

SECRETARIA DE ESTADO  
DA INFRAESTRUTURA,  
DOS RECURSOS HÍDRICOS E DO MEIO AMBIENTE



**PROJETO DE RECUPERAÇÃO, ADEQUAÇÃO E ESTUDOS  
COMPLEMENTARES DA BARRAGEM CAMALAUÍ - PARAÍBA.**

**VOLUME 01 - MEMORIAL DESCRITIVO**

REV. 0  
DATA: 14/09/2020

---

# ÍNDICE

<b>1. APRESENTAÇÃO</b> .....	<b>4</b>
<b>2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO</b> .....	<b>5</b>
<b>3. DESCRIÇÃO DA BARRAGEM EXISTENTE</b> .....	<b>6</b>
3.1. LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO DA BARRAGEM E ESTRUTURAS ASSOCIADAS .....	6
3.2. FICHA TÉCNICA .....	10
<b>4. PROJETO DE RECUPERAÇÃO DA BARRAGEM</b> .....	<b>12</b>
4.1. SUPORTE NORMATIVO .....	12
4.2. CADASTRAMENTO TOPOGRÁFICO .....	15
4.3. INSPEÇÕES E PROSPECÇÕES GEOLÓGICAS .....	15
4.4. ESTUDOS HIDROLÓGICOS.....	16
4.5. ESTUDOS HIDRÁULICOS.....	20
4.5.1. Soluções Alternativas de Engenharia para Adequação da Barragem Existente .....	21
4.5.1.1. Alternativa 01 - Ampliação do Extravador.....	21
4.5.1.2. Alternativa 02 - Elevação da Crista das Barragens Principal e Auxiliar e Execução de Muro Lateral Direito do Extravador em Alvenaria de Pedra.....	22
4.5.1.3. Alternativa 03 - Elevação da Crista das Barragens Principal e Auxiliar e Execução de Diques Laterais Direito e Esquerdo de Terra Revestidos Internamente com Placas de Concreto Armado.....	24
4.5.1.4. Alternativa 04 - Elevação da Crista das Barragens Principal e Auxiliar e Execução de Apenas o Dique Lateral Direito de Terra Revestido com Placas de Concreto Armado ..	25
4.5.2. Dimensionamento Hidráulico do Extravador.....	26
4.5.3. Dimensionamento do Extravador .....	27
4.5.4. Geometria do Extravador.....	28
4.5.4.1. Perfil da Lâmina D'Água ao Longo do Canal de Queda.....	32
4.5.4.2. Dimensionamento Hidráulico da Bacia de Dissipação .....	36
4.5.4.3. Verificação da Bacia de Dissipação para as Vazões Extremas .....	37
4.5.4.4. Determinação da Altura dos Muros do Canal de Queda .....	38
4.6. PESQUISA DE JAZIDAS/ENSAIOS DE LABORATÓRIO .....	39
4.6.1. Jazidas de Solos.....	40
4.6.2. Jazida de Areia .....	40
4.6.3. Jazidas de Materiais Pétreos .....	40
4.6.4. Coletas de Amostras/Ensaios de Laboratório .....	40
4.7. ANÁLISES DE ESTABILIDADE .....	41
4.7.1. Maciço da Barragem.....	41
4.7.2. Muro Lateral Direito do Extravador .....	43
4.8. DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS ESTRUTURAS.....	46
4.8.1. Maciço de Terra das Barragens Principal e Auxiliar .....	46
4.8.1.1. Alçamento do Maciço .....	46
4.8.1.2. Muretas de Proteção.....	46
4.8.1.3. Iluminação da Crista da Barragem .....	47
4.8.2. Extravador .....	47

---

4.8.2.1. Canal de Aproximação.....	47
4.8.2.2. Soleira Espessa do Extravasor (Cordão de Fixação de Concreto) .....	47
4.8.2.3. Canal de Queda .....	47
4.8.2.4. Interferência do Canal de Queda com a Rodovia PB-224 (Alteamento da PB-224) .....	47
4.8.2.5. Bacia de Dissipação .....	48
4.8.2.6. Dique de Enrocamento.....	48
4.8.3. Limpeza dos Taludes da Barragem .....	48
4.8.4. Execução de Meio-Fio e de Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais.....	49
4.8.5. Recuperação dos Dispositivos Hidromecânicos da Descarga de Fundo e da Captação Flutuante.....	49
4.8.6. Recuperação da Tomada D'Água Suplementar do PISF .....	49
4.8.7. Instrumentação .....	49

## 1. APRESENTAÇÃO

É apresentado a **SEIRHMA - Secretaria de Estado da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente** o Projeto de Recuperação, Adequação e Estudos Complementares da Barragem de Camalaú - Paraíba, conforme Contrato N° 016/2019, datado de 15/10/2019 celebrado com a **MMC Engenharia Ltda.**

A Barragem Camalaú foi classificada pela AESA, em levantamento realizado em 2018 como de Categoria de Risco ALTO e Dano Potencial Associado ALTO, exigindo obras de recuperação por parte da SEIRHMA.

O Projeto de Recuperação elaborado pela MMC é composto dos seguintes volumes:

- **VOLUME 01 - MEMORIAL DESCRITIVO;**
- **VOLUME 02 - DESENHOS;**
- **VOLUME 03 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS;**
- **VOLUME 04 - ESTUDOS BÁSICOS;**
- **VOLUME 05 - PLANILHA DE ORÇAMENTAÇÃO.**

O presente volume constitui o **VOLUME 01 - MEMORIAL DESCRITIVO.**

## 2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Barragem Camalaú está localizada no Município de Camalaú, no Estado da Paraíba, nas coordenadas 07°53'6.59" de latitude sul e 36°50'21.26" de longitude oeste, a uma distância de cerca de 160 km do Município de Campina Grande.

O acesso à barragem pode ser feito a partir de Campina Grande, percorrendo cerca de 68,5 km pela PB-148 até o Município de Cabaceiras. A partir daí deve-se seguir em direção ao Município de Caraúbas pela PB-186 por cerca de 42,6 km. Em Caraúbas é necessário manter-se à esquerda e seguir pela PB-196 por cerca de 46,8 km até a sede Municipal de Camalaú e a partir daí 2,3 km pela Rodovia PB-244 até a barragem.

### **3. DESCRIÇÃO DA BARRAGEM EXISTENTE**

A Barragem Camalaú foi construída em 1982, sendo constituída de uma barragem principal com 296,0 m de comprimento e de uma barragem auxiliar com 615,0 m de comprimento. São barragens zoneadas com núcleos argilosos impermeáveis, dotados de transição de areia e brita e de maciços de enrocamento de montante e jusante nos espaldares. O extravasor escavado no maciço rochoso da ombreira esquerda tem 88,2 m de largura e soleira na cota 528,50 m.

A barragem principal tem crista com largura de 9,0 m na cota 533,00 m e altura máxima de 27,0 m. Os maciços de montante e de jusante de enrocamento possuem taludes com inclinação de 1V:2H.

A barragem auxiliar tem crista com largura de 9,0 m na cota 533,00 m e altura máxima de 12,5 m. Os maciços de montante e de jusante de enrocamento possuem taludes com inclinação de 1V:2H.

A descarga de fundo está localizada no contato com a ombreira direita da barragem principal, sendo constituída por uma tubulação de ferro fundido com diâmetro de 500 mm, com acionamento manual. O controle de jusante da descarga de fundo é feito por uma válvula borboleta, a jusante da qual encontra-se instalado um medidor triangular de vazão.

A tomada d'água para abastecimento é realizada através de um flutuante, de onde a água é recalçada por uma tubulação flexível com DN 100 mm nos primeiros 12,0 m e de ferro fundido também com DN 100 mm no trecho seguinte. Essa tubulação está apoiada nos taludes de montante e de jusante, possuindo apenas um recobrimento de solo ao atravessar a crista da barragem. A tubulação vai para a Estação de Tratamento de Água (ETA), localizada no Município de Camalaú que é operada pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

A Barragem Camalaú foi submetida a obras de recuperação no ano de 2017, que consistiu dos seguintes serviços: melhorias nos maciços da barragem principal e auxiliar; recuperação e melhorias do extravasor; recuperação e ampliação da tomada d'água e execução da estrutura da tomada d'água suplementar para o PISF (Programa de Integração do São Francisco).

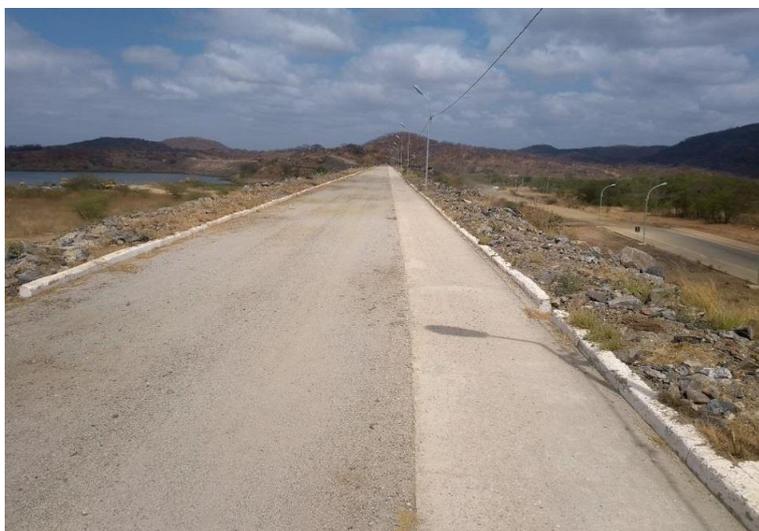
A tomada d'água suplementar está localizada entre o maciço da barragem principal e o extravasor, sendo constituída por um canal escavado em rocha, com seção trapezoidal, com a finalidade de conduzir as águas para a Barragem Eptácio Pessoa (Boqueirão), local de captação do ramal Curimataú do Sistema Adutor Transparaíba. Essa tomada d'água é composta por duas tubulações de aço carbono com diâmetro de 2000 mm, reduzidas para 1500 mm, controladas a montante por comportas tipo *stop-log* e a jusante por válvulas borboletas e dispersoras, ambas com DN 1500 mm.

#### **3.1. LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO DA BARRAGEM E ESTRUTURAS ASSOCIADAS**

As Fotos 3.1 a 3.10 a seguir ilustram os principais aspectos da barragem e das suas estruturas associadas.



**FOTO 3.1** - Vista do maciço de montante da barragem e ao fundo a bacia de acumulação de água.



**FOTO 3.2** - Vista geral da crista da barragem com sistema precário de iluminação.



**FOTO 3.3** - Captação flutuante situada na margem direita do reservatório, acoplada a tubulação flexível com DN 100 mm.



**FOTO 3.4** - Casa de Controle da captação flutuante na crista da barragem.



**FOTO 3.5** - Vista do extravasor da barragem, escavado em rocha com muros laterais e cordão de fixação em concreto.



**FOTO 3.6** - Detalhe do contato do maciço da barragem principal com a ombreira esquerda.



**FOTO 3.7** - Estrutura de jusante de controle e saída da descarga de fundo com medidor de vazão triangular.



**FOTO 3.8** - Casa de Controle da descarga de fundo e da captação localizada a jusante da barragem.



**FOTO 3.9** - Vista do canal de aproximação da tomada d'água suplementar para o PISF e da torre de controle dos equipamentos hidromecânicos.



**FOTO 3.10** - Vista de jusante da tomada d'água suplementar para o PISF, com duas válvulas dispersoras DN 1500 mm.

### 3.2. FICHA TÉCNICA

As principais características das barragens principal e auxiliar existentes são apresentadas a seguir.

#### FICHA TÉCNICA

DADOS GERAIS	
Nome	Camalaú
Tipo	Zoneada (núcleo argiloso e enrocamentos)
Empreendedor	SEIRHMA
Órgão Fiscalizador	AESA/PB
Rio Barrado	Rio Monteiro
Bacia Hidrográfica	Paraíba
Uso Principal	Abastecimento de água
Ano de Construção	1982
RESERVATÓRIO	
Capacidade de Armazenamento	46.437.520 m <sup>3</sup>
Área da Bacia Hidrográfica	1.032,00 km <sup>2</sup>
Área da Bacia Hidráulica	789,43 ha
Cheia Afluente (TR = 1000 anos)	2.844,00 m <sup>3</sup> /s
Cheia Afluente (TR = 10000 anos)	3.890,33 m <sup>3</sup> /s
N.A. máximo normal	528,50 m
N.A. <i>máximo maximorum</i> (TR = 1000 anos)	534,19 m
N.A. <i>máximo maximorum</i> (TR = 10000 anos)	535,60 m
BARRAGEM PRINCIPAL	
Cota da Crista	533,00 m
Largura da Crista	9,0 m
Extensão Total pelo Coroamento	296,0 m
Inclinação do Talude de Montante	1V : 2H
Inclinação do Talude de Jusante	1V : 2H
Maciço de Montante	Enrocamento
Maciço de Jusante	Enrocamento
Altura	27,0 m
BARRAGEM AUXILIAR	
Cota da Crista	533,00 m
Largura da Crista	9,0 m
Extensão Total pelo Coroamento	615,0 m

Inclinação do Talude de Montante	1V : 2H
Inclinação do Talude de Jusante	1V : 2H
Maciço de Montante	Enrocamento
Maciço de Jusante	Enrocamento
Altura	12,5 m
<b>EXTRAVASOR</b>	
Tipo de Soleira do Extravasor	Canal escavado em rocha com cordão de fixação em concreto
Localização	No contato com a ombreira esquerda da barragem principal
Largura	88,20 m
Cota da Soleira	528,50 m
Cota do Topo dos Muros Laterais	532,50 m
Vazão Efluente Máxima (TR 1.000 anos)	1.799,32 m <sup>3</sup> /s
Vazão Efluente Máxima (TR 10.000 anos)	2.505,38 m <sup>3</sup> /s
<b>DESCARGA DE FUNDO</b>	
Localização	Próxima a ombreira direita da barragem principal
Tipo	Tubulação de ferro fundido
Diâmetro da tubulação	500 mm
Cota da geratriz superior da tubulação	508,60 m
Acionamento	Manual
<b>TOMADA D'ÁGUA</b>	
Localização	Próxima a ombreira direita da barragem principal
Tipo	Captação flutuante com mangote flexível e tubulação de ferro fundido
Diâmetro da tubulação	100 mm
Acionamento	Automático
<b>TOMADA D'ÁGUA SUPLEMENTAR PARA O PISF</b>	
Tipo	Tubulações de aço carbono, com registros e válvulas dispensoras
Diâmetro inicial	2 x 2000 mm
Diâmetro final	2 x 1500 mm
Cota da geratriz superior da tubulação	521,35 m
Vazão máxima	18 m <sup>3</sup> /s
Acionamento	Automático

#### 4. PROJETO DE RECUPERAÇÃO DA BARRAGEM

São apresentadas a seguir as principais atividades desenvolvidas para elaboração do Projeto de Recuperação da Barragem Camaláu.

##### 4.1. SUPORTE NORMATIVO

São listados na Tabela 4.1 a seguir os principais documentos normativos, referentes a leis, normas, boletins técnicos, etc... relacionados direta ou indiretamente a esse projeto.

