

MÓDULO III PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM MARANGUAPE I

VOLUME III – DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO

TOMO 1 – MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
00	Nov/2002	Emissão Inicial	WBSR/JRPB	JRPB	NKT	NKT
01	Dez/2002	Alterações segundo as Considerações da 42ª Reunião do PISB	WBSR/JRPB	JRPB	NKT	NKT
02	Mar/2003	Projeto Final – Com as Considerações da 43ª Reunião do PISB	WBSR/JRPB	JRPB	NKT	NKT

ÍNDICE

ÍNDICE

<u>APRESENTAÇÃO</u>	5
<u>1 - INTRODUÇÃO</u>	8
<u>2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO</u>	14
<u>3 - ESTUDOS BÁSICOS</u>	17
<u>3.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS</u>	18
<u>3.1.1 - Cartografia</u>	18
<u>3.1.2 - Fotointerpretação</u>	20
<u>3.1.3 - Transportes de Coordenadas</u>	20
<u>3.1.4 - Transportes de Cotas</u>	21
<u>3.1.5 - Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro</u>	21
<u>3.1.6 - Levantamento da Bacia Hidráulica</u>	22
<u>3.1.7 - Levantamento das Jazidas</u>	25
<u>3.1.8 - Apresentação dos Estudos Topográficos</u>	25
<u>3.2 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS</u>	25
<u>3.2.1 - Investigação Geotécnica</u>	25
<u>3.2.2 - Estudos das Ocorrências de Materiais</u>	46
<u>3.3 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS</u>	50
<u>3.3.1 - Caracterização Física da Bacia Hidrográfica</u>	51
<u>3.3.2 - Estudos Hidroclimatológicos</u>	55
<u>3.3.3 - Estudos Pluviométricos</u>	64
<u>3.3.4 - Estudos das Cheias</u>	69
<u>3.3.5 - Curvas de Regulação do Reservatório</u>	73
<u>3.3.6 - Determinação da Capacidade do Reservatório</u>	76
<u>3.3.7 - Dimensionamento do Sangradouro</u>	77
<u>3.3.8 - Estudos Adicionais</u>	81
<u>4 - PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM</u>	84
<u>4.1 - ESCOLHA DA ALTERNATIVA DO EIXO BARRÁVEL</u>	85
<u>4.1.1 - Seleção dos Eixos na 1ª Fase</u>	85
<u>4.1.2 - Escolha Final do Eixo</u>	97
<u>4.2 - ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DO EIXO</u>	98
<u>4.3 - ALTERNATIVAS EXAMINADAS DE SEÇÃO DE MACIÇO</u>	100
<u>4.4 - CONCEPÇÃO GERAL DA BARRAGEM</u>	100
<u>4.4.1 - Caracterização da Fundação</u>	100
<u>4.4.2 - Rebaixamento do Lençol Freático</u>	101
<u>4.4.3 - Geometria da Trincheira de Fundação</u>	102
<u>4.4.4 - Cortina de Injeção</u>	102
<u>4.4.5 - Local de Bota-Fora</u>	102
<u>4.4.6 - Maciço da Barragem</u>	102

<u>4.4.7 - Análise de Estabilidade</u>	108
<u>4.4.8 - Estudos de Percolação Pela Barragem e Fundação</u> ...	112
<u>4.4.9 - Análise dos Recalques</u>	114
<u>4.4.10 - Sangradouro</u>	115
<u>4.4.11 - Estimativa de Custo do Sangradouro</u>	123
<u>4.4.12 - Tomada D'Água</u>	123
<u>4.5 - APRESENTAÇÃO DO PROJETO</u>	124
<u>5 - CANTEIRO DE OBRAS</u>	126
<u>6 - CRONOGRAMA FÍSICO</u>	128
<u>7 - EQUIPAMENTO MÍNIMO</u>	132

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 Viabilidades Técnicas, Ambientais e Econômicas, EIA's-RIMA's, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais e Planos de Reassentamentos de Populações, Manuais de Operação e Manutenção e Avaliação Financeira e Econômica, referentes às Barragens GAMELEIRA, TRAIRI, JENIPAPEIRO, MARANGUAPE I e MARANGUAPE II e Adutoras de ITAPIPOCA, TRAIRI, IPAUMIRIM/BAIXIO/UMARI e MARANGUAPE/SAPUPARA/URUCARÁ/LADEIRA GRANDE, no Estado do Ceará.

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 Adutoras

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

Módulo II – Estudos dos Impactos Ambientais

VOLUME I – Estudos dos Impactos Ambientais - EIA

VOLUME II – Relatório dos Estudos dos Impactos Ambientais - 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

VOLUME II – Plano de Reassentamento

Tomo 1 – Diagnóstico Socioeconômico

Tomo 2 – Detalhamento do Plano de Reassentamento

Módulo V – Projeto Executivo das Adustras

VOLUME I – Estudos Básicos - Levantamentos Topográficos e 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 Medições

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 III – Detalhamento do Projeto Executivo, Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto, e é parte integrante do Módulo III.

1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

Atendendo ao disposto nos Termos do Contrato Nº 005-PROGERIRH/PILOTO/CE/SRH/2001 e seus correspondentes anexos, compostos do Edital de Concorrência SDP Nº 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 Projeto 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
- Projeto 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
 Sistema: Bacia Metropolitana
 Rio Barrado: Gereraú
 Coordenadas UTM (SAD 69): Marco M-01 (9.564.360,536 N; 532.756,819 E)
 Proprietário: Estado do Ceará/SRH
 Autor do Projeto: Consórcio JP-ENG/AGUASOLOS/ESC-TE
 Data do Projeto: Dez/2002

– **Bacia Hidrográfica**

Área: 15,86 km²
 Precipitação média anual: 1.386,00 mm
 Evaporação média anual: 1.468,00 mm

– **Características do Reservatório**

Área da bacia hidráulica (cota 105,00m): 46,68 ha
 Volume acumulado (cota 105,00m): 5,48 hm³
 Volume afluente médio anual: 5,107 hm³
 Volume morto do reservatório (cota 90,00m): 0,49 hm³
 Volume de alerta (cota 94,00 m): 1,32 hm³
 Vazão regularizada (90%): 0,089 m³/s
 Vazão afluente max. de projeto (TR=1.000anos): 399,00 m³/s
 Vazão max. de projeto amortecida (TR=1.000anos): 100,00 m³/s
 Vazão afluente max. de verificação (TR=10.000anos): 528,00 m³/s
 Vazão max. de verificação amortecida (TR=10.000anos): 148,00 m³/s
 Nível d'água máximo normal: 105,00 m
 Nível d' água max. maximorum (TR=1.000anos): 106,91 m
 Nível d' água max. maximorum (TR=10.000anos): 107,48 m

– **Barragem**

Tipo: Homôgenea de Solo
 Altura máxima: 24,90 m
 Largura do coroamento: 6,00 m
 Extensão pelo coroamento: 492,96 m
 Cota do coroamento: El.108,50 m
 Cota da soleira: El.105,00 m
 Volume de escavação obrigatória: 79.900,00 m³
 Volume de escavação do cut-off: 7.300,00 m³
 Volume do maciço e cut-off: 338.000,00 m³
 Volume de enrocamento (rip-rap e rock-fill): 23.300,00 m³
 Volume de transições: 6.230,00 m³
 Volume de areia (filtro e transições): 20.700,00 m³
 Largura máxima da base: 106,00 m
 Talude de montante: 1,0 (v) : 2,0 (h)
 Talude de jusante: 1,0 (v) : 2,0 (h)

– **Tomada de água**

Tipo: Tubo de aço envolto em galeria de concreto
 Localização: 12+17,00 D=26
 Número de condutos: 1 (um)
 Diâmetro: 300,00 mm
 Comprimento do conduto: 117,00 m
 Cota da geratriz inferior a montante: El. 83,85 m
 Cota de geratriz inferior à jusante: El. 83,85 m
 Volume de escavação: 6.400,00 m³
 Volume de concreto armado: 104,00 m³
 Volume de concreto de regularização: 20,00 m³
 Comprimento total (incluindo entrada e saída): 126,00 m

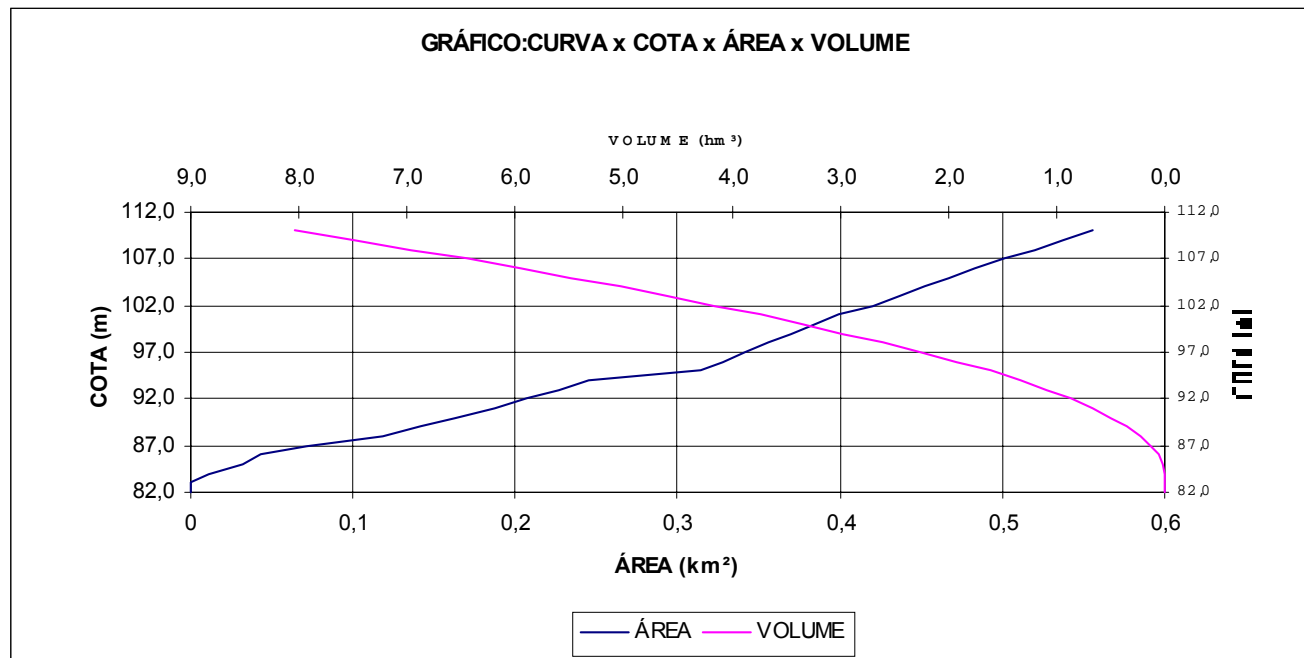
– **Vertedouro**

Tipo: Perfil Creager, canal rápido, bacia de dissipação e canal escavado em solo
 Largura: 18,00 m
 Cota da soleira (Creager): El. 105,00 m
 Altura do muro creager: 3,60 m
 Material: concreto ciclópico
 Extensão total do canal: 210,00 m
 Vazão máxima (Tr=10.000 anos): 528,00 m³/s
 Lâmina máxima prevista (T.R=1000anos): 1,91 m
 Lâmina máxima prevista (T.R=10.000anos): 2,48 m
 Borda livre: 1,59 m
 Volume de concreto do perfil Creager: 225,00 m³
 Volume de escavação total do sangradouro: 47.100,00 m³
Canal de Restituição
 Tipo: canal escavado em solo
 Largura: 25,00 m
 Extensão: 35,00 m
 Volume de escavação comum: 3.500,00 m³
Canal de Aproximação
 Tipo: canal escavado em solo
 Largura: 25,00 m

Extensão:	72,00 m
Volume de escavação comum:	13.200,00 m ³
Muros de Contenção Lateral	
Material:	concreto estrutural
Altura máxima:	5,50 m
Extensão:	155,00 m
Comp.na margem direita:	155,00 m
Comp. na margem esquerda:	155,00 m
Volume de concreto estrutural:	760,00 m ³
Volume da laje:	460,00 m ³
Bacia de Dissipação	
Extensão:	25,00 m
Largura:	18,00 m
Material:	concreto armado
Volume de concreto estrutural da laje:	360,00 m ³

A curva Cota x Área x Volume é mostrada no Gráfico 1.1, enquanto no Quadro nº1.1 é apresentado à tabulação dos dados da curva.

Gráfico 1.1



Quadro nº1.1

COTA	AREA (m²)	VOLUME (m³)	VOLUME ACUMULADO (m³)
82,0	0	0	0
83,0	170,1	85,05	85,05
84,0	10.999,72	5.584,91	5.669,96
85,0	31.424,45	21.212,09	26.882,05
86,0	42.788,390	37.106,42	63.988,47
87,0	71.584,48	57.186,44	121.174,90
88,0	117.789,530	94.687,01	215.861,91
89,0	142.094,780	129.942,16	345.804,06
90,0	162.794,360	152.444,57	498.248,63
91,0	187.013,270	174.903,82	673.152,45
92,0	207.008,42	197.010,85	870.163,29
93,0	226.765,61	216.887,02	1.087.050,31
94,0	245.575,54	236.170,58	1.323.220,88
95,0	314.276,36	279.925,95	1.603.146,83
96,0	328.055,40	321.165,88	1.924.312,71
97,0	341.838,18	334.946,79	2.259.259,50
98,0	355.580,55	348.709,37	2.607.968,87
99,0	369.976,67	362.778,61	2.970.747,48
100,0	384.023,79	377.000,23	3.347.747,71
101,0	399.747,60	391.885,70	3.739.633,40
102,0	419.940,26	409.843,93	4.149.477,33
103,0	436.220,84	428.080,55	4.577.557,88
104,0	451.629,28	443.925,06	5.021.482,94
105,0	466.897,63	459.263,46	5.480.746,40
106,0	482.658,18	474.777,91	5.955.524,30
107,0	501.350,47	492.004,33	6.447.528,63
108,0	520.227,41	510.788,94	6.958.317,57
109,0	537.765,04	528.996,23	7.487.313,79
110,0	555.168,44	546.466,74	8.033.780,53

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°56'28" de latitude Sul e 38°42'18" de longitude Oeste. Com extensão territorial de 672 km², 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 eixo barrável da Barragem Maranguape I está localizado no Riacho Gereraú a 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. Ao atingir-se a rotula que deriva para a sede do município, segue-se, ainda, pela CE-065 no sentido Maranguape – Canindé. A cerca de 4,0 km contado da rotula logo antes do pontilhão do Riacho Gereraú existe uma estrada carroçável que leva ao eixo a ser barrado. O percurso nessa estrada é cerca de 2,0 km. A localização do barramento pode ser visto na 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.

A partir das cartas da SUDENE foi delimitado o contorno da Bacia Hidrográfica que é mostrado na Figura N°3.1 a seguir.

Figura N°3.1

3.1.2 - Fotointerpretação

Uma fotointerpretação básica para o detalhamento dos estudos foi executada com base na aerofotogrametria realizada em escala de 1:15000, nos locais barráveis identificados preliminarmente quando da realização dos Estudos de Alternativas. Foram analisados os aspectos de relevo: a forma, a topografia e as declividades, como 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

O transporte de coordenadas teve como ponto de partida o vértice Bico Fino do IBGE de latitude 03°50'46,4641"S e longitude 38°53'10,6817"W e altitude de 408,67m e chegada no vértice AS-24-1022 do IBGE de latitude 03°52'28,7805"S e longitude 38°31'21,6900" e altitude de 114,23m existentes na área em estudo. Inicialmente foram implantados os marcos (M-01 a M-08), posteriormente executado um adensamento com mais quatro marcos (M-09 a M12), que serviram de origem para o traçado da malha de coordenadas necessárias à elaboração das plantas topográficas. O Quadro nº3.1, 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.

