



PSB – VOLUME VI

PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA

VI.5 SÍNTESE DO ESTUDO DE

INUNDAÇÃO E RESPECTIVOS

MAPAS

RELATÓRIO TÉCNICO
CNU.SBR-PSB-2024-650-R00

Apresentação dos estudos de ruptura hipotética do barramento principal da UHE Coaracy Nunes.

Brasília/DF
Setembro de 2024



RELATÓRIO TÉCNICO

Projeto:	UHE Coaracy Nunes: Plano de Segurança de Barragem		Curitiba, 06/09/2024
Título:	Volume VI – VI.5 Síntese do Estudo de Inundação e Respectivos Mapas		
Nº: ELN	CNU.SBR-PSB-2024-650-R00	Nº: Contratada	24CI-CN-0-GE-G00-00-G-00-RT-0650
Resumo:	Apresentação dos estudos de ruptura hipotética do barramento principal da UHE Coaracy Nunes.		

Departamento responsável:	Departamento de Segurança de Barragens e Manutenção Civil – OOMB.N
Local de Armazenamento:	\\elnsbna02\DO\OCTO\2. DOCUMENTOS TECNICOS\PSB
Classificação da informação quanto a restrição de acesso:	<input type="checkbox"/> Confidencial – deve ser acessada somente por colaboradores autorizados pelo Gestor da Informação, em razão da necessidade para o desenvolvimento de suas atividades
	<input type="checkbox"/> Setorial – só pode ser acessada por colaboradores das empresas Eletrobras autorizados pelo gestor da informação
	<input checked="" type="checkbox"/> Interna – devem somente ser acessadas por colaboradores das empresas Eletrobras
	<input type="checkbox"/> Pública – quando não possuir nenhum atributo que torne seu acesso restrito em algum nível
Prazo para desclassificação (no caso de confidencial):	

Elaboração da Atualização, Adequação e Padronização do Plano de Segurança de Barragens		
	Nome completo	Assinatura
Redação INTT:	Rafael Marques Cardoso	
Verificação ELN:	Rodrigo da Costa Moreira	Rodrigo da Costa Moreira
Aprovação ELN:	Jeferson Henrique dos Santos	JHS

Nº	Revisão	Redação	Verificação	Aprovação	Data
A	Emissão	JDL	PGL	HLR	31/08/2017
0	Revisão	JDL	JFK	PGL	13/12/2017
1	Atualização	JHS	CCF	GTE	21/09/2021
2	Atualização para atendimento Res. Norm. ANEEL Nº 1.064/2023 – Novo Código – CNU.SBR-PSB-2024-650-R00	RMC	RCM	JHS	06/09/2024

ÍNDICE

1. SEÇÃO I – MODELAGEM DA CHEIA DE RUPTURA 3

1.1 APRESENTAÇÃO 3

1.2 OBJETIVOS 4

1.3 DESCRIÇÃO GERAL DA USINA HIDRELÉTRICA COARACY NUNES 4

1.3.1 Ficha técnica..... 6

2. ANÁLISE DA RUPTURA DA BARRAGEM 11

2.1 Dados Utilizados 12

2.2 Descrição dos Modelos Numéricos 12

2.3 Fluxograma..... 13

2.4 Hipóteses de Ruptura..... 14

2.5 Potenciais Modos de Ruptura 14

2.6 Propagação Hidráulica da Onda de Ruptura 15

2.7 Cartas de Inundação 16

2.7.1 Zona de Autossalvamento (ZAS) 17

2.7.2 Área atingida..... 18

2.8 RESTRIÇÕES LOCAIS 19

2.9 ESTRATÉGIA, RECURSOS E MEIO DE DIVULGAÇÃO E ALERTA 19

REFERÊNCIAS 20

APÊNDICES..... 21

1. SEÇÃO I – MODELAGEM DA CHEIA DE RUPTURA

O presente documento é uma atualização do Plano de Segurança de Barragens da UHE Coaracy Nunes (376-UHECNU-RT-PAE-002-REV_1), desenvolvido pela FRACTAL ENGENHARIA. A verificação das informações contidas no documento, tais como premissas adotadas e cálculos realizados, entre outros, não faz parte do escopo da INTERTECHNE CONSULTORES S.A., cabendo a esta a atualização da Resolução Normativa ANEEL Nº 1.064/2023 e a padronização do formato do documento. Por fim, destaca-se que constitui-se fora do escopo a realização de novos estudos de ruptura ou outros levantamentos adicionais para atendimento à Lei Federal Nº 12.334/2010, alterada pela Lei Federal Nº 14.066/2020.

1.1 APRESENTAÇÃO

O Plano de Segurança de Barragem da UHE Coaracy Nunes é composto pelos seguintes documentos:

- CNU.SBR-PSB-2024-110 - VOLUME I - I.1 INFORMAÇÕES GERAIS;
- CNU.SBR-PSB-2024-120 - VOLUME I - I.2 MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO DOS BARRAMENTOS;
- CNU.SBR-PSB-2024-200 - VOLUME II - II. DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA E LEGAL DO EMPREENDIMENTO;
- CNU.SBR-PSB-2024-300 - VOLUME III - III. PLANOS E PROCEDIMENTOS – GERAL;
- CNU.SBR-PSB-2024-310- VOLUME III - III.1 PLANO DE OPERAÇÃO;
- CNU.SBR-PSB-2024-321 - VOLUME III - III.2.1 PLANO DE MANUTENÇÃO DAS ESTRUTURAS CIVIS;
- CNU.SBR-PSB-2024-322 - VOLUME III - III.2.2 PLANO DE MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS HIDROMECAÑICOS E ELETROMECAÑICOS;
- CNU.SBR-PSB-2024-323 - VOLUME III - III.2.3 PLANO DE MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO DO RESERVATÓRIO;
- CNU.SBR-PSB-2024-331 - VOLUME III - III.3.1 PLANO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS CIVIS;
- CNU.SBR-PSB-2024-332 - VOLUME III - III.3.2 PLANO DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA DOS EQUIPAMENTOS HIDROMECAÑICOS E ELETROMECAÑICOS;
- CNU.SBR-PSB-2024-340 - VOLUME III - III.4 PLANO DE MONITORAMENTO E INSTRUMENTAÇÃO;
- CNU.SBR-PSB-2024-350 - VOLUME III - III.5 PROCEDIMENTO PARA CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE SEGURANÇA DA BARRAGEM;
- CNU.SBR-PSB-2024-400 - VOLUME IV - IV. REGISTROS E CONTROLES;
- CNU.SBR-PSB-2024-500 - VOLUME V - V. REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DA BARRAGEM;
- CNU.SBR-PSB-2024-600 - VOLUME VI - VI. PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA;
- CNU.SBR-PSB-2024-610 - VOLUME VI - VI.1 INFORMAÇÕES GERAIS DO PAE E DA BARRAGEM;
- CNU.SBR-PSB-2024-620 - VOLUME VI - VI.2 DETECÇÃO, AVALIAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E AÇÕES ESPERADAS PARA CADA NÍVEL DE RESPOSTA;

