

BARRAGEM MAMOEIRO

MÓDULO II – ESTUDOS BÁSICOS, ANTEPROJETOS E AVALIAÇÕES

VOLUME I – ESTUDOS BÁSICOS

TOMO 2 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS

EDITADO EM MARÇO DE 2006

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	2
1 - INTRODUÇÃO	9
2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO	10
3 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA	11
3.1 – ÍNDICES DE FORMA DA BACIA	11
4 - ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS	15
4.1 – PRINCIPAIS PARÂMETROS	15
4.1.1 - Temperatura	15
4.1.2 - Umidade Relativa	16
4.1.3 - Insolação Média	17
4.1.4 - Ventos	18
4.1.5 - Evaporação Média	19
4.1.6 - Evapotranspiração	20
4.2 – BALANÇO HÍDRICO	21
4.3 – CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA	22
4.3.1 - Classificação Segundo Köeppen	22
4.3.2 - Classificação Segundo Thornthwaite	22
4.4 – SINOPSE CLIMATOLÓGICA	23
5 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS	24
5.1 – DADOS UTILIZADOS	24
5.2 – CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO	24
5.2.1 - Nível Anual	24
5.2.2 - Nível Mensal	26
5.2.3 - Nível Diário	27

5.2.4 - Chuvas Intensas.....	28
6 - ESTUDO DE CHEIAS.....	31
6.1 - INTRODUÇÃO.....	31
6.2 - METODOLOGIA.....	31
6.2.1 - Precipitação.....	32
6.2.2 - Precipitação Efetiva.....	33
6.2.3 - Hidrograma Unitário - SCS.....	36
7 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO.....	38
7.1 - INTRODUÇÃO.....	38
7.2 - METODOLOGIA.....	38
7.2.1 - Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico.....	38
7.3 - RESULTADOS.....	40
8 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO.....	43
8.1 - PROPAGAÇÃO DA CHEIA NO RESERVATÓRIO.....	43
8.2 - RESULTADOS.....	44
9 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO.....	48
10 - ESTUDOS ADICIONAIS.....	49
10.1 - INTRODUÇÃO.....	49
10.2 - PROBABILIDADES DE ENCHIMENTO E Esvaziamento - Equilíbrio.....	49
10.3 - ASSOREAMENTO DO AÇUDE MAMOEIRO.....	50

APRESENTAÇÃO

O consórcio KL - Serviços de Engenharia S/S Ltda, MABE – Infra-Estrutura e Serviços Ltda e ENERCONSULT S/A, no âmbito do contrato Nº11/PROGERIRH/CE/SRH/2003 do Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – PROGERIRH tem por finalidade a Elaboração dos Estudos de Viabilidades Técnicas, Ambientais, Econômicas, Eias - Rimas, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais e Planos de Reassentamentos de Populações, Manuais de Operação e Manutenção e Avaliação Financeira e Econômica referentes às Barragens: Mamoeiro, Riacho do Meio, Melancia, Jucá e Jatobá e Adutoras de Antonina do Norte, Granjeiro, Croatá e Ipueiras.

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 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 Básicos, Anteprojetos e Avaliações

VOLUME I: Estudos Básicos

TOMO 1 – Relatório Geral

TOMO 2 – Estudos Hidrológicos

TOMO 3 – Estudos Cartográficos

TOMO 4 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

TOMO 5 – Estudos Pedológicos

VOLUME II: Anteprojetos

TOMO 1 – Relatório de Concepção Geral

TOMO 1A – Desenhos e Plantas

TOMO 1B – Memória de Cálculo

VOLUME III: Avaliações Financeiras e Econômicas

TOMO 1 – Relatório de Avaliações Financeira e Econômica

Módulo III: Estudos dos Impactos no Meio Ambiente (EIA/RIMA)

VOLUME I: EIA

VOLUME II: RIMA

Módulo IV: Detalhamento do Projeto Executivo das Barragens

VOLUME I: Detalhamento do Projeto Executivo

TOMO 1 – Memorial Descritivo do Projeto

TOMO 2 – Desenhos do Projeto

TOMO 3 – Memória de Cálculo

TOMO 4 – Especificações Técnicas

TOMO 5 – Quantitativos e Orçamentos

TOMO 6 – Síntese

Módulo V: 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 – Relatório Final do Reassentamento

Módulo VI: 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 Medições

Módulo VII: Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção

VOLUME I: Manuais de Operação e Manutenção

O presente relatório que trata da **Barragem Mamoeiro**, aqui nomeado como Volume I – Estudos Básicos, Tomo 2 – Estudos Hidrológicos, é parte integrante do Módulo II – Estudos Básicos, Anteprojetos e Avaliações.

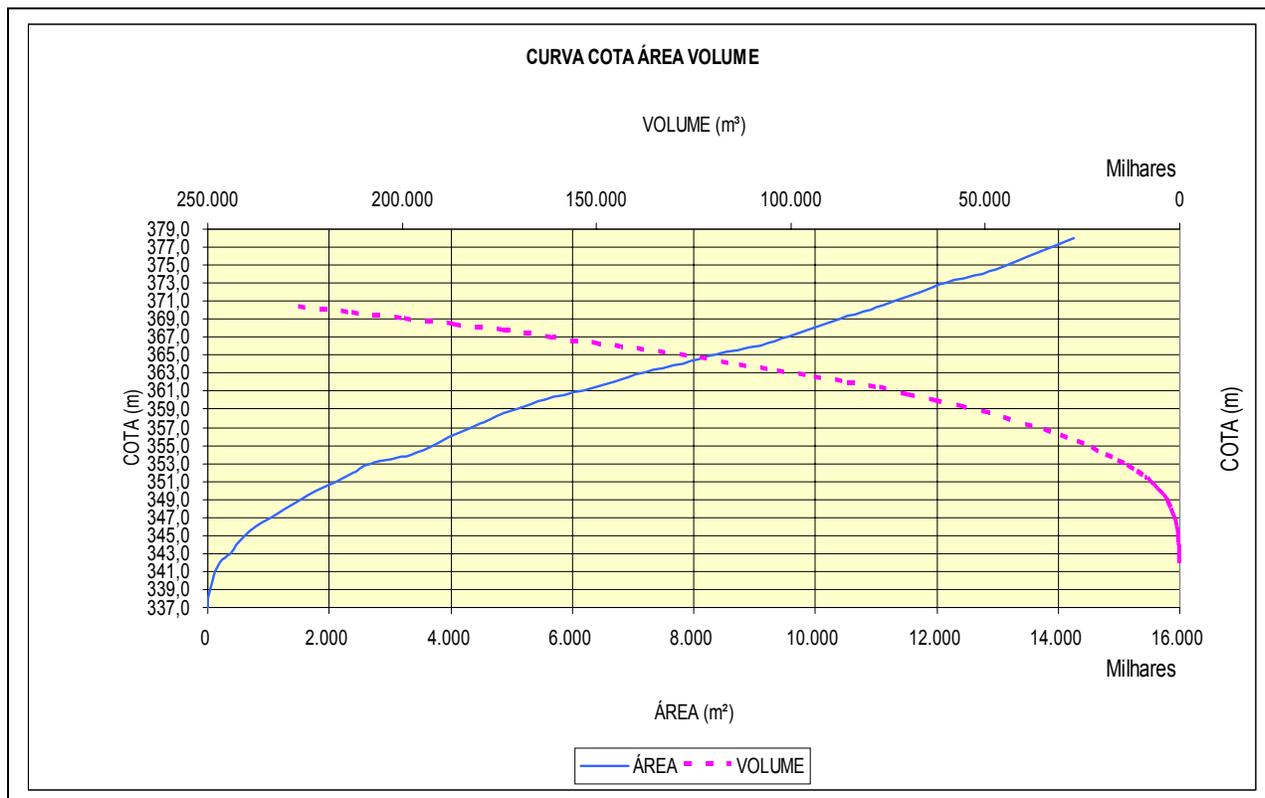
SUMÁRIO TÉCNICO DOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	
Área da bacia do Açude Mamoeiro	1887,6 km ²
Perímetro da bacia do Açude Mamoeiro	222,5 km
Declividade Média da bacia do Açude Mamoeiro	3,72 m/km
Comprimento do rio principal	107,6 km
Fator de compacidade	1,44
Fator de forma	0,16
Tempo de concentração (toda a bacia)	21,03 hrs
Tempo de concentração (Poço da Pedra)	9,48 hrs

HIDROCLIMATOLOGIA	
Pluviometria Média Anual (sobre a bacia)	618,2 mm
Evaporação Média Anual	2493,6 mm
Evapotranspiração Potencial (Hargreaves)	1874,2 mm
Insolação Média Anual	2624,3 h
Umidade Relativa Média Anual	64,2 %
Temperatura Média Anual: Média das Máximas	30,7 °C
Temperatura Média Anual: Média das Médias	24,1 °C
Temperatura Média Anual: Média das Mínimas	20,1 °C
Classificação Climática	DS2A'a'
Classificação climática segundo Köppen	BWx'

ESTUDO DE CHEIAS	
Precipitação Efetiva	SCS
Propagação do Escoamento na Bacia	Hidrograma Unitário do SCS
CN	83
Vazão afluente – Tempo de retorno = 1000 anos	2959 m ³ /s
Vazão afluente – Tempo de retorno = 10000 anos	3938 m ³ /s

CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO	
Capacidade máxima	20,683 hm ³
Cota da soleira do sangradouro	355 m
Cota de coroamento	363,30 m
COTA – ÁREA – VOLUME	



CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO - EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO			
RG - %	SG - %	EV - %	QR 90% (m³/s)
4,246 – 5,7%	67,003 – 89,4%	3,671 – 4,9%	0,14

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)

DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO - PERFIL CREAGER: Z_w = 355,0 m			
DURAÇÃO DA CHUVA = 48 HORAS			
COTA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	QOUT (m³/s)
Tr = 1000 anos - Qin = 2959 m³/s			
Perfil Creager: L = 80 m			
355	361,00	6,00	2.466,00
Tr = 10.000 anos - Qin = 3938 m³/s			
Perfil Creager: L = 80 m			
355	362,30	7,30	3.310,00

PROBABILIDADES DE ENCHIMENTO E ESVAZIAMENTO	
RETIRADA ANUAL (hm ³)	PROBABILIDADES
6,0	Enchimento = 68% Esvaziamento = 10% Garantia = 90%

ASSOREAMENTO			
VOLUME INICIAL	PERÍODO SIMULADO	VOLUME FINAL	REDUÇÃO
20,68 hm ³	40 anos	0 hm ³	100%

1 – INTRODUÇÃO

O consórcio constituído pelas empresas KL – Serviços de Engenharia S/S Ltda, MABE – Infra-Estrutura e Serviços Ltda e ENERCONSULT S/A vem, através desta, apresentar, em atendimento ao Contrato N°11/PROGERIRH/SRH/2003, os Estudos Hidrológicos da Barragem Mamoeiro.

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;
- Estudos Adicionais.

2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O sítio do barramento fica localizado no Riacho Conceição, nas proximidades da localidade de Várzea Nova (Vila Luziana), no município de Antonina do Norte. Na verdade o riacho Conceição forma a divisa dos municípios de Antonina do Norte e Aiuaba.