Quadro nº3.1 – Marcos Implantados na Barragem Maranguape I e II				
Ponto	Coordenadas UTM (m)		Longitude Geodésica	Latitude Geodésica
	Norte	Este		
Marco M-01=HE00	9.564.360,536	532.756,819	38°42'17,75498"W	03°56'28,45862"S
Marco M-02=HD38	9.563.608,044	532.750,366	38°42'17,95557"W	03°56'52,96601"S
Marco M-03	9.563.915,610	531.622,487	38°42'54,53407"W	03°56'42,96164"S
Marco M-04	9.563.589,830	530.685,332	38°43'24,92075"W	03°56'53,58230"S
Marco M-05	9.561.863,588	534.609,747	38°41'17,63805"W	03°57'49,75771"S
Marco M-06	9.562.126,196	535.193,276	38°40'58,71819"W	03°57'41,19782"S
Marco M-07	9.560.330,105	535.132,608	38°41'00,66330"W	03°58'39,69394"S
Marco M-08	9.559.372,187	533.772,249	38°41'44,76733"W	03°59'10,90822"S
Marco M-09	9.559.313,868	533.694,748	38°41'47,27996"W	03°59'12,80851"S
Marco M-10	9.560.295,344	535.270,200	38°40'56,20086"W	03°58'40,82430"S
Marco M-11	9.564.150,742	531.650,828	38°42'53,61765"W	03°56'35,30376"S
Marco M-12	9.563.637,165	530.764,660	38°43'22,34878"W	03°56'52,03982"S

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 M-01 implantado pela empresa BASE Aerofotogrametria e Projetos S/A, quando da execução dos serviços de cartografia. O marco M-01 com cota 100,990m, localizado na ombreira esquerda, é igual ao Marco 0=0 HE do levantamento topográfico do eixo I da barragem.

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: talvegues, 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, nº343.367, onde foram niveladas todas as estacas dos eixos materializados.

A calha do rio à jusante também foi levantada, desde o eixo barrável até o ponto onde o canal de sangria encontra o rio. As seções são a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado do eixo. Os pontos foram cotados a cada 20 metros, sendo menor este espaçamento onde o relevo ou outro fator exigiu maior nível de detalhamento.

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, semimate 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 vezes menores 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 12 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-08, posteriormente complementados com M-09 a M-12. 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 scannerização 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.

Dos resultados dos estudos realizados pela Empresa BASE é apresentada na Figura Nº 3.2, a seguir, a Bacia Hidráulica da Barragem Maranguape I.

Figura N°3.2

3.1.7 - Levantamento das Jazidas

Nos locais das ocorrências de materiais de construção foram realizados pelas equipes de topografia o levantamento planimétrico das áreas com a amarração dos poços realizados e a locação de uma poligonal pelas estradas existentes, saindo das ocorrências e fazendo a amarração no eixo da barragem.

3.1.8 - Apresentação dos Estudos Topográficos

No Tomo 6 são apresentados os desenhos relativos aos estudos topográficos da bacia hidráulica, do boqueirão e do sangradouro, conforme a relação dos desenhos a seguir:

III – 6 – 01 / 40 – 010 - Planta da Bacia Hidráulica

III – 6 – 04 / 40 – 010 - Boqueirão e Sangradouro – Planta e Locação das Sondagens

III – 6 – 06 / 40 – 010 – Planta Geral da Localização das Ocorrências

3.2 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS

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

3.2.1 - Investigação Geotécnica

Após a alteração final do eixo, que ficou localizado a 200,00 m a montante do Eixo – 3, de acordo com as sugestões da Fiscalização, foram executadas nesse novo eixo levantado a seguinte programação de investigação geotécnica, mostrada no Quadro nº3.2:

Quadro Nº3.2: Investigação Geotécnica			
Sondagem	Estaca	Local	Cota (m)
Boqueirão			
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
SP-509	11+14,32	25 m MONTANTE	112,00
SP-510	11+19,84	31 m P/JUSANTE	108,00

Quadro Nº3.2: Investigação Geotécnica			
Sangradouro			
SM-402	2S	EIXO	121,403
SM-403	2S	26,00 a JUSANTE	114,20
SM-404	1	EIXO	115,54
SM-405	2	EIXO	108,56
SM-406	1+10,0	126,0 a JUSANTE	86,00

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 das Investigações Geotécnicas

A locação dos furos de sondagem é apresentada no Tomo 6 do Projeto.

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 Nº III – 6 – 05 / 40 – 010 do Tomo 6 do Projeto.

1. BOLETIM DE SONDAAGEM: SP-501
2. BOLETIM DE SONDAAGEM: SP-502
3. BOLETIM DE SONDAAGEM: SP-503
4. BOLETIM DE SONDAAGEM: SP-504
5. BOLETIM DE SONDAAGEM: SP-505
6. BOLETIM DE SONDAAGEM: SP-506
7. BOLETIM DE SONDAAGEM: SP-507
8. BOLETIM DE SONDAAGEM: SP-508
9. BOLETIM DE SONDAAGEM: SP-509
10. BOLETIM DE SONDAAGEM: SP-510
11. BOLETIM DE SONDAAGEM: SM-401
12. BOLETIM DE SONDAAGEM: SM-402
13. BOLETIM DE SONDAAGEM: SM-403
14. BOLETIM DE SONDAAGEM: SM-404
15. BOLETIM DE SONDAAGEM: SM-405
16. BOLETIM DE SONDAAGEM: SM-406

3.2.1.3 - Comentário Sobre as Sondagens

No local definido para a construção da Barragem Maranguape I, a cerca de 200m a montante do Eixo – 3, foram executadas dez sondagens à percussão no boqueirão e cinco sondagens mistas na área do sangradouro. Cabe aqui salientar que quando se cita a localização da posição da sondagem esta está referida ao eixo final implantado e não ao eixo final de projeto, pois este último sofreu um pequeno deslocamento para montante dentro da faixa levantada na busca de se otimizar o volume do maciço.

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 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 pedregulhos, rijo, cinza escuro, com SPT variando de 9 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 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 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 programada para a estaca 15 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, fofa, 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 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 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 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 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 a 12 golpes. Não foi encontrado nível d'água neste furo.

A sondagem SP-509 foi executada na estaca 11+14,35 do eixo levantado a 25,0 m para montante com a cota da boca do furo igual a 112,00 m. De 0,00 m a 0,40 m foi encontrado areia fina argilosa, medianamente compacta, marrom clara. O SPT desta camada foi de 16 golpes. De 0,40 m a 2,89 m foi encontrado areia fina siltosa micácea muito compacta cinza clara (solo de alteração de rocha). O SPT desta camada foi de 45/23 golpes.

A sondagem SP-510 foi executada na estaca 11+19,84 m a 31,00 m para jusante com a cota da boca do furo igual a 108,00 m. De 0,00 m a 0,65 m foi encontrado areia fina pouco siltosa com pedregulhos e fragmentos de quartzo e feldspato compacto cinza e amarelo variegada caracterizando o solo residual. O SPT dessa camada foi de 33 golpes. De 0,65 m a 3,83 m foi encontrado areia fina pouco siltosa com pedregulhos e fragmentos de quartzo e feldspato, compacta cinza e amarela variegada caracterizando a rocha alterada. Os SPT'S desta camada foram de 25/12, 25/7 e 25/4 golpes.

Examinando os perfis das sondagens percussivas executados nos dois boqueirões, auxiliar e principal, verifica-se que na barragem da esquerda o maciço deve ser assente após a retirada de 1,0 m de material natural de off-set a off-set. Já na barragem direita no local do rio foi observado nas sondagens SP-505 e SP-506 a existência de solos moles. Portanto, entre as estacas 1D a 3D e 7D a 15D a escavação obrigatória será de 1,0 m e entre as estacas 3D a 7D a escavação obrigatória será de 4,0 m.

A sondagem SM-402 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 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-403 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 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.

A sondagem SM-404 foi executada na estaca 1 do eixo levantado exatamente no eixo. A cota da boca do furo foi 115,540 m. O furo foi executado com 12,0 m de profundidade. De 0,00 m a 3,0 m o furo foi feito pelo processo percussivo e foi detectada uma formação litológica com a seguinte descrição: areia fina a média pouco argilosa com pedregulhos de quartzo e fragmentos de feldspato caracterizando a alteração da rocha. Os SPT'S medidos foram de 45 e 49/25 golpes. De 3,0 m a 12,0 m o processo foi por sonda rotativa, foi encontrado gnaiss migmatítico a gnaiss muito macia, a recuperação variou de 10% a 20% e o RQD foi nulo em seis das setes manobras e 10% em uma manobra.

A sondagem SM-405 foi executada com 12,00 m de profundidade, até 1,0 m de profundidade o processo foi percussivo encontrando-se areia fina a média pouco argilosa com pedregulhos de quartzo e fragmentos de feldspato caracterizando a alteração de rocha. Da profundidade de 1,0 m a 12,0 m o furo foi executado com sonda rotativa. De 1,0 m a 5,0 m foi encontrado gnaíse muito macia cuja recuperação foi de 20%, o RQD foi nulo e a rocha é decomposta. De 5,0 m a 6,50 m a recuperação foi de 8%, o RQD foi nulo e a rocha é medianamente intemperizada. De 6,50 m a 12,0 m a recuperação foi de 3%, o RQD foi nulo e a rocha é ligeiramente intemperizada.

A sondagem SM-406 localizada 126,0 m a jusante da estaca 1+10,0 m do eixo locado, com a cota da boca do furo igual a 85,0 m, foi executada, também, até a profundidade de 12,0 m. De 0,00 m a 8,0 m o furo foi executado pelo processo percussivo. De 0,00 m a 1,00 m foi encontrado argila pouco arenosa, pouco micácea, mole e de cor marrom. O SPT desta camada foi de 5 golpes. De 1,00 m a 2,00 m foi encontrado argila siltosa micácea com pedregulhos de quartzo, média e cinza escuro. Os SPT'S desta camada foram de 7 e 10 golpes. De 2,0 m a 8,0 m foi encontrado argila siltosa, muito micácea com pedregulhos de quartzo rija a dura, cinza escura, caracterizando o solo de alteração de rocha. Os SPT'S dessa camada foram de 16, 12, 12, 20 e 44 golpes. De 8,0 m a 12,0 m o furo foi prosseguido por sonda rotativa. De 8,0 m a 9,0 m foi encontrado gnaíse com veios de pegmatitos, a recuperação foi de 10%, o RQD foi nulo, a rocha está em estado de medianamente intemperizado e foi encontrado 10 fraturas por metro. De 9,0 m a 12,0 m a recuperação foi de 4%, o RQD foi nulo, a rocha está em estado decomposto e apresenta cinco fraturas por metro.

Examinado os perfis individuais das sondagens verifica-se que o maciço rochoso está em estado bastante alterado o que não permite a implantação de um sangradouro simplesmente escavado em rocha ou mesmo formado de um perfil Creager descarregando livremente no material da escavação. É necessário que seja previsto uma estrutura de concreto para conduzir as águas até o nível do rio.

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° III-6-06/40-010 do Tomo 6 do Projeto mostra a locação de todas as ocorrências.

3.2.2.1 - Jazida

A localização das duas jazidas de material terroso para a construção da barragem, denominadas de J-01 e J-02 está apresentada no Desenho Nº III-6-07/40-010 do Tomo 6 do Projeto Executivo.

No Quadro 3.3 são apresentadas as características da jazida.

Quadro 3.3: Características das Jazidas de Solo		
Características	Jazida J-01	Jazida J-02
DISTÂNCIA AO CENTRO DA BARRAGEM (m)	250,00	1.450,00
ÁREA (m ²)	455.000	475.000
PROF. MÉDIA (m)	1,00	1,05
VOLUME ÚTIL (m ³)	455.000	489.750
VEGETAÇÃO	Mata densa	Mata densa
PROPRIETÁRIO	Sr Roberto	Sr José Paulo
LADO	Esquerdo	Esquerdo
ESTACA	15 – Eixo	15 – Eixo
EXPURGO (m)	0,10	0,10
QUANTIDADE DE FUROS (unid)	110	90
MALHA (m)	100 X 50	100 X 50

Nas jazidas de solo foram implantados furos abertos a pá e picareta, localizados nos vértices de uma malha de 100m X 50m, 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.

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 ³)
J-01	100	100	97	88	80	64	35	29	10	SC	12,3	1,837
J-02	100	100	96	91	86	72	42	33	11	SC	12,0	1,826

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 nas amostras das jazidas J-01 e J-02.

Quadro 3.5: Ensaios Geotécnicos Especiais – Jazidas de Solo			
Jazida	Furo	Coesão (kgf/cm ²)	Ângulo de Atrito
J – 01	F – 08	C = 0,13	$\phi = 35,8^\circ$
	F – 32	-	$\phi = 35,9^\circ$
	F – 44	C = 0,27	$\phi = 32,7^\circ$
	F – 53	C = 0,18	$\phi = 32,9^\circ$
J – 02	F – 36	-	$\phi = 37,3^\circ$
	F – 37	C = 0,20	$\phi = 33,8^\circ$
	F – 41	C = 0,21	$\phi = 31,4^\circ$
	F – 64	C = 0,27	$\phi = 28,9^\circ$
	F – 68	C = 0,19	$\phi = 31,1^\circ$
	F – 82	C = 0,18	$\phi = 32,1^\circ$

3.2.2.2 - Areal

Foi identificado um único areal para a construção da barragem, denominado de A-01, localizado no Rio Gereraú. No Desenho Nº III-6-06/40-010 do Tomo 6 do Projeto é apresentada a localização do areal.

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.

Quadro 3.6: Ensaios de Granulometria do Areal												
Granulometria (percentagem que passa)											D_{máx}	M.F
2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16	Nº30	Nº50	Nº100		
100	100	100	100	100	98	78	50	15	5	1	4,8	3,50

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

No Quadro 3.8 são apresentadas as características do Areal.

Quadro 3.8: Características do Areal	
Características	Areal A-01
DISTÂNCIA AO CENTRO DA BARRAGEM (m)	1.100,00
ÁREA (m ²)	16.000,00
ESTACA	15 – Eixo
VOLUME ÚTIL (m ³)	22.400,00
PROF MÉDIA (m)	1,40
NOME DO RIO	Gereraú
LOCALIDADE	Gereraú
PROPRIETÁRIO	Raimunda Oliveira Lima

3.2.2.3 - PEDREIRA

Foi identificada uma pedreira para a construção da barragem, denominada de P-01. No Desenho Nº III-6-06/40-010 do Tomo 6 do Projeto é apresentada a localização da pedreira.

No Quadro 3.9 é apresentada a característica da pedreira.

Quadro 3.9: Características da Pedreira	
Características	Pedreira P-01
DISTÂNCIA AO CENTRO DA BARRAGEM (m)	1.250,00
ÁREA (m ²)	10.000,00
ESTACA	15 – Eixo
VOLUME ÚTIL (m ³)	300,000
PROPRIETÁRIO	Carlos Ferreira Braga
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 3.10 é apresentado o valor médio do ensaio geotécnico de laboratório.

Quadro 3.10: Ensaio de Desgaste Los Angeles	
Amostra Nº	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 km², 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 fator 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 3.3, mostra a altimetria da bacia do Açude Maranguape I.

Contornos de Altitude
(m)

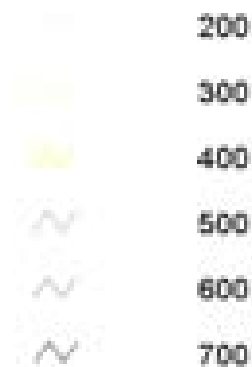


Figura 3.3. Bacia do Açude Maranguape I.

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 3.4), predominantemente, o que associado com o relevo da bacia resulta em solos com baixa capacidade de drenagem (Figura 3.5). A vegetação predominante é a Caatinga Arbustiva Densa (Figura 3.6) e o principal uso é a Agricultura [Horticultura] e remanescentes florestais (Figura 3.7). O Quadro 3.11 apresenta os tipos de solo, grupos hidrológicos de solos, vegetação e uso do solo, e as áreas de cada classe e sua respectiva percentagem.

