

## MÓDULO III PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM MARANGUAPE I

### VOLUME II – ANTEPROJETO

### TOMO 1 – RELATÓRIO DE CONCEPÇÃO GERAL

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
00	Abril/2002	Emissão Inicial	WBSR/JRPB	JRPB		
01	Jul/2002	Alterações Segundo Considerações da 38ª Reunião do PISB	WBSR	WBSR/JRPB		
02	Nov/2002	Alterações Segundo Considerações da 40ª Reunião do PISB	WBSR	WBSR/JRPB		
03	Dez/2002	Alterações Segundo Considerações da 41ª Reunião do PISB	WBSR	WBSR/JRPB		

## ÍNDICE

## ÍNDICE

<a href="#">APRESENTAÇÃO</a> .....	4
<a href="#">1 - INTRODUÇÃO</a> .....	7
<a href="#">2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO</a> .....	11
<a href="#">3 - ESTUDOS BÁSICOS</a> .....	14
<a href="#">3.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS</a> .....	15
<a href="#">3.1.1 - Cartografia</a> .....	15
<a href="#">3.1.2 - Fotointerpretação</a> .....	15
<a href="#">3.1.3 - Transportes de Coordenadas</a> .....	16
<a href="#">3.1.4 - Transportes de Cotas</a> .....	16
<a href="#">3.1.5 - Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro</a> .....	16
<a href="#">3.1.6 - Levantamento da Bacia Hidráulica</a> .....	17
<a href="#">3.1.7 - Levantamento das Jazidas</a> .....	19
<a href="#">3.1.8 - Apresentação dos Estudos Topográficos</a> .....	19
<a href="#">3.2 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS</a> .....	19
<a href="#">3.2.1 - Investigação Geotécnica</a> .....	20
<a href="#">3.2.2 - Estudos das Ocorrências de Materiais</a> .....	35
<a href="#">3.3 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS</a> .....	38
<a href="#">3.3.1 - Caracterização Física da Bacia Hidrográfica</a> .....	38
<a href="#">3.3.2 - Estudos Hidroclimatológicos</a> .....	43
<a href="#">3.3.3 - Estudos Pluviométricos</a> .....	51
<a href="#">3.3.4 - Estudos das Cheias</a> .....	56
<a href="#">3.3.5 - Curvas de Regulação do Reservatório</a> .....	60
<a href="#">3.3.6 - Determinação da Capacidade do Reservatório</a> .....	63
<a href="#">3.3.7 - Dimensionamento do Sangradouro</a> .....	64
<a href="#">3.3.8 - Estudos Adicionais</a> .....	68
<a href="#">4 - ANTEPROJETO DA BARRAGEM</a> .....	72
<a href="#">4.1 - ESCOLHA DA ALTERNATIVA DO EIXO BARRÁVEL</a> .....	73
<a href="#">4.1.1 - Seleção dos Eixos na 1ª Fase</a> .....	73
<a href="#">4.1.2 - Escolha Final do Eixo</a> .....	84
<a href="#">4.2 - ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DO EIXO</a> .....	85
<a href="#">4.3 - ALTERNATIVAS EXAMINADAS DE SEÇÃO DE MACIÇO</a> .....	87
<a href="#">4.4 - CONCEPÇÃO GERAL DA BARRAGEM</a> .....	87
<a href="#">4.5 - ANTEPROJETO DO SANGRADOURO</a> .....	92
<a href="#">4.5.1 - Estimativa de Custo do Sangradouro</a> .....	98
<a href="#">4.6 - ANTEPROJETO DA TOMADA D'ÁGUA</a> .....	98
<a href="#">4.7 - APRESENTAÇÃO DO ANTEPROJETO</a> .....	99

## APRESENTAÇÃO

## APRESENTAÇÃO

Os serviços executados pelo Consórcio JP ENGENHARIA – AGUASOLOS – ESC/TE, no âmbito do Contrato nº 005/PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH/2001, assinado em 22/03/2001 com a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), tem como objeto a Elaboração dos Estudos de Viabilidade Técnica, Ambientais e Econômicas, EIAS-RIMAS, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais e Planos de Reassentamentos de Populações, Manuais de Operação e Manutenção e Avaliações Financeira e Econômica, referentes às Barragens GAMELEIRA, TRAIRI, JENIPAPEIRO, MARANGUAPE I e MARANGUAPE II e Aduoras de ITAPIPOCA, TRAIRI, IPAUMIRIM/BAIXIO/UMARI e MARANGUAPE/SAPUPARA/URUCARÁ/LADEIRA GRANDE.

Os estudos desenvolvidos, em atendimento aos Termos de Referência, são constituídos por atividades multidisciplinares que permitem a elaboração de relatórios específicos organizados em Módulos, Volumes e Tomos. As partes e tomos que compõem o acervo do contrato são os apresentados na seqüência:

### Módulo I – Estudos de Alternativas de Localização das Barragens e Aduoras

VOLUME I – Estudo de Alternativas e Opções para a Localização dos Eixos Barráveis e Aduoras

### Módulo II – Estudos dos Impactos no Meio Ambiente

VOLUME I – Estudos Básicos e Diagnóstico

Tomo 1 – Estudos Básicos

Tomo 2 – Diagnóstico Ambiental

VOLUME II – EIA/RIMA

Tomo 1 – Relatório Preliminar dos Estudos Ambientais

Tomo 2 – Relatório Final EIA/RIMA

### Módulo III – Projeto Executivo das Barragens

VOLUME I – Estudos Básicos

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Estudos Hidrológicos

Tomo 3 – Estudos Cartográficos

Tomo 4 – Estudos Topográficos

Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

**VOLUME II – Anteprojeto**

**Tomo 1 – Relatório de Concepção Geral**

**Tomo 2 – Plantas**

### VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Especificações Técnicas

Tomo 4 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 5 – Síntese

Tomo 6 – Plantas

### Módulo IV – Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento

#### VOLUME I – Levantamento Cadastral

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Laudos Individuais de Avaliação

Tomo 3 – Levantamentos Topográficos

#### VOLUME II – Plano de Reassentamento

Tomo 1 – Diagnóstico

Tomo 2 – Programação das Ações

Tomo 3 – Detalhamento do Plano de Reassentamento

Tomo 4 – Relatório Final do Reassentamento

### Módulo V – Projeto Executivo das Adustras

#### VOLUME I – Estudos Básicos

Tomo 1 – Levantamentos Topográficos

Tomo 2 – Investigações Geotécnicas

#### VOLUME II – Anteprojeto

#### VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

Tomo 1 – Memorial Descritivo

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 4 – Especificações Técnicas e Normas de Medição e Pagamento

Tomo 5 – Plantas

### Módulo VI – Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção

#### VOLUME 1 – Manuais de Operação e Manutenção

### Módulo VII – Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

#### VOLUME 1 – Relatório de Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

O presente relatório é nomeado como Volume II – Anteprojeto, Tomo 1 – Relatório de Concepção Geral, e é parte integrante do Módulo III.

## 1 - INTRODUÇÃO

## 1 - INTRODUÇÃO

Atendendo ao disposto nos Termos do Contrato N° 005-PROGERIRH/PILOTO/CE/SRH/2001 e seus correspondentes anexos, compostos do Edital de Concorrência SDP N° 05/00-PROGERIR/SRH/CE e a Proposta Técnica e de Preços, referente ao Projeto Executivo da Barragem Maranguape I, no Estado do Ceará, estamos apresentando o presente relatório, descrevendo as etapas que foram empreendidas no “Módulo III” do mencionado contrato, inerentes ao Anteprojeto da Barragem Maranguape I.

O objetivo deste trabalho é descrever os estudos básicos elaborados e apresentar a concepção do projeto da Barragem Maranguape I. Assim sendo, o relatório aborda os seguintes tópicos:

- Localização e Acesso;
- Estudos Básicos;
  - Estudos Topográficos;
  - Estudos Geotécnicos;
  - Estudos Hidrológicos; e
- Anteprojeto da Barragem.

As principais características da Barragem Maranguape I são apresentadas na ficha técnica a seguir:

### FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM MARANGUAPE I

#### – Identificação

Denominação: ..... Barragem Maranguape I  
 Estado: ..... Ceará  
 Município: ..... Maranguape  
 Coordenadas UTM: ..... 532.756,819 E e 9.564.360,536 N  
 Sistema: ..... Metropolitano  
 Rio Barrado: ..... Gereraú  
 Proprietário: ..... Estado do Ceará/SRH  
 Autor do Projeto: ..... Consórcio JP-ENG/AGUASOLOS/ESC-TE  
 Data do Projeto: ..... Abril/2002



– **Bacia Hidrográfica**

Área: .....	15,86km <sup>2</sup>
Precipitação média anual: .....	1386mm
Evaporação média anual: .....	1468mm

– **Características do Reservatório**

Área da bacia hidráulica (cota 103,00m): .....	43,62ha
Volume acumulado (cota 103,00m): .....	4,58hm <sup>3</sup>
Volume afluente médio anual: .....	5,107hm <sup>3</sup>
Volume morto do reservatório (cota 92,00m): .....	0,87hm <sup>3</sup>
Volume de alerta (cota 94,00 m): .....	1,32hm <sup>3</sup>
Vazão regularizada (90%): .....	0,092m <sup>3</sup> /s
Vazão afluente max. de projeto (TR=1.000anos): .....	399m <sup>3</sup> /s
Vazão max. de projeto amortecida (TR=1.000anos): .....	150m <sup>3</sup> /s
Vazão afluente max. de projeto (TR=10.000anos): .....	528m <sup>3</sup> /s
Vazão max. de projeto amortecida (TR=10.000anos): .....	220m <sup>3</sup> /s
Nível d'água máximo normal: .....	103,00m
Nível d' água max. maximorum (TR=1.000anos): .....	106,28m
Nível d' água max. maximorum (TR=10.000anos): .....	107,24m

– **Barragem**

Tipo: .....	homôgenea de Solo
Altura máxima: .....	25,44m
Largura do coroamento: .....	6,0m
Cota do coroamento: .....	El.108,50m
Talude de montante: .....	1,0 v: 2,5 h
Talude de jusante: .....	1,0 v: 2,0h

– **Tomada de água**

Tipo: .....	galeria com tubo de ferro fundido
Número de condutos: .....	1 (um)
Diâmetro: .....	300mm
Cota da geratriz inferior a montante: .....	El. 88,85m
Cota de geratriz inferior à jusante: .....	El. 88,85m
Localização: .....	27+10,00 (ombreira direita)

– **Vertedouro**

Tipo: .....Canal Escavado em Rocha  
 Largura: ..... 18,00m  
 Extensão total do canal: ..... 197,58m  
 Vazão máxima (Tr=1.000 anos): ..... 150,00m<sup>3</sup>/s  
 Lâmina máxima prevista (T.R=1000anos): ..... 3,28m  
 Lâmina máxima prevista (T.R=10.000anos): ..... 4,24m

## 2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

## 2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

Localizado na Região Metropolitana de Fortaleza o município de Maranguape, tem sua posição geográfica definida pelas coordenadas 3°53'27" de latitude Sul e 38°41'08" de longitude Oeste. Com extensão territorial de 672 km<sup>2</sup>, limita-se ao norte com Caucaia e Maracanaú, ao sul com Palmácia e Caridade, a leste com Pacatuba e Guaiuba e a oeste com Pentecoste.

O abastecimento de água da sede do município está sob a responsabilidade da CAGECE e deverá ser reforçado com a construção da Barragem Maranguape I.

O eixo barrável Maranguape I está localizado em um afluente do riacho Tangueira, à aproximadamente 5,0 km ao sul da sede do município de Maranguape.

O acesso ao local é feito a partir de Fortaleza, pela CE-065, passando-se pela sede do município de Maranguape. Após esta, cerca de 5,0 km chega-se à região do eixo barrável, (ver figura 2.1 a seguir).

## ***Mapa de localização FIG 2.1***

### 3 - ESTUDOS BÁSICOS

### 3 - ESTUDOS BÁSICOS

Os estudos básicos consistiram dos estudos topográficos, geotécnicos e hidrológicos, desenvolvidos para subsidiar o Projeto Executivo da Barragem Maranguape I.

#### 3.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Os trabalhos de topografia abrangeram os seguintes serviços:

1. Cartografia;
2. Transporte de coordenadas;
3. Transporte de cotas;
4. Levantamento do eixo barrável e de sangradouro;
5. Levantamento da bacia hidráulica;
6. Levantamento de empréstimos.

##### 3.1.1 - Cartografia

Os estudos topográficos tiveram como partida a cartografia com base nas cartas da SUDENE (escala 1:100.000) e no projeto RADAMBRASIL (escala 1:250.000). Tais estudos serviram de apoio para o planejamento na análise dos estudos preliminares da geologia regional e local, da cobertura vegetal e da situação geográfica da barragem. Sobre a base cartográfica foi definida a localização do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica da barragem. Para esse estudo também foram utilizadas fotos aéreas da região.

##### 3.1.2 - Fotointerpretação

Uma fotointerpretação básica para o detalhamento dos estudos foi executada com base na aerofotogrametria realizada em escala de 1:15000, onde preliminarmente foi feita nos locais barráveis durante a realização dos Estudos de Alternativas. Estas atividades examinaram os aspectos de relevo: a forma, a topografia e as declividades. Foram analisados também os aspectos geológicos, determinando-se os tipos de formação, o traçado da rede de drenagem e a pré-locação de pontos de afloramentos rochosos, as fraturas, os depósitos aluvionares, as manchas de cascalhos e os solos residuais para empréstimos.

### 3.1.3 - Transportes de Coordenadas

Foram utilizados como ponto de partida, marcos geodésicos do IBGE existentes na área em estudo. Inicialmente foram implantados os marcos (M-01 a M-04), posteriormente complementados com mais dois marcos (M-05 e M-06), que serviram de origem para o traçado da malha de coordenadas necessárias à elaboração das plantas topográficas. O Quadro 3.1, a seguir, apresenta as características dos marcos implantados. As medições foram feitas com GPS (Sistema de Posicionamento Global) Trimble 4600LS, de uma frequência com duração de rastreamento de 01 hora.

<b>Quadro 3.1 – Marcos Implantados na Barragem Maranguape I</b>					
Ponto	Localização (*)	Coordenadas UTM (m)		Longitude Geodésica	Latitude Geodésica
		Norte	Este		
Marco M-01	Km 6,48	9.546.360,536	532.756.819	38°42'17,75498"W	03°56'28,45862"S
Marco M-02	Km 7,22	9.563.608,044	532.750,366	38°42'17,95557"W	03°56'52,96601"S
Marco M-11	Km 5,36	9.564.150,742	531.650,828	38°42'53,61765"W	03°56'35,30376"S
Marco M-03	Km 9,81	9.563.915,610	531.622,487	38°42'54,53407"W	03°56'42,96164"S
Marco M-04	Km 6,69	9.563.589,830	530.685,332	38°43'24,92075"W	03°56'53,58230"S
Marco M-12	Km 6,59	9.563.637,165	530.764,660	38°43'22,34878"W	03°56'52,03982"S

(\*) A localização dos marcos teve como Km 00 a Igreja de Urucará. Para uma melhor visualização dos marcos no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 3 – Estudos Cartográficos, no item 11.1, esta apresentada a Monografia dos Vértices Implantados.

### 3.1.4 - Transportes de Cotas

O transporte de cotas se fez a partir do marco do IBGE mais próximo, através de poligonais de nivelamento e de contra-nivelamento levantadas com equipamentos topográficos de precisão compatíveis com os serviços, Nível Wild NAK-1.

A poligonal de contra-nivelamento foi levantada após a execução da poligonal de nivelamento. Estas poligonais são apresentadas nas cadernetas de campo do Volume I – Estudos Básicos, Tomo 4 – Estudos Topográficos.

### 3.1.5 - Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro

O levantamento do eixo barrável foi executado com uma abrangência numa faixa de domínio de 150 metros à montante e 150 metros à jusante do referido eixo.



Foram levantadas seções transversais ao eixo, com pontos cotados a cada 20 metros, de acordo com a faixa de domínio recomendada.

Os levantamentos dos eixos longitudinal e transversal do sangradouro seguiram a sistemática descrita anteriormente, sendo que as seções tiveram seus levantamentos prolongados à montante, até a cota fixada para soleira, e à jusante, até encontrarem o leito do rio. Para distâncias maiores, o levantamento até o leito do rio foi feito acompanhando o canal de sangria, através de poligonais seccionadas a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros.

Utilizando-se um teodolito Wild T-1A, nº 156.024, locou-se o eixo da barragem e sangradouro, os quais foram materializados a cada 20 metros por pontos estaqueados, numerados e cotados, podendo ser encontradas estacas intermediárias indicando elementos importantes, tais como: talwegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno, etc.

Foram instalados no eixo três marcos a saber: Marco zero na estaca zero com cota 120,70 m, Marco-02 na estaca 21+11,30 com cota 91,90 m e Marco-03 na estaca 30 com cota 113,96 m.

O levantamento altimétrico da barragem Maranguape I, foi realizado utilizando-se um nível Wild NAK-1, nº 343.367, onde foram niveladas todas as estacas dos eixos materializados.

### **3.1.6 - Levantamento da Bacia Hidráulica**

Para a execução dos serviços plani-altimétricos na área da bacia hidráulica da barragem Maranguape I, o Consórcio firmou contrato com a empresa *BASE Aerofotogrametria e Projetos S/A*, tendo como objetivo a execução de serviços de engenharia cartográfica, compreendendo cobertura aerofotogramétrica colorida, na escala 1:15.000 e mapas digitais na escala 1:5.000 da bacia hidráulica da barragem Maranguape I.

#### **Cobertura Aerofotogramétrica**

A cobertura aerofotogramétrica teve todos os serviços executados de acordo com as Especificações Técnicas, sendo isentos de defeitos, de falhas e de omissões.

Toda a área sobrevoada foi realizada com aeronave modelo Navajo PA31 bimotor, equipada à tomada de aerofotos e homologada para vôos aerofotogramétricos.

As fotografias foram obtidas com câmara aerofotogramétrica da marca ZEISS, modelo RMK-TOP, de última geração, dotada de mecanismo compensador do arrastamento de imagens causado pelo deslocamento da aeronave, chassi giro-estabilizado, que compensa instantaneamente as eventuais inclinações da aeronave e mecanismo automático que possibilita o registro das coordenadas do centro da foto no momento da tomada.

Foi utilizado filme aerofotogramétrico colorido de base estável, marca Kodak Aerocolor HS Film SO 846 de alto poder resolutivo e quadro com formato útil de 23 x 23 cm.

O processamento do filme e de todos os seus subprodutos foi realizado em laboratório, com condições de temperatura e umidade relativa controladas.

As cópias fotográficas foram executadas em copiadoras eletrônicas, utilizando-se papel fotográfico, semi-mate com graduação que permitiu bom contraste.

Para a confecção do foto-índice digital, as fotografias foram scanerizadas e montadas em faixas e estas em blocos, e, em seguida, reproduzidas em escala 4 (quatro) vezes menor que a escala original das fotos, em papel Semi Gloss, enquadradas por coordenadas geográficas, através de cruzetas desenhadas nos 4 (quatro) cantos de cada folha.

### **Mapeamento Planialtimétrico**

Para o apoio básico, foram implantados 06 vértices, monumentalizados por marcos de concreto de formato tronco piramidal medindo 10x12x50 cm, com chapa de bronze no centro do topo e elevado a 10 cm do solo.

Para a determinação das coordenadas de cada vértice da rede de apoio básico da Barragem Maranguape I tivemos na planimetria origem no Vértice Bico Fino do IBGE.

Foram implantados os vértices M-01 a M-11. A determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:100.000.

Para a geração dos trabalhos de aerotriangulação, as imagens foram obtidas a partir da scanerização dos negativos fotogramétricos na escala 1:15.000, com

utilização de “scanner fotogramétrico” com capacidade de geração de imagens digitais com pixel de 28 microns.

A aerotriangulação espacial foi executada em equipamentos digitais ISM dotados de programa específico para o cálculo e ajustamento da mesma utilizando a scannerização executada.

No cálculo da aerotriangulação foi utilizado o programa PAT-B do professor Ackermann.

Para a vetorização dos elementos cartográficos: sistema hidrográfico; altimetria; referências de nível; e ortofoto, foram utilizados restituidores digitais dotados de programa específico.

Todos os trabalhos seguiram as *Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional*, atendendo ao padrão de PEC estabelecido a esse tipo de trabalho.

### **3.1.7 - Levantamento das Jazidas**

As equipes de estudos geológicos e geotécnicos encontravam-se em campo realizando os serviços expeditos de identificação e classificação das áreas de ocorrências de materiais que poderão ser utilizados na construção da barragem. Estas áreas foram informadas a equipe topográfica e foram locadas em relação ao eixo da barragem.