O acesso ao local pode ser feito de duas formas a saber. A primeira opção é feita partindo-se de Fortaleza pela BR-116 seguindo-se até a cidade de Icó. Esse trajeto é feito percorrendo-se 370 km. De Icó segue-se pela CE-282, por mais 50 km, até chegar à cidade de Iguatu. De Iguatu segue-se pela CE-284 até a cidade de Antonina do Norte. Desta segue-se pela CE-176 por 7,3 km. Daí toma-se à esquerda por uma estrada carroçável para o vilarejo de Várzea Nova (Vila Luziana), cerca de 4,0 Km. Desta localidade, seguindo a estrada carroçável, cerca de 6,0 Km, chega-se nas opções de eixo. A segunda alternativa de acesso é feita pela BR-116 até o entroncamento desta com a CE-060. Esse percurso é feito percorrendo-se 69 km. Deste ponto, conhecido como Triângulo Quixadá, segue pela CE-060 até a cidade de Iguatu, percorrendo mais 230 km de Iguatu até a obra segue-se o mesmo roteiro da primeira alternativa.

3 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia do Açude Mamoeiro abrange uma área de 1887,6 km², um perímetro de 222,47 km, uma declividade de 3,72 m/km e um comprimento do curso principal de 107,63 km. A forma desta bacia pode agora ser caracterizada utilizando estes dados. A forma de uma bacia hidrográfica é importante, pois afeta o tempo de concentração, ou seja, o tempo do início da precipitação para que toda a bacia contribua no seu exutório, podendo assim servir como um indicativo de tendência para enchentes de uma bacia. Bacias pequenas variam muito de formato, dependendo da estrutura geológica da região.

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 Mamoeiro 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 Mamoeiro, tem-se que A= 1887,6 km², P= 222,47 km e L=107,63 km, o que resulta em um fator de forma (k_f) de 0,16 e um fator de compacidade (k_c) de 1,44.

Um fator de compactidade 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.

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

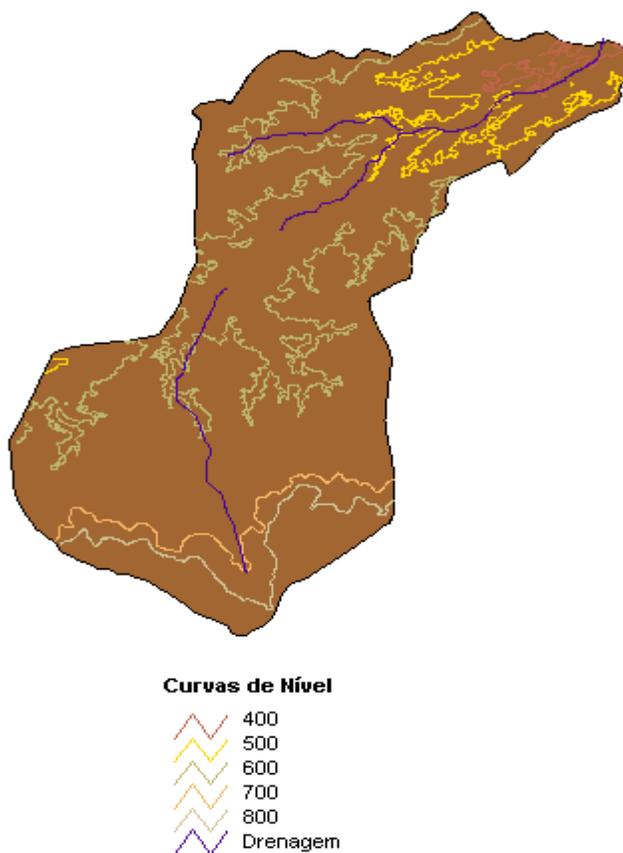


FIGURA 3.1 - BACIA DO AÇUDE MAMOEIRO

A bacia do Açude Mamoeiro tem predominantemente solos LVd11, LVd4, Lvd5, LVd8, NC6, PE 19, PE 20 e PE34. (Ver Figura 3.2), o que associado com o relevo da bacia resulta em solos com moderada capacidade de drenagem (Figura 3.3). A vegetação predominante é a Caatinga Arbórea, seguida da Carrasco e uma pequena área de Mata Seca. O principal uso é a agricultura (culturas anuais, temporárias e permanentes) seguido de pastagem e vegetações naturais (Figura 3.5).

Solos da Bacia do Mamoeiro

- Água
- Lv011
- Lv04
- Lv05
- Lv08
- N06
- PE 19
- PE 20
- PE 34

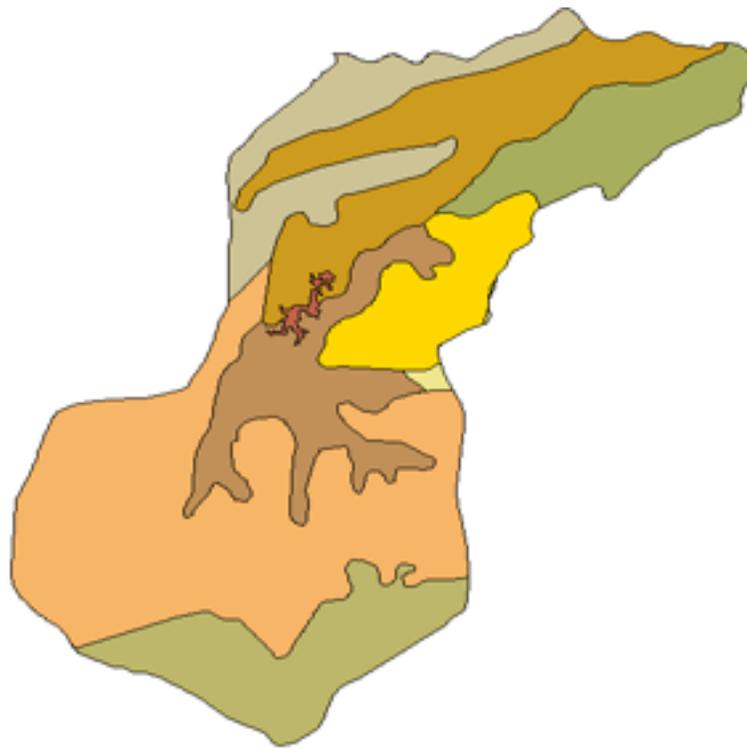


FIGURA 3.2 - SOLOS DA BACIA DO AÇUDE MAMOEIRO (FONTE:FUNCEME)

Grupo Hidrológico de Solos da Bacia do Açude Mamoeiro

- B
- BC
- CD

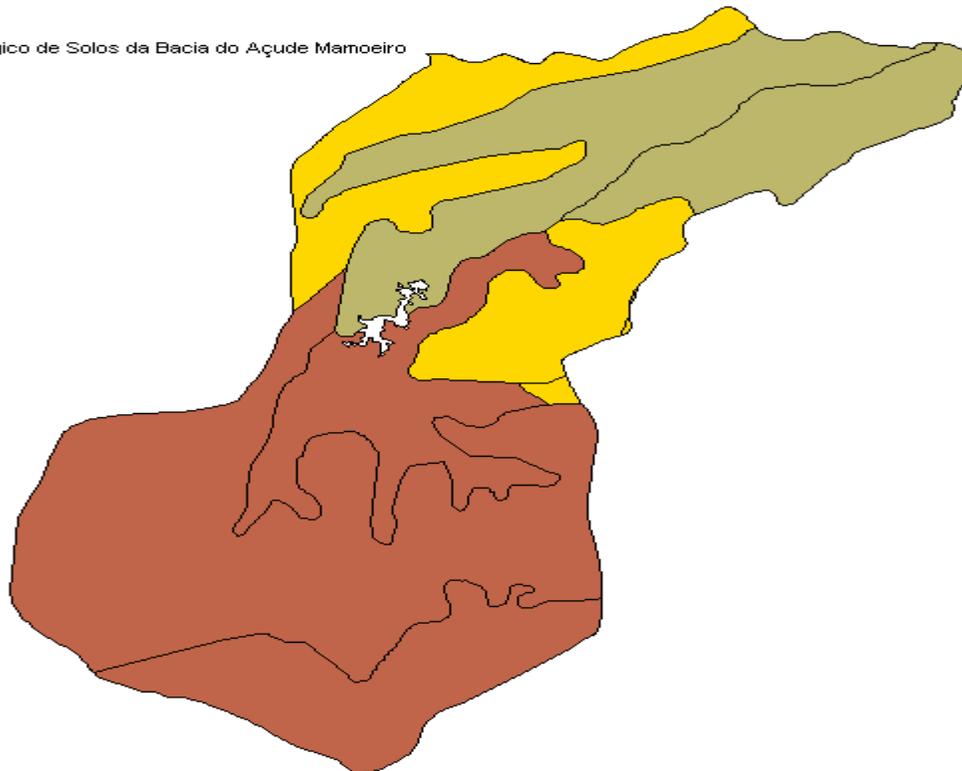


FIGURA 3.3 - GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SOLOS DA BACIA DO AÇUDE MAMOEIRO (FONTE: FUNCEME)

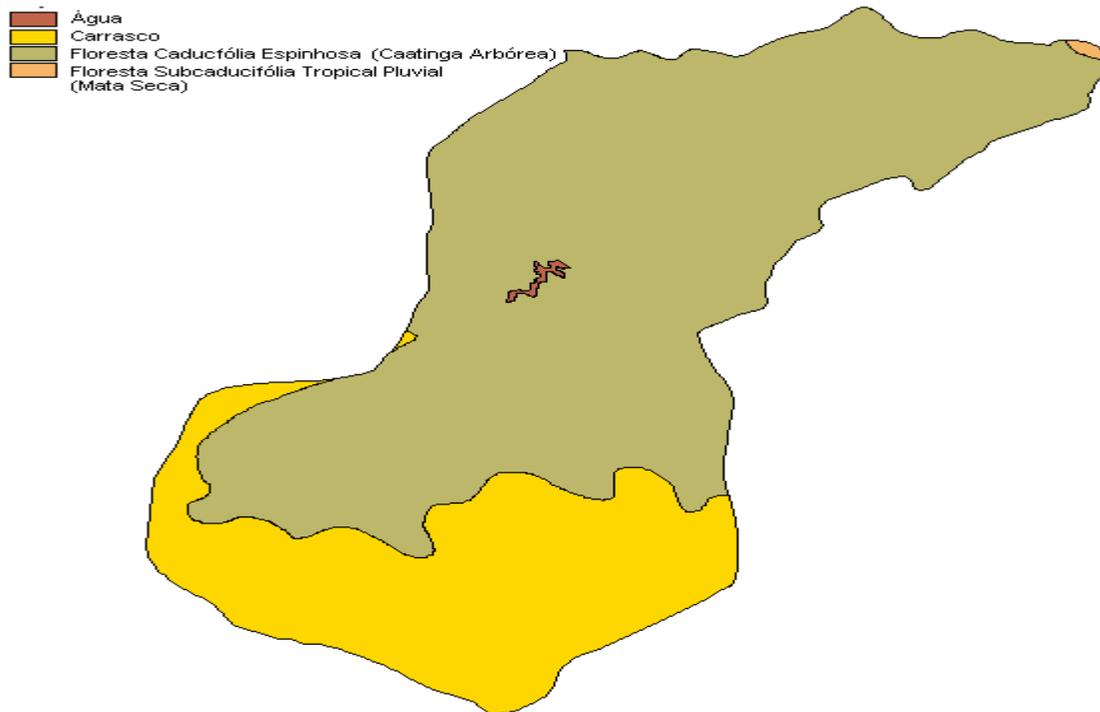


FIGURA 3.4 - VEGETAÇÃO DA BACIA DO AÇUDE MAMOEIRO (FONTE: FUNCEME)

