

MÓDULO III PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM MARANGUAPE II

VOLUME 1 – ESTUDOS BÁSICOS

TOMO 2 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
0	Dez/01	Apresentação – Edição Preliminar	CONSÓRCIO	TAC	NKT	NKT
a	Fev/02	Complementações de acordo com solicitações da SRH	CONSÓRCIO	TAC	NKT	NKT
b	Mar/02	Apresentação – Edição Definitiva	CONSÓRCIO	TAD	NKT	NKT

ÍNDICE

ÍNDICE

<u>APRESENTAÇÃO</u>	5
<u>1 - INTRODUÇÃO</u>	11
<u>2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO</u>	13
<u>3 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA</u>	16
<u>3.1 - ÍNDICES DE FORMA DA BACIA</u>	17
<u>3.2 - SOLOS E COBERTURA VEGETAL</u>	19
<u>4 - ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS</u>	22
<u>4.1 - TEMPERATURA</u>	23
<u>4.2 - UMIDADE RELATIVA</u>	25
<u>4.3 - INSOLAÇÃO MÉDIA</u>	26
<u>4.4 - VENTOS</u>	27
<u>4.5 - EVAPORAÇÃO MÉDIA</u>	27
<u>4.6 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO</u>	28
<u>4.7 - BALANÇO HÍDRICO</u>	29
<u>4.8 - CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA</u>	31
<u>4.8.1 - Classificação segundo Köppen</u>	31
<u>4.8.2 - Classificação segundo Thornthwaite</u>	31
<u>5 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS</u>	32
<u>5.1 - DADOS UTILIZADOS</u>	33
<u>5.2 - CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO</u>	34
<u>5.2.1 - Nível Anual</u>	34
<u>5.2.2 - Nível Mensal</u>	36
<u>5.2.3 - Nível Diário</u>	36
<u>5.2.4 - Chuvas Intensas</u>	37
<u>6 - ESTUDOS DE CHEIAS</u>	40
<u>6.1 - INTRODUÇÃO</u>	41
<u>6.2 - METODOLOGIA</u>	41
<u>6.2.1 - Precipitação</u>	42

<u>6.2.2 - Precipitação Efetiva</u>	43
<u>6.2.3 - Hidrograma Unitário - SCS</u>	45
<u>7 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO</u>	48
<u>7.1 - INTRODUÇÃO</u>	49
<u>7.2 - METODOLOGIA</u>	49
<u>7.2.1 - Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico</u>	49
<u>7.2.2 - O Diagrama Triangular de Regularização</u>	51
<u>7.3 - RESULTADOS</u>	52
<u>8 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO</u>	55
<u>8.1 - INTRODUÇÃO</u>	56
<u>8.2 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS</u>	56
<u>8.3 - ANÁLISE ECONÔMICA</u>	56
<u>8.4 - ESCOLHA DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO - ANÁLISE HIDROLÓGICO-ECONÔMICA</u>	57
<u>9 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO</u>	58
<u>9.1 - PROPAGAÇÃO DA CHEIA NO RESERVATÓRIO</u>	59
<u>9.2 - RESULTADOS</u>	60
<u>10 - ESTUDOS ADICIONAIS</u>	62
<u>10.1 - INTRODUÇÃO</u>	63
<u>10.2 - PROBABILIDADES DE ENCHIMENTO E ESVAZIAMENTO - EQUILÍBRIO</u> ..	63
<u>10.3 - ASSOREAMENTO DO AÇUDE MARANGUAPE II</u>	64

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

Módulo II – Estudos dos Impactos no Meio Ambiente

VOLUME I – Estudos Básicos e Diagnóstico

Tomo 1 – Estudos Básicos

Tomo 2 – Diagnóstico Ambiental

VOLUME II – EIA/RIMA

Tomo 1 – Relatório Preliminar dos Estudos Ambientais

Tomo 2 – Relatório Final EIA/RIMA

Módulo III – Projeto Executivo das Barragens

VOLUME I – Estudos Básicos

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Estudos Hidrológicos

Tomo 3 – Estudos Cartográficos

Tomo 4 – Estudos Topográficos

Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

VOLUME II – Anteprojeto

Tomo 1 – Relatório de Concepção Geral

Tomo 2 – Plantas

VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

- Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto
- Tomo 2 – Memória de Cálculo
- Tomo 3 – Especificações Técnicas
- Tomo 4 – Quantitativos e Orçamentos
- Tomo 5 – Síntese
- Tomo 6 – Plantas

Módulo IV – Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento

VOLUME I – Levantamento Cadastral

- Tomo 1 – Relatório Geral
- Tomo 2 – Laudos Individuais de Avaliação
- Tomo 3 – Levantamentos Topográficos

VOLUME II – Plano de Reassentamento

- Tomo 1 – Diagnóstico
- Tomo 2 – Programação das Ações
- Tomo 3 – Detalhamento do Plano de Reassentamento
- Tomo 4 – Relatório Final do Reassentamento

Módulo V – Projeto Executivo das Aduadoras

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 I – Estudos Básicos, Tomo 2 – Estudos Hidrológicos, e é parte integrante do Módulo III.

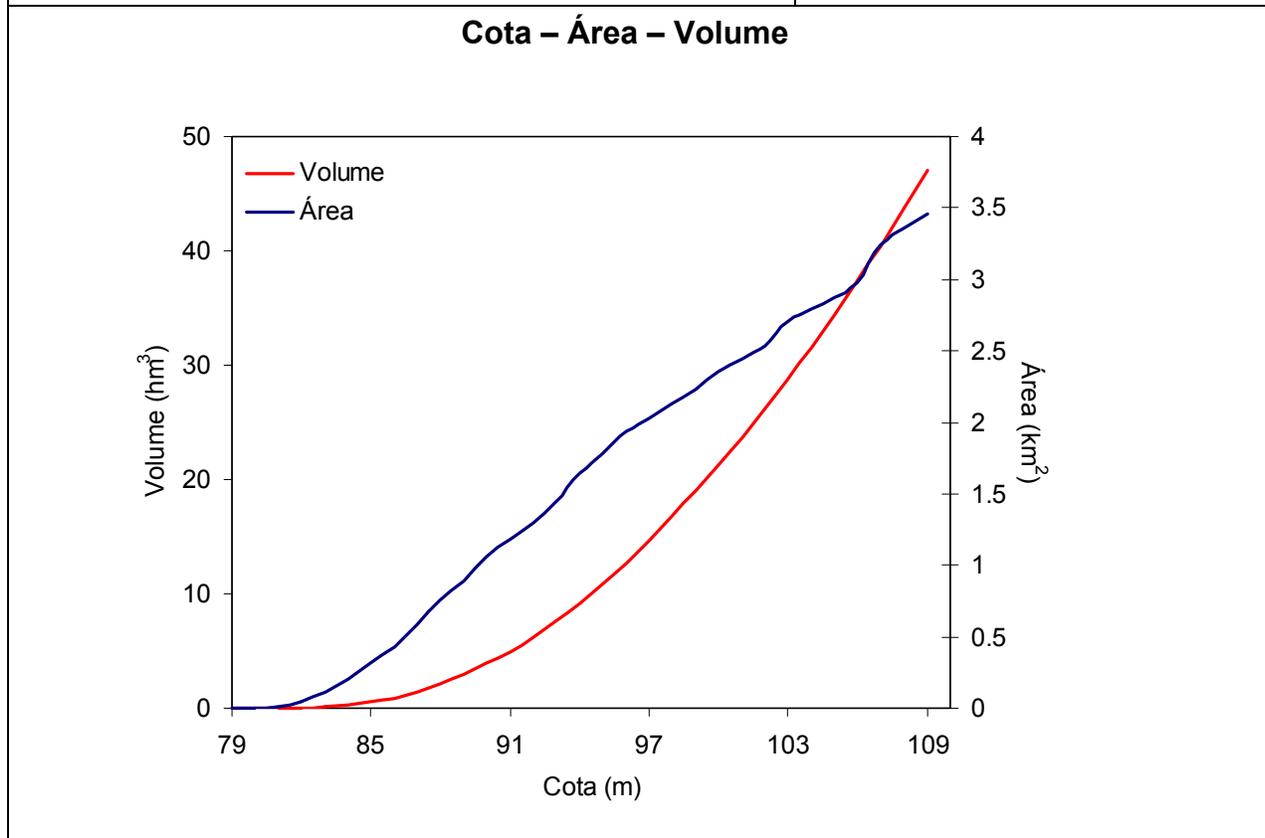
SUMÁRIO TÉCNICO DOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Caracterização da Bacia	
Área da bacia do Açude Maranguape II	18,5 km ²
Perímetro da bacia do Açude Maranguape II	18,31 km
Declividade média da bacia do Açude Maranguape II	28,15 m/km
Comprimento do rio principal	4,65 km
Fator de compacidade	1,20
Fator de forma	0,85
Tempo de concentração	0,86 hrs

