

MÓDULO III PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM MARANGUAPE II

VOLUME II – ANTEPROJETO

TOMO 1 – RELATÓRIO DE CONCEPÇÃO GERAL

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
00	Abril/2002	Emissão Inicial	WBSR/JRPB	JRPB	NKT	NKT

ÍNDICE

ÍNDICE

<u>APRESENTAÇÃO</u>	4
<u>1 - INTRODUÇÃO</u>	7
<u>2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO</u>	11
<u>3 - ESTUDOS BÁSICOS</u>	15
<u>3.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS</u>	16
<u>3.1.1 - Cartografia</u>	16
<u>3.1.2 - Fotointerpretação</u>	16
<u>3.1.3 - Transportes de Coordenadas</u>	17
<u>3.1.4 - Transportes de Cotas</u>	17
<u>3.1.5 - Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro</u>	18
<u>3.1.6 - Levantamento da Bacia Hidráulica</u>	18
<u>3.1.7 - Levantamento das Jazidas</u>	20
<u>3.1.8 - Apresentação dos Estudos Topográficos</u>	21
<u>3.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS</u>	21
<u>3.2.1 - Geologia Regional</u>	21
<u>3.2.2 - Geologia Local</u>	21
<u>3.2.3 - Levantamento Geológico de Superfície</u>	21
<u>3.3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS</u>	21
<u>3.3.1 - Investigação Geotécnica</u>	21
<u>3.3.2 - Estudos das Ocorrências de Materiais</u>	24
<u>3.4 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS</u>	27
<u>3.4.1 - Caracterização Física da Bacia Hidrográfica</u>	27
<u>3.4.2 - ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS</u>	32
<u>3.4.3 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS</u>	40
<u>4 - ANTEPROJETO DA BARRAGEM</u>	63
<u>4.1 - ESCOLHA DA ALTERNATIVA DO EIXO BARRÁVEL</u>	64
<u>4.1.1 - Seleção dos Eixos na 1ª Fase</u>	64
<u>4.1.2 - Justificativa da Escolha do Eixo - 1</u>	75
<u>4.2 - ALTERNATIVAS EXAMINADAS DE SEÇÃO DE MACIÇO</u>	81
<u>4.3 - CONCEPÇÃO GERAL DA BARRAGEM</u>	81
<u>4.3.1 - Anteprojeto do Sangradouro</u>	83
<u>4.3.2 - Anteprojeto da Tomada D'água</u>	85
<u>4.3.3 - Apresentação do Anteprojeto</u>	86
<u>4.3.4 - Considerações Finais</u>	86

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

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

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

Módulo I – Estudos de Alternativas de Localização das Barragens e Adutoras

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

Módulo II – Estudos dos Impactos no Meio Ambiente

VOLUME I – Estudos Básicos e Diagnóstico

Tomo 1 – Estudos Básicos

Tomo 2 – Diagnóstico Ambiental

VOLUME II – EIA/RIMA

Tomo 1 – Relatório Preliminar dos Estudos Ambientais

Tomo 2 – Relatório Final EIA/RIMA

Módulo III – Projeto Executivo das Barragens

VOLUME I – Estudos Básicos

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Estudos Hidrológicos

Tomo 3 – Estudos Cartográficos

Tomo 4 – Estudos Topográficos

Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

VOLUME II – Anteprojeto

Tomo 1 – Relatório de Concepção Geral

Tomo 2 – Plantas

VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Especificações Técnicas

Tomo 4 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 5 – Síntese

Tomo 6 – Plantas

Módulo IV – Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento**VOLUME I – Levantamento Cadastral**

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Laudos Individuais de Avaliação

Tomo 3 – Levantamentos Topográficos

VOLUME II – Plano de Reassentamento

Tomo 1 – Diagnóstico

Tomo 2 – Programação das Ações

Tomo 3 – Detalhamento do Plano de Reassentamento

Tomo 4 – Relatório Final do Reassentamento

Módulo V – Projeto Executivo das Adutoras**VOLUME I – Estudos Básicos**

Tomo 1 – Levantamentos Topográficos

Tomo 2 – Investigações Geotécnicas

VOLUME II – Anteprojeto**VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo**

Tomo 1 – Memorial Descritivo

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 4 – Especificações Técnicas e Normas de Medição e Pagamento

Tomo 5 – Plantas

Módulo VI – Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção**VOLUME 1 – Manuais de Operação e Manutenção****Módulo VII – Avaliação Financeira e Econômica do Projeto****VOLUME 1 – Relatório de Avaliação Financeira e Econômica do Projeto**

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

1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

Atendendo ao disposto nos Termos do Contrato 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 II, no Estado do Ceará, estamos apresentando o presente relatório, descrevendo as etapas que foram empreendidas no “Módulo III” do mencionado contrato, inerentes ao Anteprojeto da Barragem Maranguape II.

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

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

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

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM MARANGUAPE II

– Identificação

Denominação: Barragem Maranguape II
 Estado: Ceará
 Município: Maranguape
 Coordenadas UTM: 534.609,747 E, 9.561.863,588 N
 Rio Barrado: Sapupara
 Proprietário: Estado do Ceará/SRH
 Autor do Projeto: Consórcio JP-ENG/AGUASOLOS/ESC-TE
 Data do Projeto: Abril/2002

– **Bacia Hidrográfica**

Área: 18,5km²
 Precipitação média anual: 1386mm
 Evaporação média anual: 1468mm

– **Características do Reservatório**

Área da bacia hidráulica (cota 94,00m): 1,65ha
 Volume acumulado (cota 94,00m): 9,14hm³
 Volume morto do reservatório: 1,41hm³
 Volume de alerta: 2,90hm³
 Vazão regularizada (90%): 0,10m³/s
 Vazão afluente max. de projeto (TR=1.000anos) 378m³/s
 Vazão max. de projeto amortecida (TR=1.000anos) 90,0m³/s
 Vazão afluente max. de projeto (TR=10.000anos) 500m³/s
 Vazão max. de projeto amortecida (TR=10.000anos) 135m³/s
 Nível d'água máximo normal: 94,00m
 Nível d' água max. maximorum (TR=1.000anos): 94,79m
 Nível d' água max. maximorum (TR=10.000anos): 95,04m

– **Barragem**

Tipo: homogênea de Solo
 Altura máxima: m
 Largura do coroamento: 6,00m
 Cota do coroamento: El.98,00m
 Talude de montante: 1,0 v: 2,5 h
 Talude de jusante: 1,0 v: 2,0h

– **Tomada de água**

Tipo: galeria com tubo de ferro fundido
 Número de condutos: 1(um)
 Diâmetro: 300mm
 Localização: 30 ombreira direita estaca

– **Vertedouro**

Tipo: perfil creager, bacia de dissipação, canal rápido e canal escavado em solo.

Largura: 60,0m
 Extensão total do canal: 390m
 Vazão máxima (Tr=10.000 anos): 500,00m³/s
 Lâmina máxima prevista (T.R=1000anos): 0,79m
 Lâmina máxima prevista (T.R=10.000anos): 1,04m

– **Muros de contenção**

Material: concreto estrutural
 Altura máxima: m
 Comp. na margem direita: m
 Comp. na margem esquerda: m
 Volume de concreto estrutural: m³

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

Localizado na Região Metropolitana de Fortaleza o município de Maranguape, tem sua posição geográfica definida pelas coordenadas 3°53'27" de latitude Sul e 38°41'08" de longitude Oeste. Com extensão territorial de 672 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 Maranguape II está localizado em um afluente do riacho Tangureira, aproximadamente 7,0 km ao sul da sede do município de Maranguape, (ver figura 2.1 a seguir).

O acesso ao local é feito a partir de Fortaleza, pela CE-065, passando-se pela sede do município de Maranguape. Após esta, cerca de 7,0 km chega-se ao sítio do boqueirão barrável mais precisamente na margem esquerda do riacho Sapupara.

- **FIGURA 2.1 – Mapa de Localização e Acesso**

Mapa de localização FIG 2.1B

3 - ESTUDOS BÁSICOS

3 - ESTUDOS BÁSICOS

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

3.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Os trabalhos de topografia abrangeram os seguintes serviços:

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

3.1.1 - Cartografia

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

3.1.2 - Fotointerpretação

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

3.1.3 - Transportes de Coordenadas

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

Quadro 3.1 – Marcos Implantados na Barragem Maranguape II					
Ponto	Localização (*)	Coordenadas UTM (m)		Longitude Geodésica	Latitude Geodésica
		Norte	Este		
Marco M-01	Km 1,42 LD	9.628.137,081	461.750,503	39°20'39,56860"W	03°21'51,29666"S
Marco M-02	Km 6,15 LE	9.626.980,356	462.797,275	39°20'05,65898"W	03°22'28,98137"S
Marco M-03	Km 10,30 LD	9.624.765,624	462.333,108	39°20'20,72650"W	03°23'41,10662"S
Marco M-04	Km 1,65 LE	9.627.153,331	460.825,655	39°21'09,55205"W	03°22'23,32517"S
Marco M-05	Km 1,65 LE	9.627.201,296	460.962,437	39°21'05,11875"W	03°22'11,76461"S
Marco M-06	Km 4,90 LD	9.624.724,082	462.238,788	39°20'23,78373"W	03°23'42,45852"S

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

3.1.4 - Transportes de Cotas

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

Tomou-se como base a RN nº 1852T do IBGE (chapa cravada no canto SE da ponte sobre o rio MARANGUAPE 2) com cota igual a 7,00 m, a uma distância de 18,94 km do eixo da Barragem.

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

3.1.5 - Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro

O levantamento do eixo barrável foi executado com uma abrangência numa faixa de domínio de 150 metros à montante e 150 metros à jusante do referido eixo. Foram levantadas seções transversais ao eixo, com pontos cotados a cada 20 metros, de acordo com a faixa de domínio recomendada.

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

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

Foram instalados 2 marcos de concreto para facilitar uma futura relocação. O primeiro denominado de M0 foi implantado na estaca 0, localizado na ombreira esquerda com cota 34,66 m e o segundo, denominado de M1, na estaca 70 do eixo barrável, com cota 34,84 m.

O levantamento altimétrico da barragem MARANGUAPE II, foi realizado utilizando-se um nível Wild NAK-1, nº 343.367, 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 II, 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 II.

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 vãos 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, chasis giro-estabilizado, que compensa instantaneamente as eventuais inclinações da aeronave e mecanismo automático que possibilita o registro das coordenadas do centro da foto no momento da tomada.

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

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

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

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

Mapeamento Planialtimétrico

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

Para a determinação das coordenadas de cada vértice da rede de apoio básico da Barragem Maranguape II tivemos na planimetria origem no Vértice Bastiões do IBGE de latitude $03^{\circ}17'58,5465''$ S e longitude $39^{\circ}37'33,9045''$ W e altitude de 53,65 m, e chegada no Vértice SA-24-1017 do IBGE de latitude $03^{\circ}10'25,2202''$ S e longitude $39^{\circ}28'12,4563''$ e altitude de 51,69m.

Inicialmente foram implantados os vértices M-01 a M-04, posteriormente complementados com M-05 e M-06. A determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:100.000.

Para a geração dos trabalhos de aerotriangulação, as imagens foram obtidas a partir da scanerização dos negativos fotogramétricos na escala 1:15.000, com utilização de “scanner fotogramétrico” com capacidade de geração de imagens digitais com pixel de 28 microns.

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

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

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

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

3.1.7 - Levantamento das Jazidas

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

3.1.8 - Apresentação dos Estudos Topográficos

No Tomo 2 são apresentados os desenhos relativos aos estudos topográficos da bacia hidráulica, do boqueirão e do sangradouro.

3.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS

Os estudos geológicos consistiram na caracterização da geologia regional e local, além do levantamento geológico de superfície, como descritos sucintamente a seguir.

3.2.1 - Geologia Regional

3.2.2 - Geologia Local

3.2.3 - Levantamento Geológico de Superfície

3.3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS

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

3.3.1 - Investigação Geotécnica

As sondagens realizadas na Barragem Maranguape II foram executadas no eixo barrável e no sangradouro, as quais estão relacionadas no quadro 3.2. No Tomo 2 do Anteprojeto, é mostrada a planta de locação dos furos de sondagem.

