



REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA
PCH Cazuza Ferreira
São Francisco de Paula - RS

1. Sumário

1. INTRODUÇÃO	3
2. Dados técnicos do empreendimento	4
• Barragem	13
• Vertedouro	13
• Circuito Hidráulico de Adução	13
- Tomada de Água	13
- Conduto Forçado	14
- Casa de Força e Canal de Fuga	14
• Equipamentos Eletromecânicos	14
- Turbinas	14
- Gerador	15
3. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR	15
4. AVALIAÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO	16
4.1. Projetos <i>As Built</i>	16
4.2. Procedimentos e manuais de operação e manutenção	16
4.3. Inspeções de segurança	16
4.4. Comparativos Inspeção Anterior	17
4.5. Recomendações de manutenção civil	17
4.6. Diagnóstico do Nível de segurança da barragem	18
4.7. Laudo de Segurança	18
5. Avaliação e Atualização da Hidrologia	19
6. DETECÇÃO, AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA	22
6.1 Avaliação do Risco	22
6.1.1 Risco Hidrológico	22
6.1.2 Risco de Colapso Estrutural	23
6.2 Identificação das Emergências Potenciais	24
7. ESTUDO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM	26
7.1 Geografia da Região e Geometria do Rio	27
7.2 Tipo e Geometria da Barragem	27
7.3 Potenciais Causas do Rompimento	27
7.3.1 Galgamento	28
7.3.2 Infiltração (Piping)	28
7.3.3 Falhas nas fundações e estruturais	29

7.3.4	Ações de guerra.....	30
7.3.5	Casos Estatísticos	31
7.4	Formação da Brecha	31
7.5	Tamanho da Brecha	32
7.6	Trecho do Cálculo.....	34
7.7	Modelagem Matemática.....	36
7.8	Identificação das áreas atingidas	37
7.9	Zoneamento de Risco.....	38
7.10	Dados de entrada utilizados.....	41
7.10.1	Trecho da análise.....	41
7.10.2	Geografia da região e geometria do rio	42
7.10.3	Geometria da barragem	42
7.10.4	Hidrograma de Cheias	42
7.10.5	Vazões de Cheias	43
7.10.6	Capacidade de descarga do vertedouro.....	45
7.10.7	Calibração do modelo matemático	45
8.	SIMULAÇÃO DE ROMPIMENTO DE BARRAGEM COM O HEC - RAS	48
9.	CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM DA PCH CAZUZA FERREIRA	49
9.1	Enquadramento Lei 12.334/2010 e Resolução Normativa 696/2015 (ANEEL)	49
	I - Altura da barragem > 15,00 m.....	49
	II - Volume do Reservatório > 3.000.000 m³	50
	III – Reservatório = Resíduos Perigosos	51
9.2	Matriz para classificação da barragem - Resolução Normativa 696/2015 (ANEEL) ..	53
10.	RESULTADOS.....	56
11.	CONTATOS	57
12.	ANEXOS	58
12.1.	Anexo 01 - Projeto <i>As Built</i>	58
12.2.	Anexo 02 - Manuais de Operação e Manutenção	58
12.3.	Anexo 03 - Laudos de Estabilidade.....	58
12.4.	Anexo 04 - Relatório de Inspeção	58
12.5.	Anexo 05 - Procedimentos de Operação e Manutenção	58
12.6.	Anexo 06 - Simulação de <i>Daw Break</i> Mapas e Shapes	58
12.7.	Anexo 07 - Matriz de classificação da Barragem	58
12.8.	Anexo 08 - Plano de Contingência.....	58
13.	Referências Bibliográficas	60

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o art. 10 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, “Deverá ser realizada Revisão Periódica de Segurança de Barragem com o objetivo de verificar o estado geral da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, a atualização dos dados hidrológicos e as alterações das condições a montante e a jusante da barragem”.

Portanto, a revisão periódica é um amplo procedimento de segurança de barragem exigido pela Lei que deve ter uma periodicidade e conteúdo estabelecidos pelas entidades fiscalizadoras. A revisão periódica é parte integrante do Plano de Segurança da Barragem.

Segundo a lei:

§ 1º. A periodicidade, a qualificação técnica da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento da revisão periódica de segurança serão estabelecidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem.

§ 2º. A Revisão Periódica de Segurança de Barragem deve indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança da barragem, compreendendo, para tanto:

- I - o exame de toda a documentação da barragem, em particular dos relatórios de inspeção;
- II - o exame dos procedimentos de manutenção e operação adotados pelo empreendedor;
- III - a análise comparativa do desempenho da barragem em relação às revisões efetuadas anteriormente.

§ 3º. O órgão fiscalizador deverá estabelecer prazo para que o empreendedor cumpra as ações previstas na Revisão Periódica de Segurança de Barragem. (Incluído pela Lei nº 14.066, de 2020)

A Resolução Normativa n 696/2015, por sua vez, estabelece o seguinte:

“Art. 17. Para usinas existentes, a periodicidade de realização da RPS será definida de acordo com a classe da barragem, observado o interstício máximo disposto abaixo, contado a partir da publicação desta Resolução.

Classe da Barragem	A	B	C
Periodicidade	5 anos	7 anos	10 anos

Parágrafo único. Para usinas novas, a RPS deverá ocorrer até o quinto ano desde o primeiro enchimento do reservatório, independentemente de sua classificação.” A própria REN 696/2015 traz a definição do significado de usinas novas, nos seguintes termos:

“Art. 2º Para os fins desta Resolução, definem-se:

III – usinas novas: usinas hidrelétricas cuja operação comercial da primeira unidade geradora ocorrer após a publicação desta Resolução;”

A Resolução Normativa nº 686, de 15 de dezembro de 2015, foi publicada no D.O. de 22/12/2015.

Assim, dos normativos citados, depreende-se que as usinas cuja operação comercial da primeira unidade geradora ocorrer após 22/12/2015, estão abrangidas no conceito de usinas novas e, portanto, sujeitas a condição definida no § único do art. 17 da REN 696/2015.

Foi desenvolvida a Revisão Periódica de Segurança (RPS) da PCH Cazuza Ferreira para atender os dispostos nas Resoluções Normativas ANEEL, e Lei de Segurança de Barragens. Segundo a Resolução Normativa nº 686, de 15 de dezembro de 2015, publicada no D.O. de 22/12/2015, a PCH Cazuza Ferreira deve desenvolver o estudo.

Considerando a altura máxima da barragem (5,00 m), o volume do reservatório (172.143,04 m³) e não oferecer riscos a jusante, por estar localizada em um vale encaixado, sem a existência de estruturas/edificações a jusante, segundo o FSB ANEEL seria classificada como “**Classe C**”. Além do proprietário contar em seu quadro funcional com um responsável técnico pela segurança de barragens, executar os procedimentos de Inspeção de Segurança com emissão de relatórios e realizar as manutenções de forma adequada de acordo com o apontado nas inspeções, a RPS será desenvolvida de forma simplificada avaliando todos os itens na forma da lei.

2 Dados técnicos do empreendimento

A PCH Cazuza Ferreira está situada no rio Lajeado Grande, com barramento a aproximadamente 44,94 km a montante da confluência com o rio das Antas, no Município de São Francisco de Paula, no Estado do Rio Grande do Sul. Geograficamente o local da barragem é identificado na latitude 29° 01' 12,61" Sul e longitude 50° 43' 52,07" Oeste, constantes no Mapa do Exército MI 2954/2, “Lajeado Grande”, Datum Vertical - Marégrafo de Torres e Datum Horizontal - Córrego Alegre.

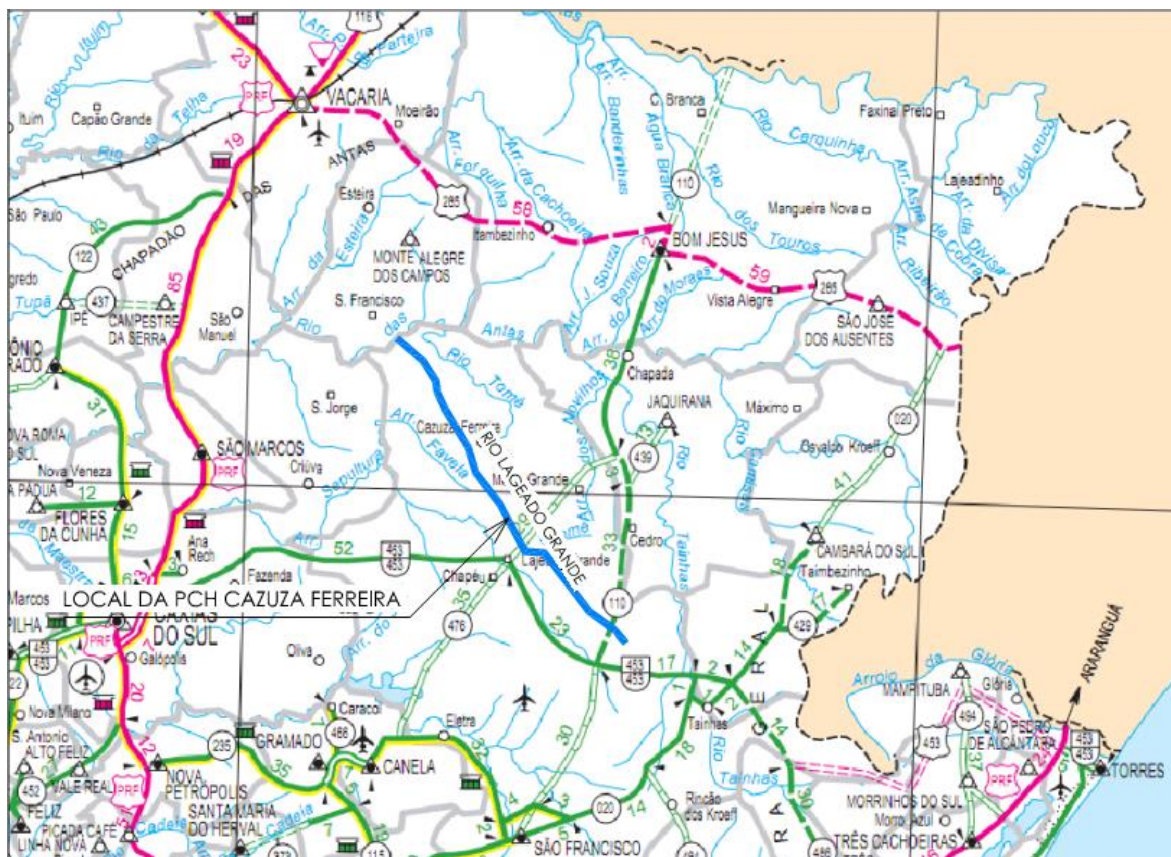


Figura 1 – Mapa de acessos ao local da PCH Cazuza Ferreira.

O acesso rodoviário, a partir de Porto Alegre, pode ser feito, via BR-116, percorrendo-se 136 km até Caxias do Sul. A partir deste ponto, pela RS-453 são percorridos 38 km em direção a Lajeado Grande. Tomando o acesso à esquerda, em direção a Vila de Cazuza Ferreira, são percorridos cerca de 10 km em estradas vicinais até o local do Aproveitamento, totalizando assim 188 km sendo 178 km em asfalto e 10 km em estrada de chão cascalhada.

O arranjo proposto para a PCH Cazuzu Ferreira, é composto de uma barragem em concreto ciclópico de baixa altura. Adução pela margem esquerda partindo da tomada de água e chegando às turbinas instaladas no interior da casa de máquinas, através de conduto forçado. As turbinas são do tipo Francis Dupla de eixo horizontal acopladas diretamente aos geradores, com uma potência total de 9,10 MW.

As figuras abaixo apresentam arranjo geral do empreendimento da PCH Cazuza Ferreira.