**TABELA 4.1 - RELAÇÃO DE LEIS, NORMAS E BOLETINS TÉCNICOS**

Nº GERAL	DATA	DESCRIÇÃO
Lei Nº 4.771	15.09.1965	Institui o Novo Código Florestal
Lei Nº 5.197	03.01.1967	Dispõe sobre a proteção à fauna e dá outras providências.
Lei Nº 5.318	26.09.1967	Institui a Política Nacional de Saneamento e trata, entre outros temas, do controle da poluição ambiental, das modificações artificiais das massas de água, de inundações e de erosões.
Lei Nº 6.662	26.06.1979	Política Nacional de Irrigação.
Lei Nº 6.902	27.04.1981	Dispõe sobre a criação de Estações Ecológicas, Áreas de Proteção Ambiental e dá outras providências.
Lei Nº 6.938	31.08.1981	Dispõe sobre a Política Nacional de Meio ambiente, seus fins, mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências.
Lei Nº 7.347	27.07.1985	Disciplina a Ação Civil Pública de Responsabilidade por Danos Causados ao Meio Ambiente, ao Consumidor, aos Bens e Direitos de Valor Artístico, Estético, Histórico, Turístico e dá outras providências.
Lei Nº 7.511	07.07.1986	Altera dispositivos da Lei Nº 4.771, que institui o Novo Código Florestal.
Lei Nº 7.679	23.11.1988	Dispõe sobre a proibição da pesca de espécies em período de reprodução e dá outras providências.
Lei Nº 7.802	11.07.1989	Dispõe sobre agrotóxicos.
Lei Nº 7.803	18.07.1989	Altera a redação da Lei Nº 4.771
Lei Nº 9.433	08.01.1997	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX da CF e altera o Art. 1º da Lei Nº 8.001.
Lei Nº 9.605	12.02.1998	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.
Lei Nº 9.795	27.04.1999	Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências.
Lei Nº 9.974	06.06.2000	Altera a Lei Nº 7.802 que dispõe sobre agrotóxicos e dá outras providências.
Lei Nº 9.984	17.07.2000	Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas.
Lei Nº 9.985	18.07.2000	Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.
Lei Nº 5.318	1967	Institui a Política Nacional de Saneamento e cria o Conselho Nacional de Saneamento.
Lei Nº 6.662	1979	Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação, e dá outras providências.
Lei Nº 8.171	1991	Dispõe sobre a Política Agrícola.
Lei Nº 7.754	1989	Estabelece medidas para proteção das florestas existentes nas nascentes dos rios, e dá outras providências.
Lei Nº 3.824	1960	Torna obrigatória a destoca e conseqüente limpeza das bacias hidráulicas dos açudes, represas e lagos artificiais.

**TABELA 4.1 - RELAÇÃO DE LEIS, NORMAS E BOLETINS TÉCNICOS (cont.)**

Nº GERAL	DATA	DESCRIÇÃO
Lei Nº 6.225	1975	Dispõe sobre discriminação, pelo Ministério da Agricultura, de regiões para execução obrigatória de planos de proteção ao solo e de combate à erosão, e dá outras providências.
Lei Nº 9.605	1998	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.
Lei Nº 6.855	1995	Dispõe sobre a Política, o Gerenciamento e o Plano Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências.
Lei Nº 3.858	1980	Institui o Sistema Estadual de Administração dos Recursos Ambientais e dá outras Providências.
Lei Nº 12.334	2010	Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.
Lei Ordinária Nº 0036	1947	Cria a Comissão Estadual de Estudos da Região do Vale do Rio Utinga. D.O.16.12.47. (Republicada D.O.21.12.47)
Lei Delegadas Nº 31	1983	Cria o Centro de Recursos Ambientais - CRA e dá outras providências. D.O.04.03.83.
Decreto Nº 24.643	10.08.1934	Institui o Código de Águas.
Decreto Nº 89.496	29.03.1984.	Regulamenta a Lei Nº 6.662 que dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação e dá outras providências.
Decreto Nº 95.733	12.02.1988	Dispõe sobre a inclusão, no orçamento dos projetos e obras federais, de recursos destinados a prevenir ou corrigir os prejuízos de natureza ambiental e social decorrentes da execução desses projetos e obras.
Decreto Nº 97.632	10.04.1989	Dispõe sobre a Recuperação de Áreas Degradadas pela Exploração de Depósitos Minerais.
Decreto Nº 98.816	11.01.1990	Regulamenta a Lei Nº 7.802 que dispõe sobre agrotóxicos.
Decreto Nº 99.274	06.06.1990	Regulamenta a Lei Nº 6.902 e a Lei Nº 6.938 que dispõem sobre criação de Estações Ecológicas e APAs e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, respectivamente.
Decreto Nº 3.179	21.09.1999	Dispõe sobre a especificação das sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências.
Decreto Nº 3.420	20.04.2000	Dispõe sobre a criação do Programa Nacional de Florestas - PNF e dá outras providências.
Decreto Nº 3.550	27.07.2000	Dispõe sobre o Destino de Embalagens de Agrotóxicos.
Resolução CONAMA 002/85	1985	Licenciamento Ambiental para Barragens
Resolução CONAMA 001/86	1986	Avaliação de Impactos Ambientais.
Resolução CONAMA 020/86	1986	Classificação das Águas Doces, Salobras e Salinas.
Resolução CONAMA 009/87	1987	Audiências Públicas.
Resolução CONAMA 13/90	1990	Normas Referentes ao Entorno das Unidades de Conservação Visando a Proteção dos Ecossistemas (raio de 10 km)
Resolução CONAMA 002/96	1996	Compensação ambiental em empreendimentos que apresentam impactos ambientais significativos.
Resolução CONAMA 237/97	1997	Licenciamento ambiental.

**TABELA 4.1 - RELAÇÃO DE LEIS, NORMAS E BOLETINS TÉCNICOS (cont.)**

Nº GERAL	DATA	DESCRIÇÃO
Resolução CONAMA 238/97	1997	Política Nacional de Combate à Desertificação.
Resolução CONAMA 274/00	2000	Critérios de qualidade para fins de balneabilidade.
Resolução CONAMA 302/02	2002	Área de preservação permanente no entorno de reservatórios.
Portaria IBAMA 37-N	03.04.1992	Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçada de Extinção.
Portaria IBAMA 1.522 e 45-N	19.12.1989 e 27.04.1992	Lista Oficial de Espécies da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção.
Instrução Normativa MMA 03/03		Reconhece a lista de espécies da fauna ameaçados de extinção.
ABNT NBR - 6497	1983	Levantamento Geotécnico
ABNT NBR - 8036	1983	Programação de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos
ABNT NBR - 9603	1986	Sondagem a Trado
ABNT NBR - 6484	2001	Solo - Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT
ABGE BOLETIN 03	1977	Diretrizes para Execução da Sondagem Rotativa
ABGE BOLETIN 02	1975	Ensaio de Perda d'água sob Pressão
ABGE BOLETIN 04	1981	Ensaio de Permeabilidade em Solos
ABNT NBR-7181	1988	Granulometria por Peneiramento e Sedimentação
ABNT NBR-7183, 7180 e 6459	1982/1988/1984	Limites de Atterberg
ABNT NBR-6508	1984	Peso Específico dos Grãos
DNER DPT M 47-64	1964	Ensaio de Compactação - Proctor Normal
ABNT NBR-12007	1990	Ensaio de Adensamento
ASTM D-2434	-	Ensaio de Permeabilidade - Carga Variável
ASTM D-3080	-	Ensaio de Cisalhamento Direto
ASTM D-2850	-	Ensaio Triaxial
DNER DPT M 55-64	1964	Teor de matéria orgânica
DNER DPT M 93-64	1964	Densidade real de solos
DNER DPT M 35-64	1964	Ensaio de Abrasão Los Angeles
ABNT NBR-6502	1995	Rochas e Solos
ABNT NBR - 11682	2009	Estabilidade de Encostas
ABNT NBR - 6118	2007	Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento
Decreto-Lei Nº 3.365	1941	Dispõe sobre desapropriação por utilidade pública.
Decreto Nº 79.367	1977	Dispõe sobre Normas e Padrões de Potabilidade de Água e dá outras providências.
Decreto Nº 92.395	1986	Institui o Programa Nacional de Irrigação - PRONI e dá outras providências.
Decreto Nº 90.309	1984	Dá nova redação ao artigo 14 e ao artigo 16, § 3º, do Decreto Nº 89.496, de 29 de março de 1984, que dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação.
Decreto Nº 97.633	1989	Dispõe sobre o Conselho Nacional de Proteção à Fauna - CNPF, e dá outras providências.
Decreto Nº 1.922	1996	Dispõe sobre o Reconhecimento das Reservas Naturais Particulares do Patrimônio Natural e dá outras providências
Decreto Nº 1.298	1994	Aprova o Regulamento das Florestas Nacionais, e dá outras providências.
Decreto Nº 8.171	1991	Dispõe sobre a Política Agrícola.
Decreto Nº 98.897	1990	Dispõe sobre as reservas extrativistas, e dá outras providências.
Decreto Nº 93.484	1986	Dá nova redação ao § 3º, do artigo 16, do Decreto Nº 89.496, de 29 de março de 1984, alterado pelo Decreto Nº 90.991, de 26 fevereiro de 1985, que dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação.
Portaria Nº N-1	1977	Execução de barragens que implicam na alteração de curso d'água.
Portaria Nº 100-N	1993	Cria Unidades Organizacionais - Estações de Aquicultura.

**TABELA 4.1 - RELAÇÃO DE LEIS, NORMAS E BOLETINS TÉCNICOS (cont.)**

Nº GERAL	DATA	DESCRIÇÃO
Portaria Nº 93-N	1994	Delega competência aos Superintendentes do IBAMA para baixarem Portarias Normativas de defeso e piracema.
Portaria Nº 732	1991	Registro de atividades do Setor Florestal.
Portaria Nº 51-N	1994	Aprova o Roteiro para criação de Reserva Extrativista.
Portaria Nº 113	1995	Regulamenta a exploração das florestas primitivas e demais formas de vegetação nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste.
Portaria Nº 29	1996	Regulamenta a reposição florestal obrigatória, o plano integrado florestal e associação florestal. <b>**Revogada**</b>
Portaria Nº 1.522	1989	Lista oficial de espécies da fauna brasileira ameaçadas de extinção.
Portaria Nº 100	1980	Padrões de Qualidade do Ar.
Decreto Nº 6.295		Institui o Sistema de Planejamento, Coordenação e Implantação (SISPLAC) do Projeto de gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado da Bahia (PGRH)
Decreto Nº 6.296	1997	Dispõe sobre a Autorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos
Decreto Nº 28.687	1992	Aprova o Regulamento da Lei Nº 3.858, de 03 de novembro de 1980.

## 4.2. CADASTRAMENTO TOPOGRÁFICO

O cadastramento topográfico da barragem existente é apresentado no Des. 02.20-BAR-CAMALAU-TOP-001 no Volume II, mostrando as seguintes estruturas principais: barragem principal, barragem auxiliar, extravasor, canal de descarga, tomada d'água suplementar instalada no canal de descarga para o PISF, descarga de fundo e casa de controle da captação.

Foi implantado um eixo pela crista da barragem existente, com estaqueamento a cada 20,0 m partindo da Est. E0 na ombreira esquerda até a Est. E65 na ombreira direita. Esse levantamento está georreferenciado com base no sistema geodésico SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), com as coordenadas em UTM (Universal Transversa de Mercator). Os marcos de referência estão implantados nas ombreiras esquerda e direita.

Os marcos de referência MBC1, MBC2 e MBC3 a serem utilizados para locação da obra e para leituras periódicas dos marcos superficiais são mostrados nesse desenho.

## 4.3. INSPEÇÕES E PROSPECÇÕES GEOLÓGICAS

Na região da Barragem Camalaú ocorrem formações denominadas de Complexo Sertânia, Suite Camalaú e Suite Intrusiva Subalcalina e Alcalina, com predominância de rochas gnáissicas.

O Complexo Sertânia é formado por gnaises e migmatitos de protólito essencialmente sedimentar pelítico e apresenta uma sequência metassedimentar com pequena contribuição metavulcânica, de fácies anfíbolito alto, com muscovita biotita gnaisse com granada ou sillimanita que ocorre no Terreno Alto Moxotó, Zona Transversal da Província Borborema. Neste complexo são desenvolvidas rochas migmatíticas que se destacam meta-tufos e metagrauvas e rochas vulcânicas de composição dacítica, incluindo alguns derrames, rochas de caráter peraluminoso, com algumas intercalações locais de calcários e chertes, que constituem a Unidade Poço do Salgueiro.

A Suíte Camalaú é formada por dezenas de stocks deformados e intrusões tabulares (sheets, sills e diques), incluindo ortognaisses tonalíticos à sieníticos considerados como cedo a sintectônicos ao primeiro evento tangencial do Mesoproterozoico.

A Suíte Intrusiva Subalcalina e Alcalina Prata compreende rochas que variam desde álcali-feldspato granitos a quartzo álcali feldspato sienito com sienogranitos subordinados. Exibem textura fina a média, equigranular. A mineralogia máfica pode conter principalmente clinopiroxênio (aegirinaaugita), podendo ainda apresentar granada do tipo andradita.

No trecho final do extravasor existente foram realizados nessa fase de projeto, 15 furos exploratórios de sondagem a trado, cuja locação é mostrada no Des. 02.20-BAR-CAMALAU-TOP-001, visando detectar a profundidade do estrato rochoso de fundação para subsidiar os estudos de implantação do canal de queda e da bacia de dissipação. Na ombreira esquerda afloram rochas predominantemente gnáissicas fraturadas com manto pouco espesso de solos intemperizados com espessura média de 1,5 m.

As inspeções de campo e as investigações preliminares permitiram a avaliação do perfil estratigráfico para implantação do canal de queda e do dique lateral direito de terra, minimizando escavações em rochas gnáissicas, para disciplinar o escoamento das águas extravasadas. Esse dique é essencial para evitar o escoamento da lâmina d'água de projeto em direção ao pé do talude de jusante da barragem principal, situação essa bastante crítica que pode gerar erosões significativas no enrocamento de jusante e conseqüentemente afetar a estabilidade da barragem.

Nas inspeções geológicas das paredes do canal de descarga recentemente escavado para atender as obras do PISF, foram identificados alguns trechos que deverão ser submetidos a tratamentos superficiais com telas, chumbadores e concreto projetado.

#### **4.4. ESTUDOS HIDROLÓGICOS**

A Barragem Camalaú está inserida na bacia hidrográfica do rio Paraíba, barrando o rio Monteiro. Os principais cursos d'água da bacia são os rios Paraíba, Monteiro e do Umbuzeiro e os riachos do Mel, dos Cavalos, da Maniçoba, do Mulungu, Carabeira, dos Gomes, Grotas do Boqueirão, da Cachoeira, do Mamoeiro, da Pintada, da Gangorra, do Garrote, das Araras, do Umbuzeiro, da Ipueira e do Deserto. Os principais cursos d'água têm regime de escoamento intermitente com padrão de drenagem dendrítico.

A bacia tem uma área de drenagem de 20.071,83 km<sup>2</sup>, sendo a segunda maior do Estado da Paraíba, abrangendo cerca de 38% do seu território. Considerada uma das mais importantes do semiárido nordestino é composta pela sub-bacia do rio Taperoá e pelas regiões do Alto, Médio e Baixo curso do rio Paraíba.

No Plano de Segurança da Barragem Camalaú, recentemente elaborado pela GEOTECHNIQUE - Consultoria e Engenharia Ltda, conforme Contrato N° 020/2018, firmado em 03/09/2018 com a SEIRHMA - Secretaria de Estado da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e do Meio Ambiente, foram elaborados os estudos intitulados "Reavaliação das Séries e Estudos Hidrológicos e Confrontação desses Estudos com a Capacidade dos Dispositivos de Descarga Existentes". Esses estudos são apresentados na íntegra no Volume 04 - Estudos Básicos desse projeto.

Com base nos estudos hidrológicos constatou-se que o extravasor existente da Barragem Camalaú não é compatível com as vazões de projeto, devendo ser realizados estudos hidráulicos complementares para ampliação dessa estrutura, para evitar galgamentos dos maciços de terra das barragens principal e auxiliar, que fatalmente comprometeriam a segurança dessas obras.

A relação cota x área x volume do reservatório utilizada para os estudos de regularização é apresentada no Quadro 4.1.

**QUADRO 4.1 - CURVA COTA-ÁREA-VOLUME**

Cota (m)	Área (Km <sup>2</sup> )	Volume (Hm <sup>3</sup> )
506,5	0,03	0,00
507,5	0,08	0,05
508,5	0,13	0,16
509,5	0,19	0,32
510,5	0,24	0,53
511,5	0,29	0,8
512,5	0,33	1,11
513,5	0,36	1,46
514,5	0,39	1,83
515,5	0,43	2,25
516,5	0,46	2,69
517,5	0,91	3,38
518,5	1,35	4,50
519,5	1,80	6,08
520,5	2,24	8,10
521,5	2,69	10,56
522,5	3,36	13,58
523,5	4,04	17,29
524,5	4,72	21,67
525,5	5,40	26,73
526,5	6,08	32,47
527,5	6,99	39,00
<b>528,5</b>	<b>7,89</b>	<b>46,44</b>
529,5	8,80	54,79
530,5	9,71	64,04
531,5	10,62	74,21

Fonte: KL Engenharia/DNOCS

O extravasor da barragem é constituído por um canal escavado na ombreira esquerda, dotado de uma viga de concreto de amarração dos muros laterais, formando um extravasor retangular de soleira espessa, com topo na cota 528,50 m. O canal de aproximação do extravasor apresenta fundo plano posicionado também na elevação 528,50 m, com largura de 88,20 m.

