

GOVERNO DO ESTADO



**CEARÁ**

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**  
COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS COGERH  
PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS  
PROURB CE

# PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM CAUHIPE

TOMO III RELATÓRIO GERAL

VOUME 1 MEMORIAL DESCRITIVO

**KL** Serviços e Engenharia Ltda

FORTALEZA  
SETEMBRO DE 1996

GOVERNO DO ESTADO



**CEARÁ**

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**  
**COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGERH**  
PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS  
PROURB/CF

# PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM CAUHIPE

**TOMO III - RELATÓRIO GERAL**  
**VOLUME 1 - MEMORIAL DESCRITIVO**

Lote 02151 - Prep () Scan () Index ( )

Projeto Nº 0197/03/03

Volume

Qtd A4 **54**

Qtd A3

Qtd A2

Qtd A1

Qtd A0

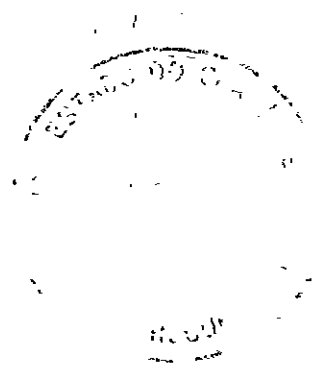
Outros



KL - SERVIÇOS E ENGENHARIA LTDA

AV. SENADOR VIRGÍLIO FAVORA, 110 - SALAS 106 e 108  
2º ANDAR - 261.0700 - 261.7777 - FAX 261.1701  
C/C 08.038.844-0001/07 - CEP 06.048-244  
FORTALEZA - CEARÁ  
EMAIL: KL@NET@PORTAL.NET.COM.BR

FORTALEZA  
ABRIL / 97



**ÍNDICE**

## ÍNDICE

<b>APRESENTAÇÃO</b>	<b>6</b>
<b>1 - HISTÓRICO.</b>	<b>9</b>
1 1 - EVOLUÇÃO E CONCEPÇÃO DO PROJETO	9
<b>2 - DESCRIÇÃO DAS OBRAS</b>	<b>12</b>
2 1 - LOCALIZAÇÃO	12
2 2 - LAY - OUT GERAL	12
2 3 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	13
<b>3 - CLIMATOLOGIA</b>	<b>15</b>
3 1 - DADOS GERAIS	15
3 3 - TEMPERATURA	16
3 4 - EVAPORAÇÃO	16
<b>4 - HIDROLOGIA</b>	<b>18</b>
4 1 - GENERALIDADES	18
4 2 - CURVAS COTA-AREA E COTA-VOLUME	18
4 3 - VAZÕES REGULARIZADAS	19
4 4 - CHEIAS DE PROJETO	19
<b>4.4.1 - Cheias de Projeto do Sangradouro..</b>	<b>20</b>
4 5 - ENCHIMENTO DO RESERVATORIO	21
<b>5 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS.</b>	<b>23</b>
5 1 - INTRODUÇÃO	23
5 4 - MATERIAIS PARA CONSTRUÇÕES	24
5 5 - FUNDAÇÃO DAS ESTRUTURAS	26
<b>5 5 1 - Barragem</b>	<b>27</b>
<b>5.5.2 - Tomada D'Água.....</b>	<b>28</b>
<b>5.5.3 - Sangradouro.....</b>	<b>28</b>
<b>6 - BARRAGEM MISTA DE TERRA E ENROCAMENTO</b>	<b>30</b>
6 1 - DESCRIÇÃO GERAL DA BARRAGEM	30
6 2 - DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA DA BARRAGEM	31
<b>6.2.1 - Cota da Crista....</b>	<b>31</b>
<b>6.2.2 - Largura da Crista.....</b>	<b>31</b>
<b>6.2.3 - Fixação dos Taludes. . .</b>	<b>32</b>
6 3 - DISPOSITIVOS DE CONTROLE DA PERCOLAÇÃO D'ÁGUA PELO MACIÇO E FUNDAÇÃO DA BARRAGEM	32
6 4 - ANÁLISES DE ESTABILIDADE	33
<b>6.4.1 - Introdução</b>	<b>33</b>
<b>6.4.2 - Estabilidade dos Taludes ao Fim do Período Construtivo.....</b>	<b>33</b>

<b>6 4 3 - Estabilidade dos Taludes com o Reservatório em Funcionamento .....</b>	<b>34</b>
6 4 3 1 - Talude de Montante	34
6 4 3 2 - Talude de Jusante	35
<b>7 - TOMADA D'ÁGUA .....</b>	<b>37</b>
7 1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DA OBRA	37
7 2 - NIVEIS OPERACIONAIS NO RESERVATÓRIO	37
<b>8 - SANGRADOURO .....</b>	<b>39</b>
8 1 - DESCRIÇÃO GERAL	39
8 2 - PARÂMETROS HIDRAULICOS	40
<b>9 - OBRAS COMPLEMENTARES .....</b>	<b>43</b>
9 1 - ACESSOS E CIRCULAÇÃO NA OBRA	43
9 2 - DRENAGEM E PROTEÇÃO DAS ENCOSTAS	43
<b>10 - RECOMENDAÇÕES PARA A FASE DE CONSTRUÇÃO .....</b>	<b>45</b>
10 1 - SANGRADOURO	45
<b>11 - ORÇAMENTO .....</b>	<b>47</b>
<b>12 - RELAÇÃO DO EQUIPAMENTO MÍNIMO.. ..</b>	<b>51</b>
<b>13 - CRONOGRAMA FÍSICO .....</b>	<b>53</b>

**APRESENTAÇÃO**

000006

## APRESENTAÇÃO

O Projeto Executivo da Barragem Cauhipe foi elaborado pela KL - Serviços e Engenharia Ltda conforme contrato firmado com a COGERH

O Projeto Executivo é composto pelos seguintes Relatórios

- **ESTUDOS PRELIMINARES**
- TOMO I - ESTUDOS BÁSICOS
  - Volume 1 - Hidrologia
  - Volume 2 - Topografia
    - ♦ Volume 2A - Textos
    - ♦ Volume 2B - Desenhos
  - Volume 3 - Geotecnia
- TOMO II - RELATÓRIO DE CONCEPÇÃO GERAL
- TOMO III - RELATÓRIO GERAL
  - Volume 1 - Memorial Descritivo e Orçamento
  - Volume 2 - Memorial de Cálculo
  - Volume 3 - Especificações Técnicas
  - Volume 4 - Desenhos - Pranchas (01 a 16)
  - Volume 4 - Desenhos - Pranchas (17 a 32)
  - Volume 5 - Desenhos do Cálculo Estrutural. Sangradouro e Tomada D'água
- TOMO IV - RELATÓRIO SÍNTESE

O presente relatório refere-se ao Tomo III - Relatório Geral - Volume 1 - Memorial Descritivo e Orçamento

As principais características da Barragem são

- Nome	Barragem Cauhipe
- Tipo	Mista terra e enrocamento
- Altura máxima	11,37m
- Extensão pelo coroamento	1298,00 m
- Cota do coroamento	39,00 m
- Tipo de Sangradouro	Canal com muro em Labirinto
- Largura do Sangradouro	120,00 m
- Cota da Soleira	36,89 m
- Tomada D'água	Galeria com controle a jusante
- Diâmetro	400 mm
- Comprimento Total	25,00 m
- Área da Bacia Hidrográfica	94 km <sup>2</sup>
Capacidade do Reservatório (Cota 36.89 m)	11 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
- Volume regularizado (Q90% de garantia)	0,154 m <sup>3</sup> /s

000008



**1 - HISTÓRICO**

000009

## 1 - HISTÓRICO

### 1.1 - EVOLUÇÃO E CONCEPÇÃO DO PROJETO

O vale do Rio Cauhipe foi objeto de estudos, visando seu aproveitamento hídrico na região do lago, estendendo-se também seus benefícios a toda região a jusante

A Barragem Cauhipe foi selecionada pelos "Estudos de Hierarquização" elaborados pela COGERH/SRH, com o objetivo de atender as necessidades da população carente daquela região, ao tão precioso bem, a água

Os estudos de campo constaram inicialmente, de visita ao local do barramento, a fim de reconhecer o boqueirão, onde seria implantada a Barragem

Definido o boqueirão mais conveniente no que diz respeito à acumulação, efetuaram-se estudos de campo a nível de projeto executivo para a implantação da Barragem Cauhipe, cujo barramento está localizado no rio do mesmo nome, no Centro-Oeste do município de Caucaia