Figura 2 – Montante da PCH Cazuza Ferreira



Figura 3 – Jusante da PCH Cazuzu Ferreira

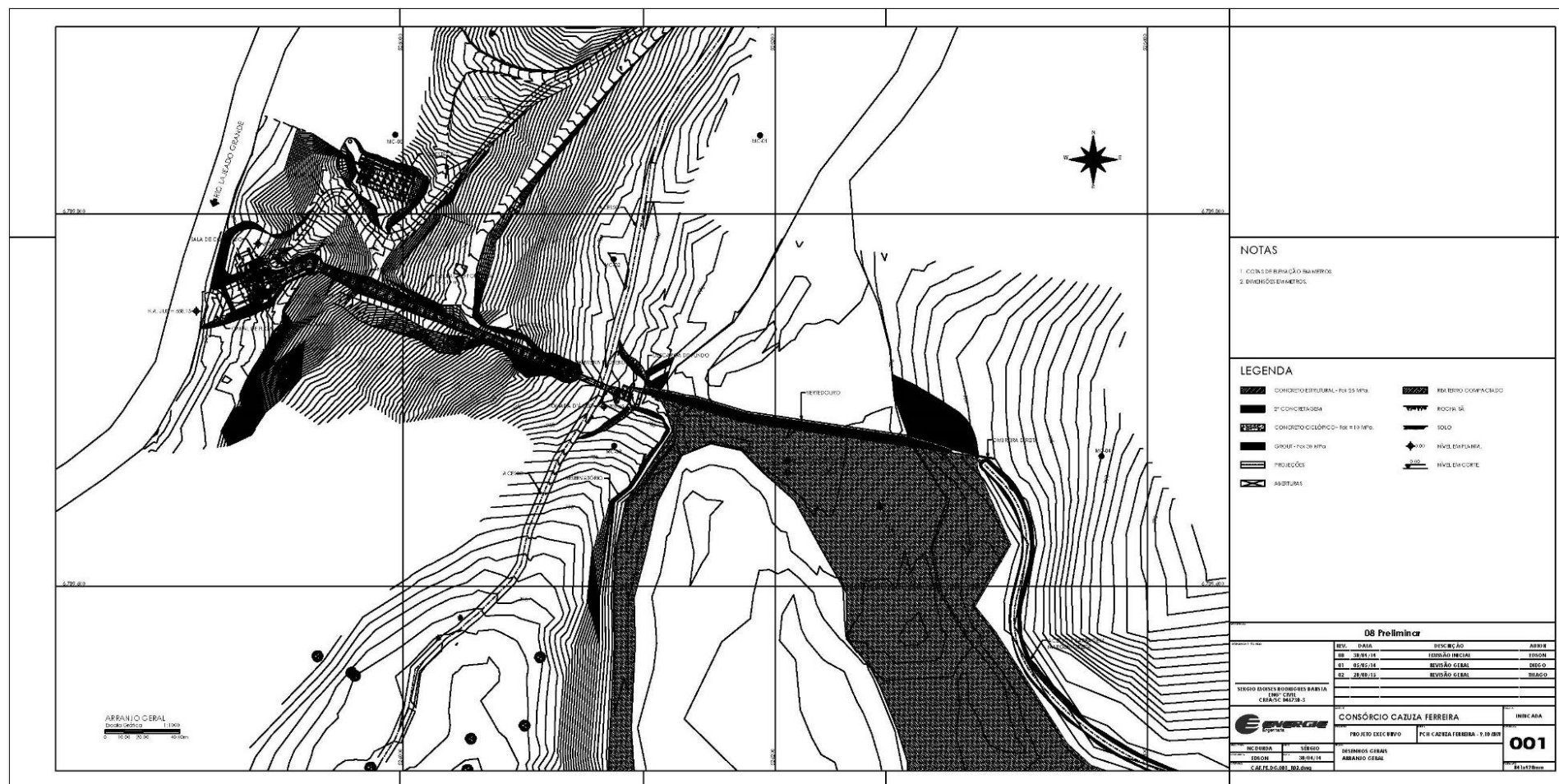


Figura 4 – Arranjo geral da PCH Cazuza Ferreira

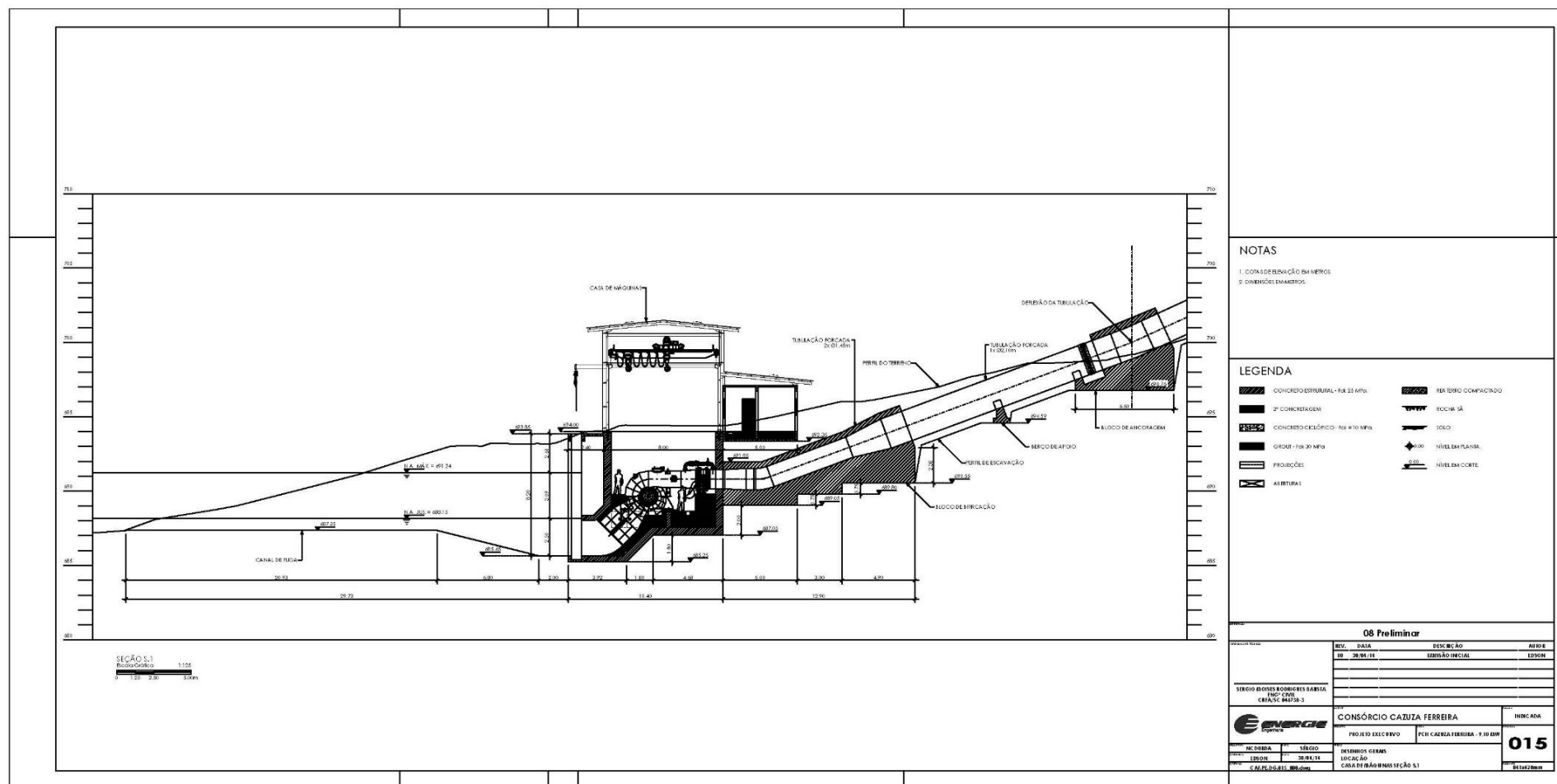


Figura 7 – Casa de Força – Seção Longitudinal

- **Barragem**

O barramento da PCH Cazuza Ferreira consiste somente em fechamentos nas ombreiras direita e esquerda com barragem em concreto com altura máxima de 6,15 m na ombreira esquerda junto com descarga de fundo. Na margem direita a barragem apresenta 9,93 m de comprimento e na margem esquerda apresenta 15,18 m (incluindo a tomada de água). O desenho CAF.PE.BA.002_R01 apresenta seção do barramento (Figura 5).

- **Vertedouro**

O vertedouro da PCH Cazuza Ferreira situa-se transversalmente no alinhamento da calha natural do rio e é formado por uma soleira vertente não controlada com 180 m de largura livre, crista na elevação 778,15 m e altura máxima de cerca de 4,00 m. Esta estrutura possibilita o vertimento da cheia 1.000 anos, cujo pico é de 719,83 m³/s, com uma sobre-elevação de 1,50 m no reservatório garantindo borda livre de 1,00 m, o que resulta num nível de água máximo maximorum na elevação 779,65 m.

O paramento de montante do vertedouro é vertical enquanto o paramento de jusante possui declividade de 0,75 H: 1,0 V com descida da água livre, sendo a crista construída com perfil *Creager*, melhorando assim as condições de escoamento.

O desenho CAF.PE.BA.002_R01 apresenta seção do vertedouro (Figura 5). A memória de cálculo da estabilidade da Barragem/Vertedouro está presente no Anexo 03.

- **Circuito Hidráulico de Adução**

- Tomada de Água

A estrutura da tomada de água estará localizada na margem esquerda do rio, a montante da barragem. A tomada de água possui soleira na elevação 772,40 e coroamento na elevação 780,65 m.

Junto a sua entrada, está montada a grade de proteção, com 4,00 m de largura e 4,00 m de altura, destinada a impedir a entrada de materiais com dimensões que possam danificar os equipamentos. No pórtico da estrutura se encontra limpa grades para retirada contínua dos materiais retidos na grade.

O fechamento desta abertura, no caso da necessidade de manutenção do conduto será feito por meio de uma comporta vagão, com dimensões de (2,80 x 3,00) m. A movimentação desta comporta é realizada por uma talha instalada sobre um pórtico fixo de aço.

O circuito de geração está apresentado no desenho CAF.PE.DG.002_R02 (Figura 6).

- Conduto Forçado

Logo após tomada d'água inicia-se o trecho blindado de 206,25m de extensão e diâmetro de 2,10 m no trecho principal, onde o fluxo será dividido através de uma bifurcação para diâmetro de 1,45 m para as duas unidades geradoras da casa de força.

O circuito de geração está apresentado no desenho CAF.PE.DG.002_R02 (Figura 6).

- Casa de Força e Canal de Fuga

A casa de força da PCH Cazuza Ferreira é do tipo abrigada, e foi projetada para acomodar duas unidades geradoras do tipo Francis dupla de eixo horizontal. Os respectivos geradores estarão dispostos ao lado das turbinas. A fundação da Casa de Força está na elevação 693,85 m (protegida TR 1.000 anos) e o piso dos sala de máquinas está na elevação 688,65 m.

O Canal de Fuga tem largura de 11,00 m e comprimento de 18,30 m. O nível de água normal no canal de fuga está na elevação 688,15 m e o nível de água máximo de projeto encontra-se na elevação 691,24 m. A casa de força e o canal de fuga podem ser vistos nos desenhos CAF.PE.DG.002_R02, CAF.PE.DG.015_R00 e CAF.PE.DG.016_R00 (Figura 6 a Figura 8).

• Equipamentos Eletromecânicos

- Turbinas

As turbinas são do tipo Francis, de eixo horizontal, com rotor duplo, com potência não inferior a 4.691 kW no eixo da turbina, sob queda líquida nominal de 88,43 m. As características básicas da turbina são:

Quantidade	02 (duas)
Tipo	Francis Horizontal Dupla
Potência nominal (eixo)	4.691 kW
Queda Bruta Máxima	90,00 m
Queda líquida nominal (Hr)	88,43 m
Vazão nominal unitária	5,91 m³/s
Rotação nominal	900,00 rpm
Nível de água de jusante normal	El. 688,15 m
Nível de água de jusante máximo	El. 691,24 m

Quadro 1 – Dados da Turbina

- Gerador

As duas unidades geradoras da PCH Cazuza Ferreira serão dotadas de geradores trifásicos, síncronos, de eixo horizontal para acoplamento rígido às turbinas Francis de eixo horizontal.

Quantidade	02
Potência nominal	5.100 kVA
Fator de potência indutivo	0,90
Tensão nominal	6,90 kV
Frequência nominal	60 Hz
Rotação nominal	900,00 rpm

Quadro 2 – Dados do Gerador

3. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR

SPE

Nome do Empreendedor: CAZUZA FERREIRA ENERGÉTICA S.A.

PCH: Cazuza Ferreira

CNPJ: 17.201.404/0001-46

Endereço: Vila Cazuza Ferreira s/n, Município de São Francisco de Paula, estado do Rio Grande do Sul, CEP 95.400-000

Endereço Correspondência: Rua Pastor Hasenack, 240, Bairro Teutônia, Município de Teutônia, Estado do Rio Grande do Sul, Cep: 95890-000

Diretor Presidente: Erineo José Hennemann

Fone: (51) 3762-5516

E-mail: geração@certel.com.br

Responsável Técnico da Segurança da Barragem: Rodrigo Da Cas

Telefone: (51) 3762-5516 e (51) 9686-4120

E-mail: rodrigo_cas@certel.com.br

CREA RS-212636

4. AVALIAÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO

4.1. Projetos *As Built*

O projeto *As Built*, está em conformidade com as normas e atende a todos os dispostos quanto a projeto e execução além de apresentar de forma correta a geologia, a geomorfologia da região, sendo fidedigno ao projeto, mostrando realmente o projeto como construído de todas as estruturas. O projeto *As Built*, pode ser acessado e conferido no **Anexo 01** deste documento de forma digital pois pelo tamanho e nível de detalhamento não convém a impressão, devido as tecnologias utilizadas atualmente.

Geologicamente não temos alteração que demande estudos de sondagens complementares pois a barragem está localizada em rocha sã que aflora em todo eixo do barramento.

4.2. Procedimentos e manuais de operação e manutenção

A PCH Cazuza Ferreira dispõe de todos os manuais de operação e manutenção, sejam eles elétricos mecânicos e de manutenção das estruturas civis. Os responsáveis aplicam os procedimentos de inspeção de forma a manter a usina funcionando de forma adequada a fim de atender e superar os indicativos Aneel sempre que dispõe de água para sua operação. A Usina desenvolveu com fornecedores externos um plano de procedimentos para cada tarefa, onde engloba desde o Operador, Centro de Operação, Manutenção, Engenharia e Direção, para realizar as manutenções de forma adequada e com segurança. Cada procedimento deve ser seguido, observando os manuais de operação e manutenção. A documentação está apresentada nos Anexos conforme indicado.

