurança e respectiva ficha de emergência. As inspeções rotineiras devem ser balizadas pelas fichas de ação, conforme interpretação visual, auxiliando a detecção da situação emergente. Estas podem ser acessadas no Apêndice 2.

Quadro 2. Situações de Emergência.

TERRA/ ENROCAMENTO			
Ocorrência	Situação	Nível	Ficha
Sismos	Na ocorrência de sismos deve-se percorrer toda a barragem, inspecionando suas estruturas e identificando possíveis anomalias, tais como: ocorrência de cheias, trincas, depressões ou abatimentos, surgência, vazamento e umidade. Identificada a anomalias, deve-se avaliar sua magnitude e adotar as ações propostas na respectiva ficha.		
Cheia	Evento de cheia associado à dispositivos de descarga operativos e cota controlada, abaixo do NA <i>Maximo Maximorum</i> .	0	3
	Evento de cheia associado à dispositivos de descarga inoperantes e/ou operantes e nível do reservatório subindo, mas ainda abaixo do NA <i>Maximo Maximorum</i> .	1	9
	Evento de cheia associado à dispositivos de descarga inoperantes e/ou operantes, mas com galgamento da barragem iminente.	2	15
	O processo evoluiu causando formação de brecha de ruptura. A ruptura está em avanço ou já ocorreu.	3	19
Trincas, depressões ou abatimentos	Trincas/depressões/abatimentos, monitoradas ou não, documentados ou não, mas somente superficiais.	0	2
	Trincas/depressões/abatimentos, profundos e/ou que não se estabilizam; com percolação de água; com identificação de surgências a jusante nos locais das trincas; transversais atravessando todo o corpo da barragem de montante para jusante	1	8
	Trincas/depressões/abatimentos, profundos e/ou que não se estabilizam apresentando percolação e transporte de material e/ou possibilidade de galgamento e/ou erosão interna	2	14

UHE PARANOÁ

TERRA/ ENROCAMENTO			
Ocorrência	Situação	Nível	Ficha
	O processo evoluiu causando formação de brecha de ruptura. A ruptura está em avanço ou já ocorreu.	3	19
Surgência/Vazamento/ Umidade	Surgência/vazamento/umidade nos taludes ou ombreiras, não documentadas, mas sem pressão de água e/ou transporte de material	0	1
	Surgência/vazamento/umidade nos taludes ou ombreiras, documentadas ou não, com alteração de coloração do fluido, aumento de área e/ou vazão	1	7
	Surgência/vazamento/umidade nos taludes ou ombreiras com vazão elevada e grande quantidade de transporte de material evidenciando processo de erosão interna em andamento	2	13
	O processo evoluiu causando formação de brecha de ruptura. A ruptura está em avanço ou já ocorreu.	3	19
Escorregamento de taludes	Escorregamentos em forma de cunha e/ou plano superficial de pequena profundidade ou extensão.	0	4
	Escorregamentos em forma de cunha/plano/circular chegando próximo ao núcleo ou afetando menor parte do talude.	1	10
	Escorregamentos em forma de cunha/plano/circular instabilizando núcleo e/ou maior parte do talude	2	16
	O processo evoluiu causando formação de brecha de ruptura. A ruptura está em avanço ou já ocorreu.	3	19

CONCRETO			
Ocorrência	Situação	Nível	Ficha
Sismos	Na ocorrência de sismos deve-se percorrer a barragem, inspecionando suas estruturas e identificando possíveis ocorrências de movimentação da barragem de concreto, fissuras, trincas e rachaduras. Identificada a anomalias, deve-se avaliar sua magnitude e adotar as ações propostas na respectiva ficha.		
Movimentação Barragem de Concreto	Deslizamento e/ou tombamento e/ou abertura e/ou afundamento dentro dos limites de projeto	0	5
	Deslizamento e/ou tombamento e/ou abertura e/ou afundamento próximo aos limites de projeto	1	11
	Deslizamento e/ou tombamento e/ou abertura e/ou afundamento ultrapassaram os limites de projeto e a estrutura se apresenta aumento constante de movimentação.	2	17
	O processo evoluiu causando deslizamento e/ou tombamento e/ou ruptura de um ou mais blocos, ou de estruturas de extravasamento	3	20
Fissuras, Trincas e Rachaduras	Fissuras/Trincas/Rachaduras estáveis e/ou superficiais.	0	6
	Fissuras/Trincas/Rachaduras profundas que não se estabilizam; com a percolação de água com baixa vazão ou pressão.	1	12
	Fissuras/Trincas/Rachaduras profundas que não se estabilizam; com a percolação de água com elevada pressão e/ou lixiviação de material. Expansão do concreto trazendo problemas à operação de equipamentos mecânicos.	2	18
	O processo evoluiu causando deslizamento e/ou tombamento e/ou ruptura de um ou mais blocos, ou de estruturas de extravasamento	3	20

UHE PARANOÁ

1.4.2 Indicadores Quantitativos

Os indicadores quantitativos auxiliam a gestão da situação de risco, através do monitoramento hidrométrico do reservatório, geotécnico e estrutural da barragem.