Esses estudos compreenderam, levantamentos topográficos no boqueirão barrável e bacia hidráulica, sondagens ao longo do eixo da barragem, que mostraram ser o local uma zona representada por gnaisses dominantes e migmatitos

A luz desses estudos foram elaboradas três alternativas de represamento, no que diz respeito ao tipo de vertedouro, para definição de uma alternativa a ser desenvolvida no projeto executivo. As opções pesquisadas constaram de um vertedouro em canal escavado, um vertedouro de soleira delgada com perfil "Creager" e um vertedouro em labirinto

Elaboraram-se então, estimativas de custo, que conduziram a resultados semelhantes no que diz respeito às duas últimas opções, ficando a primeira isolada pelas desvantagens em termos de acumulação e regularização

Ainda com base nestas estimativas de custo realizadas, pode-se concluir que a solução que resultaria em melhores benefícios seria a do vertedouro em labirinto com a estrutura de barramento em enrocamento com núcleo argiloso, diante do volume de escavação em rocha, oriundo do sangradouro

A escolha da alternativa para implantação da barragem de acumulação foi baseada então, em considerações de maior ou menor volume de acumulação e economia. Tendo em vista esses parâmetros, selecionou-se como o mais favorável, o esquema de uma barragem com coroamento à cota 39,0 m e vertedouro tipo labirinto

Devido às condições topográficas e geotécnicas da zona prevista, para a entrada do descarregador - junto ao encontro da ombreira esquerda - não é aconselhável a realização de uma entrada (canal de aproximação e soleira descarregadora) que ocupe uma largura superior a 150m. Este tipo de soleira permite também obter uma menor lâmina de sangria ampliando as possibilidades de acumulação dada a limitação da cota do coroamento da barragem.

**2 - DESCRIÇÃO DAS OBRAS**

## 2 - DESCRIÇÃO DAS OBRAS

### 2.1 - LOCALIZAÇÃO

A Barragem Cauhipe está localizada no município de Caucaia, a aproximadamente 30 (trinta) km da capital do Estado à Centro - Oeste da sede do município de Caucaia, seguindo pela estrada que vai para um vilarejo conhecido por Boqueirão dos Cunhas

O acesso ao local da obra é feito pela BR-222, partindo-se de Fortaleza até a localidade conhecida por Primavera. em seguida toma-se uma estrada vicinal, sentido Norte - Sul até o Boqueirão dos Cunhas, percorrendo-se cerca de 17 (dezesete) Km, a partir daí caminha-se mais 3 (três) km. no sentido inverso, chegando na ombreira esquerda da barragem

O desenho 01/32 mostra a localização da área do estudo

### 2.2 - LAY - OUT GERAL

De acordo com os resultados dos estudos técnico-econômicos de alternativas de vertedouro desenvolvidas, o arranjo geral das obras do Projeto Executivo da Barragem Cauhipe apresenta-se como será descrito, de forma resumida a seguir

O fechamento do vale do rio será feito por meio de uma barragem de enrocamento com paramento de montante impermeável de material areno-argiloso, que se inicia junto ao muro de proteção do vertedouro, estaca -02 num trecho retilíneo até a estaca 53, onde faz uma curva circular até a estaca 59+12,70m, a partir de onde segue outro trecho reto até a estaca 62+18,80m, com um comprimento total pela crista de 1298m

A Tomada D'Água será constituída por uma galeria em concreto, implantada na ombreira esquerda, na altura da estaca 24+5,33m, com uma tubulação de diâmetro de 400 mm embutida na galeria. O acionamento da Tomada D'Água é feito a jusante

O Vertedouro em Labirinto, ao longo do eixo da barragem, na ombreira esquerda, será escavado em solo e em rocha até a cota 35,00 a montante do eixo da barragem, assentando-se neste nível a estrutura vertente e, a partir do eixo a escavação aumenta de profundidade (máxima na cota 32,80), aproveitando as condições geotécnicas e topográficas do terreno. A saída do canal do sangradouro está próximo a um talvegue que conduzirá as águas de sangria até a calha do rio

O arranjo geral descrito acima é ilustrado no desenho N° 26/32, enquanto que os elementos para locação das obras são fornecidos no desenho N° 06/32

## 2.3 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

O projeto da Barragem Cauhipe, a ser implantado pela Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - SRH, no rio Cauhipe, Estado do Ceará, para utilização de seus recursos hídricos, será constituído de um barramento necessário à formação de um reservatório de acumulação, com a finalidade de regularização das vazões para fins de reforço de demanda do Complexo Industrial do Pecém

As principais características físicas do barramento são

• Bacia de drenagem	94,0 km <sup>2</sup>
• Precipitação média anual da Bacia	1038 mm
• Vazão média do período	22,75 m <sup>3</sup> /s
• Vazão mínima média mensal	0,0 m <sup>3</sup> /s
• Vazão máxima média mensal	79,10 m <sup>3</sup> /s
• Vazão máxima observada (por correlação)	309,0 m <sup>3</sup> /s
• Volume do Reservatório (à cota 36,89 m)	11,0 hm <sup>3</sup>
• Volume útil do reservatório	11,5 hm <sup>3</sup>
• Cota do coroamento da barragem	39,00m
• Vazão regularizada (garantia de 90%)	0,15m <sup>3</sup> /s
• Volume anual regularizado (garantia de 90%)	4,66hm <sup>3</sup> /ano
• Vazão de cheia afluyente com período de retorno TR = 10 000 anos	1369,68m <sup>3</sup> /s
• Vazão afluyente máxima de projeto(TR=1000anos)	708,03 m <sup>3</sup> /s
• Vazão máxima de cheia amortecida (TR=10000 anos)	992,24 m <sup>3</sup> /s
• Vazão máxima de projeto amortecida (TR=1000 anos)	525,28 m <sup>3</sup> /s
• Nível d'água máximo maximorum (TR = 1 000 anos)	37,58m
• Nível d'água máximo normal	36,89m

**3 - CLIMATOLOGIA**

### 3 - CLIMATOLOGIA

#### 3.1 - DADOS GERAIS

A bacia do Rio Cauhipe drena uma área de 94,00 km<sup>2</sup> no local a ser barrado

A Climatologia da região da bacia do rio Cauhipe baseia-se na estação hidroclimatológica de Fortaleza, por não existir no domínio da referida bacia nenhuma estação representativa da mesma

#### Sinopse Climatológica

• Pluviometria Média Anual (sobre a bacia)	1038 mm
• Evaporação Média Anual	1468 mm
• Evapotranspiração Potencial (Hargreaves)	1563 mm
• Insolação Média Anual	2694,3 h
• Umidade Relativa Média Anual	78.3%
• Temperatura Média Anual Média das Máximas	29,9°C
• Temperatura Média Anual Média das Médias	26.6°C
• Temperatura Média Anual Média das Mínimas	23.5°C
• Classificação Climática	C1AS'a'

#### PLUVIOMETRIA

Para a caracterização do escoamento afluente à barragem, base para os estudos de regularização, foram realizados os estudos de vazões mensais, via modelo hidrológico chuva-deflúvio, visto tratar-se de bacia sem dados fluviométricos observados. A estação de Sítios Novos, no rio São Gonçalo, serviu para estimativa dos parâmetros do modelo MODHAC

A precipitação média anual no local da barragem Cauhipe é da ordem de 1000 e 1200mm com um coeficiente de variação em torno de 0,40

O trimestre mais úmido é março, abril e maio e o mais seco corresponde a agosto, setembro e outubro

Ainda para o local da barragem, o número de dias chuvosos consecutivos em torno de 20 não são incomuns

A distribuição temporal das chuvas na região é quase uniforme, o regime das precipitações nas cabeceiras difere pouco dos ocorrentes no curso médio e baixo



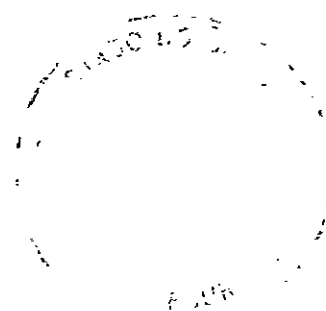
### 3.3 - TEMPERATURA

As temperaturas na bacia do Cauhape são bastante uniformes durante o ano apresentando média mínima de  $21,8^{\circ}\text{C}$  no mês de julho e máxima de  $30,7^{\circ}\text{C}$  nos meses de novembro e dezembro