- CNU.SBR-PSB-2024-630 - VOLUME VI - VI.3 PROCEDIMENTOS DE NOTIFICAÇÃO E SISTEMA DE ALERTA;
- CNU.SBR-PSB-2024-640 - VOLUME VI - VI.4 RESPONSABILIDADES GERAIS NO PAE;
- **CNU.SBR-PSB-2024-650 - VOLUME VI - VI.5 SÍNTESE DO ESTUDO DE INUNDAÇÃO E RESPECTIVOS MAPAS; e**
- CNU.SBR-PSB-2024-660 - VOLUME VI - VI.6 LEVANTAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.

Este documento apresenta as simulações e avaliações hidráulicas desenvolvidas para a verificação da hipotética ruptura da Barragem da UHE Coaracy Nunes, bem como as premissas adotadas para este estudo.

1.2 OBJETIVOS

O presente relatório descreve o estudo realizado com o objetivo de caracterizar o vale a jusante do barramento da UHE Coaracy Nunes, bem como apresenta a descrição e a localização das populações e infraestruturas em risco, de modo a permitir ao sistema de defesa civil e às demais partes interessadas a sua informação detalhada, de acordo com as necessidades e o dano potencial envolvido.

As informações apresentadas neste relatório baseiam-se no estudo hidráulico apresentado no documento 376-UHECNU-CD-PAE-001, desenvolvido pela FRACTAL ENGENHARIA. Cabe ressaltar que os estudos de ruptura hipotética da barragem da UHE Coaracy Nunes foram desenvolvidos de acordo com as boas práticas da Engenharia vigentes à época (2017), contudo, é importante observar que a precisão dos resultados obtidos a partir das simulações computacionais está relacionada, entre outras coisas, à precisão da base de dados que serviu para sua elaboração (base topográfica, dados hidrométricos etc.) e, portanto, podem diferir de situações reais.

1.3 DESCRIÇÃO GERAL DA USINA HIDRELÉTRICA COARACY NUNES

Distante aproximadamente 150 km de Macapá, capital do estado do Amapá, a UHE Coaracy Nunes está no município de Ferreira Gomes, nas coordenadas 0°54'10,61"N e 51°15'35,94"O.

Os principais níveis de água de operação do reservatório são os seguintes:

- Nível de água máximo maximorum.....42,14 m
- Nível de água máximo normal.....42,14 m
- Nível de água mínimo.....35,14 m

O empreendimento de Coaracy Nunes caracteriza-se por barrar dois braços de rio, formados pela existência de uma ilha. No braço direito, estão as estruturas do barramento da Obra “A”, enquanto no braço esquerdo, estão as estruturas da Obra “B”. Existem também diques de fechamento do reservatório (H, M, N e P) e diques a jusante do empreendimento (G1 e G2).

A estrutura do barramento da Obra “A” é composta por Barragem de Enrocamento da Margem Direita (BEMD) e Barragem de Concreto, onde estão localizadas a Tomada d’Água (TA) e a Casa de Força (CF). Por sua vez, o barramento da Obra “B”, apresenta Barragem de Enrocamento da Margem Direita (BEMD), Barragem de Concreto da Margem Direita (BCMD), Vertedouro de Superfície –

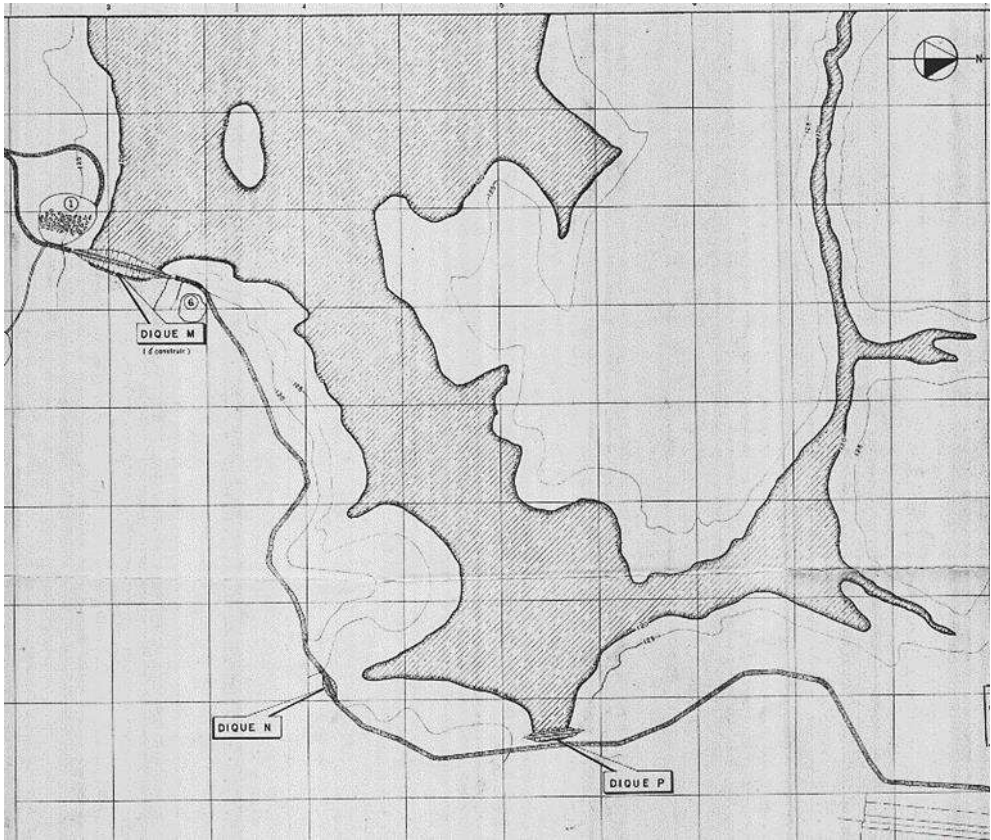


Figura 1.2: Espacialização dos Diques M, N e P.