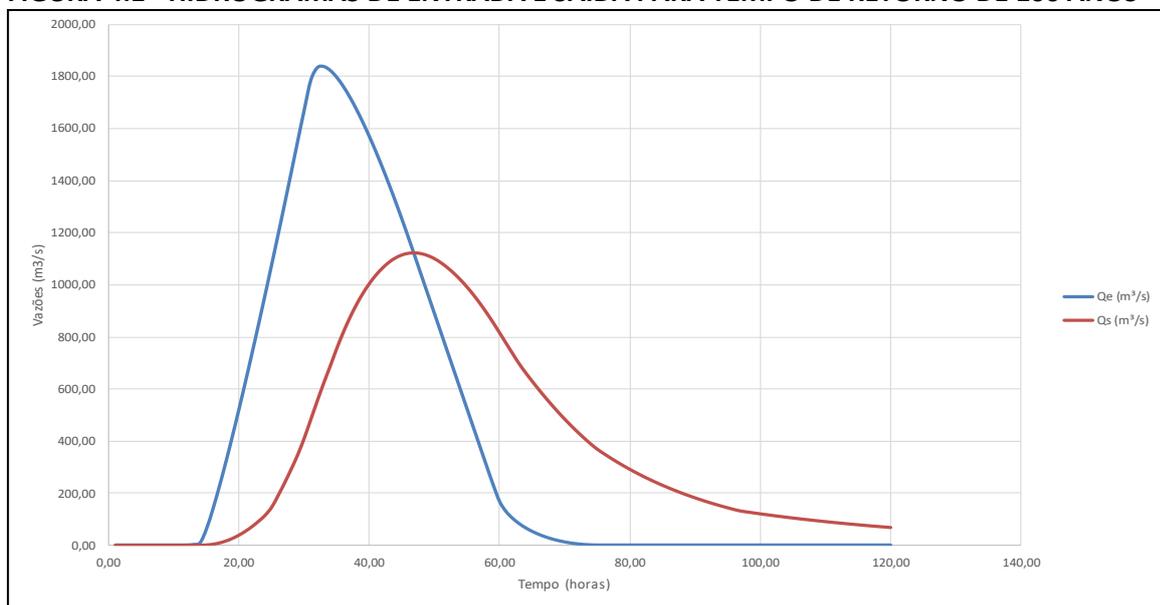
Nos estudos hidrológicos foram obtidas as vazões de cheias afluentes e efluentes ao reservatório, apresentadas no Quadro 4.2, através do Método do Hidrograma Unitário Sintético para a seção do rio Monteiro onde foi implantada a barragem.

**QUADRO 4.2 - CHEIAS DE VERIFICAÇÃO DO EXTRAVASOR DE CAMALAU - MÉTODO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO**

Tempo de Retorno (Anos)	Cheia Afluente (m³/s)	Cheia Efluente (m³/s)	EL NA Máx. (m)	H Máx. (m)
100	1.840,07	1.122,94	532,65	4,15
500	2.535,47	1.592,43	533,74	5,24
1.000	2.844,24	1.799,32	534,19	5,69
10.000	3.890,33	2.505,38	535,60	7,10

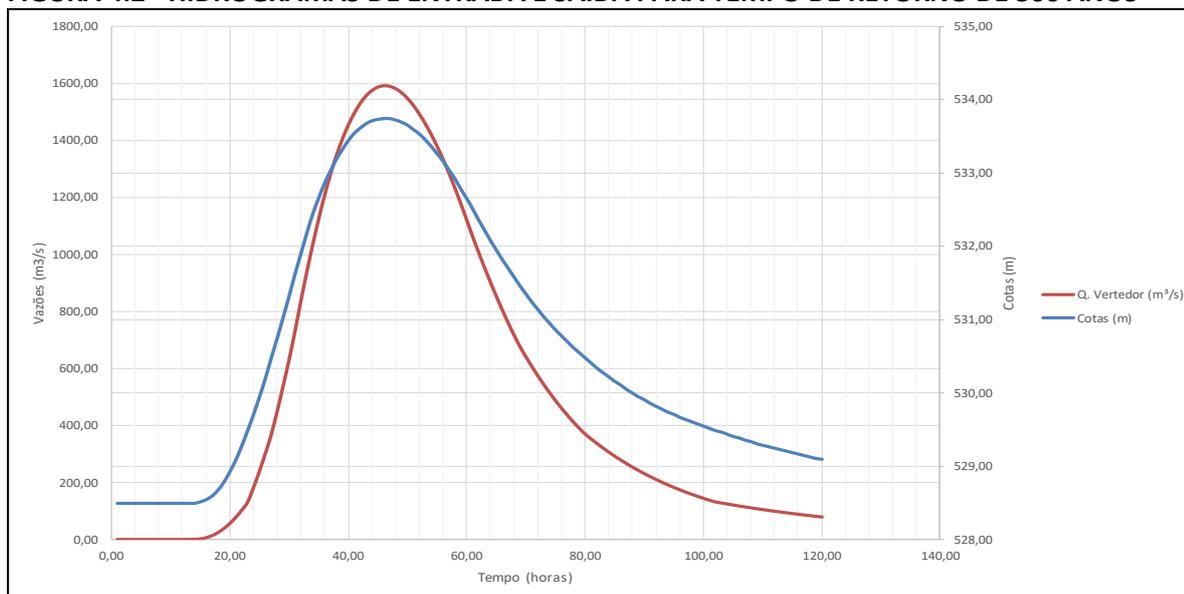
As Figuras 4.1 a 4.4 a seguir apresentam os hidrogramas das cheias com recorrências de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos.

**FIGURA 4.1 - HIDROGRAMAS DE ENTRADA E SAÍDA PARA TEMPO DE RETORNO DE 100 ANOS**



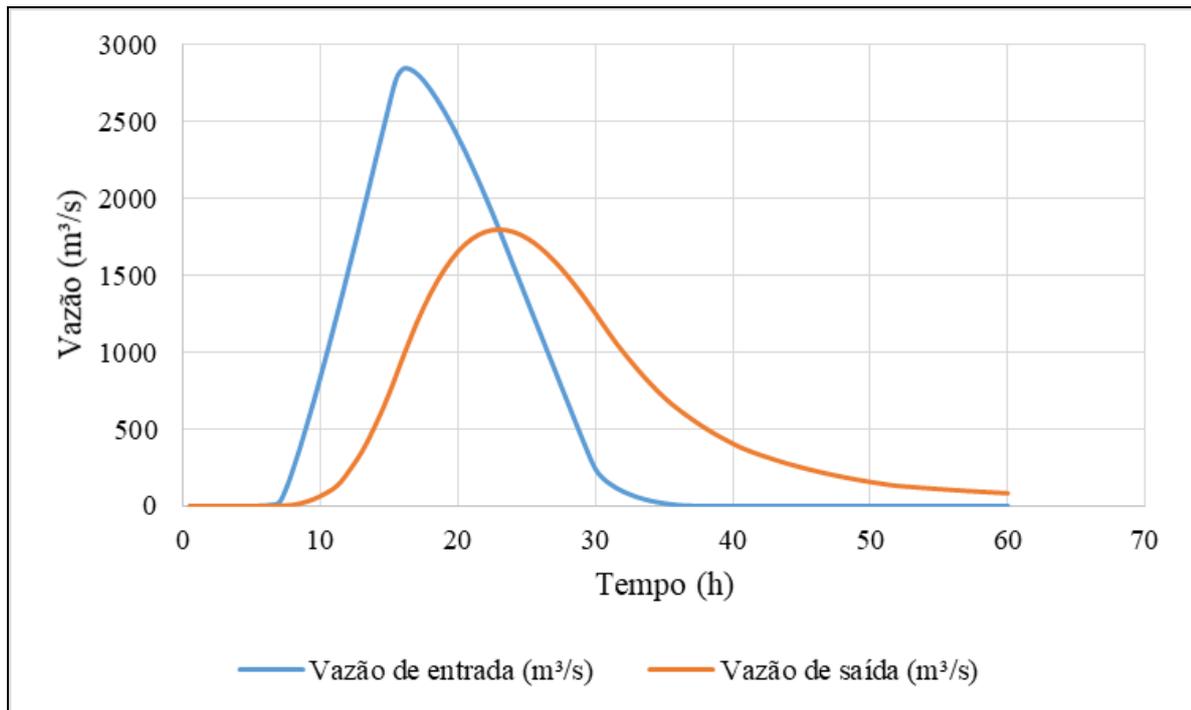
Fonte: Relatório de Estudos Hidrológicos p/ Barragem Camalau no rio Monteiro - MMC Engenharia - 2020.

**FIGURA 4.2 - HIDROGRAMAS DE ENTRADA E SAÍDA PARA TEMPO DE RETORNO DE 500 ANOS**



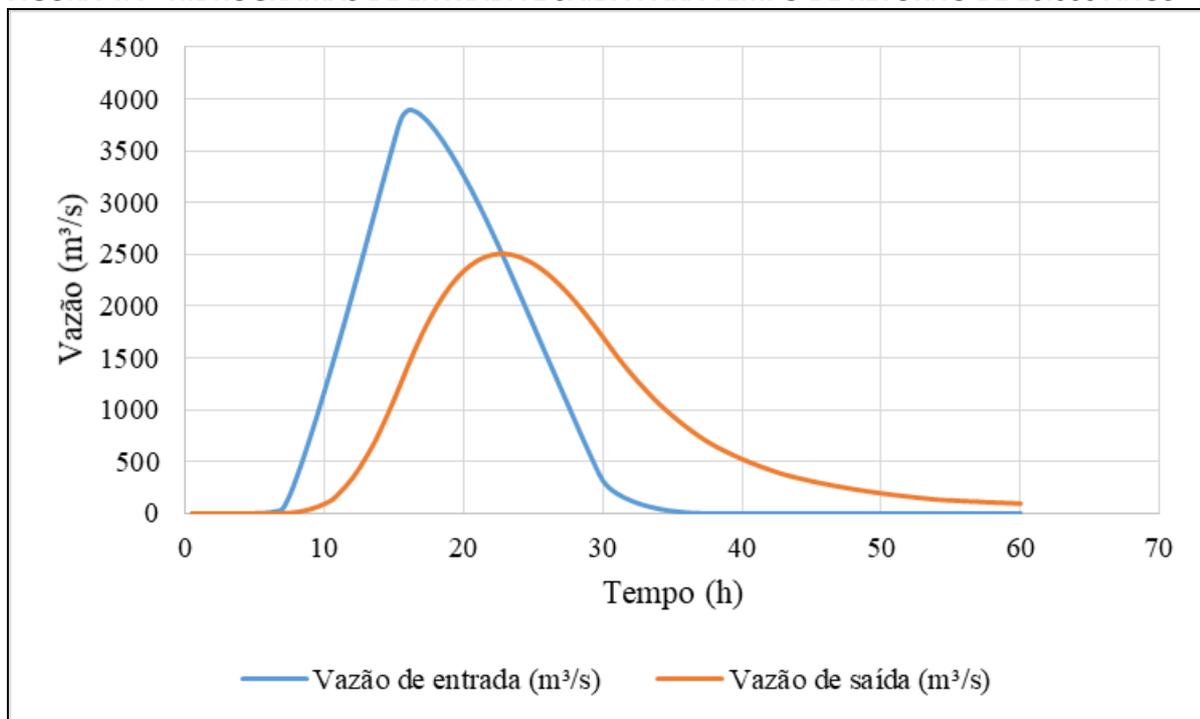
Fonte: Relatório de Estudos Hidrológicos p/ Barragem Camalau no rio Monteiro - MMC Engenharia - 2020.

**FIGURA 4.3 - HIDROGRAMAS DE ENTRADA E SAÍDA PARA TEMPO DE RETORNO DE 1.000 ANOS**



Fonte: Relatório de Estudos Hidrológicos p/ Barragem Camalaú no rio Monteiro - MMC Engenharia - 2020.

**FIGURA 4.4 - HIDROGRAMAS DE ENTRADA E SAÍDA PARA TEMPO DE RETORNO DE 10.000 ANOS**



Fonte: Relatório de Estudos Hidrológicos p/ Barragem Camalaú no rio Monteiro - MMC Engenharia - 2020.

Com exceção da vazão com recorrência de 100 anos, para os demais cenários avaliados a cota atingida pelo nível d'água no reservatório seria sempre superior a cota de coroamento da barragem (533,00 m), indicando que as cheias para os tempos de retorno de 500, 1.000 e 10.000 anos provocariam o galgamento da barragem podendo culminar com a sua ruptura.

Nos estudos hidráulicos a seguir são propostas intervenções para tornar a estrutura existente da barragem apta a veicular as cheias de projeto com recorrências milenar e decamilenar.

#### 4.5. ESTUDOS HIDRÁULICOS

A barragem existente apresenta extravasor lateral escavado na ombreira esquerda de soleira espessa e canal de queda também escavado em rocha. Não existe bacia para dissipação da energia do escoamento no final do canal de queda para promover um retorno tranquilo das águas vertidas ao leito do rio Monteiro.

As principais características do extravasor existente da barragem são relacionadas a seguir:

- cota de fundo do canal de aproximação ao extravasor de soleira espessa = 528,50 m;
- cota da soleira do vertedor = 528,50 m;
- cota da crista da barragem de terra = 533,00 m;
- largura do canal de aproximação = 88,20 m;
- cota do topo dos muros laterais do canal de aproximação e do extravasor = 532,50 m;
- comprimento da soleira vertente = 88,20 m;
- canal de queda convergente de seção trapezoidal com largura de base de 88,20 m em sua seção inicial e de 50,0 m em seu trecho mais estreito;
- as paredes laterais do canal de queda são escavadas em solo e rocha; os taludes da margem direita do canal apresentam pequena altura em seu trecho inicial, que variam entre 1,39 m e 2,24 m; a reduzida altura da parede lateral direita do canal de queda é insuficiente para promover o confinamento da água em seu interior para vertimentos de maior magnitude; deste modo, existe o risco de ocorrer extravasamento lateral de água do canal de queda para o interior do canal de saída do dispositivo de tomada d'água recentemente construído e principalmente em direção ao maciço do enrocamento de jusante da barragem principal.

Nas condições atuais, o volume de água vertido é lançado sobre o terreno natural, por onde escoar superficialmente com elevada velocidade, passando sobre uma estrada existente (Rodovia PB-224) até alcançar o leito do rio Monteiro, podendo também para maiores vazões, escoar com grande poder erosivo em direção ao maciço do enrocamento de jusante da barragem principal.

Verifica-se dessa forma a necessidade da execução de obras para adequação do extravasor da barragem a fim de torná-lo apto a veicular com segurança as vazões de projeto definidas no referido estudo hidrológico. Foram estudadas várias alternativas, chegando-se a concepção da alternativa mais viável do ponto de vista técnico-econômico e construtivo, que consiste no seguinte:

- alteamento de 1,40 m da cota das barragens principal e auxiliar;
- execução de um muro de concreto com 1,20 m de altura;
- prolongamento da altura do muro lateral direito existente de concreto do extravasor;
- execução de um muro lateral direito em alvenaria de pedra argamassada;
- execução de um dique de terra no lado direito do canal de queda, com altura suficiente para confinar a lâmina de água de projeto;

- execução de uma bacia de dissipação tipo ressalto hidráulico e de um dique de enrocamento para formação de uma lagoa para restituição das águas vertidas ao leito do rio Monteiro.

De acordo com os desenhos cadastrais o extravasor existente apresenta muros laterais em concreto armado no canal de aproximação e no extravasor com altura de 4,0 m e extensão de 87,0 m, com topo na cota 532,50 m. A partir daí as paredes laterais do canal de queda são formadas pelos taludes da escavação executada para a formação do canal de queda com altura no trecho inicial entre 1,39 m e 2,24 m, o que é insuficiente para confinar a lâmina d'água decorrente da ocorrência de cheias de maior magnitude. A crista do maciço da barragem está posicionada na cota 533,0 m, cerca de 0,50 m acima do topo dos muros do extravasor.

O canal de queda existente da barragem apresenta traçado curvilíneo e largura da seção transversal convergente, onde no trecho inicial próximo ao extravasor possui largura de 88,20 m reduzindo a largura de base para 50,0 m. A presença de curva acentuada e a redução da largura de base do canal traz associado um aumento da altura da lâmina d'água em escoamento. Isto irá requerer alturas compatíveis para os diques laterais do canal de queda quando comparado a um canal retilíneo de seção constante.