Hidroclimatologia	
Pluviometria média anual	1386 mm
Evaporação média anual	1468 mm
Evapotranspiração potencial (Hargreaves)	1611 mm
Insolação média anual	2694,3 h
Umidade relativa média anual	78,3 %
Temperatura média anual: média das máximas	29,9 °C
Temperatura média anual: média das médias	26,6 °C
Temperatura média anual: média das mínimas	23,5 °C
Classificação climática segundo Köppen	BWx'
Classificação climática segundo Thornthwaite	C2S2A'a'

Estudo de Cheias	
Precipitação efetiva	SCS
Propagação do escoamento na bacia	Hidrograma Unitário do SCS
CN	70
Vazão afluyente – tempo de retorno = 1000 anos	378 m ³ /s
Vazão afluyente – tempo de retorno = 10000 anos	500 m ³ /s

Capacidade do Reservatório	
Capacidade máxima	9,148 hm ³
Cota da soleira do sangradouro	94 m
Cota de coroamento	97,5 m
Custo anual do m ³ armazenado	0,017 R\$/ano
Custo anual do m ³ regularizado	0,050 R\$/ano



Capacidade de Regularização			
<i>Resolução Direta da Equação do Balanço Hídrico – Cota 94 m</i>			
Equação do Balanço Hídrico			
Liberado - % (hm ³ /ano)	Sangrado - % (hm ³ /ano)	Evaporado - % (hm ³ /ano)	Qr 90% (m ³ /s)
3,024 – 50,2%	2,188 – 36,33%	0,811 – 13,47%	0,100

Dimensionamento do Sangradouro - Perfil Creager: $Z_w = 94,0$ m			
Cota (m)	Cota de pico (m)	Lâmina (m)	Q_{out} (m^3/s)
Perfil Creager: L = 60 m			
94	94,79	0,79	90,0
Tr = 10.000 anos - $Q_{in} = 500,0$ m^3/s			
Perfil Creager: L = 60 m			
94	95,04	1,04	135,0

Estudos Adicionais	
<i>Probabilidade Esvaziamento/Enchimento</i>	
Demanda a partir da qual a probabilidade de esvaziamento é de 100%	9,1 hm^3/ano
Demanda a partir da qual a probabilidade de enchimento é de 22,2%	9,1 hm^3/ano
<i>Assoreamento</i>	
Volume final após 100 anos de simulação	8,243 hm^3
% assoreado	9,89 %
Descarga sólida média	12696 t/ano

1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

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

Os estudos realizados tiveram como objetivo o conhecimento dos fenômenos hidroclimatológicos da bacia hidrográfica e que são diretamente relacionados com o processo de regularização de vazões.

Este relatório contém os elementos necessários à tomada de decisão sobre o porte da barragem e suas obras complementares, abordando os seguintes tópicos:

- Localização e Acesso
- Caracterização Física da Bacia Hidrográfica
- Caracterização Climática da Bacia Hidrográfica
- Regime Pluviométrico da Bacia Hidrográfica
- Regime Fluvial e o Dimensionamento do Reservatório
- Regime Fluvial Médio
- Emprego de Metodologias
- Dimensionamento do Vertedor

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 Tangueira, 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.

Mapa de localização FIG 2.1

3 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

3 - 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.

3.1 - ÍNDICES DE FORMA DA BACIA

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

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

Assim, a bacia do açude Maranguape II pode ser caracterizada por estes índices calculados da seguinte forma:

$$k_c = \frac{P}{\frac{2\pi\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}}} \quad \text{Fator de compacidade}$$

$$k_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{Fator de forma}$$

Onde,

A é a área,

P o perímetro e

L o comprimento do curso principal da bacia de interesse.

Para a bacia do açude Maranguape II, tem-se que A=18,5 km², P=18,31 km e L=4,65 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.

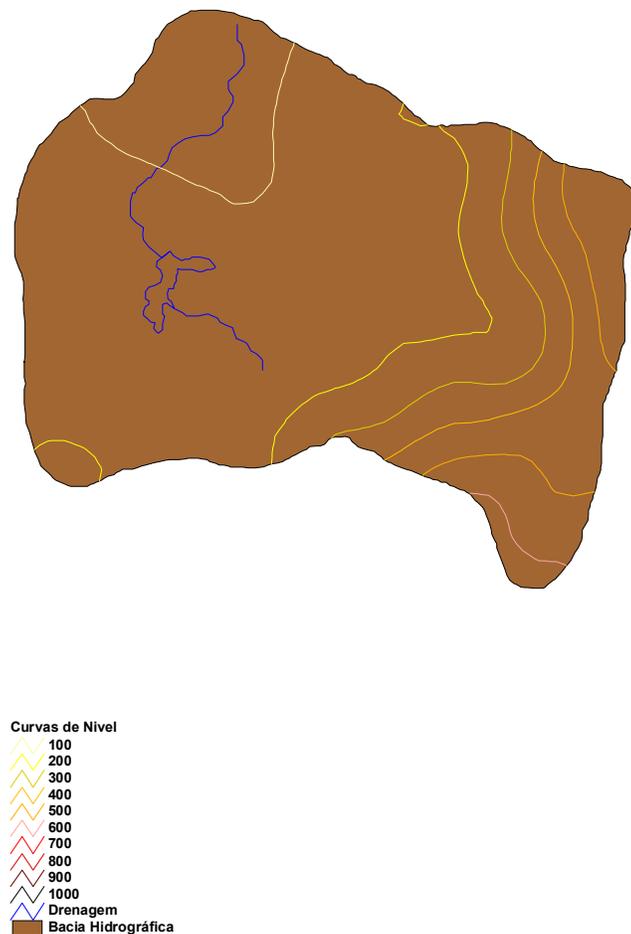


Figura 3.1. Bacia do Açude Maranguape II.

3.2 - 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 - NC8 e Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico - PE3, (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).

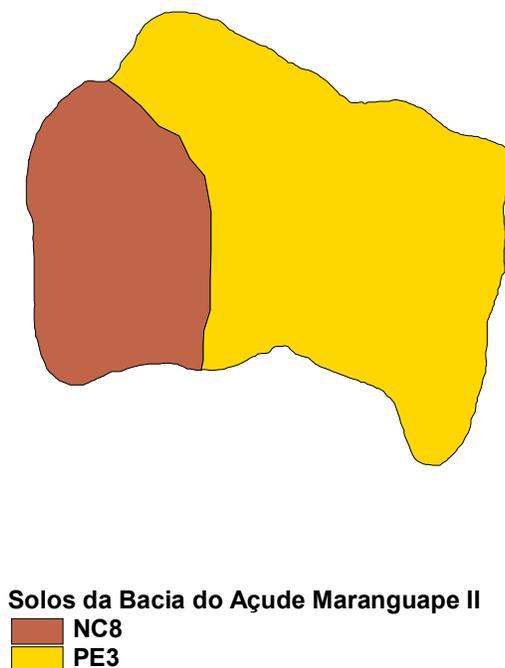


Figura 3.2. Solos da Bacia do Açude Maranguape II (Fonte: FUNCEME).