Fonte: Eletrobras Eletronorte – Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. Usina Hidrelétrica Coaracy Nunes. Obras Complementares - Plantas (CNU-10-302)

No item 1.3.1, são apresentadas as principais informações estruturais, hidráulicas, hidrológicas e do reservatório, as quais devem ser mantidas atualizadas e validadas pela equipe de operação e manutenção da Eletrobras Eletronorte – Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A, segundo condições operacionais e comportamentais das estruturas do aproveitamento.

1.3.1 FICHA TÉCNICA

São apresentadas abaixo as principais características da UHE Coaracy Nunes.

Tabela 1.1: Características Principais da UHE Coaracy Nunes

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM	
DADOS GERAIS	
Denominação oficial	UHE Coaracy Nunes (783)
Empreendedor	Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A (372)
Entidade fiscalizadora	Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)
LOCALIZAÇÃO	
Rio	Araguari
Município	Ferreira Gomes
Unidade da Federação	Amapá (AP)

Coordenadas	0°54'10,61" N 51°15'35,94 O
Existência de barragens a montante e a jusante	A jusante, tem-se a UHE Ferreira Gomes; a montante, tem-se a UHE Cachoeira Caldeirão
RESERVATÓRIO	
NA Montante – Reservatório:	
- Máximo Maximorum [m-IBGE]	42,14
- Máximo Normal [m-IBGE]	42,14
- Mínimo Normal [m-IBGE]	35,14 ¹
NA Jusante	
- Máximo Maximorum [m-IBGE]	21,30
- Máximo Normal [m-IBGE]	21,30
- Mínimo Normal [m-IBGE]	21,30
Áreas Inundadas:	
- No NA Máximo Maximorum [km²]	20,32
- No NA Máximo Normal [km²]	20,32
Áreas Inundadas:	
- No NA Mínimo Normal [km²]	3,21
Volume do Reservatório:	
- No N.A. Máximo Normal [hm³]	83,11
- No N.A. Mínimo Normal [hm³]	10,78
BARRAGEM	
Obra “A”	
Barragem de Enrocamento	
Material	Enrocamento com Núcleo de Argila
Comprimento Aprox. da Crista [m]	291,00
Altura Máxima Aprox. [m]	36,00
Cota da Crista [m-IBGE]	45,14
Barragem de Concreto	
Tipo	Gravidade
Material	Concreto Convencional (CCV)
Comprimento Aprox. da Crista [m]	285,00
Altura Máxima Aprox. da Fundação [m]	43,00
Largura da Crista [m]	8,70
Cota da Crista [m-IBGE]	45,14

¹ O Nível Mínimo Normal foi determinado na fase projeto. Atualmente, a UHE Coaracy opera em modo fio d'água, portanto, os níveis de reservatório estão fixados na cota 42,14 [m-IBGE].

Obra “B”	
Barragem de Enrocamento	
Material	Enrocamento com Núcleo de Argila
Comprimento Aprox. da Crista [m]	567,00
Altura Máxima Aprox.[m]	24,00
Largura da Crista [m]	8,70
Cota da Crista [m-IBGE]	45,14
Barragem de Concreto	
Tipo	Gravidade
Material	Concreto Convencional (CCV)
Comprimento Aprox. [m]	265,00
Altura Máxima Aprox. [m]	28,00
Largura da Crista [m]	8,70
Cota da Crista [m-IBGE]	45,14
Diques (Montante e Jusante)	
Dique “H”	
Material	Solo compactado protegido por Enrocamento
Comprimento Aprox. [m]	130,00
Dique “H”	
Material	Solo compactado protegido por Enrocamento
Altura Máxima Aprox. [m]	13,00
Largura da Crista [m]	9,00
Cota da Crista [m-IBGE]	45,14
Dique “M”	
Material	Solo compactado protegido por Enrocamento
Comprimento Aprox. [m]	202,00
Altura Máxima Aprox. [m]	10,00
Largura da Crista [m]	7,00
Cota da Crista [m-IBGE]	44,14
Dique “N”	
Material	Solo compactado protegido por Enrocamento
Comprimento Aprox. [m]	60,00
Altura Máxima Aprox. [m]	1,80
Largura da Crista [m]	5,00
Cota da Crista [m-IBGE]	44,14
Dique “P”	
Material	Solo compactado protegido por Enrocamento
Comprimento Aprox. [m]	92,00

Altura Máxima Aprox. [m]	4,50
Largura da Crista [m]	7,00
Cota da Crista [m-IBGE]	44,14
Dique “G1”	
Material	Solo compactado protegido por Enrocamento
Comprimento Aprox. [m]	255,00
Altura Máxima Aprox. [m]	12,00
Largura da Crista [m]	7,00
Cota da Crista [m-IBGE]	26,14
Dique “G2”	
Material	Solo compactado protegido por Enrocamento
Comprimento Aprox. [m]	45,00
Altura Máxima Aprox. [m]	6,00
Largura da Crista [m]	7,00
Cota da Crista [m-IBGE]	25,14
SISTEMA EXTRAVASOR	
Vertedouro de Superfície - Soleira controlada	
Tipo Perfil	Creager
Vazão de Projeto [m³/s]	12.000
Capacidade de Descarga por vão [m³/s]	1.200
Cota da soleira [m-IBGE]	29,14
Número de vãos	10
Largura do vão [m]	12,50
Dissipação de Energia	Bacia de Dissipação
Comporta	
Tipo	Segmento
Número de comportas	10
Largura da comporta [m]	12,50
Altura da comporta [m]	13,50
TOMADA D'ÁGUA	
Tipo	Incorporada ao Barramento
Largura [m]	5,45 ²
Altura [m]	7,55
Número de vãos	3

² Dimensão tirada na seção transversal da Comporta Vagão. Desenho ARA-B-526 – OBRA “A” – Tomada d'água.