4.3. Inspeções de segurança

As inspeções de segurança de barragens são executadas anualmente pelo empreendedor, e a cada dois anos uma empresa é contratada para a realização das inspeções bianuais do barramento e estruturas do empreendimento, cumprindo

assim a Resolução ANEEL e atendendo ao Manual de Operação e Manutenção da Usina. Todos os apontamentos de manutenção preventiva ou corretiva são realizados sempre a fim de não comprometer a segurança da barragem.

4.4. Comparativos Inspeção Anterior

A última inspeção de segurança foi realizada em 2020 - INSPEÇÃO 04_PCHCAF_10.09.2020– e foi utilizada como base para desenvolvimento dessa RPS.

As manutenções recomendadas no relatório anterior estão sendo realizadas. Os seguintes pontos apontados na inspeção anterior continuam demandando ações:

- Armadura exposta no vertedouro – Somente acompanhar visualmente;
- Pontos de deterioração concreto do vertedouro – realizar manutenção.

4.5. Recomendações de manutenção civil

Durante esta inspeção civil pode-se observar que a Usina se apresenta em boas condições de manutenção e operação sem a ocorrência de problemas que afetem as estruturas da usina e sua segurança.

Os problemas encontrados na Inspeção de Segurança Regular 2020 não afetam as condições de segurança da estrutura do barramento que se encontra em ótimas condições de manutenção e operação.

É recomendado realizar próxima inspeção civil em 2022 conforme a classificação da Barragem – **Classe C**, que indica a necessidade de inspeções bianuais.

Conforme as recomendações da Resolução 696 de 15/12/2015 da ANEEL ao diagnóstico dos níveis de segurança das estruturas deve ser classificado da seguinte maneira:

- a) **1 - Normal**: quando não houver anomalias ou as que existirem não comprometerem a segurança da estrutura, mas que devem ser controladas e monitoradas ao longo do tempo;
- b) **2 - Atenção**: quando as anomalias não comprometerem a segurança da estrutura no curto prazo, mas exigirem monitoramento, controle ou reparo ao decurso do tempo;
- c) **3- Alerta**: quando as anomalias representem risco à segurança da estrutura, exigindo providências para manutenção das condições de segurança; e
- d) **4 - Emergência**: quando as anomalias representem risco de ruptura iminente, exigindo providências para prevenção e mitigação de danos humanos e materiais.

As classificações destacadas acima deverão seguir o grau de prioridade de execução:

- **A – Alto** – Recomendações relacionadas a aspectos que comprometem em curto prazo a estabilidade das estruturas → Manutenção/Reparo imediato em até 6 meses;
- **M – Médio** – Recomendações relacionadas a aspectos que não comprometem em curto prazo a estabilidade das estruturas, entretanto a evolução pode vir a comprometer → Manutenção/Reparo em até 1 ano;
- **B – Baixo** – Recomendações relacionadas a aspectos que comprometem a médio prazo a estabilidade das estruturas → Manutenção/Reparo até 2 anos;
- **R – Rotineiro** – Recomendações relacionadas a manutenções e acompanhamentos periódicos e rotineiros importantes para o monitoramento das estruturas → Periódico/Rotineiro.

4.6. Diagnóstico do Nível de segurança da barragem

Declaro para fins de acompanhamento e comprovação junto a ANEEL, que realizei a inspeção de segurança regular nas estruturas civis da PCH Cazuza Ferreira, conforme relatório de inspeção em anexo, de modo que ATESTO CONDIÇÕES NORMAIS DE SEGURANÇA: Barragem, Vertedouro, tomada de água, conduto forçado, casa de força e canal de fuga em consonância com a LEI nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, e Resolução Normativa vigente 696/2015 da ANEEL.

4.7. Laudo de Segurança

A Inspeção de Segurança Regular em conjunto com a análise dos documentos de projeto demonstra que as estruturas da PCH Cazuza Ferreira estão se comportando conforme previsto em projeto, onde as pequenas manutenções necessárias não comprometem a segurança das estruturas a médio prazo. Obtêm-se assim o Laudo de Segurança da PCH Cazuza Ferreira que se encontra em condições satisfatórias de operação e manutenção.

5. Avaliação e Atualização da Hidrologia

A hidrologia foi estudada em 2021 considerando as vazões máximas de projeto básico e atualização notou-se vazões muito similares ao projeto, que não prejudicam as questões estruturais pela qual a Barragem por ser projetado a suportar cheias milenares.

A revisão dos dados da Hidrologia realizada em 2021 apresenta resultados muito similares a do Projeto Básico, por isso foram utilizadas as vazões atualizadas para as simulações no programa computacional HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center – River Analysis System*).

A Tabela 1 abaixo apresenta as vazões calculadas com a hidrologia atualizadas até 2021. O método de correlação de vazões para as estações estudadas foi o mesmo utilizado no projeto Básico entre o Posto Camisas com área de drenagem de 110,00 km² correlacionando para área de drenagem da PCH Cazuza Ferreira de 429,00 km².

A Tabela 2 apresenta os dados de Hidrologia atualizados e as revisões dos tempos de retorno pelo método de *Gumbel* Indicado nos Manuais e Diretrizes para Estudos e Projetos – Eletrobras. Os dados foram revisados junto ao projetista Elizeu Riba da TR Sul Engenharia.

Local	Posto CAMISAS - 86050000	PCH CAZUZA FERREIRA
Area Drenagem (km ²)	110,00	429,00
Ano	Q _{max} (m ³ /s)	Q _{max} (m ³ /s)
1940	28,38	110,70
1941	63,64	248,21
1942	46,26	180,41
1943	13,36	52,09
1944	18,27	71,24
1945	22,00	85,80
1946	15,33	59,79
1947	30,66	119,59
1948	29,88	116,55
1949	26,89	104,85
1950	53,07	206,96
1951	22,71	88,56
1952	18,39	71,74
1953	64,61	251,96
1954	77,51	302,31
1955	42,85	167,11
1956	45,78	178,54
1957	58,67	228,81
1958	42,85	167,11
1959	64,61	251,96
1960	28,36	110,61
1961	33,07	128,98
1962	13,70	53,42
1963	64,61	251,96
1964	22,71	88,56
1965	77,51	302,31
1966	37,33	145,59
1967	77,51	302,31
1968	17,49	68,22
1969	21,71	84,68
1970	38,22	149,06
1971	17,94	69,97
1972	44,79	174,68
1973	41,90	163,40
1974	97,98	382,11
1975	47,80	186,41
1976	50,92	198,59
1977	57,52	224,33
1978	19,78	77,16
1979	17,05	66,49
1980	77,51	302,31
1981	23,21	90,53
1982	74,82	291,80
1983	51,99	202,75
1984	53,07	206,96
1985	29,12	113,56
1986	32,26	125,81
1987	37,33	145,59
1988	94,88	370,03
1989	33,90	132,21
1990	21,71	84,68
1991	26,17	102,05
1992	37,33	145,59
1993	39,12	152,57
1994	26,17	102,05
1995	45,78	178,54
1996	27,62	107,71
1997	62,19	242,54
1998	49,87	194,48
1999	20,26	79,01
2000	39,12	152,57
2001	62,19	242,54
2002	49,87	194,48
2003	81,66	318,48
2004	20,43	79,67
2005	39,38	153,60
2006	22,20	86,57
2007	59,81	233,27
2008	56,67	221,01
2009	61,29	239,01
2010	29,66	115,68
2011	60,79	237,10
2012	51,56	201,09
2013	43,61	170,07
2014	26,52	103,42
2015	38,79	151,30
2016	40,96	159,73
2017	27,70	108,02
2018	30,45	118,74
2019	36,63	142,87
2020	76,41	298,00
2021	26,81	104,57
Posto Base - CAMISAS 86050000		
Posto Complementar - PASSO TAINHAS 86160000		

Tabela 1 Correlação de Vazões Máximas PCH Cazuza Ferreira

MÉTODO DE GUMBEL

Vazões Máximas
AD USINA= 429,00 km²
Qmed= 164,58 m³/s
Q= 78,27 m³/s

Assimetria
n= 82
Assimetria= 0,72
Usar Gumbel

Ano	Qmax
1940	110,70
1941	248,21
1942	180,41
1943	52,09
1944	71,24
1945	85,80
1946	59,79
1947	119,59
1948	116,55
1949	104,85
1950	206,96
1951	88,56
1952	71,74
1953	251,96
1954	302,31
1955	167,11
1956	178,54
1957	228,81
1958	167,11
1959	251,96
1960	110,61
1961	128,98
1962	53,42
1963	251,96
1964	88,56
1965	302,31
1966	145,59
1967	302,31
1968	68,22
1969	84,68
1970	149,06
1971	69,97
1972	174,68
1973	163,40
1974	382,11
1975	186,41
1976	198,59
1977	224,33
1978	77,16
1979	66,49
1980	302,31
1981	90,53
1982	291,80
1983	202,75
1984	206,96
1985	113,56
1986	125,81
1987	145,59
1988	370,03
1989	132,21
1990	84,68
1991	102,05
1992	145,59
1993	152,57
1994	102,05
1995	178,54
1996	107,71
1997	242,54
1998	194,48
1999	79,01
2000	152,57
2001	242,54
2002	194,48
2003	318,48
2004	79,67
2005	153,60
2006	86,57
2007	233,27
2008	221,01
2009	239,01
2010	115,68
2011	237,10
2012	201,09
2013	170,07
2014	103,42
2015	151,30
2016	159,73
2017	108,02
2018	118,74
2019	142,87
2020	298,00
2021	104,57

Ano	X ₁ - média
1940	-156448,5
1941	584825,7
1942	3965,9
1943	-1423377,4
1944	-813115,6
1945	-488949,7
1946	-1150726,6
1947	-91083,4
1948	-110812,5
1949	-213057,0
1950	76125,8
1951	-439368,6
1952	-800358,6
1953	667219,5
1954	2612402,8
1955	16,2
1956	2718,9
1957	264929,9
1958	16,2
1959	667219,5
1960	-157208,1
1961	-45106,8
1962	-1373686,1
1963	667219,5
1964	-439368,6
1965	2612402,8
1966	-6849,0
1967	2612402,8
1968	-894755,2
1969	-510126,1
1970	-3742,4
1971	-846954,0
1972	1029,9
1973	-1,6
1974	10293456,8
1975	10395,8
1976	39324,0
1977	213341,9
1978	-668084,6
1979	-943731,8
1980	2612402,8
1981	-406091,2
1982	2059057,9
1983	55603,1
1984	76125,8
1985	-132841,0
1986	-58302,5
1987	-6849,0
1988	8671741,0
1989	-33920,9
1990	-510126,1
1991	-244560,7
1992	-6849,0
1993	-1733,2
1994	-244560,7
1995	2718,9
1996	-183941,3
1997	473835,3
1998	26716,5
1999	-626580,6
2000	-1733,2
2001	473835,3
2002	26716,5
2003	3644986,0
2004	-612166,7
2005	-1325,1
2006	-474824,2
2007	324069,5
2008	179698,5
2009	412384,0
2010	-116960,3
2011	381364,0
2012	48678,2
2013	165,2
2014	-228786,8
2015	-2343,0
2016	-114,4
2017	-180984,5
2018	-96323,3
2019	-10230,6
2020	2375038,4
2021	-216132,2

Vazões de Cheia PCH CAZUZA FERREIRA

MÉTODO DE GUMBEL					
TR	1/T	α	μ	Vazão	Vazão Inst
2	0,5000	61,05	129,36	151,73	215,75
10	0,1000	61,05	129,36	266,74	379,28
50	0,0200	61,05	129,36	367,57	522,65
100	0,0100	61,05	129,36	410,19	583,26
500	0,0020	61,05	129,36	508,69	723,32
1.000	0,0010	61,05	129,36	551,04	783,54
10.000	0,0001	61,05	129,36	691,64	983,46

Vazões de Cheia PCH CAZUZA FERREIRA		
MÉTODO DE GUMBEL		
TR	Q (m³/s)	Q _{inst} (m³/s)
2	151,73	215,75
10	266,74	379,28
50	367,57	522,65
100	410,19	583,26
500	508,69	723,32
1.000	551,04	783,54
10.000	691,64	983,46

Definida a base estatística para a obtenção dos eventos extremos, os valores calculados foram majorados pelo Coeficiente de Fuller quando da sua transferência para o eixo do barramento, considerando assim o efeito do pico instantâneo das ondas de cheia.

$$Q_{INST} = \lambda Q_{MED}$$

$$\lambda = 1 + a / (AD)^b$$

onde a= 2,6 e b= 0,3

Tabela 2 - Tempo de retorno Método de Gumbel

6. DETECÇÃO, AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA

6.1 Avaliação do Risco

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

6.1.1 Risco Hidrológico

A bacia hidrográfica da Pequena Central Hidrelétrica Cazuza Ferreira possui área de drenagem de 429 Km². No reservatório o volume total é de 0,77 hm³ e formado por um barramento de concreto com altura máxima de 5,0 m.