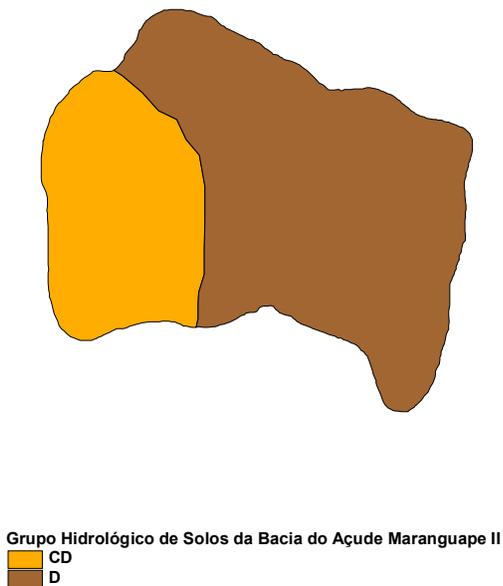
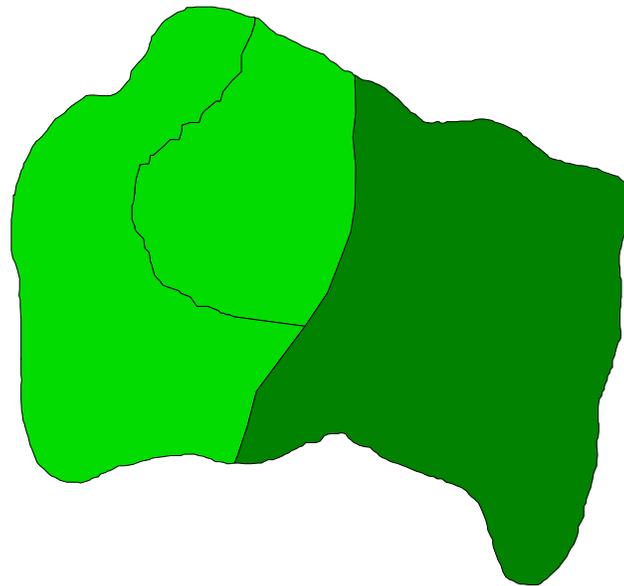


Figura 3.3. Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia do Açude Maranguape II (Fonte: FUNCEME).



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).

4 - ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

4 – ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

A abordagem da climatologia aqui desenvolvida visa dar subsídios as etapas subsequentes dos estudos realizados na bacia do Maranguape II, principalmente aquelas 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:

4.1 - 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 média compensada é obtida por ponderação entre as temperaturas observadas nas estações meteorológicas T_{12} e T_{24} TMG, T_{MAX} e T_{MIN} do dia, pela seguinte fórmula estabelecida pela OMM (Organização Meteorológica Mundial) :

$$T_{comp} = \frac{T_{12} + 2.T_{24} + T_{MAX} + T_{MIN}}{5}$$

onde,

T_{comp} - Temperatura média compensada

T_{12} - Temperatura observada às 12:00 TMG

T_{24} - Temperatura observada às 24:00 TMG

T_{MAX} - Temperatura máxima do dia

T_{MIN} - Temperatura mínima do dia

¹INEMET, 1991. INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS.

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

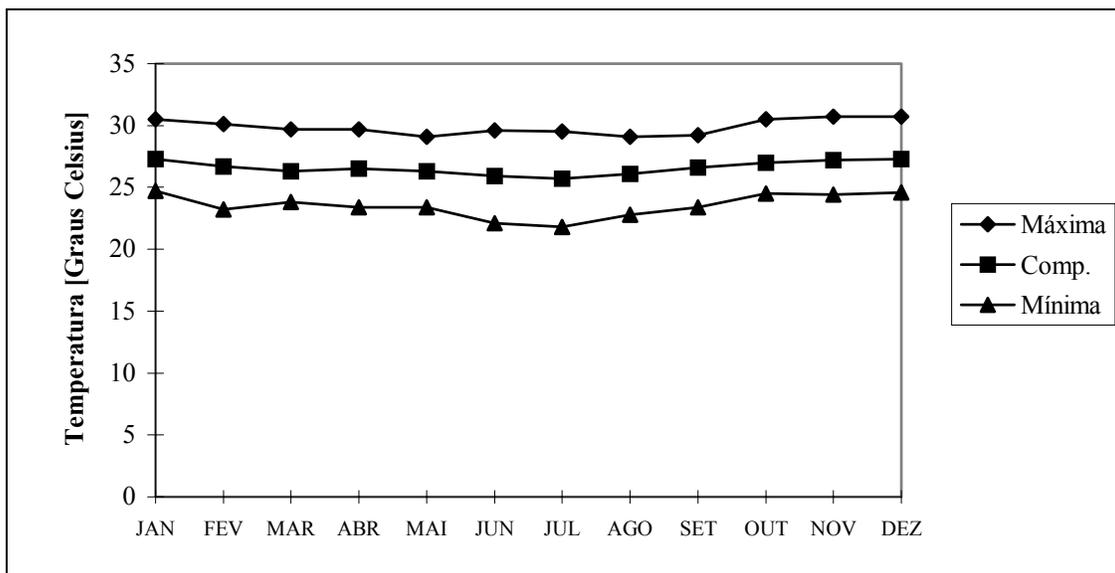


Figura 2.1-Temperaturas Máximas, Mínimas e Médias Compensadas na estação de Fortaleza

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

4.2 - 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

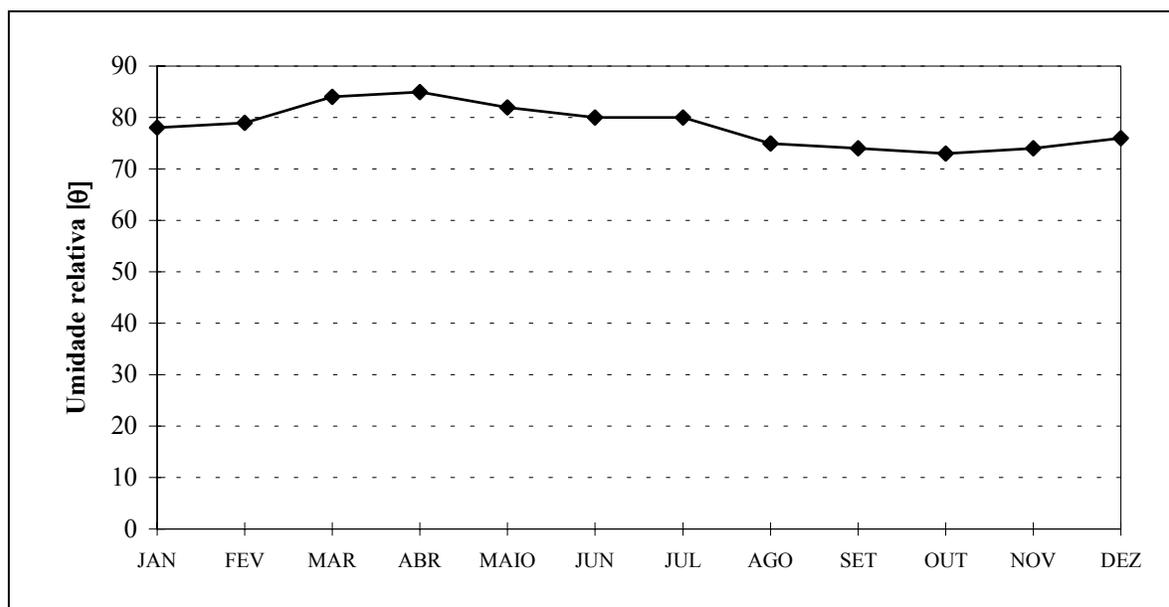


Figura 2.2 - Umidade Relativa na estação de Fortaleza

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

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

4.3 - 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

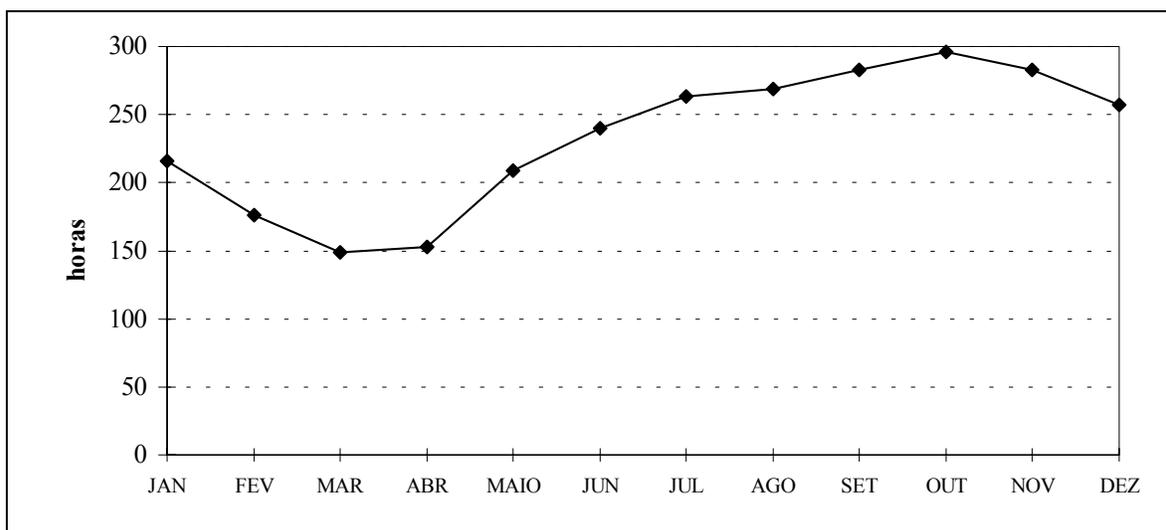


Figura 2.3 - Insolação Média na estação de Fortaleza

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

4.4 - VENTOS

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

A estação de Fortaleza apresenta suas velocidades médias dos ventos 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