### 3.4 - EVAPORAÇÃO

- Valor anual medido 1468mm
- Valor anual estimado 1233cm

Utilizando o coeficiente 0.84 foi determinado a partir de estudos feitos por Molle, conforme relatório dos Estudos Hidrológicos



**4 - HIDROLOGIA**

## 4 - HIDROLOGIA

### 4.1 - GENERALIDADES

Os estudos de fluviometria e demais aspectos hidrológicos do rio Cauhipe foram elaborados a partir dos dados disponíveis da estação Sítios Novos

Os dados disponíveis de interesse foram submetidos a análises criteriosas, tais como determinação das relações cota-descarga e consistência de valores de descargas, níveis d'água, com a finalidade de obter-se vazões médias e vazões de chuva. Em função destes resultados foram desenvolvidos estudos para fins de determinação dos valores de vazões regularizadas e vazões de projeto

Tais estudos foram apresentados com detalhes no relatório dos Estudos Hidrológicos cujos resultados são descritos de forma sucinta a seguir

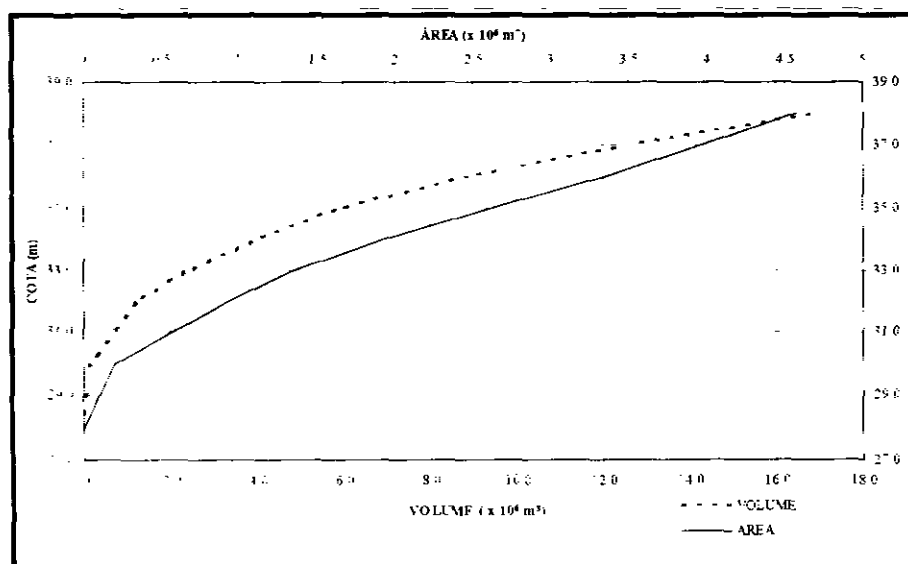
### 4.2 - CURVAS COTA-ÁREA E COTA-VOLUME

As curvas cota-área e cota-volume para o reservatório da barragem Cauhipe foram obtidas da topografia da bacia hidráulica

As áreas foram calculadas por planimetragem das curvas de nível a cada metro

A partir destas áreas foram calculados os volumes do reservatório

No final deste item é apresentada uma tabela com as áreas e volumes do reservatório para curvas de nível compreendidas entre as cotas 27,00 a 39,00



Curva cota x área x volume da barragem do Cauhipe

#### 4.3 - VAZÕES REGULARIZADAS

Com base na série reconstituída de 20 anos de descargas médias mensais, de 1968 a 1988, estabeleceu-se o balanço hídrico do reservatório da barragem Cauhipe, simulando-se mensalmente a operação do reservatório, considerando as perdas por evaporação e precipitação diretamente sobre o espelho d'água, para a descarga regularizada em estudo

A simulação considerou o nível d'água mínimo operacional à cota 31,50m. Ao atingir este nível automaticamente a descarga regularizada passa a ser nula

Analisando os resultados obtidos com a simulação da operação do reservatório de Cauhipe, concluiu-se pela cota 36,89, para o Nível D'Água Máximo Normal, que corresponde ao custo mínimo do metro cúbico regularizado

Utilizando-se os dados obtidos da simulação da operação do reservatório extraiu-se os seguintes valores de vazões e volumes anuais regularizados, em função de diferentes garantias de atendimento para a cota de retenção de 31,50m

GARANTIA DE ATENDIMENTO	%	90
VAZÃO REGULARIZADA	m <sup>3</sup> /s	0,15
VOLUME ANUAL REGULARIZADO	hm <sup>3</sup>	4,66

#### 4.4 - CHEIAS DE PROJETO

A metodologia utilizada nos estudos de previsão de chuvas foi o modelo HEC-1. Devido à escassez de registros históricos de vazões, é mais usual a determinação do hidrograma de projeto com base na precipitação

A metodologia escolhida para os estudos de previsão de chuvas foram os métodos de transformação chuva-deflúvio, tendo em vista a escassez de dados da bacia a ser estudada os métodos estatísticos de obtenção de vazões máximas que se utilizam séries históricas de vazões observadas, procedimento comum para bacias naturais, não podem ser aplicados

Diante da metodologia aplicada foi possível descrever várias hipóteses de cálculo da cheia de projeto, tais como a escolha da chuva de projeto, o hidrograma utilizado, a definição da precipitação efetiva, o hidrograma da cheia na bacia e, por fim, o seu amortecimento no sangradouro

De acordo com a metodologia aplicada definiu-se como distribuição temporal mais desfavorável para a chuva de projeto uma duração total de 7 horas dividida em 6 incrementos de 0.43 horas

O hidrograma unitário representativo da bacia hidrográfica foi assim, definido a partir de 6 (seis) hidrógrafas de cheias geradas por chuvas isoladas e que apresentaram características compatíveis com os princípios básicos do hidrograma unitário

Simulou-se as hidrógrafas de cheias pela aplicação das chuvas de projeto aos hidrogramas unitários, obtendo-se as hidrógrafas cujas características são

TEMPO DE RECORRÊNCIA  (Anos)	DESCARGA DE PONTA  (m <sup>3</sup> /s)	VOLUME DE CHEIA  (hm <sup>3</sup> )
1 000	708	17,8
10 000	1 393	35,1

As hidrógrafas de cheias com tempo de recorrência de 1 000 e 10 000 anos são apresentadas no Relatório dos Estudos Básicos, Volume 1 - Hidrologia

#### 4.4.1 - Cheias de Projeto do Sangradouro

O sangradouro foi dimensionado com base nos estudos hidrológicos e econômicos, visando definição de sua largura, seu tipo e a cota de coroamento da barragem associada à alternativa adotada

O estudo de amortecimento de cheias no reservatório foi feito para um sangradouro em labirinto, com largura de 120 m e soleira na cota 36,89m

As vazões de projeto utilizadas no dimensionamento de vertedouro são as seguintes

Descarga Máxima Afluente  (m <sup>3</sup> /s)	Descarga Máxima Efluente  (m <sup>3</sup> /s)	Tempo de Recorrência  (anos)	Risco  (%)
708	525	1000	10
1393	992	10000	10

Para dimensionamento hidráulico do vertedouro, adotou-se a vazão correspondente a 1 000 anos

Para a segurança da barragem, isto é, considerando-se uma borda livre nula, adotou-se a vazão de projeto correspondente a 10 000 anos de recorrência

#### 4.5 - ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO

Com o objetivo de estudar o tempo de enchimento do reservatório procedeu-se ao cálculo para o período disponível de 1968 a 1988, da variação do número de meses necessários para o enchimento até a cota mínima operacional de 31,50 m até o nível máximo normal de 36,89m

Com os resultados destes cálculos fez-se graficamente o ajustamento das funções de distribuição de probabilidade de enchimento, apresentado no Quadro 8.3 do relatório dos Estudos Hidrológicos, até as cotas acima referidas, considerando como meses iniciais o início do período de cheias (abril) e o início de estiagem (agosto)

## 5 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

## 5 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

### 5.1 - INTRODUÇÃO

Apresentam-se a seguir um resumo dos principais resultados obtidos das investigações geológico-geotécnicas de fundação realizadas na área de implantação da barragem e estruturas auxiliares, além dos estudos geológicos efetuados na área do futuro reservatório da barragem Cauhipe

Estas informações serviram de base para a elaboração do projeto executivo das obras