Os estudos hidráulicos são apresentados em detalhes no Volume 04 - Estudos Básicos desse projeto.

Foram estudadas soluções alternativas para tornar a barragem apta a liberar para jusante as vazões de referência de 1799,31 m<sup>3</sup> e de 2505,38 m<sup>3</sup> respectivamente, para tempos de recorrências de 1.000 e 10.000 anos, sem galgamentos do maciço das barragens.

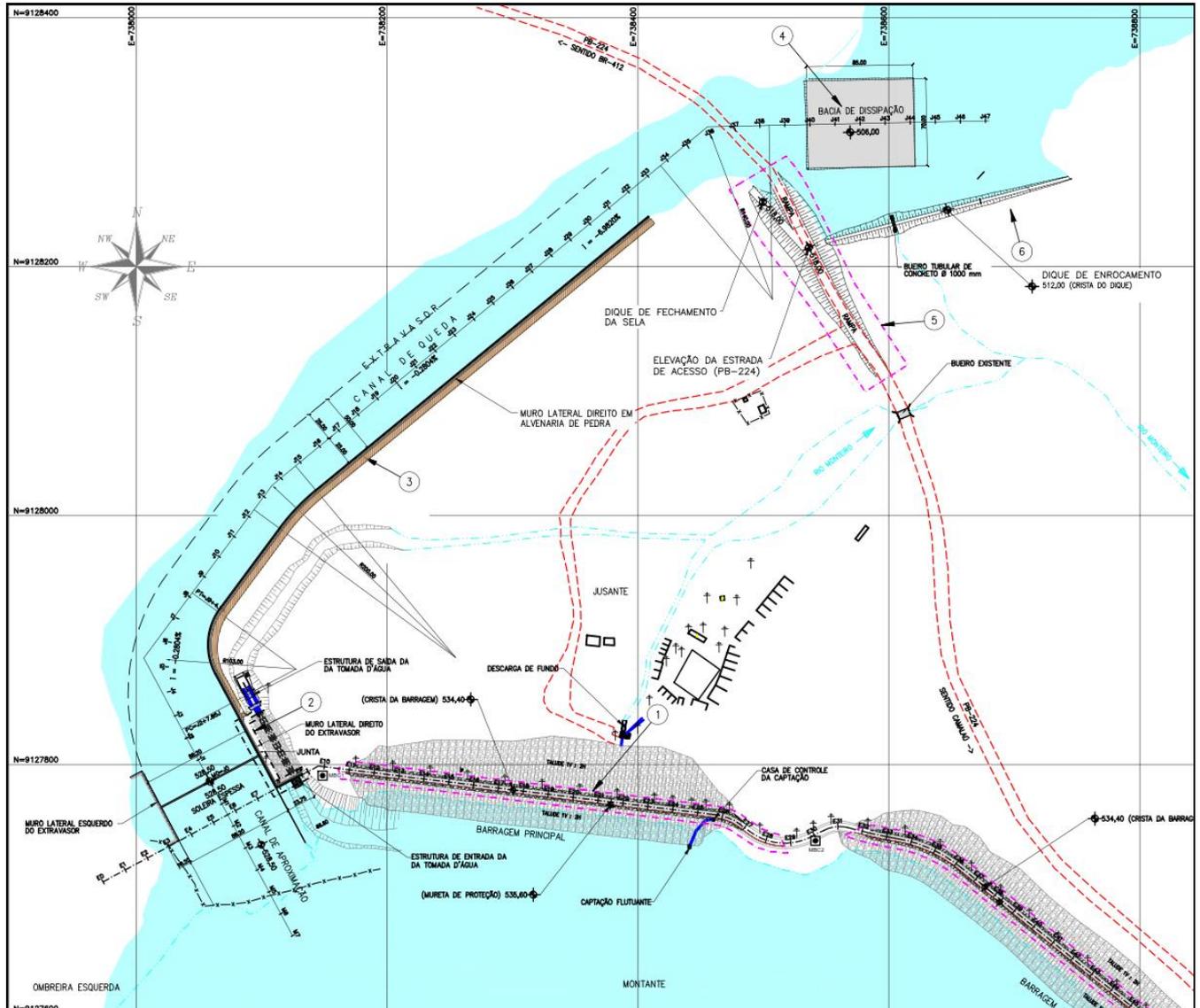
#### **4.5.1. Soluções Alternativas de Engenharia para Adequação da Barragem Existente**

##### **4.5.1.1. Alternativa 01 - Ampliação do Extravasor**

Essa alternativa consistiu em manter as barragens principal e auxiliar, com crista na cota 533,0 m, interferindo apenas no extravasor existente fazendo uma ampliação de 100,0 m de largura para a ombreira esquerda, mantendo a bacia de aproximação na cota 528,50 m, conforme concepção mostrada na Figura 4.1.



**FIGURA 4.2 - ELEVAÇÃO DA CRISTA DAS BARRAGENS PRINCIPAL E AUXILIAR E EXECUÇÃO DE MURO LATERAL DIREITO DO EXTRAVASOR EM ALVENARIA DE PEDRA**



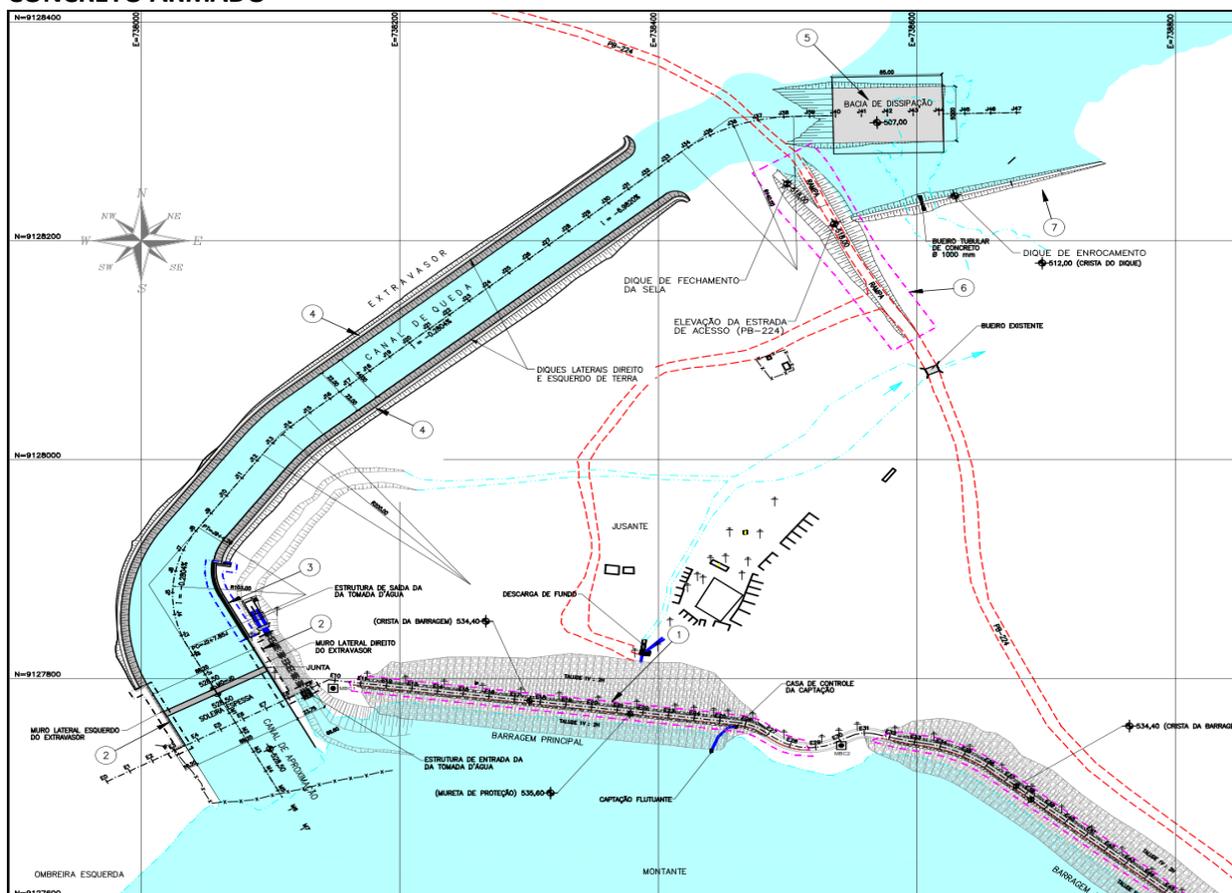
Essa alternativa foi analisada e descartada devido aos seguintes fatores:

- **Construção:** Construção difícil do muro de alvenaria de pedra com altura de 6,20 m e com extensão de 566,00 m, com volume de alvenaria da ordem de 13.000 m<sup>3</sup>;
- **Custo:** Alto, da ordem de R\$ 7.500.000,00;
- **Prazo:** Longo, estimado em 8 (oito) meses para execução das obras devido a forma artesanal de construção desse muro de alvenaria de pedra; a substituição por muro de concreto ciclópico aumentaria o custo da obra para cerca de R\$ 8.500.000,00.

### 4.5.1.3. Alternativa 03 - Elevação da Crista das Barragens Principal e Auxiliar e Execução de Diques Laterais Direito e Esquerdo de Terra Revestidos Internamente com Placas de Concreto Armado

Essa alternativa consistiu em manter a largura e cota do extravasor existente e elevar a crista das barragens principal e auxiliar em 2,60 m, através da execução de um aterro de solo compactado em camadas, com altura de 1,4 m e de um muro de concreto com 1,2 m de altura; elevar em 3,10 m o muro lateral direito no trecho existente em concreto, com 87,0 m de comprimento do canal de aproximação e do extravasor; fazer o prolongamento desse muro com um muro de alvenaria de pedra com 89,0 m de comprimento e 6,20 m de altura e executar diques laterais direito e esquerdo de terra, com taludes internos revestidos com placas de concreto armado, conforme mostrado na Figura 4.3.

**FIGURA 4.3 - ELEVÇÃO DA CRISTA DAS BARRAGENS PRINCIPAL E AUXILIAR E EXECUÇÃO DE DIQUES LATERAIS DIREITO E ESQUERDO DE TERRA COM TALUDES INTERNOS REVESTIDOS COM PLACAS DE CONCRETO ARMADO**



Essa alternativa foi analisada e descartada devido aos seguintes fatores:

- Construção: Essa alternativa apresenta melhores condições construtivas do que as alternativas anteriores; para construção dos diques de terra serão utilizados volumes significativos de materiais das escavações obrigatórias e das jazidas;
- Custo: Da ordem de R\$ 7.000.000,00, considerado alto;
- Prazo: Prazo longo para execução das obras, estimado em 8 (oito) meses.



As principais atividades para implantação dessa alternativa, considerada a mais viável do ponto de vista técnico e econômico, são descritas a seguir:

- execução de um aterro em condições controladas para elevação da crista do maciço de terra das barragens principal e auxiliar da cota 533,0 m para a cota 534,40 m;
- construção de uma mureta de concreto armado com altura de 1,20 m em toda a crista do talude de montante dessas barragens;
- elevação em 3,10 m do muro lateral direito existente do extravasor da cota atual 532,50 m para a cota 535,60 m, com comprimento de 87,0 m;
- construção do prolongamento desse muro com um muro de alvenaria de pedra com 89,0 m de comprimento e 6,20 m de altura;
- construção de um dique lateral direito de terra, zoneado, com talude interno revestido com placas de concreto armado fixado através de chumbadores, com altura de 6,20 m e comprimento de 498,0 m;
- implantação de uma bacia de dissipação, do tipo ressalto hidráulico, escavada em rochas gnáissicas, com dimensões de 70,0 m x 85,0 m, com fundo na cota 506,0 m;
- execução de um dique de enrocamento, com comprimento de 200,0 m e altura de 5,0 m para formação de um lago de restituição que auxiliará na dissipação de energia das águas extravasadas.

Com a implantação das intervenções propostas o reservatório de Camalaú estará apto a conter as cheias do rio Monteiro associadas a precipitações extremas com recorrências de até 10.000 anos, enquadrando-se nos critérios requeridos pela legislação vigente de segurança de barragens.

É apresentado a seguir o dimensionamento hidráulico do extravasor para o novo arranjo proposto para a Barragem Camalaú.

#### **4.5.2. Dimensionamento Hidráulico do Extravasor**

A presente memória tem o objetivo de apresentar o dimensionamento e a verificação do comportamento hidráulico do extravasor da Barragem Camalaú perante a ocorrência das vazões efluentes máximas previstas de 1.799,32 m<sup>3</sup>/s e 2.505,38 m<sup>3</sup>/s. Estas vazões são correspondentes à chegada dos hidrogramas de cheias milenar e decamilenar com os níveis d'água no lago posicionados nas elevações 534,19 m e 535,60 m, respectivamente.

Os estudos objetivam determinar se os diversos componentes do extravasor possuem capacidade para veicular as vazões de referência previstas com segurança.

O novo extravasor da barragem será constituído pelos seguintes componentes:

- canal de aproximação ao vertedor;
- extravasor retangular do tipo soleira espessa;
- canal de queda;
- bacia de dissipação do tipo ressalto hidráulico.

### 4.5.3. Dimensionamento do Extravador

Os dados utilizados para o dimensionamento da soleira vertente são:

- largura da soleira = 88,20 m;
- cota da soleira vertente = 528,50 m;
- cota do fundo do canal de aproximação = 528,50 m;
- vazão de projeto do extravasor ( $Q_0$ ) = 1799,32 m<sup>3</sup>/s, carga de projeto ( $H_0$ ) = 5,69 m, 1.000 anos;
- vazão máxima extravasor ( $Q_{m\acute{a}x.}$ ) = 2505,38 m<sup>3</sup>/s, carga máxima ( $H_{m\acute{a}x.}$ ) = 7,10 m, 10.000 anos.

A vazão efluente através do extravasor retangular de soleira espessa será obtida por meio de:

$$Q = C.L.H^{3/2} \quad (IV)$$

Onde:

C: coeficiente de descarga do extravasor (m<sup>1/2</sup>.s<sup>-1</sup>);

L: comprimento da soleira vertente (m);

H: carga hidráulica sobre a soleira do extravasor (m).

Em função do arranjo de implantação da soleira vertente adotou-se o coeficiente de descarga  $C = 1,50 \text{ m}^{1/2}\cdot\text{s}^{-1}$  para o vertedor.