4.5 - 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)

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

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

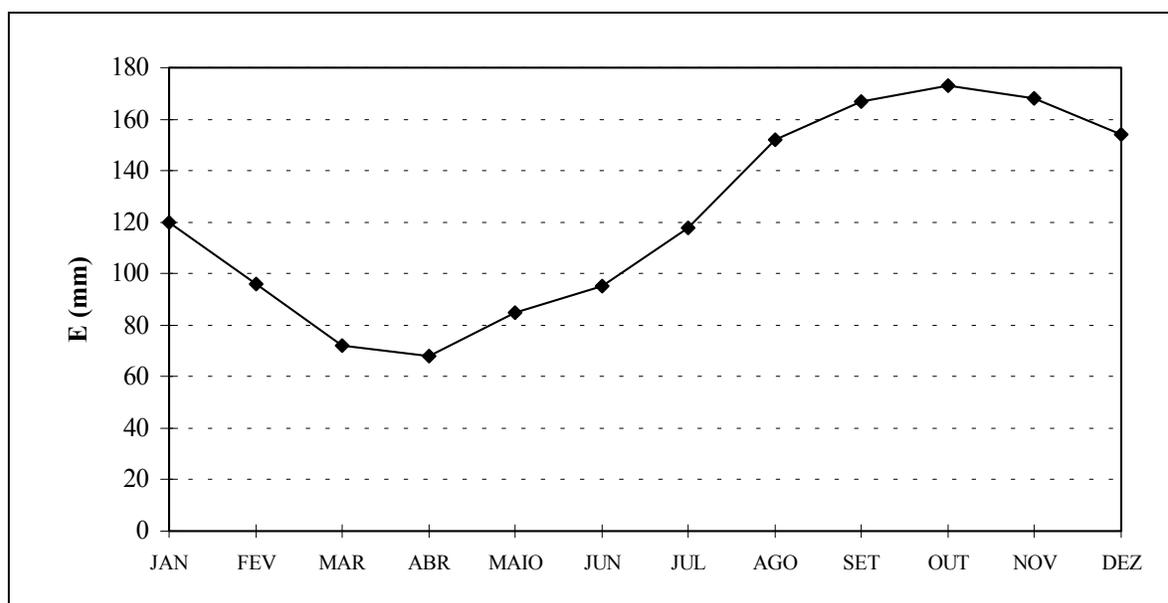


Figura 4.4 - Evaporação Média na estação de Fortaleza

4.6 - 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.

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

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

F - Fator dependente da latitude (adimensional)

T - Temperatura média compensada em °C

U - Umidade relativa do ar (%)

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	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.

4.7 - 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.

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

(*) ETP calculada pelo método de Hargreaves

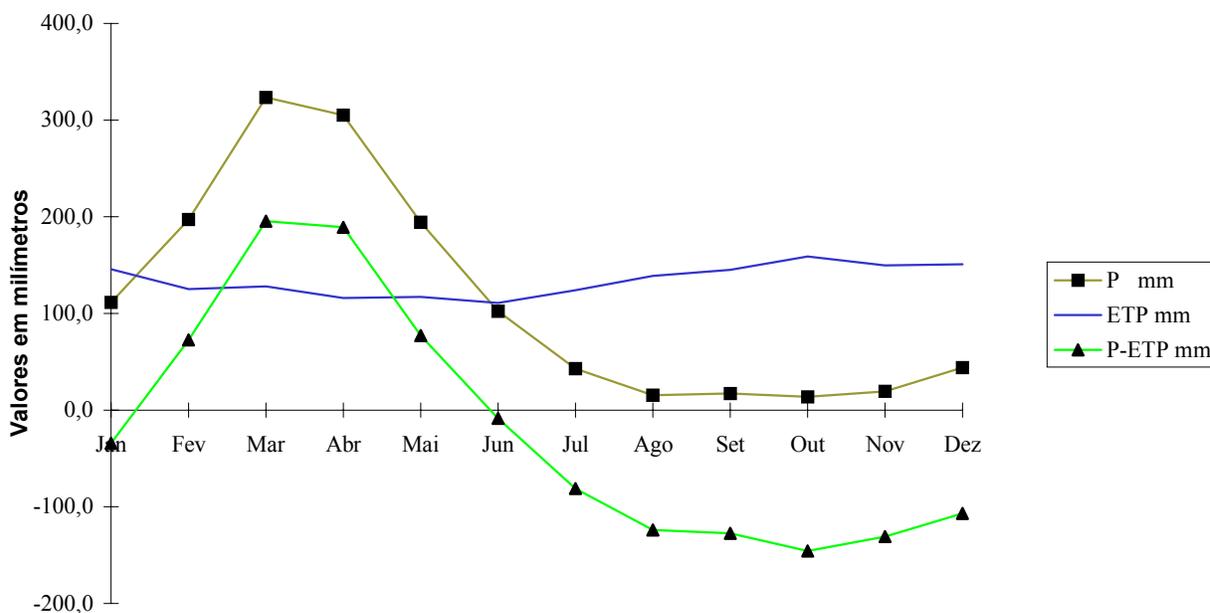


Figura 4.5 - Balanço Hídrico

4.8 - CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA

4.8.1 - Classificação segundo Köppen

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

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

4.8.2 - 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 o valor 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').

5 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

5 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

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

5.1 - DADOS UTILIZADOS

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 18,50 km², 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)

5.2 - CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO

5.2.1 - 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, 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

5.2.2 - 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 freqüência utilizando a série de totais mensais para o mês mais chuvoso no posto considerado. Os períodos de retorno utilizados variam de 10 a 1000 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

5.2.3 - 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 frequências 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 Frequência-Nível Diário-Distribuição Log-Pearson III.

Código	N	Período de Retorno					
		10	50	100	500	1000	10000
2872766	73	117,00	151,6	166,4	201,4	216,9	270,3

5.2.4 - Chuvas Intensas

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

Na área em estudo inexistem registros 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 frequência para a área de representatividade do aparelho.

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

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.