Quadro 3.11 – Análise temática para a bacia do Açude Maranguape I		
Temas	Área (km²)	%
Solos		
NC8	2.96	0.19
PE3	12.90	0.81
Grupo Hidrológico de Solos		
CD	2.96	0.19
D	12.90	0.81
Vegetação		
Caatinga Arbustiva Densa	15.23	0.96
Floresta Subcaducifólia Tropical Fluvial (Mata Seca)	0.63	0.04
Uso do Solo		
Agricultura (Culturas Anuais, Temporárias e Permanentes)	4.05	0.26
Agricultura (Horticultura) e Remanescente Florestais	11.81	0.74

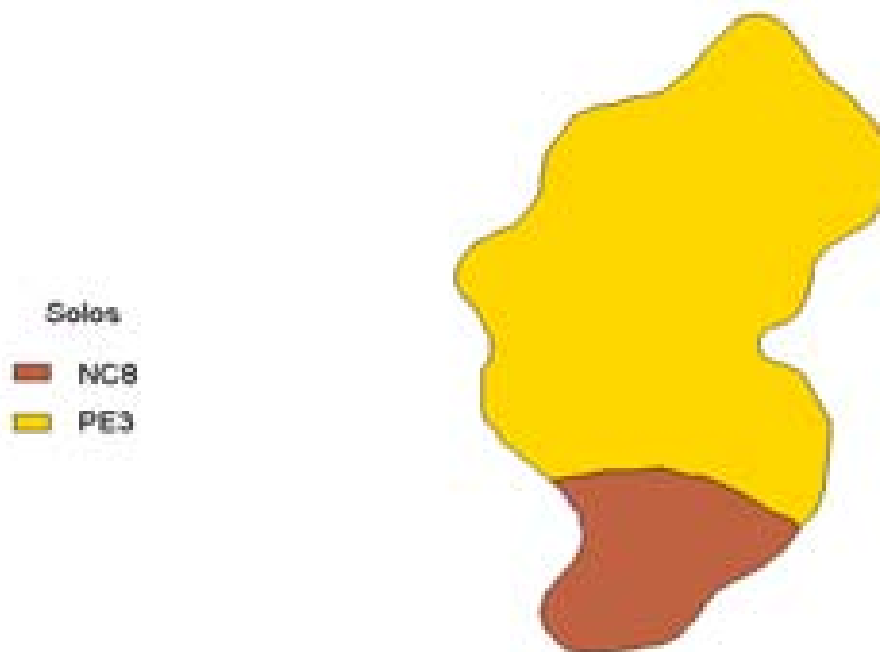


Figura 3.4. Solos da Bacia do Açude Maranguape I (Fonte: FUNCEME).



Figura 3.5. Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia do Açude Maranguape I (Fonte: FUNCEME).



Figura 3.6. Vegetação da Bacia do Açude Maranguape I (Fonte: FUNCEME).



Figura 3.7. 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 subseqüentes 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 km² 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)¹. 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.

¹INEMET, 1991. INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS.

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 3.12 e Figura 3.8.

Quadro 3.12 - Temperaturas Máximas, Mínimas e Compensadas (°C) na estação de Fortaleza													
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
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)²

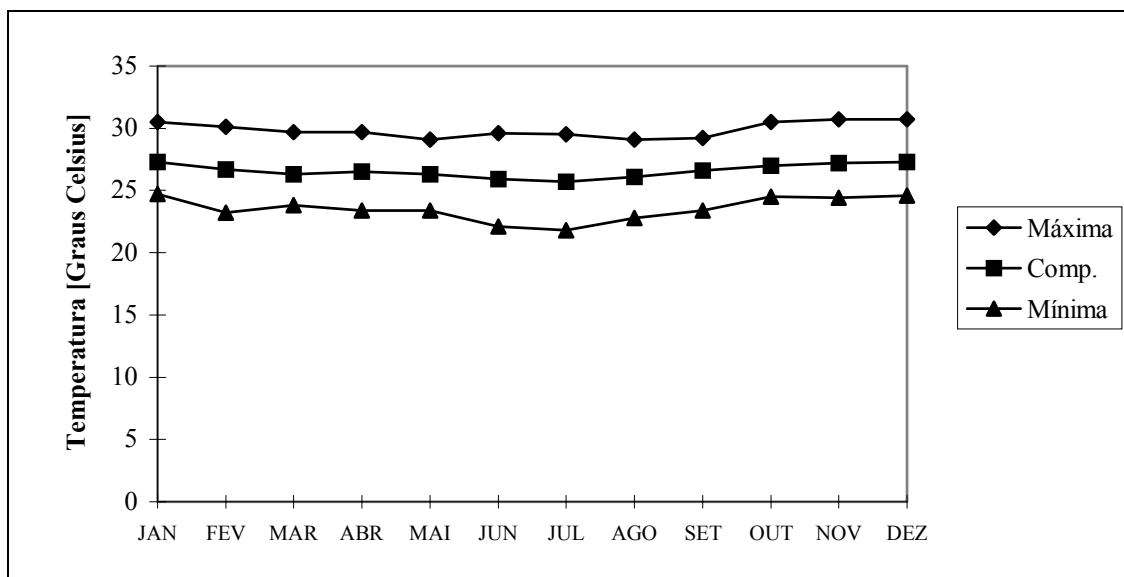


Figura 3.8-Temperaturas Máximas, Mínimas e Médias Compensadas na estação de Fortaleza

² INEMET, 1992, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990), Brasília, Brasil.

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 3.13 e Figura 3.9.

Quadro 3.13 - 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	80	80	75	74	73	74	76	78,3

FONTE: INEMET (1991)³

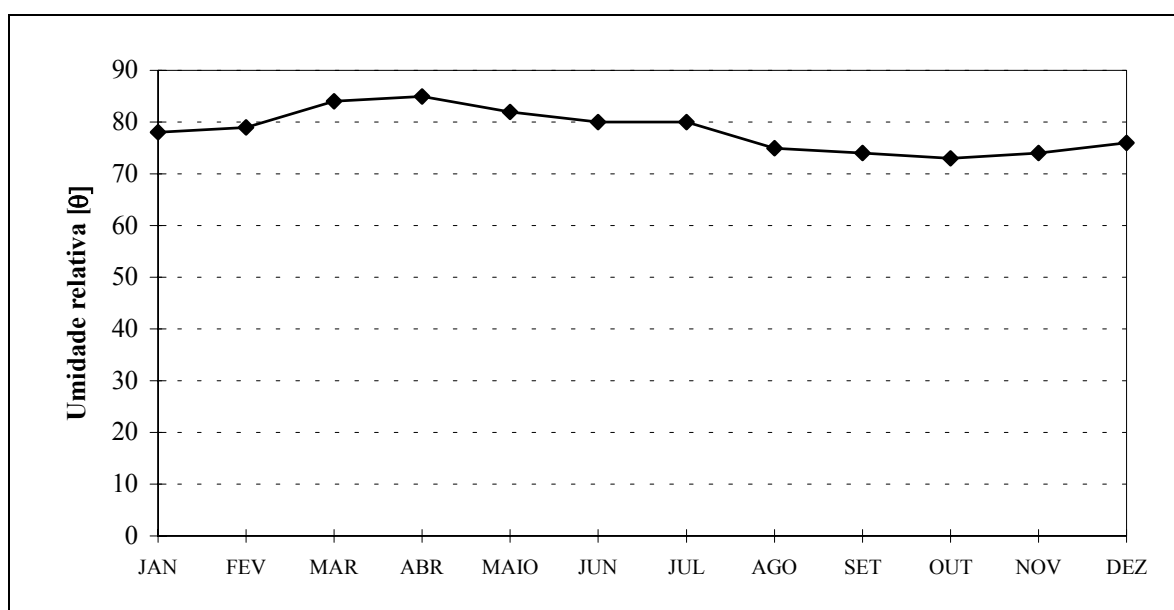


Figura 3.9 - Umidade Relativa na estação de Fortaleza

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 unidade é resultante da homogeneidade pluviométrica, além das pequenas oscilações dos demais parâmetros influentes.

³ INEMET, 1992, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990), Brasília, Brasil.

Insolação Média

O Quadro 3.14 e a Figura 3.10 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 3.14 - 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)⁴

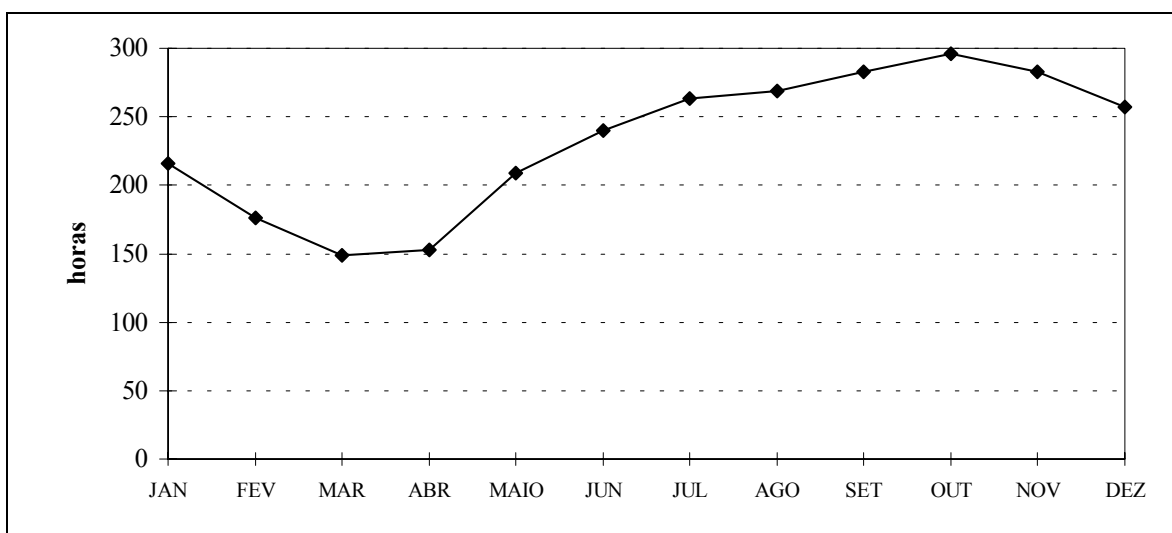


Figura 3.10-Insolação Média na estação de Fortaleza

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.

⁴ INEMET, 1992, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990), Brasília, Brasil.

A estação de Fortaleza apresenta suas velocidades médias dos ventos descritas no Quadro 3.15. Nesta região a direção reinante dos ventos está dentro do quadrante Sudeste/Leste.

Quadro 3.15 - 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)⁵

Evaporação Média

A evaporação anual observada em tanque-tipo classe “A” é de 1468 mm, distribuída ao longo dos meses segundo o Quadro 3.16 e Figura 3.11.

Quadro 3.16 - Evaporação Média na estação de Fortaleza													
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
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 3.17 para K_a , em função da superfície do espelho.

⁵SRH, 1992. Plano Estadual de Recursos Hídricos, Fortaleza, Ceará.

Quadro 3.17 - K_a - Em função da superfície do espelho d'água					
Superfície (ha)	0 a 5	5 a 10	10 a 20	20 a 30	média
K_a	0,95	0,87	0,82	0,75	0,84

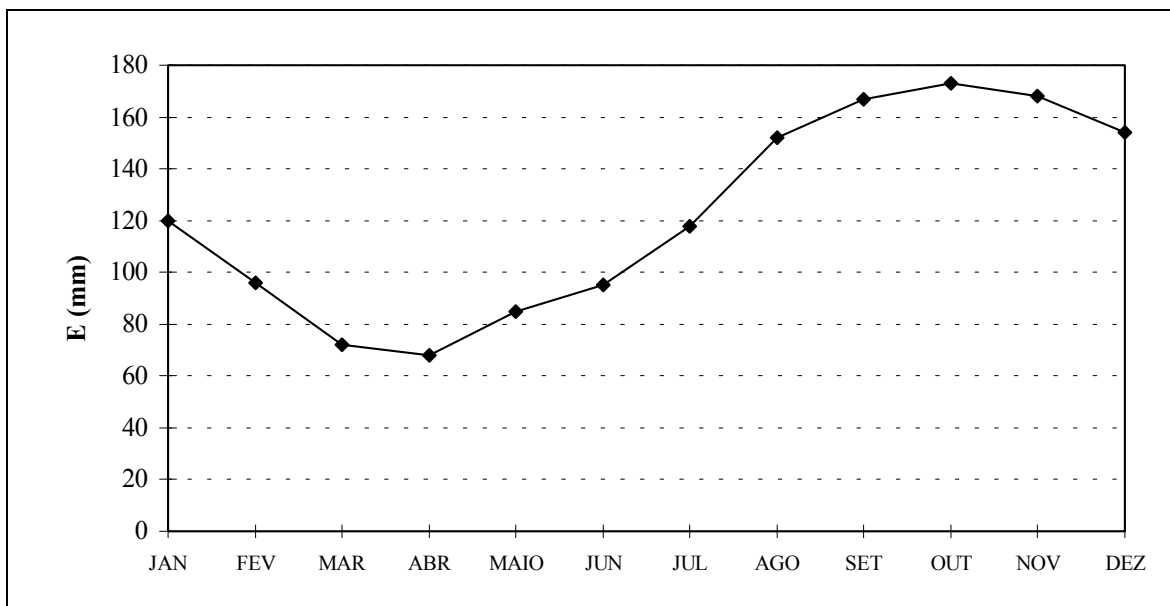


Figura 3.11 - Evaporação Média na estação de Fortaleza

Evapotranspiração

Como estimativa da evapotranspiração média, foi utilizada a equação de Hargreaves⁶. 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.

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

Quadro 3.18 - Evapotranspiração Potencial calculada segundo Hargreaves													
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
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 evapotranspiração, 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, 1992)⁷, obtém-se o Quadro 3.19.

Quadro 3.19 - 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

⁷PERH, 1992. PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ.

Quadro 3.19 - 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
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

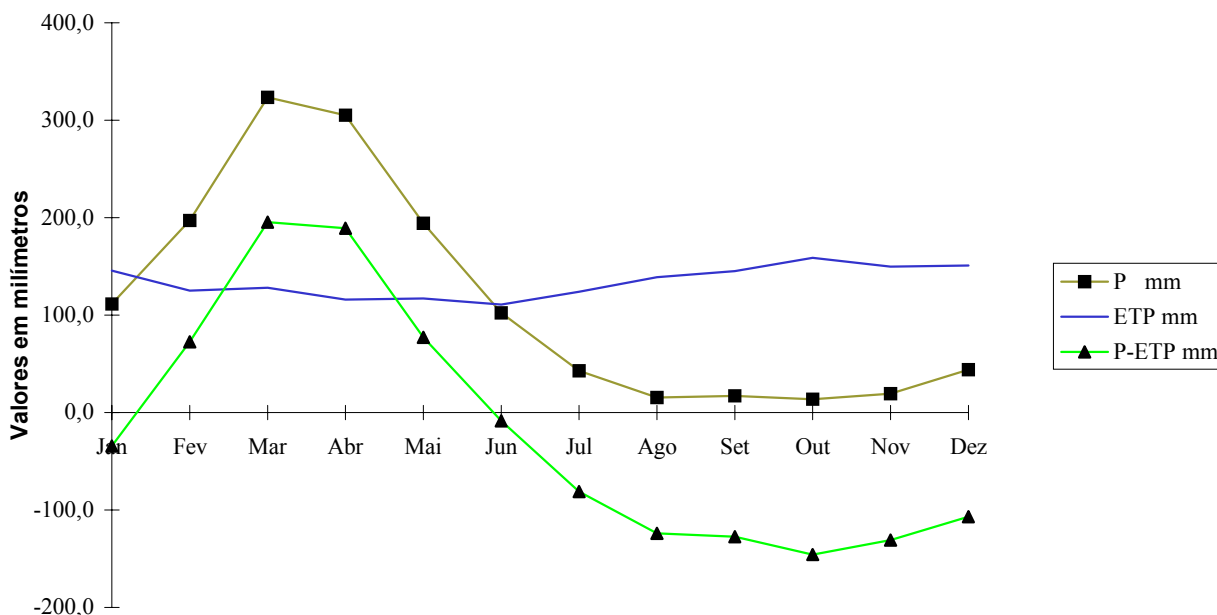


Figura 3.12 - Balanço Hídrico

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.

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 3.19).

- 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 3.19).

- Índice efetivo de umidade:

Este índice reflete o excesso ou déficit de água ao longo do ano, apresentando um valor igual a 2 (Quadro 3.19).

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, 1992), 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 km². 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, 1992), 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, 1992 - Relatório Geral - Diagnóstico.

O Quadro 3.20 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).

Quadro 3.20 - Postos utilizados gerados pelo método do Vetor Regional: Grupo Pacoti					
Posto	Código	Período	Latitude	Longitude	Altitude (m)
MARANGUAPE	2872766	1912 - 1982	03°53'	38°41'	67

Fonte: PERH-CE (1992)

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 3.13 e 3.14, 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 3.21 resume esta análise de freqüência.