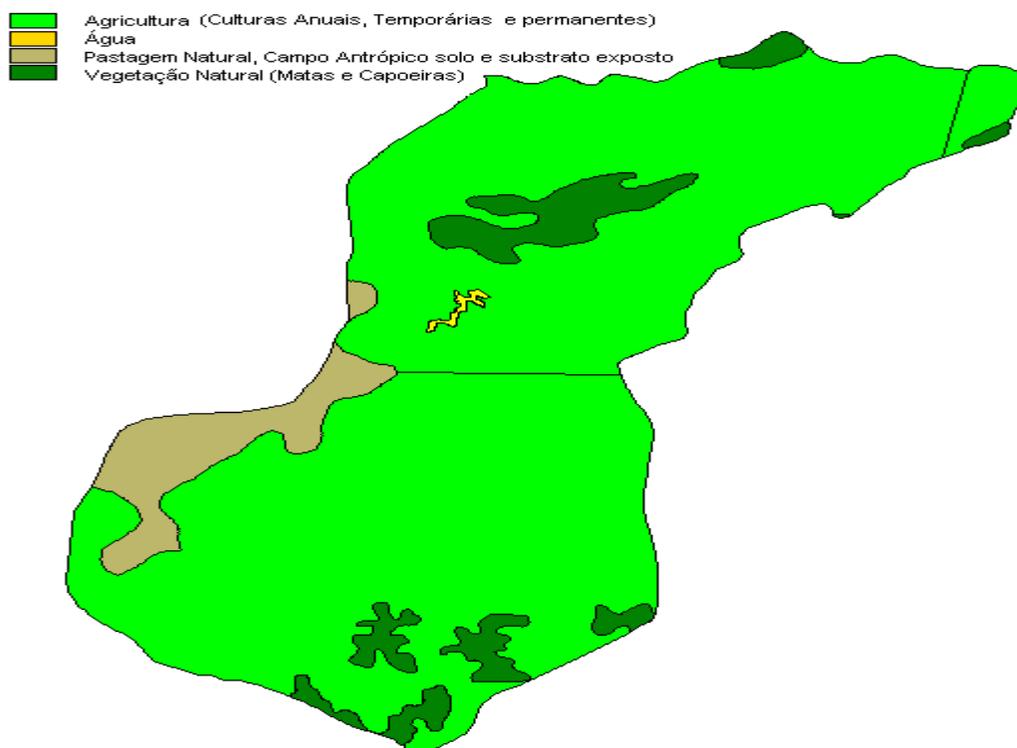


FIGURA 3.5 - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO AÇUDE MAMOEIRO (FONTE: FUNCEME)

4 – ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

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

A bacia hidrográfica estudada drena uma área de 1887,6 km² no local a ser barrado. A referida bacia tem localizada em seus domínios a estação hidroclimatológica de Campos Sales, com denominação homônima de sua localidade (INEMET, 1991)¹.

4.1 – PRINCIPAIS PARÂMETROS

4.1.1 – 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

A temperatura compensada apresenta uma pequena variação de 3,1 °C, isso para os meses de julho (22,0 °C) e dezembro (25,1 °C). As médias máximas e mínimas

¹INEMET, 1991. INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS.

extremas ocorrem respectivamente nos meses de outubro (33,1 °C) e Julho (18,2 °C), conforme se observa no Quadro 4.1 e Figura 4.1.

QUADRO 4.1 – TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS E COMPENSADAS (°C) NA ESTAÇÃO DE CAMPOS SALES													
MÉDIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Máxima	331,1	330,4	229,1	229,1	229,4	229,4	229,5	330,9	330,8	333,1	332,9	332,4	330,7
Comp.	23,7	24,1	24,0	23,6	23,4	22,9	22,0	24,0	24,2	26,4	26,2	25,1	24,1
Mínima	221,4	220,3	221,7	220,4	219,0	118,3	118,2	118,7	119,4	220,9	221,7	221,3	220,1

FONTE: INEMET (1991)²

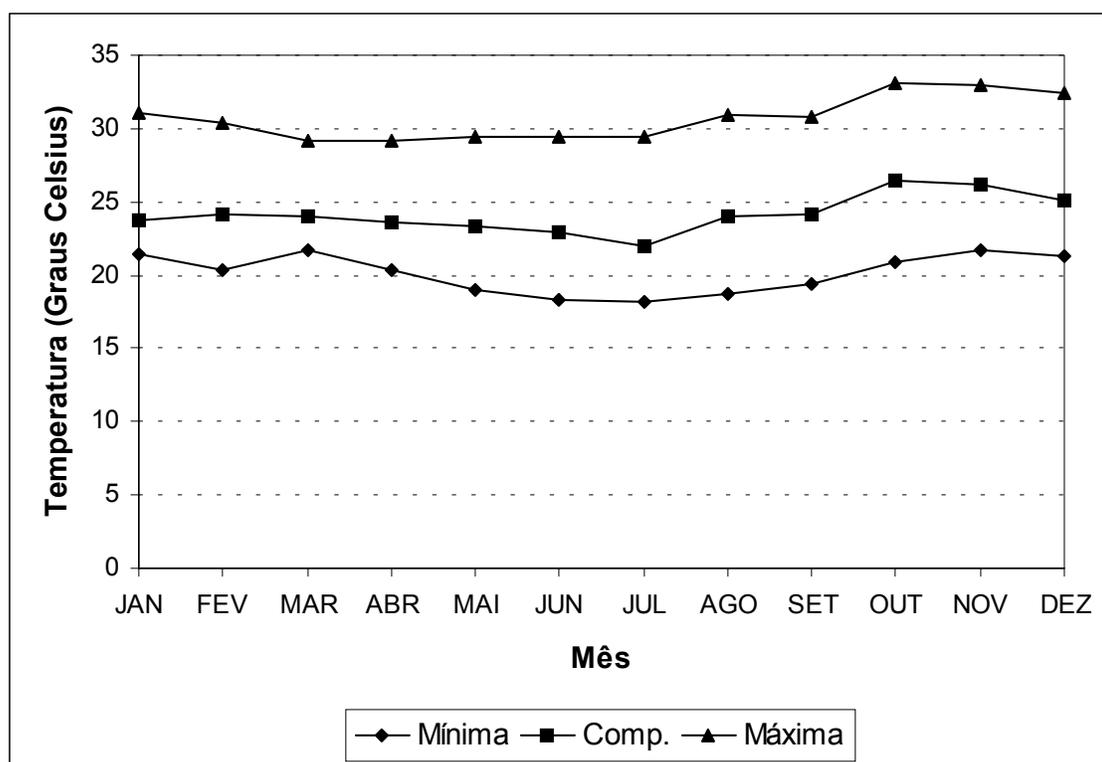


FIGURA 4.1 - TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS E MÉDIAS COMPENSADAS NA ESTAÇÃO DE CAMPOS SALES

4.1.2 – Umidade Relativa

A umidade relativa média apresenta uma variação máxima de 29% referente aos meses de Abril (79%) e Outubro (50%), como se pode verificar no Quadro 4.2 e Figura 4.2.

QUADRO 4.2 – UMIDADE RELATIVA NA ESTAÇÃO DE CAMPOS SALES

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

MÉDIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
%	68,0	74,0	82,0	79,0	72,0	66,0	62,0	53,0	52,0	50,0	53,0	59,0	64,2

FONTE: INEMET (1991)³

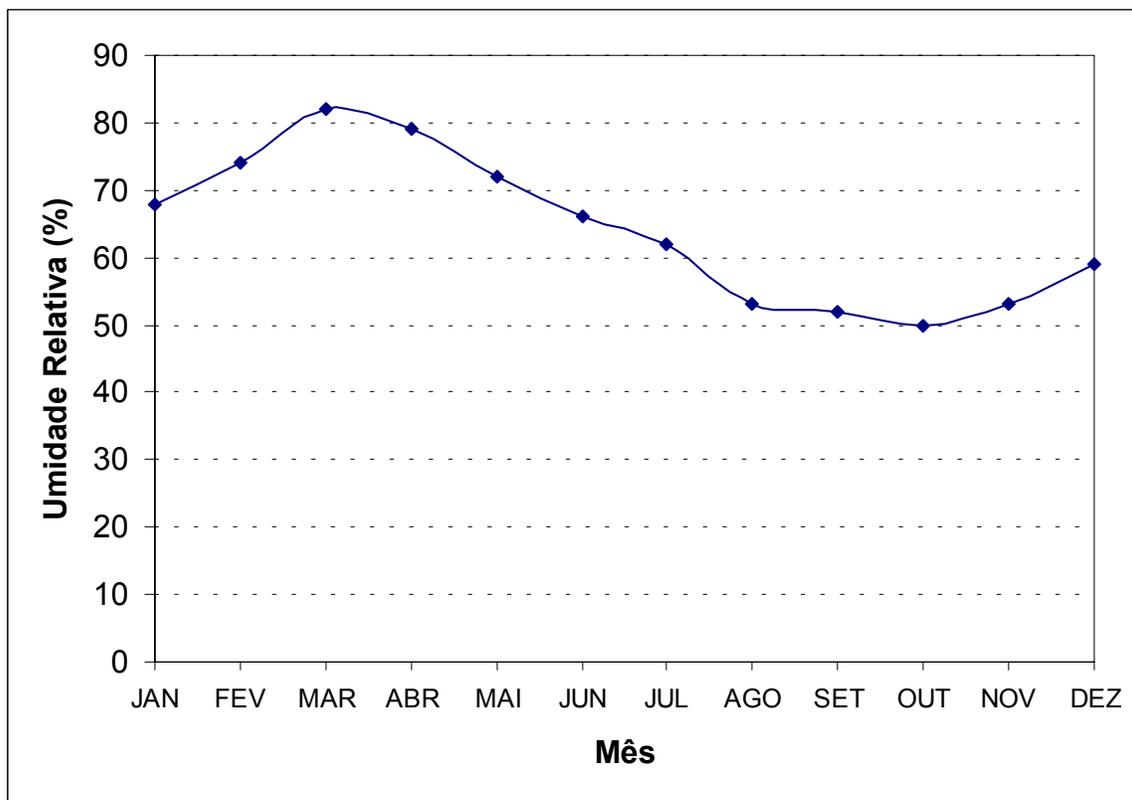


FIGURA 4.2 – UMIDADE RELATIVA NA ESTAÇÃO DE CAMPOS SALES

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.

4.1.3 – Insolação Média

O Quadro 4.3 e a Figura 4.3 mostram, respectivamente, o número de horas de exposição no local da estação de Campos Sales e sua distribuição mensal. Em termos anuais, no mesmo período, tem-se 2624 horas de exposição, podendo-se concluir de maneira aproximada que cerca de 60% dos dias do ano possuem incidência solar

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

direta. O trimestre janeiro/fevereiro/março apresenta os menores valores mostrando estreita relação com o trimestre mais chuvoso.