Estes indicadores devem definir os níveis de segurança para o monitoramento hidrométrico e de auscultação do barramento. Isto permitirá que, ao ser constatada uma anomalia, estejam previstas manobras e ações a serem executadas, preservando a integridade e o funcionamento das estruturas.

A UHE Paranoá conta com Sistema de Auscultação operante, sendo realizadas leituras quinzenais.

1.4.2.1 Instrumentação da barragem

O monitoramento das anomalias no barramento Paranoá é realizado com o auxílio de 11 (onze) Drenos, 15 (quinze) Piezômetros de Tubo, 6 (seis) Poços de Alívio / Poços de Dreno e 9 (nove) Medidores de nível d'água.

Todavia, durante o ciclo de atividade deste projeto, não se teve acesso aos valores limites de projeto estipulados para cada equipamento. Estas informações são importantes, uma vez que a análise conjunta destes instrumentos auxiliará a classificação do estado de segurança da barragem.

1.4.2.2 Reservatório

Por intermédio do nível de montante é definido o estado hidráulico do reservatório. Analisando este estado e as condições dos equipamentos eletromecânicos, que influenciam diretamente no controle hidráulico, identifica-se a correspondente situação de operação do reservatório, sendo estas subdivididas entre “Normal”, “Alerta” ou “Emergência”. As definições de situações operativas do reservatório devem ser sempre interpretadas em separado dos níveis de segurança da estrutura, ou seja, a condição de emergência para a operação do reservatório, não significa estado de emergência para a estrutura. Para fins de declaração de situação do PAE, deve-se sempre utilizar as informações contidas no item 1.4.1. A seguir são apresentadas as características e os fatores caracterizadores destas situações operativas:

i. Situação Normal

O nível mínimo de alerta configura uma situação normal com o reservatório operando no período seco (maio e novembro).

Denominada como Região A, esta situação classifica-se por apresentar:

NORMAL

- N.A. do reservatório $999,80 \text{ m} \leq \text{N.A} \leq 1.000,60 \text{ m}$ (Período Seco).

UHE PARANOÁ

ii. Alerta

O Nível de Alerta corresponde a uma situação onde há indicativo de violação das restrições operacionais do reservatório. Esta pode ocorrer com o reservatório operando tanto no período seco (maio a novembro) quanto úmido (dezembro a abril).

Denominada como Região B, esta situação classifica-se por apresentar:

ALERTA

- N.A. do reservatório $1.000,60 \text{ m} < N.A \leq 1.000,75 \text{ m}$ (Período Seco).
- N.A. do reservatório $999,80 \text{ m} \leq N.A \leq 1.000,60 \text{ m}$ (Período Úmido).

iii. Emergência

Definida como Região C, o nível de Emergência representa a última situação operativa contemplada pelo reservatório Paranoá. Esta pode ocorrer com o reservatório operando tanto no período seco (maio a novembro) quanto úmido (dezembro a abril). Suas restrições operacionais são:

EMERGÊNCIA

- N.A. do reservatório $1.000,60 \text{ m} < N.A \leq 1.000,75 \text{ m}$ (Período Úmido).
- N.A. do reservatório $1.000,75 < N.A \leq 1.000,80 \text{ m}$ (Ambos os Períodos).

Qualquer uma das situações anteriormente descritas, caracterizam a situação do barramento como Emergência.

a) Diagrama de Operação

O Diagrama de Operação é a representação gráfica da escala de valores de referência para a delimitação das situações de operação hidráulica do reservatório. Nela estão representadas as 3 (três) situações possíveis, definidas dentro das características locais e em função do nível do reservatório, da vazão afluente de referência e da curva de descarga total do vertedouro (Figura 4).

A fim de facilitar a leitura e a interpretação do Diagrama de Operação, as 3 (três) situações operativas são representadas em cores, assim padronizadas:



SITUAÇÃO NORMAL – região verde



SITUAÇÃO DE ALERTA – região amarela



SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA – região vermelha

Figura 4. Diagrama de Operação do reservatório Paranoá

OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO DO LAGO PARANOÁ			
Nível Altimétrico [m]	PROCEDIMENTO OPERATIVO		Limites
	Período Seco (maio a outubro)	Período Úmido (novembro a abril)	
999,80	Região NORMAL	Região NORMAL	Mínimo Operativo
999,85			
999,90			
999,95			
1000,00			
1000,05			
1000,10			
1000,15			
1000,20			
1000,25			
1000,30			
1000,35			
1000,40			
1000,45			
1000,50			
1000,51	Região de ATENÇÃO	Região de ATENÇÃO	
1000,55			
1000,60			
1000,61			
1000,65			Máximo Operativo
1000,66	Região de ALERTA	Região de ALERTA	
1000,70			
1000,75			
1000,80			Máximo Maximorum
1000,81	Região de EMERGÊNCIA	Região de EMERGÊNCIA	
1003,79			
1003,80			Coroamento

Fonte: CEB Geração S.A.³

2 ANÁLISE DA RUPTURA DA BARRAGEM

A simulação da cheia induzida pela ruptura hipotética do reservatório da UHE Paranoá busca avaliar os impactos (em termos de vazões e níveis de água) provocados pela hipotética ruptura da barragem ao vale a jusante, podendo afetar a população, instalações, infraestruturas e ambiente.