O cálculo da vazão efluente em função da carga hidráulica sobre a soleira vertente é apresentado no Quadro 4.3 a seguir:

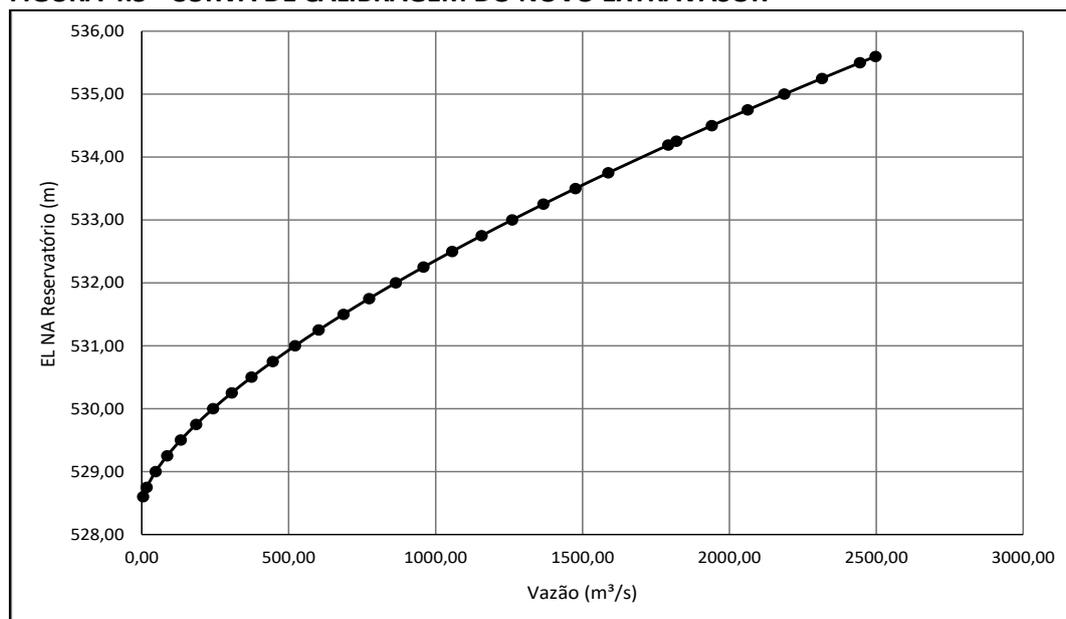
**QUADRO 4.3 - VAZÃO X CARGA HIDRÁULICA NO NOVO EXTRAVASOR**

H (m)	Largura (m)	Cota da Soleira (m)	Coeficiente Descarga (m <sup>1/2</sup> .s <sup>-1</sup> )	Vazão Efluente (m <sup>3</sup> /s)	Elevação NA Mont. (m)	Observação
0,10	88,00	528,50	1,50	4,17	528,60	
0,25	88,00	528,50	1,50	16,50	528,75	
0,50	88,00	528,50	1,50	46,67	529,00	
0,75	88,00	528,50	1,50	85,74	529,25	
1,00	88,00	528,50	1,50	132,00	529,50	
1,25	88,00	528,50	1,50	184,48	529,75	
1,50	88,00	528,50	1,50	242,50	530,00	
1,75	88,00	528,50	1,50	305,58	530,25	
2,00	88,00	528,50	1,50	373,35	530,50	
2,25	88,00	528,50	1,50	445,50	530,75	
2,50	88,00	528,50	1,50	521,78	531,00	
2,75	88,00	528,50	1,50	601,97	531,25	
3,00	88,00	528,50	1,50	685,89	531,50	
3,25	88,00	528,50	1,50	773,39	531,75	
3,50	88,00	528,50	1,50	864,32	532,00	
3,75	88,00	528,50	1,50	958,56	532,25	
4,00	88,00	528,50	1,50	1056,00	532,50	

**QUADRO 4.3 - VAZÃO X CARGA HIDRÁULICA NO NOVO EXTRAVASOR (cont.)**

H (m)	Largura (m)	Cota da Soleira (m)	Coefficiente Descarga ( $m^{1/2}.s^{-1}$ )	Vazão Efluente ( $m^3/s$ )	Elevação NA Mont. (m)	Observação
4,25	88,00	528,50	1,50	1156,53	532,75	
4,50	88,00	528,50	1,50	1260,06	533,00	
4,75	88,00	528,50	1,50	1366,51	533,25	
5,00	88,00	528,50	1,50	1475,80	533,50	
5,25	88,00	528,50	1,50	1587,86	533,75	
5,69	88,00	528,50	1,50	1791,61	534,19	Tr = 1.000 Anos
5,75	88,00	528,50	1,50	1820,02	534,25	
6,00	88,00	528,50	1,50	1940,00	534,50	
6,25	88,00	528,50	1,50	2062,50	534,75	
6,50	88,00	528,50	1,50	2187,48	535,00	
6,75	88,00	528,50	1,50	2314,89	535,25	
7,00	88,00	528,50	1,50	2444,67	535,50	
7,10	88,00	528,50	1,50	2497,25	535,60	Tr = 10.000 Anos

A curva de calibragem do extravasor expressa graficamente a relação entre a elevação do nível d'água no reservatório e a vazão efluente através do extravasor, conforme mostrado na Figura 4.5.

**FIGURA 4.5 - CURVA DE CALIBRAGEM DO NOVO EXTRAVASOR**


#### 4.5.4. Geometria do Extravasor

De acordo com o arranjo proposto para o novo extravasor da barragem, o canal de aproximação ao extravasor terá extensão de 30,0 m com seção retangular de largura 88,20 m e fundo horizontal posicionado na elevação 528,50 m, com muros laterais em concreto armado com topo na cota 535,60 m.

O canal de queda terá início logo após a cinta de amarração dos muros laterais existentes, de onde prosseguirá com declividades de 0,2804%, 6,9833% e 21,6000% até a seção de início da bacia de dissipação. Em função da necessidade de se manter a configuração atual este canal apresentará trajetória curvilínea com redução gradual da largura da base passando de 88,20 m na seção de início

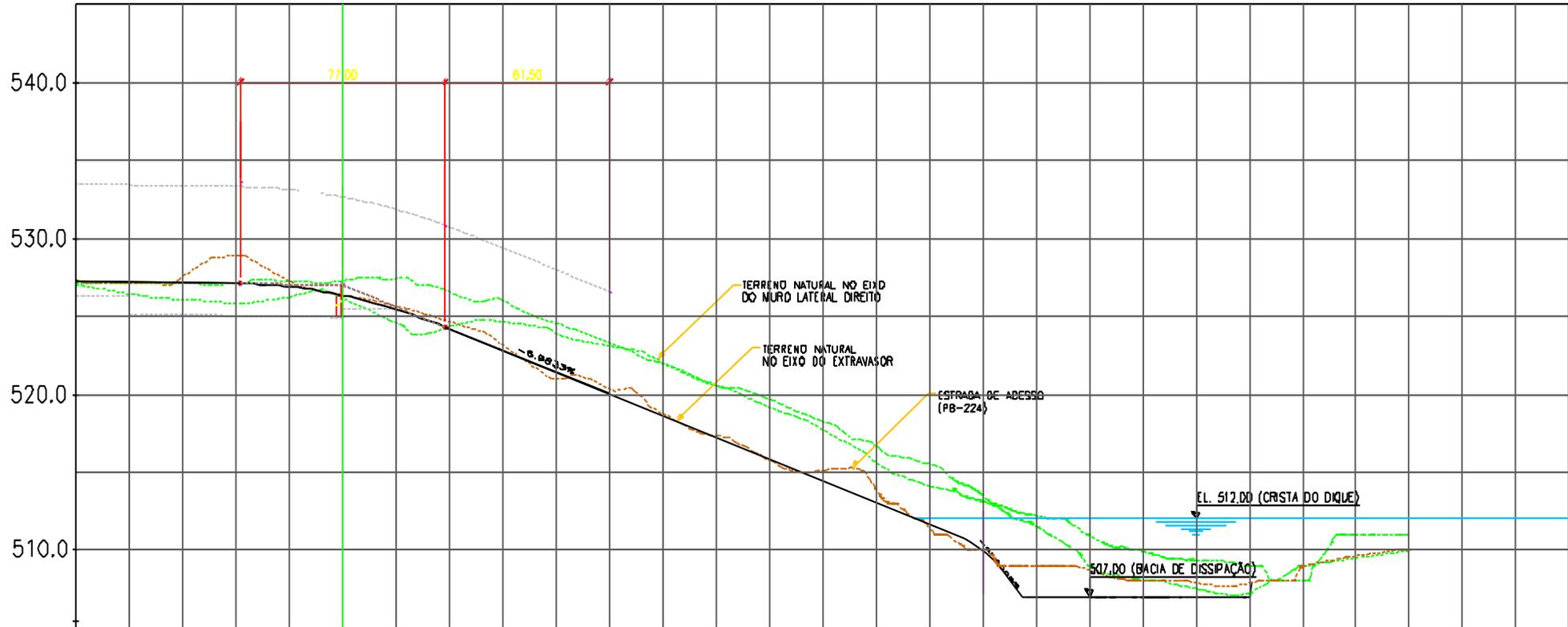
para 50,0 m. Ao longo de todo o canal de queda o regime de escoamento será do tipo supercrítico, caracterizado por reduzidas profundidades e elevadas velocidades de escoamento. A geometria da seção transversal do canal será aproximadamente trapezoidal, formada pelo dique lateral direito de terra revestido com placas de concreto armado a ser construído e pelo talude natural do terreno na ombreira esquerda.

A bacia de dissipação será do tipo ressalto hidráulico, constituída por um canal trapezoidal com fundo horizontal liso de largura de base de 70,0 m, paredes laterais escavadas em rocha e extensão total de 85,0 m. O fundo da bacia de dissipação estará posicionada na elevação 506,0 m, e para possibilitar a formação de um colchão de água no seu interior o projeto prevê a construção de um dique de enrocamento galgável, com crista na cota 512,0 m. Nos períodos de pequenas vazões esse lago não se formará, uma vez que as águas extravasadas serão drenadas através do bueiro com diâmetro de 1,0 m, instalado no ponto de cota mais baixa da base do dique de enrocamento, restituindo as águas ao leito do rio Monteiro.

A geometria do novo extravasor desde o início do canal de aproximação até o final da bacia de dissipação é ilustrada nas Figuras 4.6 e 4.7.



FIGURA 4.7 - DETALHE DO TRECHO FINAL DO CANAL DE QUEDA



#### 4.5.4.1. Perfil da Lâmina D'Água ao Longo do Canal de Queda

A determinação do perfil da lâmina d'água ao longo do canal de queda (rápido) foi realizada utilizando-se as equações do escoamento gradualmente variado em canais.

A energia total em uma seção do canal é dada por:

$$E = d \cos \alpha + \frac{V^2}{2g} + z$$

Onde:

$z$  = cota do fundo do canal (m);

$V$  = velocidade (m/s);

$d$  = profundidade (normal) do escoamento (m);

$\alpha$  = ângulo de inclinação do canal de queda (graus).

A equação da energia aplicada a duas seções adjacentes do canal de queda conduz a:

$$E_1 = E_2 + \Delta H_{f_{1-2}}$$

Onde:

$E_1$  = energia total na seção 1 - montante (m);

$E_2$  = energia total na seção 2 - jusante (m);

$\Delta H_{f_{1-2}}$  = perda de carga entre as seções 1 e 2 (m);

A perda de carga por fricção pode ser expressa como:

$$\Delta H_{f_{1-2}} = S_f \cdot \Delta x$$

Onde:

$S_f$  = declividade média da linha de energia (m/m);

$\Delta x$  = distância entre as seções 1 e 2 (m).

A declividade da linha de energia em uma seção do canal foi obtida a partir da aplicação da equação de Manning, o que conduz a:

$$S_f = \left( \frac{q \cdot n \cdot (L + 2d)^{2/3}}{L^{2/3} \cdot d^{2/3}} \right)^2$$

Onde:

$q$  = vazão específica (m<sup>3</sup>/s.m);

$L$  = largura do canal (m);

$d$  = profundidade (normal) do escoamento (m);

$n$  = coeficiente de rugosidade (m<sup>-1/3</sup>. s)

Para o presente estudo foi adotado  $n = 0,025 \text{ m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Para a integração da equação representativa do escoamento permanente gradualmente variado em canais abertos de geometria irregular foi utilizado o software "HEC RAS - River Analysis System", versão 4.1, de autoria e disponibilizado pelo U. S. Army Corps of Engineers.

Nas planilhas seguintes são apresentados os cálculos necessários à avaliação do perfil do escoamento gradualmente variado ao longo do canal de queda.

Os dados utilizados para o dimensionamento da soleira vertente são:

- largura do extravasor = 88,20 m;
- largura da bacia de dissipação = 70,0 m;
- cota do fundo do canal de aproximação = 528,50 m;
- vazão de projeto do extravasor ( $Q_o$ ) = 1799,32 m<sup>3</sup>/s, carga de projeto ( $H_o$ ) = 5,69 m, 1.000 anos;
- vazão máxima ( $Q_{m\acute{a}x.}$ ) = 2505,38 m<sup>3</sup>/s, carga máxima ( $H_{m\acute{a}x.}$ ) = 7,10 m, 10.000 anos;
- vazão de projeto da bacia de dissipação ( $Q_{100}$ ) = 1122,94 m<sup>3</sup>/s, carga de projeto ( $H_o$ ) = 4,15 m, período de recorrência de 100 anos;

As principais características do escoamento ( $T_r = 100$  anos) no final do canal de queda (início da bacia de dissipação) são discriminadas a seguir:

- vazão ( $Q_{100}$ ) = 1122,94 m<sup>3</sup>/s;
- vazão específica ( $q_{100}$ ) = 22,4588 m<sup>3</sup>/s/m;
- cota do fundo do canal = 507,00m;
- profundidade da lâmina d'água ( $d_B$ ) = 1,390 m;
- velocidade ( $V_B$ ) = 15,71 m/s;
- Energia Específica ( $EE_B$ ) = 13,98 m;
- número de Froude ( $F_B$ ) = 4,31.

Esses parâmetros serão utilizados para o dimensionamento hidráulico da bacia de dissipação. A opção pelo dimensionamento da bacia para a vazão com recorrência de 100 anos foi escolhida por estar associada a um menor custo de implantação.

As principais características do escoamento ( $T_r = 1.000$  anos) no final do canal de queda são relacionadas a seguir:

- vazão ( $Q_o$ ) = 1799,32 m<sup>3</sup>/s;
- vazão específica ( $q_o$ ) = 35,9864 m<sup>3</sup>/s/m;
- cota do fundo do canal = 507,00m;
- profundidade da lâmina d'água ( $d_B$ ) = 2,040 m;
- velocidade ( $V_B$ ) = 16,95 m/s;
- Energia Específica ( $EE_B$ ) = 16,69 m;
- número de Froude ( $F_B$ ) = 3,86.

As principais características do escoamento ( $T_r = 10.000$  anos) no final do canal de queda (início da bacia) são relacionadas a seguir:

- vazão ( $Q_{m\acute{a}x.}$ ) = 2505,38 m<sup>3</sup>/s;
- vazão específica ( $q_{M\acute{A}X.}$ ) = 50,1076 m<sup>3</sup>/s/m;
- cota de fundo do canal = 507,00 m;

- profundidade da lâmina d'água ( $d_B$ ) = 2,670 m;
- velocidade ( $V_B$ ) = 17,79 m/s;
- Energia Específica ( $EE_B$ ) = 18,81 m;
- número de Froude ( $F_B$ ) = 3,56.

**QUADRO 4.4 - CÁLCULO DO PERFIL DA LÂMINA D'ÁGUA AO LONGO DO NOVO EXTRAVASOR - TR = 100 ANOS**

Estaca			Distance	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	W.Depth	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude
			(m)		(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	
0	+	5,00	0,00	100	1122,94	528,50	531,04	2,54	5,01	223,98	88,20	1,00
2	+	0,00	35,00	99	1122,94	528,40	530,87	2,47	5,14	218,37	89,67	1,05
4	+	0,00	40,00	98	1122,94	528,29	531,00	2,71	5,16	217,72	80,35	1,00
6	+	0,00	40,00	97	1122,94	528,18	531,22	3,04	5,38	208,73	71,25	1,00
8	+	0,00	40,00	96	1122,94	528,07	531,33	3,26	5,54	202,82	64,99	1,00
10	+	0,00	40,00	95	1122,94	527,96	531,63	3,67	5,88	191,09	54,77	1,00
12	+	0,00	40,00	94	1122,94	527,84	530,99	3,15	6,47	173,43	59,48	1,21
14	+	0,00	40,00	93	1122,94	527,73	530,67	2,94	6,50	172,77	69,69	1,32
16	+	0,00	40,00	92	1122,94	527,62	531,19	3,57	5,22	215,18	77,68	1,00
18	+	0,00	40,00	91	1122,94	527,51	531,21	3,70	5,09	220,45	83,60	1,00
20	+	0,00	40,00	90	1122,94	527,40	530,53	3,13	5,82	192,93	81,39	1,20
22	+	0,00	40,00	89	1122,94	527,28	530,05	2,77	6,10	184,11	78,96	1,28
24	+	0,00	40,00	88	1122,94	527,04	530,39	3,35	5,28	212,72	74,88	1,00
26	+	0,00	40,00	87	1122,94	526,91	530,46	3,55	5,46	205,48	67,52	1,00
27	+	0,00	20,00	86	1122,94	526,35	529,16	2,81	7,12	157,73	62,27	1,43
28	+	0,00	20,00	85	1122,94	525,46	528,23	2,77	7,96	141,06	55,43	1,59
30	+	0,00	40,00	84	1122,94	522,81	524,96	2,15	10,43	107,62	50,22	2,28
32	+	0,00	40,00	83	1122,94	520,02	521,92	1,90	11,81	95,06	50,19	2,74
34	+	0,00	40,00	82	1122,94	517,23	520,51	3,28	11,68	96,17	49,04	2,66
36	+	0,00	40,00	81	1122,94	514,88	518,22	3,34	12,19	92,14	53,45	2,96
38	+	0,00	40,00	80	1122,94	511,02	514,34	3,32	13,48	83,33	49,02	3,30
39	+	0,00	20,00	79	1122,94	509,36	512,72	3,36	13,79	81,46	46,64	3,33
39	+	15,00	15,00	78	1122,94	507,00	508,39	1,39	15,71	71,46	52,78	4,31