CASA DE FORÇA	
Tipo	Abrigada
Número de Unidades Geradoras	3
Largura [m]	22,50
Comprimento [m]	72,00
TURBINAS HIDRÁULICAS	
Tipo	Kaplan de eixo vertical
Número de Turbinas	3
Potência Nominal Unitária [MW] (UGH-1 e 2)	24,00
Potência Nominal Unitária [MW] (UGH 3)	30,00
Vazão turbinada nominal unitária [m³/s] (UGH-1 e 2)	120,50
Vazão turbinada nominal unitária [m³/s] (UGH 3)	156,89
Queda Bruta [m]	23,60
Queda líquida de referência [m]	21,90
GERADORES	
Potência Nominal Unitária [MW] (UGH-1 e 2)	25,30
Potência Nominal Unitária [MW] (UGH 3)	30,40
Fator de Potência	0,95
ENERGIA	
Potência instalada da Usina [MW]	78,00
Energia Firme [MW Médios]	14,50
BACIA HIDROGRÁFICA	
Área de contribuição do reservatório [km²]	31.277,90

2. ANÁLISE DA RUPTURA DA BARRAGEM

A análise computacional da ruptura hipotética de barragem é um procedimento necessário em estudos de segurança de barragens. A delimitação da mancha de inundação passa a ser um elemento importante na quantificação das áreas possivelmente atingidas ao longo do vale a jusante.

O estudo constante no documento 376-UHECNU-CD-PAE-001-REV_0 (ver Apêndice 1) aplicou um modelo numérico para representar a propagação da onda de cheia proveniente da ruptura hipotética da Barragem Coaracy Nunes, localizada no rio Araguaí.

O emprego de um modelo numérico hidrodinâmico unidirecional é adequado para representar os processos de escoamento, sendo numericamente mais preciso e eficiente com as simulações, conforme discussões apresentadas por USACE (2014), sobre estudos de ruptura de barragens.

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 Barragem Coaracy Nunes é composta por barramentos e diques de terra, bem como estruturas de concreto, os processos de ruptura hipotética da barragem podem ser deflagrados por galgamento, colapso instantâneo ou *piping*.

Considerando a ruptura por formação de erosão hídrica interna na barragem de terra, a fuga d'água pelo macroporo formado pelo escoamento preferencial, erode o interior do corpo da barragem, transportando o material presente em seu núcleo no sentido de jusante. Este processo gera uma progressão do tamanho da abertura formada pelo *piping*, aumentando a vazão e o transporte de material do interior da barragem. Inicialmente, tal processo pode ser representado numericamente por um orifício pressurizado.

Com o aumento da erosão em seu interior, evoluindo no talude de jusante e progredindo em direção ao talude de montante, num determinado momento, a massa remanescente do corpo da barragem na parte superior do *piping* colapsará, mudando o escoamento pressurizado para escoamento livre. A partir deste momento, a brecha passa a evoluir lateralmente, ganhando largura, em especial pelo golpe súbito de obstrução parcial do fluxo, devido à queda de material.

Por sua vez, Schaefer (1992) coloca que a representação numérica de um 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 analisado de forma instantânea. A determinação da brecha de ruptura é feita escolhendo os blocos de concretagem de maior altura, expostos aos maiores carregamentos, de forma contínua ou alternada.

A análise de formação das brechas foi realizada com a aplicação de um método probabilístico de amostragem de cenários de possíveis acidentes e suas consequências. Sendo assim, as cartas de inundação apresentam manchas de inundação com associação do risco à cota de inundação induzida pela ruptura hipotética da Barragem Coaracy Nunes.

2.1 DADOS UTILIZADOS

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

A Tabela 2.1 resume as fontes dos dados e os tipos de dados empregados no estudo desenvolvido.

Tabela 2.1: Resumo de dados empregados no estudo de ruptura hipotética da Barragem.

Tipo de base dados	Variável
Hidrológico	Cheias de projeto, de períodos de retorno de 100 e 10.000 anos, bem como dados da vazão média neste trecho do rio Araguari.
Curva cota x volume dos reservatórios	Curva cota x volume dos reservatórios da Barragem Coaracy Nunes e Ferreira Gomes.
Dispositivos de descarga	Diagrama de operação do vertedouro da Barragem Coaracy Nunes e Ferreira Gomes.
Projetos das Barragens	Dimensões e cotas das estruturas associadas da barragem e dos dispositivos de descarga das Barragens Coaracy Nunes e Ferreira Gomes.
Topobatimetria	Seções transversais topobatimétricas no rio Araguari.
Base cadastral georreferenciada	Modelo Digital de Terreno – MDT e Imagens escala 1:10.000. DATUM horizontal SIRGAS 2000. DATUM vertical IBGE.
Modelo Digital de Superfície complementar	Modelo digital de superfície com pixel de 30 metros (SRTM) obtido através do website: https://earthexplorer.usgs.gov/

2.2 DESCRIÇÃO DOS MODELOS NUMÉRICOS

A análise desenvolvida empregou o software HEC-RAS, versão 5.0.3. 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.

Este é um modelo difundido mundialmente, com diversas aplicações em diferentes condições, sendo recomendado pela FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) dos EUA. Seu procedimento de cálculo baseia-se na solução da equação da conservação do momento unidimensional. O modelo também utiliza as equações de momento em situações em que 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 para análise de rompimento de barragens, no qual 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. O processo de ruptura é acoplado ao modelo hidrodinâmico. Desta forma, ao longo da formação da brecha, o modelo HEC-RAS já inicia a propagação da onda no decorrer do vale a jusante em regime não permanente e não uniforme.

2.3 FLUXOGRAMA

O estudo contemplou uma extensão de rio de, aproximadamente, 90 km, contados a partir do eixo UHE Coaracy Nunes até o município de Cutias, Amapá, conforme levantamento topobatimétrico das áreas potencialmente atingidas.

Composto por 205 seções transversais espaçadas, aproximadamente, a cada 440 m, o modelo HEC-RAS 5.0.3 compreendeu o vale a jusante do barramento, tendo sido desenvolvido com o intuito de representar o comportamento das ondas induzidas nos cenários de ruptura hipotética da Barragem Coaracy Nunes.