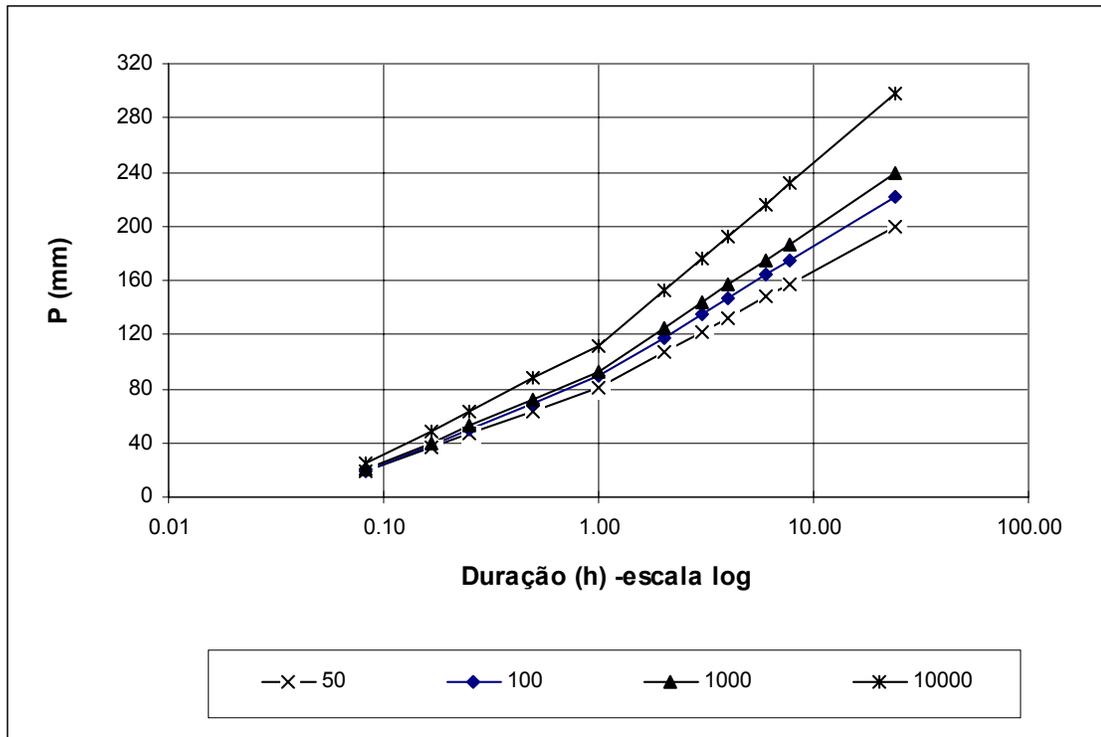


Figura 5.4 - Curvas Intensidade-Duração-Frequência

6 - ESTUDOS DE CHEIAS

6 - ESTUDO DE CHEIAS

6.1 - INTRODUÇÃO

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

O estudo da cheia de projeto é de fundamental importância para a segurança e economia da barragem, podendo o hidrograma de projeto estar baseado em:

- PMP (precipitação máxima provável) para projetos de importantes obras hidráulicas;
- cheia padrão para obras hidráulicas de risco intermediário;
- precipitações associadas a um risco ou probabilidade de ocorrência.

Em barragens pequenas, onde grandes riscos não estão envolvidos, pode-se utilizar o hidrograma de projeto baseado no último caso. Foram calculadas aqui as cheias de projeto de 1000 e 10000 anos. O intervalo de computação dos hidrogramas de cheia foi de 1 minuto.

6.2 - METODOLOGIA

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 aos 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*).

6.2.1 - 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 frequentemente 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 km^2 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

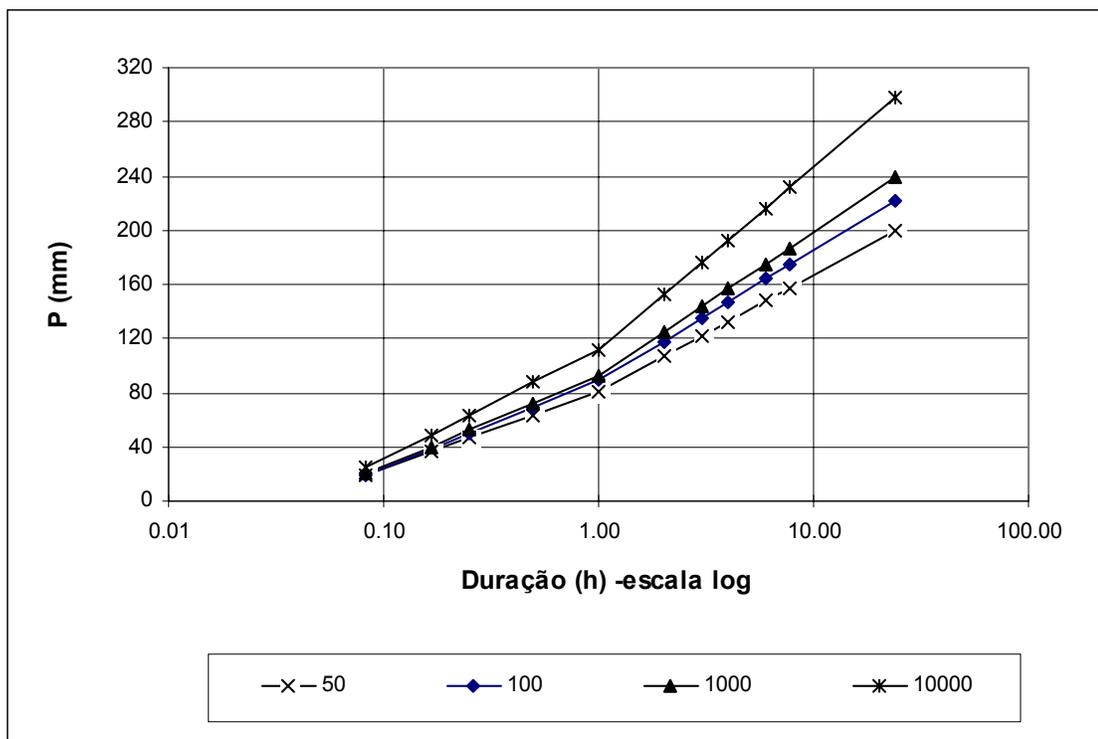


Figura 6.1 – Curvas intensidade-duração-freqüência

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 tormenta (tormenta balanceada). Alturas correspondentes a 10 e 30 minutos são interpoladas das alturas precipitadas de 5, 15 e 60 minutos através das equações do HYDRO-35 (National Weather Service, 1977):

$$P_{10min} = 0,41.P_{5min} + 0,59.P_{15min}$$

$$P_{30min} = 0,51.P_{15min} + 0,49.P_{60min}$$

onde P_n é a precipitação para a duração de n minutos. Adotou-se um hietograma de projeto com duração de 24 horas.

6.2.2 - Precipitação Efetiva

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

O cálculo das perdas de precipitação pode ser usado nos outros componentes do modelo HEC-1, em especial, hidrograma unitário. No caso do hidrograma unitário,

estas perdas são consideradas uniformemente distribuídas sobre a bacia (ou sub-bacia).

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

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

A equação de escoamento do SCS é dada por

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

onde Q = escoamento; P = precipitação; S = capacidade máxima de armazenamento do solo; I_a = perdas antes do início do escoamento.

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, mas a partir de dados de pequenas bacias I_a é aproximado pela seguinte relação empírica:

$$I_a = 0,20.S$$

Substituindo (2) em (1) elimina-se I_a , resultando em:

$$Q = \frac{(P - 0,20.S)^2}{P + 0,80.S}$$

onde S está relacionado às condições de solo e cobertura através do parâmetro CN por

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{unidades métricas})$$

onde CN varia de 0 a 100. CN foi tabelado para diferentes tipos de solos e cobertura, sendo estes valores tabelados apresentados para condições de umidade antecedente normal (AMC II). Para condições secas (AMC I) e úmidas (AMC III), CNs equivalentes podem ser calculados pelas seguintes fórmulas:

CONDIÇÕES SECAS

$$CN(I) = \frac{4,2.CN(II)}{10 - 0,058.CN(II)}$$

CONDIÇÕES ÚMIDAS

$$CN(III) = \frac{2,3.CN(II)}{10 + 0,13.CN(II)}$$

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 argila.
- B - solos menos permeáveis que o anterior, solos arenosos menos profundos 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 profundos.
- 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.

6.2.3 - Hidrograma Unitário - SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. Este método foi escolhido por ter sido idealizado para bacias de áreas entre 2,5 e 1000 km², e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas. Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro: o T_{LAG}. Este parâmetro, T_{LAG}, é igual à distância (lag) entre o centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário.

O tempo de concentração da bacia foi estimado aqui pela fórmula do Califórnia Highways, também conhecida como fórmula de Kirpich:

$$T_C = 57. \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385}$$

onde T_C = tempo de concentração em minutos; L = comprimento do maior talvegue em km; ΔH = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório. Logo, para a bacia do Maranguape II tem-se:

$$L = 4,65 \text{ km} \quad \Delta H = 131 \text{ m} \quad S = 28,15 \text{ m/km} \quad v \text{ (m/s)} = 1,51 \text{ m/s}$$

o que resulta $T_C = 0,86 \text{ h}$; $T_{LAG} = 0,515 \text{ h}$ para a Barragem Maranguape II.

A vazão de pico e o tempo de pico são, assim, calculados por:

$$Q_p = 208. \frac{A}{t_p} \quad t_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{LAG}$$

onde Q_p = é a vazão de pico (m^3/s), t_p = tempo de pico do hidrograma (h), A = área da bacia em km^2 e Δt = o intervalo de cálculo. No quadro 6.2 a seguir estão indicados os dados dos hidrogramas de cheia milenar e decamilenar.