QUADRO 4.3 – INSOLAÇÃO MÉDIA NA ESTAÇÃO DE CAMPOS SALES													
MÉDIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
horas	184	154	172	187	229	255	245	291	272	247	168	221	2624

FONTE: INEMET (1991)⁴

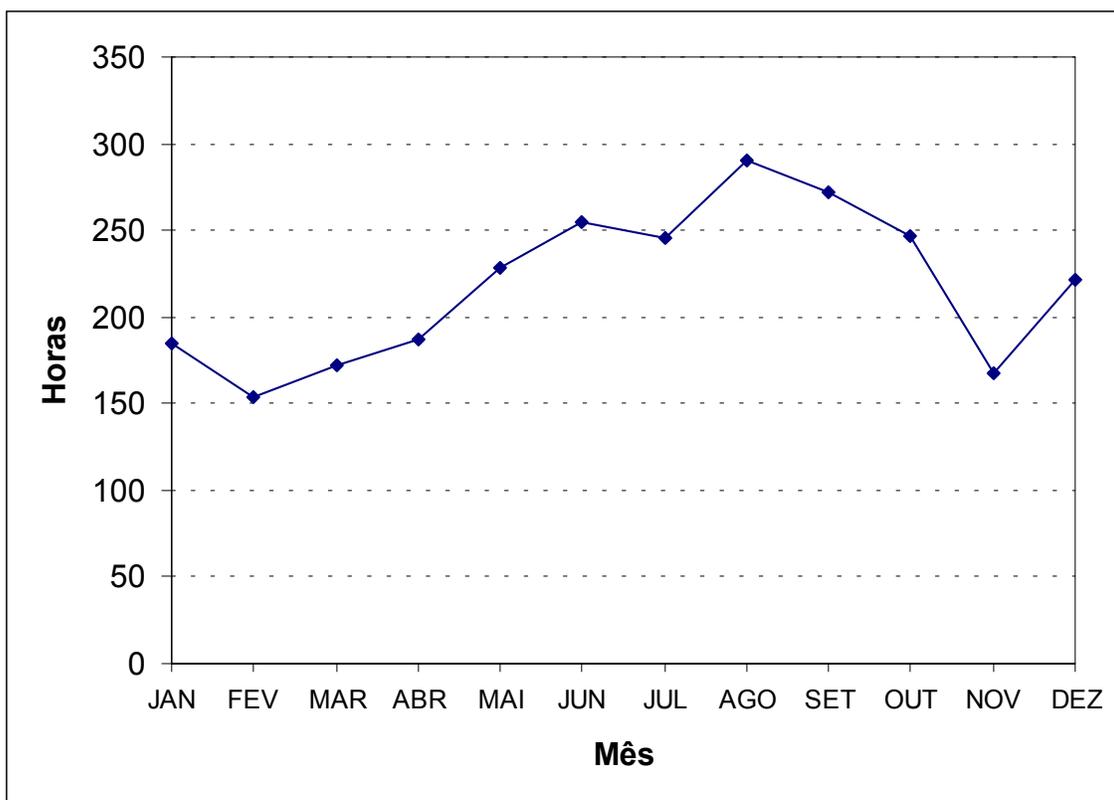


FIGURA 4.3 – INSOLAÇÃO MÉDIA NA ESTAÇÃO DE CAMPOS SALES

4.1.4 – Ventos

A intensidade do vento é medida nos horários sinóticos de observação, a uma altitude de 10 m em relação a 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 Campos Sales apresenta suas velocidades médias dos ventos descrita no Quadro 4.4. Esta região a direção reinante dos ventos está dentro do quadrante Sudeste/Leste, para o período de abril a setembro, e dentro do quadrante Leste/Nordeste para o período de outubro a março.

QUADRO 4.4 – VELOCIDADE MÉDIA DOS VENTOS NA ESTAÇÃO DE CAMPOS SALES

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

MÉDIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
m/s	3,4	3,3	2,9	3,7	4,0	4,7	4,6	5,1	4,8	4,5	3,9	3,8	4,1

FONTE: PERH(1992)⁵

4.1.5 – Evaporação Média

A evaporação anual observada em tanque-tipo classe “A” é de 2493 mm, distribuída ao longo dos meses segundo o Quadro 4.5 e Figura 4.4.

QUADRO 4.5 – EVAPORAÇÃO MÉDIA NA ESTAÇÃO DE CAMPOS SALES													
MÉDIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
mm	175	119	102	103	154	183	235	302	313	282	276	249	2493

FONTE: INEMET (1991)

O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a agosto/setembro/outubro, ocorrendo o máximo em setembro (313 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.

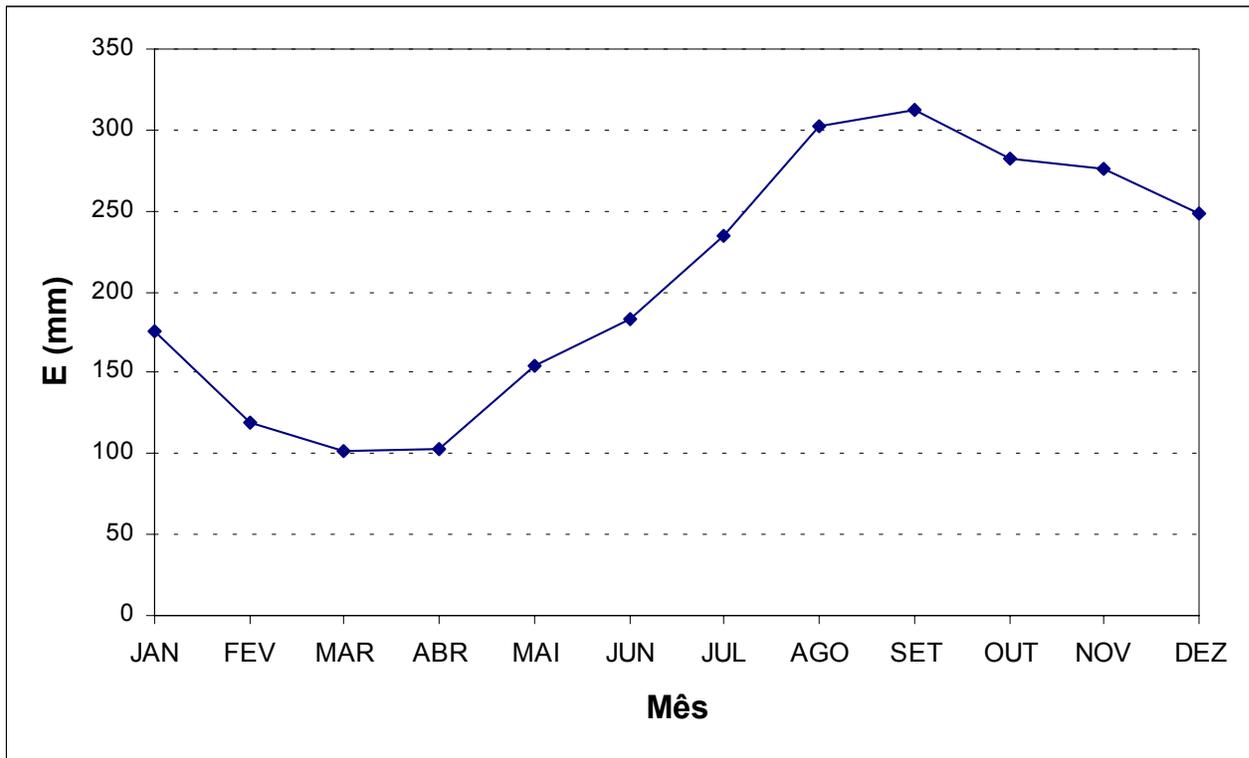


FIGURA 4.4 – EVAPORAÇÃO MÉDIA NA ESTAÇÃO DE CAMPOS SALES

4.1.6 – 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.

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

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	165,4	134,9	119,1	113,2	121,4	120,4	132,0	169,3	183,5	216,2	205,5	193,3	1874,2

O trimestre que apresenta os maiores valores de evapotranspiração corresponde a outubro/novembro/dezembro, ocorrendo o máximo em outubro (216,2 mm). O

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

trimestre março/abril/maio possui o menor índice de evaporação, ocorrendo o mínimo em abril com 113,2 mm.

4.2 – 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. Os valores mensais médios de precipitação, evapotranspiração e a diferença entre eles também podem ser observados na Figura 4.5.

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	94,8	165,4	-70,6	-1265,3	0,0	0,0	94,8	70,6	0,0
Fev	114,2	134,9	-20,7	-1286,0	0,0	0,0	114,2	20,7	0,0
Mar	150,1	119,1	31,0	-117,2	31,0	31,0	119,1	0,0	0,0
Abr	100,4	113,2	-12,8	-12,8	88,0	57,0	43,4	69,8	0,0
Mai	40,2	121,4	-81,2	-94,0	39,1	-48,9	89,1	32,3	0,0
Jun	11,5	120,4	-108,9	-202,9	13,1	-25,9	37,4	83,0	0,0
Jul	8,3	132,0	-123,7	-326,6	3,8	-9,3	17,6	114,4	0,0
Ago	3	169,3	-166,3	-492,9	0,7	-3,1	6,1	163,2	0,0
Set	6,1	183,5	-177,4	-670,2	0,1	-0,6	6,7	176,8	0,0
Out	20,7	216,2	-195,5	-865,7	0,0	-0,1	20,8	195,3	0,0
Nov	29,5	205,5	-176,0	-1041,7	0,0	0,0	29,5	176,0	0,0
Dez	40,4	193,3	-152,9	-1194,7	0,0	0,0	40,4	152,9	0,0
ANO	619,2	1874,2	-1255,0		175,9	0,0	619,2	1255,0	0,0

(*) ETP calculada pelo método de Hargreaves

A primeira coluna (P) representa os valores da precipitação mensal do posto de Campos Sales; A coluna da evapotranspiração potencial foi preenchida com os dados calculados no item 4.1.6; a coluna NEG (negativo acumulado) representa um hipotético potencial matricial expresso em milímetros de déficit de água para o solo; ETR indica o

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

valor da evapotranspiração real; A coluna DEF representa o déficit de água à planta e a última coluna EXC representa a quantidade de água que ultrapassou a capacidade de retenção máxima do perfil considerado.