**QUADRO 4.5 - CÁLCULO DO PERFIL DA LÂMINA D'ÁGUA AO LONGO DO NOVO EXTRAVASOR - TR = 1000 ANOS**

Estaca			Distance	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	W.Depth	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude
			(m)		(m³/s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m²)	(m)	
0	+	5,00	0,00	100	1799,32	528,50	531,98	3,48	5,86	307,25	88,20	1,00
2	+	0,00	35,00	99	1799,32	528,40	531,69	3,29	6,15	292,39	90,73	1,09
4	+	0,00	40,00	98	1799,32	528,29	532,01	3,72	6,03	298,26	80,46	1,00
6	+	0,00	40,00	97	1799,32	528,18	532,38	4,20	6,10	294,97	78,44	1,00
8	+	0,00	40,00	96	1799,32	528,07	532,49	4,42	6,44	279,18	66,12	1,00
10	+	0,00	40,00	95	1799,32	527,96	532,97	5,01	6,74	266,77	57,87	1,00
12	+	0,00	40,00	94	1799,32	527,84	531,97	4,13	7,71	233,34	63,02	1,28
14	+	0,00	40,00	93	1799,32	527,73	531,40	3,67	7,97	225,74	74,39	1,46
16	+	0,00	40,00	92	1799,32	527,62	532,26	4,64	5,99	300,43	82,57	1,00
18	+	0,00	40,00	91	1799,32	527,51	532,21	4,70	5,88	308,27	91,27	0,99
20	+	0,00	40,00	90	1799,32	527,40	531,40	4,00	6,74	269,92	92,55	1,22
22	+	0,00	40,00	89	1799,32	527,28	530,99	3,71	6,90	260,72	84,54	1,25
24	+	0,00	40,00	88	1799,32	527,04	531,50	4,46	6,01	299,59	81,71	1,00
26	+	0,00	40,00	87	1799,32	526,91	531,67	4,76	6,16	292,19	75,90	1,00
27	+	0,00	20,00	86	1799,32	526,35	530,27	3,92	7,80	230,68	70,06	1,37
28	+	0,00	20,00	85	1799,32	525,46	529,42	3,96	8,52	211,17	62,01	1,47
30	+	0,00	40,00	84	1799,32	522,81	526,04	3,23	11,11	162,00	50,33	1,98
32	+	0,00	40,00	83	1799,32	520,02	522,82	2,80	12,81	140,49	50,28	2,45
34	+	0,00	40,00	82	1799,32	517,23	521,31	4,08	12,99	138,56	57,38	2,67
36	+	0,00	40,00	81	1799,32	514,88	518,92	4,04	13,57	132,59	63,30	2,99
38	+	0,00	40,00	80	1799,32	511,02	515,05	4,03	14,78	121,73	60,37	3,32
39	+	0,00	20,00	79	1799,32	509,36	513,43	4,07	15,07	119,42	61,71	3,46
39	+	15,00	15,00	78	1799,32	507,00	509,04	2,04	16,95	106,15	54,08	3,86

**QUADRO 4.6 - CÁLCULO DO PERFIL DA LÂMINA D'ÁGUA AO LONGO DO NOVO EXTRAVASOR - TR = 10000 ANOS**

Estaca			Distance	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	W.Depth	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude
			(m)		(m³/s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m²)	(m)	
0	+	5,00	0,00	100	2505,38	528,50	532,84	4,34	6,54	383,15	88,20	1,00
2	+	0,00	35,00	99	2505,38	528,40	532,42	4,02	6,98	358,94	91,19	1,12
4	+	0,00	40,00	98	2505,38	528,29	532,91	4,62	6,75	371,32	80,55	1,00
6	+	0,00	40,00	97	2505,38	528,18	533,39	5,21	6,64	377,39	84,74	1,00
8	+	0,00	40,00	96	2505,38	528,07	533,57	5,50	7,13	351,31	67,97	1,00
10	+	0,00	40,00	95	2505,38	527,96	534,17	6,21	7,41	337,90	60,67	1,00
12	+	0,00	40,00	94	2505,38	527,84	532,83	4,99	8,66	289,40	66,16	1,32
14	+	0,00	40,00	93	2505,38	527,73	532,07	4,34	9,08	276,30	76,62	1,51
16	+	0,00	40,00	92	2505,38	527,62	532,51	4,89	7,82	320,55	84,09	1,28
18	+	0,00	40,00	91	2505,38	527,51	533,13	5,62	6,47	395,29	96,56	0,97
20	+	0,00	40,00	90	2505,38	527,40	532,16	4,76	7,48	342,51	96,87	1,21
22	+	0,00	40,00	89	2505,38	527,28	531,84	4,56	7,52	333,00	84,54	1,21
24	+	0,00	40,00	88	2505,38	527,04	532,41	5,37	6,66	375,97	83,63	1,00
26	+	0,00	40,00	87	2505,38	526,91	532,69	5,78	6,71	373,59	82,62	1,01
27	+	0,00	20,00	86	2505,38	526,35	531,23	4,88	8,31	301,33	76,73	1,34
28	+	0,00	20,00	85	2505,38	525,46	530,51	5,05	8,89	281,71	68,00	1,40
30	+	0,00	40,00	84	2505,38	522,81	527,05	4,24	11,51	217,69	58,85	1,91
32	+	0,00	40,00	83	2505,38	520,02	523,76	3,74	13,30	188,42	53,20	2,26
34	+	0,00	40,00	82	2505,38	517,23	522,03	4,80	13,74	182,41	64,30	2,60
36	+	0,00	40,00	81	2505,38	514,88	519,52	4,64	14,44	173,48	71,06	2,95
38	+	0,00	40,00	80	2505,38	511,02	515,62	4,60	15,67	159,89	70,76	3,33
39	+	0,00	20,00	79	2505,38	509,36	513,98	4,62	15,97	156,83	70,92	3,43
39	+	15,00	15,00	78	2505,38	507,00	509,67	2,67	17,79	140,84	55,35	3,56

**4.5.4.2. Dimensionamento Hidráulico da Bacia de Dissipação**

Para dissipar a energia do escoamento no pé do novo extravasor da barragem e promover, com isso, um retorno tranquilo das águas ao leito do canal de restituição foi implantada uma bacia de dissipação do tipo ressalto hidráulico.

A seguir são apresentados os parâmetros e critérios de cálculo utilizados para a avaliação do comportamento hidráulico desta bacia de dissipação.

Uma vez conhecidas as características do escoamento no início da bacia ( $y_1$ ,  $V_1$ ,  $F_1$ ,  $EE_1$ ) a profundidade conjugada do ressalto ( $y_2$ ) em um canal retangular é dada por:

$$y_2/y_1 = \frac{1}{2} [(1+8F_1^2)^{0,5} - 1]$$

A perda de energia no ressalto é igual à diferença entre as energias específicas do escoamento antes e depois do ressalto, e pode ser calculada através de:

$$\Delta E = EE_1 - EE_2 = (y_2 - y_1)^2 / (4y_1 \cdot y_2)$$

Onde:

$\Delta E$  é a perda de energia no ressalto hidráulico (m);

$y_1$  e  $y_2$  são as profundidades da lâmina d'água antes e depois do ressalto (m).

A relação  $\Delta E/EE_1$  é a perda relativa. A eficiência do ressalto hidráulico é dada pela relação entre a energia específica depois e antes do ressalto ( $EE_2/EE_1$ ).

Para a bacia em estudo a extensão do ressalto ( $L/y_2$ ) em função de  $F_1$  é obtida através da Figura 12 da publicação *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators*, do U. S. Bureau of Reclamation, A. J. Peterka.

Conforme calculado no estudo de determinação do perfil da lâmina d'água ao longo do canal de queda, as principais características do escoamento no final do canal de queda (= início da bacia de dissipação) para a vazão com recorrência de 100 anos são:

- vazão ( $Q_{100}$ ) = 1122,94 m<sup>3</sup>/s;
- vazão específica ( $q_{100}$ ) = 22,4588 m<sup>3</sup>/s/m;
- profundidade da lâmina d'água ( $d_B$ ) = 1,39 m;
- velocidade ( $V_B$ ) = 15,71 m/s;
- Energia Específica ( $EE_B$ ) = 13,98 m;
- número de Froude ( $F_B$ ) = 4,31.

O Quadro 4.7 apresenta os cálculos realizados para a verificação das características do escoamento na bacia de dissipação proposta para a vazão de projeto com recorrência de 100 anos.

**QUADRO 4.7 - CARACTERÍSTICAS DO RESSALTO HIDRÁULICO PARA A VAZÃO COM RECORRÊNCIA DE 100 ANOS**

Tr	Q (m <sup>3</sup> /s)	EE <sub>1</sub> (m)	y <sub>1</sub> (m)	V <sub>1</sub> (m/s)	F <sub>1</sub>	y <sub>2</sub> (m)	V <sub>2</sub> (m/s)	F <sub>2</sub>	L/y <sub>2</sub> (Fig. 12)	L <sub>res.</sub> (m)
100	1122.94	13.98	1.39	15.71	4.31	7.81	2.88	0,33	5.90	46.0

Os cálculos anteriores foram realizados considerando uma bacia de dissipação retangular com fundo horizontal posicionado na elevação 506,00 m e base de 70,00 m. Neste contexto, no caso da ocorrência da vazão com recorrência de 100 anos de 1122,94 m<sup>3</sup>/s o escoamento na entrada da bacia teria profundidade  $y_1$  de 1,39 m, velocidade de 15,71 m/s e número de Froude 4,31. O ressalto hidráulico resultante teria altura conjugada  $y_2$  de 7,81 m e extensão aproximada de 85,00 m.

No caso do arranjo proposto para o novo extravasor da Barragem Camalaú seria construído um dique de enrocamento a jusante com crista na elevação 512,00 m (“elevação do tail water”) que proporcionará a formação de um reservatório a jusante do canal de queda com fundo posicionado na cota 506,00 m. O elevado volume de água contido no interior deste reservatório de jusante proporcionará a efetiva dissipação da energia residual do escoamento no final do novo extravasor da barragem.

#### 4.5.4.3. Verificação da Bacia de Dissipação para as Vazões Extremas

O Quadro 4.8 apresenta os cálculos realizados para a verificação do funcionamento hidráulico da bacia de dissipação para as vazões efluentes com recorrências milenar e decamilenar.

**QUADRO 4.8 - CARACTERÍSTICAS DO RESSALTO HIDRÁULICO PARA AS VAZÕES MILENAR E DECAMILENAR**

Tr	Q (m <sup>3</sup> /s)	EE <sub>1</sub> (m)	y <sub>1</sub> (m)	V <sub>1</sub> (m/s)	F <sub>1</sub>	y <sub>2</sub> (m)	V <sub>2</sub> (m/s)	F <sub>2</sub>	L <sub>res.</sub> (m)
1000	1799.32	16.69	2,04	16.95	3.86	10.16	3.54	0,35	62,0
10000	2505.38	18.81	2.67	17.79	3.56	12.17	4.12	0,38	73.0

Em função dos resultados obtidos, verifica-se que no caso da ocorrência da vazão milenar de 1799,32 m<sup>3</sup>/s o escoamento na entrada da bacia teria profundidade y<sub>1</sub> de 2,04 m, velocidade de 16,95 m/s e número de Froude 3,86. O ressalto hidráulico resultante teria altura conjugada y<sub>2</sub> de 10,16m e extensão aproximada de 62m.

Para o caso da ocorrência da vazão demilenar de 2505,38 m<sup>3</sup>/s o escoamento na entrada da bacia teria profundidade y<sub>1</sub> de 2,67 m, velocidade de 17,79 m/s e número de Froude 3,56. O ressalto hidráulico resultante teria altura conjugada y<sub>2</sub> de 12,17 m e extensão aproximada de 73,00 m.

Conforme mencionado anteriormente, esses resultados são validos para uma bacia de dissipação retangular de fundo horizontal na cota 506,00 m e largura de 70,00 m. No caso em estudo as condições são mais favoráveis, pois o reservatório receptor a jusante terá seção irregular com profundidade de 5,00 m, base horizontal de 70,00 m e topo com largura variando entre 100,00 m e 280,00 m. Este colchão d'água de jusante proporcionará o espraiamento do volume de água efluente à Barragem Camalaú.

#### 4.5.4.4. Determinação da Altura dos Muros do Canal de Queda

A altura dos muros do canal de queda foi definida para a cheia de recorrência milenar, conforme mostrado a seguir.

O efeito do aumento da lâmina d'água resultante da incorporação de ar ao longo do canal de queda é dado por:

$$h_{Ar} = \beta \cdot h_w$$

Onde:

h<sub>Ar</sub> = altura incremental de ar (m);

h<sub>w</sub> = altura da lâmina d'água (m);

β = coeficiente adimensional.

O coeficiente β pode ser obtido através de:

$$\beta = 0,09 \cdot Fr \quad (\text{equação de Sharma})$$

Onde:

Fr é o número de Froude do escoamento na seção considerada.

Foi admitida uma folga mínima de 60 cm em relação à profundidade da lâmina aerada. A altura mínima do muro determinada por esta metodologia é dada por:

$$H_t = h_w + h_{Ar} + 0,60$$

O U.S. Bureau of Reclamation, em "Design of Small Dams", recomenda para a determinação da borda livre (Freeboard) ao longo do canal de queda liso o emprego da seguinte equação, a qual já considera a incorporação de ar:

$$F_b = 2,0 + 0,025 \cdot V \cdot \sqrt[3]{d}$$

Onde:

$F_b$  = borda livre (ft);

$V$  = velocidade do escoamento na seção considerada (ft/s);

$d$  = altura da lâmina d'água na seção considerada (ft).

A altura mínima do muro resultante foi obtida através de:

$$h'_t = h_w + F_b$$

Os cálculos necessários à determinação da altura mínima dos muros foram realizados com base nas duas metodologias apresentadas aplicadas às seções localizadas no início e no final de cada trecho do canal de queda, conforme Quadros 4.9 e 4.10 a seguir:

**QUADRO 4.9 - CÁLCULO DA ALTURA DOS MUROS DO CANAL DE QUEDA - CRITÉRIO USBR**

Estaca	V (m/s)	d (m)	V (ft/s)	d (ft)	Fb (ft)	Fb (m)	Altura mín. (m)
0 + 5,00	5,86	3,48	19,23	11,42	3,08	0,94	4,42
27 + 0,00	7,80	3,92	25,59	12,86	3,50	1,07	4,99
39 + 0,00	15,07	4,07	49,44	13,35	4,93	1,50	5,57
39 + 15,00	16,95	2,04	55,61	6,69	4,62	1,41	3,45

**QUADRO 4.10 - CÁLCULO DA ALTURA DOS MUROS DO CANAL DE QUEDA - CRITÉRIO INCORPORAÇÃO DE AR**

Estaca	F	$h_w$ (m)	$\alpha$	$h_{Ar}$ (m)	Folga (m)	Fb (m)	Altura mín. (m)
0 + 5,00	1,00	3,48	0,09	0,31	0,60	0,91	4,39
27 + 0,00	1,37	3,92	0,12	0,48	0,60	1,08	5,00
39 + 0,00	3,46	4,07	0,31	1,27	0,60	1,87	5,94
39 + 15,00	3,86	2,04	0,35	0,71	0,60	1,31	3,35

Conforme pode ser visto nas planilhas acima, os dois critérios resultaram em valores muito próximos para a altura mínima dos muros do canal de queda, da ordem de 5,0 m para o primeiro trecho, 6,0 m para o segundo e 3,50 m para o terceiro.

Entretanto, devido ao formato convergente e trajetória curvilínea do primeiro trecho do canal de queda recomenda-se uma folga adicional para a altura dos muros laterais de modo a contemplar a elevação da lâmina d'água resultante do estreitamento da seção de escoamento. Assim, para atender à condição de projeto (cheia milenar), recomenda-se que os muros do canal de queda da Barragem Camalaú tenham altura mínima de 6,20 m em toda a sua extensão.

Os resultados obtidos mostram também que em toda a extensão do extravasor proposto o volume de água efluente ao reservatório resultante da vazão decamilenar estaria contido pelos muros laterais da barragem e taludes do terreno natural.

#### 4.6. PESQUISA DE JAZIDAS/ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Para implantação das soluções projetadas para recuperação da barragem foram pesquisadas jazidas de materiais naturais (solos, areias e rochas) nas proximidades da obra, com características que atendessem as especificações e com volumes suficientes. No Des. 02.20-BAR-CAMALAU-GER-001 no

Volume II é apresentada a planta de locação dessas jazidas com as respectivas distâncias de transporte.