QUADRO 6.2

Cheia	Δt (minutos)	Chuva Total (mm)	Perdas (mm)	Chuva efetiva (mm)
1.000	1	236,42	94,00	142,42
10.000	1	294,68	99,59	195,09

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 $0,25 t_p$. Estas relações baseiam-se nas seguintes relações empíricas

$$t_{lag} = 0,60 T_C \quad e \quad 1,7 t_p = \Delta t + T_C$$

onde T_C = é o tempo de concentração da bacia. O Δt utilizado foi de 1 minuto. O HEC-1 sugere que $\Delta t \leq 0,29 T_{LAG}$. Para cálculo do hidrograma de projeto por esta metodologia, é necessária uma estimativa do tempo de concentração da bacia. Este tempo de concentração foi avaliado através da aplicação da fórmula de Kirpich.

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-1, conforme metodologia acima. A vazão de pico do hidrograma de 1000 anos 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).

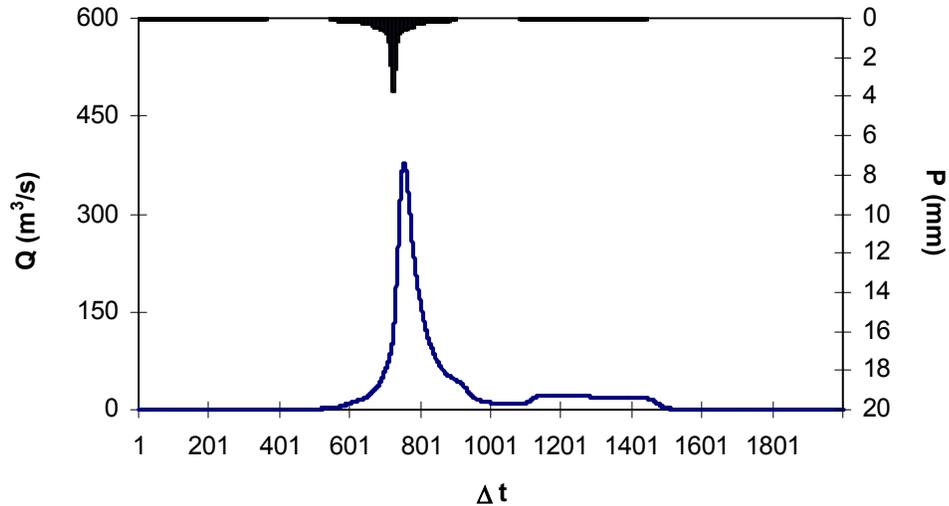


Figura 6.1 - Hidrograma total afluente ao Maranguape II (Tr = 1000 anos).

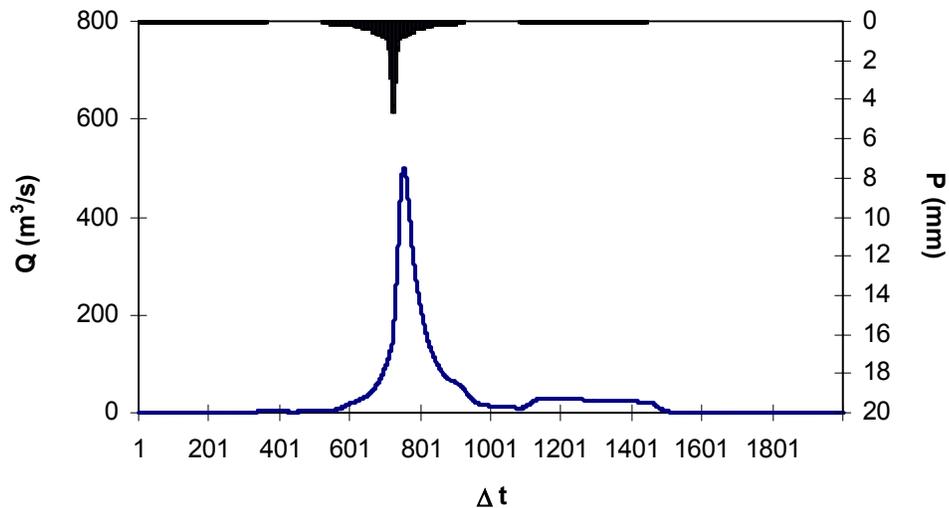


Figura 6.2 - Hidrograma total afluente ao Maranguape II (Tr = 10000 anos).

7 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO

7 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO

7.1 - INTRODUÇÃO

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 deste capítulo 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.

7.2 - METODOLOGIA

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.

7.2.1 - Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico

A equação do balanço hídrico de um reservatório pode ser dada por:

$$Z_{t+1} = Z_t + I_t - \frac{A_{t+1} + A_t}{2} E - M - S_t$$

$$S_t = \max(B - K; 0)$$

Com

$$B = Z_t + I_t - \frac{A_{t+1} + A_t}{2} E - M$$

Onde:

Z_t = volume armazenado no início do ano t;

I_t = volume afluente ao reservatório durante o ano t;

A_t = área do espelho d'água no início do ano t;

E = lâmina evaporada durante o ano t, suposta constante ao longo dos anos;

K = capacidade do reservatório;

S_t = volume perdido por sangria durante o ano t.

Representando-se a bacia hidráulica por

$$Z(h) = \alpha \cdot h^3 \quad \text{e} \quad A(h) = 3 \cdot \alpha \cdot h^2,$$

h - altura d'água α - fator de forma (obtido por regressão entre z e h^3)

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

1. estabelece-se um valor inicial para a retirada M ;
2. considera-se um volume inicial igual $\text{MIN}(0,5 K; 0,5 \mu)$;
3. Calcula-se

$$Z_U = Z_t + I_t \quad \text{p/ } Z_t + I_t \leq K$$

$$Z_U = K \quad \text{caso contrário}$$

$$D_S = \text{MAX}(Z_t + I_t - K; 0)$$

onde Z_U é o volume armazenado no final da estação e D_S o volume sangrado no ano t ;

4. Calcula-se o volume no fim da estação seca (início do próximo ano) por:
 - a) divide-se M e E em L partes (no caso $L=6$)
 - b) retirada da reserva, se disponível, de M/L

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

$$Z_2 = Z_1 - M / L \quad \text{se } Z_1 - M / L > Z_{MIN}$$

$$Z_2 = Z_{MIN} \quad \text{caso contrário (ANO FALHO)}$$

$$Z_{MIN} = \text{MAX}(0,05 \cdot K; 0,20 \cdot \mu)$$

VOLUME UTILIZADO

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

$$h_2 = \left(\frac{Z_2}{\alpha} \right)^{1/3}$$

c) retirada da reserva, se disponível, de E/L

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

$$h_3 = h_2 - E/L \quad \text{se } h_2 - E/L \geq 0$$

$$h_3 = 0 \quad \text{caso contrário}$$

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

$$Z_3 = \alpha \cdot h_3^3$$

VOLUME UTILIZADO

$$D_E = Z_3 - Z_2$$

d) retorna-se a b) até completar as L fases da integração;

5. Prossegue-se com os passos 3 e 4 até que se complete os 2000 anos da série gerada, totalizando os volumes evaporado, sangrado e liberado;
6. Concluído os 2000 anos, verifica-se se a frequência de falha está entre 9,95 e 10,05%, ou se o erro em retirada é menor do que 0,5 unidade. Caso afirmativo aceita-se o valor de M, caso contrário atribui-se novo valor de M e retorna-se a 1.

7.2.2 - O Diagrama Triangular de Regularização

O método do Diagrama Triangular baseia-se no balanço de massas de um reservatório para um período longo:

$$\sum I = \sum M + \sum S + \sum E + Z$$

Onde $\sum I, \sum M, \sum S, \sum E$ representam as somas dos volumes afluente, retirado, sangrado e evaporado, enquanto Z representa a diferença entre os volumes final e inicial do reservatório. Dividindo-se a equação de balanço de massas acima por N , sendo N suficientemente grande, obtém-se:

$$\mu = E \{M\} + E \{S\} + E \{E\}$$

Onde $E \{.\}$ representa operador valor esperado, e μ o deflúvio afluente médio. Pela última equação verifica-se que o volume afluente divide-se em três componentes, o que sugere o uso do Diagrama Triangular para estabelecer como esta divisão se processa em função dos parâmetros estatísticos dos deflúvios e das características do reservatório (CAMPOS, 1990).