### **3.1.8 - Apresentação dos Estudos Topográficos**

No Tomo 2 são apresentados os desenhos relativos aos estudos topográficos da bacia hidráulica, do boqueirão e do sangradouro, conforme a relação dos desenhos a seguir:

II – 2 – 01 / 27 – 003 - Planta da Bacia Hidráulica

II – 2 – 04 / 27 – 003 - Boqueirão e Sangradouro – Planta e Locação das Sondagens

II – 2 – 06 / 27 – 003 – Planta Geral de Locação das Ocorrências

## **3.2 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS**

Os estudos geotécnicos consistiram na investigação do subsolo no eixo barrável e sangradouro e do estudo das ocorrências de materiais para construção.

### 3.2.1 - Investigação Geotécnica

Na 40ª Reunião do PISB, foi decidido alterar o eixo da Barragem Maranguape I, deslocando-o para montante cerca de 200 m. Neste novo eixo, foi programada a seguinte campanha de investigação de subsolo, descrita no Quadro N° 3.2:

<b>Quadro N°3.2: Investigação Geotécnica</b>			
<b>Sondagem</b>	<b>Estaca</b>	<b>Local</b>	<b>Cota (m)</b>
<b>Boqueirão</b>			
SP-501	4+0,00	EIXO	91,602
SP-502	7+0,00	EIXO	87,443
SP-503	9+0,00	EIXO	93,596
SP-504	15+0,00	EIXO	92,694
SP-505	17+0,00	EIXO	84,058
SP-506	19+0,00	EIXO	91,181
SP-507	21+0,00	EIXO	91,695
SP-508	25+0,00	EIXO	91,571
<b>Sangradouro</b>			
SM-401	3S	EIXO	121,028
SM-402	2S	EIXO	121,403
SM-403	2S	26,70 P/JUSANTE	114,200

#### 3.2.1.1 - Metodologia Empregada

Nas sondagens a percussão foram usados dois processos para o avanço do furo. Inicialmente foi usado o trado concha de 4", ao encontrar-se o nível d'água ou material impenetrável a esta ferramenta, o furo foi revestido e prosseguido por lavagem até atingir, por sua vez, o material impenetrável a este processo.

Para a extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2" e 3/8" de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual era cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65kg, com altura de queda de 75cm. Durante a cravação

do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para uma penetração de cada 15cm no terreno, até uma penetração total de 45cm. A soma dos golpes das duas últimas parcelas de 15cm, ou seja, dos 30cm finais de cravação, é apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens. Este número de golpes é denominado de “Standard Penetration Test (SPT)”.

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas com uma sonda rotativa. O processo de execução do furo no trecho percussivo obedeceu às diretrizes descritas anteriormente. As sondagens rotativas foram executadas com coroa NX (diâmetro externo igual a 2,965pol e diâmetro interno igual a 2,155pol) de diamante acoplada a um barrilete giratório com caixa de mola. Para cada operação do barrilete foram registrados a percentagem de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis de sondagens.

### 3.2.1.2 - Apresentação dos Resultados da Investigação Geotécnica

A locação dos furos de sondagem é apresentada no Tomo 2 do Anteprojeto.

Os resultados das investigações geotécnicas são apresentados a seguir sob a forma de perfis individuais.

A partir dos boletins de sondagem elaborou-se o perfil geotécnico das camadas do subsolo, mostrado no Desenho II – 2 – 05 / 27 – 003 do Tomo 2 do Anteprojeto.

11 páginas

Mista Maranguape I 401-402-403.xls

Percussão Maranguape I – SP 501 a 508

### 3.2.1.3 - Comentário Sobre as Sondagens

No local onde será implantada a Barragem Maranguape I, decidido na 40ª Reunião do PISB, foram executadas oito sondagens à percussão no boqueirão e três sondagens rotativas na área do sangradouro.

Na sondagem SP-501, executada na estaca 4, com cota da boca do furo 91,602 m foi encontrado entre 0,00 m e 1,80 m uma areia siltosa, pouco compacta, com SPT variando de 11 golpes a 18 golpes. De 1,80 m a 2,45, final do furo foi encontrado um silte argiloso, micáceo, medianamente compacto, cinza, caracterizado por um solo residual, com SPT de 23 golpes. Neste furo não foi identificado nível d'água.

Na sondagem SP-502, realizada na estaca 7, com cota de boca de furo de 87,448 m, foi encontrado de 0,00 a 1,00 m uma areia siltosa compacta, com SPT de 5 golpes. De 1,00 m a 2,30 m foi encontrado um silte argiloso, com pedregulho, rijo, cinza escuro, com SPT variando de 9 golpes a 11 golpes. De 2,30 m a 11,46 m, final do furo, foi encontrado um silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, compacto e muito compacto, cinza e amarelo, caracterizado por solo residual, com SPT variando de 23 golpes a 90 golpes. Foi encontrado nível d'água na profundidade de 2,30 m.

O furo SP-503 foi executado na estaca 9, na cota 93,596 m. De 0,00 m a 0,75 m foi encontrado uma argila siltosa, rija, marrom, com SPT de 16 golpes. De 0,75 m até 8,75 m final do furo, foi encontrado silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, compacto, cinza, caracterizado por um solo residual, com resistência a penetração SPT variando de 29 golpes a 54 golpes. Não foi identificado nível d'água neste furo.

Pelas sondagens geotécnicas executadas neste trecho entre as estacas 20 a 11, a barragem deverá ser assente após a escavação de 1,0 m de profundidade. O cut-off da barragem deverá estar engastado no solo residual.

A sondagem SP-504 foi programada para ser executada na estaca 15. Essa sondagem não foi executada por ter sido encontrado afloramento de rocha neste local.

O furo SP-505 foi executado na estaca 17, na cota 84,058 m. De 0,00 m a 0,80 m foi encontrado um silte arenoso fofo, cinza, com SPT de 3 golpes. De 0,80 m a 1,70 m foi encontrado uma areia siltosa, micáceo, com pedregulhos, fofo, cinza, com SPT de 4 golpes. De 1,70 m a 4,30 m foi encontrado uma argila siltosa, mole, amarela, com SPT variando de 3 golpes a 5 golpes. De 4,30 m a 4,45 m, foi encontrado um silte

arenoso, micáceo, compacto, cinza, caracterizado por solo residual, com SPT de 36 golpes. Não foi identificado nível d'água neste furo.

A sondagem SP-506 foi executada na estaca 19, na cota 91,181 m. De 0,00 m a 0,70 m foi encontrado uma argila arenosa, mole, cinza escura, com SPT de 4 golpes. De 0,70 m a 5,45 m foi encontrado uma areia argilosa com pedregulhos, medianamente compacta e compacta, amarela, caracterizada por solo residual, com SPT variando de 8 golpes a 20 golpes. Neste furo não foi identificado nível d'água.

A sondagem SP-507 foi executada na estaca 21, na cota 91,695 m. De 0,00 m a 3,80 m foi encontrado um silte arenoso, com pedregulhos, medianamente compacto e compacto, cinza, com SPT variando de 26 golpes a 33 golpes. De 3,80 m a 6,80 m foi encontrado uma areia argilosa com pedregulhos, muito compacta, caracterizado por solo residual, com SPT variando de 23 golpes a 43 golpes. Não foi identificado nível d'água neste furo.

A sondagem SP-508 foi executada na estaca 25, na cota 91,571. De 0,00 m a 6,00 m foi encontrado um silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, fofa a medianamente compacto, cinza, caracterizado por solo residual, com SPT variando de 3 golpes a 12 golpes. Não foi encontrado nível d'água neste furo.

Pelas sondagem geotécnicas executadas neste trecho, entre as estacas 13 a 29, a barragem deverá ser assente após a escavação de 1,0 m de profundidade. O cut-off da barragem deverá estar engastado em solo residual.

A sondagem SM-401 foi executada na estaca 3S. De 0,00 m a 0,60 m foi encontrado uma argila arenosa, rija, marrom, com SPT de 12 golpes. De 0,60 m a 3,00 m foi encontrado um silte arenoso, com pedregulhos, micáceo, compacto a muito compacto, cinza e amarelo, caracterizado por solo residual, com SPT variando de 37 golpes a 54 golpes. De 3,00 m a 8,00 m foi encontrado um micaxisto, com veios de feldspato, muito macia, cinza escura, com recuperação baixa, inferior a 20%, RQD nulo, rocha decomposta e com fraturas superiores a 20 fraturas por metro. De 8,00 m a 14,00 m foi encontrado um granito, cinza e amarelo, com recuperação variando entre 10% a 40%, com RQD variando de zero a 30%, altamente intemperizada a medianamente intemperizada, apresentando 10 fraturas por metro. Não foi encontrado nível d'água neste furo.

A sondagem SM-402 foi realizada na estaca 2S na cota 121,403 m. De 0,00 m a 0,80 m foi encontrado uma areia siltosa, fofa, marrom, com SPT de 14 golpes. De 0,80 m a 3,06 m foi encontrado um silte arenoso, com pedregulhos, micáceo, compacto a muito, cinza, caracterizado por solo residual, com SPT variando de 38 golpes a



30/6 golpes. De 3,06 m a 6,00 m foi encontrado uma biotita-gnaiss, preta e cinza, com recuperação variando de zero a 18%, RQD nulo, com grau de intemperismo variando de rocha decomposta a altamente intemperizada. De 6,00 m a 12,00 m, foi encontrado granito, branco e cinza, com recuperação variando de 2% a 81%, conforme avanço do furo, com RQD variando de zero a 80%, conforme avanço do furo, medianamente intemperizada a ligeiramente intemperizada, com 5 fraturas por metro. Não foi encontrado nível d'água neste furo.

Pelas sondagens realizadas na área do sangradouro, pode-se observar a competência da rocha para a implantação de uma soleira espessa na Barragem Maranguape I.

### 3.2.2 - Estudos das Ocorrências de Materiais

Como fonte de materiais para a construção da barragem foram identificadas duas jazidas de solo, denominadas de J-01 e J-02, um areal denominado de A-01 e uma pedreira, denominada de P-01. O Desenho N° II – 2 – 06 / 27 – 003 do Tomo 2 do Anteprojeto mostra a locação de todas as ocorrências.

#### 3.2.2.1 - Jazida

Foram identificadas duas jazidas de material terroso para a construção da barragem, denominadas de J-01 e J-02. No Desenho N° II – 2 – 06 / 27 – 003 do Tomo 2 do Anteprojeto é apresentada a localização da jazida.

No Quadro 3.3 é apresentada a características da jazida.

<b>Quadro 3.3: Característica das Jazidas de Solo</b>		
<b>Características</b>	<b>Jazida J-01</b>	<b>Jazida J-02</b>
ÁREA (m <sup>2</sup> )	455.000	475.000
VOLUME ÚTIL (m <sup>3</sup> )	395.850	370.500
VEGETAÇÃO	Mata densa	Mata densa
PROPRIEDADE	Sr Roberto	Sr José Paulo
ESPESSURA MÉDIA DE EXPURGO (m)	0,10	0,10
QUANTIDADE DE FUROS	110	90
MALHA (m)	100 X 100	100 X 50

Nas jazidas de solo foram implantados furos abertos a pá e picareta, localizados nos vértices de uma malha de 100m X 100m, na jazida J-01 e de uma malha de 100m X 50m na jazida J-02. Nesses furos foram coletadas amostras, as quais foram enviadas ao laboratório e submetidas a ensaios geotécnicos.

Os ensaios de laboratório foram os seguintes:

- Granulometria por Peneiramento;
- Granulometria por Sedimentação;
- Limite de Liquidez.
- Limite de Plasticidade.
- Compactação – Proctor Normal.
- Permeabilidade de Carga Variável
- Cisalhamento Direto Lento

No Quadro 3.4 são apresentados os valores médios dos ensaios geotécnicos de laboratório realizados até o dado instante.

Quadro 3.4: Valores Médios dos Ensaios de Laboratório – Jazidas de Solo												
GRANULOMETRIA (% QUE PASSA)								PLASTICIDADE (%)		USC	COMPACTAÇÃO	
JAZIDA	2"	1"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP		Hot	$\gamma_{\text{máx}}$ (g/cm <sup>3</sup> )
J-01	100	100	97	88	80	64	35	*	*	*	*	*
J-02	100	100	96	91	86	72	42	*	*	*	*	*

Nota: Os resultados com asterisco indicam que os resultados ainda não estão disponíveis.

No Quadro 3.5 são apresentados os valores dos ensaios geotécnicos especiais realizados até o dado instante.

Quadro 3.5: Ensaios Geotécnicos Especiais – Jazidas de Solo				
Jazida	Furo	Profundidade	Coesão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Atrito (º)
J-01	15	0,10 – 1,10	0,10	32,7

### 3.2.2.2 - Areal

Foi identificado um único areal para a construção da barragem, denominado de A-01. No Desenho Nº II – 2 – 06 / 27 – 003 do Tomo 2 do Anteprojeto é apresentada a localização do areal. O areal A-01 está localizado no Rio Generaú.

Para o areal foram realizados em laboratório, ensaios geotécnicos de granulometria por peneiramento e a permeabilidade. Nos quadros 3.6 e 3.7 são apresentados os resultados médios dos resultados dos ensaios realizados.

<b>Quadro 3.6: Ensaios de Granulometria do Areal</b>												
<b>Granulometria (percentagem que passa)</b>											<b>Dmáx</b>	<b>M.F</b>
<b>2"</b>	<b>1"</b>	<b>¾"</b>	<b>½"</b>	<b>3/8"</b>	<b>Nº4</b>	<b>Nº8</b>	<b>Nº16</b>	<b>Nº30</b>	<b>Nº50</b>	<b>Nº100</b>		
100	100	100	100	100	98	78	50	15	5	1	4,8	3,50

<b>Quadro 3.7: Ensaio de Permeabilidade com Carga Constante</b>	
<b>Furo Nº</b>	<b>Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)</b>
7	5,1 X 10 <sup>-3</sup>

### 3.2.2.3 - PEDREIRA

Foi identificada uma pedreira para a construção da barragem, denominada de P-01. No Desenho Nº II – 2 – 06 / 27 – 003 do Tomo 2 do Anteprojeto é apresentado a localização da pedreira.

No Quadro 3.8 é apresentada a característica da pedreira.

<b>Quadro 3.8: Característica da Pedreira</b>	
<b>Característica</b>	<b>Pedreira P-01</b>
ÁREA (m <sup>2</sup> )	200m X 50m (10.000m <sup>2</sup> )
VOLUME ÚTIL (m <sup>3</sup> )	300.000
PROPRIETÁRIO	Não identificado
VEGETAÇÃO	Densa

Para a pedreira foi realizado em laboratório, o ensaio de Desgaste de Agregado por Abrasão Los Angeles (DNER-ME 35-64).

No Quadro 3.9 é apresentado o valor médio do ensaio geotécnico de laboratório.

**Quadro 3.9: Ensaios de Desgaste Los Angeles**

Amostra N°	Los Angeles
1	30%

### 3.3 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os Estudos Hidrológicos do Açude Maranguape I objetivaram conhecer os fenômenos hidrológicos da sua bacia Hidrográfica, diretamente relacionados com o processo de regularização de vazões, para o dimensionamento do reservatório e das estruturas hidráulicas de descarga.

No desenvolvimento do trabalho foram realizados os seguintes estudos:

- Caracterização Física da Bacia Hidrográfica;
- Caracterização Climática da Bacia Hidrográfica;
- Regime Pluviométrico da Bacia Hidrográfica;
- Regime Fluvial e Dimensionamento do Reservatório;
- Regime Fluvial Médio;
- Emprego de Metodologias; e
- Dimensionamento do Sangradouro.

#### 3.3.1 - Caracterização Física da Bacia Hidrográfica

A bacia do Açude Maranguape I abrange uma área de 15,86 km<sup>2</sup>, um perímetro de 18,17 km, uma declividade de 68,67 m/km e um comprimento do curso principal de 4,5 km. A forma desta bacia pode agora ser caracterizada utilizando estes dados. A forma de uma bacia hidrográfica é importante, pois afeta o tempo de concentração, ou seja, o tempo do início da precipitação para que toda a bacia contribua no seu exutório, podendo assim servir como um indicativo de tendência para enchentes de uma bacia. Bacias pequenas variam muito de formato, dependendo da estrutura geológica da região.

#### Índices de Forma da Bacia

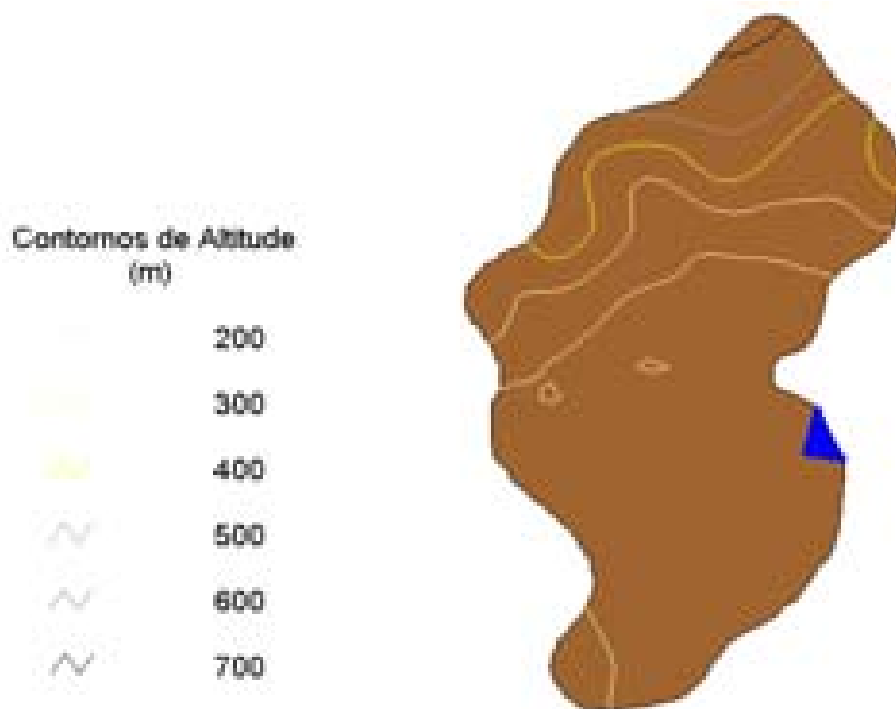
A forma superficial de uma bacia hidrográfica está diretamente ligada à sua aptidão para formar ondas de cheias

Vários índices podem ser utilizados para determinar a forma de bacias, procurando-a relacioná-la com formas geométricas conhecidas. O fator de compacidade a relaciona com o círculo, enquanto que o fator de forma com o retângulo.

Para a bacia do açude Maranguape I, tem-se um fator de forma ( $k_f$ ) de 0,78 e um fator de compacidade ( $k_c$ ) de 1,29.

Um fator de compacidade próximo a 1 corresponderia a uma bacia circular, e, se outros fatores forem iguais, uma bacia com este índice próximo a 1 teria uma tendência mais acentuada a maiores enchentes. O fator de compacidade da Bacia do Maranguape I é relativamente próximo a 1, o que indica uma bacia propensa a enchentes rápidas, se comparada com bacias semelhantes com forma mais alongada.

Um fator de forma baixo indica que uma bacia é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com maior fator de forma. Isso se deve ao fato de que uma bacia estreita e longa, com baixo  $k_c$ , há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão, além de se afastar da condição de bacia circular onde os tributários do curso principal contribuem em um único ponto. A Figura 3.1, mostra a altimetria da bacia do Açude Maranguape I.



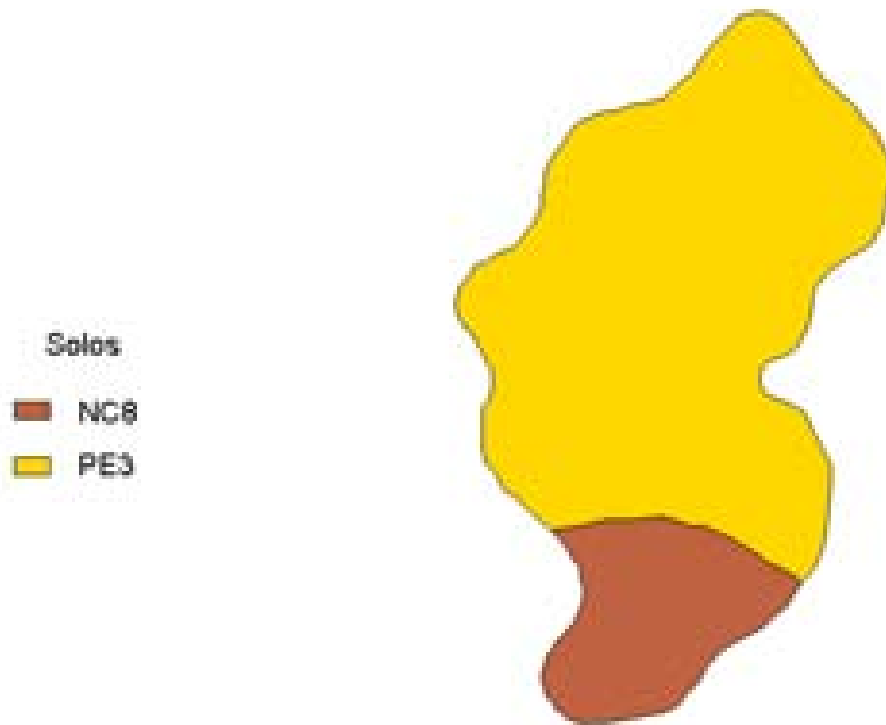
**Figura 3.1. Bacia do Açude Maranguape I.**

## Solos e cobertura vegetal

As definições de solos e cobertura vegetal da área em estudo constituem elementos importantes na formação do regime de escoamento superficial. A cobertura vegetal representa o primeiro obstáculo encontrado pela precipitação e tem papel importante na interceptação e na evapotranspiração. Os solos através da sua capacidade de infiltração, capacidade de retenção de água próximo à superfície e da presença de depressões evaporativas, definem os movimentos das águas que ultrapassaram a cobertura vegetal.