#### **4.6.1. Jazidas de Solos**

Foram pesquisadas jazidas de solos tendo-se identificado ocorrências de areias argilo siltosas com pedregulhos com características adequadas para utilização nos aterros compactados previstos para alteamento da crista da barragem e na Zona 01 do dique lateral direito de terra, conforme desenhos do projeto de recuperação da barragem. As jazidas de solos JS-01 - Manezinho 01 e JS-02 Manezinho 02 estão localizadas na Rodovia BR-242, respectivamente a 6,15 km e 12,85 km da barragem.

#### **4.6.2. Jazida de Areia**

A jazida de areia denominada JA-01 está localizada na Rodovia PB-196 a 14,6 km do eixo da barragem apresentando boas características geotécnicas e volume suficiente.

#### **4.6.3. Jazidas de Materiais Pétreos**

Os materiais pétreos para utilização nas obras de recuperação da barragem, principalmente no alteamento do muro lateral direito do extravasor de alvenaria de pedra, no muro de alvenaria de pedra, nos enrocamentos de proteção dos taludes de montante e jusante devido ao alteamento das barragens principal e auxiliar, nos revestimentos da crista das referidas barragens, nas Zonas 02 e 03 do dique lateral direito do canal de queda e no maciço do dique de enrocamento do lago de restituição, serão provenientes das escavações obrigatórias da bacia de dissipação. Uma alternativa seria a exploração complementar da jazida de pedra JP-01, localizada na Rodovia PB-196, a cerca de 13,8 km do eixo da barragem, conforme mostrado no Des. 02.20-BAR-CAMALAU-GER-001.

#### **4.6.4. Coletas de Amostras/Ensaio de Laboratório**

Foram coletadas amostras representativas das jazidas de solos (areias argilo siltosas com pedregulhos) e de areias para realização de ensaios de caracterização, compactação e permeabilidade no Laboratório Central da GEOTECHNIQUE situado em Salvador.

Os resultados dos ensaios de laboratório realizados nessas amostras são apresentados no Quadro 4.11, que comprovam a adequabilidade geotécnica desses materiais para uso nos aterros compactados projetados, das barragens principal e auxiliar e do dique lateral direito de terra do canal de queda.

### QUADRO 4.11 - RESULTAODS DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO REALIZADOS

RESUMO DOS RESULTADOS DE ENSAIOS DE LABORATÓRIO																														
CLIENTE: GOVERNO DO ESTADO DA PARAIBA OBRA/ LOCAL: BARRAGEM CAMALAU / CAMALAU - PB														DATA:24/08/2020																
AMOSTRA	DATA	PROCEDÊNCIA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	LOCAL DE UTILIZAÇÃO	CARACTERIZAÇÃO													CLASS.	COMPACTAÇÃO			CBR (%)	PERMEABILIDADE (cm/seg)	DENSIDADE (kN/m³)						
					LIMITES (%)			GRANULOMETRIA (% QUE PASSA)											IG	HRB	SUCS			Energia	γd máx (kN/m³)	Wet (%)	VALOR	EXP.	MAX.	MIN.
					WL	WP	IP	3"	2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	16	40	200													
0039/2020	11/08/20	JS-01 (JAZIDA MANEZINHO)	Areia Argilo Silteosa com Pedregulho	-	32	19	13	100	100	100	100	99	96	94	82	50	4	A-6 CL	PN	18,10	13,47	-	-	5,48E-07	-	-				
0040/2020	11/08/20	JS-02 (JAZIDA MANEZINHO)	Areia Argilo Silteosa	-	31	21	10	100	100	99	98	96	91	81	75	56	31	-	A-2.4 -	PN	19,1	11,32	-	-	-	-	-			
Observação: * Densidade Máxima # Densidade Mínima																														

#### 4.7. ANÁLISES DE ESTABILIDADE

##### 4.7.1. Maciço da Barragem

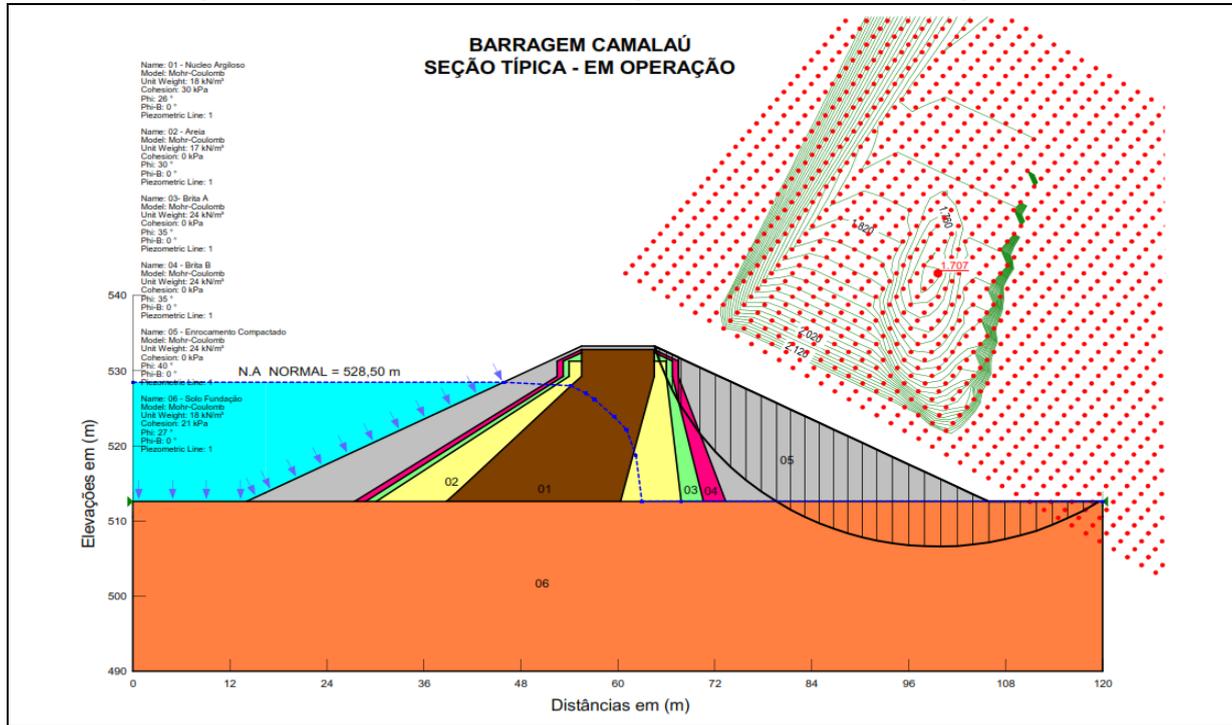
Foram realizadas análises de estabilidade utilizando-se seções críticas levantadas topograficamente da barragem principal, considerando a seção original (crista na cota 533,0 m) e a seção com o alteamento proposto de 1,40 m (crista na cota 534,40 m).

As análises de estabilidade foram realizadas utilizando-se o programa Slope/W pelo Método de Bishop, simulando a barragem em operação com o NA máximo normal na cota 528,50 m e rebaixamento rápido do nível d'água da bacia de acumulação.

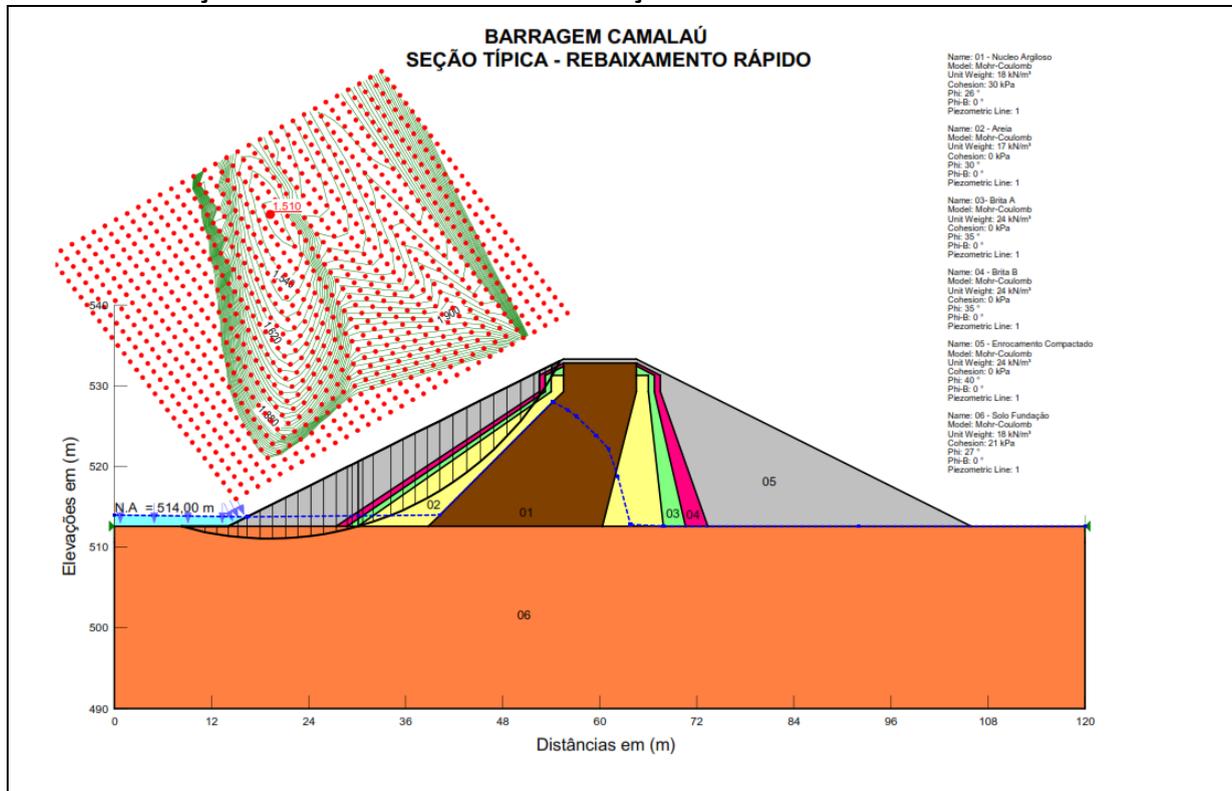
Do estudo comparativo entre os fatores de segurança da barragem existente com a barragem com a crista elevada em 1,40 m, nas mesmas condições de operação e de rebaixamento rápido, constatou-se que não houve alteração nos fatores de segurança, obtendo-se para a condição de operação da barragem com o NA na cota 528,50 m um fator de segurança do talude de jusante de 1,707 e para a condição de rebaixamento rápido fator de segurança de 1,510 que atendem plenamente as recomendações brasileiras.

As Figuras 4.8 a 4.11 mostram as referidas análises de estabilidade nas seções críticas da barragem existente e após o alteamento considerando as condições de operação e de rebaixamento rápido do NA de montante.

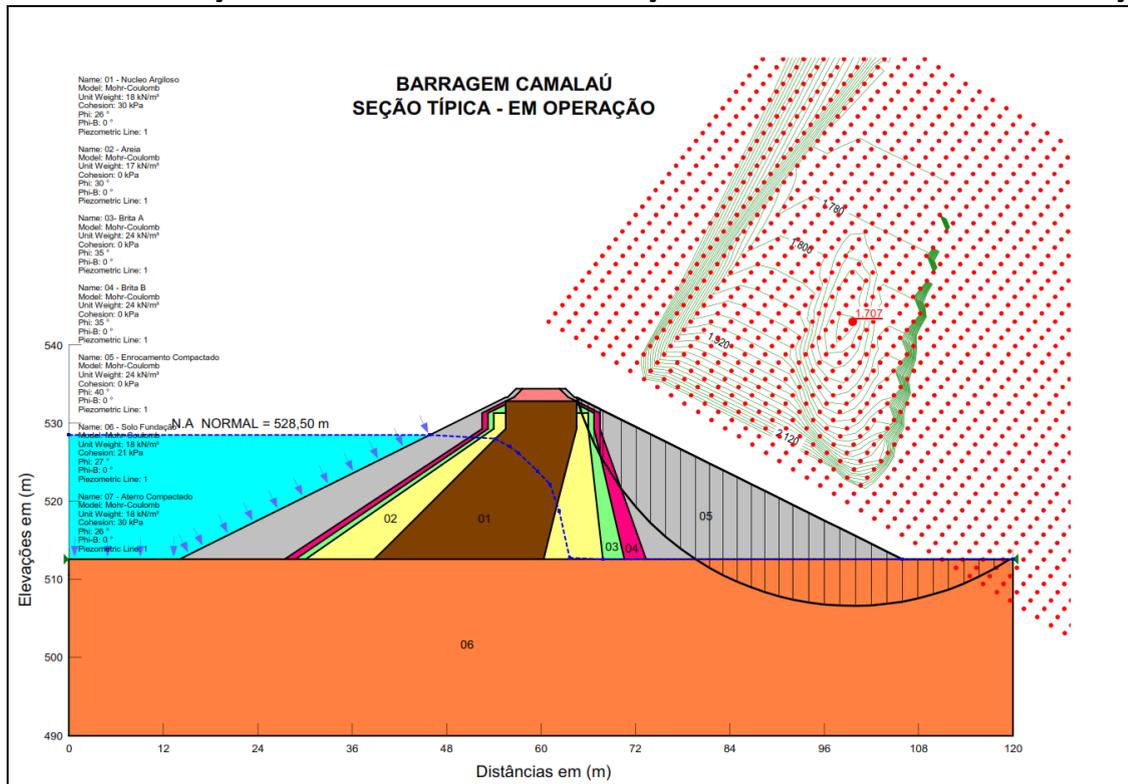
**FIGURA 4.8 - SEÇÕES CRÍTICAS ANALISADAS - MACIÇO EXISTENTE - EM OPERAÇÃO**



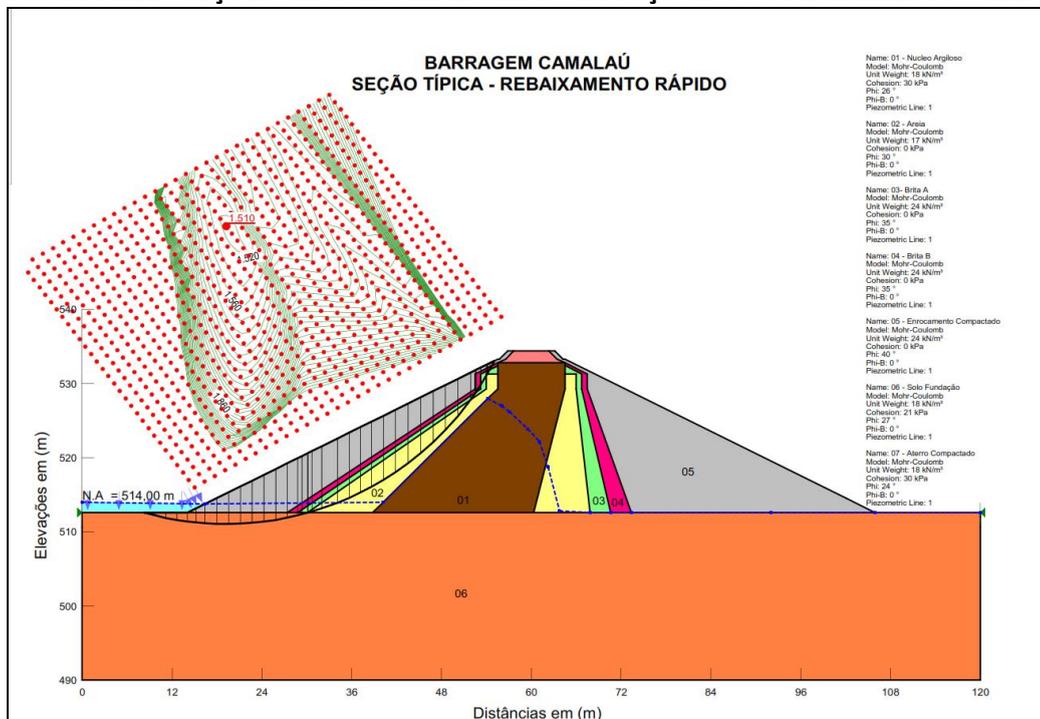
**FIGURA 4.9 - SEÇÕES CRÍTICAS ANALISADAS - MACIÇO EXISTENTE - REBAIXAMENTO RÁPIDO**



**FIGURA 4.10 - SEÇÕES CRÍTICAS ANALISADAS - MACIÇO APÓS O ALTEAMENTO - EM OPERAÇÃO**



**FIGURA 4.11 - SEÇÕES CRÍTICAS ANALISADAS - MACIÇO APÓS O ALTEAMENTO - REBAIXAMENTO RÁPIDO**



**4.7.2. Muro Lateral Direito do Extravisor**

São apresentadas a seguir as análises de estabilidade do muro lateral direito do extravisor em alvenaria de pedra com altura de 6,20 m, considerando o carregamento máximo imposto devido a coluna d'água correspondente a um tempo de recorrência de TR = 10000 anos.