³ Manual de Operação Hidráulica – Volume II. Código 883-MOPH-VOL-II-UHEPA. Revisão D. Disponibilizado pela CEB Geração S.A, via correio eletrônico.

UHE PARANOÁ

Os critérios definidos para este estudo e apresentados na sequência seguiram principalmente as diretrizes do Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume IV: Guia de Orientação e Formulários do Plano de Ação de Emergência – PAE da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2016).

O cálculo hidrodinâmico foi realizado através do software de domínio público HEC-RAS 6.5 desenvolvido pelo US Army Corps of Engineers. Para tal, adotou-se a abordagem bidimensional que permite a solução das equações de Saint-Venant ao longo de um domínio computacional.

2.1 DADOS UTILIZADOS

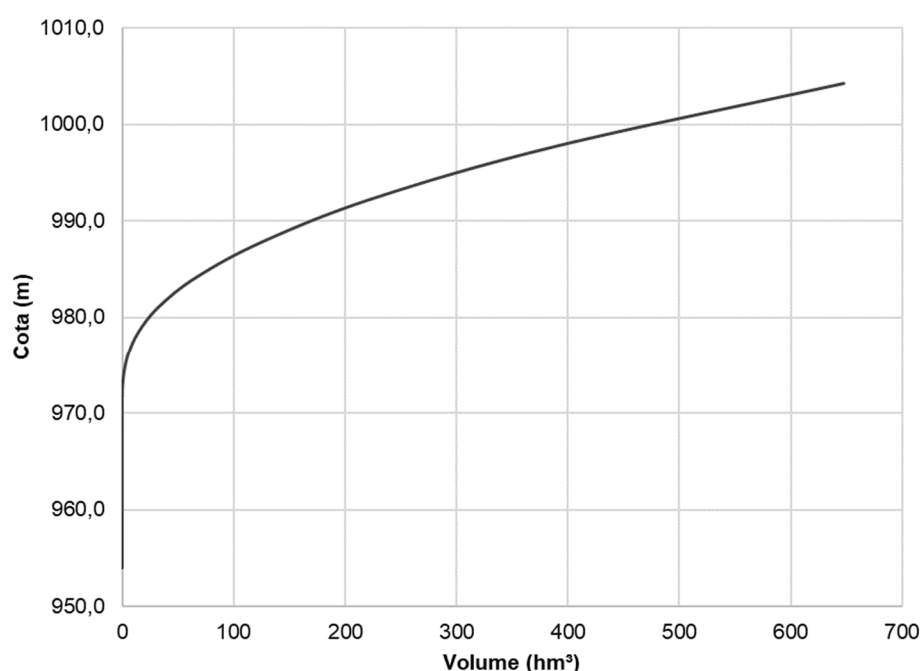
O presente estudo de ruptura de barragens empregou diferentes fontes de dados no desenvolvimento do modelo hidráulico, para representação da onda de cheia induzida pela ruptura hipotética da Barragem Paranoá.

2.1.1 Reservatório

Os níveis de água característicos do reservatório da UHE Paranoá estão indicados a seguir. A curva cota x volume do reservatório da UHE Paranoá é apresentada na Figura 2-1 e na Tabela 2-1, a qual foi obtida através do documento 312-PCHPA-CD-PAE-001.

- NA Máximo Maximorum.....1000,80 m
- NA Máximo Normal.....1000,65 m
- NA Mínimo Normal999,80 m

Figura 2-1 – Curva cota x volume reservatório UHE Paranoá



UHE PARANOÁ**Tabela 2-1 – Curva cota x volume (Fonte: 312-PCHPA-CD-PAE-001)**

Cota (m)	Volume (hm³)
954,00	0,000
971,70	0,054
972,96	0,442
974,47	1,911
976,27	5,711
978,44	14,368
981,04	32,123
984,14	66,372
987,91	126,736
992,41	226,537
997,81	391,092
1004,28	647,937

2.1.2 Vazões Máximas

O presente estudo adotou como base o estudo hidrológico apresentado no documento Revisão Hidrológica e Hidráulica e Reavaliação das Regras de Operação (889-PCHPA-RT-RPS-HMO-0004), elaborado pela Fractal Engenharia em 2022. As vazões máximas e o volume afluente a UHE Paraná, para diferentes tempos de recorrência, são apresentados na Tabela 2-2.