Quadro 3.2: Sondagem à Percussão e Mista – Barragem e Sangradouro

SONDAGEM Nº	ESTACA	LOCAL
SM – 01	09	Eixo – Sangradouro a 20m para lado de jusante
SM – 02	09	Eixo – Sangradouro
SM – 03	09	Eixo – Sangradouro a 20m para lado de montante
SM – 04	08	Eixo – Sangradouro a 20m para lado de jusante
SM – 05	08	Eixo – Sangradouro
SM – 06	08	Eixo – Sangradouro a 20m para lado de montante
SM – 07	07	Eixo – Sangradouro a 20m para lado de jusante
SM – 08	07	Eixo – Sangradouro

Quadro 3.2: Sondagem à Percussão e Mista – Barragem e Sangradouro

SONDAGEM Nº	ESTACA	LOCAL
SM – 09	07	Eixo – Sangradouro 20m para lado de montante
SM – 10	06	Eixo – Sangradouro 20m para lado de jusante
SM – 11	06	Eixo – Sangradouro
SM – 12	06	Eixo – Sangradouro 20m para lado de montante
SM – 14	05	Eixo – Barragem
SM – 17	09	Eixo – Barragem
SM – 20	12	Eixo – Barragem
SM – 23	17	Eixo – Barragem
SM – 26	21	Eixo – Barragem
SM – 29	25	Eixo – Barragem
SP – 13	05	Eixo – Barragem 40m para lado de jusante
SP – 15	05	Eixo – Barragem 40m para lado de montante
SP – 16	09	Eixo – Barragem 40m para lado de jusante
SP – 18	09	Eixo – Barragem 40m para lado de montante
SP – 19	13	Eixo – Barragem 40m para lado de jusante
SP – 21	13	Eixo – Barragem 40m para lado de montante
SP – 22	17	Eixo – Barragem 40m para lado de jusante
SP – 24	17	Eixo – Barragem 40m para lado de montante
SP – 25	21	Eixo – Barragem 40m para lado de jusante
SP – 27	21	Eixo – Barragem 40m para lado de montante

Quadro 3.2: Sondagem à Percussão e Mista – Barragem e Sangradouro

SONDAGEM Nº	ESTACA	LOCAL
SP – 28	21	Eixo – Barragem 40m para lado de jusante
SP – 30	25	Eixo – Barragem 40 m para lado de montante

3.3.1.1 - 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.

3.3.1.2 - Apresentação dos Resultados da Investigação Geotécnica

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

Os resultados das investigações geotécnicas são apresentados no Volume I, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos, sob a forma de perfis individuais.

A partir dos boletins de sondagem elaborou-se o perfil geotécnico das camadas do subsolo, mostrado no Tomo 2 do Anteprojeto.

3.3.2 - 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. No Tomo 2 do Anteprojeto mostra a locação de todas as ocorrências.

3.3.2.1 - Jazida

Foram identificadas duas jazidas de material terroso para a construção da barragem, denominadas de J-01 e J-02. No Tomo 2 do Anteprojeto é apresentada a localização da jazida.

No Quadro 3.3 é apresentado a características da jazida.

Quadro 3.3: Característica das Jazidas de Solo		
Características	Jazida J-01	Jazida J-02
ÁREA (m ²)	275.000	40.000
VOLUME ÚTIL (m ³)	319.000	32.000
VEGETAÇÃO	Mata rala e rasteira	Mata rala e rasteira
PROPRIEDADE	D Julieta Diógenes Sirino Nogueira	D Julieta Diógenes Sirino Nogueira
ESPESSURA MÉDIA DE EXPURGO (m)	0,10	0,10
QUANTIDADE DE FUROS	51	12
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. Nesses furos foram coletadas amostras, as quais foram enviadas ao laboratório e submetidas a ensaios geotécnicos.

Os ensaios de laboratório foram os seguintes:

- Granulometria por Peneiramento.
- Granulometria por Sedimentação
- Limite de Liquidez.
- Limite de Plasticidade.

- Compactação – Proctor Normal.
- Permeabilidade de Carga Variável
- Cisalhamento Direto Lento

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

Quadro 3.4: Valores Médios dos Ensaio de Laboratório – Jazidas de Solo												
Ensaio de Caracterização												
GRANULOMETRIA (% QUE PASSA)								PLASTICIDADE (%)		USC	COMPACTAÇÃO	
JAZIDA	2”	1”	3/8”	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP		Hot	$\gamma_{\text{máx}}$ (g/cm³)
J-01	100	100	97	88	80	64	35	*	*	*	*	*
J-02	100	100	96	91	86	72	42	*	*	*	*	*

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

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

Quadro 3.5: Ensaio Geotécnicos Especiais – Jazidas de Solo				
Jazida	Furo	Profundidade	Coesão (kgf/cm²)	Atrito (°)
J-01	03	0,10 – 1,90	0,10	32,7
J-01	19	0,10 – 0,90	0,07	34,7
J-01	38	0,10 – 1,70	0,10	33,1
J-01	46	0,10 – 0,80	0,15	32,3

3.3.2.2 - Areal

Foi identificado um único areal para a construção da barragem, denominado de A-01. No Tomo 2 do Anteprojeto é apresentada a localização do areal. O areal A-01 está localizado no Rio Sapupara.

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)											Dmáx	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)
2	$5,2 \times 10^{-3}$
4	$5,4 \times 10^{-3}$
5	$5,2 \times 10^{-3}$
6	$5,1 \times 10^{-3}$
9	$5,9 \times 10^{-3}$

3.3.2.3 - PEDREIRA

Foi identificada uma pedra para a construção da barragem, denominada de P-01. No Tomo 2 do Anteprojeto é apresentada a localização da pedra.

No Quadro 3.8 é apresentada a característica da pedra.

Quadro 3.8: Característica da Pedreira	
Característica	Pedreira P-01
ÁREA (m ²)	150m X 200m (30.000m ²)
VOLUME ÚTIL (m ³)	60.000
PROPRIETÁRIO	D Julieta Diógenes Sirino Nogueira
VEGETAÇÃO	Densa

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

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

Quadro 3.9: Ensaios de Desgaste Los Angeles	
Amostra Nº	Los Angeles
1	30%
2	28%
3	31%
Média	30%

3.4 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os Estudos Hidrológicos do Açude Maranguape II 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.

3.4.1 - Caracterização Física da Bacia Hidrográfica

A bacia do Açude Maranguape II abrange uma área de 18,5 km², um perímetro de 18,31km, uma declividade de 28,15 m/km e um comprimento do curso principal de 4,65km. 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.

3.4.1.1 - Índice 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 II, tem-se que $A=18,5 \text{ km}^2$, $P=18,31 \text{ km}$ e $L=4,65 \text{ km}$, o que resulta em um fator de forma (k_f) de 0,85 e um fator de compacidade (k_c) de 1,20.

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 II é relativamente próximo a 1, o que indica uma bacia propensa a enchentes rápidas, se comparada com bacias semelhantes com forma mais alongada.

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

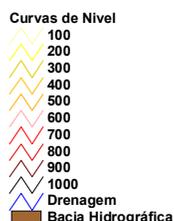
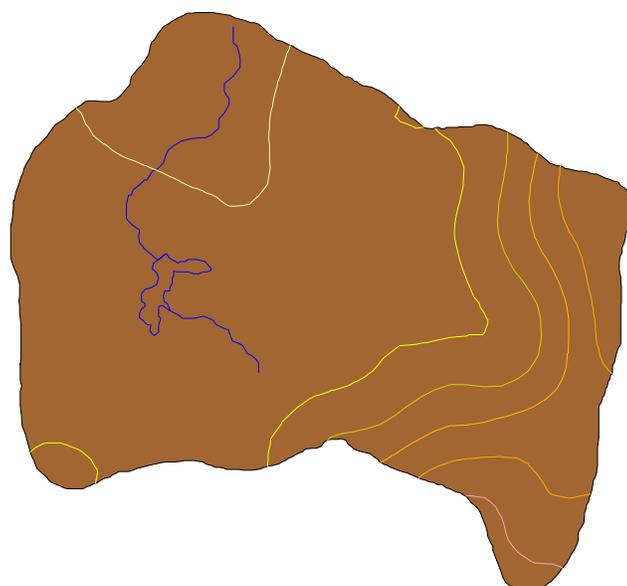


Figura 3.1. Bacia do Açude Maranguape II.

3.4.1.2 - 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 II tem predominantemente solos Bruno não Cálcico e Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico (NC8 e PE3, respectivamente. Ver

Figura 3.2), , o que, associado com o relevo da bacia, resulta em solos com baixa capacidade de drenagem (Figura 3.3). A vegetação predominante é a Caatinga Arbustiva Densa e a Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial – Mata Seca (Figura 3.4) e o principal uso é a Agricultura – [culturas anuais, temporárias e permanentes] e [Horticultura e remanescentes florestais] (Figura 3.5).

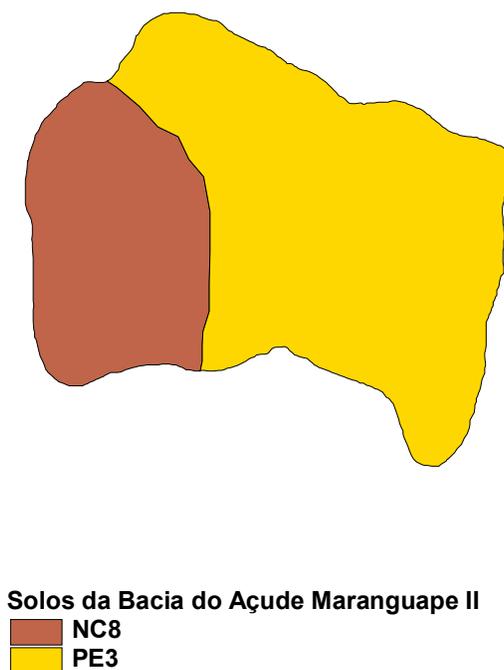


Figura 3.2. Solos da Bacia do Açude Maranguape II (Fonte: FUNCEME).

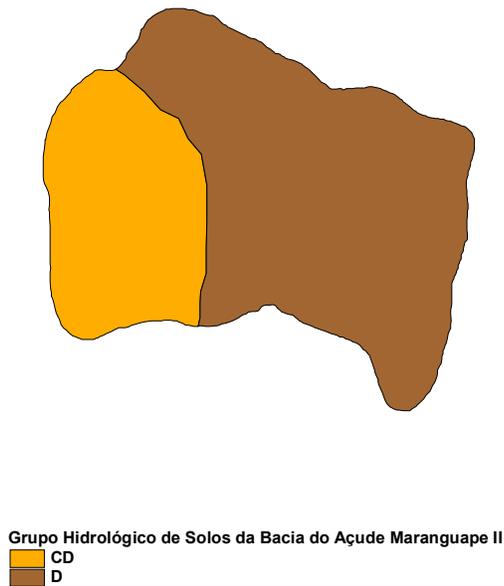
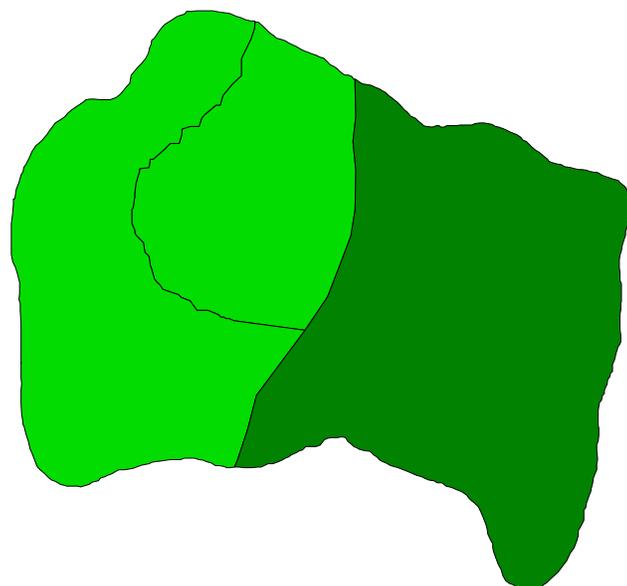


Figura 3.3. Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia do Açude Maranguape II (Fonte: FUNCEME).



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



Uso do Solo da Bacia do Açude Maranguape II
■ Agricultura (Horticultura) e Remanescentes Florestais
■ Agricultura (Culturas Anuais, Temporárias e Permanentes)

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

3.4.2 - ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

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

A bacia hidrográfica estudada drena uma área de 18,50 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:

¹INEMET, 1991. INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS.

Temperatura

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

A temperatura compensada apresenta uma pequena variação de 1,6 °C, isso para os meses de julho (25,7 °C), dezembro e janeiro (27,3 °C). As médias máximas e mínimas extremas ocorrem respectivamente nos meses de novembro e dezembro (30,7 °C) e Junho (22,1 °C), conforme se observa no Quadro 2.1 e Figura 2.1.

Quadro 2.1 - 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

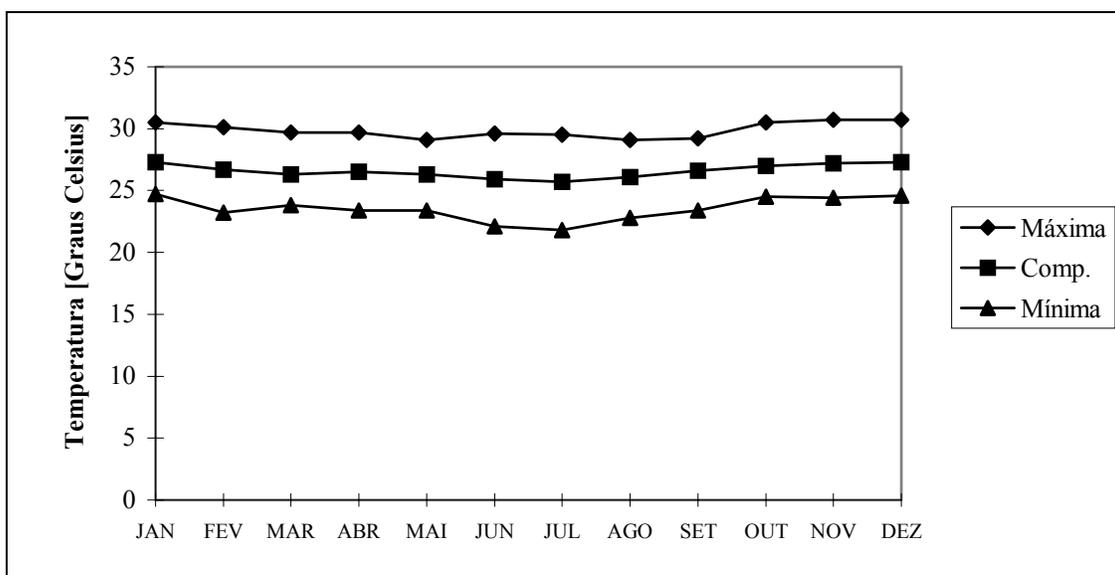


Figura 2.1-Temperaturas Máximas, Mínimas e Médias Compensadas na estação de Fortaleza

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 2.2 e Figura 2.2.