7.3 - RESULTADOS

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

- lâmina média escoada: 322 mm
- volume 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,

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

$$\alpha = 1884,1$$

$$f_E = 3\alpha^{1/3} E_L / \mu^{1/3} = 0,15$$

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.

Quadro 7.1 - Estudo incremental de capacidades do Reservatório Maranguape II

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

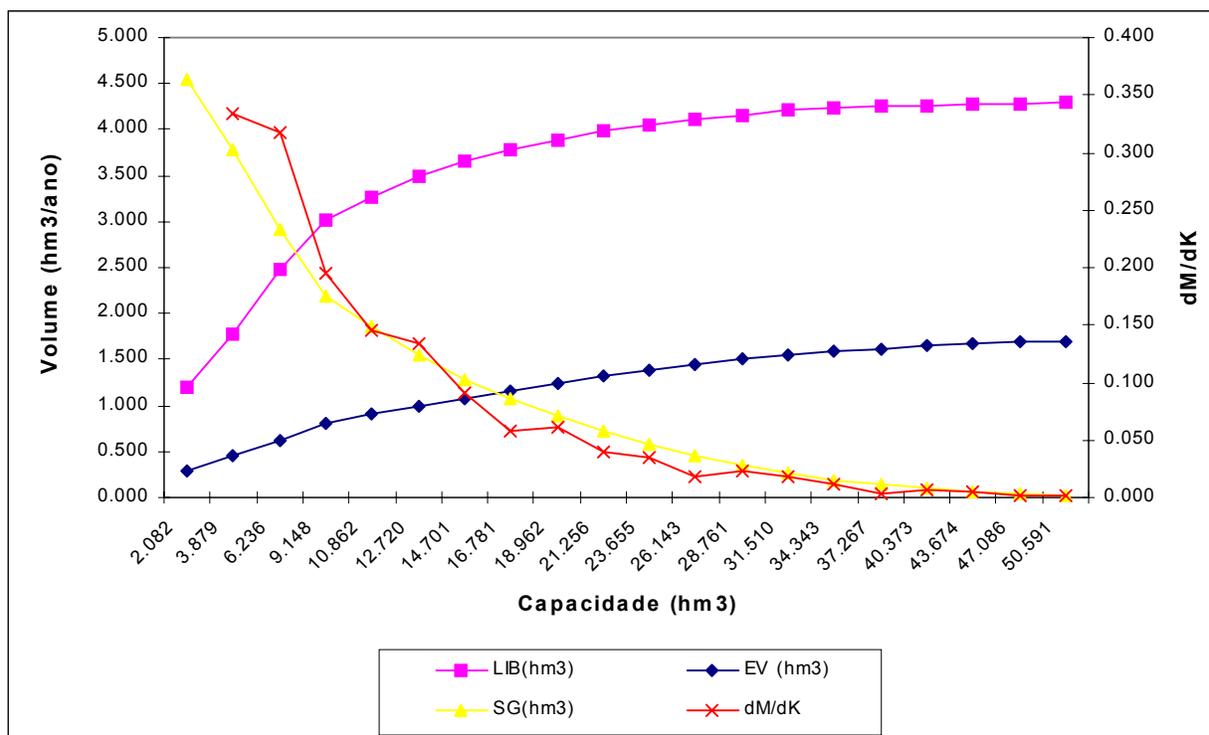


Figura 7.1 - Curvas de Regulação do Reservatório Maranguape II

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 seja, 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 Reservatório Maranguape II

Equação do Balanço Hídrico			
LB - %	SG - %	EV- %	Qr 90% (m ³ /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)

LB- Volume liberado (hm³/ano);

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

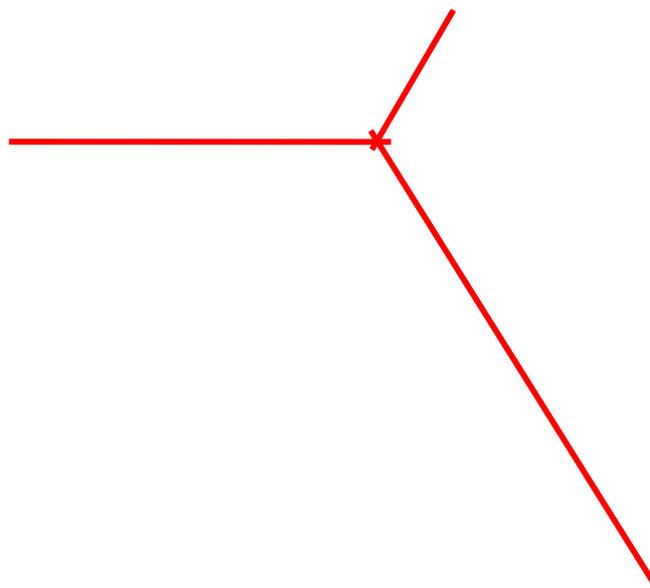


Figura 7.2 – Diagrama Triangular de Regularização aplicado a Barragem de Maranguape II.

8 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO

8 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO

8.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo reúne os resultados dos estudos hidrológicos e dados de custos da barragem Maranguape II, com vistas a dar suporte à decisão sobre a capacidade de acumulação da mesma.

8.2 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

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 $9,148 \text{ hm}^3$ ($f_K = 1,54$) 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 seja, $3,024 \text{ hm}^3/\text{ano}$, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de $0,100 \text{ m}^3/\text{s}$.

8.3 - 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 a 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 a uma taxa de 8%;
- variação do ganho em unidades de volume regularizado por unidade de volume acrescido na capacidade do reservatório (dM/dK);

A análise dos resultados da Figura 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).

8.4 - ESCOLHA DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO – ANÁLISE HIDROLÓGICO-ECONÔMICA

Apesar de tanto o custo anual do m³ regularizado como também de custo anual do m³ 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, hidrológicos e econômicos sugere-se a adoção da cota de soleira = 94 m (volume de armazenamento = 9,148 hm³).

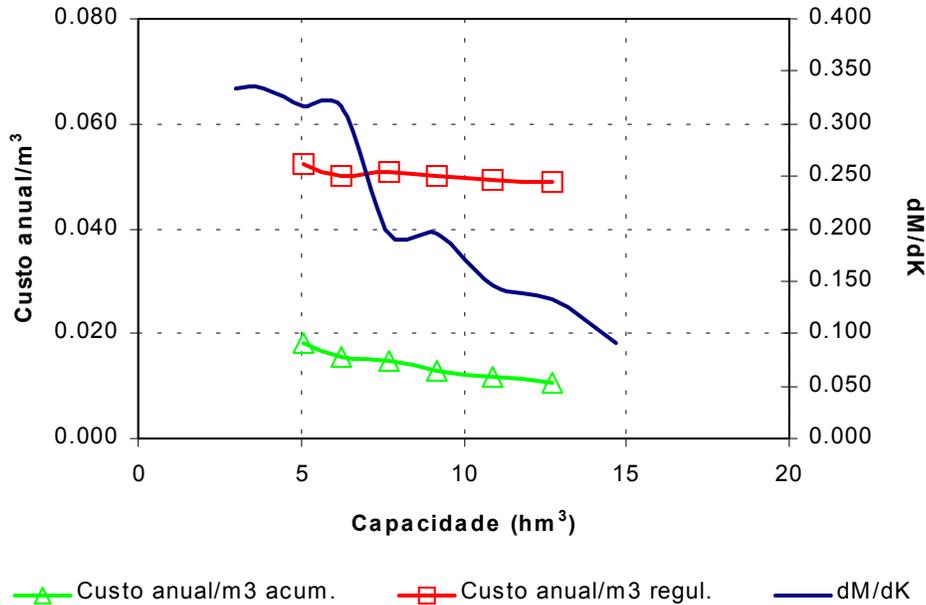


Figura 8.1. Análise hidrológico-econômica para seleção da capacidade da barragem Maranguape II.

9 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO

9 - 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.

Dentre destes princípios, apresenta-se neste capítulo o dimensionamento do sangradouro.