A bacia do Açude Maranguape I tem solos Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico e Bruno não Cálcico (PE3 e NC8, respectivamente. Ver Figura 3.2), predominantemente, o que associado com o relevo da bacia resulta em solos com baixa capacidade de drenagem (Figura 3.3). A vegetação predominante é a Caatinga Arbustiva Densa (Figura 3.4) e o principal uso é a Agricultura [Horticultura] e remanescentes florestais (Figura 3.5). O Quadro 3.10 apresenta os tipos de solo, grupos hidrológicos de solos, vegetação e uso do solo, e as áreas de cada classe e sua respectiva percentagem.

<b>Quadro 3.10 – Análise temática para a bacia do Açude Maranguape I</b>		
<b>Temas</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
<b>Solos</b>		
NC8	2.96	0.19
PE3	12.90	0.81
<b>Grupo Hidrológico de Solos</b>		
CD	2.96	0.19
D	12.90	0.81
<b>Vegetação</b>		
Caatinga Arbustiva Densa	15.23	0.96
Floresta Subcaducifólia Tropical Fluvial (Mata Seca)	0.63	0.04
<b>Uso do Solo</b>		
Agricultura (Culturas Anuais, Temporárias e Permanentes)	4.05	0.26
Agricultura (Horticultura) e Remanescente Florestais	11.81	0.74



**Figura 3.2. Solos da Bacia do Açude Maranguape I (Fonte: FUNCEME).**



**Figura 3.3. Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia do Açude Maranguape I (Fonte: FUNCEME).**



**Figura 3.4. Vegetação da Bacia do Açude Maranguape I (Fonte: FUNCEME).**



**Figura 3.5. Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Açude Maranguape I (Fonte: FUNCEME).**



### 3.3.2 - Estudos Hidroclimatológicos

A abordagem da climatologia aqui desenvolvida visa dar subsídios as etapas subsequentes dos estudos realizados na bacia do Maranguape I, principalmente àquelas relacionadas ao aproveitamento dos seus recursos hídricos.

A bacia hidrográfica estudada drena uma área de 15,86 km<sup>2</sup> no local a ser barrado. A referida bacia não tem estação hidroclimatológica localizada em seus domínios, sendo por isso utilizada como estação representativa a de Fortaleza, com denominação homônima de sua localidade (INEMET, 1991)<sup>1</sup>. Os principais parâmetros são:

#### Temperatura

A distribuição temporal das temperaturas diárias mostra pequenas variações para os três pontos discretos de monitoramento (12:00; 18:00 e 24:00 TMG - Tempo Médio de Greenwich), sendo tais flutuações processadas, sob uma visão contínua no tempo, com pequenos gradientes.

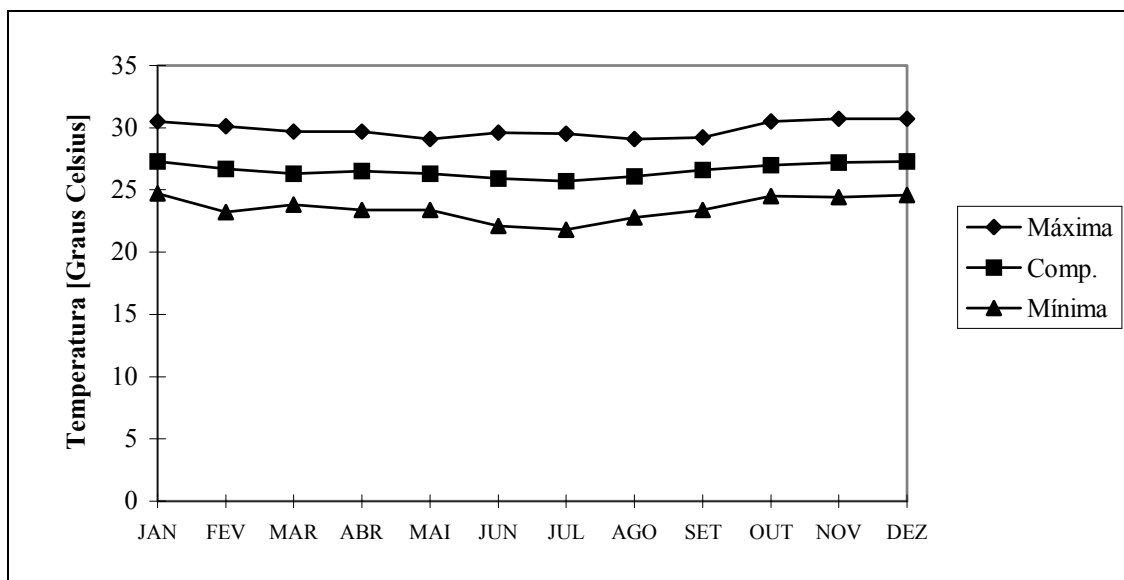
A temperatura compensada apresenta uma pequena variação de 1,6 °C, isso para os meses de julho (25,7 °C), dezembro e janeiro (27,3 °C). As médias máximas e mínimas extremas ocorrem respectivamente nos meses de novembro e dezembro (30,7 °C) e Junho (22,1 °C), conforme se observa no Quadro 3.11 e Figura 3.6.

<b>Quadro 3.11 - Temperaturas Máximas, Mínimas e Compensadas (°C) na estação de Fortaleza</b>													
<b>Média</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>	<b>ANO</b>
Máxima	30,5	30,1	29,7	29,7	29,1	29,6	29,5	29,1	29,2	30,5	30,7	30,7	29,9
Comp.	27,3	26,7	26,3	26,5	26,3	25,9	25,7	26,1	26,6	27,0	27,2	27,3	26,6
Mínima	24,7	23,2	23,8	23,4	23,4	22,1	21,8	22,8	23,4	24,5	24,4	24,6	23,5

FONTE: INEMET (1991)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INEMET, 1991. INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS.

<sup>2</sup>INEMET, 1992, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990), Brasília, Brasil.



**Figura 3.6-Temperaturas Máximas, Mínimas e Médias Compensadas na estação de Fortaleza**

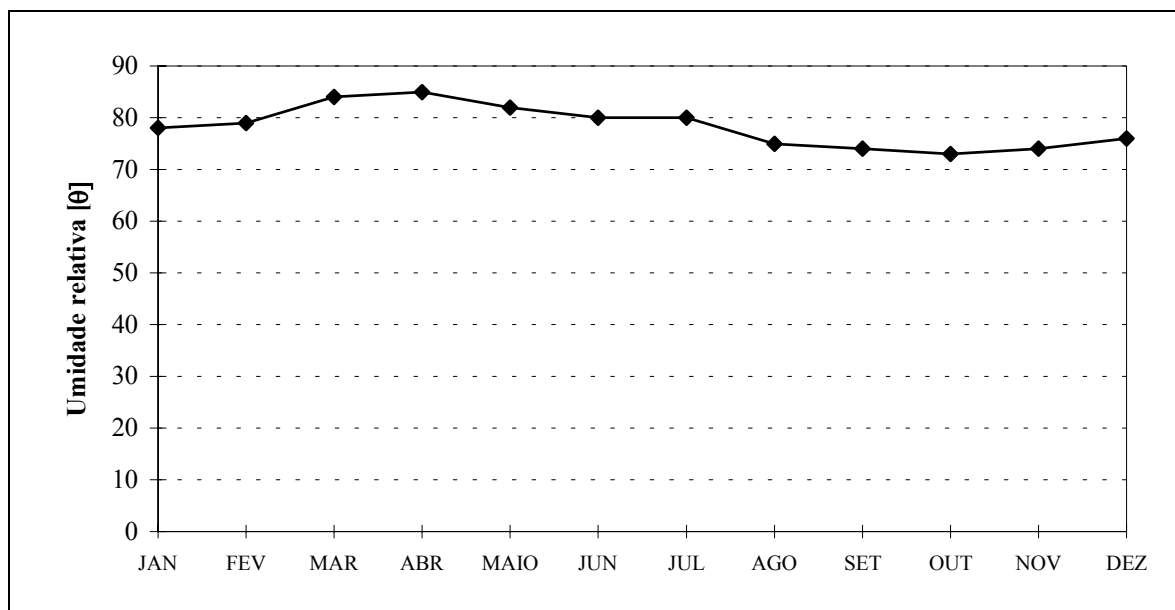
**Umidade Relativa**

A umidade relativa média apresenta uma variação máxima de 12% referente aos meses de Abril (85%) e Outubro (73%), como se pode verificar no Quadro 3.12 e Figura 3.7.

Quadro 3.12 - Umidade Relativa na estação de Fortaleza													
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
%	78	79	84	85	82	0	80	75	74	73	74	76	78,3

FONTE: INEMET (1991)<sup>3</sup>

<sup>3</sup> INEMET, 1992, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990), Brasília, Brasil.



**Figura 3.7 - Umidade Relativa na estação de Fortaleza**

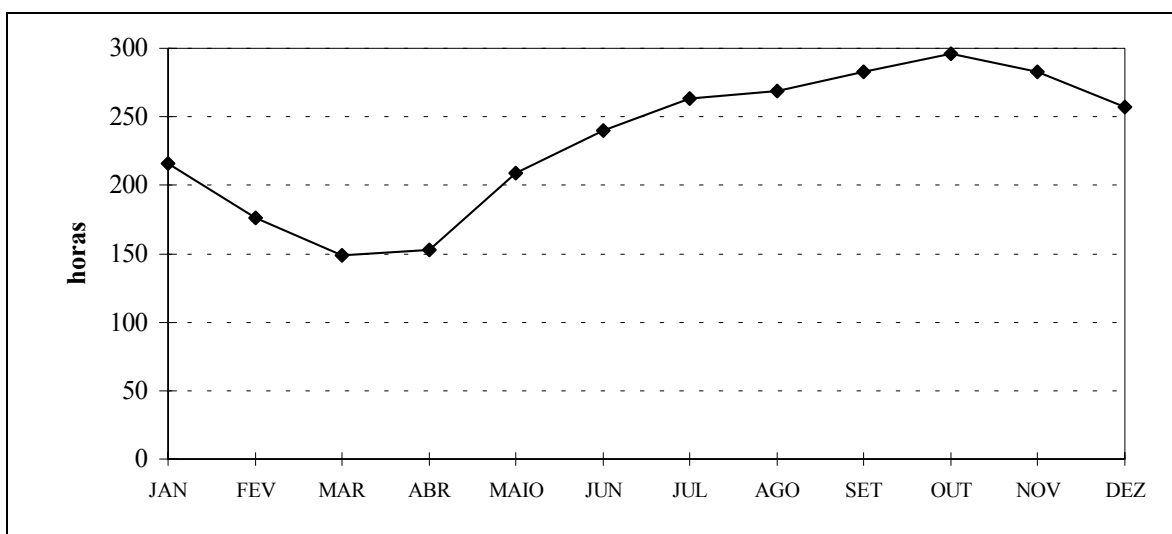
Os índices de umidade medidos resultam de uma composição de efeitos climatológicos, levando-se em conta, entre estes, a pluviometria que se constitui como o principal componente do fenômeno. Assim, considerando-se a inexistência de outras estações hidroclimatológicas nas proximidades da área de estudo, a umidade é resultante da homogeneidade pluviométrica, além das pequenas oscilações dos demais parâmetros influentes.

### **Insolação Média**

O Quadro 3.13 e a Figura 3.8 mostram, respectivamente, o número de horas de exposição no local da estação de Fortaleza e sua distribuição mensal. Em termos anuais, no mesmo período, tem-se 2694 horas de exposição, podendo-se concluir de maneira aproximada que cerca de 62% dos dias do ano possuem incidência solar direta. O trimestre fevereiro/março/abril apresenta os menores valores mostrando estreita relação com o trimestre mais chuvoso.

Quadro 3.13 - Insolação Média na estação de Fortaleza													
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Horas	216	175	148	153	209	240	263	169	283	296	283	257	2694,3

FONTE: INEMET (1991)<sup>4</sup>



**Figura 3.8-Insolação Média na estação de Fortaleza**

### Ventos

A intensidade do vento é medida nos horários sinóticos de observação, a uma altitude de 10 m em relação à estação. Da mesma forma, a direção do vento também é medida nos três horários sinóticos, indicando a direção de onde o vento se origina.

A estação de Fortaleza apresenta suas velocidades médias dos ventos descritas no Quadro 3.14. Nesta região a direção reinante dos ventos está dentro do quadrante Sudeste/Leste.

Quadro 3.14 - Velocidade Média dos Ventos na estação de Fortaleza													
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
m/s	3,6	3,1	2,4	2,3	2,8	3,1	3,5	4,4	4,9	4,6	4,5	4,5	3,6

FONTE: PERH(1992)<sup>5</sup>

<sup>4</sup> INEMET, 1992, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990), Brasília, Brasil.

### Evaporação Média

A evaporação anual observada em tanque-tipo classe “A” é de 1468 mm, distribuída ao longo dos meses segundo o Quadro 3.15 e Figura 3.9.

<b>Quadro 3.15 - Evaporação Média na estação de Fortaleza</b>													
<b>Média</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>	<b>ANO</b>
mm	120	96	72	68	85	95	118	152	167	173	168	154	1468

FONTE: INEMET (1991)

O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (173,5 mm). Deve-se ressaltar, entretanto, que para adotar estes valores como representativos da evaporação em açudes, principalmente pequenos e médios, deve-se multiplicar estes valores por um coeficiente entre a evaporação do açude e a evaporação no Tanque Classe A ( $K_a$ ). Molle (1989) aconselha os valores mostrados no Quadro 3.16 para  $K_a$ , em função da superfície do espelho.

<b>Quadro 3.16 - <math>K_a</math> - Em função da superfície do espelho d'água</b>					
<b>Superfície (ha)</b>	<b>0 a 5</b>	<b>5 a 10</b>	<b>10 a 20</b>	<b>20 a 30</b>	<b>média</b>
$K_a$	0,95	0,87	0,82	0,75	0,84



**Figura 3.10 - Evaporação Média na estação de Fortaleza**

<sup>5</sup>SRH, 1992. Plano Estadual de Recursos Hídricos, Fortaleza, Ceará.

## Evapotranspiração

Como estimativa da evapotranspiração média, foi utilizada a equação de Hargreaves<sup>6</sup>. Esta fornece a ETP em função da temperatura média compensada, umidade relativa do ar e de um coeficiente de correção que depende da latitude do local considerado.

<b>Quadro 3.17 - Evapotranspiração Potencial calculada segundo Hargreaves</b>													
<b>Média</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>	<b>ANO</b>
Mm	143.9	126.4	119.1	105.7	110	105.9	111.2	135.2	145.1	159.5	151.7	149.4	1563.1

O trimestre que apresenta os maiores valores de evapotranspiração corresponde a outubro/novembro/dezembro, ocorrendo o máximo em outubro (159 mm). O trimestre abril/maio/junho possui o menor índice de evaporação, ocorrendo o mínimo em junho com 106 mm.

## Balanço Hídrico

O princípio da conservação da massa à água aplicada a um determinado local ou área (em um dado volume de controle), nos fornece a diferença entre o ganho (precipitação) e o consumo (escoamento superficial e profundo, evaporação ou evapotranspiração). Este princípio é a base do balanço hídrico, concebido por Thornthwaite & Mather em 1955, e tem sido utilizado amplamente quando não se dispõe de muitos dados para um estudo mais apurado.

Aplicando-se a metodologia do balanço hídrico para a bacia em questão, supondo-se uma capacidade de armazenamento de 100 mm (PERH, 1990)<sup>7</sup>, obtém-se o Quadro 3.18.

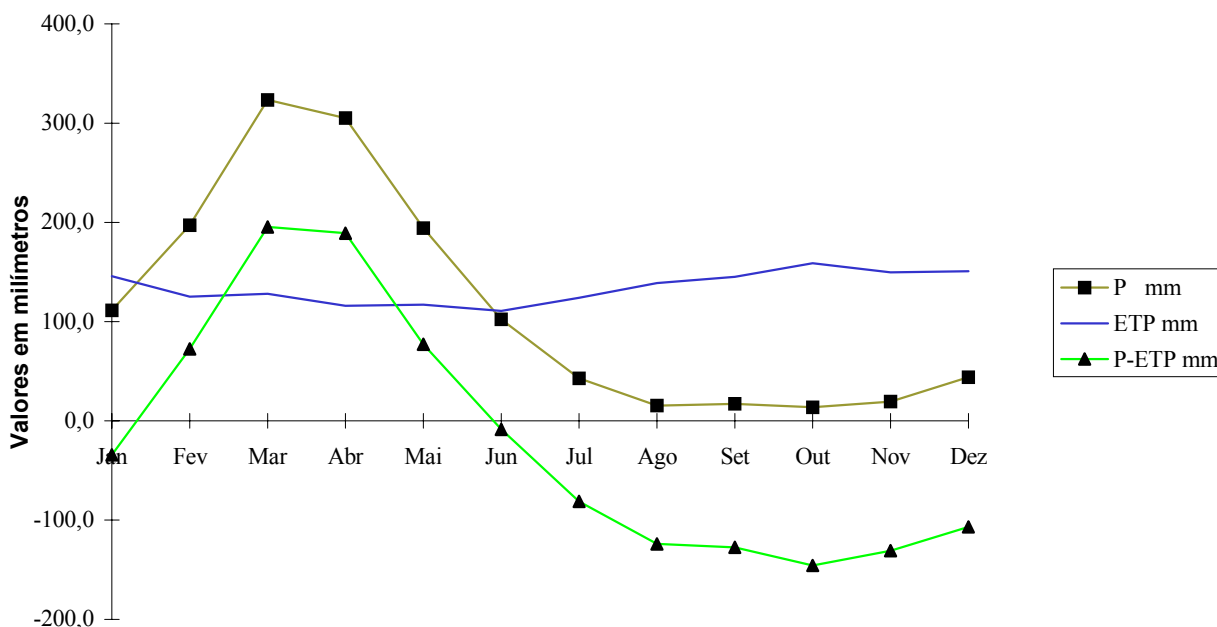
<sup>6</sup>HARGREAVES, G.H. 1974, POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION REQUIREMENTS FOR NORTH-EAST OF BRAZIL, UTAH STATE UNIVERSITY.

<sup>7</sup>PERH, 1990. PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ.

**Quadro 3.18 - Balanço Hídrico segundo Thornthwaite e Mather**

Mês	P mm	ETP mm	P-ETP mm	Neg mm	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	111,6	146,0	-34,40	0,00	0,00	0,00	111,60	34,40	0,00
Fev	197,3	125,0	72,30	32,00	72,30	72,30	125,00	0,00	0,00
Mar	323,2	128,0	195,20	0,00	100,00	27,70	128,00	0,00	167,50
Abr	304,9	116,0	188,90	0,00	100,00	0,00	116,00	0,00	188,90
Mai	194,4	117,0	77,40	0,00	100,00	0,00	117,00	0,00	77,40
Jun	102,2	111,0	-8,80	8,80	92,00	-8,00	110,20	0,80	0,00
Jul	42,8	124,0	-81,20	90,00	40,00	-52,00	94,80	29,20	0,00
Ago	15,2	139,0	-123,80	213,80	11,00	-29,00	44,20	94,80	0,00
Set	17,3	145,0	-127,70	341,50	3,00	-8,00	25,30	119,70	0,00
Out	13,5	159,0	-145,50	487,00	0,00	-3,00	16,50	142,50	0,00
Nov	19,4	150,0	-130,60	617,60	0,00	0,00	19,40	130,60	0,00
Dez	44,2	151,0	-106,80	724,40	0,00	0,00	44,20	106,80	0,00
ANO	1386,00	1611,00	-225,00		518,30	0,00	952,20	658,80	433,80

(\*) ETP calculada pelo método de Hargreaves



**Figura 3.11 - Balanço Hídrico**

## Classificação do Clima

A seguir são apresentadas as várias classificações do clima da bacia da barragem Maranguape I.

### Classificação segundo Köppen

Segundo Köppen existem cinco zonas diferentes de clima na terra, associadas a valores de temperatura e precipitação de acordo com a vegetação.

De acordo com esta classificação, a região do estudo encontra-se classificada como Zona de Climas Secos, tipo B. As chuvas são classificadas como do tipo Bwx', uma vez que a distribuição temporal da precipitação da área abrange o verão e o outono. O clima, segundo o aspecto térmico, é do tipo muito quente, ou megatérmico.