#### GEOLOGIA DA ÁREA DO RESERVATÓRIO

O rio Cauhipe ao longo de toda a bacia de inundação, atravessa o embasamento cristalino pré-cambriano representado por rochas pertencentes ao Escudo Brasileiro, tais como gnaisses, xistos, filitos, anfíbolitos e ordósias

Do ponto de vista estrutural tem-se que esta área foi afetada, por metamorfismo regional, dando origem às rochas referidas, com elevada cristalinidade, xistosidade, variedade de direções e alinhamentos estruturais

A tectônica regional provocou o aparecimento de dobramentos, ou seja, as rochas em sua maioria foram profundamente dobradas. Foram ainda observadas no reservatório em área de interesse do projeto, de modo bastante alterado, em raros blocos ou fragmentos, sem caracterizar afloramento. Ocorrem ainda na área, pegmatitos na forma de veios, em afloramentos de pequena extensão e descontínuos, raros blocos dispersos, ou em veios associados aos gnaisses

O rio Cauhipe apresenta ainda ao longo do seu leito, depósitos aluvionares constituídos por areias puras e argilosas

A unidade geomorfológica em estudo caracteriza-se principalmente pela sua grande variação litológica, trincamento indistinto das litologias, cobertura vegetal formada especialmente por caatinga, com pequena capacidade para diminuir os processos erosivos e alteração das rochas constituída por um manto de baixa espessura

#### GEOLOGIA DO LOCAL DA BARRAGEM

O local de implantação da barragem Cauhipe, se situa em um vale relativamente aberto, ombreiras com inclinação média da ordem de 1,5 graus



O eixo da barragem do rio Cauhipe, será assente restritamente sobre rochas do tipo gnaisses migmatizados e corpos locais pegmatitos

Nas ombreiras, nas cotas mais elevadas ocorrem solos residuais, provenientes de decomposição de gnaiss. Nas partes médias e inferiores a rocha é coberta por pequenos blocos ou fragmentos, sem afloramentos. O restante da área contém cascalheira de variada granulação, derivados da ação dos agentes atmosféricos e da gravidade, que desagregaram os veios de quartzo e pegmatito

Na calha do rio ocorrem, sobre a rocha, solos aluvionares constituídos de areias puras, argilosas e compactas

O embasamento rochoso onde será implantado a barragem e estruturas auxiliares é constituído gnaisses dominantes e migmatitos, podendo ocorrer lentes quartzo, anfíbolito e calcário cristalino

Os gnaisses são de coloração cinza-clara, de grão fino a grosso, apresentando finas listras até espessas bandas félsicas intercaladas com máficas. Os minerais mais comuns são feldspato, quartzo e biotita

Os migmatitos são caracterizados pela redução ou ausência de traços de foliação. Apresentam de uma maneira geral, duas fáceis distintas, uma guardando como característica os elementos planares, chamada de metatexitos, e a outra com estruturas planares menos conspícuas ou ausentes, chamadas de diatexitos

O reconhecimento geológico de superfície realizado na área de implantação das obras revelou ainda que embora não haja quase afloramentos na área, em alguns trechos estes ocorrem em pequena extensão. Raros blocos de fragmentos são encontrados em alguns locais, sem contudo, caracterizar afloramento

Posteriormente sondagens rotativas executadas na fundação das estruturas confirmaram as informações iniciais obtidas na fase do reconhecimento geológico de superfície e acrescentaram novos dados de interesse ao projeto com relação às condições geológico-geotécnicas de fundação

#### 5.4 - MATERIAIS PARA CONSTRUÇÕES

O material argiloso a ser utilizado na construção do núcleo da barragem será proveniente de duas jazidas que se encontram localizadas a 400m da ombreira esquerda do lado de jusante, e uma segunda a 1,4 km da mesma ombreira, do lado de montante, observando-se que nenhuma fica dentro da área de inundação. Estas jazidas foram reconhecidas e estudadas na fase de pesquisa de materiais de construção

000024

De acordo com os resultados dos ensaios de laboratório a jazida - 01 é a mais indicada para a execução do núcleo, pela predominância de material mais argiloso, comparado com a disponibilidade da primeira. A avaliação de custos exposta na Planilha Orçamentária considera a jazida - 01 como origem de material para o núcleo.

Os valores obtidos dos ensaios rotineiros foram submetidos a tratamento estatístico, sendo definidas as faixas representativas do material, de acordo com a média e o desvio padrão.

Para definição dos parâmetros de interesse ao projeto, foram executados ensaios de laboratório cujos resultados apresenta-se a seguir:

• Classificação de acordo com o Sistema Unificado	SC
• Permeabilidade média	$8,44 \times 10^{-8}$ cm/s
• Densidade real dos grãos	2,651
• Umidade ótima de compactação - Proctor Normal	11,7%
• Massa específica aparente máxima	1,843 g/cm <sup>3</sup>
• Coesão(cisalhamento direto)	0,42 kg/cm <sup>2</sup>
• Volume disponível	222 500m <sup>3</sup>

A areia será retirada ao longo da calha do rio, onde existem bancos de areia numa faixa de 15m de largura, a montante e a jusante do eixo. Estas areias serão utilizadas nas transições finas no contato entre o núcleo e o enrocamento e, como agregado para os concretos.

De acordo com os resultados dos ensaios de laboratório apresentam as seguintes características:

• Classificação de acordo com o Sistema Unificado	SW
• Permeabilidade média	$9,03 \times 10^{-3}$ cm/s
• Volume disponível	18 800 m <sup>3</sup>

000025

Com base nas envoltórias das curvas granulométricas das areias do rio Cauhipe, foram feitas verificações dos critérios de filtro, para estas areias e para os solos da jazida - 01. Os resultados obtidos foram satisfatórios, devendo-se observar, no entanto, que dada as elevadas porcentagens de finos nos solos, em contraposição com as amostras de areia de granulação mais grossa, não obedeceriam ao critério referente à proteção contra o carreamento de finos. Deste modo, devem ser tomados cuidados especiais, quando da execução das diversas zonas de transição fina, embora a experiência mostre que tais critérios são conservadores e, a ocorrência simultânea de condições extremas das granulometrias dos materiais envolvidos seja pouco provável.

No que diz respeito à utilização nos concretos, as amostras ensaiadas atendem integralmente aos limites recomendados pela A B N T (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e da A S T M (American Society of Testing Materials), especialmente no que se refere às porcentagens retidas nas peneiras N<sup>os</sup> 4, 10 e 16, correspondentes respectivamente às aberturas da malha 4,8mm, 2mm e 1,2mm. Os percentuais de material pulverulento em todas as amostras está muito aquém do máximo permissível pelas normas.

Existe uma pedreira localizada a 800m do eixo, perto do povoado denominado Boqueirão dos Cunhas.

A rocha a ser utilizada no enrocamento de jusante será proveniente das escavações do vertedouro, que está a uma distância média 700m em relação ao centro geométrico das obras. O volume disponível das escavações do vertedouro, de acordo com perfil definido nos estudos de prospecção da fundação, é da ordem de 61 000m<sup>3</sup>.

Os resultados obtidos com ensaios tipo Los Angeles em amostras de rocha da pedreira, permitem concluir que o material apresenta características adequadas de resistência e durabilidade, não havendo restrições quanto ao seu uso nos enrocamentos e como agregados nos concretos.

A localização das jazidas é apresentada no desenho N<sup>o</sup> 03/32 - Localização das Ocorrências de Materiais.

## 5.5 - FUNDAÇÃO DAS ESTRUTURAS

As condições geológico-geotécnicas de fundação das estruturas, conforme apresentado no desenho N<sup>o</sup> 04/19 - Localização das Sondagens Perfil Geotécnico, são resumidamente discriminadas a seguir.

000026

### 5.5.1 - Barragem

As ombreiras apresentam inclinação suave, sendo coberta por solos de alteração de rocha com espessura média de 1,0 a 2,0 metros, com ausência de afloramentos ou de matacões. Subjacente a este material, a rocha se apresenta diferentes graus de alteração a profundidades de 1,5 até 6,0 metros, passando a seguir a apresentar melhor qualidade, que pode ser comprovada pela porcentagem de recuperação mínima de 52%, exceto nas sondagens da ombreira direita, onde praticamente não tem recuperação. O gnaíse é em geral de coloração cinza-claro.