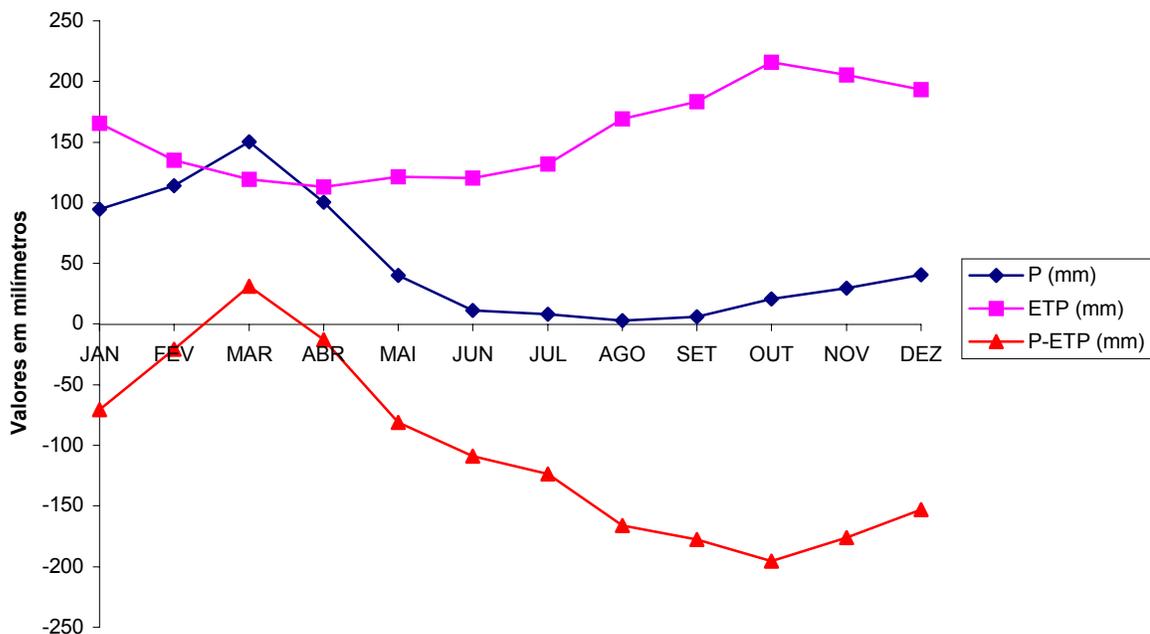


FIGURA 4.5 – BALANÇO HÍDRICO

4.3 – CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA

4.3.1 – 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 abrangem o verão e o outono. O clima, segundo o aspecto térmico, é do tipo muito quente, ou megatérmico.

4.3.2 – 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 66,96 % (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 0 (zero) (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 - 40 % (Quadro 4.8).

Com base nestes índices, os dados para a área de estudo, mostram um clima semi-árido; tipo D, com índice efetivo de umidade variando entre -40% e -20%; clima seco, subtipo S2, com índice de aridez superior a 33%; tipo A', megatérmico e subtipo a', baixa variação estacional (DS2A'a').

4.4 – SINOPSE CLIMATOLÓGICA

Pluviometria Média Anual (sobre a bacia)	618,2 mm
Evaporação Média Anual	2493,6 mm
Evapotranspiração Potencial (Hargreaves)	1874,2 mm
Insolação Média Anual	2624,3 h
Umidade Relativa Média Anual	64,2 %
Temperatura Média Anual: Média das Máximas	30,7 °C
Temperatura Média Anual: Média das Médias	24,1 °C
Temperatura Média Anual: Média das Mínimas	20,1 °C
Classificação Climática	DS2A'a'
Classificação climática segundo Köppen	BWx'

5 – ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

5.1 – DADOS UTILIZADOS

Devido a Bacia Hidrográfica do Açude Mamoeiro ser relativamente grande, com uma área de 1887,6 km², e possuir diversos postos pluviométricos dentro de sua área, foi utilizado o método dos polígonos de Thiessen para calcular a precipitação média sobre a Bacia. O Quadro 5.1 mostra os postos pluviométricos utilizados.

QUADRO 5.1 – POSTOS UTILIZADOS NO CÁLCULO DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA (MÉTODO DE THIESSEN) SOBRE A BACIA DO AÇUDE MAMOEIRO					
POSTO	CÓDIGO	PERÍODO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)
Campos Sales	28	1974 - 2002	07°07'	40°37'	551
Quixariú	3739645	1961 - 1988	06°82'	40°28'	520
Carmelopolis	3739776	1962 - 1988	06°88'	40°13'	480
Itagua	3739931	1932 - 1988	06°95'	40°35'	480
Aç. Poço de Pedra	3739935	1953 - 1988	06°97'	40°33'	530
Campos Sales	3749125	1913 - 1985	07°07'	40°38'	551
Salitre	3749502	1961 - 1988	07°28'	40°47'	680

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 sul do Estado e onde se encontra a área do estudo. A área de estudo apresenta, segundo análise destas figuras, média pluviométrica em torno de 600 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,40.

Uma análise freqüencial foi realizada para o postos apresentados no Quadro 5.1, sendo testadas várias distribuições, e escolhida a Gumbel 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 FREQUÊNCIA DOS TOTAIS ANUAIS - DISTRIBUIÇÃO GUMBEL							
CÓDIGO	N	PERÍODO DE RETORNO					
		10	50	100	500	1000	10000
28	25	840,0	1120,0	1238,3	1511,8	1629,4	2019,9
3739645	26	870,9	1122,5	1228,9	1474,6	1580,3	1931,2
3739776	23	1109,4	1422,4	1554,7	1860,4	1991,9	2428,3

QUADRO 5.2 – ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DOS TOTAIS ANUAIS - DISTRIBUIÇÃO GUMBEL							
CÓDIGO	N	PERÍODO DE RETORNO					
		10	50	100	500	1000	10000
3739931	54	746,2	985,1	1086,1	1319,6	1419,9	1753,1
3739935	35	834,6	1104,2	1218,2	1481,6	1594,8	1970,8
3749125	62	981,1	1294,0	1426,3	1732,1	1863,5	2299,9
3749502	25	1499,4	2044,1	2274,4	2806,6	3035,3	3794,9

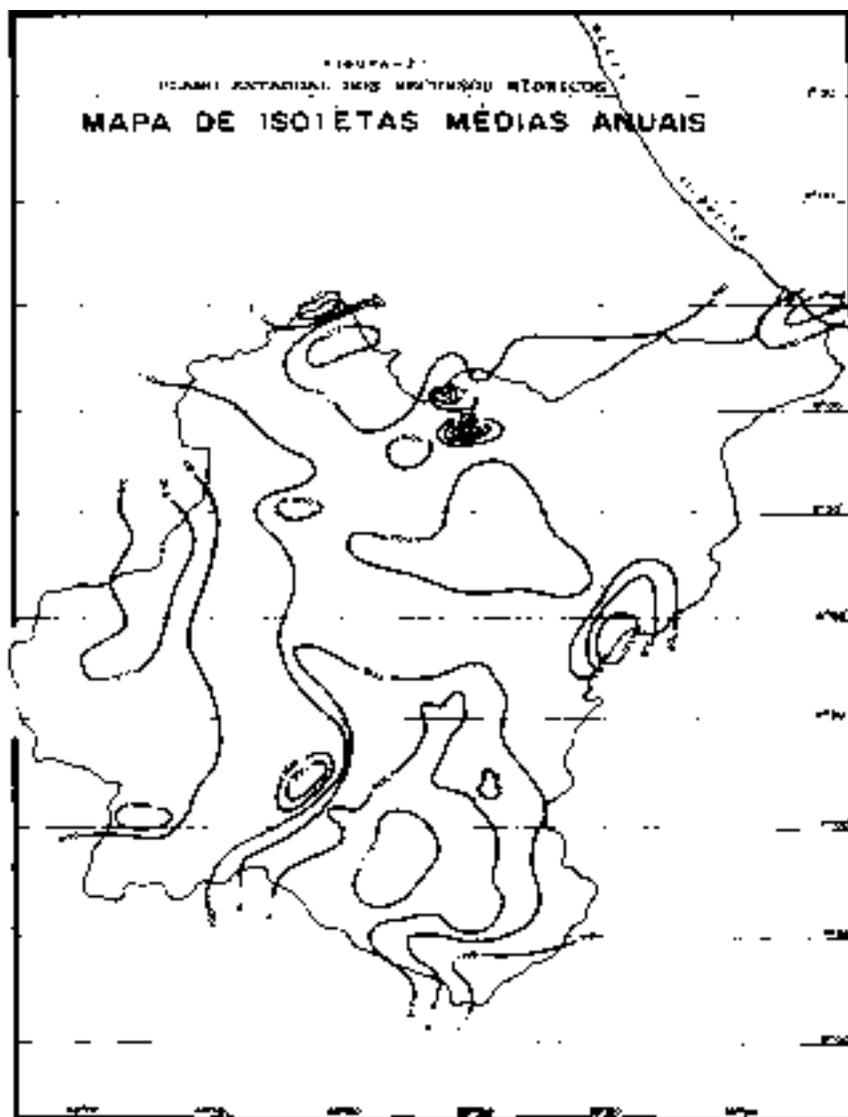


FIGURA 5.1 – ISOIETAS

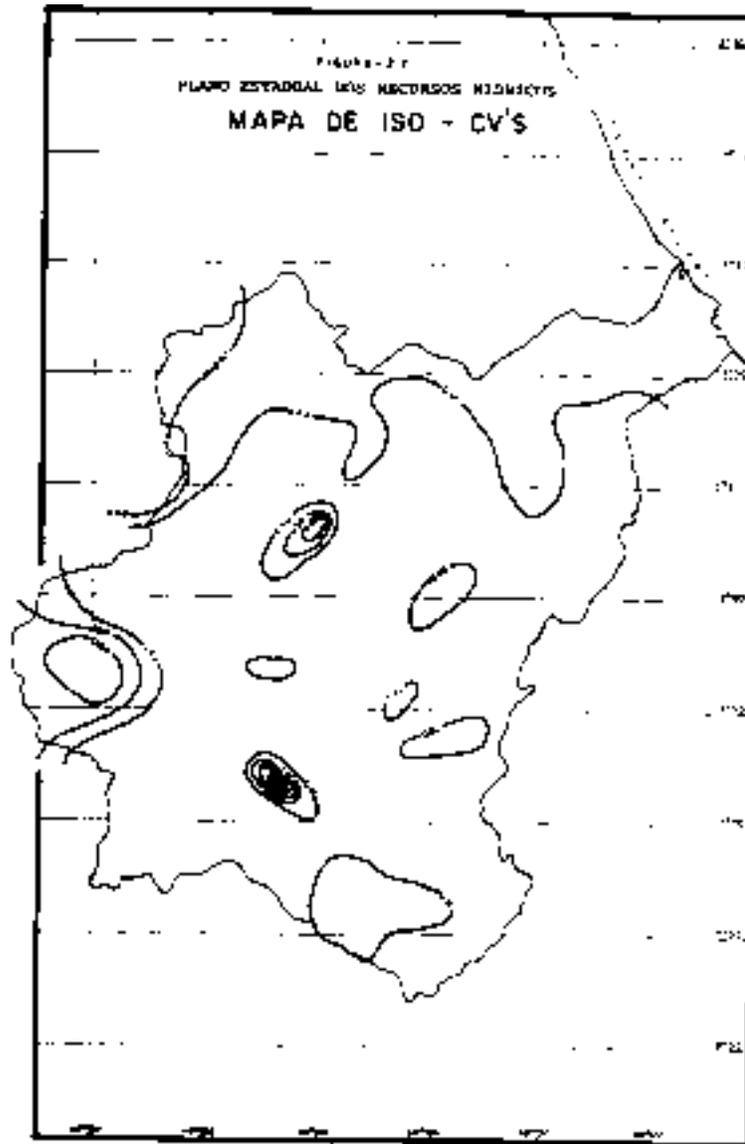


FIGURA 5.2 – ISO-CV'S

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 64% do total anual precipita-se em apenas três meses do ano. Neste trimestre, o mês de março, para todos os postos analisados, corresponde ao mais chuvoso, com cerca de 26% 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 nos

postos considerados. Os períodos de retorno utilizados variam de 10 a 10000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Gumbel.