### Classificação segundo Thornthwaite

Segundo esta classificação, além da característica pluviométrica e térmica, a evapotranspiração potencial é também considerada elemento determinante do clima. Como forma de auxiliar a classificação de tipos e subtipos climáticos, três parâmetros foram introduzidos por Thornthwaite, a saber:

- Índice de aridez:

O índice de aridez vem a ser a deficiência hídrica expressa em porcentagem da evapotranspiração potencial, este índice apresentou o valor 41 (Quadro 3.18).

- Índice de umidade:

O índice de umidade é o excesso de água (EXC) expresso em porcentagem da necessidade que é representado pela evapotranspiração potencial (ETP), este índice apresentou um valor de 27 (Quadro 3.18).

- Índice efetivo de umidade:

Este índice reflete o excesso ou déficit de água ao longo do ano, apresentando um valor igual a 2 (Quadro 3.18).

Com base nestes índices, os dados para a área de estudo, mostram um clima seco e sub-úmido; tipo C2, com índice efetivo de umidade variando entre 0% e 20%; clima seco, sub-tipo S2, com índice de aridez superior a 33%; tipo A', megatérmico e sub-tipo a', baixa variação estacional (C2S2A'a').



### 3.3.3 - Estudos Pluviométricos

A pluviometria do Estado foi detalhadamente analisada por ocasião do PERH (Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, 1990), sendo esta análise iniciada com a coleta dos registros inventariados e atualizados até 1988 pela SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste). Esta etapa foi seguida por várias outras, entre as quais destaca-se, para os fins deste trabalho: a caracterização do regime pluviométrico em vários intervalos de tempo e o estabelecimento de série pluviométrica média para as bacias hidrográficas dos açudes de médio e grande porte.

A série pluviométrica bruta utilizada neste estudo foi inicialmente tratada pelo método do Vetor Regional (HIEZ, 1978), destinado à identificação de inconsistências nas séries históricas. Estas inconsistências podem ser originadas por erros de observação, podendo tais erros ocorrer sistematicamente ou isoladamente em um certo período.

Apenas um posto foi utilizado neste estudo, o mais próximo da área de interesse que possui uma bacia hidrográfica com 15,86 km<sup>2</sup>. Na estimativa dos dois vetores regionais, um a nível anual e o outro a nível mensal, foram utilizados postos reunidos nos denominados grupos regionais, (PERH, 1990), por apresentarem médias dos totais anuais mais próximas, além de estarem localizados em regiões de pouca variação de altitude.

Inicialmente foi considerado o intervalo anual, para o qual analisou-se as duplas massas entre a pluviometria anual e a série sintética obtida a partir do vetor regional associado. Esta análise permite a identificação de anomalias, ou seja, valores que divergem do padrão, este definido com base na informação de todos os postos pelo princípio da máxima verossimilhança.

A seguir prossegue-se com a análise, a nível mensal, utilizando o vetor regional mensal, buscando os meses que apresentam desvios consideráveis para aqueles anos de desvios consideráveis em relação ao valor sintético, sendo corrigidos os de maior contribuição para o desvio a nível anual. Os valores diários são compatibilizados pelo princípio da desagregação nos meses que sofreram a correção. Para maiores detalhes, consultar o PERH - SRH, 1990 - Relatório Geral - Diagnóstico.

O Quadro 3.19 mostra o posto pluviométrico que foi utilizado neste estudo e que faz parte do grupo regional PACOTI. Foram utilizados dados até 1988, pois estes foram consistidos por ocasião do Plano Estadual de Recursos Hídricos (1992).

<b>Quadro 3.19 - Postos utilizados consistidos pelo método do Vetor Regional: Grupo Pacoti</b>					
<b>Posto</b>	<b>Código</b>	<b>Período</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude (m)</b>
MARANGUAPE	2872766	1912 - 1982	03°53'	38°41'	67

Fonte: PERH-CE (1990)

### 3.3.3.1 - Caracterização do Regime Pluviométrico

A caracterização do regime pluviométrico da bacia foi feita nos níveis: anual, mensal, diário e chuva intensa, como descrito a seguir.

#### Nível Anual

As isoietas, linhas de mesma precipitação média, e iso-cv's (coeficientes de variação) estão apresentadas nas Figuras 3.12 e 3.13, que mostram a região norte do Estado e onde se encontra a área do estudo, que apresenta, segundo análise destas figuras, média pluviométrica em torno de 1300 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,40.

Uma análise freqüencial foi realizada para o posto de Maranguape, sendo testadas várias distribuições, e escolhida a Pearson III como a de melhor ajuste, sendo seus parâmetros estimados pelo método dos momentos. O Quadro 3.20 resume esta análise de freqüência.

<b>Quadro 3.20 - Análise de Freqüência dos Totais Anuais - Distribuição Pearson III.</b>							
<b>Código</b>	<b>N</b>	<b>Período de Retorno</b>					
		<b>10</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
2872766	75	2092,4	2723,6	2981,0	3234,3	3566,0	3816,3



**Figura 3.12 – Isoietas**



**Figura 3.13 – Iso-cv's**

### Nível Mensal

A análise da distribuição temporal mostra a concentração do total precipitado no primeiro semestre do ano, correspondendo a cerca de 90% do total anual.

A nível trimestral nota-se mais ainda a gravidade da concentração temporal, onde se constata que cerca de 60% do total anual precipita-se em apenas três meses do ano. Neste trimestre o mês de abril corresponde ao mais chuvoso, com cerca de 23% do total anual.

No Quadro 3.21 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que no Quadro 3.22 apresenta-se um resumo da análise de frequência utilizando a série de totais mensais para o mês mais chuvoso no posto considerado. Os períodos de retorno utilizados variam de 10 a 10000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Pearson III.

<b>Quadro 3.21 - Índices de Concentração Pluviométrica. Série de Valores Médios Mensais.</b>									
<b>Código</b>	<b>MÊS</b>	<b>VALOR</b>	<b>%TOT</b>	<b>TRIMES</b>	<b>VALOR</b>	<b>%</b>	<b>SEM</b>	<b>VALOR</b>	<b>%</b>
2872766	MARÇO	323.2	23.3	FMA	825.4	59.6	1	1236.7	89.2

<b>Quadro 3.22 - Análise de Frequência-Nível Mensal-Distribuição Pearson III (mês mais chuvoso = março).</b>							
<b>Código</b>	<b>N</b>	<b>Período de Retorno</b>					
		<b>10</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
2872766	75	528,6	716,1	793,2	869,4	969,7	1045,6

### Nível Diário

Os principais tipos de precipitações da região são em decorrência da elevação brusca das massas de ar por efeito térmico, ou lenta, neste caso quando a massa de ar encontra obstáculos topográficos.

A probabilidade de ocorrência de dias chuvosos no período úmido é considerável. Em regiões de influência orográfica as ocorrências de até vinte dias chuvosos no mês não são incomuns.

Na análise hidrológica de prováveis obras hidráulicas, os eventos de alta frequência assumem uma importância maior com relação aos de baixa. Aqui foram utilizadas séries anuais de máximos diários.

Diversas distribuições podem ser utilizadas como teóricas para as frequências observadas. Depois de comparar diversas distribuições, foi escolhida a Pearson III, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no Quadro 3.23.

<b>Quadro 3.23 - Análise de Frequência - Nível Diário-Distribuição Log-Pearson III.</b>							
<b>Código</b>	<b>N</b>	<b>Período de Retorno</b>					
		<b>10</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>10000</b>
2872766	73	117.00	151.6	166.4	201.4	216.9	270.3

### **Chuvas Intensas**

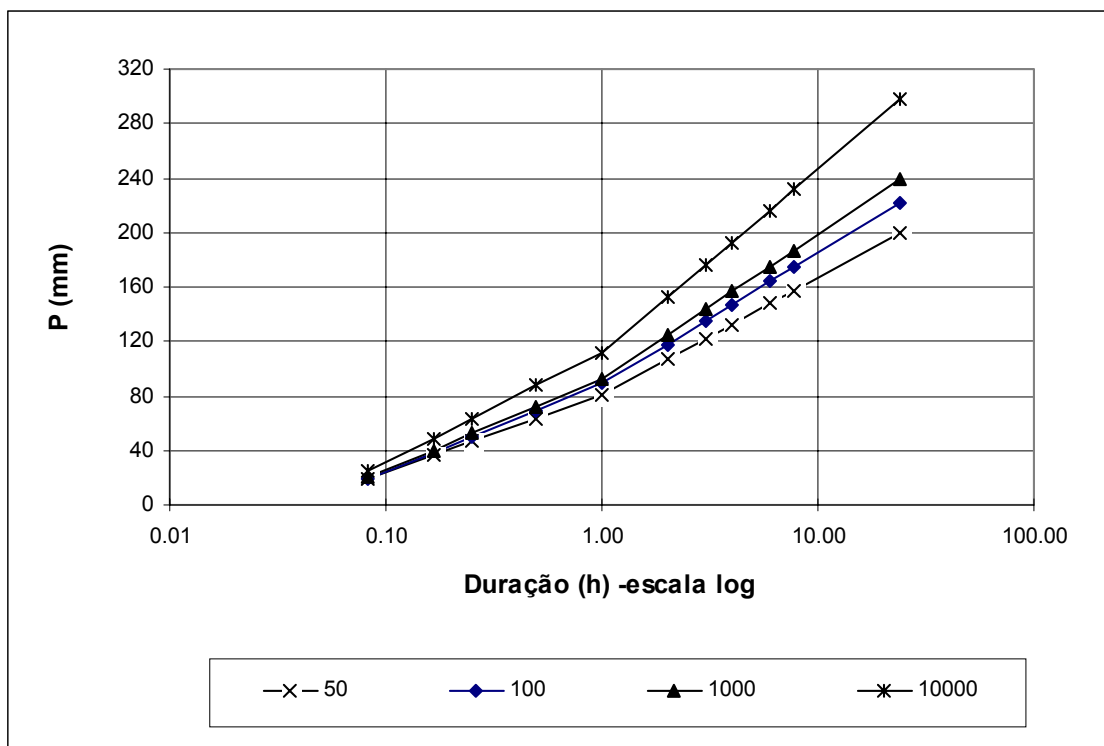
Para projetos de obras hidráulicas em geral é importante a caracterização do regime pluviométrico em intervalos de tempo inferiores a 24 horas. A definição da vazão de projeto, por exemplo, de canais integrantes da rede de drenagem, obras d'arte, está vinculada a determinação da relação intensidade-duração-frequência pluviométrica.

Na área em estudo inexistem registros de pluviógrafos, sendo o aparelho mais comum em estações pluviométricas o pluviômetro, capaz de registrar a "precipitação máxima de 1 dia". Isto impossibilita o uso da metodologia convencional, na qual, a partir de chuvas intensas de várias durações registradas em pluviogramas, estabeleceu-se uma equação que relaciona intensidade, duração e frequência para a área de representatividade do aparelho.

Como alternativa ao método tradicional, tem-se o Método das Isozonas (TORRICO, 1975), que partindo da transformação da chuva de 1 dia em 24 horas, permite estimar valores para intervalos de menor duração.

O método das isozonas apresenta diferenças bem significativas quando comparado com o método tradicional, conforme mostra Silva, Kern e Henrique (1989), o que sugere que os resultados obtidos pelo método das isozonas sejam observados com certas restrições.

O posto de Maranguape (2872766) foi escolhido uma vez que tem uma série extensa e uma boa representatividade do regime de chuvas da região. A Figura 3.14 mostra a curva intensidade-duração-freqüência para diferentes tempos de retorno.



**Figura 3.14 - Curvas Intensidade-Duração-Freqüência**

### 3.3.4 - Estudos das Cheias

A determinação da cheia de projeto para dimensionamento do sangradouro pode ser realizada com base em dados históricos de vazão (métodos diretos) e com base na precipitação (métodos indiretos), estando em ambos os casos associados a um risco previamente escolhido. Diante da escassez de registros históricos de vazões, é mais usual a determinação do hidrograma de projeto com base na precipitação. Foram calculadas aqui as cheias de projeto de 1000 e 10000 anos.

Os métodos estatísticos de obtenção de vazões máximas que utilizam séries históricas de vazões observadas, procedimento comum para bacias naturais, não podem ser aplicados pela escassez de dados ou, ainda, sua inexistência. Esta falta de dados dos eventos na bacia a ser estudada indicaram a escolha de métodos de transformação chuva-deflúvio como metodologia a ser adotada.

A metodologia procura descrever as diversas hipóteses de cálculo da cheia de projeto: a escolha da chuva de projeto, o hietograma utilizado, a definição da precipitação efetiva, o hidrograma da cheia na bacia e, por fim, o seu amortecimento no sangradouro. A ferramenta utilizada para a implementação desta metodologia foi o programa HEC-1.

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Maranguape I foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, um modelo projetado para simular o escoamento superficial em uma bacia, sendo esta representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para esta bacia foi estudada a sua resposta ao hietograma de projeto correspondente a 1000 anos ( $T_r$  = tempo de retorno).

O modelo HEC-1 permite o uso de várias metodologias para determinação da chuva efetiva, simulação do escoamento superficial em bacia (overland flow) e propagação do escoamento em canais e reservatórios. No caso da bacia do Maranguape I foi adotado o seguinte:

1. Método Curva-Número (*Soil Conservation Service*) na determinação da chuva efetiva;
2. Método do *Soil Conservation Service* na determinação do hidrograma unitário sintético - Escoamento Superficial na bacia (*Overland flow*);

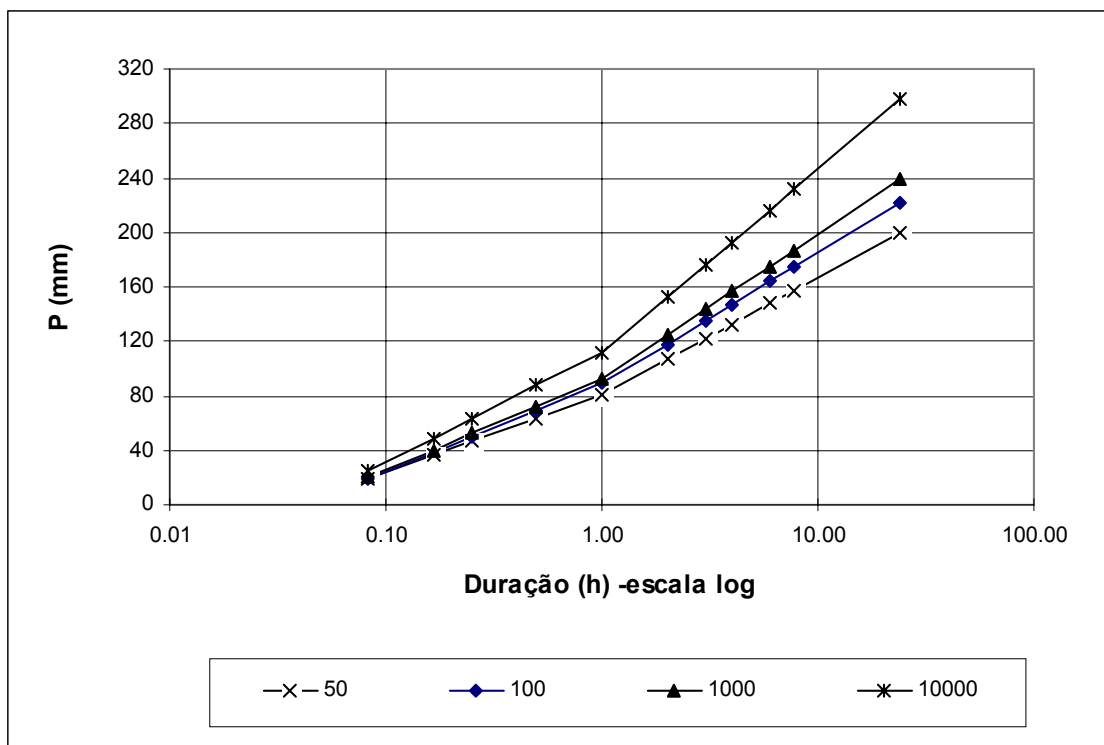
### 3.3.4.1 - Precipitação

Para o cálculo do escoamento superficial da bacia do Maranguape I foi assumida uma precipitação uniformemente distribuída sobre a referida bacia. O HEC-1 permite a entrada de tormentas históricas ou sintéticas, sendo as últimas freqüentemente utilizadas para planejamento e estudos de projetos.

O hietograma adotado baseia-se nas curvas altura-duração-freqüência obtida nos estudos hidroclimatológicos já realizados, mas a serem apresentados posteriormente. A Figura 3.15 apresenta a curva intensidade-duração-freqüência para a bacia de estudo. Como a área da bacia é da ordem de 15 km<sup>2</sup>, foi utilizada a chuva pontual, não sendo realizado nenhum ajuste para correção de área.

**Quadro 3.24 - Chuvas Pontual e Reduzida**

Duração	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) – TR 50	18.6	46.3	81.2	107.0	122.1	147.9	157.5	199.5
P(mm) – TR 100	18.5	49.8	89.3	118.1	135.0	163.9	174.6	221.6
P(mm) – TR 1000	19.9	52.2	93.0	124.8	143.3	175.1	186.9	238.6
P (mm) – TR 10000	24.8	63.3	111.8	152.3	176.0	216.4	231.4	297.4



**Figura 3.15 – Curvas intensidade-duração-freqüência**

### 3.3.4.2 - Precipitação Efetiva

O modelo HEC-1 refere-se a interceptação superficial, armazenamento em depressões e infiltração como perdas de precipitação, ou seja, a parcela da precipitação que não contribui para gerar escoamento é considerada perda, sendo o restante, considerado precipitação efetiva.

O cálculo das perdas de precipitação pode ser usado nos outros componentes do modelo HEC-1, em especial, hidrograma unitário. No caso do hidrograma unitário, estas perdas são consideradas uniformemente distribuídas sobre a bacia (ou sub-bacia).

De maneira geral, existem três metodologias utilizadas para determinação da chuva efetiva: equações de infiltração, índices e relações funcionais. Especificamente, o HEC-1 possibilita o uso de 5 métodos: 1) taxa de perda inicial e uniforme; 2) taxa de perda exponencial; 3) Curva-Número; 4) Holtan; 5) Função de Infiltração Green e Ampt. Foi considerado mais adequado, diante dos dados disponíveis, o método curva número do Soil Conservation Service.

O método Curva Número é um procedimento desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo USDA, no qual a lâmina escoada (isto é, a altura de chuva



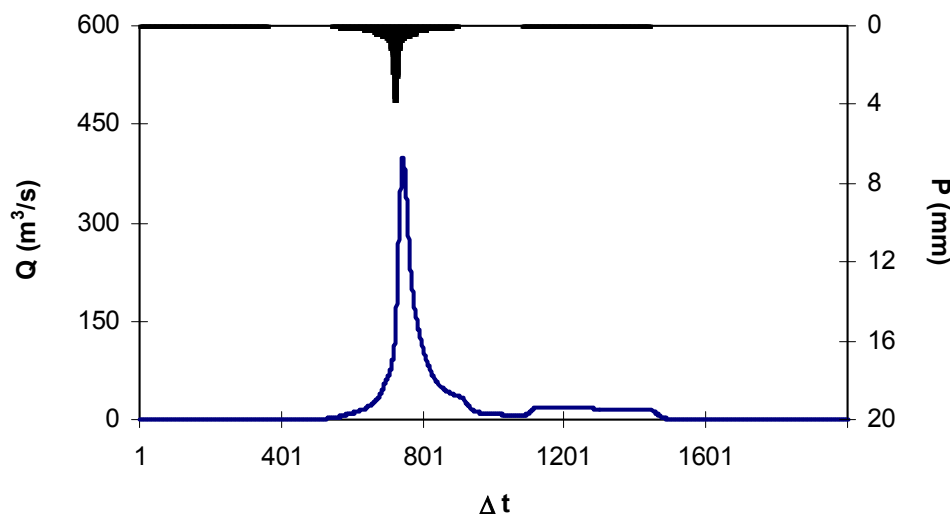
efetiva) é uma função da altura total de chuva e um parâmetro de abstração denominado Curva-Número, CN. Este coeficiente varia de 1 a 100, sendo uma função das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia: (1) tipo de solo hidrológico; (2) uso do solo e tratamento; (3) condição da superfície subterrânea, e (4) condição de umidade antecedente. Para a bacia do Maranguape I foi adotado um CN = 70 com base nos mapas de solo (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevo contidos no PERH (1990).

Desde que o método do SCS dá o excesso total para uma tormenta, o excesso incremental de precipitação para um período de tempo é calculado como a diferença entre o excesso acumulado no fim do presente período e o acumulado do período anterior.