Os ensaios de perda d'água revelaram valores do coeficiente de perda d'água específica variado longo dos furos realizados, sendo que na maioria dos trechos ensaiados as perdas foram baixas, mostrando ser a rocha pouco permeável. Deste modo as condições de estanqueidade são no mínimo equivalentes às de materiais com coeficientes de permeabilidade situados nas faixas de  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$  cm/seg.

O leito do rio em toda a sua calha a rocha é coberta por depósitos aluvionares de espessura variável, que atinge profundidades de até 3,50 metros. Sob o aluvião a rocha gnaíse se apresenta alterada e extremamente fraturada, porém, em geral são, com alguns trechos medianamente consistentes localizados ao longo das profundidades amostradas.

Na calha do rio os ensaios de perda d'água indicam a ocorrência de zonas menos permeáveis que as ombreiras, principalmente em relação a ombreira direita na altura da estaca 53.

Dadas as condições geológicas e geotécnicas da fundação da barragem - incluindo os valores relativamente baixos do coeficiente de perda d'água específica - e as características da barragem projetada, a execução de uma cortina de injeção de cimento terá um caráter mais de consolidação do maciço rochoso na área de contato do núcleo argiloso, com uma única linha de furos de profundidade máxima de 6,0m em dois trechos distintos, onde a permeabilidade é mais elevada. Estes trechos estão compreendidos entre as estacas 3 e 19 onde se tem uma permeabilidade máxima de  $4,256 \times 10^{-4}$  cm/s e, em outro pequeno trecho entre as estacas 50 e 55, na ombreira direita, onde o maciço rochoso se apresenta extremamente fraturado a fragmentado podendo levar a permeabilidades elevadas, a exemplo dos resultados apresentados nos ensaios de perda d'água realizados na estaca 53 ( $17,86 \times 10^{-4}$  cm/s).

000027

### 5.5.2 - Tomada D'Água

Á Tomada D'Água localiza-se na ombreira esquerda da barragem , em trecho de talude relativamente suave. A área é constituída superficialmente por silte arenoso com pedregulho e seixo rolado, misturados com o solo de alteração do gnaisse formando uma camada que atinge cerca de 1.50m de espessura

Segue-se o maciço rochoso medianamente a muito alterado nos seus metros superiores e, em profundidade, a porcentagem de recuperação da rocha é elevada até as profundidades atingidas pelas sondagens

### 5.5.3 - Sangradouro

A rocha na área de implantação do sangradouro é coberta por um manto constituído por areia siltosa e argilosa , de espessura variando de 1,0 a 2,5 metros no trecho compreendido canal de acesso e soleira vertedoura

O maciço em gnaisse subjacente, com base nas sondagens executadas, apresenta uma porcentagem de recuperação variada, e a zona mais alterada de espessura da ordem de dois metros. O grau de fraturamento tende a diminuir com a profundidade, sendo a rocha em geral medianamente a muito fraturada na zona a escavar, quando da execução da estrutura do vertedouro

000028

**6 - BARRAGEM MISTA DE TERRA E ENROCAMENTO**

000029

## 6 - BARRAGEM MISTA DE TERRA E ENROCAMENTO

### 6.1 - DESCRIÇÃO GERAL DA BARRAGEM

A barragem projetada, conforme apresentada no desenhos N<sup>os</sup> 07/32 e 08/32, foi prevista com eixo retilíneo em quase todo seu desenvolvimento, inflexionado na altura da estaca 57, face as condições topográficas do vale. É do tipo enrocamento com paramento de montante impermeável, com 11,37m de altura máxima, 1.298 metros de extensão e capacidade total da ordem de 11.000.000 metros cúbicos.

A barragem tem seu coroamento à cota 39,00m, com 7,0m de largura de crista e taludes de montante e jusante com inclinações de 1V 2H e 1V 1,5H respectivamente. É constituída por um aterro compactado com seção mista, com enrocamento nos espaldar de jusante e o paramento de montante de material argiloso inclinado para jusante, de modo a reduzir as transferências de carga para o enrocamento e, o potencial de fraturamento hidráulico.

O paramento de montante apresenta como geometria interna, a partir do coroamento, um trecho vertical até a cota 35,00m, seguido por um talude com inclinação 1V 0,8H até encontrar a rocha sã de fundação. As transições necessárias à graduação granulométrica entre o enrocamento o material argiloso acompanha a geometria interna do espaldar de montante a partir da crista, com uma variação na espessura das transições, sendo a de areia com 01 (hum) metro e, as transições em brita e enrocamento fino com 0,50 (meio) metro cada uma. As duas primeiras camadas serão adensadas (areia e brita) com diferentes granulometrias, obedecendo-se no entanto aos critérios estabelecidos para os materiais de filtro e transições.

A fundação, terá uma largura mínima de contato do núcleo com a fundação de apoio de 4,0 metros.

O espaldar de montante apresenta ainda um zoneamento quanto ao grau de compactação e teor de umidade de compactação, relativos aos ensaios do tipo Proctor Normal, objetivando com isto melhorar as condições de contato com as ombreiras e reduzir a possibilidade da ocorrência de fissuras nas partes mais elevadas da zona impermeável, imediatamente adjacentes às ombreiras, face a possibilidade de tensões de tração.

É recomendável deste modo, que as camadas do aterro situadas em zonas mais elevadas, principalmente nas proximidades das ombreiras sejam executadas com graus de compactação menores e umidades acima e em torno da ótima. As camadas inferiores do aterro terão maior resistência ao cisalhamento, e a profundidades maiores o peso do solo sobrejacente será suficiente para se ter tensões de compressão.

Nas fundações previu-se tratamento superficial em toda área de implantação da barragem, consistindo este na remoção de todo o solo de recobrimento. Na área de apoio do núcleo da barragem o tratamento se torna mais intenso, devendo as escavações atingirem a rocha de fundação, prevendo-se ainda regularização, para a obtenção de superfícies planas e contínuas.

A planta seções transversais e detalhes construtivos são apresentados nos desenhos N<sup>os</sup> 08 a 22/32.

## 6.2 - DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA DA BARRAGEM

### 6.2.1 - Cota da Crista

A cota da crista da barragem foi fixada em 39,00m, com base na definição de soleira determinada nos Estudos Hidrológicos apresentados e nas estimativas de revanche efetuadas, constantes do Volume 2 - Memorial de Cálculo. O nível d'água máximo maximorum no reservatório para um tempo de recorrência de mil anos, se situa na cota 37,58 m. A folga ("freeboard") necessária, obtida utilizando-se um "fetch" medido de 3,2 km, foi de 1,39m. A cota do NA máximo maximorum do reservatório somada a folga, resultaria do nível 38,97m, 3,0cm abaixo da cota 39,00m, que se constitui na crista da barragem.

Para um tempo de recorrência de dez mil anos, o nível d'água máximo maximorum deverá alcançar a cota 38,07m. Ainda assim, somente a altura de onda máxima calculada de 1,01m, a cota obtida seria nessa hipótese, superior a adotada para o coroamento da barragem em 9cm.

### 6.2.2 - Largura da Crista

A largura da crista da barragem é geralmente fixada com base nas dimensões de obras semelhantes e/ou para finalidades específicas que imponham uma determinada largura, além de aspectos construtivos.

No trabalho "Barragens em Terre Compactée - Practiques Americaines" - G. Post e P. Londe apresentam a fórmula de E. F. Preece, para fixar a largura  $b$  em função da altura  $H$  da barragem:

$$b = 1 \sqrt[3]{H} + 1 \quad H = \text{altura máxima}$$

obteve-se então  $b = 4,71\text{m}$

Considerando as características específicas da barragem de Cauhape e a experiência acumulada de obras de porte semelhante adotou-se a largura de 7,00metros.