Tabela 2-2 – Vazões máximas (Fonte: 899-PCHPA-RT-RPS-HMO-0004)

TR	Vazão de pico (m³/s)	Volume afluente (hm³)
2 anos	181	79
10 anos	278	122
50 anos	361	159
100 anos	395	174
1.000 anos	510	224
10.000 anos	631	278

Os hidrogramas das vazões afluentes ao reservatório da UHE Paranoá estão indicados na Figura 2-2 e Tabela 2-3. Para vazões com tempos de recorrência diferentes dos indicados abaixo utilizou-se o hidrograma adimensional, definido pela divisão das vazões ao longo do tempo pela vazão de pico.

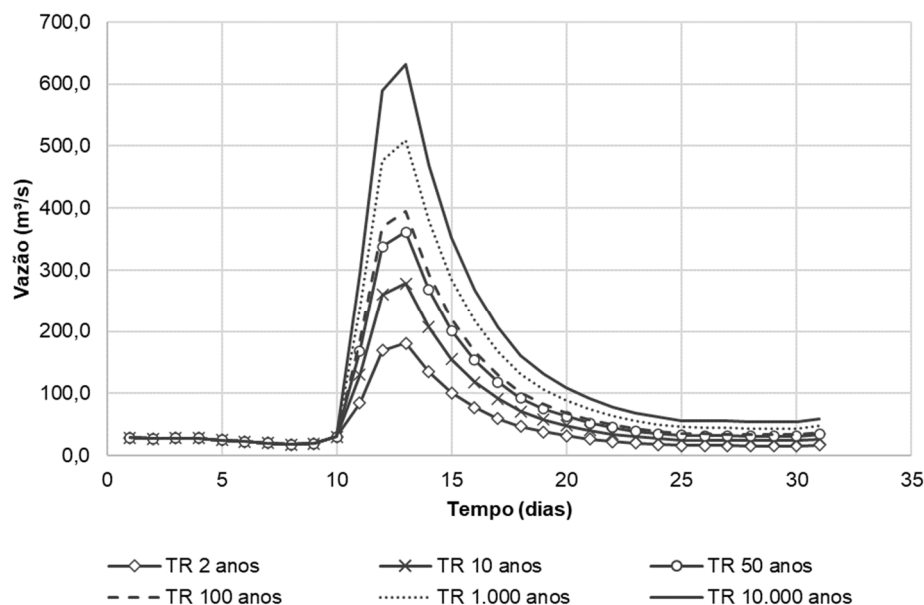
UHE PARANOÁ

Tabela 2-3 – Hidrograma de cheias

Tempo (dias)	Vazão (m³/s)					
	TR 2 anos	TR 10 anos	TR 50 anos	TR 100 anos	TR 1.000 anos	TR 10.000 anos
1	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7
2	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3
3	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9
4	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6
5	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3
6	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3
7	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
8	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2
9	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
10	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8
11	84,5	129,7	168,5	184,4	238,0	294,5
12	169,2	259,9	337,4	369,2	476,7	589,8
13	181,0	278,0	361,0	395,0	510,0	631,0
14	134,4	206,5	268,1	293,4	378,8	468,7
15	101,0	155,2	201,5	220,5	284,7	352,2
16	76,9	118,1	153,3	167,8	216,6	268,0
17	59,3	91,1	118,3	129,5	167,1	206,8
18	46,3	71,1	92,3	101,0	130,4	161,3
19	37,7	57,9	75,1	82,2	106,2	131,3
20	31,4	48,3	62,7	68,6	88,5	109,5
21	26,1	40,2	52,2	57,1	73,7	91,2
22	22,4	34,4	44,7	48,9	63,1	78,1
23	19,5	29,9	38,9	42,5	54,9	67,9
24	17,6	27,0	35,1	38,4	49,6	61,4
25	16,1	24,8	32,2	35,2	45,5	56,3
26	15,9	24,3	31,6	34,6	44,7	55,3
27	15,7	24,2	31,4	34,3	44,3	54,9
28	15,5	23,8	30,9	33,8	43,7	54,0
29	15,3	23,5	30,6	33,4	43,2	53,4
30	15,4	23,7	30,8	33,7	43,5	53,8
31	16,9	26,0	33,7	36,9	47,6	58,9

UHE PARANOÁ

Figura 2-2 – Hidrogramas de projeto (Fonte: 889-PCHPA-RT-RPS-HMO-0004)



2.1.3 Sistema Extravasor

O sistema extravasor da UHE Paranoá está localizado na margem esquerda do barramento e é composto de um vertedouro superfície com soleira na El. 993,5 m e dotado de três vãos de 9,4 m de largura cada, controlados por comportas segmentos.

A Tabela 2-4 apresenta a curva hidráulica do vertedouro para a vazão unitária de uma comporta, conforme apresentado no Manual de Operação Hidráulica (883-MOPH-CH-UHEPA-001).