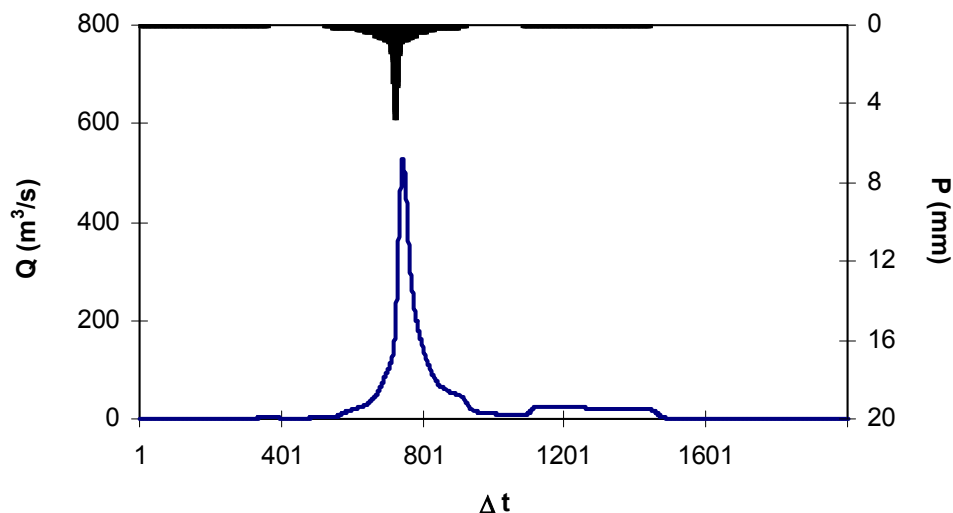
### 3.3.4.3 - Hidrograma Unitário - SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. Este método foi escolhido por ter sido idealizado para bacias de áreas entre 2,5 e 1000 km<sup>2</sup>, e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas. Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro: o  $T_{LAG}$ . Este parâmetro,  $T_{LAG}$ , é igual à distância (lag) entre o centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário.

A Figura 3.16 abaixo apresenta o hidrograma de projeto e o hidrograma afluente a barragem Maranguape I obtido através do uso do modelo HEC, conforme metodologia acima. A vazão de pico do hidrograma de 1000 anos de tempo de retorno foi 399 m<sup>3</sup>/s. Para o tempo de retorno de 10000 anos foi obtida uma vazão de pico de 528 m<sup>3</sup>/s (Figura 3.17).



**Figura 3.16 - Hidrograma total afluente ao Maranguape I (Tr = 1000 anos).**



**Figura 3.17 - Hidrograma total afluyente ao Maranguape I ( $T_r = 10000$  anos).**

### 3.3.5 - Curvas de Regulação do Reservatório

A importância do estudo da capacidade de regularização de um reservatório está ligada ao conhecimento das mudanças temporais e espaciais dos deflúvios naturais, visando o atendimento das demandas da sociedade. Busca-se aqui avaliar o tamanho que deve ser a obra de maneira que ganhos em regularização de águas justifique os investimentos a serem realizados.

O traçado das curvas de regulação inclui: volumes evaporado (E), liberado (M) e sangrado (S) versus capacidade (K) e  $dM/dK$  versus K.

Na determinação das curvas de regulação do reservatório foi utilizada a solução direta da equação de balanço hídrico.

Supondo um modelo mutuamente exclusivo com volume contínuo e uma série de vazões afluentes com uma extensão de 2000 anos seguindo uma distribuição Gamma de 2 parâmetros, pode-se resolver a equação de balanço hídrico segundo o processo descrito por CAMPOS (1990) [CAMPOS, J.N.B. 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMI-TENTES. TESE PARA CONCURSO DE PROF. TITULAR. UFC.].

#### 3.3.5.1 - Resultados

As características do escoamento estabelecidas no PERH (1990) foram utilizadas aqui para a geração de séries sintéticas de vazão, a saber:

- lâmina média escoada: 322 mm
- volume afluyente médio escoado ( $\mu$ ): 5,107 hm<sup>3</sup>/ano

O coeficiente de variação de CV = 0,85 foi adotado com base no valor indicado por CAMPOS et al. (1995).

Para aplicação dos dois métodos faz-se necessário a determinação do fator de forma  $\alpha$ , lâmina evaporada e fator adimensional de evaporação e capacidade. No caso do fator adimensional de capacidade, este é variável uma vez que se pretende analisar o ganho na regularização em função do aumento da capacidade. Assim,

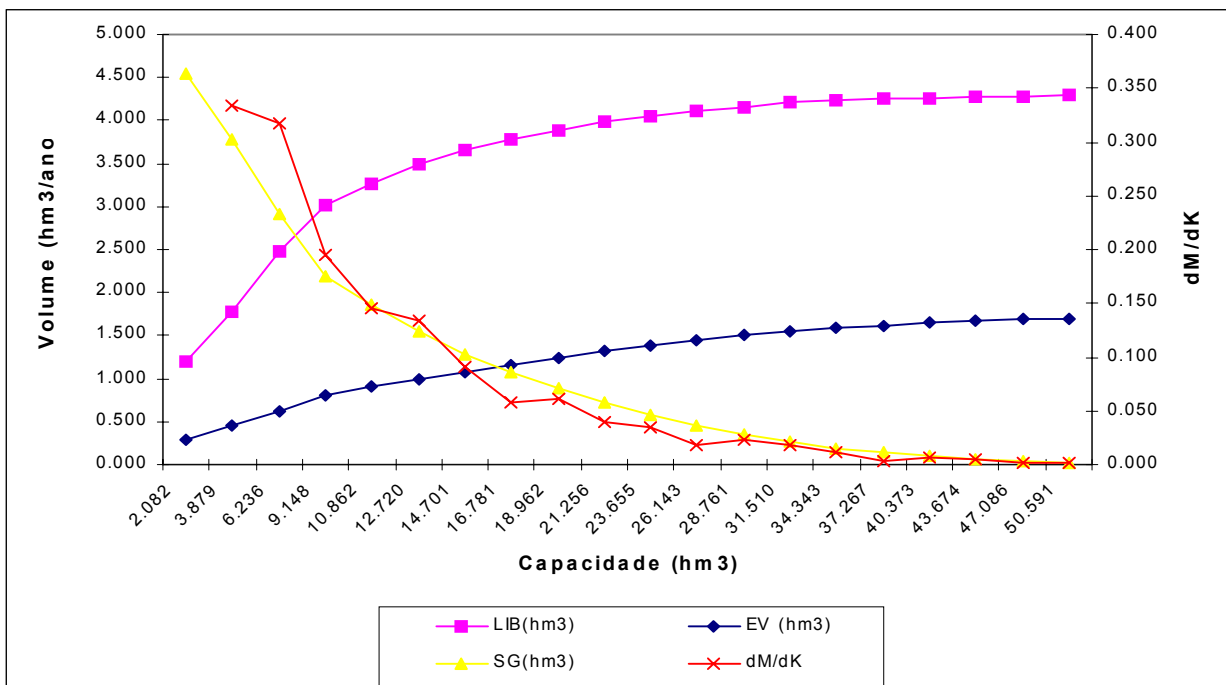
$$E_L = 0,80. (80,5+100,6+129,0+142,6+147,5+42,9+131,2) = 743,1 \text{ mm}$$

(Evaporação na estação seca)

$$\alpha = 434,2$$

$$f_E = 3\alpha^{1/3} E_L/\mu^{1/3} = 0,09$$

No Quadro 3.25 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de  $f_K$  (fator de capacidade =  $K/\mu$ ). A Figura 3.18 apresenta as curvas de regulação para o reservatório Maranguape I, que nada mais é que a graficação dos valores apresentados no Quadro 3.25.



**Figura 3.18 - Curvas de Regulação do Reservatório Maranguape I**

Apesar dos ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento ainda serem significativos para cotas acima da 106 m (Figura 3.18 e Quadro 3.25), a topografia do local do barramento é um fator limitante (cota máxima de soleira possível = 110 m). Assim sendo, a cota de soleira de 106 m é indicada como a mais adequada hidrológicamente. Esta corresponde a um volume de acumulação de 7,724 hm<sup>3</sup>. Para esta capacidade o reservatório regulariza 54,7% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, 2,772 hm<sup>3</sup>/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de 0,092 m<sup>3</sup>/s. O Quadro 3.26 mostra como o volume afluente ao reservatório distribui-se em volume regularizado (RG), volume evaporado (EV) e volume sangrado (SG).

**Quadro 3.25 - Estudo incremental de capacidades do Reservatório Maranguape I**

Cota (m)	K (hm <sup>3</sup> )	Fk K/μ	%LIB	LIB (hm <sup>3</sup> /ano)	%EV	EV (hm <sup>3</sup> /ano)	%SG	SG (hm <sup>3</sup> /ano)	DM/dK	Q90 (m <sup>3</sup> /s)	M90 (hm <sup>3</sup> /ano)
93	1,726	0,34	20,84	1,058	3,10	0,158	76,06	3,863	-----	0,035	1,101
95	2,409	0,47	25,68	1,304	4,05	0,205	70,27	3,567	0,365	0,043	1,350
97	3,237	0,63	31,72	1,610	4,99	0,253	63,29	3,212	0,383	0,053	1,667
99	4,124	0,81	37,64	1,909	5,87	0,298	56,49	2,866	0,352	0,063	1,979
101	5,073	0,99	43,58	2,210	6,68	0,339	49,74	2,523	0,338	0,073	2,299
102	5,574	1,09	46,39	2,353	7,08	0,359	46,53	2,360	0,307	0,078	2,453
103	6,092	1,19	49,20	2,495	7,45	0,378	43,36	2,199	0,300	0,083	2,608
104	6,624	1,30	51,10	2,591	7,90	0,401	41,00	2,079	0,185	0,086	2,706
105	7,167	1,40	52,98	2,686	8,34	0,423	38,68	1,961	0,183	0,089	2,806
<b>106</b>	<b>7,724</b>	<b>1,51</b>	<b>54,69</b>	<b>2,772</b>	<b>8,78</b>	<b>0,445</b>	<b>36,53</b>	<b>1,852</b>	<b>0,160</b>	<b>0,092</b>	<b>2,895</b>
107	8,297	1,62	56,39	2,858	9,21	0,467	34,40	1,744	0,153	0,095	2,983
108	8,888	1,74	58,20	2,950	9,61	0,487	32,20	1,632	0,166	0,098	3,081
109	9,495	1,86	59,64	3,023	10,04	0,509	30,32	1,537	0,125	0,100	3,157
110	10,120	1,98	61,18	3,101	10,44	0,529	28,38	1,439	0,132	0,103	3,240

**Quadro 3.26 - Distribuição do volume afluente e Qr (90%) para o Res. Maranguape I**

Equação do Balanço Hídrico			
RG - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m <sup>3</sup> /s)
2,772 – 54,7%	1,852 – 36,53%	0,445 – 8,78%	0,092

EV - Volume Evaporado (hm<sup>3</sup>/ano)

SG - Volume Sangrado (hm<sup>3</sup>/ano)

RG - Volume Regularizado (hm<sup>3</sup>/ano)

Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia (m<sup>3</sup>/s)

### 3.3.6 - Determinação da Capacidade do Reservatório

A determinação da capacidade do reservatório foi baseada a partir da análise dos resultados dos estudos hidrológicos e dados de custos da barragem Maranguape I, com vistas a dar suporte à decisão sobre a capacidade de acumulação da mesma.

#### 3.3.6.1 - Estudos Hidrológicos e limitantes topográficos

Os estudos hidrológicos preliminares compararam o eixo 4 com o eixo 3 da barragem Maranguape I. O eixo 4, apesar de mais eficiente hidrológicamente, não foi escolhido pois afetaria muitos residentes locais. Assim sendo, optou-se pelo eixo 3 e cota de soleira próxima a 106 m, o que implicaria em uma pequena redução da bacia hidrográfica da barragem e uma capacidade de acumulação próxima àquela indicada pelos estudos hidrológicos preliminares do eixo 4.

As curvas de regularização do reservatório mostraram que apesar dos ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem/eixo-3 com o aumento do barramento ainda serem significativos para cotas acima da 106 m, a topografia do local do barramento é um fator limitante (cota máxima de soleira possível = 110 m). Assim sendo, a cota de soleira de 106 m é a mais adequada hidrológicamente e atende às restrições topográficas. Esta cota corresponde a um volume de acumulação de 7,724 hm<sup>3</sup>. Para esta capacidade o reservatório regulariza 54,7% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, 2,772 hm<sup>3</sup>/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de 0,092 m<sup>3</sup>/s.

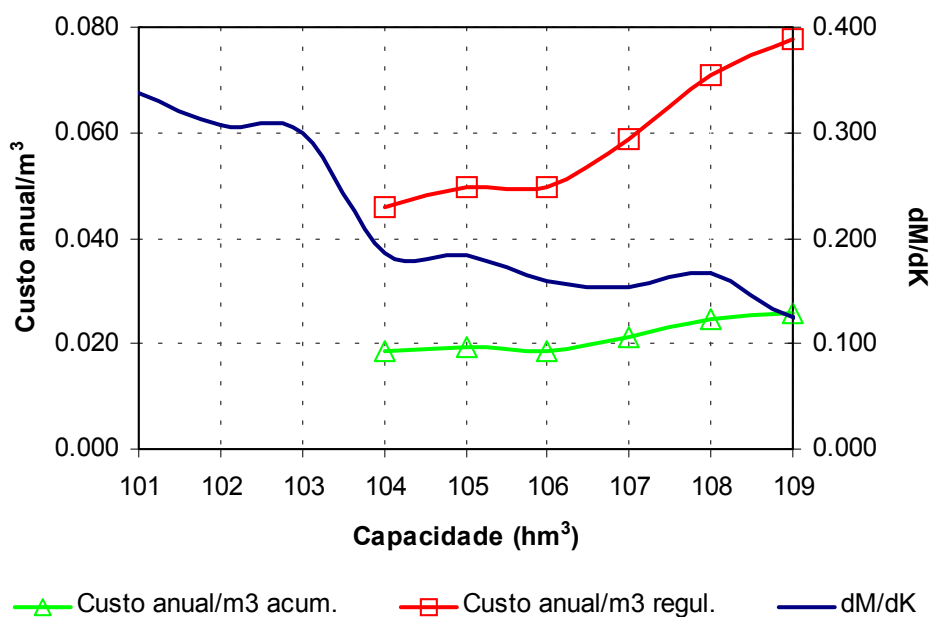
#### 3.3.6.2 - Análise econômica

Para facilitar a escolha da capacidade da barragem foi elaborado um gráfico contendo as seguintes informações:

- variação do custo anual do m<sup>3</sup> de água acumulada em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos e uma taxa de 8%;
- variação do custo anual do m<sup>3</sup> de água regularizada com 90% de garantia em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos e uma taxa de 8%;
- variação do ganho em unidades de volume regularizado por unidade de volume acrescido na capacidade do reservatório (dM/dK);

A análise dos resultados da Figura 3.19 mostra que:

- o custo anual do m<sup>3</sup> regularizado variou entre R\$0,046 (cota 104 m) e R\$0,078 (cota 109 m).
- o custo anual do m<sup>3</sup> de acumulação variou entre R\$ 0,019 (cota 104 m) a R\$ 0,026 (cota 109).



**Figura 3.19. Análise hidrológico-econômica para seleção da capacidade da barragem Maranguape I.**

### 3.3.6.3 - Escolha da capacidade do reservatório – Análise hidrológico-econômica

Os custos do m<sup>3</sup> regularizado e do m<sup>3</sup> acumulado aumentam com o aumento da capacidade do reservatório, não apresentando diferenças significativas somente para cotas ≤ 106 m. Assim, considerando os aspectos construtivos, hidrológicos e econômicos sugere-se a adoção da cota de soleira = 106 m (volume de armazenamento = hm<sup>3</sup>).

### 3.3.7 - Dimensionamento do Sangradouro

Uma vez realizado o dimensionamento do reservatório com base nos estudos hidrológicos do capítulo anterior, faz-se necessário agora o dimensionamento do sangradouro visando definição de sua largura, seu tipo e a cota de coroamento da barragem associada à alternativa adotada.

No dimensionamento do sangradouro foi adotada a cheia associada ao tempo de retorno de 1.000 anos, realizando-se para esta os estudos de laminação, e será determinada a cota de coroamento da barragem com base na cheia associada a 10.000 anos, para garantir o não galgamento nesta cheia.

Com base nestes princípios, apresenta-se neste capítulo o dimensionamento do sangradouro.

### 3.3.7.1 - Propagação da Cheia no Reservatório

Técnicas de propagação em reservatórios são baseadas no conceito de armazenamento, sendo o método de Puls um dos mais conhecidos para propagação em reservatórios. Este método consiste em uma expressão discretizada da equação de continuidade concentrada e na relação entre vazão e armazenamento.

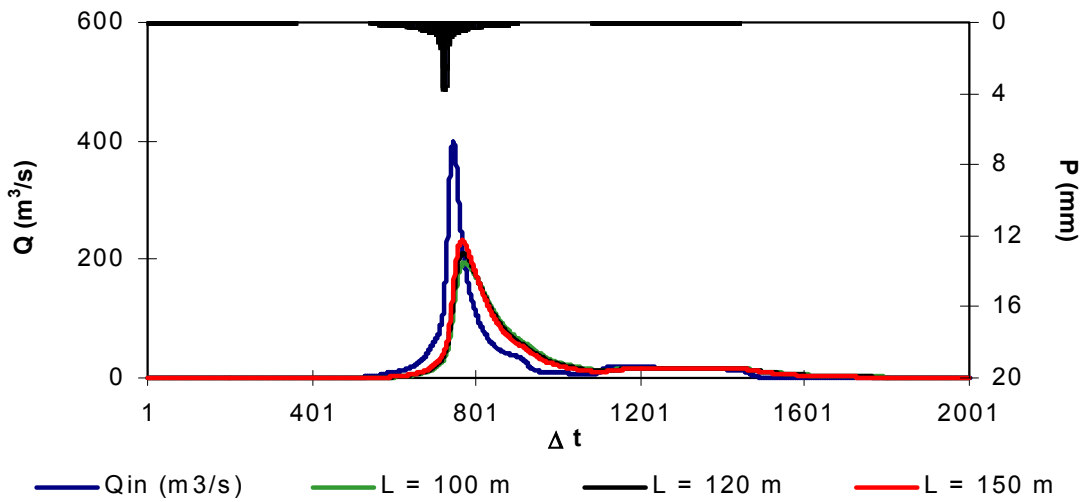
Foram analisadas duas alternativas para o vertedouro, o primeiro escavado em rocha com coeficiente de descarga 1,4, e o outro um perfil Creager com coeficiente de descarga 2,1, ficando suas equações características, respectivamente:

$$Q = 1.4 L (Z - Z_w)^{1.5} \quad e \quad Q = 2.1 L (Z - Z_w)^{1.5}.$$

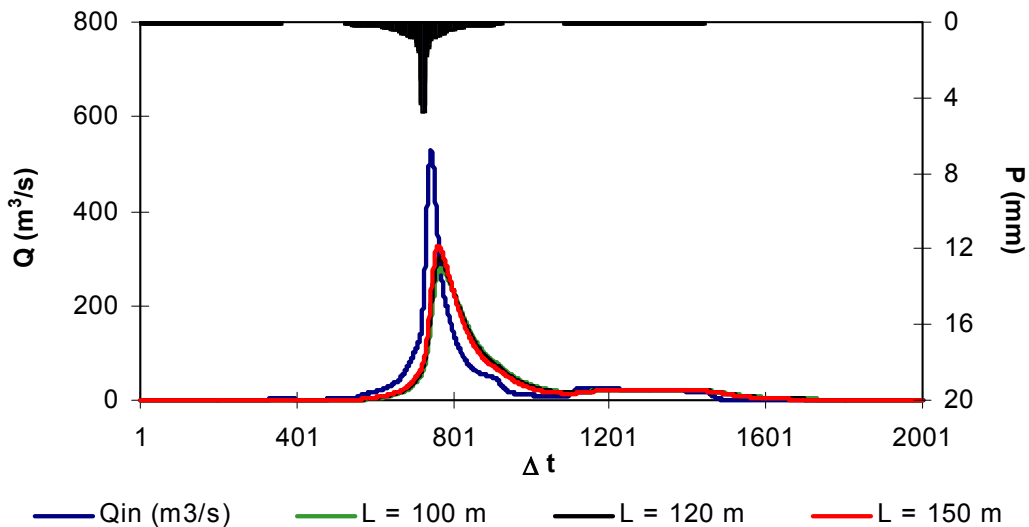
### 3.3.7.2 - Resultados

Uma vez escolhida a dimensão do açude, elaborou-se os estudos de laminação para a cheia de 1.000 anos, para dimensionamento do sangradouro, e para a cheia de 10.000 anos, visando garantir que a barragem não seja galgada nesta cheia, servindo assim para a definição da cota de coroamento da barragem.

Para a alternativa do vertedouro escavado em rocha, os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 3.27, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A Figura 3.20 a seguir, mostra para o tempo de retorno  $T_r=1000$  anos, o hidrograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Maranguape I. Os resultados para o tempo de retorno de 10000 anos são apresentados na Figura 3.21.