A probabilidade de uma determinada cheia ocorrer ou ser ultrapassada num ano

qualquer é o inverso do tempo de retorno $P = \frac{1}{TR}$, e a de não acontecer é $p = 1 - P$.

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

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

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

Portanto, o risco adotado pelo projeto da obra hidráulica da PCH Cazuza Ferreira pode ser analisado observando a Tabela 3 a seguir:

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

Tabela 3 – Risco de Ocorrência do evento de Projeto com Tempo de Retorno TR (%)

É importante ressaltar que os riscos assumidos pelo projeto são significativamente pequenos, ou seja, para um tempo de retorno adotado no projeto (TR=1.000 anos) os riscos de ocorrerem cheias maiores ou iguais à cheia do projeto variam de 0,10% a 4,88% considerando os diferentes períodos de vida útil do empreendimento.

6.1.2 Risco de Colapso Estrutural

A Barragem e Vertedouro da PCH Cazuza Ferreira foram concluídos em 2015 e projetado obedecendo aos critérios da Eletrobrás e as condições de estabilidade estão com fatores segurança superiores aos preconizados. A memória de cálculo de verificação das enchentes de 2021 está apresentada no Anexo 01 – Dados, 2 - Estruturas.

O Vertedouro da PCH apresenta boas condições de segurança, sem presença de infiltrações maiores ou pontos de deterioração. A capacidade de descarga está atendendo o tempo de recorrência de 10.000 anos.

Com o sistema operando normalmente não há risco nenhum referente à capacidade de descarga e operação do vertedouro. Conforme observado na vistoria e nos dados do projeto, não ocorrem problemas estruturais no barramento da PCH Cazuza Ferreira, sendo assim o risco de colapso estrutural é praticamente nulo. Não existe uma formulação determinista para o cálculo do risco estrutural, porém é de extrema importância o monitoramento da instrumentação da Barragem para análise do comportamento da mesma.

6.2 Identificação das Emergências Potenciais

Para identificação dos pontos de emergências foram determinados níveis de água ao longo do rio a jusante da PCH Cazuza Ferreira e o tempo de percurso da onda de enchente. A definição das emergências foi definida a partir do preconizado no Volume IV - Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE, item 5.2.2 Cenários a simular, da Agência Nacional das águas (ANA), conforme destacado abaixo:

“Para atribuição dos valores das vazões afluentes ao reservatório no instante inicial da ruptura, dever-se-á adotar a prática comum, orientada por questões de segurança, de considerar a contribuição de um hidrograma de vazão afluente. Assim, poder-se-á optar: pela vazão média anual (ou a vazão média do semestre seco ou do semestre úmido), ou por uma cheia associada a um menor tempo de recorrência ($T= 100$ anos, por exemplo) num cenário de ruptura em dia de sol; por uma cheia conhecida (por exemplo, a cheia de projeto ou uma cheia associada a um tempo de recorrência elevado: $T= 1.000$ a 10.000 anos), num cenário de ruptura por galgamento.”

A partir destes níveis foram elaborados mapas de inundação, com os níveis máximos e o tempo de propagação da onda de enchente correspondente sendo então identificadas e classificadas as emergências potenciais:

- Situação Normal – Ruptura em dia de sol

Correspondem à condição natural de escoamento do hidrograma de cheias no tempo de retorno de 10 anos de recorrência.

- Situação Enchentes – Ruptura com enchentes

Correspondem à condição enchente extrema de escoamento do hidrograma de cheias no tempo de retorno de 100 e 1.000 e 10.000 anos de recorrência, sendo a última enchente correspondente a cheia de dimensionamento do vertedouro.

- Classificação das Situações

A gestão da emergência é efetuada em função do nível de resposta necessário para a situação no momento.

Os níveis de resposta devem ser definidos tanto para situação inicial com níveis de enchentes naturais para os diversos tempos de recorrência quanto para a situação de ruptura.

A classificação do nível de resposta deve ser feita em quatro níveis, de acordo com a descrição das características gerais de cada situação de emergência em potencial da barragem. A convenção é utilizada para graduar as situações que podem comprometer a segurança da barragem e ocupações a jusante e ativar um processo de emergência na barragem. Foi adaptado de acordo com a Barragem a convenção indicada no Item 2.2, do Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens (ANA) - Volume IV - Guia de Orientação e Formulários do Plano de Ação de Emergência – PAE, conforme abaixo:

0	NORMAL (VERDE)	quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos na barragem não comprometam a segurança da estrutura, mas devam ser controladas e monitoradas ao longo do tempo;
1	ATENÇÃO (AMARELO)	quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos na barragem não comprometam a segurança da estrutura no curto prazo, mas devam ser controladas, monitoradas ou reparadas;
2	ALERTA (LARANJA)	quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos na barragem comprometam a segurança da estrutura no curto prazo, mas podem ser controladas, monitoradas ou reparadas;
3	EMERGÊNCIA 1 (VERMELHO CLARO)	quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos na barragem representem risco a segurança da estrutura que demandam a retirada dos possíveis atingidos, mas podem ser tomadas providências para a eliminação do problema
4	EMERGÊNCIA 2 (VERMELHO ESCURO)	quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos na barragem representem risco de ruptura iminente que demandam a retirada dos possíveis atingidos sem possibilidade de providências para a eliminação do problema

No Plano de Ação de contingência e na curva de Operação, o nível – Emergência foi adaptado e dividido em 2 subníveis, Vermelho Claro e Vermelho Escuro, conforme destacado abaixo:

- Vermelho Claro – Essa condição se caracteriza pela necessidade de retirada dos atingidos na Zona de Autossalvamento - ZAS e alerta para a defesa civil da

ocorrência de um evento de cheias extremas, acima do TR 1.000 anos, ou de problema na estrutura do barramento que pode ocasionar o rompimento podendo ser evitado com as manutenções corretas;

- Vermelho Escuro – Nessa condição é necessária a retirada urgente dos atingidos na Zona de Autossalvamento - ZAS e alerta para a defesa civil da eminência ou da ocorrência do rompimento. As condições hidrológicas extremas ultrapassam a cota da crista da barragem ou as patologias na estrutura não permitem a recuperação.

Importante observar que a emergência 2 pode ocorrer sem que passe pela emergência 1, por exemplo uma patologia descoberta em inspeção que não permite a recuperação passa diretamente para o nível de emergência 2.

7. ESTUDO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nas simulações das consequências (hidrograma de ruptura) para as hipóteses acidentais identificadas no capítulo 7 (cheias naturais/extremas e rompimento da barragem).

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

- Metodologia

No estudo de rompimento da barragem da PCH Cazuza Ferreira foi utilizado o modelo computacional HEC-RAS 6.2 (desenvolvido por *U.S. Army Corps of Engineers*), que se baseia no método de *Standard Step Method* (HENDERSON, 1966).

O cenário a ser simulado é determinado por informações lançadas no programa, de modo a identificar a forma como se dará o rompimento da barragem e as condições geográficas e ambientais que influenciam no comportamento da onda de cheia.

Na caracterização do cenário as seguintes informações são necessárias:

- Geografia da região e geometria do rio;
- Tipo e geometria da barragem;
- Causa do rompimento;
- Formação da brecha;
- Dados sócio-ambientais.

7.1 Geografia da Região e Geometria do Rio

A geografia da região define as áreas atingidas pela onda de passagem de cheia e pela inundação permitindo identificar os pontos de risco. A caracterização adequada da geometria das seções no vale a jusante da barragem é muito importante na simulação da cheia, porque existe um forte efeito de atenuação da onda ao longo do trecho inundado. Vales mais encaixados atenuam menos a onda de cheia na sua propagação para jusante que vales mais abertos com largas áreas inundáveis. Neste efeito a geometria do vale e da área inundável tem mais importância que a própria calha do rio.

7.2 Tipo e Geometria da Barragem

A caracterização da brecha de rompimento com suas dimensões, tempo do seu desenvolvimento e formação são influenciados pelo tipo de barragem. As características de projeto, de construção e suas dimensões influenciam na abertura da brecha e com isso no tempo de propagação e intensidade da onda de cheia. Os dados do reservatório também influenciam na abertura, considerando que quanto maior o volume para um mesmo desnível a brecha tende a ser maior.

7.3 Potenciais Causas do Rompimento

A causa de rompimento é importante pois determina a velocidade com que ocorre a formação da brecha. As causas de rompimento podem ser por galgamento, entubamento ou infiltração e falhas estruturais (*New Jersey Department of*

Environmental Protection, 2007). Também podemos citar a ação de guerra como uma causa.

7.3.1 Galgamento

O galgamento é a passagem da água sobre a barragem em partes não projetadas para verter água. O galgamento pode ser causado pela má operação do reservatório durante a cheia, devido a uma cheia extraordinária onde o dispositivo extravasor (vertedouro) não possui capacidade de vazão compatível, a ocorrência de problemas que impedem o dispositivo extravasor de operar normalmente ou pela formação de uma onda dentro do reservatório, de origem sísmica ou provocada pelo deslizamento de uma grande quantidade de terra das encostas.

Se o tempo e a intensidade do galgamento são suficientes, inicia-se uma brecha em um ponto qualquer mais fraco na crista da barragem e a brecha cresce com o tempo, por erosão, numa velocidade que depende da vazão de galgamento, do material da barragem e das características do reservatório (*Collischonn, 1997*).

A Figura 9 demonstra a formação de uma brecha por galgamento, sendo que o processo de formação segue a sequência apresentada abaixo.

- 1 - Início em um ponto mais fraco;
- 2 - Brecha em forma de “V”;
- 3 - Aprofundamento da brecha;
- 4 - Aumento lateral por erosão.

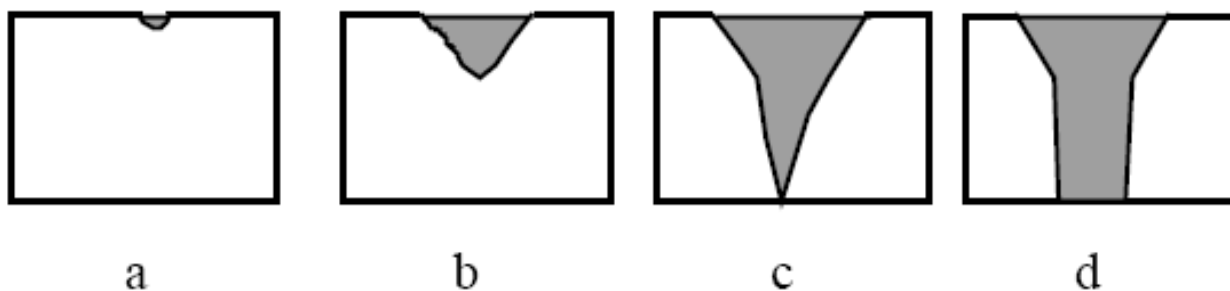


Figura 9 – Formação de brecha por galgamento (Fonte: COLLISCHONN, 1997, p. 32)

7.3.2 Infiltração (Piping)

A infiltração ocorre devido à passagem da água através das paredes da barragem (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2002, p. 116). A água que se

movimenta através da barragem, ou de suas fundações, pode originar na formação de uma brecha se os volumes de água e material sólido superam determinados limites de segurança. A brecha inicia como um poro em um ponto qualquer da barragem e este poro cresce, por erosão, para todos os lados, até ocorrer o colapso. Esse fenômeno também é conhecido como *piping*.

A Figura 10 mostra a formação de uma brecha por entubamento ou infiltração, típica de barragens de terra, que também ocorre conforme a sequência a seguir.

- 1 - Surgimento do poro;
- 2 - Aumento por erosão;
- 3 - Colapso da porção superior e erosão.

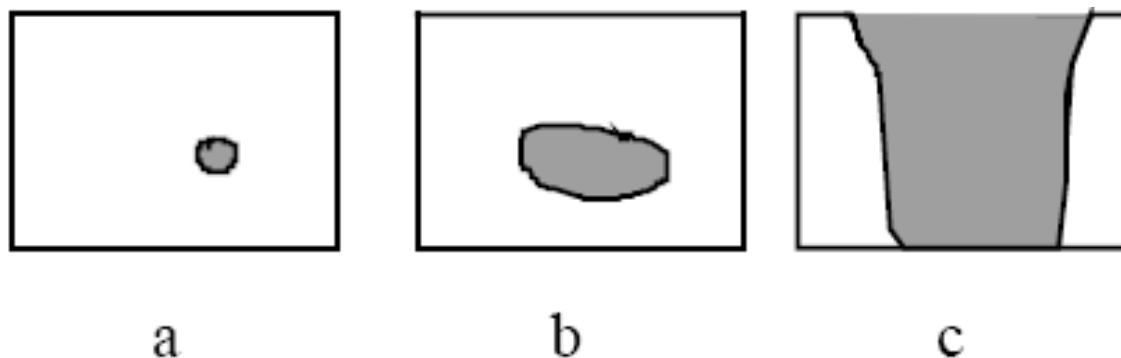


Figura 10 – Formação da brecha por infiltração (Fonte: COLLISCHONN, 1997, p. 32)

7.3.3 Falhas nas fundações e estruturais

Nas barragens de concreto do tipo gravidade pode ocorrer uma falha estrutural geral, no caso de uma situação de instabilidade provocada por cargas hidrostáticas e uma deficiente capacidade de equilíbrio global, situação resultante de erro ou deficiência no projeto ou de um problema generalizado nas respectivas fundações.