Tabela 2-4 – Vazão unitária de 1 comporta

H (m) / NAR (m)	0,05	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5 (TA)
999,80	3,8	7,7	37,7	73,9	108,5	141,5	172,8	202,3	230,1
999,85	3,9	7,7	37,9	74,2	109,0	142,1	173,6	203,4	231,3
999,90	3,9	7,7	38,0	74,5	109,4	142,8	174,4	204,4	232,5
999,95	3,9	7,8	38,2	74,8	109,9	143,4	175,2	205,4	233,7
1000,00	3,9	7,8	38,3	75,1	110,4	144,0	176,1	206,4	234,9
1000,05	3,9	7,8	38,5	75,4	110,8	144,7	176,9	207,3	236,1
1000,10	3,9	7,8	38,6	75,7	111,3	145,3	177,7	208,3	237,3
1000,15	3,9	7,9	38,8	76,0	111,8	145,9	178,5	209,3	238,4
1000,20	4,0	7,9	38,9	76,3	112,2	146,5	179,3	210,3	239,6
1000,25	4,0	7,9	39,0	76,6	112,7	147,2	180,0	211,3	240,7
1000,30	4,0	8,0	39,2	76,9	113,1	147,8	180,8	212,2	241,9
1000,35	4,0	8,0	39,3	77,2	113,6	148,4	181,6	213,2	243,1
1000,40	4,0	8,0	39,5	77,5	114,0	149,0	182,4	214,1	244,2
1000,45	4,0	8,0	39,6	77,8	114,5	149,6	183,2	215,1	245,3
1000,50	4,0	8,1	39,8	78,1	114,9	150,2	183,9	216,1	246,5
1000,55	4,1	8,1	39,9	78,4	115,4	150,8	184,7	217,0	247,6
1000,60	4,1	8,1	40,1	78,7	115,8	151,4	185,5	217,9	248,7
1000,65	4,1	8,2	40,2	79,0	116,2	152,0	186,3	218,9	249,8
1000,70	4,1	8,2	40,3	79,2	116,7	152,6	187,0	219,8	250,9
1000,75	4,1	8,2	40,5	79,5	117,1	153,2	187,8	220,7	252,1
1000,80	4,1	8,2	40,6	79,8	117,6	153,8	188,5	221,7	253,2

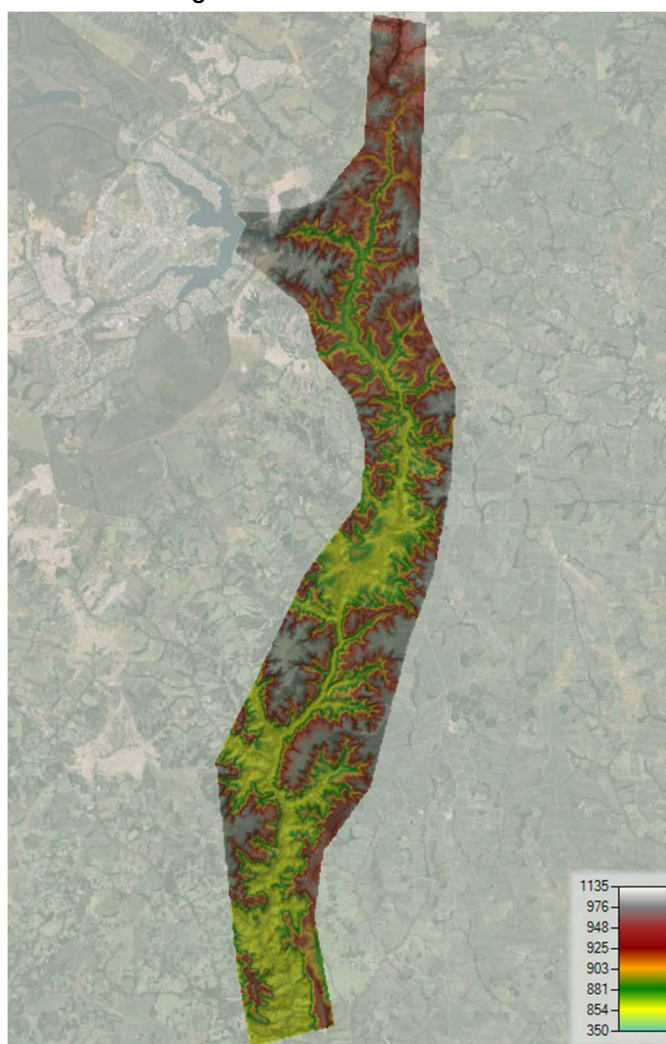
Nota: TA significa comporta totalmente aberta

UHE PARANOÁ

2.1.4 Topografia

A base topográfica adotada no estudo foi definida através de duas fontes de informações, visando englobar integralmente a área de estudo. A Companhia Energética de Brasília (CEB) forneceu curvas de nível, com espaçamento de 5 m, as quais abrangiam toda a extensão do Distrito Federal. A partir dessas curvas, foi possível gerar um MDE com resolução espacial de 2,5 m. Contudo, dado que a área de estudo se estendia até o estado de Goiás, do qual não se havia informações topográficas, a base foi complementada com um MDE obtido a partir da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). O modelo do terreno adotado é apresentado na Figura 2.3.