**Figura 3.20 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Maranguape I Tr=1000 anos. Escavado em Rocha. Cota 106 m. L = 100, 120 e 150 m.**



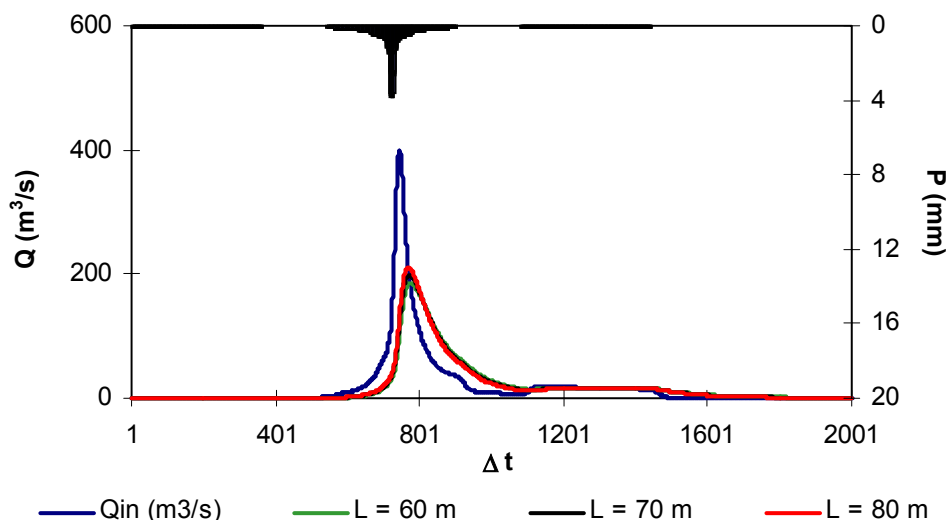
**Figura 3.21 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Maranguape Tr=10000 anos. Escavado em Rocha. Cota 103 m. L = 18, 100, 120 e 150 m.**



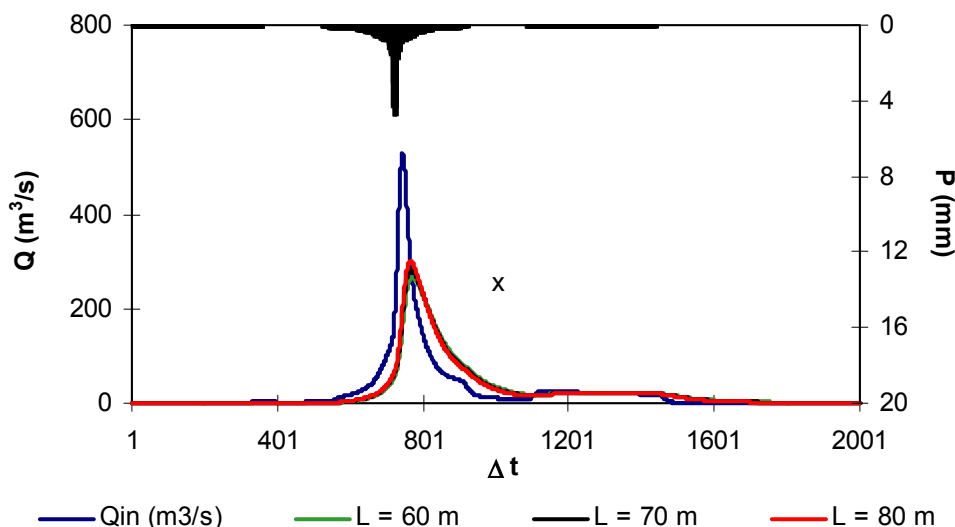
Quadro 3.27 - Resultado da simulação acima descrita			
L (m)	Q <sub>out</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Cota (m)	Lâmina (m)
<b>Escavado em Rocha: Z<sub>w</sub> = 106,0 m</b>			
<b>Tr = 1000 anos - Q<sub>in</sub> = 399 m<sup>3</sup>/s</b>			
18	150	106,28	3,28
100	195	104,25	1,25
120	212	104,16	1,16
150	232	104,07	1,07
<b>Tr = 10000 anos - Q<sub>in</sub> = 528 m<sup>3</sup>/s</b>			
18	220	107,24	4,24
100	280	104,58	1,58
120	300	104,47	1,47
150	326	104,34	1,34

L = Largura do Sangradouro      Z<sub>w</sub> = cota da soleira do sangradouro  
 Q<sub>in</sub> = Vazão afluente ao reservatório      Q<sub>out</sub> = Vazão de saída (sangradouro)

Para a alternativa em perfil creager, os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 3.28, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A Figura 3.22 a seguir, mostra para o tempo de retorno Tr=1000 anos, o hidrograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Maranguape I. Os resultados para o tempo de retorno de 10000 anos são apresentados na Figura 3.23.



**Figura 3.22 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Maranguape I Tr=1000 anos. Perfil Creager. Cota 106 m. L = 60, 70 e 80 m.**



**Figura 3.23 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Maranguape I  $T_r=10000$  anos. Perfil Creager. Cota 106 m.  $L = 60, 70$  e  $80$  m.**

<b>Quadro 3.28 - Resultado da simulação acima descrita</b>			
<b>L (m)</b>	<b><math>Q_{out}</math> (<math>m^3/s</math>)</b>	<b>Cota (m)</b>	<b>Lâmina (m)</b>
<b>Perfil Creager: <math>Z_w = 103,0</math> m</b>			
<b><math>T_r = 1000</math> anos - <math>Q_{in} = 399</math> <math>m^3/s</math></b>			
60	186	104,3	1,3
70	199	104,2	1,2
80	212	104,2	1,2
<b><math>T_r = 10000</math> anos - <math>Q_{in} = 528</math> <math>m^3/s</math></b>			
60	267	104,6	1,6
70	285	104,6	1,6
80	300	104,5	1,5

L = Largura do Sangradouro  
 $Q_{in}$  = Vazão afluente ao reservatório

$Z_w$  = cota da soleira do sangradouro  
 $Q_{out}$  = Vazão de saída (sangradouro)

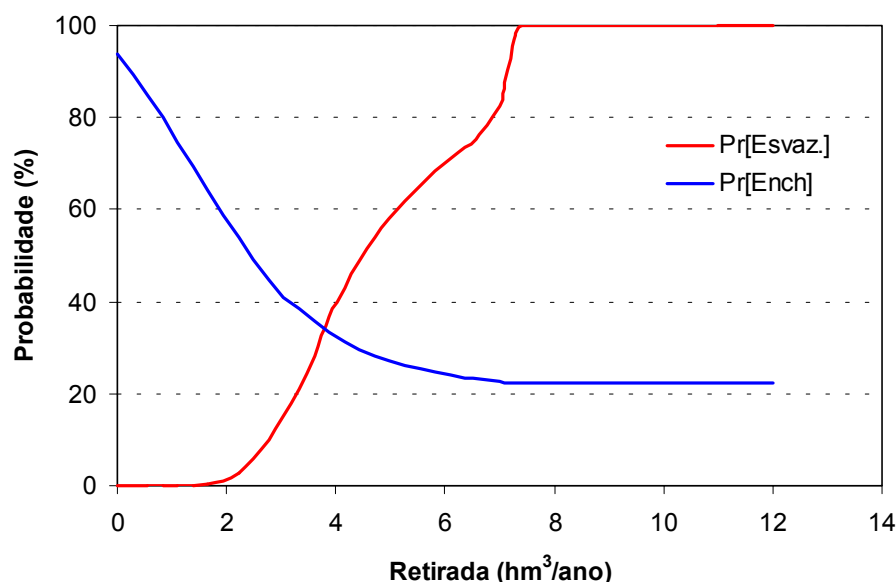
### 3.3.8 - Estudos Adicionais

O presente capítulo apresenta alguns estudos adicionais visando identificar as características do açude Maranguape I quanto a: probabilidade de enchimento, probabilidade de esvaziamento e assoreamento.

### 3.3.8.1 - Probabilidades de enchimento e esvaziamento - Equilíbrio

Neste tópico foi utilizada a teoria de Matriz de Transição para cálculo da probabilidade de esvaziamento e enchimento em equilíbrio. Para tanto, foi utilizada a formulação proposta pelo Prof. Nilson Campos (Campos, J.N.B., A procedure for reservoir sizing on intermittent rivers under high evaporation rates, PhD Thesis, Colorado State University, Fort Collins, 1987, pp. 133.)

A análise probabilística de esvaziamento e de enchimento foi realizada na fase de equilíbrio. A última análise mostra que, no equilíbrio, em cerca de 22% dos anos ocorre sangria para uma retirada anual superior a  $7\text{hm}^3$ . A Figura 3.25 apresenta as duas curvas probabilísticas de esvaziamento e enchimento. Nesta Figura pode-se observar que para uma retirada igual a  $3\text{hm}^3/\text{ano}$  tem-se uma probabilidade de esvaziamento na fase de equilíbrio próximo de 10%, o que implica em uma garantia de 90%. O volume regularizado com 90% de garantia é  $2.772\text{hm}^3/\text{ano}$ .



**Figura 3.25. Probabilidades de esvaziamento e enchimento do açude Maranguape I.**

### 3.3.8.2 - Assoreamento do açude Maranguape I

O assoreamento de um reservatório ao longo da sua vida útil é inevitável porquanto a erosão e o transporte de sedimentos na bacia hidrográfica são processos naturais que, com a formação do lago, sofrem interferência no seu equilíbrio. O menor ou maior grau de assoreamento a que estará sujeito o reservatório depende de vários fatores, onde se podem destacar aqueles inerentes à hidrologia da bacia hidrográfica,

capacidade de armazenamento do açude frente ao volume afluente, conformação geométrica da bacia hidráulica e a composição dos sedimentos.

A composição média dos sedimentos adotada, baseada nos tipos predominantes de solos, foi 12,2 de Argila, 11,2% de Silte e 76,6% de Areia. A partir destas características e outros dados da bacia (área da bacia, volume afluente médio anual, precipitação média anual da bacia e precipitação do mês mais chuvoso) foram utilizados formulas empíricas para cálculo dos seguintes parâmetros para utilização da metodologia de Veiga (1993) para previsão do assoreamento do reservatório.

- Deflúvio anual médio ( $\text{hm}^3$ ) ..... 5,107
- Área ( $\text{km}^2$ ) ..... 15,86
- Peso específico aparente inicial -  $\gamma_i$  ( $\text{t/m}^3$ ): ..... 1,386
- Coeficiente de consolidação médio - K : ..... 0,01965
- Descarga sólida média ( $\text{t/ano}$ ):..... 11186
- Descarga sólida média específica ( $\text{t/km}^2/\text{ano}$ ):..... 705
- Razão de transporte ("delivery ratio") - T..... 0,205
- Precipitação do mês mais chuvoso (mm)..... 323,2
- Precipitação média anual (mm)..... 1386,0

A estimativa do volume assoreado e, conseqüentemente, do volume efetivo ou útil do reservatório ao longo do tempo é feita através da simulação simplificada da operação do reservatório em intervalos  $\Delta t$  igualmente espaçados durante um tempo suficientemente longo. O açude Maranguape I foi simulado durante 100 anos com  $\Delta t$  igual a 10 anos. O Quadro 3.29 apresenta os valores obtidos de acordo com a metodologia de Veiga (1993). A tabela mostra o acompanhamento, a cada intervalo de simulação, das variáveis utilizadas bem como sedimento acumulado e do volume efetivo. Foi assim obtido um volume final ao período de 100 anos de  $6,953 \text{ hm}^3$ , havendo uma redução de 10% no volume útil do açude Maranguape I, o qual era inicialmente de  $7,724 \text{ hm}^3$ . Deve-se ressaltar entretanto que a aplicabilidade desta metodologia ao semi-árido não foi verificada face a inexistência de registros de dados sedimentológicos.

**Quadro 3.29 - Simulação do assoreamento do reservatório ao longo do tempo**

Período Parcial (anos)		Volume inicial (hm <sup>3</sup> )	Volume/μ	Er	γ <sub>T</sub> (t/m <sup>3</sup> )	Sedimento Período (10 <sup>3</sup> t)	Sedimento Acumulado (hm <sup>3</sup> )	Volume Efetivo ou útil (hm <sup>3</sup> )
0	10	7.724	1.512	0.973	1.399	108.8	0.078	7.646
10	20	7.646	1.497	0.973	1.405	108.8	0.155	7.569
20	30	7.569	1.482	0.973	1.408	108.8	0.233	7.491
30	40	7.491	1.467	0.973	1.410	108.8	0.310	7.414
40	50	7.414	1.452	0.973	1.412	108.8	0.387	7.337
50	60	7.337	1.437	0.972	1.413	108.8	0.464	7.260
60	70	7.260	1.422	0.972	1.414	108.8	0.541	7.183
70	80	7.183	1.407	0.972	1.415	108.8	0.617	7.106
80	90	7.106	1.392	0.972	1.416	108.7	0.694	7.030
90	100	7.030	1.376	0.972	1.417	108.7	0.771	6.953

Veiga Lopes, Ayde, Aplicação de Métodos de Previsão de Assoreamento de Reservatórios. Dissertação de Mestrado, Campinas, SP (1993).

## 4 - ANTEPROJETO DA BARRAGEM

## 4 – ANTEPROJETO DA BARRAGEM

O anteprojeto da Barragem Maranguape I foi elaborado a partir da apresentação de soluções técnicas alternativas para os diversos tipos de possíveis maciços, a comparação destas alternativas e finalmente a escolha da barragem, a qual melhor se adequa às condições naturais encontradas, levando em conta os custos e as finalidades da obra.

O anteprojeto é abordado e descrito nos seguintes tópicos, a saber:

- Escolha da Alternativa do Eixo Barrável.
- Alternativas Examinadas de Seção de Maciço.
- Critério e Justificativa de Escolha da Alternativa de Seção de Maciço.
- Concepção Geral da Barragem.

### 4.1 - ESCOLHA DA ALTERNATIVA DO EIXO BARRÁVEL

Por ocasião da fase de estudos preliminares foi feito em obediência aos Termos de Referência, o estudo de seleção do eixo a ser barrado nas imediações da cidade de Maranguape, ao longo do rio Gereraú. Esses estudos consistiram na escolha de três locais barráveis, cujo resumo sucinto é apresentado a seguir.

#### 4.1.1 - Seleção dos Eixos na 1ª Fase

Através dos estudos de fotointerpretação e da análise aprofundada das cartas planimétricas da região, na escala de 1:20.000, foi possível identificar algumas alternativas de eixos barráveis, mas não muito favoráveis, pelas limitações hidrológicas da bacia hidrográfica existente. Procurou-se associar uma melhor localização topográfica com maior acumulação d'água.

Assim sendo, foram identificados três eixos alternativos para a barragem Maranguape I, ao longo do Riacho Gereraú, afluente da margem esquerda do Riacho Tangureira, como descrito a seguir.

#### 1. Eixo – 1

O Eixo – 1 está situado na localidade de Gereraú, no início de um amplo vale, intercalado por duas grandes elevações rochosas que fazem parte do complexo de serras daquela região, cujo sítio barrável está situado 1,0km a montante da CE-065, que liga a cidade de Maranguape e Baturité. Esta opção com 720m de extensão, 18,0m de altura, bacia de acumulação da ordem de 29ha, acumularia cerca de 12hm<sup>3</sup> para um NA máximo de 14,0m. O sangradouro posicionado na ombreira direita com canal de

200m escavado em rocha, tem fundação estimada em 8,0m de profundidade na baixada do vale.

As características gerais da alternativa do Eixo – 1 são apresentadas no Quadro 4.1 a seguir.

**Quadro 4.1: Características da Alternativa do Eixo – 1**

**Barragem** (Localidade de Gereraú a 1,0 Km a Montante da CE-065 e 5,5 Km de Maranguape)

Tipo:	Terra
Altura do dique	-
Cota do coroamento:	94 m
Comprimento do dique:	-
Cota do rio:	76 m
Área da bacia hidrográfica:	19 km <sup>2</sup>
Altura da barragem:	18 m
Área da bacia hidráulica:	29 ha
Comprimento da barragem:	720 m
Volume acumulado:	12 hm <sup>3</sup>

**Fundação**



Largura da base 1:	10 m	
Altura 1:		8 m
Comprimento 1:		400 m
Largura da base 2:	5 m	
Altura 2:		2 m
Comprimento 2:		320 m
<b>Sangradouro</b>		
Tipo:		Canal escavado
Largura transversal:		200 m
Cota da soleira:		90 m
Comprimento longitudinal:		220 m

## **2. Eixo – 2**

O Eixo – 2 fica posicionado aproximadamente a 700m a montante do Eixo – 2. Sua extensão pelo coroamento é de 680m por 15,0m de altura e uma bacia de acumulação da ordem de 6hm<sup>3</sup> para um NA máximo de 11,0m.

As características gerais da alternativa do Eixo – 1 são apresentadas no Quadro 4.2 a seguir.

### **Quadro 4.2: Características da Alternativa do Eixo – 2**

### Quadro 4.2: Características da Alternativa do Eixo – 2

<b>Barragem</b>		(Localizada a 700 m a Montante do Eixo - I)
Tipo:		Terra
Comprimento do dique:		-
Cota do coroamento:		94 m
Comprimento do dique:		-
Cota do rio:		79 m
Área da bacia hidrográfica:		14 km <sup>2</sup>
Altura da barragem:		15 m
Área da bacia hidráulica:		15 ha
Comprimento da barragem		680 m
Volume acumulado:		6,8 hm <sup>3</sup>
<b>Fundação</b>		
Largura da base 1:	10 m	
Altura 1:		8 m
Comprimento 1:		480 m

**Quadro 4.2: Características da Alternativa do Eixo – 2**

Largura da base 2:	5m	
Altura 2:		2 m
Comprimento 2:		200 m
<b>Sangradouro</b>		
Tipo:		Canal escavado
Largura transversal:		200 m
Cota da soleira:		90 m
Comprimento longitudinal:		188 m

**3. Eixo - 3**

O Eixo – 3 está posicionado aproximadamente 1000m a montante do Eixo – 3. O seu comprimento pelo coroamento é de 480m por 13,0m de altura. A estimativa de acumulação é da ordem de 3hm<sup>3</sup> para um NA máximo de 9,0m.

As características gerais da alternativa do Eixo – 1 são apresentadas no Quadro 4.3 a seguir.

**Quadro 4.3: Característica da Alternativa do Eixo – 3**

**Barragem** (Localizada, 1000 m a Montante do Eixo - I)

Tipo:

		Terra
Altura do dique:		-
Cota do coroamento:		94 m
Comprimento do dique:		-
Cota do rio:		81 m
Área da bacia hidrográfica:		12 km <sup>2</sup>
Altura da barragem:		13 m
Área da bacia hidráulica:		9 ha
Comprimento da barragem		480 m
Volume acumulado:		3,40 hm <sup>3</sup>
<b>Fundação</b>		
Largura da base 1:	10 m	
Altura 1:		7 m
Comprimento 1:		350 m
Largura da base 2:	5m	
Altura 2:		2 m
Comprimento 2:		130 m
<b>Sangradouro</b>		

Tipo:	Canal escavado
Largura transversal:	200 m
Cota da soleira:	90 m
Comprimento longitudinal:	174 m

#### 4.1.1.1 - Considerações Finais

As alternativas do Eixo – 2 e do Eixo – 3 são bastante delicadas, pela sensível redução da acumulação prevista, pois vão gradualmente diminuindo o seu volume, pelas características acentuadas do relevo existente, onde as áreas das bacias de acumulação se reduzem consideravelmente, por ficarem muito encaixadas.

Os custos para as alternativas dos barramentos de Maranguape I foram elaborados com base nas características locais de cada eixo, contidos no Quadro 4.4, mostrada a seguir.

#### **Quadro 4.4: Cubação e Estimativa de Custo da Barragem Maranguape I**

**Quadro 4.4: Cubação e Estimativa de Custo da Barragem Maranguape I**

**ALTERNATIVA EIXO 1**

**DESCRIÇÃO**  
**UNID.**  
**QUANT (m<sup>3</sup>)**  
**CUSTO UNITÁRIO (R\$)**  
**CUSTO TOTAL (R\$)**

**BARRAGEM / VOLUMES**

Maciço

m<sup>3</sup>  
 312.000  
 11,50  
 3.588.000,00

Fundação

m<sup>3</sup>  
 96.000  
 3,50  
 336.000,00

**SANDRADOURO / VOLUMES**

Escavação em Solo

m<sup>3</sup>  
 275.000  
 2,50  
 687.500,00

Escavação em Rocha

m<sup>3</sup>  
 15.800  
 17,00  
 268.600,00

**Quadro 4.4: Cubação e Estimativa de Custo da Barragem Maranguape I**

**CUSTO TOTAL**  
4.880.100,00

**ALTERNATIVA EIXO 2**

**DESCRIÇÃO**  
**UNID.**  
**QUANT (m<sup>3</sup>)**  
**CUSTO UNITÁRIO (R\$)**  
**CUSTO TOTAL (R\$)**

**BARRAGEM / VOLUMES**

Maciço

m<sup>3</sup>  
220.000  
11,50  
2.530.000,00

Fundação

m<sup>3</sup>  
94.000  
3,50  
329.000,00

**SANDRADOURO / VOLUMES**

Escavação em Solo

m<sup>3</sup>  
317.000  
2,50  
792.500,00

Escavação em Rocha

m<sup>3</sup>  
16.600

**Quadro 4.4: Cubação e Estimativa de Custo da Barragem Maranguape I**

	17,00	282.200,00
<b>CUSTO TOTAL</b>		
<b>3.933.700,00</b>		
<b>ALTERNATIVA EIXO 3</b>		
	<b>DESCRIÇÃO</b>	
	<b>UNID.</b>	
	<b>QUANT (m<sup>3</sup>)</b>	
	<b>CUSTO UNITÁRIO (R\$)</b>	
	<b>CUSTO TOTAL (R\$)</b>	
<b>BARRAGEM / VOLUMES</b>		
Maciço	m <sup>3</sup>	
	212.000	
	11,50	
	2.438.000,00	
Fundação	m <sup>3</sup>	
	72.000	
	3,50	
	252.000,00	
<b>SANDRADOURO / VOLUMES</b>		
Escavação em Solo	m <sup>3</sup>	
	290.000	
	2,50	
	725.000,00	



**Quadro 4.4: Cubação e Estimativa de Custo da Barragem Maranguape I**

Escavação em Rocha	
	m <sup>3</sup>
	15.000
	17,00
	255.000,00
	<b>CUSTO TOTAL</b>
	<b>3.670.000,00</b>

Para os comparativos de custos, considerou-se os seguintes itens principais: a escavação da fundação e maciço da barragem e as escavações do sangradouro, que são quantitativos condicionantes para a estimativa de custo de implantação para cada eixo.