Admite-se que o cenário mais provável é o da abertura da brecha por remoção sucessiva de blocos ou a ruptura da zona superior do perfil da barragem no caso de excederem as tensões limites numa zona menos espessa do perfil da barragem resultando de modo geral em uma ruptura parcial e gradual. O terreno sobre o qual a barragem está e a ligação da barragem ao terreno nas ombreiras podem deslizar sob o efeito das acomodações geológicas que resultam do enchimento do reservatório ou da saturação do material da fundação por infiltração (Almeida 2007).

Em barragens de aterro compactado a distribuição das pressões sobre o terreno de fundação ocorre de maneira mais branda e gradual reduzindo a possibilidade de falhas estruturais, porém a bibliografia indica diversos casos de falhas com rompimentos onde a falha nos estudos de geologia e geotecnia resultaram no colapso do barramento. Neste caso o colapso ocorre no enchimento ou apenas alguns dias após com a saturação da fundação.

A Figura 11 apresenta o comportamento de um rompimento resultante de uma falha nas fundações ou de estruturas, onde ocorre a formação de uma brecha que apresenta características parecidas seja a barragem de terra ou de concreto em gravidade (a), ou barragens de concreto em arco (b).

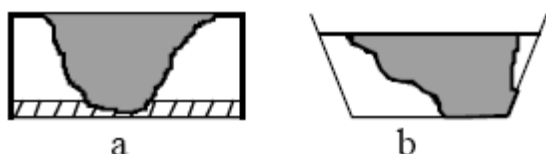


Figura 11 – Brechas resultantes de falhas nas fundações (Fonte: COLLISCHONN, 1997, p. 33)

7.3.4 Ações de guerra

Durante guerras as barragens são pontos estratégicos pelo seu significado econômico para um país, bem como pelo potencial destrutivo de uma inundação resultante de uma ruptura. A formação da brecha depende da intensidade e da localização da explosão com a qual a barragem é atingida.

Durante a Segunda Guerra Mundial os países aliados desenvolveram armas especiais para implodir barragens. As implosões mais conhecidas são as das barragens de *Moehne* e de *Eder*, na Alemanha.

OBSERVAÇÃO: Do ponto de vista de simulação de rompimento, as causas de falhas nas fundações estruturais e por ações de guerra se comportarão como uma falha por galgamento ou infiltração, com diferenciação no tempo de formação da brecha e geometria, que devido as suas características podem ser considerados como rompimentos progressivos ou até mesmo catastróficos e imediatos conforme determina *Collischonn, 1997*.

7.3.5 Casos Estatísticos

Entre as causas de rompimentos, Ramos e Melo (2007) identificam que, em pesquisa envolvendo 1105 casos de deterioração de barragens pertencentes a 33 países, e em duas publicações elaboradas pela *ICOLD* e pela *USCOLD* (*ICOLD*, 1974 e *USCOLD*, 1975), a capacidade de vazão insuficiente ou o mau funcionamento dos órgãos de descarga de cheias associado ao galgamento foram responsáveis por cerca de 42% do número total de rupturas em barragens.

Por sua vez as relacionadas com as fundações (percolação, erosão interna), com as erosões localizadas e com o deficiente comportamento estrutural foram responsáveis por cerca de 23%.

7.4 Formação da Brecha

A formação da brecha pode ser descrita por três parâmetros básicos:

- Tamanho;
- Tempo de formação;
- Forma geométrica.

Todos estes parâmetros são fortemente influenciados pela causa do rompimento e pelo tipo de barragem. Eles influenciam diretamente na vazão e na altura da onda de enchente decorrente do rompimento. Uma brecha maior ou rompimento catastrófico e com tempo de formação mais rápido gera uma onda de enchente de maior volume e o esvaziamento mais rápido do reservatório, enquanto uma brecha menor e com tempo de formação mais lento geram uma onda de enchente menor e com esvaziamento lento do reservatório.

O manual do HEC-RAS (Agosto de 2014) indica, de acordo com referências internacionais, valores para formação da brecha, conforme a Figura 12 a seguir.

Table 3. Ranges of Possible Values for Breach Characteristics

Dam Type	Average Breach Width (B_{ave})	Horizontal Component of Breach Side Slope (H) (H:V)	Failure Time, t_f (hours)	Agency
Earthen/Rockfill	(0.5 to 3.0) x HD	0 to 1.0	0.5 to 4.0	USACE 1980
	(1.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0	0.1 to 1.0	FERC
	(2.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0 (slightly larger)	0.1 to 1.0	NWS
	(0.5 to 5.0) x HD*	0 to 1.0	0.1 to 4.0*	USACE 2007
Concrete Gravity	Multiple Monoliths	Vertical	0.1 to 0.5	USACE 1980
	Usually $\leq 0.5 L$	Vertical	0.1 to 0.3	FERC
	Usually $\leq 0.5 L$	Vertical	0.1 to 0.2	NWS
	Multiple Monoliths	Vertical	0.1 to 0.5	USACE 2007
Concrete Arch	Entire Dam	Valley wall slope	≤ 0.1	USACE 1980
	Entire Dam	0 to valley walls	≤ 0.1	FERC
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	NWS
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	USACE 2007
Slag/Refuse	(0.8 x L) to L	1.0 to 2.0	0.1 to 0.3	FERC
	(0.8 x L) to L		≤ 0.1	NWS

*Note: Dams that have very large volumes of water, and have long dam crest lengths, will continue to erode for long durations (i.e., as long as a significant amount of water is flowing through the breach), and may therefore have longer breach widths and times than what is shown in Table 3. HD = height of the dam; L = length of the dam crest; FERC - Federal Energy Regulatory Commission; NWS - National Weather Service

Figura 12 – Tamanhos e tempo para formação da brecha (Fonte: Manual do HEC-RAS (Agosto/2004))

7.5 Tamanho da Brecha

Barragens de concreto em arco apresentam ruptura total e praticamente instantânea (ALMEIDA e FRANCO, 1993; ICOLD, 1996; e FRANCO, 1996 apud RIBEIRO, 2007). Barragens de concreto por gravidade apresentam ruptura de um ou dois blocos (ALMEIDA e FRANCO, 1993; ICOLD, 1996; e FRANCO, 1996 apud RIBEIRO, 2007). Existe dificuldade de se prever o número de seções monolíticas que devem se deslocar e sofrer colapso, porém é possível determinar a geometria para simulação aumentando a largura da base da brecha de modo a representar o número de seções monolíticas deslocadas. O número de blocos rompidos poderá ser fixado tendo em conta a velocidade de descida do nível a montante, uma vez que uma rápida descida corresponde a uma redução significativa das solicitações para os blocos que não rompem, evitando os rompimentos de novos blocos nas laterais do primeiro rompimento.

Em barragens de terra não ocorre o rompimento total da estrutura do talude, este rompimento também não é instantâneo, a brecha que se forma como resultado do rompimento tende a apresentar uma largura média (B) de $0,5H < B < 3H$, onde H é a altura da barragem. Desta forma, normalmente a largura da brecha em barragens de terra é muitas vezes inferior à largura total da barragem (*Collischonn, 1997*).

Tempo de Rompimento

Para as barragens de concreto em arco que são simuladas através da ruptura total da estrutura, o tempo de rompimento é instantâneo, ocorrendo em alguns minutos (*Martins e Viseu, 2007*). Em barragens de concreto por gravidade o tempo de formação da brecha é da ordem de minutos.

Em barragens de terra por gravidade, onde ocorre a ruptura em forma de brechas, o tempo de formação da mesma é usualmente maior e depende da altura da barragem, do material utilizado na construção, do grau de compactação e da magnitude e duração da vazão de galgamento. O tempo de formação da brecha é maior em casos de infiltração que em casos de galgamento. Na Figura 13 observa-se a probabilidade de o tempo de ruptura da brecha ser menor que um dado valor constante.

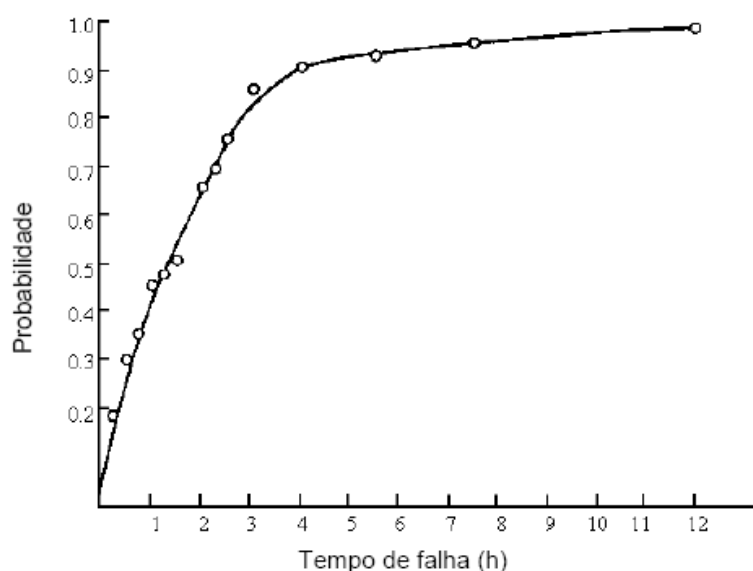


Figura 13 – Tempo de formação da brecha (Fonte: MARTINS; VISEU, 2007, p. 9)

O gráfico demonstra que metade das situações de rompimento ocorre em no mínimo 90 minutos, tendendo para tempos maiores de formação da brecha, desta forma, resultados de simulação que objetivam valores médios podem utilizar este tempo de

rompimento conforme observam Singh e Scarlatos (1988) apud Martins e Viseu (2007). De acordo com a Figura , para Barragens de terra o tempo de formação da brecha é entre 6 minutos a 4 horas, e Barragens de Concreto de 6 minutos a 1 hora.

7.6 Trecho do Cálculo

O trecho da modelagem hidráulica é um fator muito importante a se considerar. O trecho de estudo deverá incidir entre a seção de início do reservatório da barragem em ruptura, a montante, e uma determinada seção de importância a jusante.

A Resolução Normativa Nº 696, de 15 de Dezembro de 2015 da ANEEL, no Art. 3 estabelece:

“§3º A área de abrangência dos estudos de que trata o §2º deverá compreender as barragens de jusante que disponham de capacidade para amortecimento da cheia associada.”

De acordo com as recomendações do Volume IV - Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE, item 5.2.3 Extensão de Cálculo, da Agência Nacional das águas (ANA) que estabelece: *“Os critérios mais adequados para a fixação da fronteira de jusante são os que se baseiam nas fronteiras físicas, ou seja, a foz do rio no oceano, a seção de confluência com outro rio de maior dimensão ou um reservatório a jusante. Estas fronteiras são aliás facilmente modeladas em modelo numérico.*

Para se determinar a fronteira a jusante poder-se-á igualmente adotar uma seção a partir da qual se estabelece um grau de risco que se considera como aceitável; neste caso, dever-se-á considerar uma seção onde as alturas de água atinjam a ordem de grandeza das correspondentes a determinadas cheias características (cheia de projeto do vertedouro, maior cheia natural conhecida, cheia natural com determinado tempo de recorrência, por exemplo, 100 anos).

Diversos outros textos normativos definem porém de forma clara e explícita qual o critério de fixação da fronteira de jusante, por exemplo, a legislação finlandesa especifica que o cálculo da onda de inundação se deve processar até 50 km a jusante da barragem; por seu lado, a legislação de alguns estados canadenses postula que as populações que se encontram a mais de três horas da zona atingida pela onda

de inundação não devem ser consideradas em risco, pelo que o cálculo da onda de inundação não deve cobrir uma seção atingida pela cheia para lá desse intervalo de tempo.

Graham (1998) sugere que é muito importante que os estudos do cálculo da onda de inundação incidam nos primeiros 30 km a jusante da barragem em causa. Com efeito, este autor mostra que a vulnerabilidade das pessoas em risco diminui muito a partir desta distância, nomeadamente pelas seguintes razões: primeiro, porque as áreas mais a jusante recebem mais e melhores alertas de emergência do que as a montante; segundo, porque a energia da onda de inundação, tal como a velocidade de propagação da respectiva frente, se torna menor. Na verdade, a informação de rupturas históricas de barragens confirma estes fatos, indicando que uma grande percentagem das vítimas mortais ocorre nos primeiros 25 km, sendo que esta distância é ainda menor para as pequenas barragens. A experiência norte-americana (com base num registo de 23 rupturas de barragens que ocorreram no período de 1960 a 1997 e ocasionaram vítimas mortais) corrobora igualmente estes fatos ao assinalar que cerca de 50% ocorreram a menos de 4,8 km da seção da barragem acidentada e 99% nos primeiros 24 km a jusante da mesma, num universo total de 318 vítimas mortais.”