Quadro 2.2 - 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

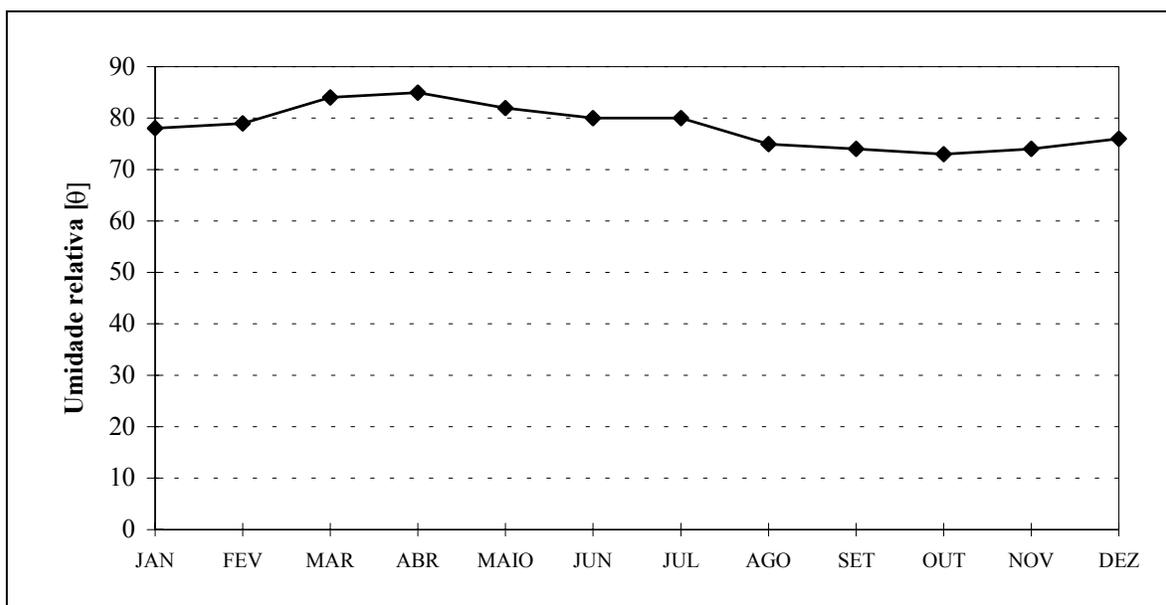


Figura 2.2 - Umidade Relativa na estação de Fortaleza

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 2.3 e a Figura 2.3 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 2.3 - 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

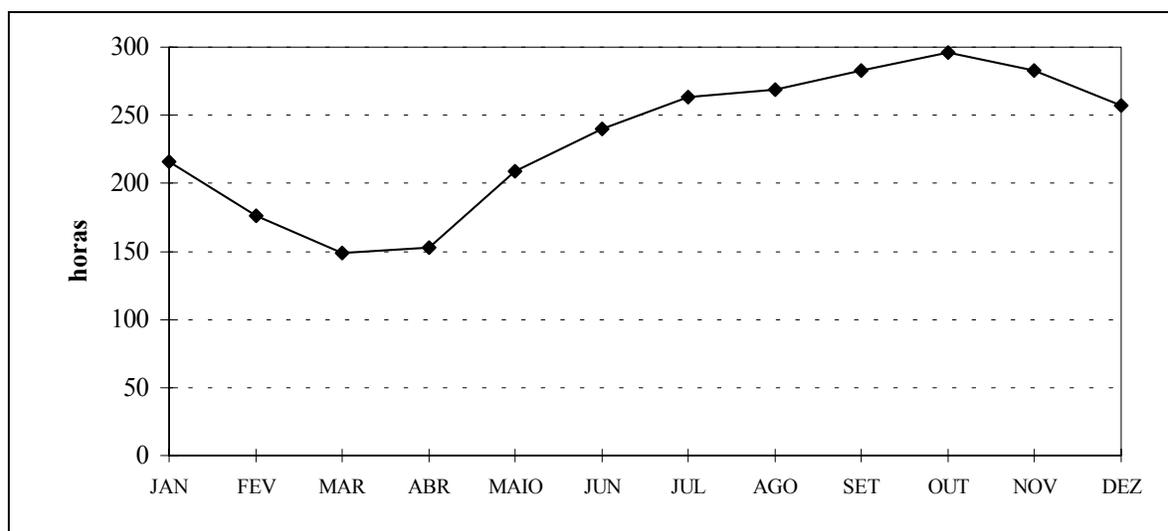


Figura 2.3-Insolação Média na estação de Fortaleza

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 descrita no Quadro 2.4. Esta região a direção reinante dos ventos está dentro do quadrante Sudeste/Leste.

Quadro 2.4 - 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 2.5 e Figura 2.4

Quadro 2.5 - 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 4.6 para K_a , em função da superfície do espelho.

Quadro 4.6 - 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

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

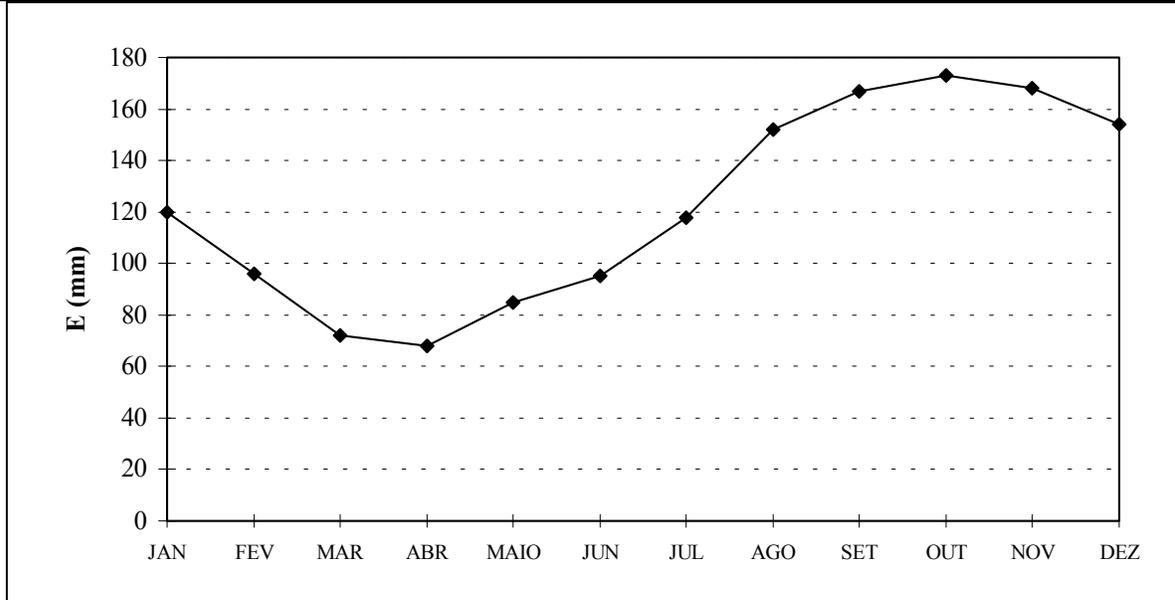


Figura 4.4 - Evaporação Média na estação de Fortaleza

Evapotranspiração

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

$$ETP = F.(100,0-U)^{1/2}.0,158.(32+1,8T)$$

F - Fator dependente da latitude (adimensional)

T - Temperatura média compensada em °C

U - Umidade relativa do ar (%)

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

Quadro 4.7 - 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	110,0	105,9	111,2	135,2	145,1	159,5	151,7	149,4	1563,1

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

Balanço Hídrico

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

Aplicando-se a metodologia do balanço hídrico para a bacia em questão, supondo-se uma capacidade de armazenamento de 100 mm (PERH, 1990)⁷, obtém-se o Quadro 4.8.

Quadro 4.8 - Balanço Hídrico segundo Thornthwaite e Mather

Mês	P mm	ETP mm	P-ETP mm	Neg mm	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	111,6	146,0	-34,40	0,00	0,00	0,00	111,60	34,40	0,00
Fev	197,3	125,0	72,30	32,00	72,30	72,30	125,00	0,00	0,00
Mar	323,2	128,0	195,20	0,00	100,00	27,70	128,00	0,00	167,50
Abr	304,9	116,0	188,90	0,00	100,00	0,00	116,00	0,00	188,90
Mai	194,4	117,0	77,40	0,00	100,00	0,00	117,00	0,00	77,40
Jun	102,2	111,0	-8,80	8,80	92,00	-8,00	110,20	0,80	0,00
Jul	42,8	124,0	-81,20	90,00	40,00	-52,00	94,80	29,20	0,00

⁷PERH, 1990. PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ.

Quadro 4.8 - 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
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

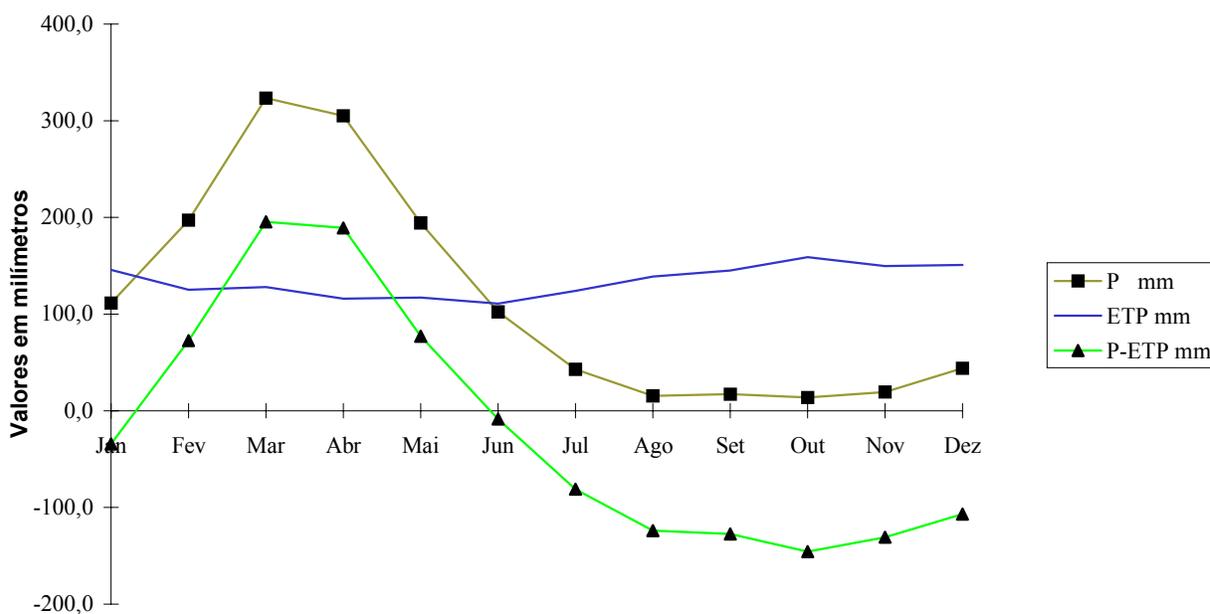


Figura 4.5 - Balanço Hídrico

Classificação do Clima

A classificação do clima da bacia de Maranguape II está apresentada a seguir:

- Classificação segundo Köeppen

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

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

- Classificação segundo Thornthwaite

Segundo esta classificação, além da característica pluviométrica e térmica, a evapotranspiração potencial é também considerada elemento determinante do clima. Como forma de auxiliar na 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 4.8).

- 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 4.8).

- Índice efetivo de umidade:

Este índice reflete o excesso ou déficit de água ao longo do ano, apresentando um valor igual a 2 (Quadro 4.8).

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').

3.4.3 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

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

Um posto foi utilizado neste estudo, o mais próximo da área de interesse que possui uma bacia hidrográfica com 18,50km², além de estar em uma altitude que representa melhor as características da área de estudo. Na estimativa dos dois vetores regionais, um a nível anual e o outro a nível mensal, foram utilizados postos reunidos nos denominados grupos regionais, (PERH, 1990), por apresentarem médias dos totais anuais mais próximas, além de estarem localizados em regiões de pouca variação de altitude.