A análise realizada pelas características físicas de cada eixo, já impõe a alternativa do Eixo – 1, como mais viável. As alternativas de Eixo – 2 e Eixo – 3 são desprezíveis do ponto de vista hidrológico de acumulação, equivalentes geológicos e geotécnicos e, mais complicados do ponto de vista topográficos, para a implantação dos sangradores, já que o relevo local é elevado e encaixado, tendendo para maiores escavações e conseqüentemente projetos mais onerosos. As alternativas do Eixo – 2 e do Eixo -3 são comparativamente inviáveis em relação à alternativa do Eixo – 1, quando analisadas em relação aos volumes de escavação dos sangradores e o volume de acumulação dos reservatórios.

Do ponto de vista econômico, a partir da análise do Quadro 4.4 contendo as estimativas de custos de implantação para as três alternativas de barragem Maranguape I, pode-se afirmar que os condicionantes que mais viabilizaram a implantação da barragem não são os econômicos e sim os físicos.

Assim, a alternativa do Eixo – 1 é a escolhida para os reservatórios de Maranguape I, por serem a mais favorável no atendimento as necessidades do projeto, apesar dos custos maiores, possuem maiores bacias de acumulação e conseqüentemente maiores volumes de reserva hídrica, oferecendo maior garantia para o atendimento no abastecimento da crescente população da região.

#### 4.1.2 - Escolha Final do Eixo

Muito embora os estudos descritos acima concluíram que a alternativa Eixo – 1 era a melhor opção. Contudo, os estudos de anteprojeto não foram desenvolvidos nesse local.

Por tratar-se de uma área bastante próxima de Fortaleza e bem povoada, logo que a notícia de que uma barragem seria construída naquele local foi se espalhando, começaram as reuniões dos líderes da comunidade para pressionar a Secretaria de Recursos Hídricos a não construir a obra. Uma situação bastante inusitada, já que Maranguape encontra-se com sérios problemas de abastecimento de água. Esse fato gerou até uma ordem de paralisação do andamento do projeto.

Depois de ouvido as lideranças comunitárias, são feitas sobre estas um trabalho de conscientização e chegou-se a um meio termo, ou seja, a barragem não seria construída no Eixo – 1, denominado Generaú. Contudo, poderia ser construída mais a montante deste eixo.

O problema dessa decisão é que a bacia hidrográfica é bastante limitada. Porém não haveria alternativa.

Nessa ocasião o consórcio já se encontrava com a restituição aerofotogramétrica na escala 1:5000. Foi verificado então, mais dois eixos barráveis, denominados de Eixo – 3 e Eixo – 4, próximo um do outro e cerca de três quilômetros do Eixo – 1.

Na 39ª Reunião do PISB visitou esses dois novos e selecionou juntamente com o projetista o Eixo-3 para ser desenvolvido o Anteprojeto. Nesse eixo a bacia hidrográfica é de 15,86 km<sup>2</sup>, bacia hidráulica de 56,39 ha, com capacidade para acumular 7,70 hm<sup>3</sup>.

Na 40ª Reunião do PISB, foi decidido alterar o eixo da Barragem Maranguape I, deslocando-o para montante cerca de 200 m do Eixo-3. No novo eixo, a bacia hidrográfica é de 15,8 ha, bacia hidráulica de 43,62 ha, acumulando um volume de 4,58 hm<sup>3</sup>.

Na 41ª Reunião do PISB, foi solicitado um estudo de otimização do eixo que havia sido deslocado para montante 200 m do Eixo-3.

## 4.2 - ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DO EIXO

No local do eixo levantado foram escolhidos com base na topografia mais dois eixos, ficando os três denominados de Eixo-1, Eixo-2 e Eixo-3. Esses eixos são mostrados na Figura nº4.1 a seguir. Em cada um desses eixos foi feito o lançamento de um maciço terroso com taludes de montante 1:2,5 (V:H) e jusante 1:2 (V:H). O coroamento ficou com 6,0 m de largura e cota da crista na 108,50.

Foram feitas as cubações desses três eixos. No quadro a seguir são apresentados os resumo dos volumes encontrados:

EIXO	BARRAGEM DIREITA	BARRAGEM ESQUERDA	TOTAL
1	121.245,27	272.445,33	393.690,60
2	100.512,77	259.844,33	360.357,10
3	85.305,39	250.580,97	335.886,36

Examinando os resultados, foi escolhido a opção-3 para ser o eixo do projeto da barragem.

## Figura nº4.1

### 4.3 - ALTERNATIVAS EXAMINADAS DE SEÇÃO DE MACIÇO

Devido às características do boqueirão bem aberto e a profundidade da rocha, verifica-se que é fácil descartar as alternativas de barragem de enrocamento e barragem de gravidade tipo CCR (Concreto Compactado a Rolo). De maneira que foi considerada uma barragem de terra homogênea para o maciço.

### 4.4 - CONCEPÇÃO GERAL DA BARRAGEM

A Barragem Maranguape I constitui de um maciço homogêneo a ser construída com material proveniente das jazidas J-01 e J-02 e das escavações do sangradouro. A barragem ficará com coroamento na cota 108,50m, com altura máxima de 20,90 m na estaca 4D+8,20 m. A soleira será implantada na cota 105,00m, acumulando 5,48hm<sup>3</sup>.

De acordo com os resultados das sondagens está previsto a escavação obrigatória de 4,0 m entre as estacas 03D e 07D e 1,0 m no restante da barragem.

A crista da barragem terá 6,0m de largura com caimento de 2% para montante. A camada final com 0,20m de espessura será executada com cascalho argiloso. Nos limites dos bordos serão colocados meios-fios moldados *in situ* com abertura para montante e jusante.

O talude de montante terá inclinação de 1,0 (V): 2,5 (H) até atingir o terreno escavado. O paramento de montante será protegido da ação da energia da onda do reservatório com a construção de um *riprap*. O *riprap* será formado por uma camada de 0,70m de espessura de blocos de rocha sã assentes sobre uma camada de transição com 0,20m de espessura, formada por produto de britagem.

O enrocamento do *riprap* a ser utilizado tem as seguintes características:

$$P_{50} = 0,45tf \quad D_{50} = 0,62m$$

$$P_{\min} = 0,23tf \quad D_{\min} = 0,50m$$

$$P_{\max} = 0,64tf \quad D_{\max} = 0,70m$$

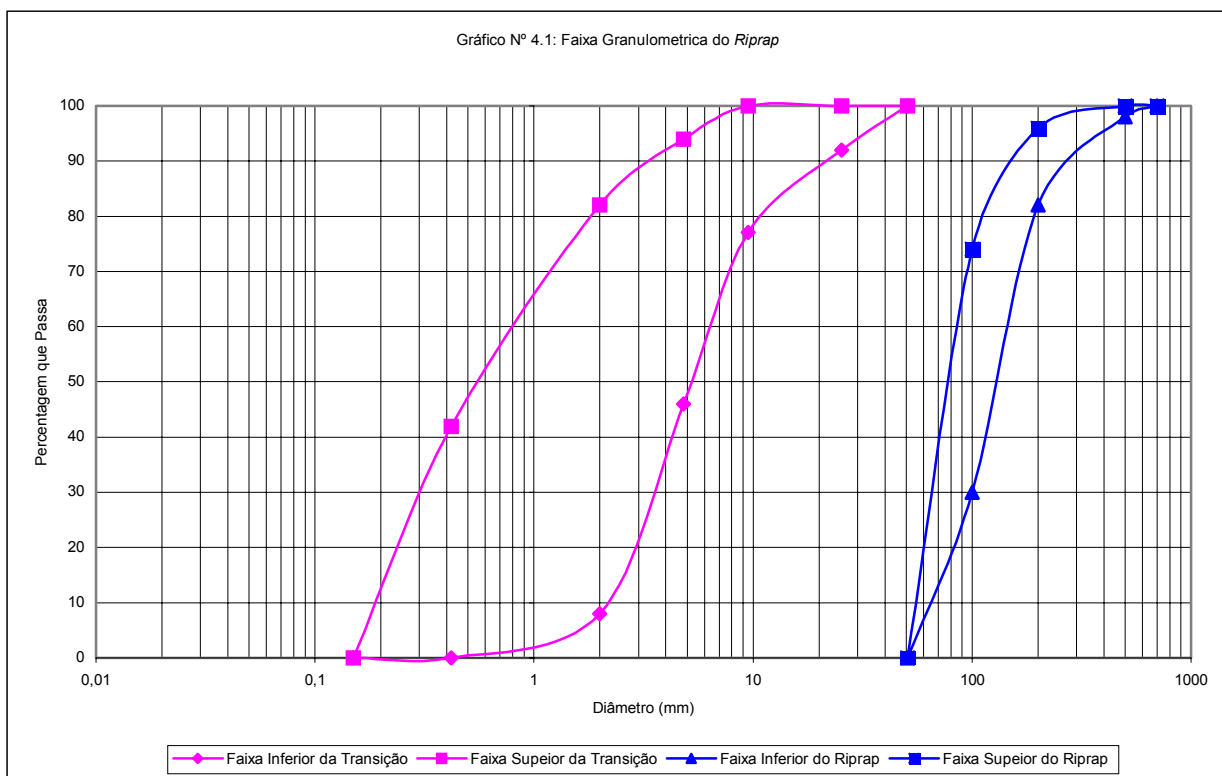
A camada de transição tem a granulometria mostrada no Quadro 4.5.

Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)
700mm	100
500mm	94 – 100
200mm	82 – 98
100mm	48 – 74
2" (50,8mm)	0

A camada de transição tem a granulometria mostrada no Quadro 4.6.

Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)
2" (50,8mm)	100
1" (25,7mm)	92 – 100
3/8" (9,5mm)	77 – 100
Nº 4 (4,8mm)	46 – 94
Nº 10 (2,0mm)	8 – 82
Nº 40 (0,420mm)	0 – 42
Nº 100 (0,15mm)	0

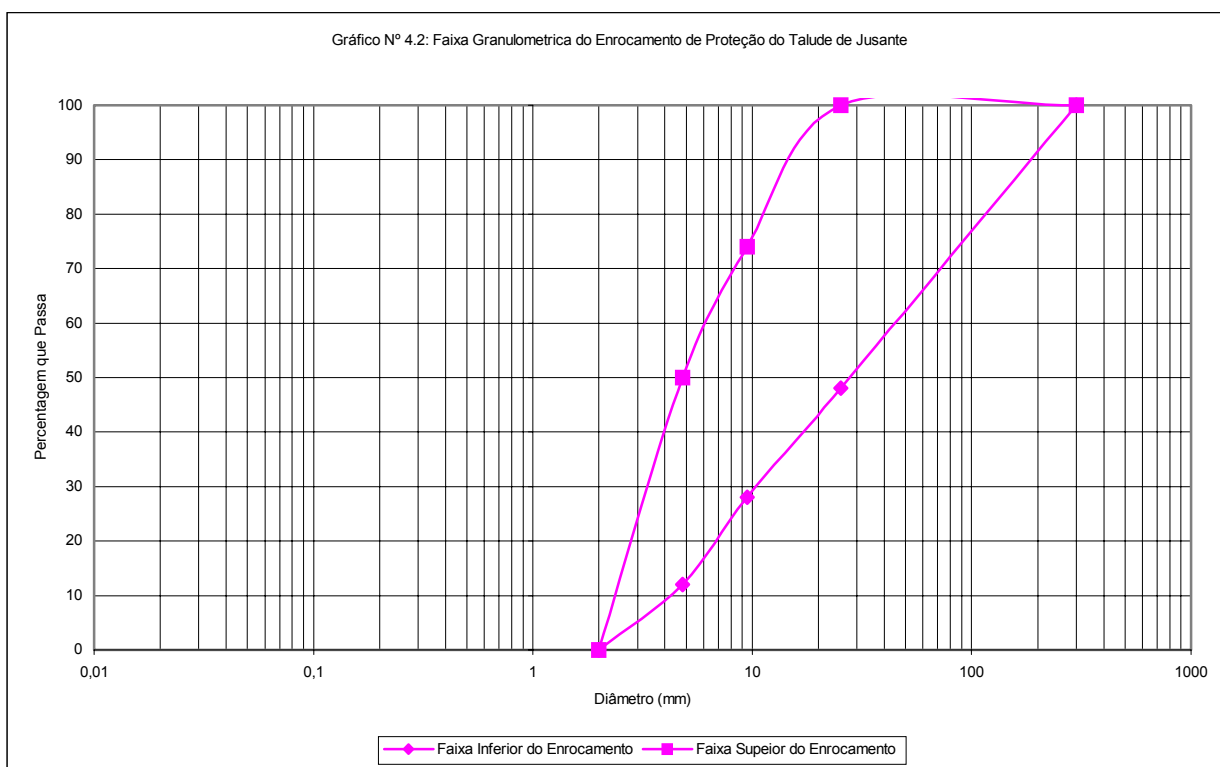
No gráfico Nº 4.1 são mostradas as faixas granulométricas dos materiais constituintes do riprap.



O talude de jusante está projetado com inclinação de 1:2 (V:H), ao ser atingida a cota 98,50 m, ou seja, 10,0 m abaixo do coroamento, será executado uma bermã com 2,0 m de largura. A partir dessa cota o talude prossegue com a mesma inclinação até atingir o terreno natural ou a cota 94,00 m onde tem nova bermã com 2,0 m de largura formada pelo enrocamento de pé. A proteção do talude de jusante será feita com uma camada de 0,30 m de espessura de material britado, com granulometria mostrada no Quadro 4.7.

<b>Quadro 4.7: Material de Proteção do Talude de Jusante</b>	
<b>Peneira</b>	<b>Faixa Granulométrica (Percentagem que Passa)</b>
300mm	100
1" (25,4mm)	48 – 100
3/8" (9,5mm)	28 – 74
Nº 4 (4,8mm)	12 – 50
Nº 10 (2,0mm)	0

No gráfico Nº 4.2 são mostradas as faixas granulométricas dos materiais constituintes do enrocamento de proteção do talude de jusante.



Para a drenagem interna do maciço da barragem está prevista a construção de um filtro vertical com 1,0 m de largura e topo na cota 106,91 e um tapete horizontal também com 1,0 m de espessura. Entre as estacas 6 e 7 da barragem esquerda o

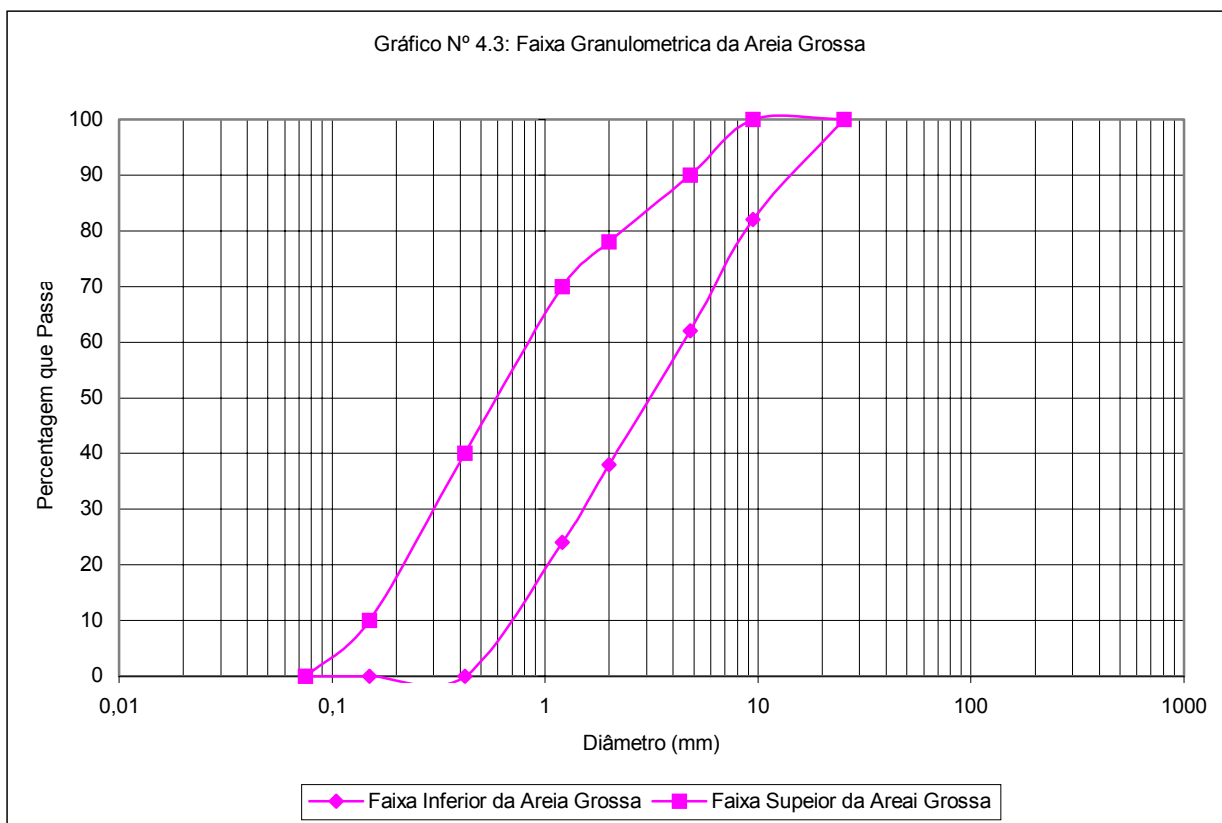
tapete se estende até o pé de jusante. Entre as estacas 3 e 5 e 8 e 10 da barragem esquerda o tapete tem somente 6,0 m de extensão. Na barragem direita entre as estacas 3 e 14 o tapete se estende até o pé de jusante e nas estacas 1, 2 e 15 o tapete tem 6,0 m de extensão.

Tanto o filtro vertical como o tapete horizontal serão construídos com areia do areal A-01.

No Quadro 4.8 é mostrada a faixa granulométrica para a qual a areia grossa deverá se enquadrar para poder constituir os elementos de drenagem interna da barragem.

Quadro 4.8: Areia Grossa	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
1" (25,4mm)	100
3/8" (9,5mm)	82 – 100
Nº 4 (4,8mm)	62 – 90
Nº 10 (2mm)	38 – 78
Nº 16 (1,2mm)	24 – 70
Nº 40 (0,42mm)	0 – 40
Nº 100 (0,15mm)	0 – 10
Nº 200 (0,075mm)	0

No gráfico Nº 4.3 são mostradas as faixas granulométricas da areia grossa que formará o sistema de drenagem interna da barragem.