Os parâmetros de formação da brecha, definidos através de características da Barragem Coaracy Nunes, foram: Cota da geratriz inferior da brecha; Largura média da brecha (B_m); Coeficiente de vazão da brecha (C_d); coeficiente de descarga do piping (C_p); Tempo de formação (T_f); e Cota operacional do reservatório no momento da ruptura.

Os hidrogramas de ruptura calculados no HEC-RAS, alimentaram o fluxo de atividades da Figura 2.1, gerando as cartas de inundação e quantificação dos potenciais atingidos.

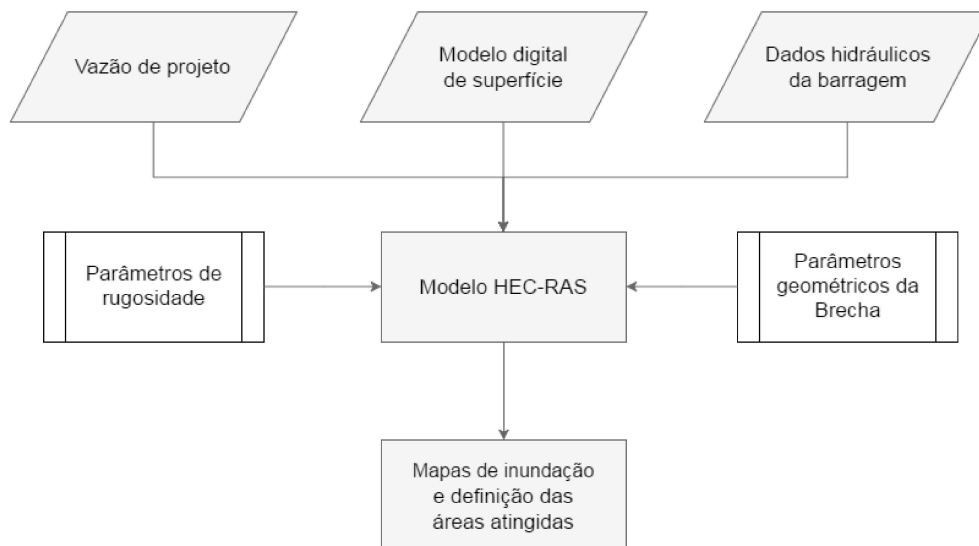


Figura 2.1: Representação esquemática de entrada e saída de dados do modelo HEC-RAS.

Os coeficientes de rugosidade de Manning foram ajustados entre 0,030 e 0,040 para a calha principal e entre 0,060 e 0,070 para as margens e planícies inundáveis. Os valores de coeficiente de Manning estão condizentes aos valores indicados por CHOW (1959) e pelas características fisiográficas e hidráulicas do rio Araguari.

2.4 HIPÓTESES DE RUPTURA

Para definição dos modos de ruptura, dois cenários de carregamento foram preconizados: (i) CCN (Condição de Carregamento Normal) e (ii) CCE (Condição de Carregamento Excepcional).

Tendo em vista a constituição e o arranjo estrutural do empreendimento, os possíveis locais de formação da brecha de ruptura da Barragem Coaracy Nunes, para os eventos naturais de vazão, estão listados abaixo, tendo sido selecionadas as estruturas pertencentes à Obra “B”.

- Barragem de Enrocamento da Margem Direita (BEMD); e,
- Vertedouro de Superfície – Soleira Controlada (VC).

Por sua vez, durante eventos extremos, os diques fusíveis M, N e P mostram-se estruturas suscetíveis a falhas, podendo funcionar como dispositivos de abatimento das ondas induzidas por um possível cenário de ruptura.

Sendo assim, o estudo de ruptura hipotética da usina está condicionado a duas condições hidrológicas distintas (vazão de projeto Decamilenar e *Sunny Day*), sendo que a ruptura do barramento pode ocorrer mediante galgamento, colapso instantâneo ou *piping*. A condição *Sunny Day* representa o rompimento numa condição normal de operação, sem ocorrência de evento hidrológico significativo, com reservatório operado a nível normal.

2.5 POTENCIAIS MODOS DE RUPTURA

Os seguintes cenários prováveis de ruptura da UHE Coaracy Nunes, bem como a possibilidade de rompimento sinérgico na cascata, foram definidos e identificados segundo os modos de ruptura hipotética elencados na APMR, como:

- **Modo RDC 1** – Rompimento ocasionado por *piping* na barragem da margem direita da Obra “B”, em Condição de Carregamento Excepcional (CCE), vertendo a vazão Decamilenar;
- **Modo RDC 2** – Rompimento ocasionado por *piping* na barragem da margem direita da Obra “B”, em Condição de Carregamento Normal (CCN), vertendo a vazão média de longo termo (*Sunny Day*);
- **Modo RDC 3** – Rompimento ocasionado por colapso instantâneo do Vertedouro de Superfície Controlada (VC), em Condição de Carregamento Excepcional (CCE), vertendo a vazão Decamilenar;
- **Modo RDC 4** – Rompimento ocasionado por colapso instantâneo do Vertedouro de Superfície Controlada (VC), em Condição de Carregamento Normal (CCN), vertendo a vazão média de longo termo (*Sunny Day*); e,
- **Modo RSC 5** – Rompimento sinérgico da cascata composta pelas UHE Cachoeira Caldeirão, UHE Coaracy Nunes e UHE Ferreira Gomes, em Condição de Vazão Decamilenar. A ruptura da UHE Cachoeira Caldeirão deflagra o galgamento da Barragem Coaracy Nunes.

Independente do cenário em estudo, o rompimento da UHE Ferreira Gomes fica condicionado ao galgamento das estruturas de terra e enrocamento.