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

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

O Quadro 5.1 mostra os postos pluviométricos que foram utilizados neste estudo e que compõem o grupo regional PACOTI. Foram utilizados dados até 1988, pois estes foram consistidos por ocasião do Plano Estadual de Recursos Hídricos (1992).

Quadro 5.1 - Postos utilizados consistidos 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 (1990)

3.4.3.1 - Caracterização do Regime Pluviométrico

O regime pluviométrico foi caracterizado em nível anual, em nível mensal, em nível diário e em chuvas intensas, com descritos a seguir.

Nível Anual

As isoietas, linhas de mesma precipitação média, e iso-cv's (coeficientes de variação) estão apresentadas nas Figuras 5.1 e 5.2, que mostram a região norte do Estado e onde se encontra a área do estudo. A área de estudo 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 postos 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 5.2 resume esta análise de freqüência.

Quadro 5.2 - 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

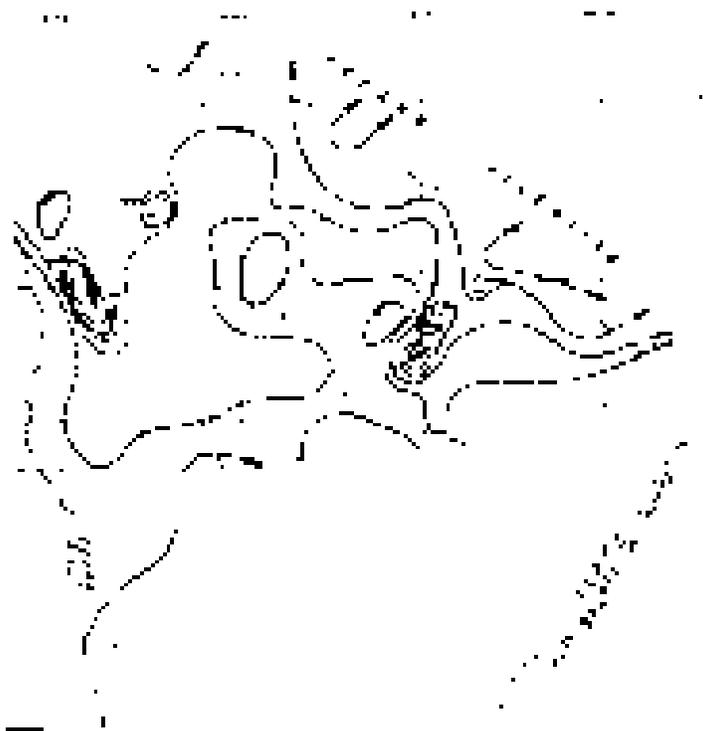


Figura 5.1 – Isoietas



Figura 5.2 – 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 5.3 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que no Quadro 5.4 apresenta-se um resumo da análise de frequência utilizando a série de totais mensais para o mês mais chuvoso no posto considerado. Os períodos de retorno utilizados variam de 10 a 10000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Pearson III.

Quadro 5.3 - 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 5.4 - 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, 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 a ocorrência de até vinte dias chuvosos no mês não é incomum.

Na análise hidrológica de prováveis obras hidráulicas, os eventos de alta freqüência 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 freqüências observadas. Depois de comparar diversas distribuições, foi escolhida a Pearson III, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no Quadro 5.5.

Quadro 5.5 - Análise de Freqüência-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-freqüência pluviométrica.

Na área em estudo inexistem registros pluviográficos, 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, estabelece-se uma equação que relaciona intensidade, duração e freqüência 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.

A desagregação da chuva de 24 horas em chuvas de menores durações consiste nas seguintes etapas de cálculo descritas a seguir:

1. multiplicar a chuva de um dia por 1,10 para obter-se a chuva pontual de 24 horas;
2. determinar a isozona onde está localizado o centro de gravidade da bacia hidrográfica - isozona C para a área em estudo (Figura 5.3);
3. estimar, para os diversos períodos de retorno, a chuva de 1 hora de duração a partir da chuva de 24 horas, através da multiplicação pelo fator R1h;

4. plotar os valores P24h e P1h em papel probabilístico para obtenção de chuvas de durações intermediárias.

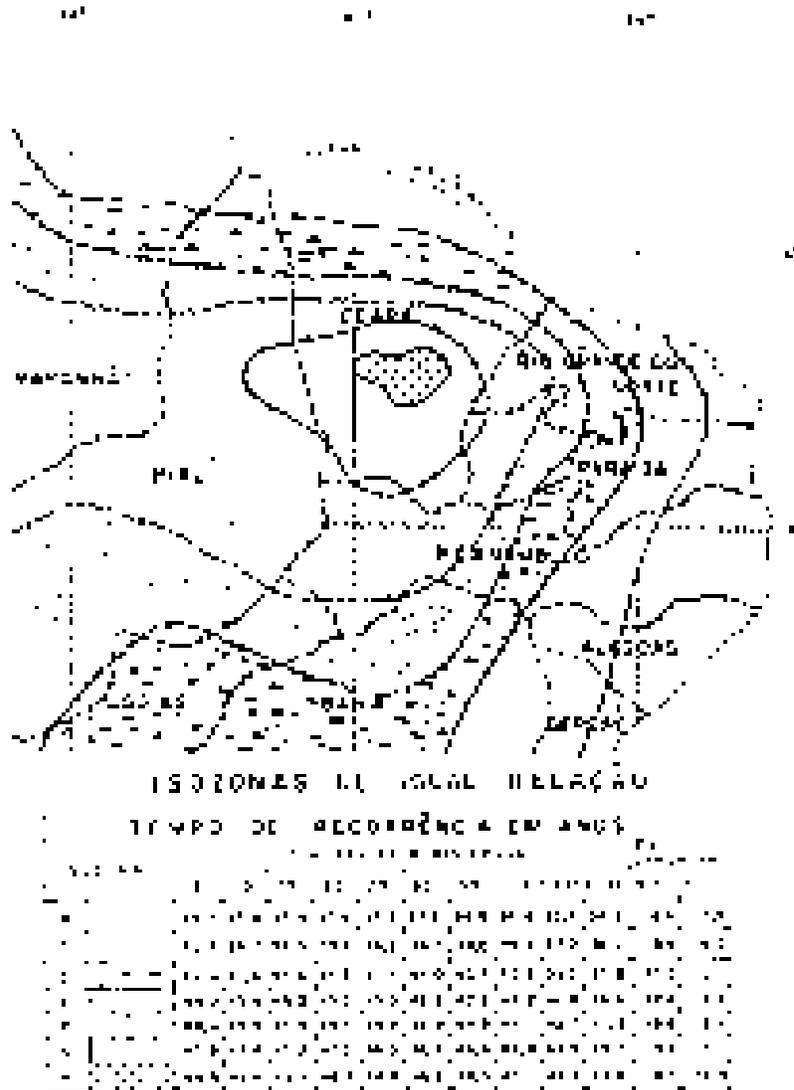


Figura 5.3 – Método das Isozonas de Taboara

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 5.4 mostra as curvas intensidade-duração-freqüência para diferentes tempos de retorno.

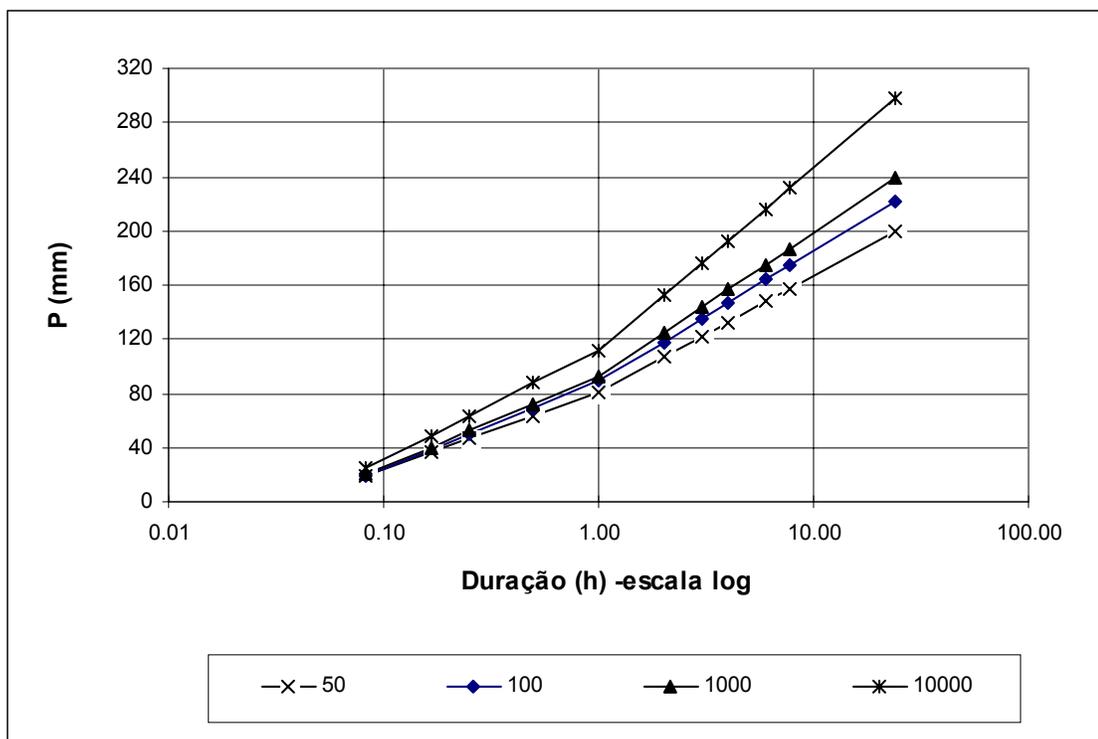


Figura 5.4 - Curvas Intensidade-Duração-Frequência

3.4.3.2 - ESTUDO DE CHEIAS

O estudo da cheia da Barragem Maranguape II para o dimensionamento do sangradouro foi determinado a partir do hidrograma baseado em precipitações associadas a um risco ou probabilidade de ocorrência.

Foram calculadas aqui as cheias de projeto de 1000 e 10000 anos. O intervalo de computação dos hidrogramas de cheia foi de 1 minuto.

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 hidrograma 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 II 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 hietogramas de projeto correspondentes 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 II 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*);

Precipitação

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

O hietograma adotado baseia-se nas curvas altura-duração-freqüência obtidas através do método de Taborga, no capítulo 5. Na Figura 6.1 apresenta a curva intensidade-duração-freqüência para a bacia de estudo. Como a área da bacia é da ordem de 19 km² para ambas opções de eixo analisadas, foi utilizada a chuva pontual, não sendo realizado nenhum ajuste para correção de área.

Quadro 6.1 - 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

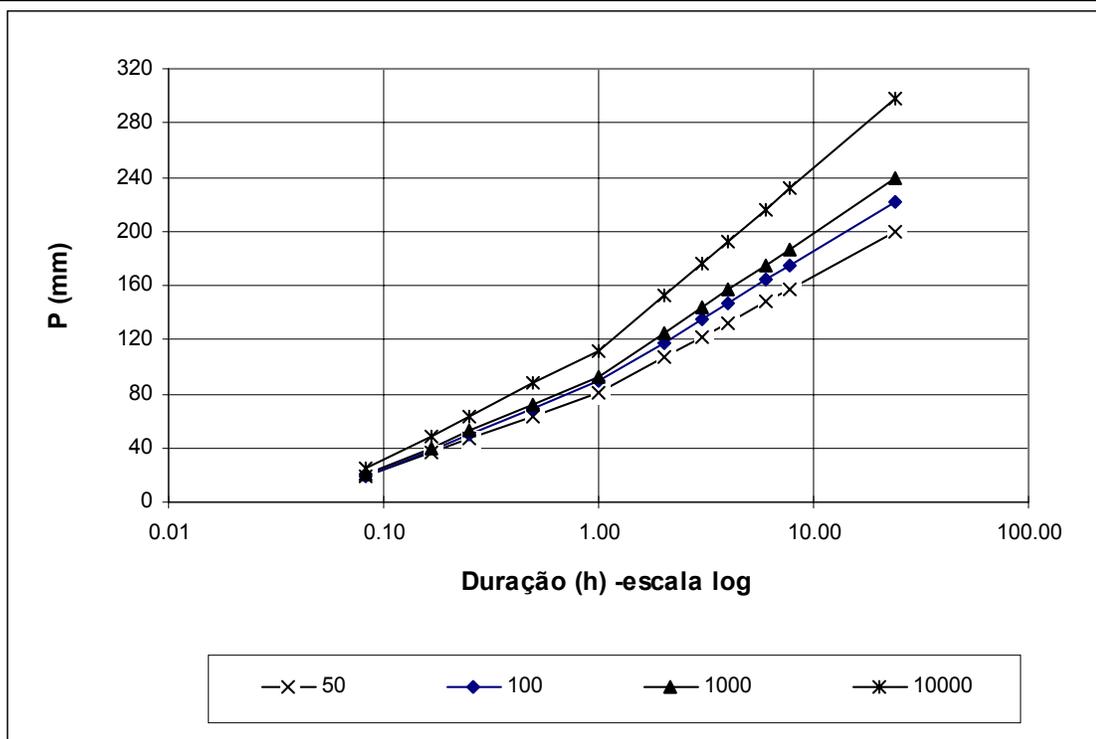


Figura 6.1 – Curvas intensidade-duração-freqüência

O HEC-1 utiliza os dados da curva intensidade-duração-freqüência para construir uma distribuição triangular da precipitação, onde é assumido que cada total precipitado para qualquer duração ocorre durante a parte central da tempestade (tempestade balanceada). Alturas correspondentes a 10 e 30 minutos são interpoladas das alturas precipitadas de 5, 15 e 60 minutos.