Figura 2.3 – Modelo de terreno



2.2 FORMAÇÃO DA BRECHA DE RUPTURA

Uma brecha é caracterizada por dois parâmetros: as suas dimensões (nomeadamente a largura e declividade dos taludes laterais) e o tempo de ruptura. Estes fatores, em conjunto, influenciam os valores das vazões, dos níveis e dos tempos de chegada da onda de inundação às diferentes áreas de inundação e afetam os intervalos de tempo disponíveis para a implementação do Plano de Ação de Emergência.

UHE PARANOÁ

O desenvolvimento de brechas de ruptura em barragens de aterro tem sido objeto de múltiplos trabalhos técnico-científicos, principalmente no que se refere à sua caracterização.

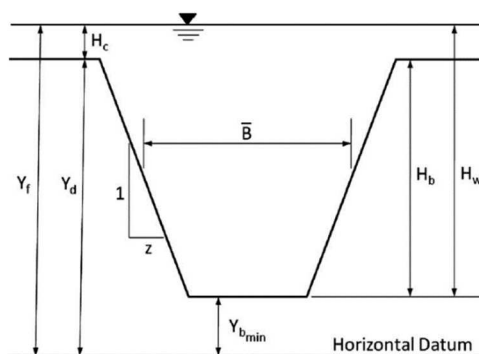
No que diz respeito à largura da brecha em barragens de aterro, analisando as expressões que constam na bibliografia, podem-se considerar como válidos os seguintes critérios:

- A forma das brechas é usualmente trapezoidal, sendo $\bar{B}$ a largura média da brecha;
- A altura da brecha, H_b , pode se considerar, em geral, como aproximadamente igual à altura da barragem.

O modelo de desenvolvimento de brecha utilizado neste estudo foi o de Froehlich (2008). Essa metodologia empírica é aplicada às barragens de materiais soltos e foi desenvolvida através da análise de casos de ruptura observados.

Os principais parâmetros utilizados neste modelo para a caracterização da brecha de ruptura estão descritos na Figura 2.4.

Figura 2.4 - Parâmetros para Definição da Brecha



As características da brecha foram determinadas a partir das equações 4-5 a 4-7, conforme indicado a seguir.

$$\bar{B} = 0.27 K_0 V_W^{0.32} H_b^{0.04} \quad 2-1$$

$$t_f = 63.2 \sqrt{\frac{V_W}{g H_b^2}} \quad 2-2$$

$$B_b = \bar{B} - z H_b \quad 2-3$$

Onde.

$\bar{B}$: Largura média da brecha final (m);

K_0 : Coeficiente do modo da ruptura ($K_0 = 1.3$ para galgamento ou $K_0 = 1.0$ para erosão interna - *piping*);

UHE PARANOÁ

- H_b : Altura da brecha (m);
 V_w : Volume do reservatório acima da cota final do fundo da brecha (m³);
 t_f : Tempo de formação da brecha (h);
 g : Aceleração da gravidade = 9.81 m/s²;
 B_b : Largura final do fundo da brecha (m);
 z : Declividade do talude ($z = 1.0$ para galgamento ou $z = 0.7$ para *piping*).

Dadas as equações apresentadas inicialmente, foram determinadas as características da brecha de ruptura da Barragem de Paranoá. A Tabela 2-5 apresenta um resumo das características de cada uma.

Tabela 2-5 – Descrição das brechas simuladas

Tipo de ruptura	Z_{crista}^I (m)	NA (m)	Z_b^{II} (m)	H_b (m)	V_w (hm ³)	K_0 (-)	z (H:V)	t_f (h)	$\bar{B}$ (m)	B_b (m)
Piping	1003,8	1000,65	968,0	35,8	503,8	1,0	0,7	3,51	189,8	164,7
Galgamento	1003,8	1001,66	968,0	35,8	628,8	1,3	1,0	3,93	264,8	229,0

NOTAS:

^I - Cota da Crista;

^{II} - Cota da base da Brecha.

2.3 CRITÉRIOS E CENÁRIOS

O Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens recomenda que se deve optar por construir o menor número possível de cenários. Assim, para garantir uma adequada segurança associada aos diferentes tipos de barragem, o referido manual define dois tipos de cenários: o cenário de operação hidráulica extrema, que pode dar origem a descargas importantes, que, sem conduzir a ruptura, pode colocar em risco pessoas e bens no vale a jusante, e o cenário de ruptura propriamente dita. Para o caso de ruptura, recomenda-se que sejam adotados ao menos dois cenários: um com ruptura por mecanismo estrutural com o nível de água em volume mais provável e outro de ruptura extrema, que considera a ocorrência de galgamentos.

As condições simuladas no presente estudo são apresentadas na Tabela 2-6.