9.1 - PROPAGAÇÃO DA CHEIA NO RESERVATÓRIO

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

A equação discretizada da continuidade é dada por

$$\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} = \frac{I_t + I_{t+1}}{2} - \frac{Q_t + Q_{t+1}}{2} \quad (1)$$

Onde I_t e I_{t+1} = vazões afluentes ao reservatório em t e $t+1$; Q_t e Q_{t+1} = vazões de saída ao reservatório em t e $t+1$; S_t e S_{t+1} = armazenamento em t e $t+1$; Δt = intervalo de tempo. As incógnitas Q_{t+1} e S_{t+1} podem ser colocadas em um mesmo lado, resultando em

$$Q_{t+1} + 2 \cdot \frac{S_{t+1}}{\Delta t} = I_t + I_{t+1} - Q_t + 2 \cdot \frac{S_t}{\Delta t} \quad (2)$$

Conhecendo-se a função $Q = f(S)$, constrói-se uma função $Q = h(Q + 2S/\Delta t)$, resultando no seguinte processo de cálculo:

1. determinação do volume inicial S_0 (conforme objetivo do estudo), e a partir deste, determina-se Q_0 ;
2. calcular o termo direito da equação 2, uma vez que o hidrograma de entrada foi determinado pelo método do hidrograma unitário do SCS;

3. com este valor $(Q_{t+1} + 2.S_{t+1}/ \Delta t)$ é possível obter Q_{t+1} através de $Q=h(Q+2S/\Delta t)$ e S_{t+1} através de $S_{t+1} = f-1(Q_{t+1})$;

4. repetem-se 2 e 3 para todos intervalos de cálculo.

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

$$Q = 1,4 L (Z - Z_w)^{1,5} \quad \text{e} \quad Q = 2,1 L (Z - Z_w)^{1,5}.$$

9.2 - RESULTADOS

Uma vez escolhida a dimensão do açude (cota=94 m), 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 hietograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Maranguape II correspondente ao tempo de retorno $Tr=1,000$ 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

Z_w = Cota da soleira do sangradouro

Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

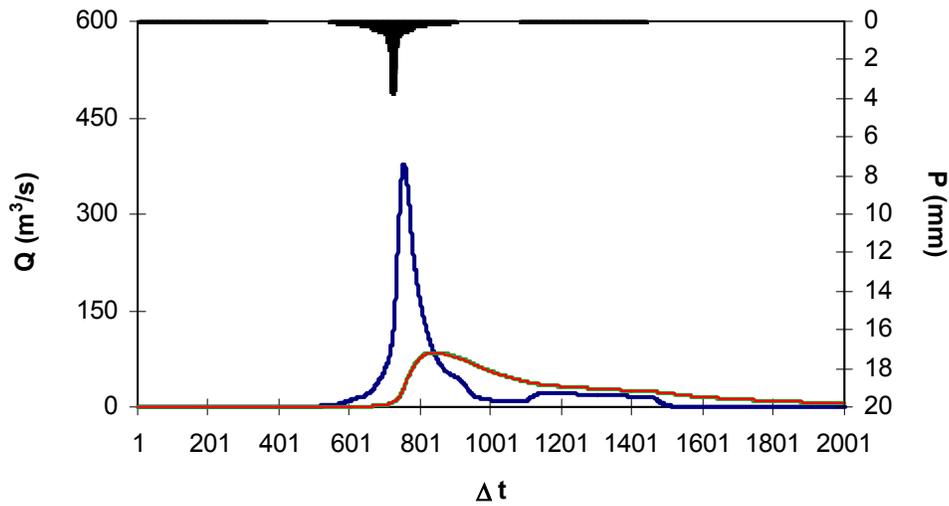


Figura 9.1 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Maranguape II (Tr=1.000 anos). Escavado em Rocha (verde) e em Perfil Creager (vermelho).

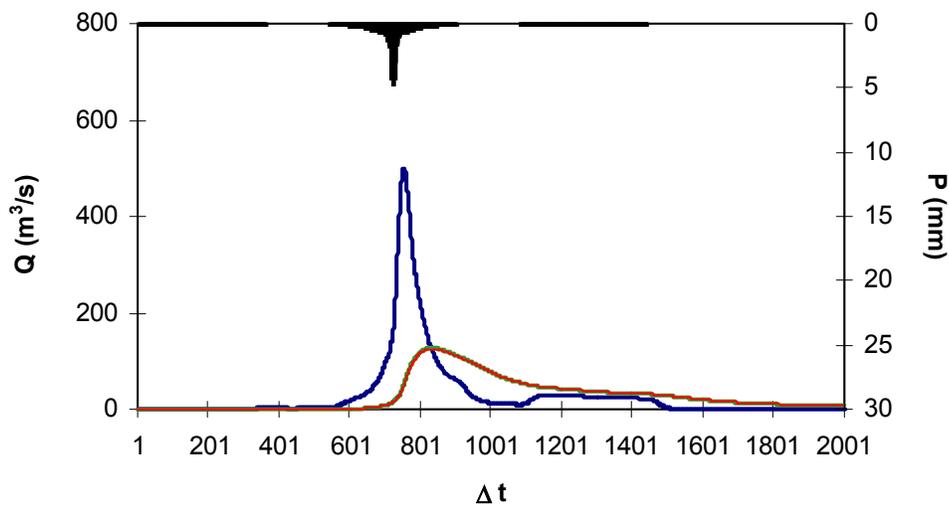


Figura 9.2 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Maranguape II (Tr=10.000 anos). Escavado em Rocha (verde) e em Perfil Creager (vermelho).

10 - ESTUDOS ADICIONAIS

10 - ESTUDOS ADICIONAIS

10.1 - INTRODUÇÃO

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.

10.2 - PROBABILIDADES DE ENCHIMENTO E ESVAZIAMENTO - EQUILÍBRIO

Neste tópico foi utilizada a teoria de Matriz de Transição para o 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%.

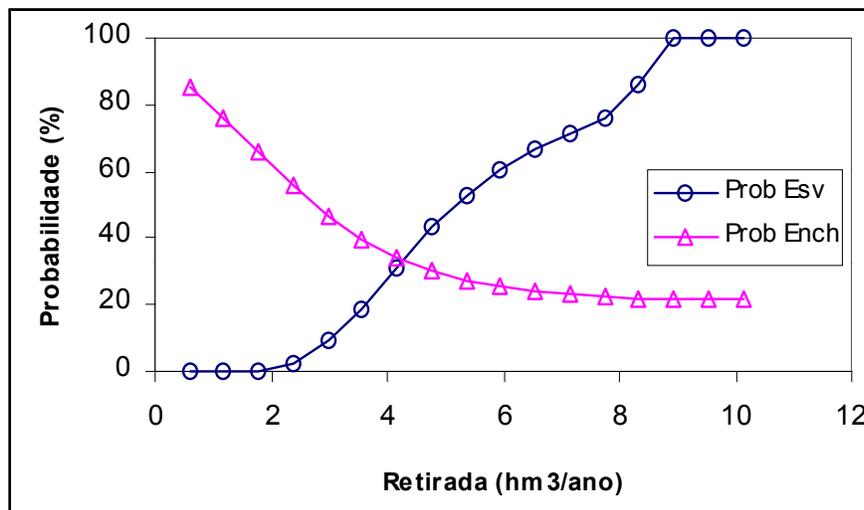


Figura 10.1. Probabilidades de esvaziamento e enchimento do açude Maranguape II.

10.3 - 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 e precipitação do mês mais chuvoso) foram utilizadas fórmulas empíricas para cálculo dos seguintes parâmetros para utilização da metodologia de Veiga (1993) para previsão do assoreamento do reservatório.

- Deflúvio anual médio (hm^3): 5,957
- Área 18,5 km^2
- Peso específico aparente inicial - gamai (t/m^3): 1,331
- Coeficiente de consolidação médio - K : 0,0266
- Descarga sólida média (t/ano): 12696
- Descarga sólida média específica ($\text{t}/\text{km}^2/\text{ano}$): 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), mostrando o acompanhamento, a cada intervalo de simulação, das variáveis utilizadas bem como do sedimento acumulado e do volume efetivo. Foi assim obtido um volume final ao período de 100 anos de $8,243 \text{ hm}^3$, havendo uma redução de 9,89% no volume útil do açude Maranguape II, o qual era inicialmente de $9,148 \text{ hm}^3$. 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_r (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).