### 6.2.3 - Fixação dos Taludes

Na fixação dos taludes da barragem de Cauhipe procurou-se, mantida a segurança necessária a uma obra desse porte, reduzir tanto quanto possível o volume do maciço (enrocamento mais núcleo impermeável)

Recentemente tem-se verificado que barragens de enrocamento são condicionantes de projeto, além da estabilidade dos taludes para as diversas condições consideradas críticas, os problemas originados pelas distribuições de tensões no interior do maciço, gerados pelas transferências de carga que ocorrem entre zonas adjacentes constituídas por materiais com diferentes parâmetros de deformabilidade

Dado o porte da barragem, não foram determinados os valores de tensões e deformações no interior do maciço na seção máxima da barragem, utilizando-se o método dos elementos finitos

Porém, dada a possibilidade da ocorrência de tensões de tração e consequentes fissuras nas partes mais elevadas do núcleo, imediatamente adjacentes às ombreiras, foi projetado um zoneamento quanto ao grau de compactação e teor de umidade de compactação, relativos aos ensaios do tipo Proctor Normal

Com base nesses procedimentos e nas exemplos em projeto e fiscalização de obras desse porte, foram fixados os taludes da barragem nas suas diversas zonas, sendo estes indicados nos desenhos de projeto

### 6.3 - DISPOSITIVOS DE CONTROLE DA PERCOLAÇÃO D'ÁGUA PELO MACIÇO E FUNDAÇÃO DA BARRAGEM

Como dispositivo de proteção contra o carreamento do material fino do núcleo argiloso, pelas águas em percolação, foi previsto um filtro de transição no contato solo-enrocamento com granulometria adequada

Conforme descrito nos Estudos Geotécnicos deste volume a rocha de fundação apresenta valores do coeficiente de perda d'água específica bastante variáveis, de acordo com os ensaios de perda d'água realizados sob diversos estágios de pressão principalmente na ombreira direita e, entre as estacas 3 e 19, na margem esquerda

No entanto, com base nas condições geológico-geotécnicas da rocha de fundação e face as características da barragem projetada, o cut-off será suficiente como controle da percolação pela fundação nos dois trechos críticos

000032

Objetivando avaliar e quantificar os efeitos dos dispositivos adotados para o controle da percolação, procedeu-se ao traçado de redes de fluxo através do maciço, pelo processo gráfico de Forcheimer, que permite estimar as perdas d'água por percolação e verificar pontos prováveis de concentração dos gradientes hidráulicos críticos

Para se levar em conta a anisotropia provável do solo do núcleo da barragem, admitiu-se uma relação entre os coeficientes de permeabilidade horizontal e vertical igual a nove

Os cálculos apresentados no Memorial de Cálculos, mostram que a vazão total através do maciço e fundação seria da ordem de **10 l/seg**, valor este plenamente aceitável para o aproveitamento. Deve-se ressaltar entretanto, que qualquer análise deste tipo, em que se supõe homogeneidade dos materiais é simplificadora e sujeita a imprecisões, visto que as condições de fluxo reais são altamente influenciadas pelas heterogeneidades, difíceis de detectar e analisar teoricamente

## 6.4 - ANÁLISES DE ESTABILIDADE

### 6.4.1 - Introdução

As análises de estabilidade foram feitas para a seção de máxima altura da barragem, para as condições críticas correspondentes ao final da construção e com o reservatório em funcionamento

### 6.4.2 - Estabilidade dos Taludes ao Fim do Período Construtivo

A estabilidade de um talude de um maciço de enrocamento é função do valor do ângulo de atrito do material pétreo compactado. Deste modo o fator de segurança mínimo é obtido dividindo-se a tangente do ângulo de atrito do enrocamento pela tangente do ângulo do talude

Para o talude de montante, foram feitas análises de estabilidade pelo método de Bishop Simplificado, por computador, admitindo-se superfícies de ruptura cilíndricas

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento para o material do núcleo da barragem foram determinados com base nos resultados de ensaios de cisalhamento direto lento. Admitiu-se portanto, que haverá dissipação das pressões neutras durante a construção do núcleo argiloso da barragem. No relatório dos Estudos Geológico-Geotécnicos, se encontram resumidos os resultados desses ensaios,

Os parâmetros de resistência para os materiais de enrocamento, filtros e transições foram estimados com base nos valores obtidos em barragens semelhantes

Os coeficientes de segurança obtidos nessas análises encontram-se na Memória de Cálculos da barragem, enquanto que no desenho, estão indicados os coeficientes de segurança mínimos obtidos para cada centro de círculo de ruptura passando pelo núcleo argiloso e enrocamento

Os resultados obtidos mostram que o fator de segurança mínimo do talude de montante ao final do período de construção, ocorre para círculos rasos tangentes ao talude do maciço de enrocamento, sendo igual a 1,35. Para círculos profundos, passando pelo núcleo, o valor mínimo obtido foi de 1,46. Deste modo os coeficientes de segurança obtidos são satisfatórios para as condições admitidas, sendo o talude de montante estável.

Para o talude de jusante, devido a geometria do núcleo da barragem, inclinado para montante, o coeficiente de segurança mínimo é obtido pela relação  $\tan \phi / \tan \beta$  sendo igual a 1,26. Este valor é perfeitamente aceitável para maciços compactados, estando situado na faixa de coeficientes de segurança obtidos para taludes de barragens deste porte em todo o mundo, conforme mostrado por diversos autores, entre eles R<sup>a</sup> Airapetyan (1970) "Modern Rockfill Dams".

### 6.4.3 - Estabilidade dos Taludes com o Reservatório em Funcionamento

#### 6.4.3.1 - Talude de Montante

A condição mais crítica a que pode ser submetido o talude de montante corresponderia a um rebaixamento rápido do reservatório. Embora, esta seja uma hipótese com probabilidade de ocorrência quase nula no caso do reservatório do Cauhipe, conforme é demonstrado na memória de cálculo, admitiu-se para efeito de verificação de estabilidade do talude o caso mais crítico, qual seja o rebaixamento instantâneo do reservatório entre dois níveis limites. O superior estaria na cota 36,89 m, enquanto que o nível inferior seria aquele na cota 31,50 m, correspondente ao mínimo operacional.

A análise foi procedida pelo método de Bishop Simplificado, por computador, admitindo-se ainda que as pressões neutras no núcleo argiloso se desenvolvessem de acordo com o recomendado por A.W. Bishop no artigo "The Use Of Pore Pressure Coefficients in Practice", partindo-se da rede de fluxo para regime permanente. No desenho são apresentados os valores do coeficiente de segurança obtidos. O valor mínimo obtido foi de 1,25, sendo este plenamente aceitável, se situando ainda assim, acima do mínimo admissível recomendado por diversos autores, entre outros Wilson S.D. e Squier L.R. - "Earth and Rockfill Dams" State of The Art Volume.

Tendo em vista as hipóteses extremamente conservadoras admitidas na análise não se temer qualquer problema com a estabilidade do talude de montante durante a operação do reservatório.

#### 6 4 3 2 - Talude de Jusante

A estabilidade do talude de jusante, devido a geometria da seção da do núcleo argiloso barragem, é adotada pela resistência ao cisalhamento do material de enrocamento, sendo o coeficiente de segurança mínimo, o mesmo obtido para a condição de final de construção

No entanto procedeu-se ainda uma verificação da estabilidade do talude, para a possibilidade de ocorrência de superfícies de ruptura profundas, supondo o reservatório cheio. O resultado da análise está sendo apresentado no Memorial de Cálculos, juntamente com as hipóteses básicas admitidas no cálculo. O coeficiente de segurança obtido foi superior a três.

**7 - TOMADA D'ÁGUA**

## 7 - TOMADA D'ÁGUA

### 7.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DA OBRA

Serão descritas a seguir as principais características da obra de tomada d'água da barragem Cauhipe

A tomada d'água ficará embutida no maciço da barragem, firmemente apoiada sobre a rocha sã de fundação da ombreira esquerda, em torno da cota 31,00m

A orientação do fluxo em direção ao emboque da tomada d'água será feita através de um canal de aceso curvo, implantado na cota 31,00m, encaixando-se na estrutura por meio de uma caixa de entrada provida de uma grade de proteção contra entrada de material graúdo que desce das margens

A estrutura de captação em concreto armado será do tipo convencional "galeria", com dispositivos de controle de saída

A galeria terá um diâmetro de 400mm, com cerca de 30 m de comprimento

O acionamento da tomada d'água será feito a jusante, através de registro gaveta com comando de pedestal de manobra

O eixo da tomada d'água será perpendicular ao da barragem

As obras acima descritas estão detalhadas nos desenhos N<sup>os</sup> 30 a 32/32, no que diz respeito a escavações, formas e armação

### 7.2 - NIVEIS OPERACIONAIS NO RESERVATÓRIO

O nível mínimo operacional no futuro reservatório foi determinado a partir da cota 31,50 m anteriormente citada, acrescida das perdas de carga devidas à veiculação da vazão de projeto através das obras da tomada d'água

Com base nos cálculos hidráulicos efetuados adotou-se um total de perdas de carga de 0,324m

Por conseguinte o nível mínimo operacional no reservatório resulta igual a  $31,5 + 0,324 = 31,824$  m