De acordo com ANA - Volume IV - Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE, Anexo Cotação - Extensão do Vale a jusante poderá ser:

Volume Armazenado Reservatório (hm ³)	Classe da Extensão vale a Jusante	Extensão do vale a Jusa aconselhada – L (km)
3-50	Pequena	Máximo 25
50-200	Média	25<L<100
>200	Significativa	Mínimo 100

Tabela 4 – Cotação Extensão do Vale

7.7 Modelagem Matemática

A simulação do rompimento utiliza o modelo HEC-RAS versão 5.0.5, onde os métodos de cálculo são adotados para a análise dos regimes gradualmente variáveis, baseados nas equações de *Saint-Venant*, que calculam o escoamento da água em rios, canais e reservatórios em regime permanente e não permanente, número de *Froude* menor ou maior que 1 respectivamente.

Portanto, o escoamento obedece a leis da física, sendo representado por variáveis como vazão, profundidade e velocidade, e o comportamento é descrito por equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento.

O escoamento em rios ocorre em uma direção longitudinal, podendo ser representado pelas equações unidimensionais de *Saint-Venant*. As variáveis das equações de *Saint-Venant* são a velocidade “V” e a altura de água “h”, que podem ser apresentadas de forma não-conservativa pelas equações da continuidade e da dinâmica.

Com a equação da continuidade, que representa o princípio da conservação de massa, pode-se considerar a diferença de os fluxos de entrada e saída, sendo o volume de controle igual à variação do armazenamento no interior do fluxo.

As equações que expressam o princípio da conservação da quantidade de movimento, sendo igual ao somatório das forças que atuam sobre um volume de controle, podem ser apresentadas da seguinte forma:

- Equação da continuidade:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_L$$

- Equação da dinâmica:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = g(S_0 - S_f)$$

Onde:

Q = vazão;

A = seção transversal;

t = tempo;

x = distância medida na direção do escoamento;

q_L = contribuição lateral

V = velocidade de escoamento;

g = aceleração da gravidade;

h = profundidade do escoamento;

S_0 = declividade do leito;

S_f = declividade da linha de energia.

A vazão (Q) e a altura da superfície de água (h) em cada local ao longo do rio são estimadas utilizando uma representação algébrica de *Saint-Venant*. Q e h são determinados em cada local para cada intervalo de tempo.

O HEC-RAS aplica as equações em regime permanente, para casos em que se necessita simular o fluxo das águas, e não permanente, para casos de simulações de rompimentos, e apresenta o resultado em forma de dados, tabelas e figuras que demonstram as seções transversais, o vale atingido pela enchente (de acordo com as informações lançadas pelo usuário) e gráficos, sendo que todas estas informações são utilizadas para se avaliar os impactos do rompimento de uma barragem.

7.8 Identificação das áreas atingidas

A identificação das áreas atingidas é executada com a apresentação do mapa de inundação, que indica as áreas inundadas com as alturas máximas atingidas pela onda de enchente, permitindo a separação da zona atingida da não atingida.

Todas as pessoas localizadas na zona atingida devem ser evacuadas.

Apresentação dos valores de altura ao longo do tempo

Os valores de altura da onda ao longo do tempo servem para a identificação do tempo de chegada da onda de enchente ao longo do trecho de jusante atingido. O tempo de chegada da onda em cada ponto é importante para o plano de evacuação e para o alerta da população sob risco na zona inundada, permitindo que seja realizado a evacuação em tempo hábil.

A bibliografia internacional define dois tipos de eventos: aqueles em que o tempo disponível para alertar e evacuar a população é superior a 90 minutos (1 hora e

meia), e aqueles em que o tempo é inferior a 90 minutos. Entre os eventos cujo tempo de alerta é superior a 90 minutos, a perda média de vidas é de 0,04 % da população ameaçada, já quando o tempo de alerta é inferior a 90 minutos a perda média equivale a 13 %.

Para a população localizada na área atingida em tempo inferior a 90 minutos recomenda-se um levantamento detalhado para definição das estratégias para o Plano de Contingência.

7.9 Zoneamento de Risco

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

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

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

O tempo entre a identificação da emergência e a chegada da onda de cheia nos locais habitados é o primeiro parâmetro para a classificação da área de risco. O tempo eficaz de aviso permite com que as pessoas preparem a mobilização e a evacuação das zonas mais sensíveis, sendo este o fator primordial para a mitigação do efeito das cheias. A USBR (1999) adotou um critério para estimar a perda de vidas em função do tempo de alerta (Quadro 3 a seguir).

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

Quadro 3 – Número esperado de vítimas/Tempo de alerta(Fonte: Adaptado de USBR, 1999.)

Segundo *Cestari* (2013) a importância de uma submersão se deve à capacidade da cheia de provocar danos às pessoas, edificações e aos bens. Os principais parâmetros para classificar os danos são: a área atingida, a profundidade da cheia (H) e a sua velocidade de propagação (V). A ameaça provocada por esses fatores combinados corresponde ao risco hidrodinâmico calculado pela equação a seguir.

Risco hidrodinâmico=H×V

Onde:

Risco hidrodinâmico = m²/s

H = profundidade (m);

V = velocidade do fluxo (m/s)

De acordo com o estudo de *Synaven et al.*, (2000) que teve como objetivo de estabelecer valores para os quais as cheias provocam danos, obteve-se as seguintes referências do Quadro 4.

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

Quadro 4 - Consequências do Risco Hidrodinâmico (Fonte: Adaptado de SYNAVEN, 2000.)

Viseu (2006) estabeleceu critérios para graduação do risco em função da profundidade e da velocidade. Considera-se o fato de que na área inundada existam

edificações para proteção das pessoas em diferentes profundidades. Este é o princípio de evacuação vertical, em que se considera que as pessoas podem se deslocar para pavimentos superiores na tentativa de evitar a cheia. Os Quadros 5 e 6 a seguir apresentam estas graduações.

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

Quadro 5 - Nível de perigo para seres humanos (Fonte: Adaptado de VISEU, 1998)

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

Quadro 6 - Nível de perigo para edificações (Fonte: Adaptado de VISEU, 1998)

O risco hidrodinâmico será avaliado somente para a condição de dimensionamento do Vertedouro, ou seja, TR 1.000 anos, e seguirá a legenda da Tabela 5 a seguir.

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

Tabela 5 - Legenda para Risco Hidrodinâmico

7.10 Dados de entrada utilizados

7.10.1 Trecho da análise

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece o trecho de análise da simulação do rompimento da Barragem deverá ser estendido até Barragem de jusante com capacidade de amortecimento da onda. Já a Agência Nacional de Águas – ANA no Volume IV - Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE, item 5.2.3 Extensão de Cálculo, da Agência Nacional das águas (ANA) que estabelece conforme descrito item 7.6, que resumidamente descreve:

- Fronteiras físicas, ou seja, a foz do rio no oceano, a seção de confluência com outro rio de maior dimensão ou um reservatório a jusante;
- População que se encontram com mais de três horas após rompimento não são consideradas áreas de risco;
- Volume Reservatório entre 3 - 50 hm³ - análise da simulação do rompimento da Barragem no trecho a jusante até máximo 25 km, no caso da PCH Cazuza Ferreira o lago e menor que 3 hm³, não justificaria uma simulação completa por isso foi realizada de forma simplificado e com imagens SRTM (*Schuttle Radar Topography Mission*).

A informação de rupturas históricas de barragens confirma estes fatos, indicando que a grande maioria das vítimas fatais ocorrem nos primeiros 25 km, sendo que esta distância diminui conforme a redução da altura da barragem e do volume do reservatório. Para o estudo na PCH Cazuza Ferreira como o volume do reservatório é menor que 3 hm³ (0,72 hm³) a extensão do trecho de modelagem foi considerada desde o reservatório e a jusante da PCH Cazuza Ferreira, até a dissipação da onda de cheia.

As características da Usina com barragem de média altura (4,5 m), volume do reservatório pequeno (0.70 hm³) e vale de jusante aberto dissipando a onda em menor tempo indicam que o critério e o trecho de análise estão de acordo com a bibliografia.

7.10.2 Geografia da região e geometria do rio

Foram alimentados no software os dados de seção transversal em distâncias conforme locais onde foram obtidos níveis de água e de acordo com as mudanças percebidas na geografia da região de forma a se obter maior fidelidade na simulação. Todos estes dados estão apresentados no Anexo I – Dados, 1 – Cartografia e Topografia. Os dados utilizados de topografia também foram extraídos dos Projetos Básicos com duas seções na Casa de Máquinas S1 e S2. Por ser uma barragem pequena foi utilizado imagem SRTM (*Schuttle Radar Topography Mission*) com resolução de 30 metros.

7.10.3 Geometria da barragem

A barragem de concreto da margem esquerda, com altura máxima de 5 m no centro da Barragem/vertedouro, tem comprimento total de 205,11 m e cota de proteção das ombreiras na EL.780,65 m. O vertedouro de soleira livre tem 180 m de comprimento e crista na EL. 778,15 m. Para o lançamento de dados no software foram utilizadas as referências dos desenhos da Tabela 6 a seguir:

Código	Revisão	Título	Ano
CAF.PE.DG.001	R02	Arranjo Geral	2015
CAF.PE.BA.001	R01	Barragem – Vista de Montante e Planta	
CAF.PE.BA.002	R01	Barragem – Seção Típica	
CAF.PE.BA.002	R01	Descarga de Fundo – Vista de Montante	

Tabela 6 – Fontes da geometria da Barragem (Anexo I - Dados) – Projetista 3 Energie.

7.10.4 Hidrograma de Cheias

O capítulo tem por finalidade apresentar os estudos hidrológicos realizados para a obtenção do Hidrograma de Cheias para os diferentes tempos de recorrência calculados em relação a área da bacia hidrográfica no eixo do barramento da PCH Cazuza Ferreira.

7.10.5 Vazões de Cheias

Para a definição do hidrograma foram utilizadas as vazões de cheia recalculadas no “Estudo do lago de regularização e estudos da PCH Foz do Jacutinga e Vale do Leite” que foram desenvolvidas em 2021 pelo Eng. Elizeu Riba, e estão indicadas na Tabela 7 abaixo onde em negrito estão as vazões utilizadas na simulação do rompimento da barragem.

Vazões de Cheia PCH CAZUZA FERREIRA		
MÉTODO DE GUMBEL		
TR	Q (m³/s)	Q _{inst} (m³/s)
2	151,73	215,75
10	266,74	379,28
50	367,57	522,65
100	410,19	583,26
500	508,69	723,32
1.000	551,04	783,54
10.000	691,64	983,46

Tabela 7 – Vazões de Cheias na PCH Cazuza Ferreira – (1940-2021)

Para os estudos de rompimento foram consideradas as vazões de 10, 100 e 1.000 anos. Assim o hidrograma de cheias foi definido com base nessas três vazões. O hidrograma é obtido através da multiplicação do tempo de concentração da bacia (considerado 10 horas) pelo adimensional (t/t_p) e o valor da vazão de cheia para o respectivo tempo de recorrência pelo adimensional (Q/Q_p). O pico da cheia é considerado no tempo $t/t_p=1$ ou seja exatamente no tempo de concentração da bacia hidrográfica. O menor valor de vazão considerado foi a Q_{mlt} que no caso da PCH Cazuza Ferreira é de 18,40 m³/s, sendo que onde os valores forem menores que este serão substituídos.

A Tabela 8 apresenta os valores do coeficiente de desagregação e os valores de tempo e vazão do hidrograma para cada cheia definida. O valor do tempo é o mesmo para todos os cenários sendo que apenas a vazão muda conforme o tempo de recorrência. Os valores de vazão correspondente ao tempo no hidrograma obtidos e utilizados no programa HEC-RAS também estão indicados na Tabela 8. As curvas dos hidrogramas estão indicadas no Gráfico 1 abaixo.

Coef Desagregação	
t/tp	Q/Qp
0,000	0
0,100	0,5
0,200	0,15
0,300	0,35
0,400	0,45
0,500	0,55
0,600	0,62
0,700	0,71
0,800	0,88
0,900	0,98
1,000	1
1,100	0,96
1,200	0,92
1,300	0,88
1,400	0,84
1,500	0,8
1,600	0,76
1,800	0,72
2,000	0,68
2,200	0,5
2,400	0,48
2,600	0,25
2,800	0,18
3,000	0

Tempo (h)	Vazão (m³/s)		
	10	100	1000
0	12,45	12,45	12,45
1	12,45	12,45	12,45
2	12,45	12,45	12,45
3	12,47	19,18	25,77
4	35,64	54,80	73,62
5	79,19	121,78	163,60
6	143,99	221,42	297,45
7	232,23	357,13	479,76
8	327,09	503,00	675,72
9	371,69	571,59	767,87
10	379,28	583,26	783,54
11	364,11	559,93	752,20
12	334,98	515,14	692,02
13	294,78	453,32	608,98
14	247,62	380,79	511,54
15	198,09	304,63	409,23
16	150,55	231,52	311,02
18	108,40	166,69	223,93
20	73,71	113,35	152,27
22	36,85	56,68	76,14
24	17,69	27,20	36,55
26	12,45	12,45	12,45
28	12,45	12,45	12,45
30	12,45	12,45	12,45

Tabela 8 – Coeficientes de Desagregação e Valores do Hidrograma para TR 10, 100 e 1.000 anos.