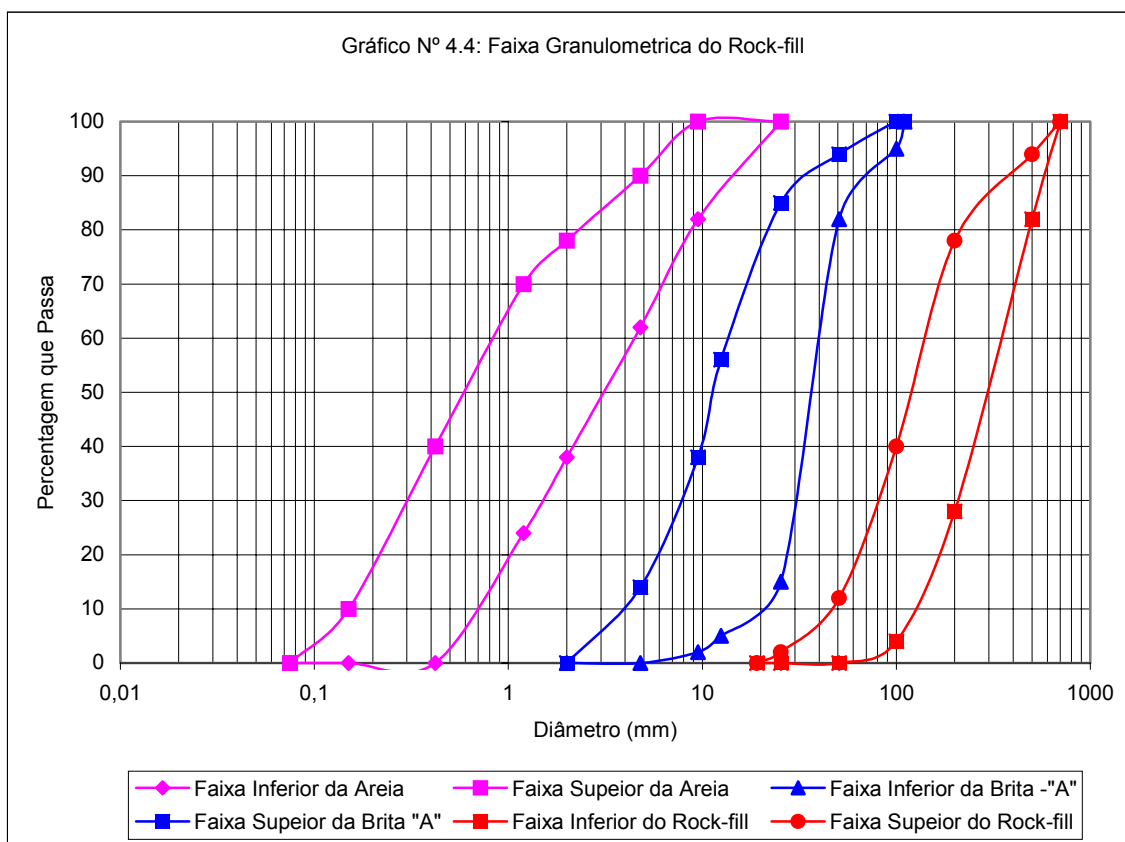


Completando o sistema de drenagem interna da barragem foi projetado na barragem esquerda entre as estacas 6 e 7 e na barragem direita entre as estacas 3 e 14 um dreno e pé com seção trapezoidal, com a base menor com 2,0 m de largura, na cota 94,00 m e taludes para montante e jusante com inclinação 1:1,5 (V:H). O contato das pedras de mão com o solo do maciço e da fundação é feito por uma camada de transição de 30 cm de areia do areal A-01 e 30 cm de brita "A".

A faixa granulométrica da Brita "A" é apresentada no Quadro nº4.9.

Quadro 4.9: Brita "A"	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
110mm	100
100mm	95 – 100
2" (50,8mm)	82 – 94
1" (25,4mm)	15 – 85
1/2" (12,5mm)	5 – 56
3/8" (9,2mm)	2 – 38
Nº 4 (4,8mm)	0 – 14
Nº 10 (2,0mm)	0

No gráfico Nº 4.4 são mostradas as faixas granulométricas da areia grossa, da Brita "A" e das pedras do rock-fill.



#### 4.5 - ANTEPROJETO DO SANGRADOURO

Na 41ª Reunião do PISB foi apresentado para discussão um sangradouro localizado entre as estacas 2S e 3S com 18,00 m de largura que seria escavado na rocha com soleira na cota 103,00 m.

Após a análise da qualidade da rocha com baixa recuperação e alto grau de fraturamento a Fiscalização sugeriu a execução de mais sondagens e o exame da possibilidade de projetar o vertedouro na encosta da ombreira.

As sondagens realizadas nas estacas 01 e 02 do Eixo-3, eixo otimizado, com cota das bocas dos furos igual a 115,54 e 108,56 mostraram que até a cota 98,00 não houve recuperação da rocha sã.

Diante desses condicionantes geotécnicos verificou-se que o sangradouro deve ser do tipo perfil Creager com canal rápido e bacia de dissipação.

Foi feito a laminação do lago nas cotas 103, 104 e 105 para um perfil Creager com 18,0 m de extensão. Os resultados da laminação são mostrados a seguir:

PERFIL CREAGER – L=18,0 m			
Z <sub>w</sub> (m)	Q <sub>out</sub> (m³/s)	Cota de Cheia (m)	Lâmina (m)
<b>Tr = 1000 anos – Q<sub>in</sub> = 399 m³/s</b>			
103	104	104.96	1.96
104	102	105.94	1.94
105	100	106.91	1.91
<b>Tr = 10000 anos – Q<sub>in</sub> = 528 m³/s</b>			
103	155	105.56	2.56
104	152	106.52	2.52
105	148	107.48	2.48

L = Largura do Sangradouro

Z<sub>w</sub> = Cota da soleira do sangradouro

Q<sub>in</sub> = Vazão afluente ao reservatório

Q<sub>out</sub> = Vazão de saída (sangradouro)

Projeteu-se então um perfil Creager com crista na cota 105,00 m com canal rápido e bacia de dissipação deixando a água já praticamente na cota do rio.

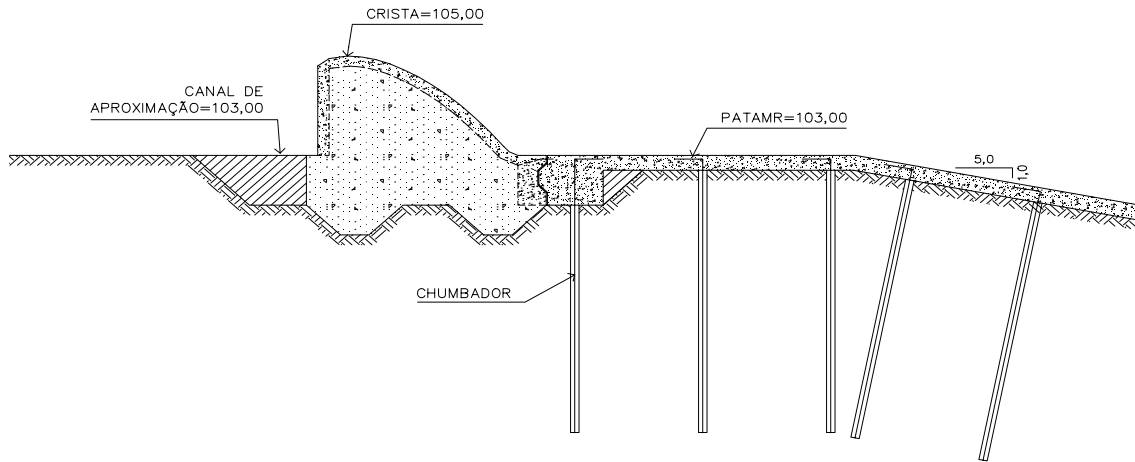
- Projeto do Vertedouro

Para a vazão milenar  $Q_{1000} = 106,91 m^3 / s$  tem-se  $L = 1,91$ .

Vazão Milenar

$$Q_{1000} = 106,91 m^3 / s$$

$$L_{1000} = 1,91 m$$



$$q = \frac{Q}{L} = \frac{106,91}{18} = 5,93 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

$$H_o = h_o + h_a$$

Adotando  $h_o = 1,91$  e  $P = 2,0$ .

Tem-se:

$$V_a = \frac{q}{P + h_o} = \frac{5,93}{2,0 + 1,91} = 1,51 \text{ m} / \text{s}$$

$$h_a = \frac{q^2}{2g \times (P + h_o)^2} = \frac{5,93^2}{2 \times 9,81 \times 3,91^2} = 0,11 \text{ m}$$

$$\frac{h_a}{H_o} = \frac{0,11}{2,02} = 0,05$$

Para  $\frac{h_a}{H_o} = 0,05$ , tem-se:

$$K = 0,51 \text{ e } n = 1,848$$

A equação de jusante será:

$$\frac{y}{H_o} = K \times \left( \frac{X}{H_o} \right)^n$$

Substituindo os valores tem-se:

$$\frac{Y}{2,02} = -0,51 \times \left( \frac{X}{2,02} \right)^{1,848}$$

$$Y = -0,280 \times X^{1,848}$$

Fazendo a reta tangente a essa curva ter inclinação igual a  $-1,25$ , que corresponde ao talude de 1:0,8 (V:H), deve-se igualar a derivada dessa função a esse valor.

Derivando essa função tem-se”:

$$\frac{dy}{dx} = -0,517 \cdot X^{0,848}$$

Fazendo  $\frac{dy}{dx} = -1,25$ , tem-se:

$$-1,25 = -0,517 \cdot X^{0,848}$$

$$X^{0,848} = 2,417$$

Logo a abcissa do ponto de tangência  $X_T$  será:

$$X_T = 2,83m$$

A ordenada do ponto de tangência será:

$$Y_T = -0,280 \times 2,83^{1,848} = -1,91$$

A tabela a seguir mostra os pontos da curva de jusante desde a origem até o ponto de tangência.

Pontos da Curva de Jusante	
X	Y
0,00	0,00
0,250	-0,02
0,500	-0,07
0,750	-0,16
1,00	-0,28
1,25	-0,42
1,50	-0,59
1,750	-0,78
2,00	-1,00
2,25	-1,25
2,50	-1,52
2,75	-1,82
2,83	-1,91

### Determinação das curvas circulares de montante

Para  $\frac{h_a}{H_o} = 0,05$ , tem-se:

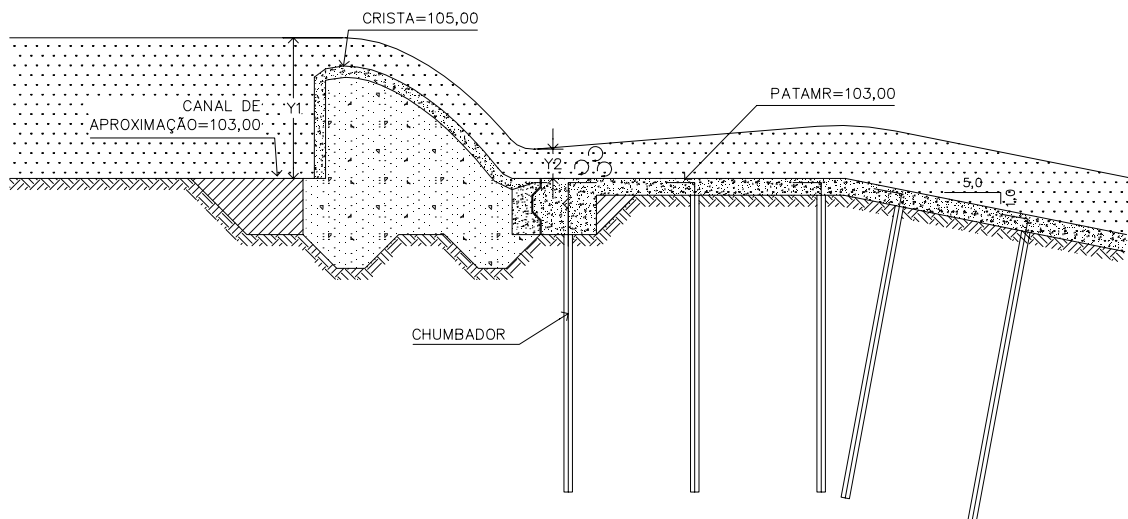
$$\frac{X_c}{H_o} = 0,2575 \Rightarrow X_c = 0,52$$

$$\frac{Y_c}{H_o} = 0,100 \Rightarrow Y_c = 0,20$$

$$\frac{R_1}{H_o} = 0,502 \Rightarrow R_1 = 1,01$$

$$\frac{R_2}{H_o} = 0,201 \Rightarrow R_2 = 0,40$$

Determinação da lâmina na entrada do canal rápido.



Aplicando a equação de Bernoulli entre os pontos 1 e 2, tem-se:

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_1 \cong 0,0$$

$$y_1 = 3,91m$$

$$V_2 = \frac{q}{y_2}$$

Substituindo  $Y_2$  na equação, tem-se:

$$3,91 = Y_2 + \frac{5,93^2}{2 \times 9,81 \times Y_2^2}$$

$$3,91 = Y_2 + \frac{1,79}{Y_2^2}$$

Resolvendo esta equação por iteração obtém-se:

$$Y_2 = 0,75m$$

A partir da lâmina na entrada do canal rápido é aplicado o “STEP METHOD” para calcular a linha d’água no canal rápido e a lâmina na entrada da bacia de dissipação.

Resolvendo o “STEP METHOD”, mostrado na planilha a seguir obtém-se a lâmina na entrada da bacia igual a  $Y = 0,39m$  e a velocidade na entrada igual a  $V = 15,23m/s$ .

O número de Froude será:

$$F_R = \frac{V}{\sqrt{g \times Y}} = \frac{15,23}{\sqrt{9,81 \times 0,39}} = 7,78$$

A lâmina conjugada será:

$$Y_2 = \frac{Y_1}{2} \times \left[ \sqrt{1 + 8F_R^2} - 1 \right]$$

$$Y_2 = \frac{0,39}{2} \times \left[ \sqrt{1 + 8 \times 7,78^2} - 1 \right]$$

$$Y_2 = 4,10m$$

Do ábaco do Design of Small Dams obtém-se para  $F_R = 7,78$ :

$$\frac{L}{Y_2} = 6,20$$

$$L = 6,20 \times 4,10 = 25,42m$$

Será adotado o comprimento da bacia igual a 25,00m.

Finalmente o projeto do vertedouro é constituído de um perfil Creager com 18,0 m de extensão com crista na cota 105,00 m um trecho horizontal com 5,43 m de extensão na cota 103,00 e um canal rápido com inclinação 1:5 (V:H) com extensão horizontal de 95,50 m e uma bacia de dissipação com 25,00 m de extensão com cota 84,00 m.

O perfil Creager é em concreto ciclópico e os muros laterais e o fundo do canal e bacia são em concreto armado.

BARRAGEM MARANGUAPE I – STEP METHOD													
Q (m/s³) = 106,91			n = 0,014				L (m) = 18,00				Y <sub>ini</sub> (m) = 0,75		
Y	A	V	Rr	Rh <sup>4/3</sup>	V <sup>2/2*g</sup>	E	ΔE	S0	Sf	Sf (med)	S0 – Sf (med)	ΔX	X
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,75	13,50	7,92	0,692	0,611	3,20	3,95	-	0,00	0,020530	-	-	-	0,00
0,76	13,68	7,82	0,701	0,621	3,11	3,87	0,07356	0,00	0,019669	0,020100	0,020100	3,660	3,660
0,77	13,86	7,71	0,709	0,631	3,03	3,80	0,07033	0,00	0,018855	0,019262	0,019262	3,651	7,311
0,77	13,86	7,71	0,709	0,631	3,03	3,80	0,00000	0,20	0,018855	0,018855	0,181145	0,000	7,311
0,76	13,68	7,82	0,701	0,621	3,11	3,87	0,07033	0,20	0,019669	0,019262	0,180738	0,389	7,700
0,75	13,50	7,92	0,692	0,611	3,20	3,95	0,07356	0,20	0,020530	0,020100	0,179900	0,409	8,109
0,70	12,60	8,48	0,649	0,561	3,67	4,37	0,42295	0,20	0,025673	0,023102	0,176898	2,391	10,500
0,65	11,70	9,14	0,606	0,511	4,26	4,91	0,53624	0,20	0,032657	0,029165	0,170835	3,139	13,639
0,60	10,80	9,90	0,563	0,463	4,99	5,59	0,68883	0,20	0,042370	0,037513	0,162487	4,239	17,878
0,50	9,00	11,88	0,474	0,367	7,19	7,69	2,09757	0,20	0,076812	0,059591	0,140409	14,939	32,817
0,40	7,20	14,85	0,383	0,276	11,24	11,64	3,94553	0,20	0,159569	0,118190	0,081810	48,228	81,045
0,39	7,02	15,23	0,374	0,268	11,82	12,21	0,57367	0,20	0,173401	0,166485	0,033515	17,117	98,162
0,38	6,84	15,63	0,365	0,259	12,45	12,83	0,62036	0,20	0,188848	0,181124	0,018876	32,866	131,028
0,37	6,66	16,05	0,355	0,250	13,13	13,50	0,67216	0,20	0,206146	0,197497	0,002503	268,490	399,518
0,36	6,48	16,50	0,346	0,241	13,87	14,23	0,72979	0,20	0,225578	0,215862	0,015862	46,010	445,528
0,35	6,30	16,97	0,337	0,233	14,68	15,03	0,79410	0,20	0,247478	0,236528	0,036528	21,740	467,267

#### 4.5.1 - Estimativa de Custo do Sangradouro

A estimativa de custo do Sangradouro é de R\$1.116.848,30 (um milhão e cento e dezesseis mil e oitocentos e quarenta e oito reais e trinta centavos) distribuída nos seguintes itens:

DISCRIMINAÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE	PREÇO UNITÁRIO	SUB-TOTAL
Escavação em Material Comum	42.000,00	m <sup>3</sup>	3,72	156.240,00
Concreto Ciclópico 12% Pedra de Mão	200,00	m <sup>3</sup>	205,89	41.178,00
Forma	325,00	m <sup>2</sup>	28,74	9.340,00
Concreto Massa de fck=20 Mpa	1.660,00	m <sup>3</sup>	225,28	373.964,80
Armadura	100.000,00	Kg	3,25	325.000,00
Forma	1.250,00	m <sup>2</sup>	28,74	35.925,00
Chumbadores	2.400,00	m	73,00	175.200,00
<b>Total</b>				<b>1.116.848,30</b>

#### 4.6 - ANTEPROJETO DA TOMADA D'ÁGUA

O anteprojeto da tomada d'água consiste de uma tubulação de Aço ASTM A-36 flangeado de  $\phi 300\text{mm}$  com chapa de  $\frac{1}{4}$  pol. A tomada d'água ficará localizada na estaca 12+17,9 D=26 do Eixo-1. A tomada d'água será envelopada em uma galeria de concreto. O eixo da tubulação ficará na cota 84,00 m. A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de 0,089 m<sup>3</sup>/s.

O volume do porão da barragem será na cota 90,00 m, com um armazenamento de 0,49 hm<sup>3</sup>, correspondente a 8,9% da capacidade do reservatório.

No lado de montante, o extremo da tubulação será protegido por uma caixa de concreto, com grade de malha 100mm X 100mm.

No lado de jusante terá uma caixa de concreto com três células. A primeira terá um registro de gaveta e uma válvula borboleta. A segunda célula será um tanque de amortecimento e a terceira será um tanque tranquilizador que terá um medidor de vazão através de um vertedouro triangular isósceles.



#### 4.7 - APRESENTAÇÃO DO ANTEPROJETO

No Tomo 2 são apresentados os desenhos do anteprojeto da Barragem Maranguape I, assim discriminados:

<b>Quadro Nº 4.10: Relação dos Desenhos</b>	
<b>DESENHO Nº</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
II – 2 – 01 / 27 – 003	Bacia Hidráulica – Planta
II – 2 – 02 / 27 – 003	Planta Topográfica
II – 2 – 03 / 27 – 003	Perfil Topográfico
II – 2 – 04 / 27 – 003	Boqueirão e Sangradouro – Planta e Localização de Sondagens
II – 2 – 05 / 27 – 003	Boqueirão e Sangradouro – Perfil Geológico
II – 2 – 06 / 27 – 003	Planta Geral da Localização das Ocorrências
II – 2 – 07 / 27 – 003	Arranjo Geral da Localização das Ocorrências
II – 2 – 08 / 27 – 003	Arranjo Geral da Barragem, Sangradouro e Tomada D'Água
II – 2 – 09 / 27 – 003	Perfil da Barragem e Sangradouro
II – 2 – 10 / 27 – 003	Seção Máxima e Detalhes
II – 2 – 11 / 27 – 003	Seção Tipo da Barragem
II – 2 – 12 / 27 – 003	Seções Transversais (01/08)
II – 2 – 13 / 27 – 003	Seções Transversais (02/08)
II – 2 – 14 / 27 – 003	Seções Transversais (03/08)
II – 2 – 15 / 27 – 003	Seções Transversais (04/08)
II – 2 – 16 / 27 – 003	Seções Transversais (05/08)
II – 2 – 17 / 27 – 003	Seções Transversais (06/08)
II – 2 – 18 / 27 – 003	Seções Transversais (07/08)
II – 2 – 19 / 27 – 003	Seções Transversais (08/08)

**Quadro Nº 4.10: Relação dos Desenhos**

<b>DESENHO Nº</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
II – 2 – 20 / 27 – 003	Seção da Tomada D'água e Detalhes
II – 2 – 21 / 27 – 003	Caixa de Montante e Caixa Dissipadora da Tomada D'água – Forma
II – 2 – 22 / 27 – 003	Caixa de Dissipação da Tomada D'água – Armadura
II – 2 – 23 / 27 – 003	Caixa de Montante e Galeria – Armadura
II – 2 – 24 / 27 – 003	Escavação da Tomada D'água – Planta, Perfil e Seção Tipo
II – 2 – 25 / 27 – 003	Arranjo Geral do Sangradouro
II – 2 – 26 / 27 – 003	Projeto de Escavação do Sangradouro - Planta, Perfil e Seção Tipo
II – 2 – 27 / 27 – 003	Perfil Longitudinal e Detalhes do Sangradouro