Quanto ao nível máximo, que foi definido com base nos resultados dos estudos hidrológicos, adotou-se o nível 36,89 m

**8 - SANGRADOURO**

## 8 - SANGRADOURO

### 8.1 - DESCRIÇÃO GERAL

Descrevem-se a seguir as características gerais do sangradouro da barragem Cauhipe

A solução adotada caracteriza-se pela simplicidade do arranjo, decorrente das favoráveis condições geológicas do local de implantação das obras, em que a soleira delgada do sangradouro localiza-se no alinhamento do eixo da barragem, do lado da ombreira esquerda, estando inteiramente assente sobre rocha

O eixo do sangradouro é perpendicular ao eixo do maciço e está localizado na estaca -5,00m, tendo sido escolhido devido às condições geotécnicas e topográficas, que permitem a implantação da estrutura vertedoura em rocha de boa qualidade e, a restituição completa do fluxo ao leito do rio, respectivamente

Esse arranjo proporciona total segurança de funcionamento e, ao mesmo tempo, permitirá utilizar todo o material rochoso escavado para implantação do sangradouro, no enrocamento da barragem. Com isso, obter-se-á uma economia substancial nos investimentos, devido inclusive, à pequena distância de transporte dos materiais rochosos

A soleira do vertedouro foi determinada a partir das características topográficas do boqueirão, das potencialidades da bacia hidrográfica e, da necessidade de acumulação de um volume d'água máximo possível à bacia hidráulica. A soleira tipo labirinto apresenta um desenvolvimento de crista muito maior que uma soleira retilínea, ocupando a mesma largura, permitindo uma folga superior em relação à cota de coroamento da barragem

Esta solução foi a lógica consequência do fato de que as cheias prováveis do rio Cauhipe, apesar do efeito amortecedor provocado pela soleira vertedoura, exigem necessariamente um sangradouro de grandes dimensões.

O labirinto é caracterizado por apresentar em planta, uma soleira que se desenvolve de forma irregular, normalmente repetindo módulos poligonais, que neste projeto é em número de 12. A soleira é constituída por muros verticais, de 0,40m de espessura, cuja parte superior (cota 36,89) tem perfil semicircular e altura variável de 1,89 a 3,56m no sentido de jusante, devido à necessidade de inclinação do fundo do canal de descarga a jusante da soleira, para garantir o não afogamento da lâmina de sangria



O labirinto dimensionado para a vazão milenar de  $525,28\text{m}^3/\text{s}$ , tem uma largura de  $119,76\text{m}$  e, uma lâmina máxima de sangria de  $0,69\text{m}$ . O sangradouro é composto por um canal de aproximação escavado na cota  $35,00$ , que é aprofundado em  $0,40\text{m}$  sob a estrutura vertente e, após esta o fluxo segue por um canal de restituição escavado na cota  $32,80$  até a altura da altitude  $35,00$ , a partir de onde a escavação se dará pelos processos erosivos da água.

O revestimento do canal em concreto armado só será necessário sob a estrutura vertente, numa faixa de  $30,00\text{m}$ , sendo  $15,00\text{m}$  a montante e a jusante em relação ao eixo do maciço.

Em toda a extensão da estrutura vertente será realizada uma cortina de injeção de cimento com o objetivo de reduzir a transmissibilidade hidráulica da fundação. As injeções serão realizadas em uma linha, conforme é descrito nas especificações técnicas e detalhado no desenho N° 25/32.

As obras descritas acima estão ilustradas nos desenhos N°s 26 e 27/32.

## 8.2 - PARÂMETROS HIDRÁULICOS

O sangradouro da barragem foi dimensionado para a cheia máxima de projeto correspondente ao tempo de recorrência de  $1\,000$  anos e fez-se o amortecimento da cheia com recorrência de  $10\,000$  anos, para verificar se o nível d'água ultrapassaria a crista da barragem.

### Propagação da Cheia no Reservatório

Para determinar a propagação da cheia no reservatório utilizou-se o método de Puls, sendo um dos mais conhecidos para propagação em reservatórios.

As descargas de pico calculadas para os períodos de retorno mencionado foram

TR (ANOS)	Qp ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
1000	708,03
10000	1 369,68

Para a crista do vertedouro em labirinto com largura de 119,76 m e situada a cota 36,89m, obtiveram-se os seguintes resultados de amortecimento de cheias com os tempos de recorrência considerados

TR (ANOS)	VAZÃO MÁX EFLUENTE m <sup>3</sup> /s	ALTURA LÂMINA VERTENTE (m)
1 000	525,28	0,69
10 000	992,24	1,24

000041

**9 - OBRAS COMPLEMENTARES**

## 9 - OBRAS COMPLEMENTARES

### 9.1 - ACESSOS E CIRCULAÇÃO NA OBRA

Atualmente, os acessos ao local da obra são precários nos últimos 10km, podendo sofrer interrupção parcial nas épocas de maior precipitação pluviométrica. Esses acessos convergem, na margem esquerda e, cruzam o Rio Cauhipe e pequenos cursos d'água onde não há qualquer obra para assegurar a travessia nos períodos chuvosos.

A circulação da obra, durante o período de construção da barragem deverá ser feita por meio de caminhos de serviço, cujo traçado e comportamento sejam satisfatórios à movimentação mecânica.

### 9.2 - DRENAGEM E PROTEÇÃO DAS ENCOSTAS

As encostas, nas ombreiras da barragem, terão proteção com revestimento vegetal, em área cuja extensão somente poderá ser fixada em definitivo ao final da obra, em função das condições em que as mesmas se encontrem. Este revestimento vegetal, cuja função é, em parte, de proteger contra a erosão e, em parte, de conferir um melhor aspecto paisagístico, deverá cobrir ambas as ombreiras.

A natureza dos solos e rochas superficiais, bem como a topografia no local da obra, não são motivo para qualquer problema de vulto, decorrente do escoamento de águas superficiais.

000043

## 10 - RECOMENDAÇÕES PARA A FASE DE CONSTRUÇÃO

## **10 - RECOMENDAÇÕES PARA A FASE DE CONSTRUÇÃO**

### **10.1 - SANGRADOURO**

A escavação para implantação do sangradouro da barragem do Cauhipe terá que ser feita à proporção que progredir o alteamento do maciço da barragem, uma vez que a rocha extraída do sangradouro servirá de empréstimo para o enrocamento

Como o sangradouro será quase que totalmente assente sobre a rocha, excetuando-se apenas um pequeno trecho inicial (canal de aproximação), não se espera problemas de instabilidade no processo de escavação

**11 - ORÇAMENTO**

Item	Especificação dos Serviços	Unid	Quant.	Custo Unit.	Custo Total
<b>1 0</b>	<b>Administração e Fiscalização</b>				
1 1	Mobilização (1 5% de 2,3,4 , 5 e 6)	ud	1,00	41 420,30	41 420,30
1 2	Desmobilização (1 5% de 2,3,4,5 e 6)	ud	1,00	41 420,30	41 420,30
1 3	Divulgação (0 5% de 2,3,4 5 e 6)	ud	1,00	13 806,77	13 806,77
1 4	Instalação e manutenção de canteiro de obras	ud	1,00	41 420,30	41 420,30
	<b>Total do Item 1</b>				<b>138 067,68</b>
<b>2 0</b>	<b>Serviços Preliminares</b>				
2 1	Estradas de acesso com faixa de dominio de 10,0m, greide colado pista de rolamento de 6,0m de largura e 0,15m de espessura revestida em picarra compactada, com valetas de drenagem incluindo obras d arte e os aterros a estas associadas	km	5 00	7 783,97	38 919 85
2 2	Caminhos de serviços com faixa de dominio de 6,0 m	km	2,00	1 398,00	2 796,00
2 3	Desmatamento e destocamento da area da barragem sangradouro e emprestimos	ha	14,00	780,00	10 920,00
2 4	Expurgo na area da jazida com bota-fora de ate 50m, medido no corte	m³	9 100,00	0,96	8 736,00
2 5	Desmatamento racional da bacia hidráulica	ha	370,00	444,50	164 465,00
	<b>Total do Item 2</b>				<b>225 836,85</b>
<b>3 0</b>	<b>Barragem</b>				
3 1	Escavação, carga, trasnporte e descarga com bota-fora ate 300m de material de 1ª categoria da fundação	m³	43 870,00	1,92	84 230,40
3 2	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 1a categoria da jazida ate 1,2km	m³	45 480,00	1,92	87 321,60
3 3	Espalhamento, umedecimento e compactação do material argiloso na barragem e fundação	m³	45 480,00	0,90	40 932,00
3 4	Fornecimento, inclusive, extração, carga, transporte, descarga, espalhamento e adensamento de areia para os filtros	m³	17 750,00	2,16	38 340,00
3 5	Espalhamento e compactação do enrocamento(material das escavações do vertedouro)	m³	94 550,00	4,47	422 638,50
3 6	Fornecimento, inclusive bntagem e execução das transições	m³	8 510,00	9,55	81 270,50
3 7	Regularização de taludes	m²	31 530,00	3,06	96 324,15
3 8	Fornecimento do revestimento para o coroamento, pedrisco ou cascalho, inclusive extração, carga transporte descarga e espalhamento, esp = 0,20m	m³	260,00	6,35	1 651,00
	<b>Total do Item 3</b>				<b>852 708,15</b>
<b>4 0</b>	<b>Tratamento e Injeção da Rocha de Fundação (Barragem e Sangradouro)</b>				
4 1	Preparo limpeza e tratamento superficial das areas da fundação em rocha	m²	7 815,00	3,20	25 008,00
4 2	Perfuração com equipamento rotativo diametro BX	m	480,00	140,00	67 200,00
4 3	Fornecimento de cimento e aplicação de injeção para impermeabilização da rocha de fundação	kg	4 800,00	1,75	8 400,00
4 4	Ensaio de perda d'agua	ud	50,00	60,00	3 000,00
	<b>Total do Item 4</b>				<b>103 608,00</b>