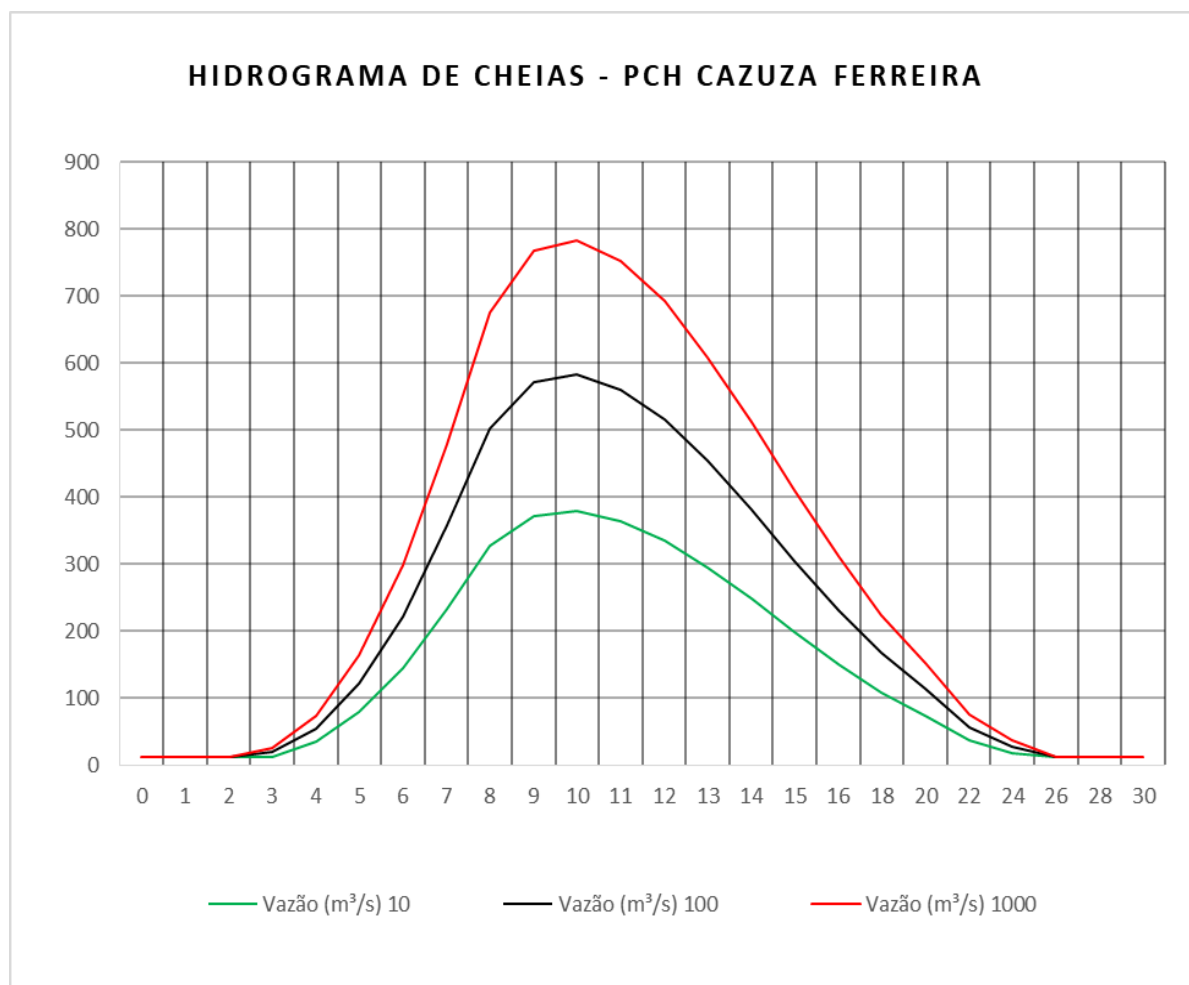


Gráfico 1 – Hidrograma de Cheias PCH Cazuza Ferreira

7.10.6 Capacidade de descarga do vertedouro

O vertedouro da PCH Cazuza Ferreira possui capacidade de descarga de 1.030 m³/s correspondente a cheia instantânea com tempo de recorrência de 1.000 anos com o nível do reservatório na elevação 779,65 m.

7.10.7 Calibração do modelo matemático

A geometria do modelo matemático compreende aproximadamente 10 km de extensão, a partir do reservatório da PCH Cazuza Ferreira, de acordo com a Figura 14 a seguir. Ao todo foram inseridas 2 seções transversais, com média de 50 m de espaçamento entre elas.



Figura 14 – Abrangência do modelo computacional (Google Earth)

A calibração do modelo foi realizada com base nas informações da restituição das vazões no curso d'água, e as seções topobatimétricas, calibrando o fundo das seções provenientes da restituição, com a variação do coeficiente de *Manning* e inserção de seções de controles ao longo do curso d'água. Para calibração do modelo foram definidos parâmetros conforme detalhados a seguir.

A calibração do modelo foi realizada com base nas informações das seções S1 e S2 a restituição das vazões no curso d'água, e as seções topobatimétricas, calibrando o fundo das seções provenientes da restituição, com a variação do coeficiente de *Manning* e inserção de seções de controles ao longo do curso d'água.



Figura 15 – Seções S1 e S2

Os coeficientes de rugosidade de *Manning* foram atribuídos a partir de valores reportados em bibliografia, considerando-se o julgamento de engenharia aplicado às variações da cobertura vegetal mapeada, e estão apresentados na Tabela 9.

Tipologia	Coeficiente de rugosidade de Manning (n)
Corpo d'água	0,040
Área Urbanizada	0,045

Tabela 9 – Parâmetros de rugosidade de Manning (Fundo do rio – Calha)

A calha do rio foi definida de acordo com seções topobatimétricas variando de 1,00 a 1,50 m.

8. SIMULAÇÃO DE ROMPIMENTO DE BARRAGEM COM O HEC - RAS

Para a realização do processo da simulação do rompimento da Barragem na PCH Cazuza Ferreira foi utilizado o Software HEC-RAS 6.2, onde a primeira parte dos trabalhos foram as buscas de dados de topografia, batimetria, arquivo com a projeção de coordenadas horizontais e arquivos de satélite com altimetria com o fim específico de obter um MDT (Modelo Digital de Terreno) que representa o terreno o mais próximo possível da realidade.

Na segunda etapa, no *RAS Mapper*, utilizando o arquivo da projeção de coordenadas horizontais e os de imagens de satélite com MDT, foi gerado um novo *Terrain*, o qual foi aprimorado com os dados dos serviços de topografia e batimetria.

Na terceira etapa, foram lançados o barramento onde foram observados os dados do projeto da construção da PCH foram também lançados os perímetros um à montante e outro à jusante do barramento, perímetros estes que são divididos em células e com seus respectivos centroides e suas faces, elementos importantíssimos nos cálculos hidrológicos da simulação.

Na quarta etapa, foram criadas as Linhas de Condições de Contorno nos limites à Montante e à Jusante e após dentro do *Unsteady Flow* foram introduzidos os dados hidrológicos, que usa uma solução numérica com equações complexas de fluxo instável gradualmente variado, conhecida como onda dinâmica.

Na quinta etapa, foram introduzidos o eixo do rio, as *Cross Section* (seções transversais) e suas interpolações os quais representam o perfil do terreno em um local específico, as *Bank Lines* (Linhas de margem) que servem para distinguir o canal principal das áreas de planície de inundação e para atribuir propriedades diferentes para seções transversais e as linhas *Flow Paths* (caminhos de fluxo) que são usadas para determinar os comprimentos de alcance a jusante entre as seções transversais no canal principal e nas áreas das margens e após intersecções entre seções, a análise dos lançamentos e do coeficiente de *Manning*.

Na sexta etapa, são elaborados o Planos das Simulações com os Tempo de Retorno da Onda Dinâmica para 10, 100, 1000 e 10000 anos, com os dados fornecidos anteriormente foram feitos os cálculos das simulações, primeiramente para verificar

ser não houve erro de lançamento de dados e se estes são consistentes, após cada simulação são apresentados e analisados os resultados no RAS *Mapper*.

Na última etapa após as análises e calibrações dos resultados foram gerados os arquivos que mostram as áreas atingidas pelas inundações e os níveis que a água atingiu para as simulações com os tempos de retorno de 10, 100, 1000 e 10000 anos. Após a finalização das simulações foram geradas as manchas de inundação para a montagem dos mapas e os *Shapefile* no QGIS que se encontram no Anexo 06.

9. CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM DA PCH CAZUZA FERREIRA

O Anexo I e Anexo II que fazem parte da Resolução Normativa 696 da ANEEL estabelece a classificação das barragens de acordo com Categoria de Risco e Dano Potencial Associado.

Para classificação das barragens foram utilizados dados:

Dados de projeto (Anexo 01);

Informações coletadas na Usina (Inspeção dia 12/10/2021 - Anexo 04).

9.1 Enquadramento Lei 12.334/2010 e Resolução Normativa 696/2015 (ANEEL)

Os dados Principais para verificação do enquadramento da Barragem da PCH Cazuza Ferreira na Lei 12.334/2010 e RN 696/2015 são necessários pelo menos uma das seguintes características abaixo.

I - Altura da barragem $> 15,00$ m

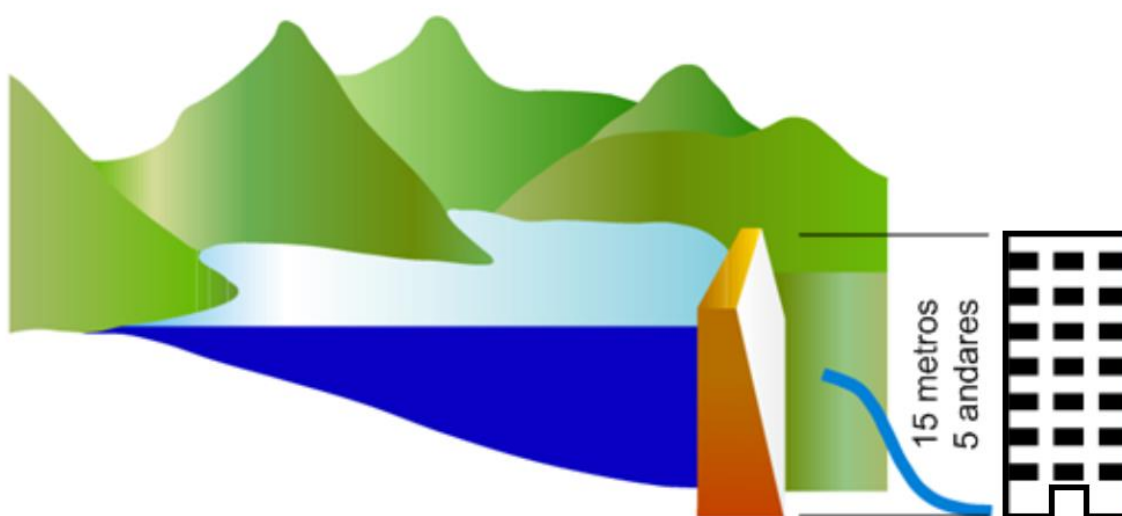
Para enquadramento Lei 12.334/2010 e RN 696/2015 a barragem tem que apresentar altura maior ou igual a 15 m. A barragem da PCH Cazuza Ferreira apresenta:

Altura máxima da Barragem da PCH Cazuza Ferreira – $5 \text{ m} < 15 \text{ m} \rightarrow$ **Não se enquadra na Lei 12.334/2010 e na Resolução 696/2015;**

1. LEI Nº 12.334/2010 – POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS e RESOLUÇÃO NORMATIVA 696/2015 ANEEL

Aplicação da lei:

I – Altura da barragem ≥ 15 m (quinze metros) \rightarrow PCH Cazuza Ferreira $h_{\text{Máx}} = 5$ metros



PCH Cazuza ferreira \rightarrow Não se enquadra na Lei 12.334/2010 e na Resolução 696/2015;

II - Volume do Reservatório $> 3.000.000 \text{ m}^3$

Para enquadramento Lei 12.334/2010 e RN 696/2015 o reservatório tem que ter capacidade total maior ou igual a $3.000.000 \text{ m}^3$, ou seja $3,00 \text{ hm}^3$.

O reservatório da PCH Cazuza Ferreira apresenta:

Volume Reservatório da PCH Cazuza Ferreira – $0,1738 \text{ hm}^3 < 3,00 \text{ hm}^3 \rightarrow$

Não se enquadra na Lei 12.334/2010 e na Resolução 696/2015;

2. LEI Nº 12.334/2010 – POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS e RESOLUÇÃO NORMATIVA 696/2015 ANEEL

Aplicação da lei:

II – Volume do reservatório

≥

3.000.000 m³ (3 hm³)



Barragem da PCH Cazuza
Ferreira



173.800, m³ (0,118 hm³)

PCH Cazuza ferreira → Não se enquadra na Lei 12.334/2010 e na Resolução 696/2015; Não é necessário Plano de Segurança de Barragem

III – Reservatório = Resíduos Perigosos

O reservatório da Hidrelétrica Boa Vista não contém resíduos perigosos, geração hidrelétrica (água) → Não se enquadra na Lei 12.334/2010;

3. LEI Nº 12.334/2010 – POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

Aplicação da Lei:

III – Reservatório → Resíduos perigosos (NBR 10004:2004 e CONAMA 23/96)



IV – Categoria Dano Potencial Associado – Médio ou Alto

A Categoria dano potencial associado da PCH Cazuza Ferreira é baixo, sem população atingida a jusante → Não se enquadra na Lei 12.334/2010 e na Resolução 696/2015.