QUADRO 5.3 – ÍNDICES DE CONCENTRAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SÉRIE DE VALORES MÉDIOS MENSAIS									
CÓDIGO	MÊS	VALOR	%TOT	TRIMES	VALOR	%	SEM	VALOR	%
28	MARÇO	143,6	25,4	FMA	338,5	59,9	1	465,4	82,4
3739645	MARÇO	164,5	26,5	FMA	415,4	67,0	1	569,9	91,9
3739776	MARÇO	197,6	25,7	FMA	483,5	62,8	1	675,2	87,8
3739931	MARÇO	133,4	26,7	FMA	324,0	64,8	1	472,0	94,4
3739935	MARÇO	141,6	25,3	FMA	350,7	62,7	1	507,6	90,8
3749125	MARÇO	178,3	27,1	FMA	417,1	63,3	1	600,8	91,2
3749502	MARÇO	253,9	26,6	FMA	619,9	64,8	1	889,2	93,0

QUADRO 5.4 – ANÁLISE DE FREQUÊNCIA-NÍVEL MENSAL-DISTRIBUIÇÃO GUMBEL (MÊS MAIS CHUVOSO = MARÇO (TODOS OS POSTOS)).							
CÓDIGO	N	PERÍODO DE RETORNO					
		10	50	100	200	500	1000
28	30	247,9	350,8	394,3	494,8	538,0	681,5
3739645	24	275,2	384,5	430,7	537,5	583,4	735,8
3739776	27	341,0	482,6	542,4	680,7	740,2	937,6
3739931	45	226,5	318,5	357,4	447,2	485,9	614,1
3739935	36	155,8	254,3	295,9	392,1	433,5	570,8
3749125	65	308,3	436,6	490,9	616,3	670,2	849,1
3749502	28	445,6	634,8	714,8	899,6	979,1	1242,9

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 frequência assumem uma importância maior com relação aos de baixa. Aqui foram utilizadas séries anuais de máximos diários.

Diversas distribuições podem ser utilizadas como teóricas para as frequências observadas. Depois de comparar diversas distribuições, foi escolhida a Gumbel, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no Quadro 5.5. Adicionalmente, é apresentada a média dos postos pluviométricos calculada a partir do método do Polígono de Thiessen.

QUADRO 5.5 – ANÁLISE DE FREQUÊNCIA-NÍVEL DIÁRIO-DISTRIBUIÇÃO GUMBEL.							
CÓDIGO	N	PERÍODO DE RETORNO					
		10	50	100	500	1000	10000
28	27	85,7	111,6	122,5	147,8	158,7	194,8
3739645	26	102,8	132,3	144,7	173,5	185,9	226,9
3739776	27	104,4	135,3	148,4	178,7	191,7	234,9
3739931	56	82,8	105,4	115,0	137,1	146,6	178,2
3739935	37	87,2	111,2	121,3	144,7	154,8	188,2
3749125	65	109,8	145,7	160,9	196,1	211,2	261,3
3749502	25	124,4	165,2	182,5	222,3	239,4	296,3
Média (Thiessen)	91	96,3	123,5	135,0	161,7	173,1	211,1

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 duração 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 G 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.

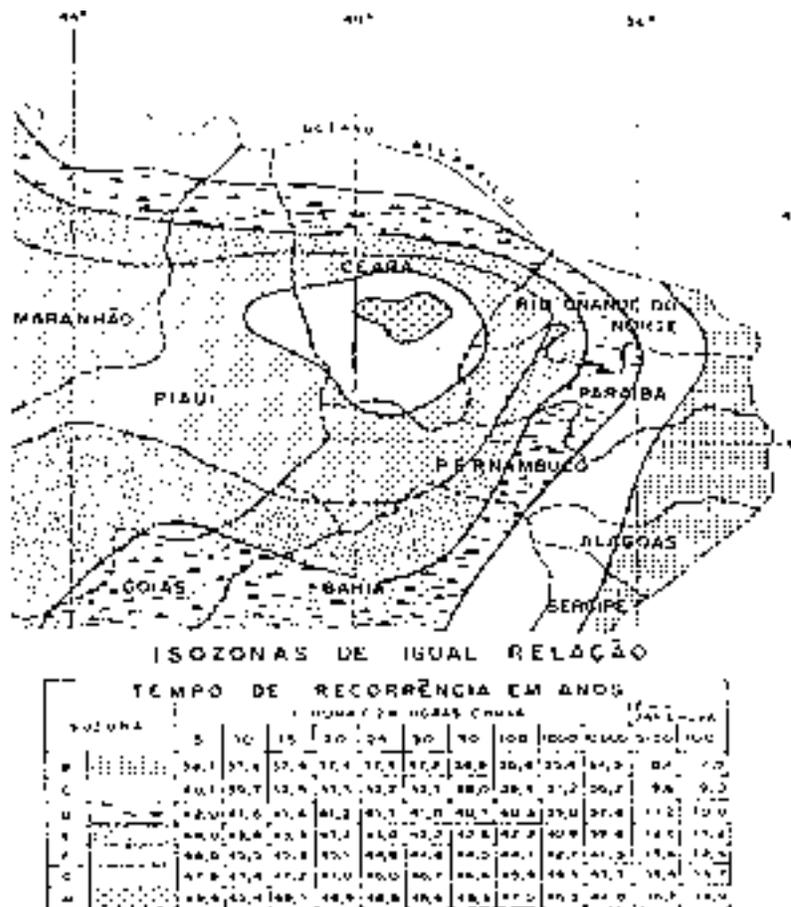


FIGURA 5.3 – MÉTODO DAS ISOZONAS DE TABORGA

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.

Utilizando os dados de precipitação média calculados pelo Método de Thiessen (Quadro 5.5) e a metodologia descrita acima, são apresentadas na Figura 5.4 as curvas intensidade-duração-freqüência para diferentes tempos de retorno.

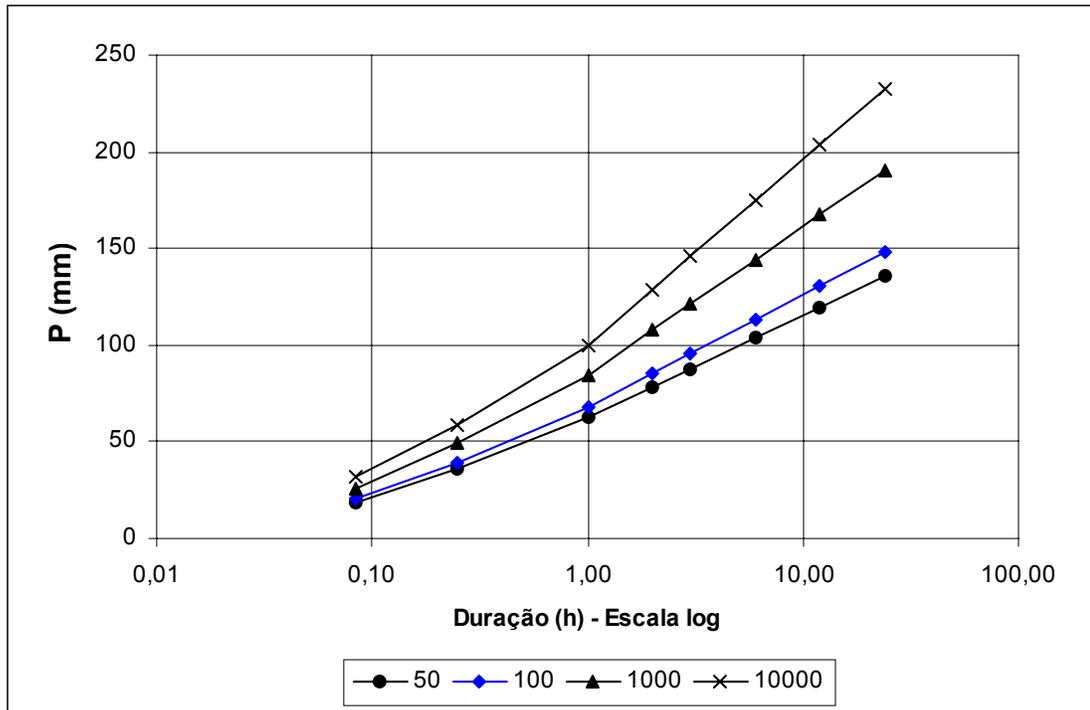


FIGURA 5.4 – CURVAS INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA

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 5 minutos. Em todos os cálculos levou-se em consideração a interferência da Barragem Poço da Pedra, localizada na mesma Bacia Hidrográfica, porém à montante da Barragem Mamoeiro.

6.2 – METODOLOGIA

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

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

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Mamoeiro 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 e 10000 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 Mamoeiro 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 da barragem Mamoeiro foi assumido uma precipitação uniformemente distribuída sobre a referida bacia. O HEC-1 permite a entrada de tormentas históricas ou sintéticas, sendo as últimas freqüentemente utilizadas para planejamento e estudos de projetos.

O hietograma adotado baseia-se nas curvas altura-duração-freqüência obtida nos estudos pluviométricos (Cap. 5), sendo ajustado à área da bacia usando a seguinte equação:

$$P_A = P_0 \cdot (1 - W \cdot \log(\frac{A}{A_0}))$$

Onde $W = 0,15$ (coeficiente regional para zonas áridas e semi-áridas); P_A = Precipitação sobre toda a área; P_0 = Chuva pontual; $A = 1887,6 \text{ km}^2$ (área da bacia da barragem Mamoeiro); $A_0 = 25 \text{ km}^2$ (área base para chuva pontual), obtendo-se um fator de redução igual a $0,87 (1 - W \cdot \log(A/A_0))$. O Quadro 6.1 apresenta a chuva pontual e com a aplicação do fator redutor de área correspondente às curvas i-d-f. A partir das curvas de chuva reduzida, foi obtida a precipitação associada aos tempos de retorno de 50, 100, 1000 e 10000 anos para as durações de 5 min, 15 min, 60 min, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h e 24 h.