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 II foi adotado um CN = 70 com base nos mapas de solo (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevo contidos no PERH (1990).

As perdas antes do início do escoamento (I_a) incluem água retida em depressões superficiais, água interceptada pela vegetação, evaporação, e infiltração. I_a é altamente variado.

O CN foi tabelado para diferentes tipos de solos e cobertura, sendo estes valores tabelados apresentados para condições de umidade antecedente normal (AMC II).

Alternativamente, os CNs para estas condições podem ser obtidos, a partir da condição normal (AMC II), utilizando-se tabelas.

Como já mencionado, o CN foi tabelado para diferentes tipos de solos, os quais foram classificados pelo SCS em quatro grupos de solos hidrológicos (A, B, C e D) de acordo com sua taxa de infiltração. Estes quatro grupos são descritos a seguir:

- A - solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. solos arenosos profundos com pouco silte e argilla.
- B - solos menos permeáveis que o anterior, solos arenosos menos profundo que o do tipo a e com permeabilidade superior à média.
- C - solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.
- D - solos contendo argilas expansivas, pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

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.

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.

Uma vez determinados estes parâmetros e o intervalo de cálculo (duração do hidrograma unitário), o HEC-1 utiliza estes para interpolar um hidrograma unitário a partir de um hidrograma unitário adimensional do SCS. A seleção do intervalo de cálculo é baseado na relação $\Delta t = 0.20 t_p$, não devendo exceder $0.25 t_p$.

A Figura 6.1 abaixo apresenta o hidrograma de projeto e o hidrograma afluente a barragem Maranguape II obtido através do uso do modelo HEC, conforme metodologia acima. A vazão de pico do hidrograma de 1000 anos de tempo de retorno foi 378 m³/s. Para o tempo de retorno de 10000 anos foi obtida uma vazão de pico de 500 m³/s (Figura 6.2).

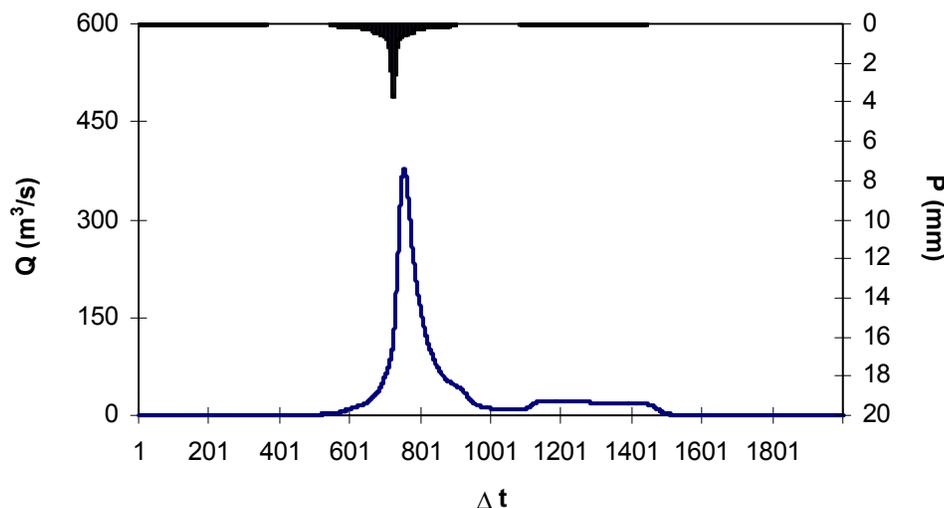


Figura 6.1 - Hidrograma total afluente ao Maranguape II (Tr = 1000 anos).

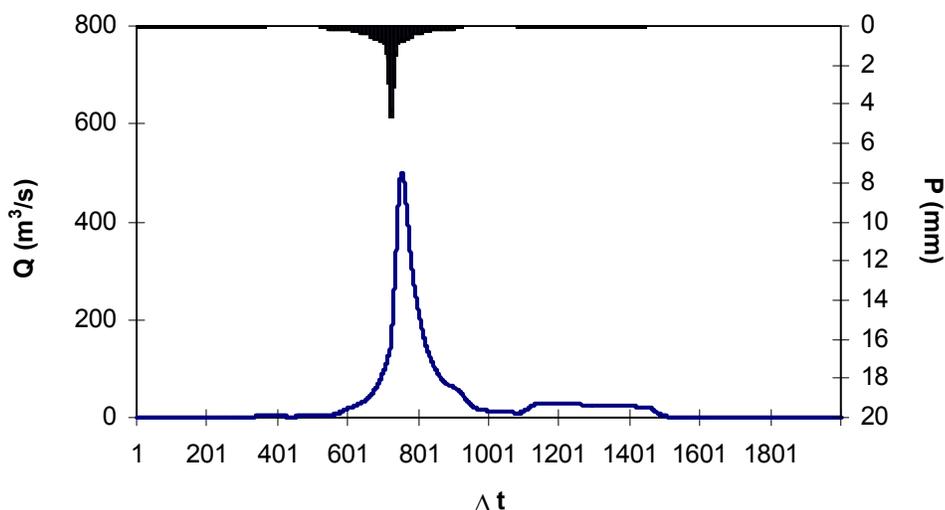


Figura 6.2 - Hidrograma total afluente ao Maranguape II (Tr = 10000 anos).

3.4.3.3 - 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 justifiquem os investimentos a serem realizados. Em termos hidrológicos, os objetivos centrais são:

1. análise incremental do ganho em volume regularizado em relação ao aumento da capacidade para a Barragem Maranguape II;
2. estimativa das perdas por evaporação e sangria da Barragem Maranguape II;

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 foram utilizados dois métodos, a saber:

1. Solução direta da equação de balanço hídrico;
2. Diagrama Triangular de Regularização.

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

- lâmina média escoada: 322 mm

- volume afluente médio escoado (μ): 5.957 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,

$$E_L = 0.80 \cdot (80.5 + 100.6 + 129.0 + 142.6 + 147.5 + 42.9 + 131.2)$$

$$= 743.1 \text{ mm (Evaporação na estação seca)}$$

$$\alpha = 1884.1$$

$$f_E = 3\alpha^{1/3} E_L / \mu^{1/3} = 0.15$$

No Quadro 7.1 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 7.1 apresenta as curvas de regulação para o reservatório Maranguape II, que nada mais é que o gráfico dos valores apresentados no Quadro 7.1.

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)
88	2.082	0.35	19.79	1.194	4.79	0.289	75.42	4.549	-----	0.039	1.239
90	3.879	0.65	29.55	1.781	7.68	0.463	62.77	3.784	0.334	0.058	1.840
92	6.236	1.05	41.26	2.486	10.43	0.629	48.31	2.911	0.317	0.082	2.587
94	9.148	1.54	50.20	3.024	13.47	0.811	36.33	2.188	0.195	0.100	3.156
95	10.862	1.82	54.13	3.260	15.03	0.905	30.84	1.858	0.146	0.108	3.405
96	12.720	2.14	57.94	3.488	16.43	0.989	25.64	1.544	0.133	0.116	3.653
97	14.701	2.47	60.75	3.656	17.87	1.076	21.38	1.286	0.091	0.122	3.833
98	16.781	2.82	62.68	3.772	19.31	1.162	18.01	1.084	0.058	0.125	3.954
99	18.962	3.18	64.65	3.892	20.56	1.238	14.79	0.890	0.060	0.130	4.086
100	21.256	3.57	66.09	3.978	21.86	1.316	12.06	0.726	0.040	0.133	4.179
101	23.655	3.97	67.34	4.053	23.03	1.386	9.62	0.579	0.035	0.135	4.262
102	26.143	4.39	68.17	4.102	24.19	1.456	7.64	0.459	0.018	0.137	4.307
103	28.761	4.83	69.15	4.160	25.06	1.507	5.79	0.348	0.024	0.139	4.369
104	31.510	5.29	69.93	4.205	25.77	1.549	4.30	0.258	0.019	0.140	4.421
105	34.343	5.77	70.44	4.234	26.36	1.584	3.20	0.192	0.012	0.141	4.454
106	37.267	6.26	70.69	4.248	26.98	1.621	2.34	0.140	0.004	0.142	4.465
107	40.373	6.78	71.00	4.266	27.44	1.649	1.56	0.094	0.007	0.142	4.486
108	43.674	7.33	71.24	4.282	27.77	1.669	0.98	0.059	0.005	0.143	4.501
109	47.086	7.90	71.32	4.286	28.06	1.686	0.62	0.038	0.001	0.143	4.505
110	50.591	8.49	71.38	4.290	28.22	1.696	0.40	0.024	0.001	0.143	4.510

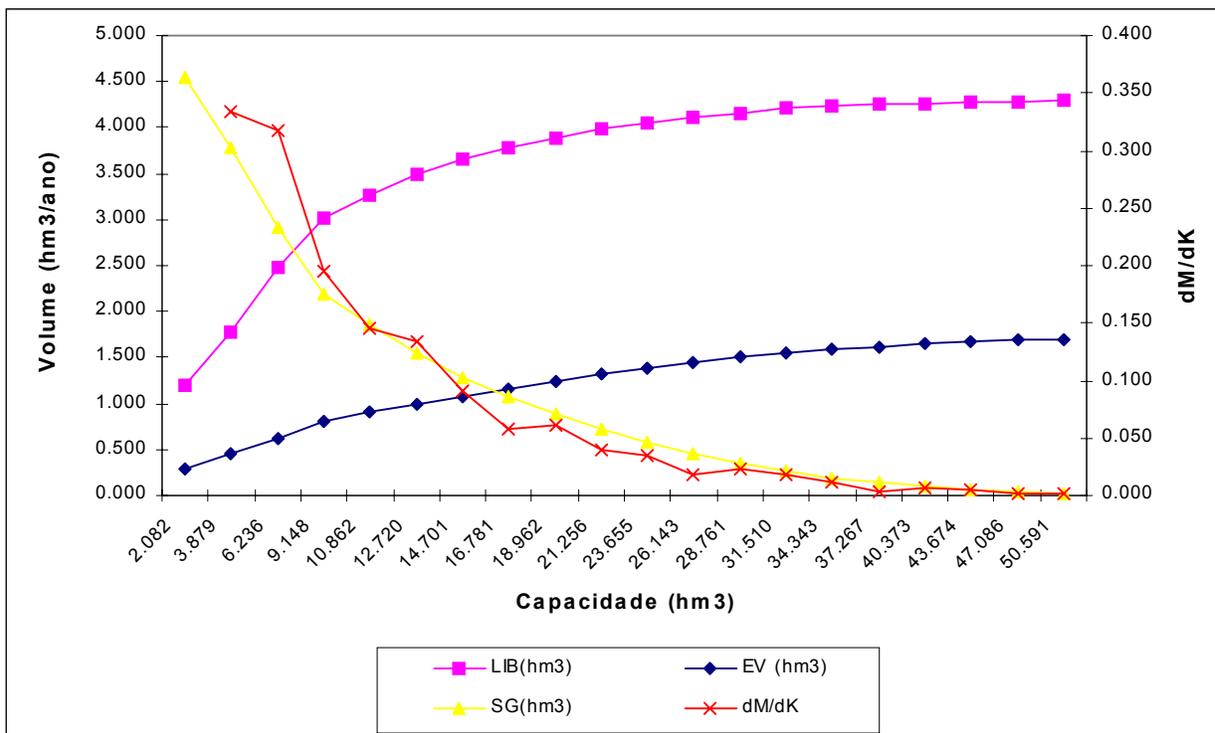


Figura 7.1 - Curvas de Regulação do Reservatório Maranguape II

A Figura 7.1 e os dados apresentados no Quadro 7.1 sugerem que a partir da cota 94 m (volume em torno de 9,148 hm³) os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento não são significativos. Para esta capacidade o reservatório regulariza 50,2% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, 3,024hm³/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de 0.100m³/s. O Quadro 7.2 mostra como o volume afluente ao reservatório distribui-se em volume regularizado (RG), volume evaporado (EV) e volume sangrado (SG).