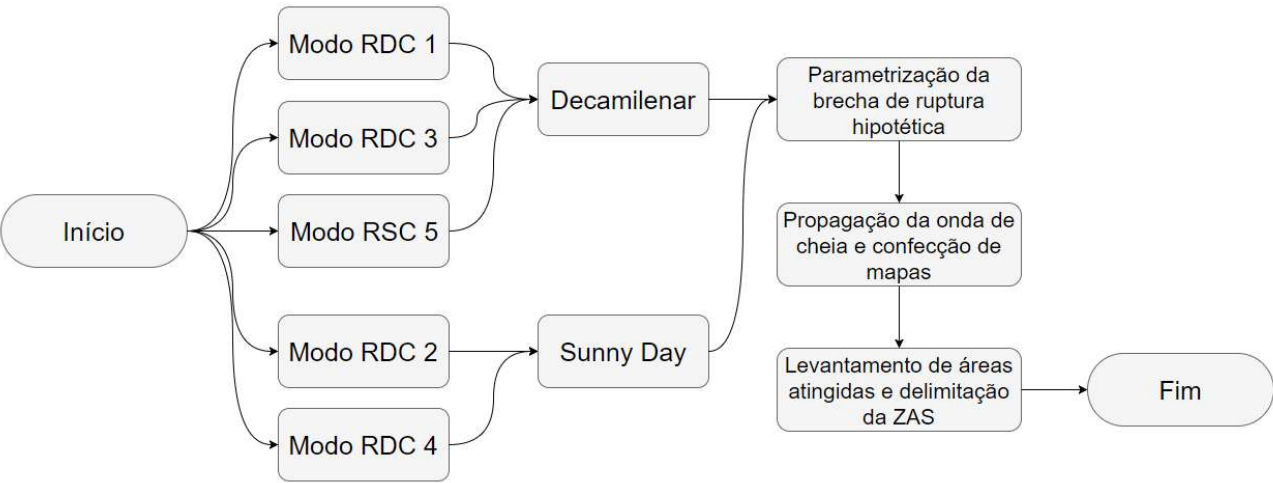


Figura 2.2: Cenários de ruptura da Barragem Coaracy Nunes.

Os 5 (cinco) modos de ruptura hipotética identificados poderão se concretizar caso o Nível 3 de Segurança (Emergência) seja atingido. Os níveis de segurança são balizados, devendo o coordenador do PAE estar atento às Fichas de Ação expostas no Apêndice 2 do documento CNU.SBR-PSB-2024-620. O Nível de Segurança 3 (três) é identificado em cor vermelha nos quadros de situações de emergência.

2.6 PROPAGAÇÃO HIDRÁULICA DA ONDA DE RUPTURA

Tendo em vista as características locais do trecho a jusante e do aproveitamento em estudo, estima-se que a onda induzida pela ruptura da Barragem Coaracy Nunes apresente grandes magnitudes, em especial na ocorrência de rompimento sinérgico na cascata do rio Araguari.

A capacidade destrutiva da onda deve ser analisada mediante seu perigo hidrodinâmico. Na Tabela 2.2 estão apresentadas as prováveis consequências esperadas da onda de ruptura, baseada na variável “perigo hidrodinâmico” ou “inundação dinâmica”, empregados na graduação do dano indicado por essa variável hidráulica.

Tabela 2.2: Consequências em função do perigo hidrodinâmico.

Parâmetro HxV [m²/s]	Consequências esperadas
<0,50	Crianças e deficientes são arrastados
0,50 – 1,00	Adultos são arrastados
1,00 – 3,00	Danos de submersão em edifícios e estruturais em casas
3,00 – 7,00	Danos estruturais em edifícios e possível colapso
>7,00	Colapso de certos edifícios

Fonte: Adaptado de Synaven et al. (2000).

Ainda existem critérios de graduação do perigo hidrodinâmico em relação ao potencial de dano a vida humana. Estes se encontram descritos na Tabela 2.3. As graduações de níveis podem ser empregadas nas sinalizações para demarcação das áreas atingidas, dentro e fora da ZAS.

Tabela 2.3: Graduação do perigo hidrodinâmico para seres humanos.

Nível	Classe	Inundação dinâmica (HxV) [m ² /s]
Reduzido	Verde	$HxV < 0,50$
Médio	Amarela	$0,50 < HxV < 0,75$
Importante	Laranja	$0,75 < HxV < 1,00$
Muito importante	Vermelha	$HxV > 1,00$

Fonte: Adaptado de Viseu (2006).

O perigo hidrodinâmico ou inundação dinâmica é uma variável calculada hidraulicamente pelas características da inundação, com a qual é possível classificar o quão importante é o nível de dano potencial da inundação. Desta forma, valores superiores a 1 m²/s, indicam situações de escoamento onde objetos podem ser arrastados, edifícios podem ser danificados e até colapsados.

A espacialização do perigo pode ser visualizada no Apêndice 3, referente às cartas de perigo hidrodinâmico, estando as gradações de perigo em acordo com as classes da Tabela 2.3. O perigo hidrodinâmico é uma informação útil para planejamento de ações de prevenção e evacuação, as quais deverão ser empregadas pelas Defesas Civas, envolvidas na confecção dos Planos de Contingência de Proteção e Defesa Civil dos municípios potencialmente atingidos, em consonância com a Lei Federal Nº 12.608/2012, alterada pela Lei Federal Nº 14.750/2023.

Além das áreas atingidas identificadas com a espacialização da mancha de inundação, o resultado da espacialização do Perigo Hidrodinâmico deve ser empregado para determinação das melhores rotas de fuga para o plano de evacuação.

2.7 CARTAS DE INUNDAÇÃO

Mediante os resultados obtidos com os cenários de ruptura constante em 376-UHECNU-CD-PAE-001-REV_0 (ver Apêndice 1), fez-se a identificação da Zona de Autossalvamento (ZAS), bem como a fotointerpretação do trecho a jusante do barramento, considerando imagens de 2017. Os mapas de inundação, por estarem georreferenciados e plotados em pranchas padronizadas, segundo ABNT, são chamados de cartas de inundação.

Todas as informações estratégicas, para fins de subsidiar ações em momentos de crise, estão sumarizadas nas pranchas das cartas de inundação. São apresentados os resultados hidráulicos de:

- Cota de pico [m-IBGE];
- Cota TR 100 anos e TR 10.000 anos [m-IBGE];
- Cota Q_{MLT} [m-IBGE];
- Profundidade [m];
- Profundidade Incremental [m];
- Vazão de pico [m³/s];
- Tempo de pico [00H00M];
- Tempo inundado [00H00M];
- Tempo de chegada [00H00M]; e,
- Velocidade média da onda [km/h].