Quadro 3.21 - Análise de Freqüência dos Totais Anuais - Distribuição Pearson III.							
Código	N	Período de Retorno					
		10	50	100	200	500	1000
2872766	75	2092,4	2723,6	2981,0	3234,3	3566,0	3816,3

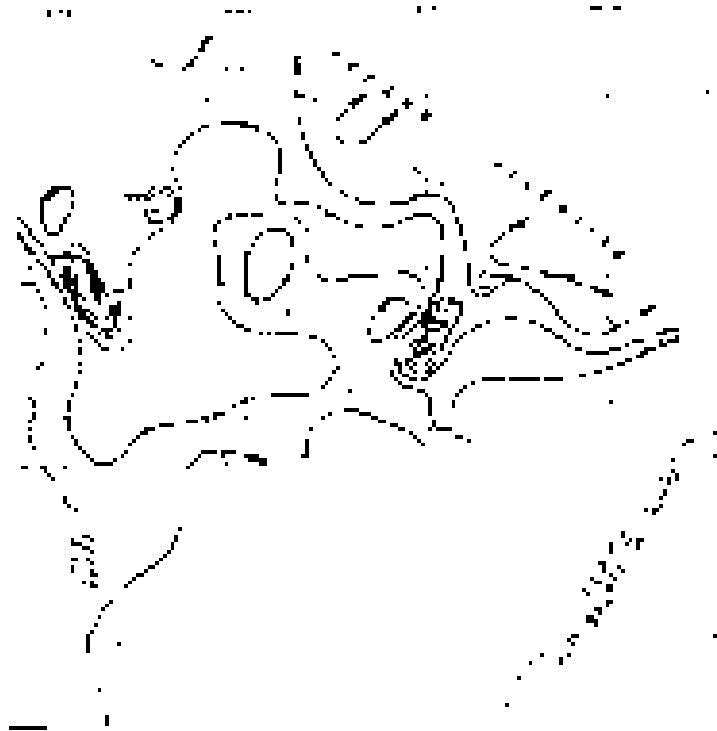


Figura 3.13 – Isoietas



Figura 3.14 – 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 3.22 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que no Quadro 3.23 apresenta-se um resumo da análise de freqüência 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.

Quadro 3.22 - Índices de Concentração Pluviométrica. Série de Valores Médios Mensais.									
Código	MÊS	VALOR	%TOT	TRIMES	VALOR	%	SEM	VALOR	%
2872766	MARÇO	323.2	23.3	FMA	825.4	59.6	1	1236.7	89.2

Quadro 3.23 - Análise de Freqüência-Nível Mensal-Distribuição Pearson III (mês mais chuvoso = março).							
Código	N	Período de Retorno					
		10	50	100	200	500	1000
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 3.24.

Quadro 3.24 - Análise de Frequência-Nível Diário-Distribuição Log-Pearson III.							
Código	N	Período de Retorno					
		10	50	100	500	1000	10000
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 3.15 mostra a curva intensidade-duração-freqüência para diferentes tempos de retorno.

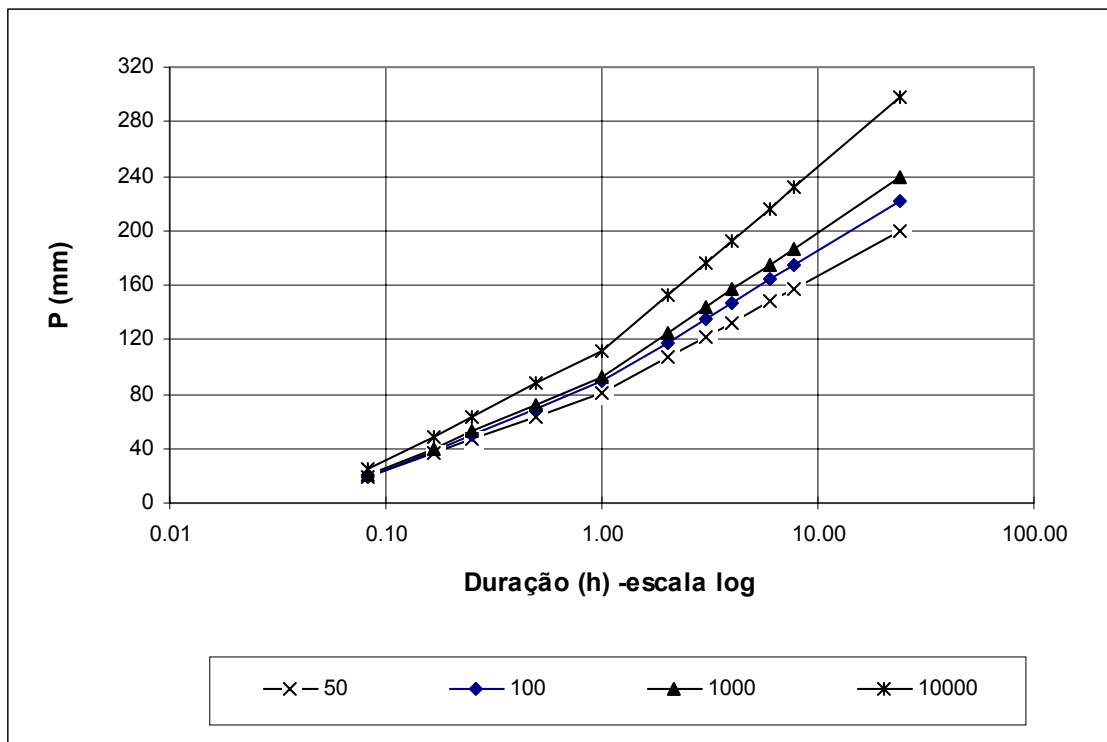


Figura 3.15 - Curvas Intensidade-Duração-Freqüência

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 frequentemente 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 3.16 apresenta a curva intensidade-duração-freqüência para a bacia de estudo. Como a área da bacia é da ordem de 15 km², foi utilizada a chuva pontual, não sendo realizado nenhum ajuste para correção de área.

Quadro 3.25 - 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

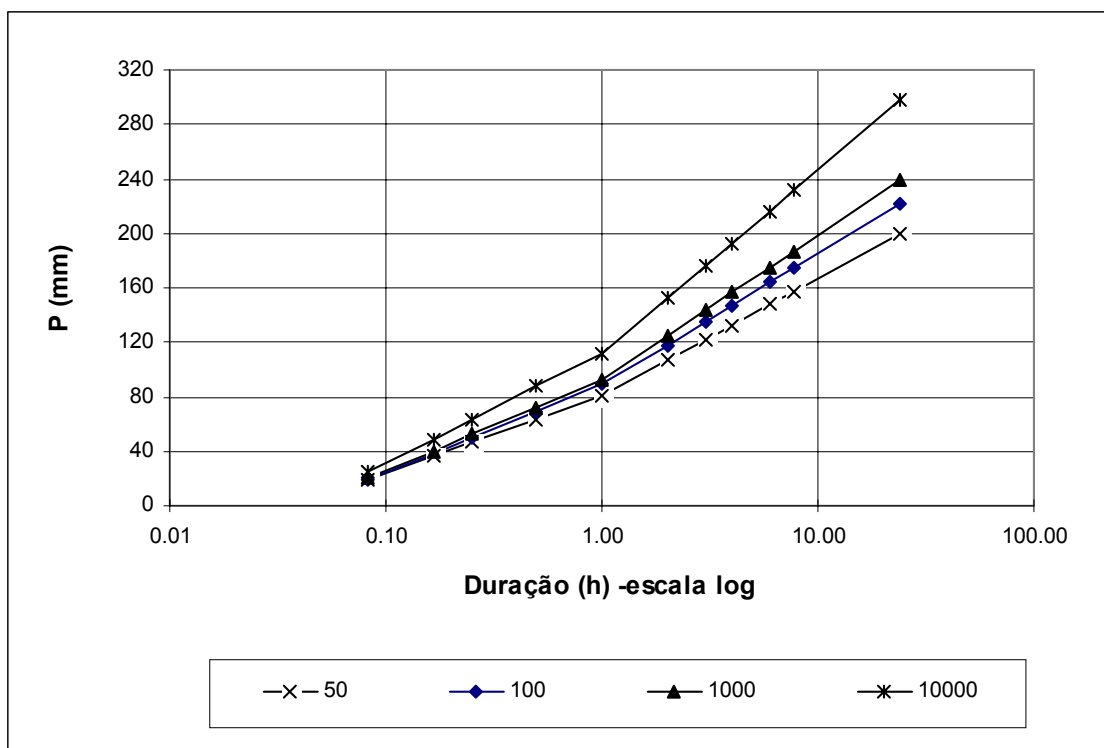


Figura 3.16 – Curvas intensidade-duração-freqüência

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 (1992).

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 km², 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 3.17 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 m³/s. Para o tempo de retorno de 10000 anos foi obtida uma vazão de pico de 528 m³/s (Figura 3.18).

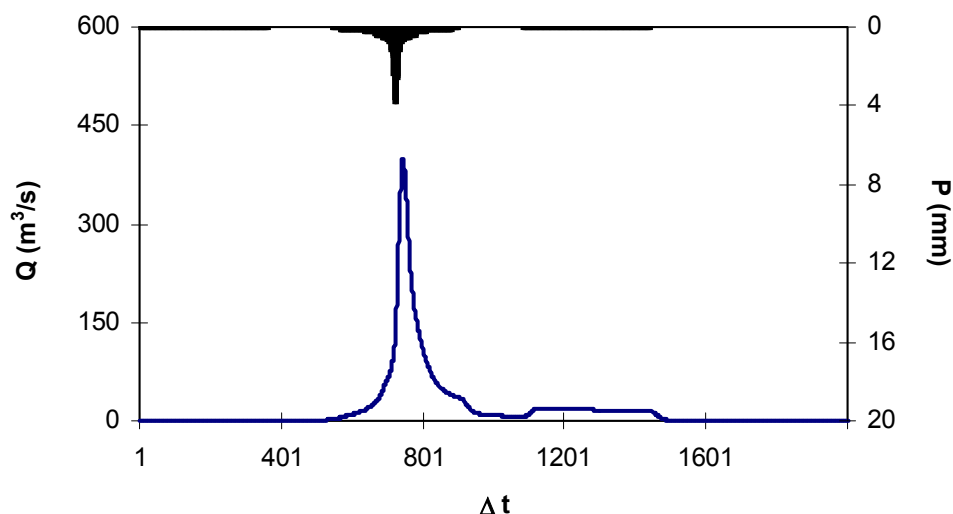


Figura 3.17 - Hidrograma total afluyente ao Maranguape I (Tr = 1000 anos).

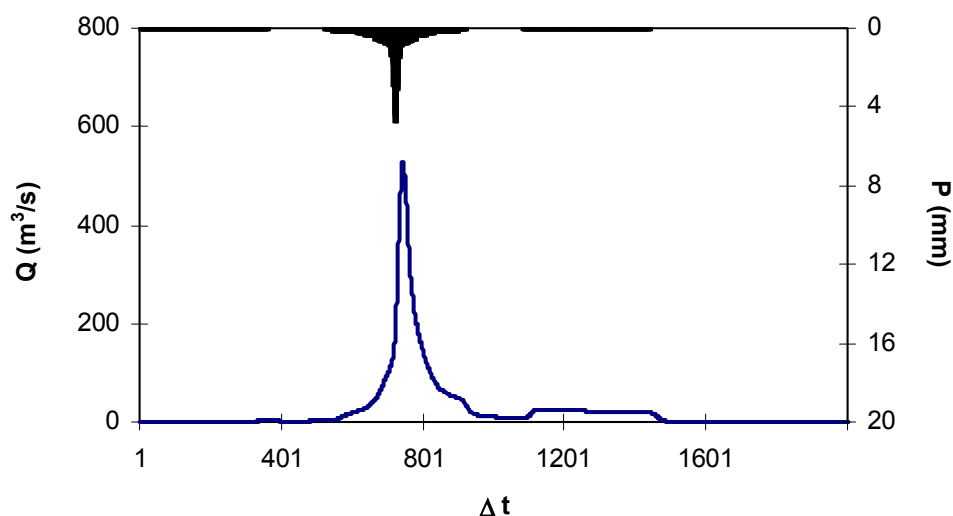


Figura 3.18 - Hidrograma total afluyente ao Maranguape I (Tr = 10000 anos).

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 INTERMITENTES. TESE PARA CONCURSO DE PROF. TITULAR. UFC.].

3.3.5.1 - Resultados

As características do escoamento estabelecidas no PERH (1992) foram utilizadas aqui para a geração de séries sintéticas de vazão, a saber:

- lâmina média escoada: 322 mm
- volume afluente médio escoado (μ): 5,107 hm³/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 α , 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,

$E_L = 0,85 \cdot (80,5 + 100,6 + 129,0 + 142,6 + 147,5 + 142,9 + 131,2) = 743,1$ mm (Evaporação na estação seca)

$$\alpha = 434,2$$

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

No Quadro 3.26 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de f_K (fator de capacidade = K/μ). A Figura 3.19 apresenta as curvas de regulação para o reservatório Maranguape I, que nada mais é que a graficação dos valores apresentados no Quadro 3.26.

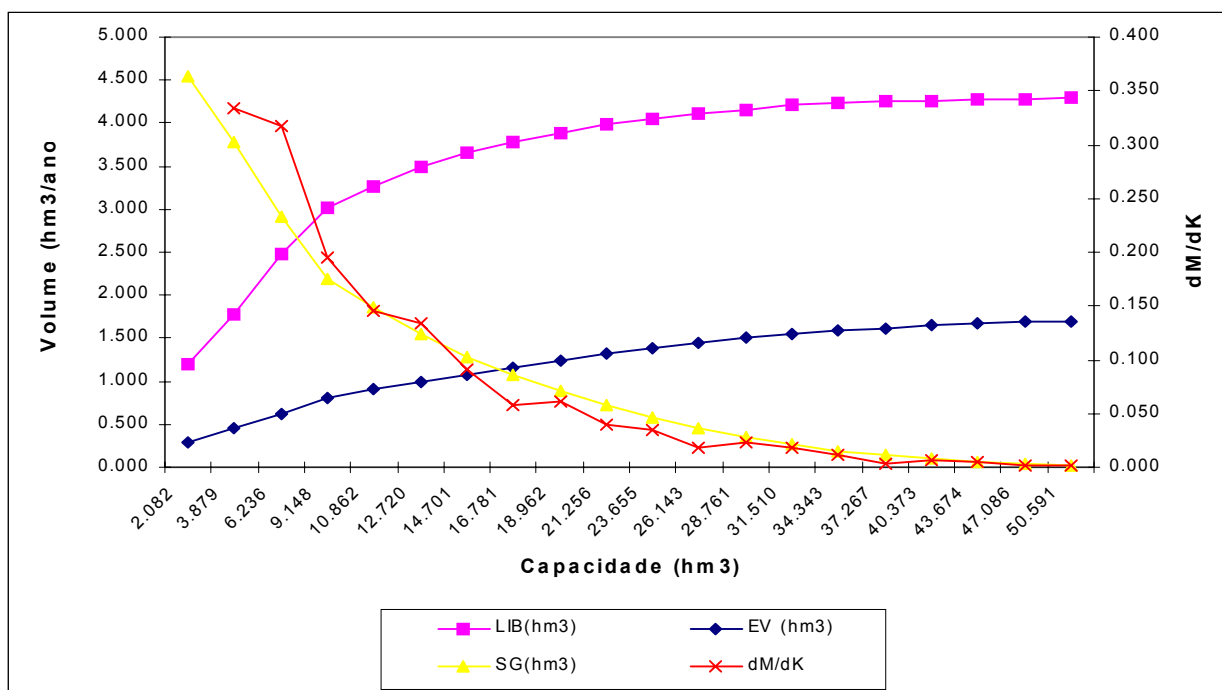


Figura 3.19 - Curvas de Regulação do Reservatório Maranguape I

Apesar dos ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem crescerem com a elevação da cota da soleira foi estabelecido para esta a cota 105,00, m tendo em vista que a partir desta cota a barragem começa a ficar muito alta e as estruturas do sangradouro, também, começam a encarecer muito. Neste nível a reservação da barragem é de 5,48 hm³. A vazão regularizada com 90% de garantia é de 0,089 m³/s. Para esta capacidade o reservatório regulariza 52,98% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume afluente esse valor corresponde 2,686 hm³/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. 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 3.26 - Estudo incremental de capacidades do Reservatório Maranguape I

Cota (m)	K (hm ³)	Fk K/μ	%LIB	LIB (hm ³ /ano)	%EV	EV (hm ³ /ano)	%SG	SG (hm ³ /ano)	DM/dK	Q90 (m ³ /s)	M90 (hm ³ /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

Quadro 3.26 - Estudo incremental de capacidades do Reservatório Maranguape I

Cota (m)	K (hm ³)	Fk K/μ	%LIB	LIB (hm ³ /ano)	%EV	EV (hm ³ /ano)	%SG	SG (hm ³ /ano)	DM/dK	Q90 (m ³ /s)	M90 (hm ³ /ano)
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
106	7,724	1,51	54,69	2,772	8,78	0,445	36,53	1,852	0,160	0,092	2,895
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 3.27 - Distribuição do volume afluyente e Qr (90%) para o Res. Maranguape I

Equação do Balanço Hídrico			
RG - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m3/s)
2,686 – 52,98%	1,961 – 38,68%	0,423 – 8,34%	0,089

EV - Volume Evaporado (hm3/ano)

SG - Volume Sangrado (hm3/ano)

RG- Volume Regularizado (hm3/ano)

Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia (m3/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.