Quadro 7.2 - Distribuição do volume afluente e Qr (90%) para o Res. Maranguape II			
Equação do Balanço Hídrico			
RG - %	SG - %	EV- %	Qr 90% (m3/s)
3.024 – 50.2%	2.188 – 36.33%	0.811 – 13.47%	0.100

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)

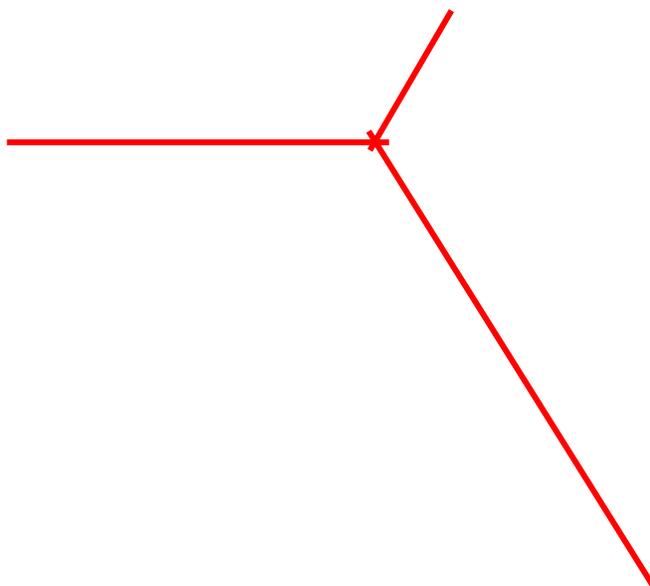


Figura 7.2 – Diagrama Triangular de Regularização aplicado a Barragem de Maranguape II.

3.4.3.4 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO

O capítulo 7 demonstrou que faixa de volumes estudada abrange o que teoricamente seria o hidrológicamente possível, fato este refletido pela ampla gama do fator de capacidade (f_K). Considera-se que o dimensionamento sugerido na cota 94m está próximo do ótimo em termos de aproveitamento da potencialidade hídrica da bacia hidrográfica, sendo limitada a seleção da cota do coroamento por questões econômicas e construtivas. Dito isso, a escolha do volume em torno de 9.148 hm^3 ($f_K = 1.54$) pelas condições físicas do local, correspondente a cota coroamento = 97,5 m. Para esta capacidade o reservatório regulariza cerca de 50,2% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, $3,024 \text{ hm}^3/\text{ano}$, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de $0,100 \text{ m}^3/\text{s}$.

Análise econômica

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

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

A análise dos resultados da Figura 8.1 mostra que:

- o custo anual do m^3 regularizado variou entre R\$0.0467 (cota 97 m) e R\$0.0486 (cota 92 m).
- o custo anual do m^3 de acumulação variou entre R\$ 0,0094 (cota 97) a R\$ 0,0152 (cota 92).

Escolha da capacidade do reservatório – Análise hidrológico-econômica

Apesar de tanto o custo anual do m^3 regularizado como também de custo anual do m^3 acumulado ter uma tendência negativa, quando variamos a cota de soleira entre 92 e 97 m, o aumento do custo relativo é pequeno. Assim, considerando os aspectos construtivos, hidrológico e econômicos sugere-se a adoção da cota de soleira = 94 m (volume de armazenamento = 9,148 hm^3).

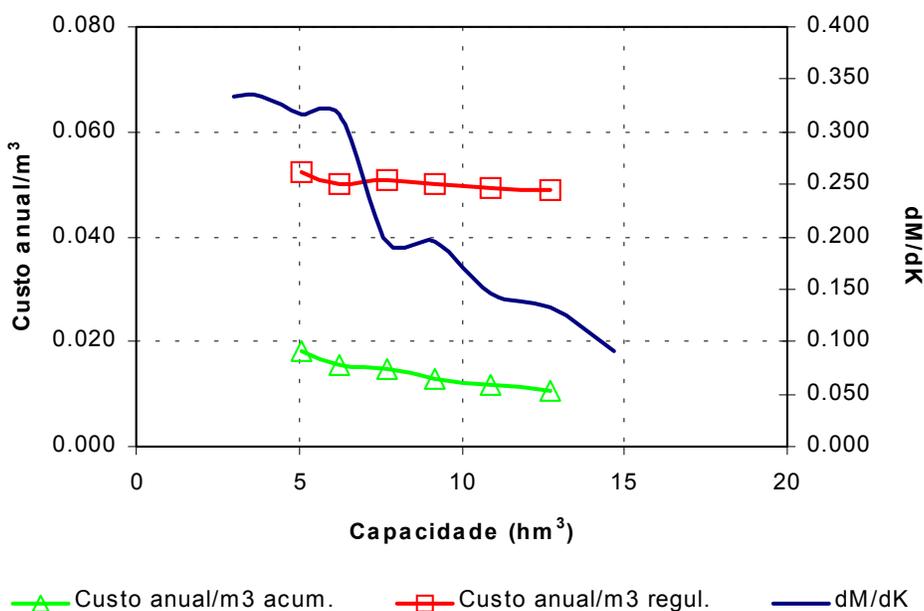


Figura 8.1. Análise hidrológico-econômica para seleção da capacidade da barragem Maranguape II.

3.4.3.5 - 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.

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.

Uma vez escolhida a dimensão do açude (cota=94 m) e a seção 4, elaborou-se o estudo 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.

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 9.1, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A Figura 9.1 abaixo mostra o hidrograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Maranguape II correspondente ao tempo de retorno $T_r=1000$ anos para as duas alternativas de vertedouros: escavado em rocha (verde) e em perfil Creager (vermelho). Os resultados correspondentes para o tempo de retorno de 10.000 anos podem ser visualizados na Figura 9.2.

Quadro 9.1 - Resultado da simulação acima descrita			
Cota (m)	Cota de pico (m)	Lâmina (m)	Q_{out} (m^3/s)
Tr = 1.000 anos - $Q_{in} = 378 m^3/s$			
Escavado em rocha: L = 90 m			
94	94.79	0.79	92.0
Perfil Creager: L = 60 m			
94	94.79	0.79	90.0
Tr = 10.000 anos - $Q_{in} = 500,0 m^3/s$			
Escavado em rocha: L = 90 m			
94	95.04	1.04	137.0
Perfil Creager: L = 60 m			
94	95.04	1.04	135.0

L = Largura do sangradouro

Q_{in} = Vazão afluyente ao reservatório

Z_w = cota da soleira do sangradouro

Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

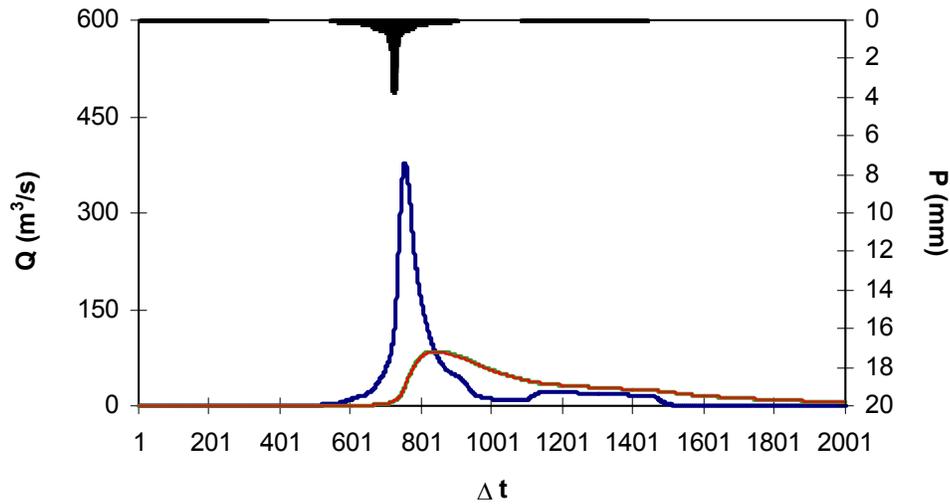


Figura 9.1 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Maranguape II (Tr=1.000 anos). Escavado em Rocha (verde) e em Perfil Creager (vermelho).

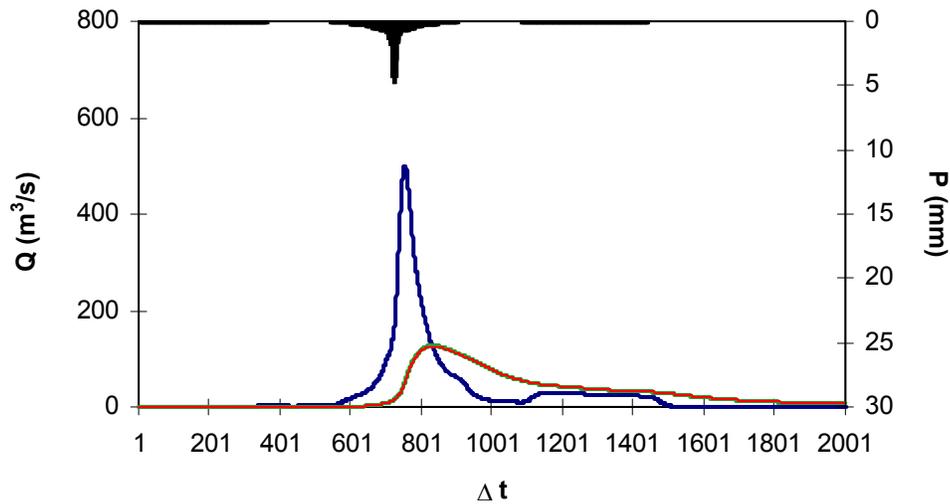


Figura 9.2 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Maranguape II (Tr=10.000 anos). Escavado em Rocha (verde) e em Perfil Creager (vermelho).

3.4.3.6 - ESTUDOS ADICIONAIS

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

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.)

Também foi realizada a análise probabilística de esvaziamento e de enchimento na fase de equilíbrio. A última análise mostra que, no equilíbrio, em cerca de 45% dos anos ocorre sangria para uma retirada anual de 3 hm³. A Figura 10.1 apresenta as duas curvas probabilísticas de esvaziamento e enchimento. Nesta Figura pode-se observar que para uma retirada igual a 3 hm³/ano tem-se uma probabilidade de esvaziamento na fase de equilíbrio próximo de 10%, o que implica em uma garantia de 90%.

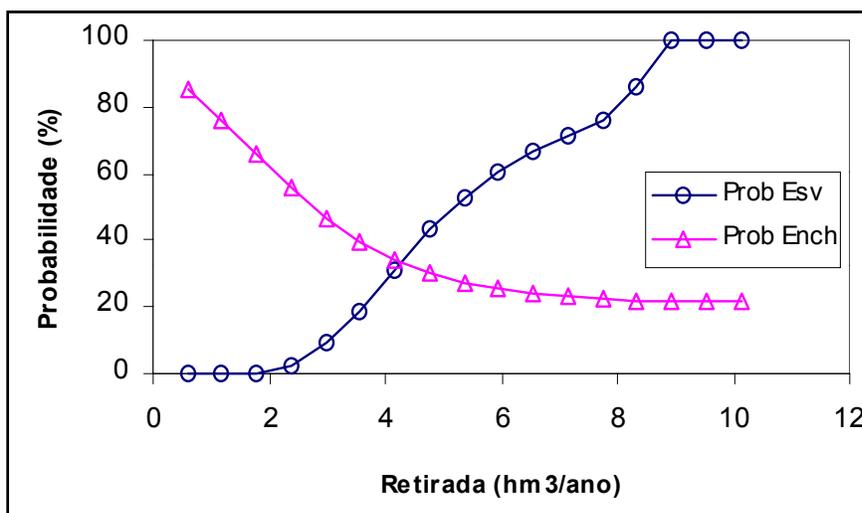


Figura 10.1. Probabilidades de esvaziamento e enchimento do açude Maranguape II.

Assoreamento do açude Maranguape II

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 a 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 10% de Argila, 11% de Silte e 79% 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 (hm³): 5.957
- Área 18.5 km²
- Composição média dos sedimentos:

Argila	Silte	Areia	% total
17	13	70	100
- Peso específico aparente inicial - gamai (t/m³): 1.331
- Coeficiente de consolidação médio - K : 0.0266
- Descarga sólida média (t/ano): 12696
- Descarga sólida média específica (t/km²/ano): 686.3
- Razão de transporte ("delivery ratio") – T 0.199
- Precipitação do mês mais chuvoso (mm): 323.2
- Precipitação média anual (mm): 1386

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 II foi simulado durante 100 anos com Δt igual a 10 anos. O Quadro 10.1 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 8,243 hm³, havendo uma redução de 9,89% no volume útil do açude Maranguape II, o qual era

inicialmente de 9,148 hm³. Deve-se ressaltar, entretanto, que a aplicabilidade desta metodologia ao semi-árido não foi verificada face à inexistência de registros de dados sedimentológicos.