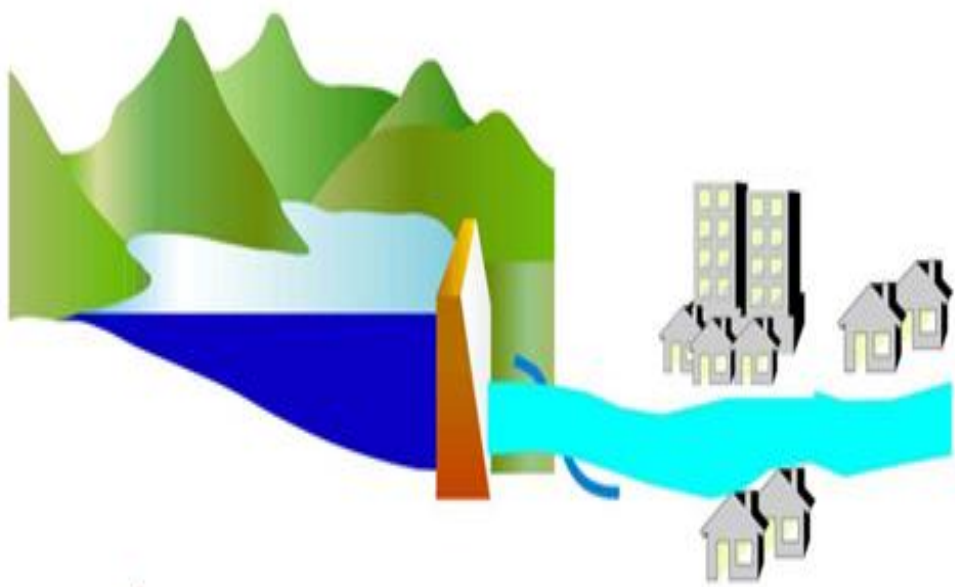
4. LEI Nº 12.334/2010 – POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS E RESOLUÇÃO NORMATIVA 696/2015 ANEEL

APLICAÇÃO DA LEI:

IV – Dano potencial associado – Termos econômicos, sociais, ambientais ou de perdas de vidas humanas:

PCH Cazuza Ferreira não tem População Jusante atingida e nem impactos ambientais a jusante pois o Rio Lajeado Grande, avança em alguns pontos onde não existe população nem edificações, durante enchentes e num cenário hipotético de rompimento devido ao volume de água armazenado ser pequeno

conforme os estudos simplificados apresentados no Anexo 6 - Simulação de Daw Break Mapas e Shapes.



**A PCH Cazuza Ferreira Não se enquadra na Lei 12.334/2010 e RN 696/2015
Aneel
Não é necessário Plano de Segurança de Barragens**

O Enquadramento da PCH Cazuza Ferreira está apresentado no Anexo 07.

9.2 Matriz para classificação da barragem - Resolução Normativa 696/2015 (ANEEL)

Segue abaixo a classificação da Barragem de acordo com a Resolução Normativa 696/2015 da ANEEL.

A Matriz de classificação da Barragem está apresentada no Anexo 07.

ANEXO II - MATRIZ PARA BARRAGENS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA	
Resolução Normativa 696/2015	
CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM QUANTO À CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL	
NOME DA BARRAGEM	PCH CAZUZA FERREIRA
NOME DO EMPREENDEDOR	CAZUZA FERREIRA ENERGÉTICA S/A
DATA:	25/10/2021

II.1 - CATEGORIA DE RISCO		Pontos
1	Características Técnicas (CT)	15
2	Estado de Conservação (EC)	4
3	Plano de Segurança de Barragens (PS)	4
PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC + PS		23

FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	CATEGORIA DE RISCO	CRI
	ALTO	≥ 62 ou $EC^*=8$ (*)
	MÉDIO	35 a 62
	BAIXO	≤ 35

(*) Pontuação (8) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providências imediatas pelo responsável da barragem.

II.2 - DANO POTENCIAL ASSOCIADO		Pontos
DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)		4
FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO	DPA
	ALTO	≥ 16
	MÉDIO	$10 < DP < 16$
	BAIXO	≤ 10

RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO:

CATEGORIA DE RISCO	Baixo
DANO POTENCIAL ASSOCIADO	Baixo

CLASSE DA BARRAGEM		C
ENQUADRAMENTO À RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 696/2015		
Altura do maciço maior ou igual a 15 metros?	Não	Enquadrada na Resolução Normativa ANEEL n° 696/2015? Não Observação: Avaliação preliminar e sujeita a revisão da fiscalização.
Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³?	Não	
Categoria de dano potencial	Não	

II.1 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)						
1 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT						
Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de Barragem quanto ao material de construção (c)	Tipo de fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão de Projeto (f)	Casa de Força (g)
Altura ≤ 15m (0)	comprimento ≤ 200m (2)	Concreto Convencional (1)	Rocha sã (1)	entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)	Barragem/Dique sem Casa de Força associada (0)
15m < Altura ≤ 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Alvenaria de Pedra / Concreto Ciclopico / Concreto Rolado - CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	entre 10 e 30 anos (2)	Milenar - TR = 1.000 anos (5)	Casa de Força associada à barragem por meio de conduto forçado, túnel, etc (2)
30m ≤ Altura ≤ 60m (2)	-	Terra Homogenea /Enrocamento / Terra Enrocamento (3)	Rocha alterada -sem tratamento / Rocha alterada fraturada com tratamento (3)	entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)	Casa de Força ao pé da Barragem (5)
Altura > 60m (3)	-	-	Rocha alterada mole / Saprolito / Solo compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável (10)	-
-	-	-	Solo residual / aluvião (5)	-	-	-
CT = ∑ (a até f):		15				
Observação: Para cada coluna da matriz, hachurar/destacar a respectiva classificação do empreendimento.						

II.1 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)					
2 - ESTADO DE CONSERVAÇÃO - EC					
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)	Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)	Percolação (i)	Deformações e Recalques (j)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (l)	Eclusa (*) (m)
Estruturas civis e eletromecânicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0)	Não possui eclusa (0)
Estruturas civis e eletromecânicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente. (4)	Estruturas civis comprometidas ou Dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução e com medidas corretivas em implantação (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizada e/ou monitorada (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo. (1)	Estruturas civis e eletromecânicas bem mantidas e funcionando (1)
Estruturas civis comprometidas ou Dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução e com medidas corretivas em implantação / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente. (7)	Estruturas civis comprometidas ou Dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução e sem medidas corretivas (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)	Trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento. (5)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva. (5)	Estruturas civis comprometidas ou Dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas civis comprometidas ou Dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução e sem medidas corretivas/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas (10)	-	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente. (8)	Trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento aa segurança (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento aa segurança. (7)	Estruturas civis comprometidas ou Dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados e sem medidas corretivas (4)
EC = Σ (g até m):		4			
Observação: Para cada coluna da matriz, hachurar/destacar a respectiva classificação do empreendimento.					

II.1 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)				
3 - PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM - PS				
Existência de documentação de projeto (n)	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem (o)	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento (p)	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q)	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (r)
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0)	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre (0)	Emite regularmente os relatórios (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção (3)	Não (6)	Emite os relatórios sem periodicidade (3)
Projeto básico (4)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (5)	-	Não emite os relatórios (5)
Anteprojeto ou Projeto conceitual (6)	-	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (6)	-	-
inexiste documentação de projeto (8)	-	-	-	-

PS = $\sum (n \text{ até } r)$:

4

Observação: Para cada coluna da matriz, hachurar/destacar a respectiva classificação do empreendimento.

II.2 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)			
Volume Total do Reservatório para barragens de uso múltiplo ou aproveitamento energético (s)	Potencial de perdas de vidas humanas (t)	Impacto ambiental (u)	Impacto sócio-econômico (v)
Pequeno $\leq 5 \text{ hm}^3$ (1)	INEXISTENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente/residentes ou temporárias/transitando na área a jusante da barragem) (0)	SIGNIFICATIVO (quando a área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	INEXISTENTE (Quando não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)
Médio 5 a 75 hm^3 (2)	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local. (4)	MUITO SIGNIFICATIVO (quando a área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) (5)	BAIXO (quando existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem) (4)
Grande 75 a 200 hm^3 (3)	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas. (8)	-	ALTO (quando existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
Muito Grande $> 200 \text{ hm}^3$ (5)	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas. (12)	-	-

DPA = $\sum (s \text{ até } v)$:

4

Observação: Para cada coluna da matriz, hachurar/destacar a respectiva classificação do empreendimento.

10. RESULTADOS

A simulação do MDT (*Modelo Digital do Terreno*) derivado dos dados do SRTM (*Schuttle Radar Topography Mission*), utilizando os dados das duas seções topobatimétricas de apoio localizadas próxima a casa de máquinas, única edificação localizada a jusante do barramento entre a barragem da PCH Cazuza Ferreira e o reservatório da PCH Criúva. Nos resultados obtidos pelos estudos realizados a elevação alcançada pela inundação não atinge a elevação da casa de máquinas da Cazuza Ferreira e a onda de cheia acaba se dissipando logo antes na entrada do reservatório da PCH Criúva.

A casa de máquinas da PCH Cazuza Ferreira, localizada a jusante do barramento é a única edificação que poderia ter influência direta. Os resultados da simulação mostram que a edificação não será atingida, pois as simulações que foram feitas para os tempos de retorno (TR) 10, 100, 1000 e 10.000 Anos, não atingem a elevação de proteção da casa de máquinas de 694,00 m. A cota crítica mais elevada se dá na enchente de tempo de retorno de 10.000 anos, chegando à elevação 693,50 m, ficando em segurança por 0,5 m.

Pode-se concluir mesmo com o estudo sendo simplificado utilizando imagens de satélite SRTM (*Schuttle Radar Topography Mission*) que a simulação foi satisfatória, bem como os resultados deram conforme o esperado. Não atingindo edificações nem pondo em risco nenhuma estrutura ou edificação a jusante do barramento. Nos anexos estão apresentados os mapas de inundação de cada TR mostrando sua extensão e locais atingidos.

Ainda cabe dizer que não é necessário um Plano de Emergência específico para o rompimento e onda de cheia, pois como mostrado no estudo, não atinge acessos nem edificações a jusante do empreendimento, não apresentando nenhum risco hidrodinâmico. Assim é recomendado que a PCH Cazuza Ferreira mantenha um Plano de Contingência, que diferentemente do Plano de Emergência não necessita ser protocolado nas Prefeituras para tomada de decisão em caso de algum sinistro ou problema que atingisse terceiros, contendo rotas de fuga e pontos de segurança.

11. CONTATOS

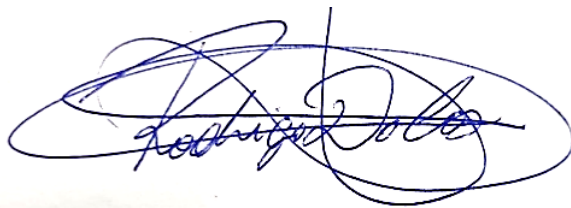
A seguir seguem tabelas para uso e anotação de telefones úteis. É dever do operador ter os contatos sempre à mão para acionar em cada caso as equipes necessárias para intervenções ou manutenções.

TELEFONES DE EMERGÊNCIA	
Corpo de bombeiros	193
Polícia militar	190
SAMU (Serviço de Atendimento Móvel de Urgência)	192

TELEFONES IMPORTANTES	
Escritório da Geradora	(51) 3762 5516
Gerência de O&M	(51) 3762 5500
Engenharia	(51) 3762 5574
Centro de Operações	(51) 3762 5542
Responsável Técnico Segurança de Barragens	(51) 996864120

12 ANEXOS

- 12.1. Anexo 01 - Projeto *As Built*
- 12.2. Anexo 02 - Manuais de Operação e Manutenção
- 12.3. Anexo 03 - Laudos de Estabilidade
- 12.4. Anexo 04 - Relatório de Inspeção
- 12.5. Anexo 05 - Procedimentos de Operação e Manutenção
- 12.6. Anexo 06 - Simulação de *Daw Break* Mapas e Shapes
- 12.7. Anexo 07 - Matriz de classificação da Barragem
- 12.8. Anexo 08 - Plano de Contingência



Responsável Técnico Elaboração da RPS

Responsável Técnico Segurança de Barragens

Engenheiro Civil Rodrigo Da Cas

CREA/RS 212636

Teutônia 04 agosto de 2021

13. Referências Bibliográficas

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

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

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

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

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

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

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

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – Resolução Normativa Nº 696, de 15 de Dezembro de 2015 - Estabelece critérios para classificação, formulação do Plano de Segurança e realização da Revisão Periódica de Segurança em barragens fiscalizadas pela ANEEL de acordo com o que determina a Lei nº 12.334, de 20 de Setembro de 2010.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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