As cotas são extraídas dos perfis hidráulicos da superfície da linha d'água ao longo do vale a jusante da área em estudo.

Por sua vez, a profundidade é calcula pela diferença entre as cotas do cenário de escoamento da vazão de referência Q_{MLT} e as ondas induzidas pelos modos de ruptura hipotética. Nesta linha, a Profundidade incremental é a diferença entre as cotas do cenário de escoamento das vazões de referência de 100 e 10.000 anos de período de retorno 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.

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; no estudo definiu-se como o incremento de 0,50 m em relação à condição antecedente à ruptura da barragem. O tempo de chegada da onda é determinado no instante que a cota atinge uma cota de referência do terreno ou altura incremental em relação ao terreno, relacionada ao mesmo incremento de 0,50 m sobre a condição antecedente à ruptura hipotética da barragem.

Por fim, a velocidade média da onda é calculada com base no tempo de deslocamento dos picos do cotograma 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 dificuldades de locomoção das populações atingidas.

Também é representado em cartas de inundação o perigo hidrodinâmico do pior cenário em análise. 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 Coaracy Nunes.

As cartas de inundação encontram-se resumidas no Apêndice 3, com indicação de codificação e escala da plotagem.

2.7.1 ZONA DE AUTOSSALVAMENTO (ZAS)

De acordo com recomendações de FEMA (2013) e FERC (2014), bem como de documentação da ANA (2015), 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. Seu tamanho é definido pela maior das seguintes distâncias: 10 km ou a extensão que corresponda ao tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos.

Tendo em vista que a distância percorrida pela onda no intervalo de 30 min é inferior a 10 km, definiu-se, de forma conservadora, a Zona de Autossalvamento (ZAS) da Barragem Coaracy Nunes como a distância de 10 km a jusante de seu barramento. Tal condição é válida para o pior cenário identificado nas simulações probabilísticas.

O Apêndice 5 apresenta a tipificação desta região.

2.7.2 **ÁREA ATINGIDA**

O levantamento das estruturas e de pontos vulneráveis foi realizado em 2017 por fotointerpretação, 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 Coaracy Nunes.

No Apêndice 4 encontram-se as tabelas de identificação das benfeitorias atingidas, com as respectivas coordenadas em UTM (SIRGAS 2000, Zona 22 N), para cada modo de ruptura hipotética.

Tabela 2.4: Número aproximado de atingidos (economias) – Levantamento de 2017.

Cenário de Ruptura	Número Aprox. de atingidos (Economias)		
	Dentro da ZAS	Fora da ZAS	Total
Modo RDC 1	5	1235	1240
Modo RDC 2	6	898	904
Modo RDC 3	6	1237	1243
Modo RDC 4	6	897	903
Modo RSC 5	11	1312	1323

Considerando uma média de 3,34 habitantes por economia³, dado apresentado pelo IBGE no Censo 2010, a estimativa da população afetada, por cenário de ruptura, encontra-se abaixo (Tabela 2.5).

Tabela 2.5: Número aproximado de atingidos (habitantes) – Levantamento de 2017.

Cenário de Ruptura	Número Aprox. de atingidos (Habitantes)		
	Dentro da ZAS	Fora da ZAS	Total
Modo RDC 1	17	4125	4142
Modo RDC 2	21	3000	3021
Modo RDC 3	21	4132	4153
Modo RDC 4	21	2996	3017
Modo RSC 5	37	4383	4420

Cabe salientar que se considerou como benfeitoria atingida, todas as residências localizadas dentro da mancha de inundação, bem como aquelas parcialmente atingidas por ela. Além disso, o cadastramento realizado em outubro de 2023 se trata de uma ZAS com aproximadamente 15 edificações inventariadas. Dessas, 4 estão habitadas, sendo que 2 delas foram registradas com presença de morador. No total, foram contabilizadas 6 pessoas na área cadastrada. O cadastramento completo está disponível no Apêndice 6.

³IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico de 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>> Acesso em 27JUL2017.

Estas informações irão subsidiar a confecção do Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil dos municípios potencialmente atingidos, cuja responsabilidade compete à Defesa Civil, conforme Lei Federal Nº 12.608/2012, alterada pela Lei Federal Nº 14.750/2023.

2.8 RESTRIÇÕES LOCAIS

Algumas restrições de mobilidade em momentos de crise devem ser verificadas. Dentre elas, o acesso às localidades da área de inundação, previsto mediante as rodovias e estradas expostas nas cartas de inundação (Apêndice 3).

Neste contexto, nas cartas de inundação estão indicadas as estradas e pontes atingidas pela onda induzida pela ruptura hipotética da barragem Coaracy Nunes, considerando levantamento realizado em 2017. Estas deverão ser mapeadas pelos órgãos de Defesa Civil, para que o isolamento e a interdição das vias sejam adequadamente planejados para momentos de crise.

Estas informações deverão ser utilizadas pelos Entes Federados, a fim de cumprir as respectivas competências a nível Federal, Estadual e Municipal, em atendimento aos requisitos da Lei Federal Nº 12.608/2012, alterada pela Lei Federal Nº 14.750/2023.

2.9 ESTRATÉGIA, RECURSOS E MEIO DE DIVULGAÇÃO E ALERTA

O aviso, bem como a divulgação, de situações de emergência pode ser realizado pelo uso de sinais visuais, sonoros e apoio logístico. A Eletrobras Eletronorte – Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. é responsável pelo suporte aos Entes Federados na assistência da 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 CNU.SBR-PSB-2024-630. As responsabilidades dos agentes, desde o proprietário da barragem até os Entes Federados, estão descritas no documento CNU.SBR-PSB-2024-640.

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.

_____. Manual do Empreendedor – Volume IV. Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE. Brasília: ANA, 2015.

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.

_____. 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 ASSESMENT, DAM-BREAK FLOOD ANÁLISIS AND EMERGENCY ACTION PLANNING. Seinajoki: Finnish Environment Institute, 2000.

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.

APÊNDICES

O estudo de ruptura hipotética da Barragem Coaracy Nunes encontra-se no **Caderno de Apêndices** desta unidade, código 376-UHECNU-CD-PAE-001 (Apêndice 1).