QUADRO 6.1 – CHUVAS REDUZIDA								
DURAÇÃO	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) – TR 50	10,9	21,1	36,6	46,0	51,5	60,9	70,3	79,7
P(mm) – TR 100	11,9	23,1	40,0	50,3	56,3	66,6	76,9	87,2
P(mm) – TR 1000	15,3	29,0	49,7	63,3	71,2	84,7	98,2	111,7
P (mm) – TR 10000	18,7	34,6	58,7	75,6	85,5	102,5	119,4	136,6

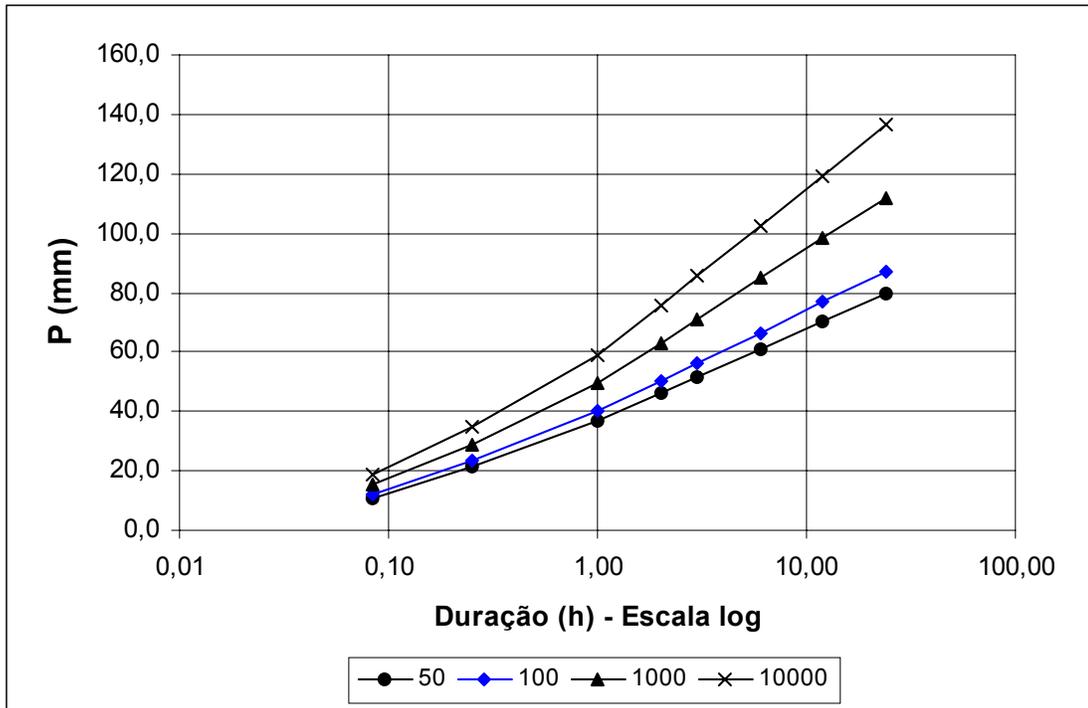


FIGURA 6.1 – CURVAS INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA – CHUVA REDUZIDA

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):

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

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

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 Mamoeiro foi adotado um CN = 82,97 com base nos mapas de solo (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:

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

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 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.

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 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:

$$T_C = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0.385}$$

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 Mamoeiro como um todo tem-se:

$$L = 107 \text{ km} \quad \Delta H = 400 \text{ m} \quad S = 3.72 \text{ m/km}$$

O que resulta $T_C = 21.03 \text{ h}$; $T_{LAG} = 12.62 \text{ h}$ para toda a bacia do Mamoeiro. Para a Barragem Poço da Pedra, localizada à montante da Barragem Mamoeiro, foram considerados:

$$L = 44.9 \text{ km} \quad \Delta H = 230 \text{ m} \quad S = 5.12 \text{ m/km}$$

O que resulta $T_C = 9.48 \text{ h}$; $T_{LAG} = 5.69 \text{ h}$. Assim, pode-se adotar o tempo de concentração $T_C = 11.55 \text{ h}$ ($T_{LAG} = 6.93$) para a porção não controlada da bacia.

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

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

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.

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 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.

Foram realizadas simulações para os tempos de retorno de 1000 e 10000 anos, ambas levando em consideração a existência do reservatório Poço da Pedra. A Figura 6.2 abaixo apresenta o hidrograma de projeto e o hidrograma afluente a barragem Mamoeiro obtido através do uso do modelo HEC, conforme metodologia acima. Considerou-se uma chuva de duração 24 horas. Nas figuras pode-se visualizar também os hidrogramas afluentes ao reservatório Poço da Pedra. A vazão de pico do hidrograma de 1000 anos de tempo de retorno foi 2626 m³/s. Para o tempo de retorno de 10000 anos foi obtida uma vazão de pico de 3546 m³/s (Figura 6.3).

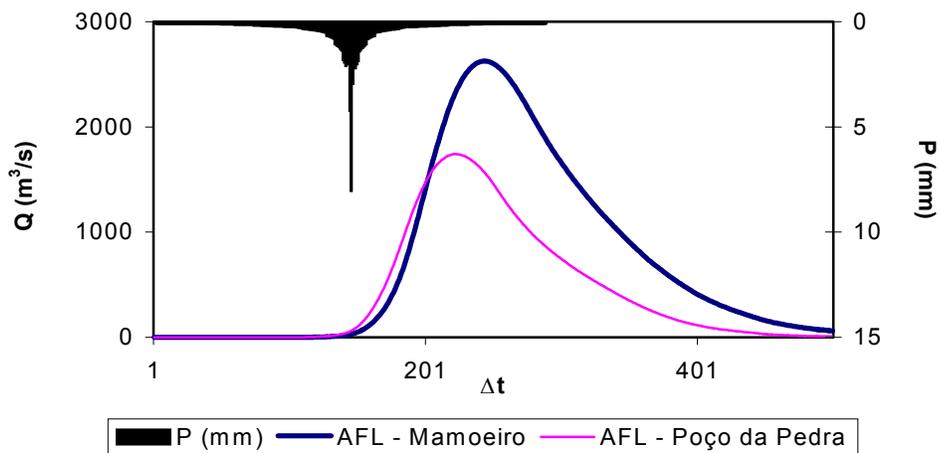
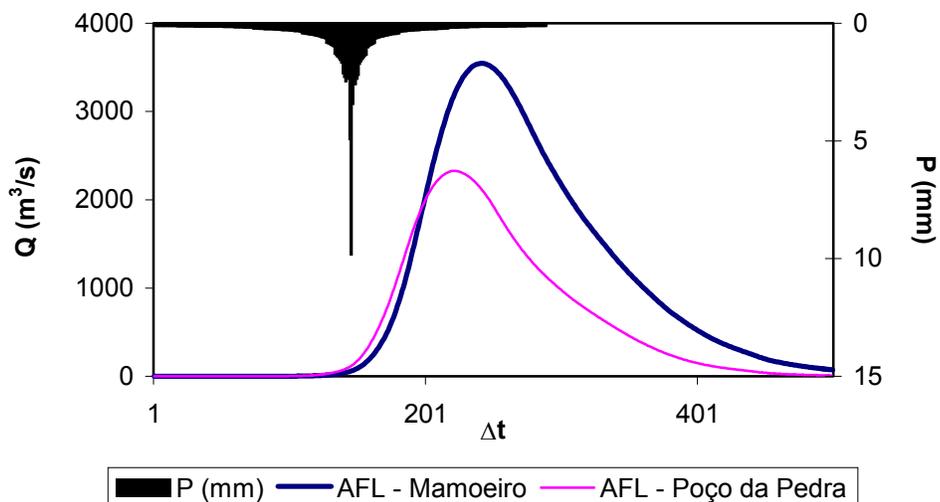


FIGURA 6.2 – HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE AO MAMOEIRO (TR = 1000 ANOS)



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 justifique 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 Mamoeiro;
2. Estimativa das perdas por evaporação e sangria da Barragem Mamoeiro.

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 foi utilizado o métodos da solução direta da equação de balanço hídrico.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

7.3 – RESULTADOS

Para a geração das séries sintéticas de vazão foram utilizados os dados de afluência do Posto Fazenda Malhada, obtendo-se:

- lâmina média escoada: 47 mm.
- Coeficiente de variação: 1.6.

O uso desta lâmina implica em um volume médio afluyente anual (μ) de 51,8 hm^3/ano para o reservatório Poço da Pedra e de 37,2 hm^3/ano para a porção não controlada da bacia do Mamoeiro.

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 pretende-se analisar o ganho na regularização em função do aumento da capacidade. Assim,

$$E_L = 0.85 \cdot (166.2+225.9+247.9+273.7+307.8+289.7+275.5)$$

$$= 1518.7 \text{ mm (Evaporação na estação seca)}$$

$\alpha = 3307$ para o Mamoeiro e $\alpha = 1680$ para o Poço da Pedra.

$$f_E = 3\alpha^{1/3} E_L / \mu^{1/3} = 0.20 \text{ para o Mamoeiro e } 0.15 \text{ para o Poço da Pedra.}$$

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 Mamoeiro, que nada mais é que o gráfico dos valores apresentados no Quadro 7.1:

QUADRO 7.1 – ESTUDO INCREMENTAL DE CAPACIDADES DO RESERVATÓRIO MAMOEIRO											
COTA (m)	K (hm ³)	fk=K/ m	%LIB	LIB (hm ³ /ano)	%EV	EV (hm ³ /ano)	%SG	SG (hm3/ano)	dM/dK	Q90 (m3/s)	M90 (hm3/ano)
350	8,3	0,22	2,9	2,176	2,4	1,805	94,7	70,982		0,07	2,313
353	15,2	0,42	4,3	3,209	3,8	2,856	91,9	68,896	0,15	0,11	3,375
355	20,7	0,61	5,7	4,246	4,9	3,671	89,4	67,003	0,16	0,14	4,469
357	30,8	0,83	7,5	5,614	5,9	4,449	86,6	64,907	0,18	0,19	5,969
359	40,6	1,09	8,8	6,591	7,2	5,387	84,0	62,990	0,11	0,22	7,000
361	52,3	1,41	10,3	7,757	8,5	6,389	81,1	60,824	0,11	0,26	8,250
365	82,4	2,22	14,2	10,633	11,5	8,650	74,3	55,695	0,10	0,36	11,375
370	132,7	3,57	19,2	14,380	15,9	11,936	64,9	48,657	0,08	0,49	15,375
375	193,4	5,21	24,4	18,282	20,2	15,169	55,4	41,526	0,07	0,62	19,625
378	235,1	6,33	27,1	20,289	22,9	17,189	50,0	37,494	0,05	0,69	21,750

QUADRO 7.2 – ESTUDO DE REGULARIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO POÇO DA PEDRA											
COTA (m)	K (hm ³)	fk=K/ m	%LIB	LIB (hm ³ /ano)	%EV	EV (hm ³ /ano)	%SG	SG (hm3/ano)	dM/dK	Q90 (m3/s)	M90 (hm3/ano)
31,4	52	1,00	19,4	10,225	9,8	5,148	70,8	37,231	---	0,34	10,875

QUADRO 7.3 – ESTUDO DE REGULARIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO MAMOEIRO SEM A INTERFERÊNCIA DO POÇO DA PEDRA											
Cota (m)	K (hm ³)	fk=K/ m	%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)
355	20,7	0,54	6,8	6,124	3,8	3,390	89,5	80,880	---	0,21	6,500