Como já foi descrito no item 3.3.5 o reservatório terá capacidade de 5,48 hm³ quando o nível d'água estiver na cota 105,00 m, cota da soleira.

3.3.6.1 - Análise econômica

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

- variação do custo anual do m³ de água acumulada em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos a uma taxa de 8%;
- variação do custo anual do m³ de água regularizada com 90% de garantia em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos a 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 3.20 mostra que:

- o custo anual do m³ regularizado variou entre R\$0,046 (cota 104 m) e R\$0,078 (cota 109 m).
- o custo anual do m³ de acumulação variou entre R\$ 0,019 (cota 104 m) a R\$ 0,026 (cota 109).

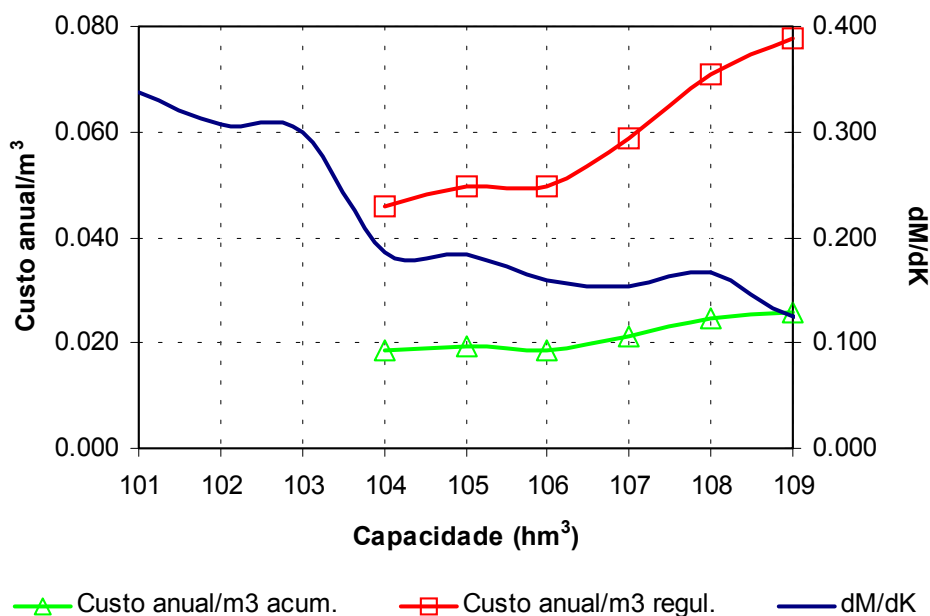


Figura 3.20. Análise hidrológico-econômica para seleção da capacidade da barragem Maranguape I.

3.3.6.2 - Escolha da capacidade do reservatório – Análise hidrológico-econômica

Os custos do m³ regularizado e do m³ 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 = 105,0 m (volume de armazenamento = 5,48 hm³).

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:

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

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 3.28, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A Figura 3.21 a seguir, mostra para o tempo de retorno $T_r=1000$ anos, o hietograma 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 3.22.

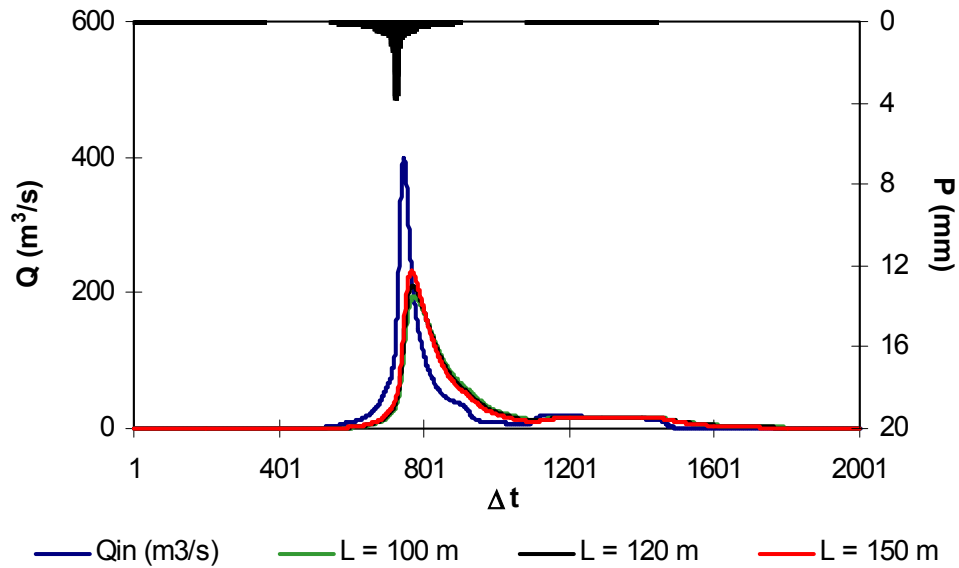


Figura 3.21 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Maranguape I $Tr=1000$ anos. Escavado em Rocha. Cota 106 m. $L = 100, 120$ e 150 m.

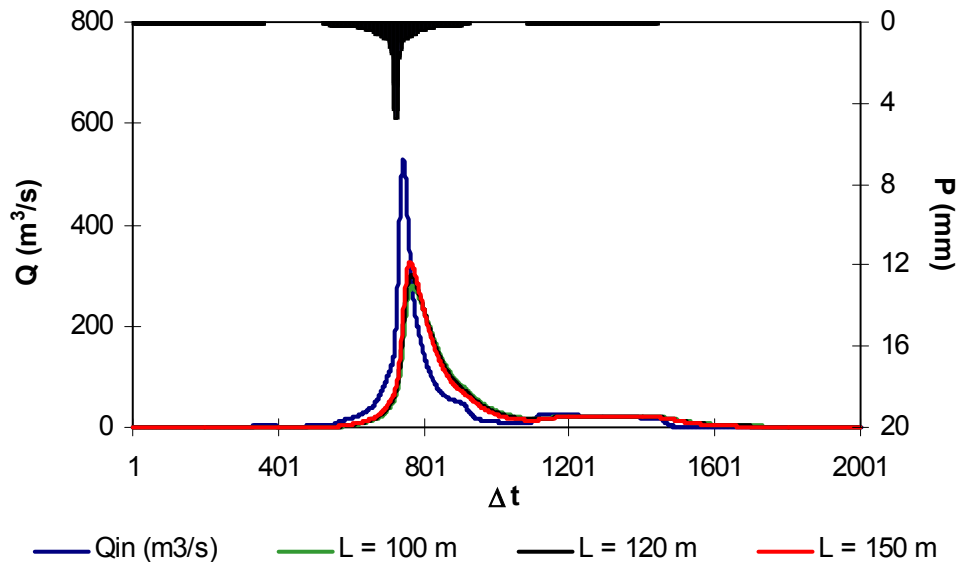


Figura 3.22 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Maranguape $Tr=10000$ anos. Escavado em Rocha. Cota 106 m. $L = 100, 120$ e 150 m.

Quadro 3.28 - Resultado da simulação acima descrita			
L (m)	Q_{out} (m³/s)	Cota (m)	Lâmina (m)
Escavado em Rocha: Z_w = 106,0 m			
Tr = 1000 anos - Q_{in} = 399 m³/s			
18	150	106,28	3,28
100	195	104,25	1,25
120	212	104,16	1,16
150	232	104,07	1,07
Tr = 10000 anos - Q_{in} = 528 m³/s			
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
Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório

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

Tendo em vista a mudança do eixo da barragem e do sangradouro foi feito um estudo de laminação do lago para as vazões milenar e decamilenar para um vertedor com largura de 18,0 metros tipo Creager e cota da crista igual a 103,0 m, 104,0 m e 105,0 m. Os resultados são mostrados no quadro a seguir:

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

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 intermitent 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 7hm^3 . A Figura 3.23 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 $2,686\text{hm}^3/\text{ano}$.

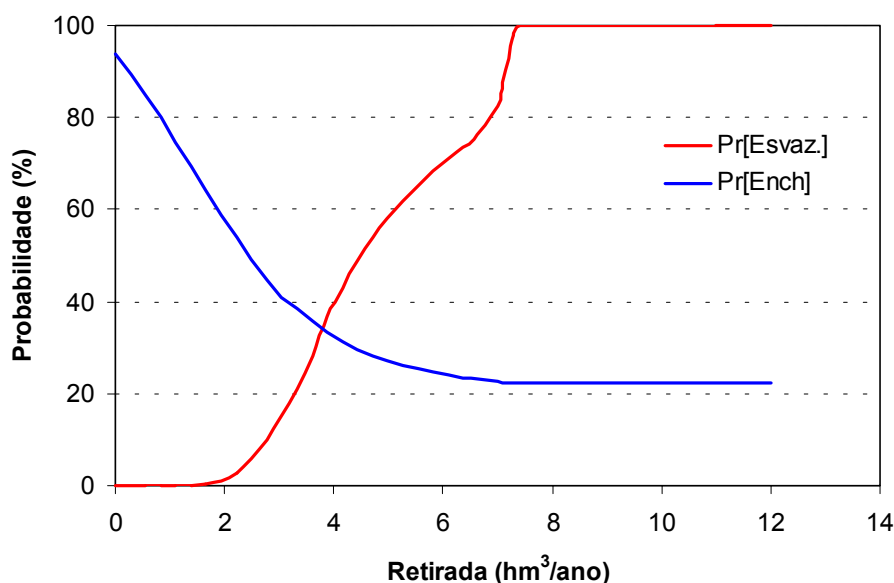


Figura 3.23. Probabilidades de esvaziamento e enchimento do açude Maranguape I.

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 (hm^3) 5,107
- Área (km^2) 15,86
- Peso específico aparente inicial - γ_i (t/m^3): 1,386
- Coeficiente de consolidação médio - K : 0,01965
- Descarga sólida média (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 Δt igualmente espaçados durante um tempo suficientemente longo. O açude Maranguape I foi simulado durante 100 anos com Δt 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 4, 865 hm^3 , havendo uma redução de 11,2% no volume útil do açude Maranguape I, o qual era inicialmente de 5,48 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 ³)	Volume/ μ	Er	γ_r (t/m ³)	Sedimento Período (10 ³ t)	Sedimento Acumulado (hm ³)	Volume Efetivo ou útil (hm ³)
0	10	5.480	1.073	0.970	1.399	108.5	0.078	5.402
10	20	5.402	1.058	0.970	1.405	108.5	0.000	5.480
20	30	5.480	1.073	0.970	1.408	108.5	0.078	5.402
30	40	5.402	1.058	0.970	1.410	108.5	0.155	5.325
40	50	5.325	1.043	0.969	1.412	108.4	0.232	5.248
50	60	5.248	1.028	0.969	1.413	108.4	0.309	5.171
60	70	5.171	1.013	0.969	1.414	108.4	0.386	5.094
70	80	5.094	0.998	0.969	1.415	108.4	0.462	5.018
80	90	5.018	0.983	0.969	1.416	108.4	0.539	4.941
90	100	4.941	0.968	0.969	1.417	108.3	0.615	4.865

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

4 - PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM

4 – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM

O Projeto da Barragem Maranguape I foi elaborado após o estudo de várias alternativas de tipos de maciços possíveis para finalmente ser feita a escolha da barragem que melhor se adeque às condições naturais de topografia e geotecnia e às disponibilidades dos materiais encontrados na circunviziança do eixo barrado.

O Projeto Executivo da Barragem Maranguape I é desenvolvido neste capítulo abordando os seguintes tópicos:

- 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 Tangueira, 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 12hm³ 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 ²
Altura da barragem:	18 m
Área da bacia hidráulica:	29 ha
Comprimento da barragem:	720 m
Volume acumulado:	12 hm ³

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
Sangradouro		
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 – 1. Sua extensão pelo coroamento é de 680m por 15,0m de altura e uma bacia de acumulação da ordem de 6hm³ para um NA máximo de 11,0m.

As características gerais da alternativa do Eixo – 2 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

Barragem	(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 ²
Altura da barragem:		15 m
Área da bacia hidráulica:		15 ha
Comprimento da barragem		680 m
Volume acumulado:		6,8 hm ³
Fundação		
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
Sangradouro		
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 – 1. O seu comprimento pelo coroamento é de 480m por 13,0m de altura. A estimativa de acumulação é da ordem de 3hm³ para um NA máximo de 9,0m.

As características gerais da alternativa do Eixo – 3 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 ²
Altura da barragem:		13 m
Área da bacia hidráulica:		9 ha
Comprimento da barragem		480 m
Volume acumulado:		3,40 hm ³
 Fundação		
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

Sangradouro

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

ALTERNATIVA EIXO 1

DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT (m ³)	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	CUSTO TOTAL (R\$)
BARRAGEM / VOLUMES				
Maciço	m ³	312.000	11,50	3.588.000,00
Fundação	m ³	96.000	3,50	336.000,00
SANDRADOURO / VOLUMES				
Escavação em Solo	m ³	275.000		

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

	2,50	687.500,00
Escavação em Rocha	m ³	
	15.800	
	17,00	
	268.600,00	
CUSTO TOTAL		
4.880.100,00		
ALTERNATIVA EIXO 2		
DESCRIÇÃO		
UNID.		
QUANT (m³)		
CUSTO UNITÁRIO (R\$)		
CUSTO TOTAL (R\$)		
BARRAGEM / VOLUMES		
Maciço	m ³	
	220.000	
	11,50	
	2.530.000,00	
Fundação	m ³	
	94.000	

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

	3,50			
		329.000,00		
SANDRADOURO / VOLUMES				
Escavação em Solo				
	m ³			
	317.000			
	2,50			
		792.500,00		
Escavação em Rocha				
	m ³			
	16.600			
	17,00			
		282.200,00		
			CUSTO TOTAL	
			3.933.700,00	
ALTERNATIVA EIXO 3				
	DESCRIÇÃO			
	UNID.			
	QUANT (m³)			
	CUSTO UNITÁRIO (R\$)			
	CUSTO TOTAL (R\$)			
BARRAGEM / VOLUMES				

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

Maciço

m³
212.000
11,50
2.438.000,00

Fundação

m³
72.000
3,50
252.000,00

SANDRADOURO / VOLUMES

Escavação em Solo

m³
290.000
2,50
725.000,00

Escavação em Rocha

m³
15.000
17,00
255.000,00

CUSTO TOTAL

3.670.000,00

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

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 preliminares indicavam que a melhor opção de barramento seria no Eixo – 1 no entanto os estudos de Anteprojeto e Projeto Executivo não foram desenvolvidos nesse local.

As razões que levaram a mudança do eixo foram inicialmente devido a existência de uma organização não governamental (ONG) denominada Pequeno Nazareno que fica situado logo a montante do Eixo – 1 e teria boa parte de sua área inundada.

Ao tomar conhecimento da pretensão do governo de construir a barragem, o que não deixa de ser uma obra necessária, tendo em vista garantir o abastecimento da cidade de Maranguape e seus distritos, a comunidade promoveu algumas reuniões com a Secretária de Recursos Hídricos e conseguiu até a ordem de paralisação do projeto.

Retomado os trabalhos optou-se pelo Eixo –3 dada as circunstâncias citadas. Chegou-se até a apresentar um Anteprojeto nesse sítio. Entretanto, devido as condições geotécnicas e dificuldades de encaixar o sangradouro, em decorrência da qualidade da rocha que só existia a grande profundidade, inviabilizando uma solução econômica, optou-se por um eixo mais a montante, a cerca de 200,0 m do Eixo – 3, onde finalmente foi desenvolvido o projeto.

No novo eixo a bacia hidrográfica é de 15,8 km², a bacia hidráulica é de 46,68 ha e o volume acumulado com soleira na cota 105,0 m é de 5,48 hm³.

Antes de ser desenvolvido o projeto nesse novo sítio barrável foi feito um estudo de otimização simulando-se três situações de localização para o eixo da barragem.