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

Título	Código
Memória de Cálculo do Estudo de Ruptura Hipotética	376-UHECNU-CD-PAE-001

As Cartas de Inundação, referentes à Barragem Coaracy Nunes, encontram-se no **Caderno de Apêndices** desta unidade, código 376-UHECNU-CD-PAE-003. A listagem e a codificação destes documentos estão resumidas no Apêndice 3.

Apêndice 3: Cartas de Inundação - 2017.

Modo	Cartas de Inundação (1:20.000)	Cartas de Inundação ZAS (1:15:000)	Zona Urbana (1:5.000)
RDC1	376-UHECNU-DES-APMR-01	376-UHECNU-DES-ZAS-01	376-UHECNU-DES-DZ-01
RDC2	376-UHECNU-DES-APMR-02	376-UHECNU-DES-ZAS-02	376-UHECNU-DES-DZ-02
RDC3	376-UHECNU-DES-APMR-03	376-UHECNU-DES-ZAS-03	376-UHECNU-DES-DZ-03
RDC4	376-UHECNU-DES-APMR-04	376-UHECNU-DES-ZAS-04	376-UHECNU-DES-DZ-04
RSC5	376-UHECNU-DES-APMR-05	376-UHECNU-DES-ZAS-05	376-UHECNU-DES-DZ-05

Cartas	Modo RSC5	Escala
Perigo Hidrodinâmico	376-UHECNU-DES-PER-01	1:20.000
Cascata do rio Araguari	376-UHECNU-DES-CAS-01	1:47.000
Municípios	Ferreira Gomes, AP	1:38.000
	Cutias e Tartarugalzinho, AP	1:29.000

Vazões	Tempo de Recorrência (1:20.000)
TR 10.000, 1.000, 500 e 300 anos; Máxima Provável	376-UHECNU-DES-TR-01

As coordenadas das benfeitorias atingidas, levantadas em 2017, referentes aos modos de ruptura da Barragem Coaracy Nunes, encontram-se no **Caderno de Apêndices** desta unidade (Apêndice 4).

Apêndice 4: Coordenadas das benfeitorias atingidas – Levantamento de 2017.

Título	Código
Caderno de Coordenadas	376-UHECNU-CD-PAE-004

A tipificação da Zona de Autossalvamento (ZAS) encontra-se no **Caderno de Apêndices** desta seção (Apêndice 5), tendo por base dados de 2017.

Apêndice 5: Tipificação da ZAS – Levantamento de 2017.

Título	Código
Tipificação da Zona de Autossalvamento (ZAS)	376-UHECNU-CD-PAE-005

O cadastramento completo da Zona de Autossalvamento (ZAS), com a identificação dos pontos de vulnerabilidade social, encontra-se no **Caderno de Apêndices** desta seção (Apêndice 6).

Apêndice 6: Levantamento da ZAS – Levantamento de 2024.

Título	Código
Cadastramento completo da Zona de Autossalvamento (ZAS)	

CNU.SBR-PSB-2024-650-R00.pdf

Documento número #9025fc8b-37fa-413f-83b1-991826f29f92
Hash do documento original (SHA256): 2c4c9ab361cfdc36b1db8609906a93ae487ffd82413a671bdf2cfca2d9f8511e

Assinaturas

✓ **RAFAEL MARQUES CARDOSO**
Assinou em 26 nov 2024 às 13:53:57

✓ **Camila de Goes Silva**
Assinou em 26 nov 2024 às 13:34:40

Log

26 nov 2024, 13:08:26	Operador com email TDSR@intertechne.com.br na Conta 95b49d73-c497-4ce7-86fa-dd20740970d8 criou este documento número 9025fc8b-37fa-413f-83b1-991826f29f92. Data limite para assinatura do documento: 26 de dezembro de 2024 (15:30). Finalização automática após a última assinatura: habilitada. Idioma: Português brasileiro.
26 nov 2024, 13:08:27	Operador com email TDSR@intertechne.com.br na Conta 95b49d73-c497-4ce7-86fa-dd20740970d8 adicionou à Lista de Assinatura: RM@INTERTECHNE.com.br para assinar, via E-mail, com os pontos de autenticação: Token via E-mail; Nome Completo; CPF; endereço de IP. Dados informados pelo Operador para validação do signatário: nome completo RAFAEL MARQUES CARDOSO e [REDACTED]
26 nov 2024, 13:08:27	Operador com email TDSR@intertechne.com.br na Conta 95b49d73-c497-4ce7-86fa-dd20740970d8 adicionou à Lista de Assinatura: CDGS@intertechne.com.br para assinar, via E-mail, com os pontos de autenticação: Token via E-mail; Nome Completo; CPF; endereço de IP. Dados informados pelo Operador para validação do signatário: nome completo Camila de Goes Silva e [REDACTED]
26 nov 2024, 13:34:40	Camila de Goes Silva assinou. Pontos de autenticação: Token via E-mail CDGS@intertechne.com.br. CPF informado: [REDACTED] Componente de assinatura versão 1.1056.0 disponibilizado em https://app.clicksign.com.
26 nov 2024, 13:53:57	RAFAEL MARQUES CARDOSO assinou. Pontos de autenticação: Token via E-mail RM@INTERTECHNE.com.br. CPF informado: [REDACTED] Localização compartilhada pelo dispositivo eletrônico: [REDACTED] URL para abrir a localização no mapa: https://app.clicksign.com/location. Componente de assinatura versão 1.1056.0 disponibilizado em https://app.clicksign.com.
26 nov 2024, 13:53:57	Processo de assinatura finalizado automaticamente. Motivo: finalização automática após a última assinatura habilitada. Processo de assinatura concluído para o documento número 9025fc8b-37fa-413f-83b1-991826f29f92.



Documento assinado com validade jurídica.

Para conferir a validade, acesse <https://www.clicksign.com/validador> e utilize a senha gerada pelos signatários ou envie este arquivo em PDF.

As assinaturas digitais e eletrônicas têm validade jurídica prevista na Medida Provisória nº. 2200-2 / 2001

Este Log é exclusivo e deve ser considerado parte do documento nº 9025fc8b-37fa-413f-83b1-991826f29f92, com os efeitos prescritos nos Termos de Uso da Clicksign, disponível em www.clicksign.com.