Tabela 2-6 – Descrição dos cenários simulados

Cenário	Descrição do cenário	Vazão Afluente	NA instantânea da ruptura (m)	Volume reservatório instantâneo da ruptura (hm ³)	Brecha de ruptura
1	Ruptura mais provável	Sem afluência (dia de sol)	1000,65	503,8	Ruptura por piping (Froehlich 2008)

UHE PARANOÁ

Cenário	Descrição do cenário	Vazão Afluente	NA instante da ruptura (m)	Volume reservatório instante da ruptura (hm³)	Brecha de ruptura
2	Ruptura Extrema	Hidrograma TR 10.000 anos	1001,66	628,8	Ruptura por Galgamento (Froehlich 2008)
3	Operação hidráulica extrema	Hidrograma TR 10.000 anos	-	-	-

2.4 CARTAS DE INUNDAÇÃO

Para a apresentação dos resultados do estudo de inundação foram elaborados mapas de inundação. Esses mapas são apresentados nos documentos listados a seguir.

- 24BB-PN-0-GE-G04-00-C-13-DE-0407
- 24BB-PN-0-GE-G04-00-C-13-DE-0408
- 24BB-PN-0-GE-G04-00-C-13-DE-0409

Complementarmente, foram delimitadas 33 seções transversais ao longo do modelo, nas quais foram detalhas as informações indicadas a seguir.

- A velocidade máxima da onda de inundação (m/s);
- A vazão máxima atingida (m³/s);
- O nível máximo da cheia atingido (m);
- A altura máxima da onda de inundação (m);
- O hidrograma com a representação gráfica do comportamento hidrodinâmico (vazão e altura da água) da onda de inundação em função do tempo.

2.4.1 Zona de Autossalvamento (ZAS)

A Zona de Autossalvamento (ZAS) é a região imediatamente jusante da barragem, em que se considera não haver tempo suficiente para uma determinada adequada intervenção dos serviços e agentes de proteção civil em caso do rompimento do barramento. A dimensão da ZAS é definida pela maior das seguintes distâncias: 10 km ou a extensão que corresponde ao tempo de chegada da onda de inundação de 30 minutos.

A partir das análises desenvolvidas, pode-se concluir que a ZAS se estende até aproximadamente a seção 8 para a condição de ruptura extrema, referente a distância de 10 km a jusante do barramento da UHE Paranoá.

O alerta antecipado para as pessoas na Zona de Autossalvamento (ZAS) é de responsabilidade da CEB Geração S.A, a qual deverá fornecer subsídios para orientar a evacuação dos cidadãos potencialmente atingidos. No entanto, os procedimentos de evacuação deverão ser desenvolvidos pelos órgãos de Defesa Civil através de projeto específico.

A tipificação da ZAS encontra-se no Apêndice 5.

UHE PARANOÁ

2.4.2 Área atingida

Na data da emissão deste documento o levantamento das estruturas e pontos vulneráveis está sendo atualizado pela CEB, sendo identificadas benfeitorias e estruturas diversas ao longo da Zona de Autossalvamento (ZAS) e de todo vale a jusante, atingidas pela onda induzida pela ruptura hipotética da Barragem Paranoá.

Os quantitativos das economias, bem como da população atingida, deve ser atualizada assim que o estudo estiver concluído.

2.5 ESTRATÉGIA, RECURSOS E MEIO DE DIVULGAÇÃO E ALERTA

O aviso, bem como divulgação, de situações de emergência deve ser realizado pelo uso de sinais visuais, sonoros e apoio logístico. A CEB Geração S.A. é responsável pelo suporte à população residente na Zona de Autossalvamento (ZAS), cooperando com a divulgação de informações, para as áreas externas à ZAS, sob responsabilidade de órgãos públicos e entidades civis.

O detalhamento dos meios e procedimentos de comunicação estão no documento da Seção III do PAE (24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0430). As responsabilidades dos agentes, desde o proprietário da barragem até o Entes Federados, estão descritas no documento da Seção IV do PAE (24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0440).

3 REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Modelo de Plano de Ação de Emergência. Audiência Pública para coletar contribuições e subsídios para a Regulamentação do Plano de Ação de Emergência, conforme art. 8º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 que trata da Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. (15 de março de 2013). Brasília: ANA.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Manual do Empreendedor – Volume IV. Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE. Brasília: ANA, 2015.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa ANEEL nº 1.064, de 2 de maio de 2023, que estabelece critérios e ações 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.
- BRASIL. Lei n. 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000.
- BRASIL. Lei n. 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração).
- FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY, Federal Guidelines for Inundation Mapping of Flood Risks Associated with Dam Incidents and Failures - FEMA 946p. FEMA, USA, 2013.
- FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION. Dam Safety Performance Monitoring Program. FERC, USA, 2005.
- FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION. Dam Breach Analysis – DRAFT. FERC, USA, 2014.
- SCHAEFER, M.G. Dam Safety Guidelines, Technical Note 1: Dam Breach Inundation Analysis and Downstream Hazard Classification, Washington State Department of Ecology Publication Nº. 92-55E, USA, July 1992.
- SYNAVEN, K. The pilot Project Kyrkojarvi dam and reservoir, Seinajoki, Finland. In: INTERNACIONAL SEMINAR AND WORKSHOP RISK ASSESSMENT, DAM-BREAK FLOOD ANÁLISIS AND EMERGENCY ACTION PLANNING. Seinajoki: Finnish Environment Institute, 2000.