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-A, Eixo-B e Eixo-C, os quais são mostrados na Figura nº4.1 a seguir. Para cada eixo foi feito o lançamento e a cubação 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.

No quadro a seguir são apresentados os resumos dos volumes encontrados:

EIXO	BARRAGEM DIREITA	BARRAGEM ESQUERDA	TOTAL
A	121.245,27	272.445,33	393.690,60
B	100.512,77	259.844,33	360.357,10
C	85.305,39	250.580,97	335.886,36

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

A barragem terá dois trechos de maciço denominados de Barragem Direita, cujas as estacas recebem a letra “D” e de Barragem Esquerda, cujas as estacas recebem a letra “E”.

Figura nº4.1

4.3 - ALTERNATIVAS EXAMINADAS DE SEÇÃO DE MACIÇO

Devido às características do boqueirão principalmente 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

O presente capítulo contém o Memorial Descritivo e Justificativo do Projeto Executivo da Barragem Maranguape I, o qual foi dividido nos seguintes itens, de acordo com os aspectos abordados:

- Caracterização da Fundação;
- Rebaixamento do Lençol Freático;
- Geometria da Trincheira de Fundação;
- Cortina de Injeção;
- Local de Bota-Fora;
- Maciço da Barragem;
- Análise de Estabilidade;
- Estudo de Percolação da Barragem;
- Análise dos Recalques;
- Sangradouro;
- Tomada D'Água.

4.4.1 - Caracterização da Fundação

Para fazer a caracterização da fundação da barragem e sangradouro foram executadas no sítio levantado quinze sondagens, sendo dez a percussão e cinco mista.

O perfil topográfico do terreno mostra que o barramento se dará em dois vales separados por uma elevação. Com o estudo de otimização do eixo obteve-se dois segmentos da barragem denominados de barragem esquerda e barragem direita. Com o novo estaqueamento a barragem esquerda vai da estaca 02E+0,16 a 11E+0,40 m e a barragem direita vai da estaca 0D+4,20 a 15D+16,92 m.

No primeiro vale, ou seja, o vale à esquerda a ser fechado, a cota do terreno no ponto mais baixo é de 87,448 m. Nesse vale, que não tem rio, a seção máxima ficará 21,05 m acima do terreno natural e foram executadas as sondagens SP-501, SP-502 e SP-503. Os materiais encontrados tanto nas ombreiras como no centro são formados de uma camada superficial de areia siltoso pouco compacta e uma camada inferior de silte argiloso com pedregulhos e silte arenoso micáceo com pedregulhos caracterizando o solo residual. Nesse local os espaldares serão assentes no terreno 1,0 m abaixo do terreno natural. O cut-off desse trecho da barragem está previsto para atingir o solo residual e atingirá a profundidade máxima de 4,0 m.

No vale propriamente dito, ou seja, onde o rio Gereraú corre, as condições geotécnicas do subsolo são um pouco diferente do vale da barragem esquerda. Nele foram executadas as sondagens SP-505, SP-506, SP-507 e SP-508. Onde foram detectados solos moles com SPT'S baixos, de forma que a fundação desse segmento de barragem será a seguinte: da estaca 1D a estaca 3D os espaldares serão assente a 1,0 m abaixo do terreno natural e o cut-off irá até o solo residual. Entre as estacas 3D a 7D, zona onde foram encontrados os solos moles, foi prevista a retirada de uma camada de 4,0 m de solos aluvionares em toda a extensão da barragem e não será necessária a execução de cut-off. Entre as estacas 7D a 15D está prevista a retirada de 1,0 m de escavação obrigatória. Nesse intervalo o cut-off deverá atingir o solo residual.

Para o local do sangradouro, foram executadas as sondagens SM-402, SM-403, SM-404, SM-405 e SM-406. Examinando o perfil dessas sondagens verifica-se que a rocha formada por gnaiss muito macia apresenta baixo percentual de recuperação, RQD nulo e normalmente está no estado decomposto não sugerindo a implantação de sangradouro desprovido de estruturas que resistam aos efeitos abrasivos da água.

4.4.2 - Rebaixamento do Lençol Freático

Durante a escavação do cut-off da barragem observou-se pelos perfis de sondagem que haverá escavação abaixo do lençol freático. Isto ficou evidenciado nas sondagens SP-502 na estaca E-07, onde o nível d'água foi encontrado a 2,30 m de profundidade, e na sondagem SP-505 na estaca E-17, onde o nível d'água foi

encontrado a 1,00 m de profundidade. A profundidade do cut-off nesses locais é de 4,0 m e 3,50 m, portanto as escavações abaixo do lençol freático serão de 1,70 m e 2,50 m. Nas ombreiras dos dois vales não é esperada a escavação abaixo do nível d'água.

4.4.3 - Geometria da Trincheira de Fundação

A trincheira de fundação foi projetada obedecendo as seguintes linhas gerais. A princípio o cut-off buscou atingir o solo residual para garantir a estanqueidade.

- 1) O cut-off será escavado inicialmente num ponto sobre a mesma vertical que contém o bordo de jusante da barragem;
- 2) O cut-off será escavado para montante com forma trapezoidal com a base menor igual a 8,0 m e os lados inclinados com taludes de 1:1 (V:H);
- 3) Nos desenhos nº III – 6 – 05 / 40 – 010 perfil longitudinal do subsolo e nº III – 6 – 09 / 40 – 010 perfil longitudinal da barragem e sangradouro, são indicados a linha que limita a profundidade da trincheira de escavação, ou seja, a linha de fundação do cut-off;
- 4) Nas seções transversais da Barragem Maranguape I, é indicada geometria da trincheira de fundação.

4.4.4 - Cortina de Injeção

Na Barragem Maranguape I tendo em vista a profundidade da rocha e o manto espesso de solo residual foi verificado que não é necessário a execução de injeção de cimento.

4.4.5 - Local de Bota-Fora

Os materiais oriundos das escavações que não se prestarem para uso na barragem serão colocados em área a montante do barramento, indicada no desenho III – 6 – 01 / 40 – 010, abaixo da cota 88,00 m.

4.4.6 - Maciço da Barragem

A Barragem Maranguape I se constitui de um maciço homogêneo a ser construído com material proveniente das jazidas J-01 e J-02 e das escavações do sangradouro. A barragem ficará com coroamento na cota 108,50m, e altura máxima de 24,90 m na estaca 4D+8,20 m. A soleira será implantada na cota 105,00m, acumulando 5,48hm³.

De acordo com os resultados das sondagens está prevista 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): 2,0 (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:

$$\begin{aligned}
 P_{50} &= 0,45tf & D_{50} &= 0,62m \\
 P_{\min} &= 0,23tf & D_{\min} &= 0,50m \\
 P_{\max} &= 0,64tf & D_{\max} &= 0,70m
 \end{aligned}$$

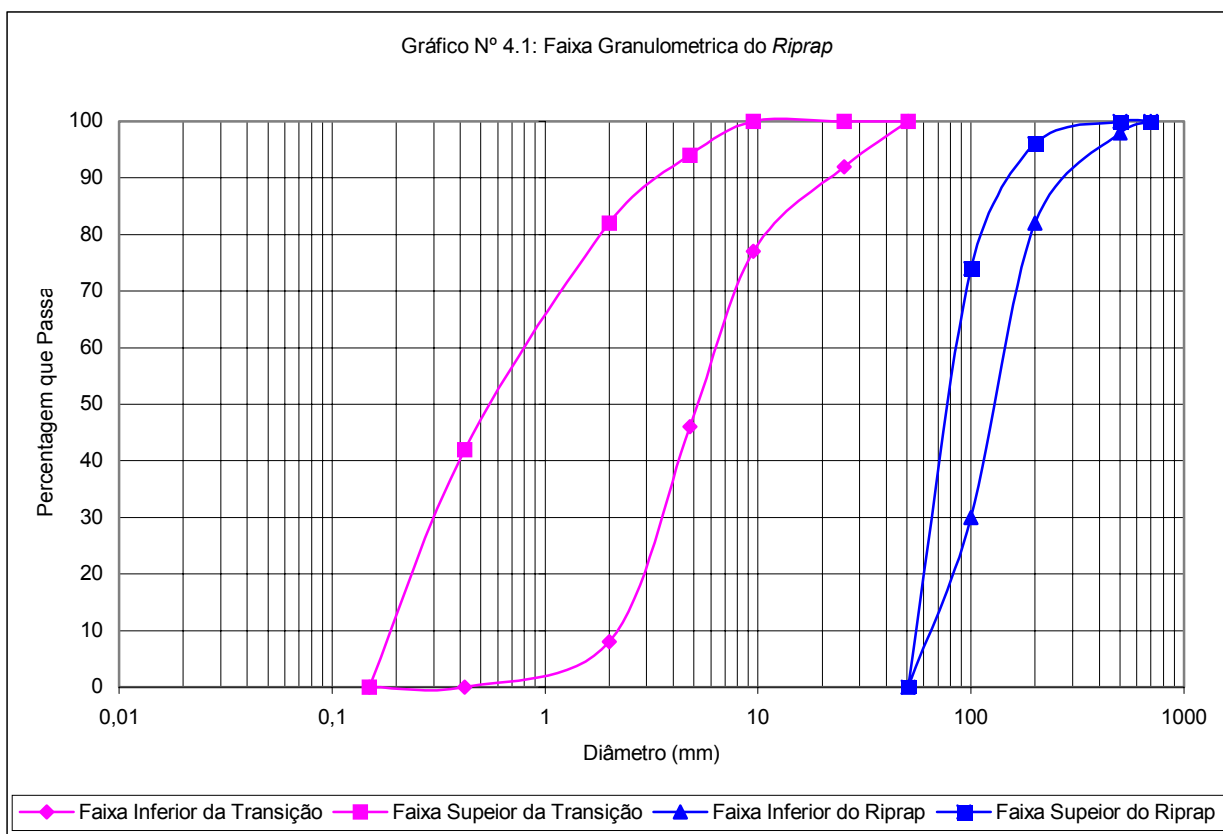
A camada de transição tem a granulometria mostrada no Quadro 4.5.

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

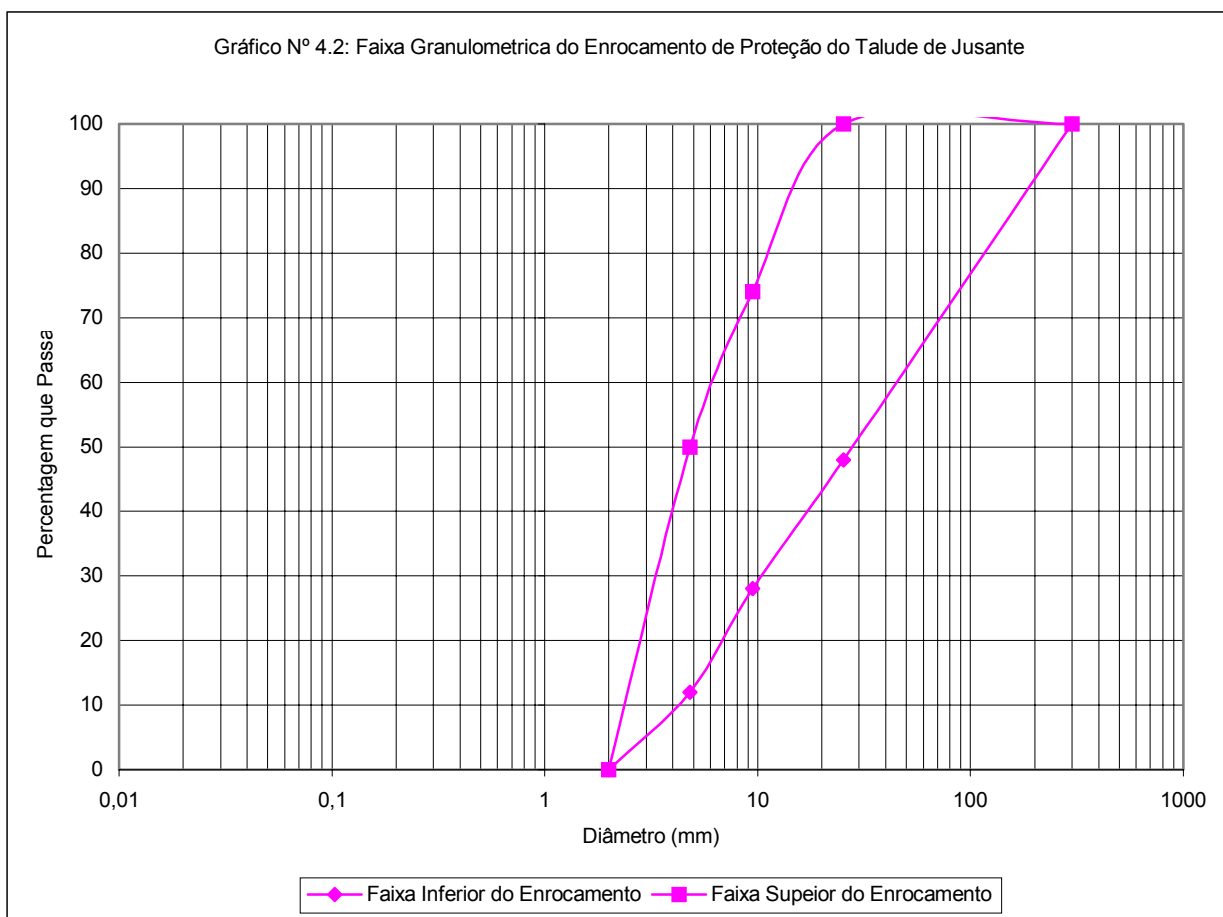
No gráfico Nº 4.1 são mostradas as faixas granulométricas dos materiais constituintes do *riprap*.



O talude de jusante está projetado com inclinação de 1:2 (V:H). Ao ser atingido a cota 98,50 m, ou seja, 10,00 m abaixo do coroamento, será executado uma berma com 2,0 m de largura. A partir dessa cota o talude prossegue com a mesma inclinação até atingir o terreno natural ou o topo do enrocamento de pé. A proteção do talude de jusante será feita com uma camada de 0,30 m de espessura de material obtido da britagem de blocos de rocha da pedreira P-01, com granulometria mostrada no Quadro 4.7.

Peneira	Faixa Granulométrica (Percentagem que Passa)
300mm	100
1" (25,4mm)	48 – 100
3/8" (9,5mm)	28 – 74
N° 4 (4,8mm)	12 – 50
N° 10 (2,0mm)	0

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



Para formar o sistema de drenagem interna do maciço da barragem foi prevista a construção de um filtro vertical com 1,0 m de largura e topo na cota 106,91 m e um tapete horizontal com 1,0 m de espessura, ambos serão construídos com areia do areal A-01. Entre as estacas 6E e 7E da barragem esquerda o tapete se estende até o pé de jusante. Entre as estacas 3E a 5E e 8E a 10E da barragem esquerda o tapete não vai até o pé de jusante e tem comprimento variável conforme a altura da seção. Na barragem direita entre as estacas 3D a 14D o tapete se estende até o pé de jusante e nas estacas 1D, 2D e 15D o tapete não atinge o pé de jusante tendo comprimento variável.

Nesses locais onde o tapete não tem comunicação com o exterior as águas lá chegadas seguirão a direção do gradiente maior que é paralelo ao eixo.

No Quadro 4.8 é mostrada a faixa granulométrica para a qual a areia grossa deverá se enquadrar para pode 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.