000047



Item	Especificação dos Serviços	Unid	Quant.	Custo Unit.	Custo Total
<b>5.0</b>	<b>Sangradouro</b>				
5 1	Escavação , carga, descarga e transporte ate 0,40km de material de 1a categoria	m³	61 550,00	1,92	118 176,00
5 2	Escavação carga, descarga e transporte ate 1,2km em material de 3a categoria	m³	70 800,00	12,40	877 920,00
5 3	Concreto para regularização, com consumo de 150 kg de cimento por m3	m³	360,00	98,37	35 413,56
5 4	Concreto estrutural com consumo de 300kg/m3 e fck = 15MPa	m³	2 173,00	111,93	243 223,89
5 4	Forma plana de madeira comum	m²	5 502,00	16,97	93 341 43
5 5	Fornecimento, preparo e colocação de aço CA-50	kg	73 340,00	2,23	163 548,20
5 6	Fornecimento e assentamento de Junta de Vedação Fungenband tipo 0-22	m	96,00	26,01	2 497,25
5 7	Reaterro compactado manualmente	m³	90,00	4,07	366,30
	<b>Total do Item 5</b>				<b>1 534 486,63</b>
<b>6.0</b>	<b>Tomada D'Água</b>				
6 1	Escavação manual de valas, material de 1a categoria, 1,50<H<3,00 m	m³	1 390,00	11,97	16 638,30
6 2	Escavação manual de valas, material de 3a categoria, 1,50<H<3,00 m	m³	40,00	32,42	1 296,80
6 3	Concreto estrutural com fck = 15MPa caixa de entrada, galeria e bacia de dissipação	m³	49,00	111,93	5 484,57
6 4	Forma plana de madeira comum	m²	205,00	16,97	3 477,83
6 5	Fornecimento, preparo e colocação de aço CA-50/60	kg	2 114,00	2,23	4 714,22
6 6	Concreto para regularização com consumo de 150 kg de cimento/ m3	m³	23,00	98,37	2 262,53
6 7	Reaterro compactado manualmente	m³	25,00	4,59	114,75
6 8	Fornecimento e assentamento de Junta de vedação Fungenband tipo 0-22	m	18,00	40,42	727,56
6 9	Colocação de rocha na bacia de dissipação, inclusive, carga, transporte e descarga	m³	12,00	4,47	53,64
6 10	Fornecimento e montagem de Tubulações em aço de ASTM A-36 com diâmetro de 400 mm para tomada d aqua	m	25,00	127,90	3 197,50
6 11	Fornecimento e montagem de Registro de acionamento direto, volante e by-pass com d=400mm	ud	1,00	1 737,23	1 737,23
6 12	Fornecimento e montagem da Válvula borboleta completa, diâmetro de 400mm, com acionamento manual por volante	ud	1,00	4 500,00	4 500,00
6 13	Fornecimento e montagem de Grade de aço de 1,40 x 1,20m e dispositivo de calagem, inclusive assessorias	ud	1,00	509,00	509,00
	<b>Total do Item 6</b>				<b>44 713,93</b>
	<b>Total Geral</b>				<b>2 899 421,23</b>

000043

## RESUMO ORÇAMENTÁRIO

ITEM	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	VALOR (R\$)
1	Administração e Fiscalização	138 067,68
2	Serviços Preliminares	225 836,85
3	Barragem	852 708,15
4	Tratamento e Injeção da Rocha de Fundação (Barragem e Sangradouro)	103 608,00
5	Sangradouro	1 534 486,63
6	Tomada D'Água	44 713,93
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>2.899.421,23</b>

**12 - RELAÇÃO DO EQUIPAMENTO MÍNIMO**

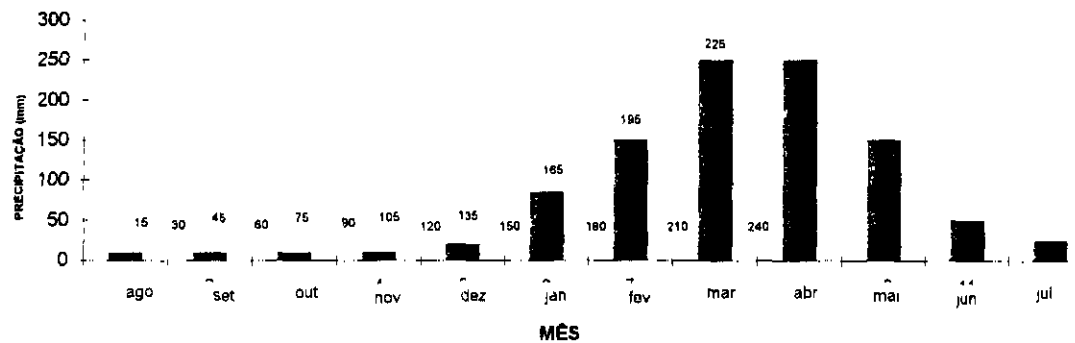
## 12 - RELAÇÃO DO EQUIPAMENTO MÍNIMO

1	Trator de esteiras com potência igual ou superior a 270 HP	02
2	Trator de esteiras com potência igual ou superior a 140 HP	02
3	Trator de pneus com potência igual ou superior 100 HP	03
4	Carregadeira frontal com potência igual ou superior a 170 HP	04
5	Motoniveladora com potência igual ou superior a 125 HP	03
6	Caminhão basculante com capacidade igual ou superior a 6 <sup>m3</sup>	10
7	Betoneiras com capacidade mínima de 320 l	03
8	Caminhão pipa com capacidade igual ou superior a 6000 l com irrigadeira	04
9	Rolo compactador autopropelido vibratório pé-de-carneiro de 10 ton ou similar	03
10	Rolo liso autopropelido vibratório de 10 ton ou similar	02
11	Retro-escavadeira com capacidade igual ou superior a 0,6m <sup>3</sup>	02
12	Conjunto de britagem com capacidade igual ou superior a 20m <sup>3</sup> /h	01
13	Compressor de ar com capacidade igual ou superior a 700pcm (pés cúbicos por minuto)	02
14	Compressor de ar portátil com capacidade superior a 250pcm	01
15	Carreta de perfuração com capacidade igual ou superior a 500pcm (pés cúbicos por minuto)	02
16	Grade de disco com capacidade de 20 discos de 24"	02
17	Sapo mecânico	02
18	Marteletes de 24kg	04

**13 - CRONOGRAMA FÍSICO**

### CRONOGRAMA FISICO DAS OBRAS

SERVIÇOS	TEMPO(dias)															
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240
1- Administração e Fiscalização																
Instalação e Manutenção																
Mobilização																
Desmobilização																
2-Serviços Preliminares																
3- Barragem																
Fundação																
Maciço																
4- Sangradouro																
5- Tomada D'Água																
Escavação																
Concreto																
Equipamentos Hidromecânicos																



000053