Quadro 10.1 - Simulação do assoreamento do reservatório ao longo do tempo

Período Parcial (anos)		Volume inicial (hm ³)	Volume/ μ	Er	γ_T (t/m ³)	Sedimento Período (10 ³ t)	Sedimento Acumulado (hm ³)	Volume Efetivo ou útil (hm ³)
0	10	9.148	1.536	0.973	1.349	123.5	0.092	9.056
10	20	9.056	1.520	0.973	1.356	123.5	0.183	8.965
20	30	8.965	1.505	0.973	1.360	123.5	0.273	8.875
30	40	8.875	1.490	0.973	1.363	123.5	0.364	8.784
40	50	8.784	1.475	0.973	1.366	123.5	0.455	8.693
50	60	8.693	1.459	0.973	1.368	123.5	0.545	8.603
60	70	8.603	1.444	0.972	1.369	123.5	0.635	8.513
70	80	8.513	1.429	0.972	1.371	123.5	0.725	8.423
80	90	8.423	1.414	0.972	1.372	123.4	0.815	8.333
90	100	8.333	1.399	0.972	1.373	123.4	0.905	8.243

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

4 - ANTEPROJETO DA BARRAGEM

4 – ANTEPROJETO DA BARRAGEM

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

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

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

4.1 - ESCOLHA DA ALTERNATIVA DO EIXO BARRÁVEL

Por ocasião da fase de estudos preliminares foi feito em obediência aos Termos de Referência, o estudo de seleção do eixo a ser barrado nas imediações da cidade de Maranguape, ao longo do rio Sapupara. 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 II, ao longo do Riacho Sapupara, afluente da margem esquerda do Riacho Tangueira, como descrito a seguir.

1. Eixo – 1

O Eixo – 1 está situado na localidade de Sapupara, bem próximo ao sopé da Serra de Aratanha, distante cerca de 1,5km a montante da CE-065, que liga Maranguape ao povoado de Ladeira Grande. O sítio barrável está situado exatamente no início do vale que se estende em direção a Maracanaú, onde as condições de represamento vão se reduzindo, pelas limitações topográficas, tornando o relevo bem mais suave e menos ondulado.

A extensão pelo coroamento é de aproximadamente 580,0m, para 18,0m de altura. Sua bacia de acumulação tem cerca de 38ha de área e volume estimado em 16hm³ para um NA máximo de 14,0m. A fundação é da ordem de 8,0m de profundidade no fundo do vale e o sangradouro poderá ser posicionado numa das selas topográficas existentes nas duas ombreiras, implantado sobre corte em rocha de 200m de largura.

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	
ALTERNATIVA EIXO - 1	
Barragem (Localidade de Sapupara, 1,0 Km a Montante da CE- 065 e 8,0 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:	38 ha
Comprimento da barragem:	580 m
Volume acumulado:	16 hm ³

Fundação

Largura da base 1:	10 m	
Altura 1:		8 m
Comprimento 1:		300 m
Largura da base 2:	5 m	
Altura 2:		2 m
Comprimento 2:		280 m

Sangradouro

Tipo:		Canal escavado
Largura transversal:		200 m
Cota da soleira:		90 m
Comprimento longitudinal:		198 m

2. Eixo – 2

O Eixo – 2 fica posicionado aproximadamente a 1200m a montante do Eixo – 1. Sua extensão pelo coroamento é de 370m por 16,0m de altura e uma bacia de acumulação da ordem de 5hm³ para um NA máximo de 12,0m.

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

ALTERNATIVA EIXO - 2

Barragem

(Localizada a 1,2 km a Montante do Eixo - I)

Tipo:	Terra
Altura do dique:	-
Cota do coroamento:	94 m
Comprimento do dique:	-
Cota do rio:	78 m
Área da bacia hidrográfica:	9,8 km ²
Altura da barragem:	16 m
Área da bacia hidráulica:	17 ha
Comprimento da barragem:	370 m
Volume acumulado:	5,4 hm ³

Fundação

Largura da base 1:	10 m
Altura 1:	8 m
Comprimento 1:	200 m

Quadro 4.2: Características da Alternativa do Eixo - 2

Largura da base 2:	5m	
Altura 2:		2 m
Comprimento 2:		170 m
Sangradouro		
Tipo:		Canal escavado
Largura transversal:		200 m
Cota da soleira:		90 m
Comprimento longitudinal:		162 m

3. Eixo - 3

O Eixo – 3 está posicionado aproximadamente 2500m a montante do Eixo – 1. O seu comprimento pelo coroamento é de 130m por 10,0m de altura. A estimativa de acumulação é da ordem de 2,1hm³ para um NA máximo de 6,0m.

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

ALTERNATIVA EIXO - 3

Barragem	Localizada a 2,5 km a Montante do Eixo - I)
Tipo:	Terra

Altura do dique:	-
Cota do coroamento:	94 m
Comprimento do dique:	-
Cota do rio:	84 m
Área da bacia hidrográfica:	5,80 km ²
Altura da barragem:	10 m
Área da bacia hidráulica:	8,60 ha
Comprimento da barragem:	130 m
Volume acumulado:	2,10 hm ³

Fundação

Largura da base 1:	10 m	
Altura 1:		8 m
Comprimento 1:		60 m
Largura da base 2:	5m	
Altura 2:		2 m
Comprimento 2:		70 m

Sangradouro

Tipo:	Canal escavado
Largura transversal:	200 m
Cota da soleira:	90 m
Comprimento longitudinal:	140 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 II 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 II

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

ALTERNATIVA EIXO 1

	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT (m ³)	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	CUSTO TOTAL (R\$)
BARRAGEM / VOLUMES					
Maciço		m ³	318.000	11,50	3.657.000,00
Fundação		m ³	64.000	3,50	224.000,00
SANDRADOURO / VOLUMES					
Escavação em Solo		m ³	200.000	2,50	500.000,00
Escavação em Rocha		m ³	17.800	17,00	302.600,00
CUSTO TOTAL					

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

4.683.600,00

ALTERNATIVA EIXO 2

**DESCRIÇÃO
UNID.
QUANT (m³)
CUSTO UNITÁRIO (R\$)
CUSTO TOTAL (R\$)**

BARRAGEM / VOLUMES

Maciço

m³
228.000
11,50
2.622.000,00

Fundação

m³
62.000
3,50
217.000,00

SANDRADOURO / VOLUMES

Escavação em Solo

m³
179.000
2,50

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

447.500,00

Escavação em Rocha

m³
14.500
17,00
246.500,00

CUSTO TOTAL
3.533.000,00

ALTERNATIVA EIXO 3

DESCRIÇÃO
UNID.
QUANT (m³)
CUSTO UNITÁRIO (R\$)
CUSTO TOTAL (R\$)

BARRAGEM / VOLUMES

Maciço

m³
88.000
11,50
1.012.000,00

Fundação

m³
38.000
3,50
133.000,00

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

SANDRADOURO / VOLUMES

Escavação em Solo	m ³	
	138.000	
	2,50	
		345.000,00
Escavação em Rocha	m ³	
	11.000	
	17,00	
		187.000,00
	CUSTO TOTAL	
		1.677.000,00

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.

Os volumes de acumulação dos reservatórios para as alternativas de Eixo – 2 e Eixo – 3 são bastantes inferiores a alternativa do Eixo – 1. Apesar dos volumes dos maciços serem proporcionalmente inferiores, suas fundações pouco diferem em relação aos volumes de escavação. Os sangradouros também possuem grandes escavações e conseqüentemente custos de implantação elevados.

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 - Justificativa da Escolha do Eixo - 1

Embora no relatório de Estudos Preliminares e como o nome diz, os estudos elaborados nesta fase foram realizados de forma superficial, havia uma concordância da SRH quanto a escolha deste eixo.

Porém, na visita ao campo do Painel de Segurança de Barragens, foi questionado a possibilidade da implantação da Barragem Maranguape II no Eixo – 2, pelos seguintes fatores:

1. As sondagens realizadas na calha do rio indicaram aluviões mais profundos do que o esperado.
2. A ombreira esquerda se apresenta delgada e com vestígios de movimentação.

A partir dessas premissas, foi solicitada pelo Painel de Segurança uma análise mais detalhada, enfocando o Eixo – 1 e o Eixo – 2, para daí realizar o detalhamento do projeto da barragem Maranguape II.

No presente momento o nível de informação disponível é bem maior. As sondagens do sangradouro e o restante da campanha já foram concluídas.

Daí, foi definido que o sangradouro ficará entre as estacas 5+10 e 8+10, a rocha está na cota 90,00m e o sangradouro terá 4,0m de altura, ou seja, será fundado na cota 90,00m e será um perfil Creager com 4,0m de altura, com soleira na cota 94,00m.

O volume do maciço é cerca de 480.000m³.

O problema da ombreira foi resolvido, fazendo o maciço abraçar a ombreira, de forma que na chegada do maciço é alargado de 6,0m para 50,0m

A barragem com soleira na cota 94,00m acumulará 9,2hm³.

Quanto ao Eixo -2 foi feito sobre a carta de restituição na escala 1:5000 a locação do eixo proposto e feito um Cota X Área X Volume, o qual é mostrado no Quadro 4.5 e na Figura 4.1.

Examinando a curva Cota X Área X Volume, verifica-se que a barragem deve ter soleira na cota 101,00 e coroar na elevação 105,00m, para acumular o mesmo volume de água do Eixo – 1.

Em termos de maciço, as barragens são equivalentes, já que o volume de maciço encontrado para o Eixo – 2 foi de 470.000m³.

A diferença está no custo do sangradouro, pois o ponto baixo no Eixo – 2 para implantação do sangradouro está na elevação 97,00m e a rocha deve estar na cota 93,00m. Portanto, o muro Creager deve ter 8,0m de altura e os muros laterais devem ter 12,0m de altura.

O custo do muro Creager e muros laterais do Eixo – 1 é de R\$225.000,00, enquanto o custo do muro Creager e muros laterais do Eixo – 2 é de R\$864.000,00.

Quadro Nº 4.1: Cota X Área X Volume do Eixo – 2

COTA (m)
ÁREA (m²)
VOLUME (m³)
VOLUME ACUMULADO (m³)

84,00	-	-
	-	-
	-	-
85,00	7.639,00	3.819,50
		3.819,50
86,00		
	49.679,00	

Quadro Nº 4.1: Cota X Área X Volume do Eixo – 2

	28.659,00
	32.478,50
	87,00
	117.541,00
	83.610,00
	116.088,50
	88,00
	204.152,00
	160.846,50
	276.935,00
	89,00
	290.167,00
	247.159,50
	524.094,50
	90,00
	396.598,00
	343.382,50
	867.477,00
	91,00
	474.037,00
	435.317,50
	1.302.794,50
	92,00
	543.326,00
	508.681,50
	1.811.476,00
	93,00
	618.026,00
	580.676,00
	2.392.152,00
	94,00
	708.616,00
	663.321,00
	3.055.473,00

Quadro Nº 4.1: Cota X Área X Volume do Eixo – 2

95,00
800.661,00
754.638,50
3.810.111,50

96,00
881.086,00
840.873,50
4.650.985,00

97,00
939.105,00
910.095,50
5.561.080,50

98,00
1.004.657,00
971.881,00
6.532.961,50

99,00
1.062.753,00
1.033.705,00
7.566.666,50

100,00
1.125.126,00
1.093.939,50
8.660.606,00

101,00
1.187.963,00
1.156.544,50
9.817.150,50

102,00
1.248.904,00
1.218.433,50
11.035.584,00

Quadro Nº 4.1: Cota X Área X Volume do Eixo – 2

103,00
1.310.813,00
1.279.858,50
12.315.442,50

104,00
1.372.813,00
1.341.813,00
13.657.255,50

105,00
1.417.481,00
1.395.147,00
15.052.402,50

106,00
1.478.481,00
1.447.981,00
16.500.383,50

107,00
1.539.481,00
1.508.981,00
18.009.364,50

108,00
1.601.481,00
1.570.481,00
19.579.845,50

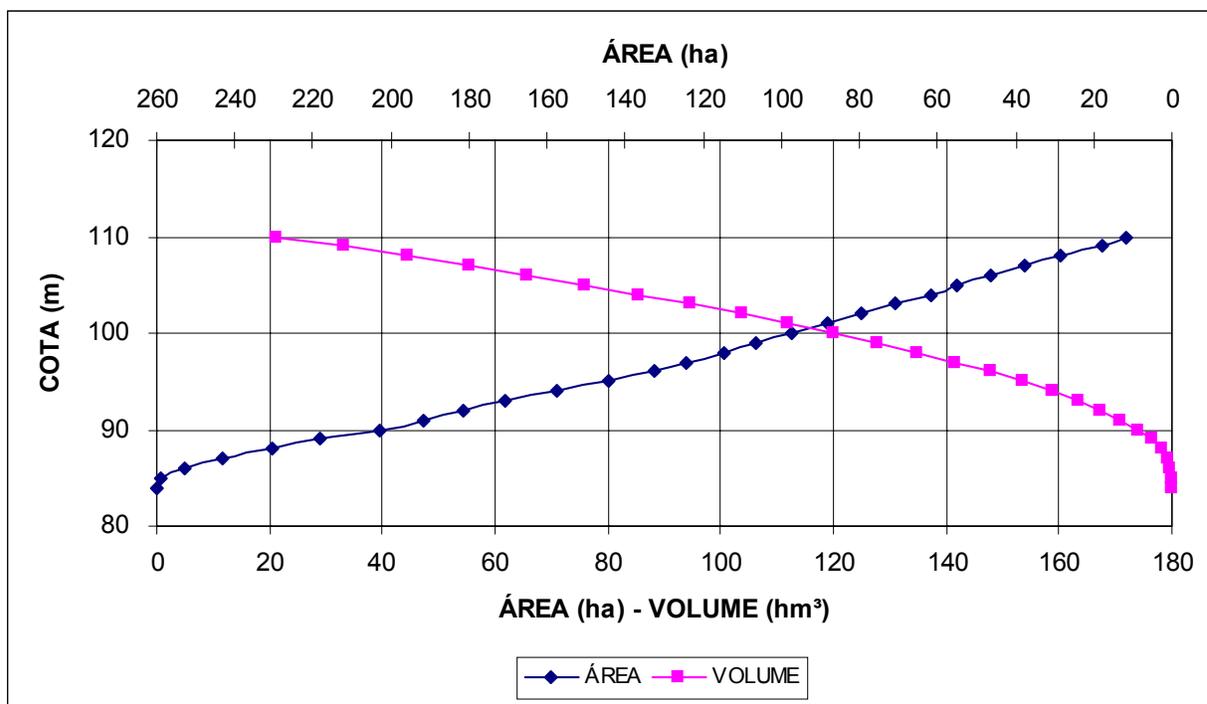
109,00
1.677.481,00
1.639.481,00
21.219.326,50

110,00
1.718.481,00
1.697.981,00
22.917.307,50

Comparando, verifica-se que o Eixo – 2 onera o custo em R\$639.000,00. Além deste aspecto de custo a opção do Eixo – 2 tem mais impactos sociais do que o Eixo – 1.