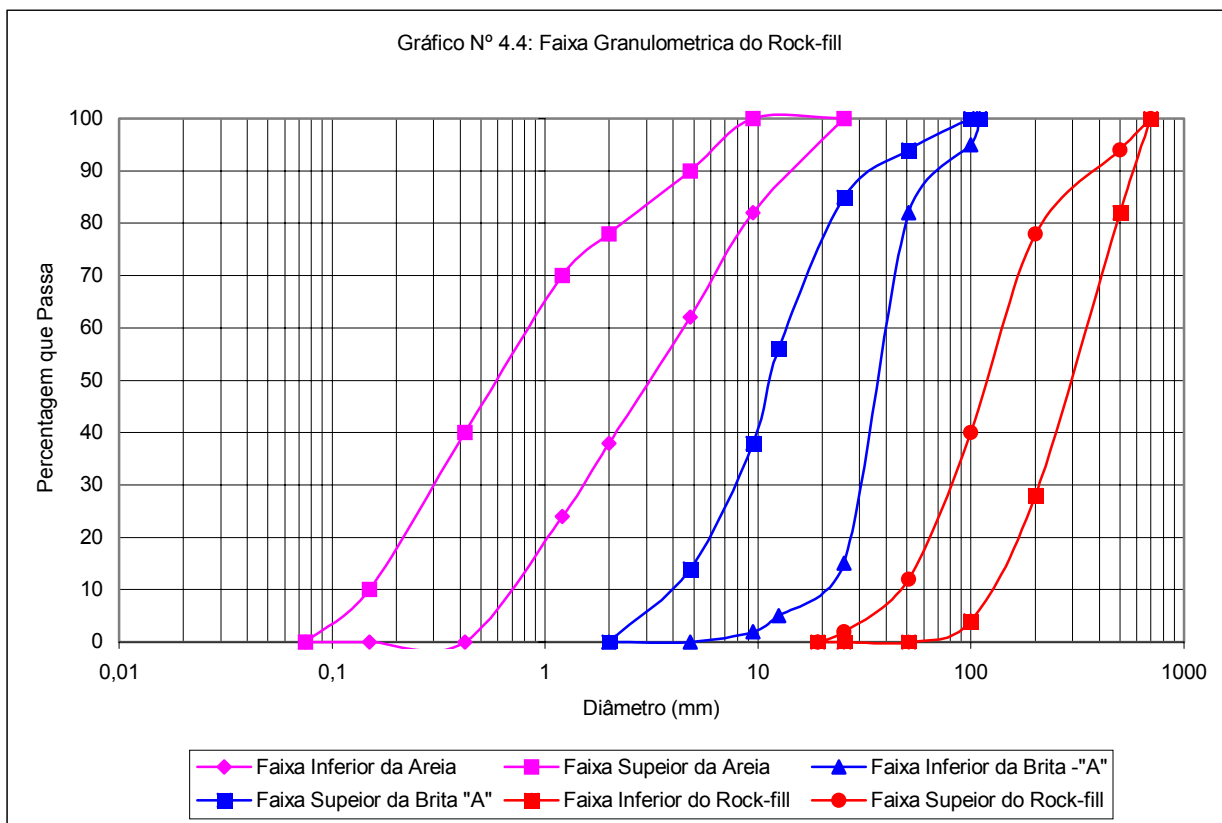
Completando o sistema de drenagem interna da barragem foi projetado na barragem esquerda entre as estacas 5E a 8E e na barragem direita entre as estacas 3D a 14D um dreno de pé formado por um enrocamento com seção trapezoidal com base menor igual a 2,0 m taludes de 1:1,5 (V:H) e com altura de 2,0 m. Esse dreno será assente a partir do terreno após a escavação obrigatória. 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 4.9.

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.



4.4.7 - Análise de Estabilidade

A geometria da Barragem Maranguape I foi avaliada de duas maneiras recorrendo-se a análise de estabilidade estática e sísmica.

A análise da estabilidade estática foi realizada recorrendo-se ao método de equilíbrio limite, proposto por Bishop implementado automaticamente através do programa de cálculo SLOPE/W.

Os cálculos da estabilidade foram realizados sobre a seção mais condicionante no que concerne a estabilidade da barragem, ou seja, a seção de maior altura, tendo sido analisado as seguintes situações.

- a) Final de Construção – taludes de montante e jusante;
- b) Reservatório Cheio (a longo prazo) – talude de jusante;
- c) Rebaixamento Rápido – talude de montante.

A análise da estabilidade sísmica foi efetuado através de um método pseudo-estático recorrendo-se ao Método de Bishop Simplificado, também implementado pelo programa SLOPE/W.

No que diz respeito à caracterização da ação sísmica, foi adotado, para a situação de regime permanente, um coeficiente sísmico de 0,1. Para as situações de final de construção e rebaixamento rápido o valor do coeficiente sísmico foi reduzido para 0,05, tendo em conta a menor duração destas fases durante o período de vida da obra e como tal, menor será a probabilidade de ocorrência de um evento sísmico com aceleração superior.

Quanto a obtenção das pressões neutras adotou-se os seguintes procedimentos:

a) Adoção do Coeficiente R_u

Para a situação de final de construção adotou-se o coeficiente R_u . Este coeficiente é definido como a relação entre a pressão intersticial da água num determinado ponto com a tensão vertical nesse ponto através da expressão $R_u = U/\sigma_1$. Esse coeficiente é função do tipo do material. Para materiais de elevada permeabilidade nos quais a dissipação das pressões intersticiais é quase instantânea,

o coeficiente toma valores próximos de zero. No limite, o coeficiente R_u pode atingir 0,50 caso se esteja na presença de materiais saturados de baixa permeabilidade.

b) Definição da Linha Piezométrica

Para os casos de regime permanente e rebaixamento rápido, as pressões neutras foram obtidas a partir do traçado da linha piezométrica cujos pontos determinou-se associando a linha freática à parábola de Kozeny teórica fazendo as correções de contorno.

A anisotropia do solo foi contemplada considerando uma relação igual a 9 entre os coeficientes de permeabilidade horizontal/vertical.

c) Parâmetros de Resistência dos Materiais

Para fazer as análises de estabilidade foi necessário estimar os parâmetros de resistência dos materiais componentes da seção tipo. Sobre os materiais das Jazidas J-01 e J-02 foram realizados ensaios de cisalhamento direto nos poços. Os parâmetros efetivos obtidos são apresentados no Quadro nº4.10:

Quadro nº4.10: Parâmetros Efetivos do Ensaio de Cisalhamento Direto			
Jazida	Furo	Coesão (kgf/cm ²)	Ângulo de Atrito
J – 01	F – 08	C = 0,13	$\phi = 35,8^\circ$
	F – 32	-	$\phi = 35,9^\circ$
	F – 44	C = 0,27	$\phi = 32,7^\circ$
	F – 53	C = 0,18	$\phi = 32,9^\circ$
J – 02	F – 36	-	$\phi = 37,3^\circ$
	F – 37	C = 0,20	$\phi = 33,8^\circ$
	F – 41	C = 0,21	$\phi = 31,4^\circ$
	F – 64	C = 0,27	$\phi = 28,9^\circ$
	F – 68	C = 0,19	$\phi = 31,1^\circ$
	F – 82	C = 0,18	$\phi = 32,1^\circ$

Na análise dos estudos geológicos e geotécnicos, foram feitas as seguintes considerações:

- 1) O solo da jazida J-01 enquadra-se na Classificação Unificada USC em dois tipos, a saber: SM (Silte Arenoso) e SC (Argila Arenosa), com densidade aparente seca máxima de laboratório igual a 1,837 tf/m³ e umidade ótima de 12,31%. Os ensaios de cisalhamento direto indicaram parâmetros efetivos médio de $C'=14,5$ kPa e $\phi'=34,32^\circ$;

- 2) O solo da jazida J-02 enquadra-se na Classificação Unificada USC nos tipos, SC (Argila Arenosa) e SM (Silte Arenoso), com densidade aparente seca máxima de laboratório igual a 1,826 tf/m³ e umidade ótima de 13,06%. Os ensaios de cisalhamento direto indicaram parâmetros efetivos de $C'=17,5$ kPa e $\phi'=32,4^\circ$.

Das conclusões das análises dos estudos geológicos e geotécnicos e do Quadro nº4.10, foram estimados os parâmetros de resistência dos solos das jazidas J-01 e J-02. Os demais materiais, tais como areia, brita, enrocamentos, camada de aluvião e maciço rochoso tiveram seus parâmetros avaliados com base em recomendações da literatura, experiência do projetista e semelhança dos solos das duas jazidas.

O Quadro nº4.11 mostrado a seguir indica os valores dos parâmetros geotécnicos adotados para a análise da estabilidade da barragem.

Quadro nº4.11: Parâmetros Geotécnicos				
Material	γ (kN/m ³)	C (kPa)	ϕ (graus)	R_u
Riprap	18,0	0,00	45°	0,00
Maciço	21,0	17,00	32°	0,10
Filtro / Tapete	18,0	0,00	35°	0,00
Rock-fill	20,0	0,00	38°	0,00
Cutoff	21,0	17,00	32°	0,10
Aluvião	17,0	0,00	28°	0,05
Solo Residual	20,0	7,00	32°	0,10

4.4.7.1 - Resultados Obtidos

Após o processamento do programa SLOPE/W foram obtidos os seguintes resultados:

a) Análise da Estabilidade Estática

Os valores dos fatores de segurança obtidos na análise de estabilidade estática são mostrados no Quadro nº4.12:

Quadro nº4.12: Análise de Estabilidade – Estática				
Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,3	1,844	1,519	1,657
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	1,896	1,557	1,683
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,896	1,555	1,574
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,1	1,398	1,125	1,110

Quanto aos coeficientes de segurança resultantes da análise de estabilidade, verifica-se que estão todos acima dos valores mínimos sugeridos.

b) Análise Sísmica

Os cálculos efetuados para simular um abalo sísmico foram feitos considerando o corpo da barragem como rígido, sendo que a caracterização da Sísmica se dá através do valor da aceleração máxima esperada na fundação. Esta é considerada constante ao longo do perfil da barragem. Este procedimento é adequado tendo em vista a pequena sísmicidade da região. Os valores dos fatores de segurança obtidos são mostrados no Quadro nº4.13:

Quadro nº4.13: Análise de Estabilidade – Abalo Sísmico				
Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,0	1,457	1,212	1,332
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	1,494	1,238	1,346
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,0	1,494	1,229	1,263
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,0	1,127	1,055	1,045

Quanto aos coeficientes de segurança resultantes da análise de estabilidade, verifica-se que estão todos acima dos valores mínimos sugeridos.

4.4.8 - Estudos de Percolação Pela Barragem e Fundação

Os estudos de percolação foram realizados com o objetivo principal de avaliar os valores das vazões percoladas pelo corpo da barragem e pela fundação.

Para obtenção dessas vazões foi realizado o seguinte procedimento:

- a) Vazões pelo Maciço: Determinou-se a linha freática associando esta à parábola teórica de KOZENY fazendo as correções de contorno. Foi adotado uma Anisotropia entre a permeabilidade horizontal e vertical igual a 9. Esse valor é recomendado pelo Prof^o Paulo Cruz, no seu livro 100 Barragens Brasileiras, para maciços terrosos compactados com altura até 20,00m.

Determinou-se a ordenada Y_0 da interseção da linha freática com o filtro vertical e aplicou-se a expressão para determinação da vazão por metro de barragem.

$$q = \sqrt{K_x \cdot K_y} \cdot y_0 [m^3 / s \cdot m]$$

- b) Vazões pela Fundação: O perfil geotécnico do substrato de assentamento da barragem mostra que abaixo do cut-off a percolação é praticamente nula ou muito baixa. A vazão pela fundação pode ser estimada considerando a perda de carga total ao longo do cut-off desta forma a vazão é dada por:

$$Q = K \cdot I \cdot A$$

onde:

$$K = 9,7 \times 10^{-7} \text{ cm} / \text{s} \text{ (obtido dos ensaios)}$$

$$I = \frac{\Delta H}{L} = \frac{22,16}{10,0} = 2,21 \text{ m} / \text{m}$$

$$A = 4,0 \times 1,0 = 4,0 \text{ m}^2$$

A permeabilidade do maciço da barragem foi adotada à partir das análises dos ensaios de permeabilidade realizados sobre as amostras deformadas das Jazidas J-01e J-02. Os resultados dos ensaios são mostrados no Quadro nº4.14:

Quadro nº4.14: Ensaio de Permeabilidade com Carga Variável	
Jazida J-01	
Furo	K (cm/s)
8	8,1 E-07
18	8,8 E-07
32	1,9 E-06
35	1,5 E-06
44	1,1 E-06
58	9,7 E-07
80	9,3 E-07
Jazida J-02	
Furo	K (cm/s)
5	7,4 E-07
36	1,1 E-06
37	8,9 E-07
41	6,1 E-07
64	7,0 E-07
68	6,5 E-07
82	8,4 E-07
86	7,3 E-07

Para os materiais que formarão os dispositivos de drenagem interna tais como areia de rio e brita, adotou-se para o caso da areia uma permeabilidade de $6,95 \times 10^{-3}$ cm/s, obtido com base na análise dos ensaios de permeabilidade realizados sobre as amostras do areal A-01, os quais são mostrados no Quadro nº4.15:

Quadro nº 4.15 – Coeficiente de Permeabilidade do Areal A-01	
FURO	K (cm/s)
1	7,2 E-03 ³
2	6,8 E-03
4	7,4 E-03
6	6,5 E-03
7	7,0 E-03
8	7,5 E-03
11	6,3 E-03

As vazões obtidas para dimensionamento dos dispositivos de drenagem interna foram:

$$Q_{\text{maciço}} = 2,31 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

$$Q_{\text{fundação}} = 8,5 \times 10^{-8} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

A vazão total que sairá no tapete horizontal será:

$$Q_{\text{total}} = 3,16 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

4.4.9 - Análise dos Recalques

Os materiais que formam o corpo da barragem são submetidos a deformação elásticas devido a ação do peso próprio. A avaliação desses recalques tem a finalidade de corrigir a cota do coroamento da barragem para compensar o abatimento. Para determinação deste recalque adotou-se uma forma simplificada de cálculo descrita a seguir:

- Dividiu-se o maciço, em sua seção máxima, em lamelas de 2,0m de espessura.
- Para cada lamela determinou-se a tensão vertical no meio da camada.
- Aplicou-se a expressão dada por:

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{mi}}{E_i} \cdot \Delta H_i$$

onde:

S = Recalque total em m

σ_{mi} = Tensão vertical no meio de cada lamela, em kgf/cm²

ΔH_i = Espessura da lamela

E_i = Módulo de elasticidade do material da lamela i.

O módulo de elasticidade foi obtido da análise das curvas de Tensão x Deformação, obtidos dos ensaios de compressão triaxial realizados em solos semelhantes aos das jazidas do projeto.

Outro aspecto considerado foi a variação da pressão de confinamento com a altura da barragem, a qual é apresentada no Quadro nº4.16:

Considerando o peso específico aparente seco máxima obtido do ensaio de compactação é de $1,831\text{tf/m}^3$ e a umidade ótima correspondente é de 12,68%. O peso úmido será de $2,06\text{tf/m}^3$. Com base no peso úmido foram consideradas, para efeito de tensão confinante, as seguintes tensões medidas em função da altura da barragem, tomando como referência o eixo Z, com zero no coroamento e orientação para baixo.

Quadro nº4.16: Tensão Confinante	
Z (m)	Tensão Confinante (kgf/cm ²)
Menor que 5,0m	1,0
Entre 5,0m e 10,0m	2,0
Maior que 10,0m	4,0

Com base nas condições do Quadro 4.16, foram determinados os módulos de elasticidade para uso no cálculo dos recalques. Esses resultados são mostrados no Quadro nº4.17:

Quadro nº3.18: Módulo de Elasticidade	
Tensão Confinante (kgf/cm ²)	Módulo de Elasticidade (kPa)
1,0	12.000
2,0	17.000
4,0	19.000

O recalque elástico esperado é de 342,50 mm. Esse rebaixamento do coroamento deve ser corrigido antes da colocação do revestimento primário, ao longo de toda a barragem.

4.4.10 - Sangradouro

Na apresentação do Anteprojeto da Barragem Maranguape I em outubro de 2002 foi usado o Eixo – A e o sangradouro foi localizado entre as estacas 2S e 3S com 18,0 m de largura, consistindo de um canal escavado na rocha na cota 103,00 m.

Após a discussão com a Fiscalização foi solicitada a mudança do local do sangradouro, bem como, a otimização dos eixos. Tendo em vista a análise da qualidade da rocha que tem baixa recuperação e alto grau de fraturamento, foram solicitadas na ocasião a execução de mais sondagens.

As sondagens foram realizadas nas estacas 01 e 02 do Eixo-C, 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. O local do sangradouro foi deslocado um pouco para a direita ficando na encosta do morro.