UHE PARANOÁ

U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. Hydrologic Engineering Center. Training Documents – Using HEC-RAS for Dam Break Studies. TD-39, USCE, August 2014.

USACE-HEC. River Analysis System, HEC-RAS v4.1 – Hydraulic Reference Manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 351p, USA, 2010.

WISEU, T. Segurança dos vales a jusante de barragens – metodologias de apoio à gestão dos riscos. 2006. 482f. Tese (Doutorado) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006.

VON THUN J.L. & GILLETE, D.R. Guidance on breach parameters. Unpublished internal document, U.S. Bureau of Reclamation, 17p. Denver, CO, USA, 1990.

UHE PARANOÁ

4 APÊNDICES

O estudo de ruptura hipotética da Barragem Paranoá encontra-se no **Caderno de Apêndices** desta unidade (Apêndice 1).

Apêndice 1. Documento do estudo hidráulico da ruptura hipotética da barragem.

Título	Código
Estudo de Ruptura Hipotética	24BB-PN-0-GE-G04-00-C-13-RT-0450

As Fichas de Ação encontram-se no **Caderno de Apêndices** desta unidade, código 24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0420. A Listagem destes documentos pode ser visualizada no Apêndice 2. Nas fichas de ação, onde está escrito PCHPA, lê-se UHEPA, e onde está escrito PCH Paranoá, lê-se UHE Paranoá.

Apêndice 2. Fichas de Ação.

LISTAGEM DAS FICHAS DE AÇÃO – BARRAGEM PARANOÁ	
Nível	Código
0	312-UHEPA-FCH-NSH-001
0	312-UHEPA-FCH-NSH-002
0	312-UHEPA-FCH-NSH-003
0	312-UHEPA-FCH-NSH-004
0	312-UHEPA-FCH-NSH-005
0	312-UHEPA-FCH-NSH-006
1	312-UHEPA-FCH-NSH-007
1	312-UHEPA-FCH-NSH-008
1	312-UHEPA-FCH-NSH-009
1	312-UHEPA-FCH-NSH-010
1	312-UHEPA-FCH-NSH-011
1	312-UHEPA-FCH-NSH-012
2	312-UHEPA-FCH-NSH-013
2	312-UHEPA-FCH-NSH-014
2	312-UHEPA-FCH-NSH-015
2	312-UHEPA-FCH-NSH-016
2	312-UHEPA-FCH-NSH-017
2	312-UHEPA-FCH-NSH-018

UHE PARANOÁ

3	312-UHEPA-FCH-NSH-019
3	312-UHEPA-FCH-NSH-020

As Cartas de Inundação, referentes à Barragem Paranoá, encontram-se no **Caderno de Apêndices** desta unidade. A Listagem e codificação destes documentos está resumida no Apêndice 3.

Apêndice 3. Cartas de Inundação.

MODO	Cartas de Inundação (1:10.000)
Ruptura Extrema	24BB-PN-0-GE-G04-00-C-13-DE-0407
Operação Extrema	24BB-PN-0-GE-G04-00-C-13-DE-0408
Ruptura Mais Provável	24BB-PN-0-GE-G04-00-C-13-DE-0409

As coordenadas das benfeitorias atingidas, referentes aos modos de ruptura da Barragem Paranoá, encontram-se no **Caderno de Apêndices** desta unidade (Apêndice 4).

Apêndice 4. Coordenadas das benfeitorias atingidas.

Título	Código
Caderno de Coordenadas	Sem código

A tipificação da Zona de Autossalvamento (ZAS), encontram-se no **Caderno de Apêndices** desta unidade (Apêndice 5).

Apêndice 5. Tipificação da ZAS.

Título	Código
Tipificação da Zona de Autossalvamento (ZAS)	A ser atualizado pela CEB

UHE PARANOÁ**5 RECOMENDAÇÕES**

Sugere-se à CEB Geração S.A a revisão e adequação dos instrumentos de auscultação pertencentes à usina, de forma a serem estabelecidas as faixas de operação conforme os níveis de segurança do empreendimento, bem como revistos os limites de projeto para cada instrumento de auscultação.

O diagrama de operação do reservatório da UHE Paranoá deve ser revisto, segundo resultados apresentados na revisão hidrológica e hidráulica do reservatório e dispositivos de descarga da Barragem Paranoá, contidos no documento (24BB-PN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0300) do Volume III do PSB.