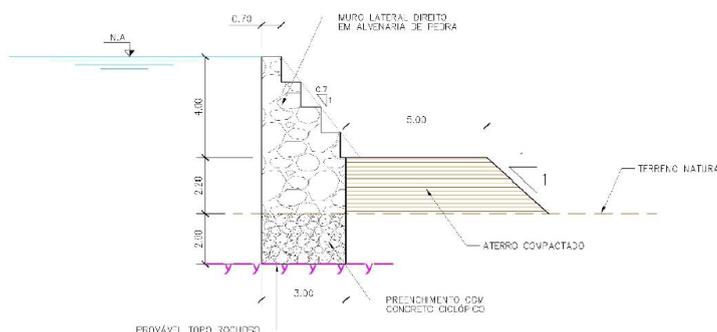
Da análise de estabilidade apresentada a seguir considerando as condições críticas, obteve-se fatores de segurança superiores aos exigidos pelas normas, ou seja: deslizamento fator de segurança de 2,6 (superior ao mínimo de 1) e ao tombamento de 1,51 (superior ao mínimo de 1,5), demonstrando a estabilidade desse muro.

## ANÁLISE DE ESTABILIDADE

### BARRAGEM CAMALAU

#### VERIFICAÇÃO DO MURO LATERAL DIREITO

#### 1ª ETAPA - GEOMETRIA



#### DADOS DE ENTRADA

Cota altimétrica da fundação (montante)	Cfm = 0,00 m
Cota altimétrica da fundação (jusante)	cfj = 0,00 m
Cota altimétrica do coroamento	cc = 6,20 m
Cota altimétrica do maciço de terra	ct = 2,20 m
Inclinação de jusante	n = 0,70 m

#### RESULTADOS

Altura da Barragem - Jusante	H = 6,20 m
Altura da Barragem - Montante	Hm = 6,20 m
Altura do Maciço de Terra	Hmt = 2,20 m
Desnível fundação montante / jusante	h'm = 0,00 m
Largura da base	B = 3,00 m

#### 2ª ETAPA - AÇÕES

#### DADOS DE ENTRADA

Peso específico do concreto	$\gamma_c = 24,00 \text{ kN/m}^3$
Peso específico da água	$\gamma_a = 10,00 \text{ kN/m}^3$
Peso específico do solo	$\gamma_s = 19,00 \text{ kN/m}^3$
Peso específico do solo submerso	$\gamma_{sub} = 9,00 \text{ kN/m}^3$
Coesão Solo	c = 10 kPa
Ângulo de Atrito Solo	$\phi = 25^\circ$
Ko	ko = 0,50
Cota NA de montante normal	CmN = 6,20 m
Cota NA de jusante normal	CjN = 0,00 m
Altura de água normal a montante	HN = 6,20 m
Altura de água normal a jusante	hN = 0,00 m

#### PESO ESPECÍFICO

ÁREAS		PESO (G)	Distância X0	Momento M0g
IDENT.	VALOR (m²)	kN/m	m	kN.m/m
A1	6,66	159,84	1,50	239,76
A2	6,94	166,56	2,07	344,22
TOTAL		326,40		583,98

**EMPUXO DE ÁGUA**

**NA NORMAL**

Enm = 192,20 kN/m  
 M0nM = 397,21 kN/m

**EMPUXO DE SOLO**

**NA NORMAL**

Esm = 22,99 kN/m  
 M0sM = 16,86 kN/m

**RESUMO DAS CARGAS**

**CARGAS VERTICAIS**

	CCN
PESO PRÓPRIO	326,40
TOTAL	326,40

**CARGAS HORIZONTAIS**

	CCN
EMPUXO DE ÁGUA	192,20
EMPUXO DE SOLO	22,99
TOTAL	169,21

**MOMENTOS NO PONTO O**

	CCN
MOMENTO RESISTENTE	
Peso Próprio	583,98
Empuxo de Solo	16,86
Total	600,84

	CCN
MOMENTO SOLICITANTE	
Empuxo de Água	397,21
Total	397,21
TOTAL	203,63

**3ª ETAPA - ESTABILIDADE AO DESLIZAMENTO**

$F_{resist} = c \cdot B / \gamma_c + \Sigma v \cdot \tan(\Phi) / \gamma_\Phi$

F solic = somatório das forças horizontais que provocam deslizamento

$\gamma_c$  = coeficiente de minoração da coesão

$\gamma_\Phi$  = coeficiente de minoração do atrito

Coeficiente de Segurança ao Deslizamento:  $CSD = F_{resist} / F_{solic} > 1$

**DADOS DE ENTRADA**

Coesão - c	230,00	kN/m <sup>2</sup>
Ângulo de Atrito da Rocha - $\Phi$	44,00	°
Coeficiente de Atrito da Rocha de Fundação - $\tan(\Phi)$	0,97	

**RESULTADOS**

	CCN
$\Sigma V$ (kN/m)	326,40
B (m)	3,00
$\gamma c$	3,00
c.B'/ $\gamma c$ (kN/m)	230,00
$\gamma \Phi$	1,50
$\Sigma v.tg(\Phi)/\gamma \Phi$ (Kn/m)	210,13
F resist (kN/m)	440,13
F solic (kN/m)	169,21
CSD min	1,00
CSD	2,60
CSD > CSDmin (?)	OK

**4ª ETAPA - ESTABILIDADE AO TOMBAMENTO****RESULTADOS**

	CCN
Momento Resistente (kN.m/m)	600,84
Momento Solicitante (kN.m/m)	397,21
CST min	1,50
CST = Mres / Msol	1,51
CST > CSTmin (?)	OK

**4.8. DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS ESTRUTURAS**

As obras que compõem o Projeto de Recuperação da Barragem Camalaú são mostradas em detalhes nos desenhos que constam do Volume 02.

O arranjo das obras é apresentado no Des. 02.20-BAR-CAMALAU-CIV-001 e as seções transversais e os detalhes construtivos nos Des. 02.20-BAR-CAMALAU-CIV-001, 002 e 003.

**4.8.1. Maciço de Terra das Barragens Principal e Auxiliar****4.8.1.1. Alçamento do Maciço**

Será feito o alçamento do maciço de terra das barragens principal e auxiliar passando a crista da cota 533,00 m para a cota 534,40 m, através da execução de um aterro compactado em camadas com 0,25 m de espessura cada, com solos areno argilo siltosos com pedregulhos provenientes da jazida JS 01. A crista na cota 535,40 passará a ter uma largura de 4,40 m, revestida com uma camada 0,20 m de cascalho. O maciço de alçamento da crista terá taludes com inclinação 1V:1H para montante e jusante protegidos por enrocamento de pedra.

**4.8.1.2. Muretas de Proteção**

Na crista a montante será construída uma mureta de proteção, com altura de 1,20 m, com topo na cota 535,60 m para conter as cheias para um TR = 10000 anos. Essa mureta de proteção será construída de alvenaria de bloco de concreto assentada sobre uma cinta em bloco calha de concreto apoiada em estacas trado com diâmetro de 0,20 m, profundidade de 2,0 m, conjugada a pilares armados a cada 3,0 m. No topo da mureta de alvenaria de bloco será executada uma cinta de bloco - calha de concreto, amarrada aos pilares. O muro será modulado com juntas Fungenband a cada 21,0 m, preenchidas com mastique elástico.

#### **4.8.1.3. Iluminação da Crista da Barragem**

O sistema de iluminação da crista da barragem existente, que se encontra parcialmente danificado, deverá ser removido antes da construção do aterro de alteamento da barragem, devendo ser instalado novo sistema com postes de aço cônico e lâmpadas de vapor de sódio.

#### **4.8.2. Extravasor**

No Des. 02.20-BAR-CAMALAU-CIV-004 é apresentado o projeto do extravasor em planta baixa e o perfil longitudinal em condições de veicular a cheia máxima de projeto.

##### **4.8.2.1. Canal de Aproximação**

Foi mantido o canal de aproximação existente na cota 528,0 m, com largura de 88,20 m, elevando-se apenas o muro lateral direito existente em 3,10 m, ficando dessa forma com comprimento de 87,0 m e altura de 7,2 m para contenção da lamina d'água de projeto, devendo-se frisar que o muro lateral esquerdo foi mantido. A lâmina máxima de projeto passará por cima desse muro.

##### **4.8.2.2. Soleira Espessa do Extravasor (Cordão de Fixação de Concreto)**

A soleira do extravasor que consiste de um cordão de fixação de concreto com topo na cota 528,50 m foi mantida.

##### **4.8.2.3. Canal de Queda**

Para confinamento da lâmina d'água foi projetada a elevação do trecho inicial do muro lateral direito existente com 87,0 m de comprimento, através de um muro de alvenaria de pedra com 3,10 m de altura e de um muro de alvenaria de pedra com 89,0 m de comprimento e altura de 6,20 m. Em continuidade a esse muro será executado um dique de terra com 498,0 m de comprimento. No lado esquerdo a lâmina d'água de projeto ficará contida pelo talude natural da ombreira constituído de rochas gnáissicas, conforme mostrado no Des. 02.20-BAR-CAMALAU-CIV-004. Nos Des. 02.20-BAR-CAMALAU-CIV-005 a 010 são mostradas seções transversais e no Des. 02.20-BAR-CAMALAU-CIV-011 planta e seções típicas com detalhes construtivos.

##### **4.8.2.4. Interferência do Canal de Queda com a Rodovia PB-224 (Alteamento da PB-224)**

Nos períodos de extravasamentos a lâmina d'água escoará sobre o leito rochoso da Rodovia PB-224, que a depender da altura da lâmina poderá provocar temporariamente a interrupção do trânsito.

O greide da Rodovia PB-224 no referido trecho de interferência com o canal de queda do extravasor é mostrado no Des. 02.20-BAR-CAMALAU-CIV-012, devendo ser elevado o sub trecho antes do canal de queda em cerca de 6,90 m através da execução de um aterro compactado em camadas com solos areno argilo siltosos com pedregulhos, provenientes da Jazida JS-01.

No Des. 02.20-BAR-CAMALAU-CIV-013 são mostradas seções transversais e uma seção típica com detalhes desse trecho da Rodovia PB-224. O aterro terá taludes com inclinação 1V:1.5H para ambos os lados, plataforma com 7,0 m e acostamentos com 1,5 m de largura. A pista será revestida com uma camada com espessura de 0,20 m de cascalho, com CBR  $\geq$  20%, com materiais provenientes das escavações obrigatórias da bacia de dissipação e da jazida de solos JS-01. O talude do aterro voltado

para o rio Monteiro será protegido com camadas de enrocamento contra a ação das águas a serem acumuladas no lago de restituição nos períodos de elevadas vazões. O talude do aterro voltado para o canal de queda devido as altas velocidades de escoamento das águas extravasadas nesse trecho, serão protegidos com placas de concreto armado ( $f_{ck} \geq 25$  MPa) com tela Telcon Q-138, com espessura de 0,10 m, ancoradas no talude com estacas com 1,0 m de profundidade, espaçadas a cada 3,0 m, conforme detalhes mostrados no Des. 02.20-BAR-CAMALAU-CIV-012. Essas placas serão dotadas de juntas de dilatação a cada 3,0 m, preenchidas com isopor e mastique asfáltico Sicaflex 1A ou similar.

#### **4.8.2.5. Bacia de Dissipação**

A bacia de dissipação do tipo ressalto hidráulico será escavada no final do canal de queda, em rocha gnáissica, com dimensões de 70,0 m x 85,0 m com fundo na cota 506,00 m. As escavações obrigatórias dessa bacia fornecerão grande parte dos materiais pétreos necessários para execução do muro lateral direito do extravasor em alvenaria de pedra, das camadas de enrocamento de proteção dos taludes do aterro de alteamento da crista das barragens principal e auxiliar, das camadas de proteção dos taludes do aterro de elevação da Rodovia PB-224, das camadas de revestimento primário da crista das barragens principal e auxiliar, da pista do trecho da Rodovia PB-224 que será elevado, etc...

A bacia de dissipação devido a proximidade com as barragens existentes deverá ser escavada com fogo cuidadoso com cargas controladas. Para obtenção da geometria desejada da bacia de dissipação torna-se necessária a execução de linhas de pré-fissuramento.

#### **4.8.2.6. Dique de Enrocamento**

Está prevista a execução de um dique de enrocamento, galgável, com crista na cota 512,0 m para fechamento da sela topográfica mostrada no Des. 02.20-BAR-CAMALAU-CIV-004, visando a formação de uma bacia de acumulação de água que auxiliará na dissipação da energia das águas extravasadas.

No Des. 02.20-BAR-CAMALAU-CIV-014 é mostrado o dique de enrocamento em planta e em perfil longitudinal e no Des. 02.20-BAR-CAMALAU-CIV-015 seções transversais e típicas com detalhes construtivos.

O dique terá crista na cota 512,00 m, comprimento de 200,0 m, altura máxima de 5,0 m, largura mínima na crista de 2,50 m e taludes 1V:1H. O maciço do dique deverá ser zoneado utilizando-se blocos de rochas maiores dimensões (diâmetro  $\geq 0,50$  m) no topo e no maciço de jusante. Será construído um bueiro tubular de concreto diâmetro 1000 mm, cujos detalhes são mostrados nos referidos desenhos que permitirá o escoamento livre das águas para tempos de recorrência inferiores a 10 anos. No caso de vazões mais significativas a água se acumulará na lagoa galgando por cima da crista do dique de enrocamento (cota 512,0 m). Na bacia de dissipação a lâmina d'água poderá atingir 6,0 m de altura que contribuirá de forma significativa para a dissipação de energia. As águas extravasadas serão restituídas naturalmente ao leito do rio Monteiro, juntando-se as águas escoadas pelo bueiro celular existente na Rodovia PB-224, conforme mostrado no Des. 02.20-BAR-CAMALAU-CIV-001.

#### **4.8.3. Limpeza dos Taludes da Barragem**

Deverão ser feitos serviços de limpeza dos taludes da barragem existente que consistirão em:

- Remoção ou poda de árvores e arbustos existentes;

- Remoção das raízes da vegetação de grande porte existentes;
- Remoção da vegetação no pé do talude de jusante numa faixa de 15,0 m;

#### **4.8.4. Execução de Meio-Fio e de Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais**

Na crista da barragem deverão ser implantados meios fios e dispositivos de drenagem de águas pluviais, conforme mostrado nos desenhos de projeto.

#### **4.8.5. Recuperação dos Dispositivos Hidromecânicos da Descarga de Fundo e da Captação Flutuante**

Os serviços de recuperação dos dispositivos hidromecânicos existentes são relacionados a seguir:

- Substituição das tubulações, curvas e conexões que compõem o recalque da captação flutuante;
- Limpeza e tratamento das peças que compõe a captação flutuante da tomada d'água, incluindo a balsa;
- Remoção da base de apoio da bomba da captação flutuante e implantação de novas peças com proteção contra corrosão;
- Recuperação das estruturas de controle da descarga de fundo, incluindo limpeza e tratamento das peças deterioradas e vedação de vazamentos;
- Substituição das peças deterioradas da estrutura de controle da descarga de fundo.

#### **4.8.6. Recuperação da Tomada D'Água Suplementar do PISF**

Deverão ser executados os seguintes serviços:

- Remoção dos blocos de rocha soltos existentes ao longo dos canais de aproximação e restituição;
- Instalação de guia para os *stop-logs*;
- Instalação do *trolley* da talha elétrica e recuperação do sistema elétrico;
- Armazenamento adequado dos *stop-logs* e vigas pescadoras;
- Execução de escada de acesso para a casa de comando inferior e vedação da referida casa para proteção contra vandalismo e roubo.

#### **4.8.7. Instrumentação**

Foi prevista a instalação de 8 (oito) marcos superficiais para medição de recalques e 2 (duas) caixas medidoras de vazão, cuja localização é mostrada em planta no Des. 02.20-BAR-CAMALAU-INS-001 e os detalhes construtivos desses instrumentos no Des. 02.20-BAR-CAMALAU-INS-002.