Foi feita 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_w (m)	Q_{out} (m³/s)	Cota de Cheia (m)	Lâmina (m)
Tr = 1000 anos – Q_{in} = 399 m³/s			
103	104	104.96	1.96
104	102	105.94	1.94
105	100	106.91	1.91
Tr = 10000 anos – Q_{in} = 528 m³/s			
103	155	105.56	2.56
104	152	106.52	2.52
105	148	107.48	2.48

L = Largura do Sangradouro

Z_w = Cota da soleira do sangradouro

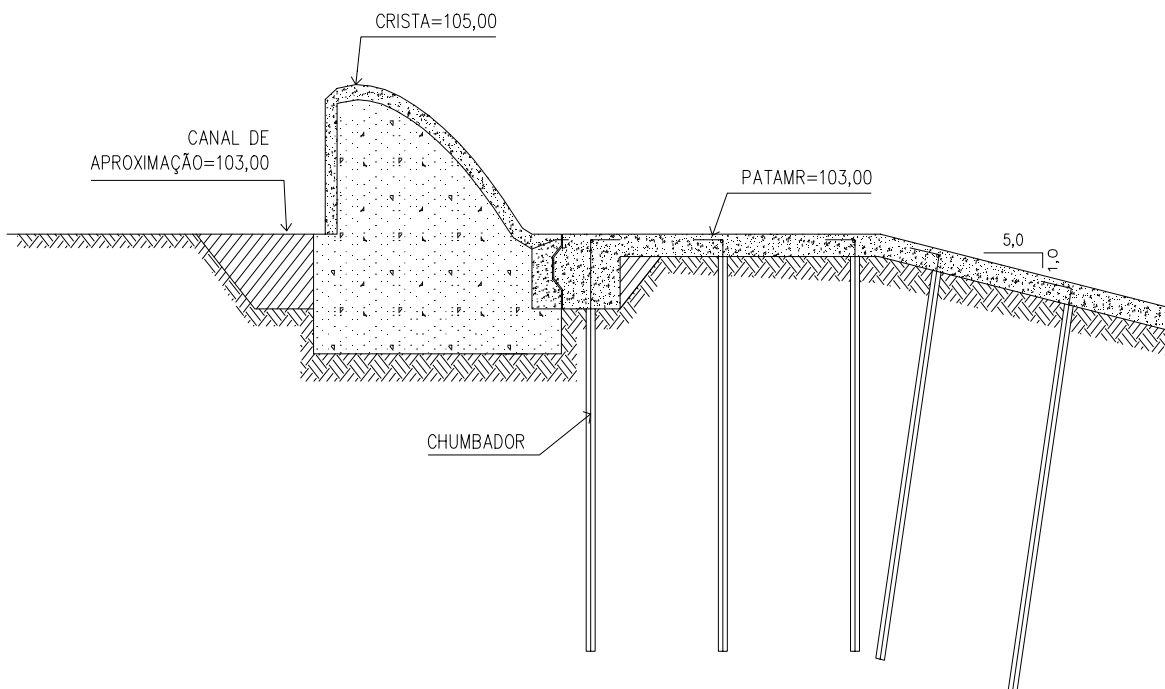
Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

Projetou-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 $Q_{1000} = 100,00 m^3 / s$ tem-se $L = 1,91$.



$$q = \frac{Q}{L} = \frac{100,00}{18} = 5,56 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

$$H_o = h_o + h_a$$

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

Tem-se:

$$V_a = \frac{q}{P + h_o} = \frac{5,56}{2,0 + 1,91} = 1,42 \text{ m} / \text{s}$$

$$h_a = \frac{q^2}{2g \times (P + h_o)^2} = \frac{5,56^2}{2 \times 9,81 \times 3,91^2} = 0,10 \text{ m}$$

$$\frac{h_a}{H_o} = \frac{0,10}{2,02} = 0,04$$

Para $\frac{h_a}{H_o} = 0,04$, 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:

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

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

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 $\frac{h_a}{H_o} = 0,04$, tem-se:

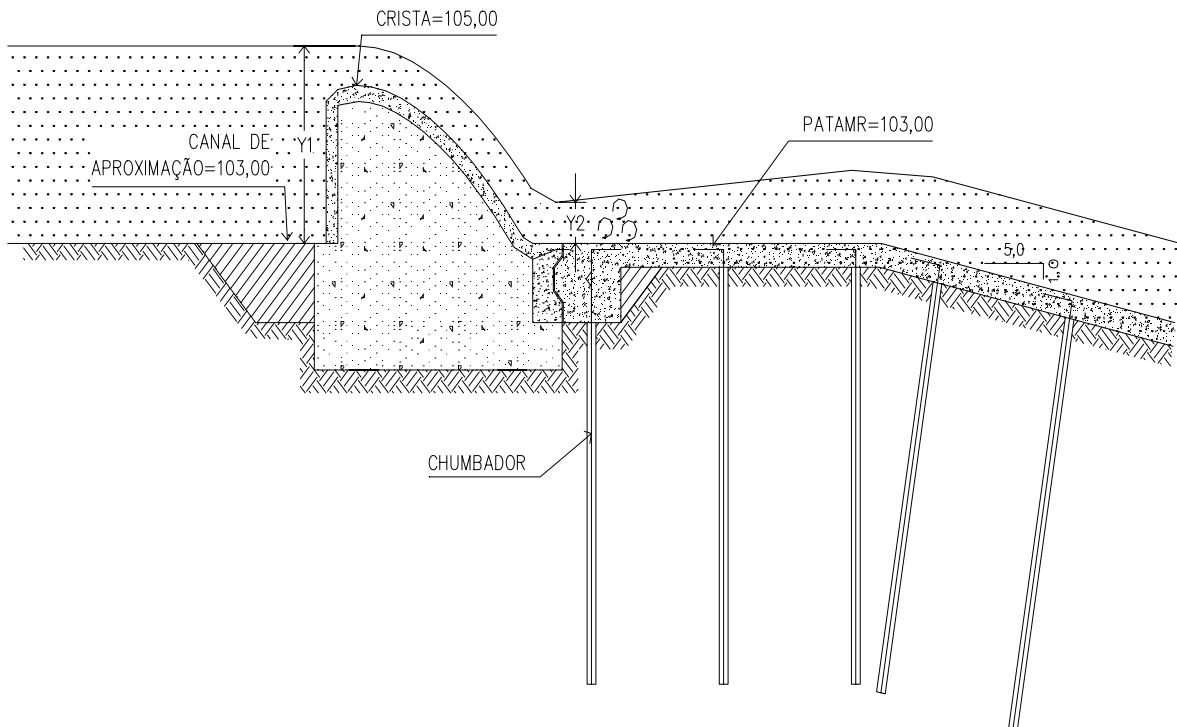
$$\frac{X_c}{H_o} = 0,2575 \Rightarrow X_c = 0,52$$

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

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

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

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 V_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 obtêm-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 _{ini} (m) = 0,75		
Y	A	V	Rr	Rh ^{4/3}	V ^{2/2} *g	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

4.4.11 - 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 ³	3,72	156.240,00
Concreto Ciclópico 12% Pedra de Mão	200,00	m ³	205,89	41.178,00
Forma	325,00	m ²	28,74	9.340,00
Concreto Massa de fck=20 Mpa	1.660,00	m ³	225,28	373.964,80
Armadura	100.000,00	Kg	3,25	325.000,00
Forma	1.250,00	m ²	28,74	35.925,00
Chumbadores	2.400,00	m	73,00	175.200,00
Total				1.116.848,30

4.4.12 - Tomada D'Água

O projeto 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 (Barragem Direita) do Eixo – A levantado. 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 m³/s.

O volume do porão da barragem será na cota 90,00 m, com um armazenamento de 0,49 hm³, 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.

4.5 - APRESENTAÇÃO DO PROJETO

No Tomo 6 são apresentados os desenhos do Projeto da Barragem Maranguape I, assim discriminados:

Quadro Nº 4.10: Relação dos Desenhos	
DESENHO Nº	DESCRIÇÃO
III – 6 – 01 / 40 – 010	Bacia Hidráulica
III – 6 – 02 / 40 – 010	Boqueirão e Sangradouro – Levantamento Topográfico
III – 6 – 03 / 40 – 010	Perfil Longitudinal pelos Eixos Esquerdo–3 e Direito–3
III – 6 – 04 / 40 – 010	Boqueirão e Sangradouro – Planta e Locação das Sondagens
III – 6 – 05 / 40 – 010	Boqueirão e Sangradouro – Perfil Longitudinal do Subsolo dos Eixos Esquerdo–3 e Direito–3
III – 6 – 06 / 40 – 010	Planta Geral da Locação das Ocorrências
III – 6 – 07 / 40 – 010	Locação das Ocorrências
III – 6 – 08 / 40 – 010	Arranjo Geral da Barragem, Sangradouro e Tomada D'Água
III – 6 – 09 / 40 – 010	Perfil Longitudinal pelo Eixo da Barragem e Sangradouro
III – 6 – 10 / 40 – 010	Seção Máxima e Detalhes
III – 6 – 11 / 40 – 010	Seção Tipo e Detalhes (01/02)
III – 6 – 12 / 40 – 010	Seção Tipo e Detalhes (02/02)
III – 6 – 13 / 40 – 010	Seções Transversais (01/08)
III – 6 – 14 / 40 – 010	Seções Transversais (02/08)
III – 6 – 15 / 40 – 010	Seções Transversais (03/08)
III – 6 – 16 / 40 – 010	Seções Transversais (04/08)
III – 6 – 17 / 40 – 010	Seções Transversais (05/08)
III – 6 – 18 / 40 – 010	Seções Transversais (06/08)
III – 6 – 19 / 40 – 010	Seções Transversais (07/08)
III – 6 – 20 / 40 – 010	Seções Transversais (08/08)
III – 6 – 21 / 40 – 010	Seção da Tomada D'Água e Detalhes

Quadro Nº 4.10: Relação dos Desenhos

DESENHO Nº	DESCRIÇÃO
III – 6 – 22 / 40 – 010	Caixa de Montante e Caixa de Dissipação da Tomada D'água – Fôrma
III – 6 – 23 / 40 – 010	Armadura da Caixa de Dissipação da Tomada D'Água
III – 6 – 24 / 40 – 010	Armadura da Caixa de Montante da Tomada D'Água
III – 6 – 25 / 40 – 010	Escavação da Tomada D'água – Planta, Perfil e Seção Tipo
III – 6 – 26 / 40 – 010	Escavação do Sangradouro – Planta, Perfil e Seção Tipo
III – 6 – 27 / 40 – 010	Seções Transversais de Escavação do Sangradouro (01/05)
III – 6 – 28 / 40 – 010	Seções Transversais de Escavação do Sangradouro (02/05)
III – 6 – 29 / 40 – 010	Seções Transversais de Escavação do Sangradouro (03/05)
III – 6 – 30 / 40 – 010	Seções Transversais de Escavação do Sangradouro (04/05)
III – 6 – 31 / 40 – 010	Seções Transversais de Escavação do Sangradouro (05/05)
III – 6 – 32 / 40 – 010	Arranjo Geral do Sangradouro
III – 6 – 33 / 40 – 010	Perfil Longitudinal e Detalhes do Sangradouro
III – 6 – 34 / 40 – 010	Fôrma e Armadura do Sangradouro (01/05)
III – 6 – 35 / 40 – 010	Fôrma e Armadura do Sangradouro (02/05)
III – 6 – 36 / 40 – 010	Fôrma e Armadura do Sangradouro (03/05)
III – 6 – 37 / 40 – 010	Fôrma e Armadura do Sangradouro (04/05)
III – 6 – 38 / 40 – 010	Fôrma e Armadura do Sangradouro (04/05)
III – 6 – 39 / 40 – 010	Drenagem Superficial – Planta (01/02)
III – 6 – 40 / 40 – 010	Drenagem Superficial – Detalhes(02/02)

5 - CANTEIRO DE OBRAS

5. CANTEIRO DE OBRAS

A área destinada ao canteiro de obras está localizada na ombreira direita, na plataforma mais elevada.

O acesso ao canteiro de obras se fará através da estrada existente, a qual deverá sofrer melhorias para comportar o tráfego durante as obras. O acesso ao canteiro é feito a partir desta estrada.

Optou-se por instalar o canteiro na ombreira direita pela sua proximidade da obras, ou seja, a 400m da barragem e a 200m do sangradouro. Desta forma é possível concentrar as instalações em um só ponto, facilitando o gerenciamento e a fiscalização dos serviços. Nesta região indicada ao canteiro, há também um ponto para captação de energia elétrica.

A instalação mínima para o canteiro de obras deverá ser composta dos elementos descritos no Quadro nº5.1:

Quadro nº 5.1: Canteiro de Obras	
Item	Descrição
01	Escritório da Administração
02	Laboratório de Solo e Concreto
03	Depósito de Cimento
04	Central de Britagem
05	Posto de Abastecimento de Combustível
06	Oficina Mecânica
07	Almoxarifado
08	Carpintaria
09	Ferraria
10	Armação e Moldagem
11	Alojamento para Pessoal de Apoio
12	Eletrificação
13	Escritório de Supervisão

6 - CRONOGRAMA FÍSICO

6. CRONOGRAMA FÍSICO

Previu-se de acordo com as dimensões das obras da Barragem Maranguape I e com as características climáticas da Região, um prazo de 12 meses para a conclusão das obras, em que deverá ser observada a seqüência de execução dos serviços a fim de se obter um máximo aproveitamento do tempo e uma eficiência completa no andamento das obras.

O cronograma de construção, em que são citados os serviços das obras com seus prazos mínimos de execução bem como o período do ano apropriado para desenvolvimento das atividades, é mostrado na figura 6.1.

Considerou-se na concepção do cronograma de construção que as obras de terraplenagem tem seu andamento prejudicado no período chuvoso do ano, devendo, portanto ser executadas no período de estiagem, ao passo que os trabalhos de concretagem poderão ser desenvolvidos em qualquer período do ano.

Tendo em vista estas condições, a construção da barragem deverá ser executada na seguinte seqüência:

- a) Execução do sangradouro;
- b) Execução da tomada de água;
- c) Execução da barragem
- d) Execução da barragem na zona do leito do rio, após o período de chuvas (Fechamento da Barragem).

Assim, o programa de construção desenvolver-se-á conforme descrito a seguir:

Período de Janeiro / Ano 1 a Maio / Ano 1

Nestas etapa, a qual corresponde ao período de chuvas, deverão ser executadas:

- a) Escavação do Sangradouro;
- b) Escavação da barragem nas ombreiras e no vale do eixo.

- c) Início do tratamento de fundações da barragem.
- d) Execução do aterro compactado nas ombreiras
- e) Escavação da Tomada d'água
- f) Concretagem da tomada d'água.

Período de Junho / Ano 1 a Outubro / Ano 1

Nesta etapa corresponde ao período seco e deverá ser executado:

- a) Término da escavação do Sangradouro
- b) Concretagem do Sangradouro
- c) Limpeza geral do Vale do rio para retirada dos materiais eventualmente carreados pela cheia;
- d) Tratamento de fundações da barragem
- e) Execução da barragem no vale do rio
- f) Montagem dos equipamentos hidromecânicas.

Período de Novembro / Ano 1 a Dezembro / Ano 1

Neste período deverão ser executados os seguintes trabalhos:

- a) Complementação da barragem até a crista
- b) Acabamento da crista
- c) drenagem superficial

Figura nº 6.1: Cronograma

7 - EQUIPAMENTO MÍNIMO

7. EQUIPAMENTO MÍNIMO

Para cumprimento do cronograma de implantação prevista no projeto, será necessário alocar a quantidade mínima de equipamento indicada na lista a seguir:

Quadro nº7.1: Equipamento Mínimo		
1.	Trator de esteiras com potência igual ou superior a 270HP	02
2.	Trator de esteiras com Potência igual ou superior a 140HP	02
3.	Trator de pneus com potência igual ou superior a 100HP	03
4.	Carregadeira frontal com potência igual ou superior a 170HP	04
5.	Motoniveladora com Potência igual ou superior a 125HP	03
6.	Caminhão basculante com capacidade igual ou superior a 6m ³	10
7.	Betoneira com capacidade mínima de 320l	03
8.	Caminhão pipa com capacidade igual ou superior a 6000l com irrigadeira	04
9.	Rolo compactador autopropelido vibratório pé-de-carneiro de 10 ton ou similar	03
10.	Rolo liso autopropelido vibratório de 10ton ou similar	01
11.	Retro-escavadeira com capacidade igual ou superior a 0,6m ³	02
12.	Conjunto de britagem com capacidade igual ou superior a 20m ³ /h	02
13.	Compressor de ar com capacidade igual ou superior a 700pcm (pés cúbicos por minuto)	02
14.	Compressor de ar portátil c/ capacidade superior a 250pcm	01
15.	Carreta de perfuração com capacidade igual ou superior a 500pcm (pés cúbicos por minuto)	02
16.	Grade de disco com capacidade de 20 discos de 24"	02
17.	Sapo mecânico	02
18.	Marteletes de 24Kg	04