Pelos motivos expostos, a projetista continuou a detalhar o Eixo – 1, o qual já havia sido eleito, por ocasião dos estudos preliminares.

Figura 4.1: Curva Cota X Área X Volume



4.2 - ALTERNATIVAS EXAMINADAS DE SEÇÃO DE MACIÇO

Devido às características topográficas e geotécnicas do boqueirão, o qual é bem aberto, com 620,0m de barragem e mais um aluvião largo, com cerca de 400,00m e profundo, é evidente que ficam descartadas opções em enrocamento e barragem de concreto compactado a rolo (CCR).

Além de não existir escavação obrigatória em rocha, os volumes seriam elevados devido às fundações e, o preço bem mais caro, tornam estas opções não competitivas.

Sobrou finalmente a opção de maciço de solo argiloso compactado, o qual será feito com material das jazidas J-01 e J-01.

4.3 - CONCEPÇÃO GERAL DA BARRAGEM

A barragem foi concebida como sendo um maciço homogêneo a ser construída com material proveniente das jazidas J-01 e J-02. A barragem ficará com coroamento na cota 98,00m, com altura máxima de 20,10m na estaca 14. A soleira será implantada na cota 94,00m, acumulando 16,784hm³.

De acordo com os resultados das sondagens ao longo do eixo barrável, verifica-se que a barragem terá um *cutoff* entre a estaca 5 e a estaca 28, com profundidade variando de 2,00m a 11,00m, repousando sobre o topo rochoso. Os taludes de escavação do *cutoff* serão de 1,0 (V) : 1,0 (H), até a profundidade de 4,00m. Quando as escavações do *cutoff* superar os 4,00m, será executado uma berma de largura de 2,00m na profundidade de 2,00m e as escavações prosseguirão com taludes de 1,0 (V) : 1,5 (H). A largura do *cutoff* será de 6,00m, quando a sua profundidade for inferior a 4,00m e de 8,00m, quando a sua profundidade for superior a 4,00m.

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

O talude de montante terá inclinação de 1,0 (V): 2,5 (H) em toda a sua extensão e 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:

$$\begin{array}{ll} P_{50} = 0,45\text{tf} & D_{50} = 0,62\text{m} \\ P_{\text{mín}} = 0,23\text{tf} & D_{\text{mín}} = 0,50\text{m} \\ P_{\text{máx}} = 0,64\text{tf} & D_{\text{máx}} = 0,70\text{m} \end{array}$$

O talude de jusante terá inclinação de 1,0 (V) : 2,0 (H) em toda a sua extensão. Na cota 26,00m será colocada uma berma de 2,0m de largura. A proteção do talude será feita com uma camada de 0,30m de espessura de material britado.

Para a drenagem interna do maciço da Barragem Maranguape II, está prevista a construção de um filtro vertical e um tapete drenante, entre as estacas 3 e 30. O filtro vertical terá 1,0m de espessura e será executado com areia grossa proveniente do areal A-01. O filtro ficará com topo na cota 95,04m, coincidindo com a cota da cheia decamilenar. O tapete horizontal consiste em um colchão de areia grossa proveniente do areal A-01 e com espessura de 1,00m.

Entre as estacas 4 e 28 será executado um dreno de pé no talude de jusante consistindo num enrocamento de pedra com seção trapezoidal com crista na cota 84,00m e largura da crista de 2,0m, em toda a sua extensão, com talude de 1,0 (V): 1,5 (H). Entre as interfaces da base do terreno natural e enrocamento e maciço da barragem serão colocadas camadas de transição com 0,60m de espessura, sendo 0,30m de areia grossa e 0,30m de brita.

A areia grossa que formará o rock-fill será proveniente do areal A-01. A brita da transição do rock-fill, denominada de brita "A" será produto de britagem da pedreira P-01.

Entre as estaca 2 e 5, a barragem abraçará a ombreira esquerda, alargando o coroamento de 6,0m para 50,0m.

4.3.1 - Anteprojeto do Sangradouro

O anteprojeto do sangradouro foi elaborado com base nas informações dos estudos hidrológicos e, principalmente, nas condições geotécnicas do subsolo do local do sangradouro.

A escavação do sangradouro será feita com canal na cota 90,00m. Os volumes dos canais de aproximação e restituição dão a manta de 400.000m³, aproximadamente o volume da barragem. Esse material deve ser aproveitado no maciço para diminuir os custos, já que a escavação e carga já esta paga nessa operação de escavação.

O eixo longitudinal do canal do sangradouro está localizado na ombreira esquerda, com uma extensão de 395m. O canal sangradouro foi escavado na cota 90,0m, em seção trapezoidal, com largura de base de 70,0m. O talude de escavação em solo é de 1,0 (V): 2,0 (H), o talude de escavação em rocha é de 10,0 (v): 1,0 (H). O volume de escavação total de escavação encontrado foi 414.105m³.

O sangradouro é composto de um canal de aproximação, escavado em na cota 90,00m, de seção trapezoidal, com largura de base de 70,0m, até atingir um perfil Creager, com ogiva na elevação 94,00m. O perfil Creager será construído de concreto ciclópico, com 12% de pedra de mão, assente na cota 90,00m, com largura de 60,00m, confinado nas laterais por muros de contenção. Na saída do perfil Creager, o canal sangradouro passa para um canal de restituição das águas excedente do reservatório ao curso do rio, de seção trapezoidal, com largura de 70,0m de base.

No dimensionamento do sangradouro foi adotado a cheia associada ao tempo de retorno de 1000 anos, realizando-se para esta os estudos de laminação. Os picos dos hidrogramas de entrada e saída são respectivamente 378m³/s e 137m³/s, com lâmina de 0,79m.

4.3.1.1 - Perfil Creager

A ogiva do Creager foi dimensionada pelos procedimentos recomendados pelo *Bureau of Reclamations*. Esses dimensionamentos são mostrados a seguir.

$$\begin{aligned}
 h_b &= 0,79m \\
 p &= 4,0m \\
 L &= 60,0m \\
 Q &= 90m^3 / s \\
 q &= 1,5m^3 / s.m
 \end{aligned}$$

Sabendo que:

$$\begin{aligned}
 q &= CH_0^{3/2} \\
 v_a &= \frac{q}{p + h_b} \\
 h_a &= \frac{q^2}{2g(p + h_b)^2} = 0,002m \\
 H_0 &= h_b + h_a = 0,794m
 \end{aligned}$$

A equação do Creager a jusante é dada por:

$$\frac{y}{H_0} = -K \left(\frac{x}{H_0} \right)^n$$

Onde K e n são tirados de ábacos, em função da relação de $\frac{h_a}{H_0}$

Para $\frac{h_a}{H_0} = 0,005$, tem-se $K = 0,50$ e $n = 1,871$. Portanto:

$$\begin{aligned}
 \frac{y}{0,79} &= -0,50 \cdot \left(\frac{x}{0,79} \right)^{1,871} \\
 y &= -0,613 \cdot x^{1,871}
 \end{aligned}$$

Fazendo a derivada de y em relação a x, tem-se:

$$\frac{dy}{dx} = -1,146 \cdot x^{0,871}$$

Fazendo $\frac{dy}{dx} = -1,0$, que corresponde um talude de 1,00(V):1,00(H), tem-se:

$$\begin{aligned}
 x &= 0,85 \\
 y &= -0,45
 \end{aligned}$$

A curva do Creager é dada no quadro 4.9 a seguir:

Quadro 4.9: Coordenadas do Perfil Creager

X	Y
0,00	0,00
0,10	-0,01
0,20	-0,03
0,30	-0,06
0,40	-0,11
0,50	-0,16
0,60	-0,23
0,70	-0,31
0,80	-0,40
0,85	-0,45

As curvas circulares de montante da ogiva são determinadas em ábacos a partir da relação $\frac{h_a}{H_0} = 0,005$.

Dessas curvas tira-se:

$$\frac{x_c}{H_0} = 0,283 \Rightarrow x_c = 0,22$$

$$\frac{y_c}{H_0} = 0,124 \Rightarrow y_c = 0,10$$

$$\frac{R_1}{H_0} = 0,53 \Rightarrow R_1 = 0,42$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0,235 \Rightarrow R_2 = 0,19$$

4.3.2 - Anteprojeto da Tomada D'água

O anteprojeto da tomada d'água consiste de uma tubulação de ferro fundido de diâmetro de $\phi 300\text{mm}$, localizado na estaca 30, envelopado em uma galeria de concreto. O eixo da tubulação ficará na cota 82,00m. A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de $0,10\text{m}^3/\text{s}$.

O volume de porão da Barragem Maranguape II será na cota 89,00m, com um armazenamento de $1,41\text{hm}^3$, correspondente a aproximadamente 15% da capacidade do reservatório.

No lado de montante, o extremo da tubulação será protegido por uma caixa de concreto, com grade de malha $100\text{mm} \times 100\text{mm}$.

No lado de jusante, serão colocados um registro de gaveta e uma válvula borboleta para a operação da tomada d'água. Será também prevista uma caixa de jusante com a finalidade de dissipar a energia e medir a vazão. A caixa será de concreto armado. A medida da vazão será feita através de um vertedouro triangular isósceles.

4.3.3 - Apresentação do Anteprojeto

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

Relação dos Desenhos do Anteprojeto	
DESENHO Nº	DESCRIÇÃO
II – 2 – 01 / 18 – 002	Bacia Hidráulica – Planta
II – 2 – 02 / 18 – 002	Boqueirão e Sangradouro – Planta e Localização de Sondagens
II – 2 – 03 / 18 – 002	Perfil Geotécnico - Boqueirão
II – 2 – 04 / 18 – 002	Perfil Geotécnico – Sangradouro
II – 2 – 05 / 18 – 002	Planta Geral da Localização das Ocorrências
II – 2 – 06 / 18 – 002	Arranjo Geral da Barragem e Sangradouro e Tomada D'água
II – 2 – 07 / 18 – 002	Perfil da Barragem e Sangradouro
II – 2 – 08 / 18 – 002	Seção Máxima e Detalhes
II – 2 – 09 / 18 – 002	Seção de Engastamento da Ombreira Esquerda
II – 2 – 10 / 18 – 002	Seções Tipo da Barragem
II – 2 – 11 / 18 – 002	Seções Transversais da Barragem (01/02)
II – 2 – 12 / 18 – 002	Seções Transversais da Barragem (02/02)
II – 2 – 13 / 18 – 002	Seção da Tomada D'água e Detalhes
II – 2 – 14 / 18 – 002	Escavação da Tomada D'água – Planta, Perfil e Seção Tipo
II – 2 – 15 / 18 – 002	Escavação do Sangradouro – Planta, Perfil e Seção Tipo
II – 2 – 16 / 18 – 002	Seções Transversais de Escavação do Sangradouro (01/01)
II – 2 – 17 / 18 – 002	Arranjo Geral do Sangradouro
II – 2 – 18 / 18 – 002	Detalhe do Sangradouro

4.3.4 - Considerações Finais

O Anteprojeto da Barragem Maranguape II permitiu escolher o local de implantação da obra, além de assumir, justificar e quantificar a opção do maciço, sangradouro e tomada d'água.

Os estudos básicos, ou seja, a hidrologia, a geologia, a geotecnia e a topografia, estão consistentes. Os estudos básicos foram integrados no Anteprojeto, sendo que todos as opções de projeto assumidos tiveram esses elementos considerados e analisados.

Alguns aspectos que se prevê equacionar e discretizar na etapa seguinte dos trabalhos, podem ser sistematizados nos seguintes itens:

1. Apresentação da cortina de injeção.
2. Projeto estrutural da laje e dos muros de contenção do sangradouro.
3. Projeto estrutural da galeria da tomada d'água.
4. Detalhamento dos dispositivos de drenagem superficial da barragem.
5. Detalhamento dos equipamentos hidromecânicos da tomada d'água.
6. Elaboração de especificações técnicas e construtivas.
7. Apresentação do programa de trabalho.
8. Planilha orçamentária com os dados da tabela unificada da SEINFRA.