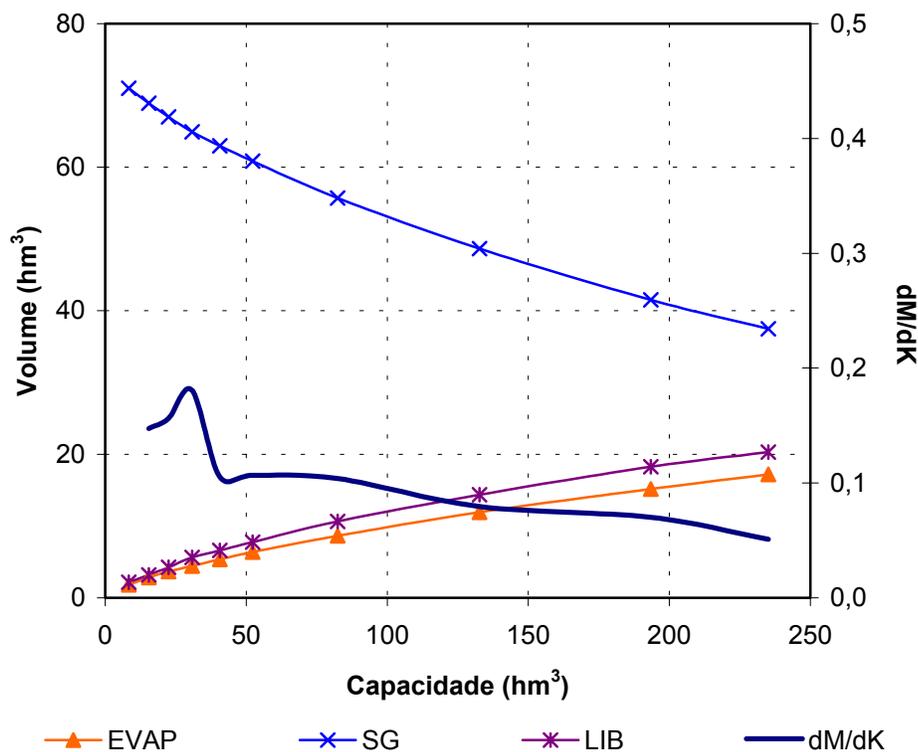


FIGURA 7.1 – CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO MAMOEIRO

A Figura 7.1 e os dados apresentados no Quadro 7.1 sugerem que a partir da cota 355 m (volume em torno de 20 hm³) os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento não são significativos. Para esta capacidade o reservatório regulariza 5.7% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, 4.246 hm³/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de 0.14 m³/s. O Quadro 7.2 mostra o sumário do estudo de regularização para o Poço da Pedra, enquanto o Quadro 7.3 apresenta o resultado para o estudo de regularização do Mamoeiro sem a interferência do Poço da Pedra. Pela análise dos quadros, verifica-se um aumento de 0,34 (Poço da Pedra) para 0,48 m³/s na vazão regularizada com 90% de garantia para o sistema (Poço da Pedra + Mamoeiro).

8 – 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. Foram utilizadas chuvas de duração de 24 horas e de 2 dias.

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

8.1 – 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 $Q=f(S)$, constroi-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. Repete-se 2 e 3 para todos intervalos de cálculo.

Foi analisado um vertedouro com perfil Creager e coeficiente de descarga 2.1, ficando sua equação característica:

$$Q = 2.1 L (Z - Z_w)^{1.5}.$$

8.2 – RESULTADOS

Uma vez escolhida a dimensão do açude (cota=355 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 para chuvas de duração de 24 horas e de 2 dias, encontram-se nos Quadros 8.1 e 8.2, respectivamente. Utilizou-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A Figura 8.1 abaixo mostra o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Mamoeiro correspondente ao tempo de retorno $Tr=1000$ anos para o vertedouro em perfil Creager e chuva de duração 24 horas. Os resultados correspondentes para o tempo de retorno de 10.000 anos podem ser visualizados na Figura 8.2. Resultados referentes às chuvas de 2 dias associadas a 1000 e 10000 anos de tempo de retorno são apresentadas nas Figuras 8.3 e 8.4, respectivamente.

QUADRO 8.1 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA CHUVA DE 24 HORAS			
COTA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	Q_{OUT} (m³/s)
Tr = 1.000 anos - Q_{in} = 2626,0 m³/s			
Perfil Creager: L = 80 m			
355	360,5	5,5	2180,0
Perfil Creager: L = 100 m			
355	359,9	4,9	2313,0
Perfil Creager: L = 120 m			
355	359,5	4,5	2372,0
Perfil Creager: L = 150 m			
355	358,9	3,9	2439,0
Tr = 10.000 anos - Q_{in} = 3546,0 m³/s			
Perfil Creager: L = 80 m			

QUADRO 8.1 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA CHUVA DE 24 HORAS			
COTA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	Q_{OUT} (m³/s)
355	361,7	6,7	2955,0
Perfil Creager: L = 100 m			
355	361,0	6,0	3098,0
Perfil Creager: L = 120 m			
355	360,4	5,4	3202,0
Perfil Creager: L = 150 m			
355	359,8	4,8	3325,0

L = Largura do sangradouro

Z_w = cota da soleira do sangradouro

Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

QUADRO 8.2 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA CHUVA DE 2 DIAS			
COTA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	Q_{out} (m³/s)
Tr = 1.000 anos - Q_{in} = 2959,0 m³/s			
Perfil Creager: L = 80 m			
355	361,0	6,0	2466,0
Perfil Creager: L = 100 m			
355	360,3	5,3	2595,0
Perfil Creager: L = 120 m			
355	359,9	4,9	2695,0
Perfil Creager: L = 150 m			
355	359,2	4,2	2761,0
Tr = 10.000 anos - Q_{in} = 3938,0 m³/s			
Perfil Creager: L = 80 m			
355	362,3	7,3	3310,0
Perfil Creager: L = 100 m			
355	361,5	6,5	3459,0
Perfil Creager: L = 120 m			
355	360,8	5,8	3561,0
Perfil Creager: L = 150 m			
355	360,2	5,2	3688,0

L = Largura do sangradouro

Z_w = cota da soleira do sangradouro

Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

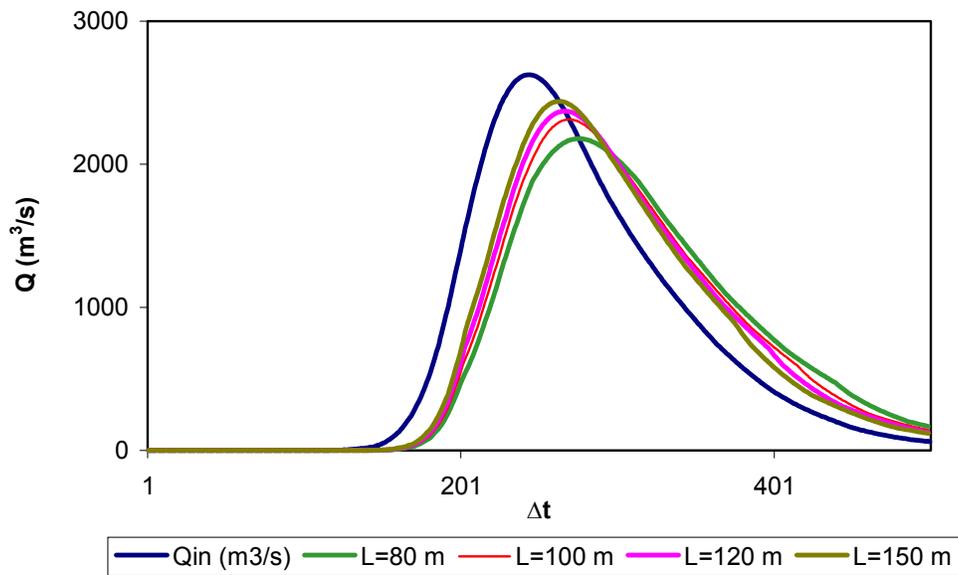


FIGURA 8.1 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO MAMOEIRO (TR=1.000 ANOS, PERFIL CREAGER) – CHUVA DE 24 HORAS

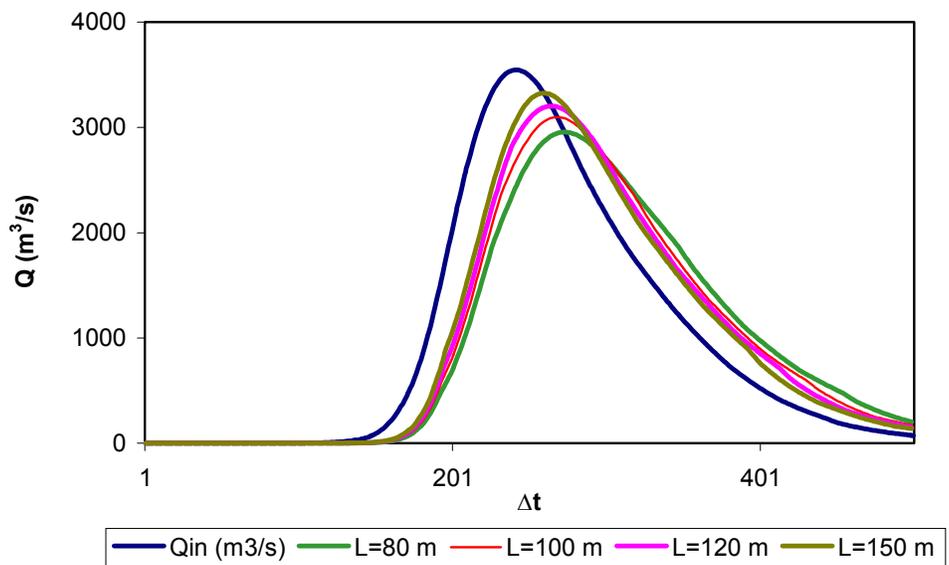


FIGURA 8.2 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO MAMOEIRO (TR=10.000 ANOS, PERFIL CREAGER) – CHUVA DE 24 HORAS

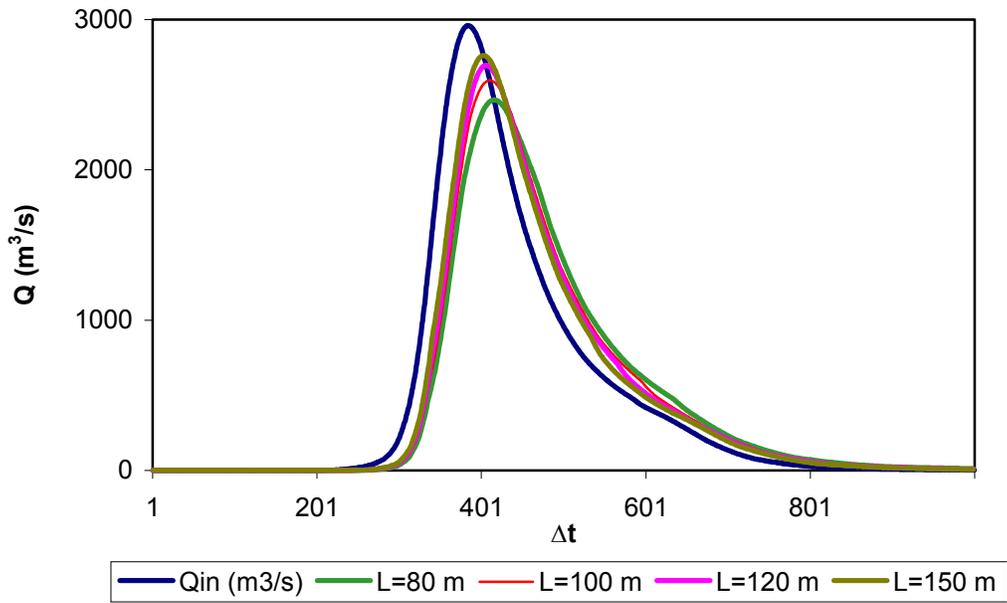


FIGURA 8.3 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO MAMOEIRO (TR=1.000 ANOS, PERFIL CREAGER) – CHUVA DE 2 DIAS

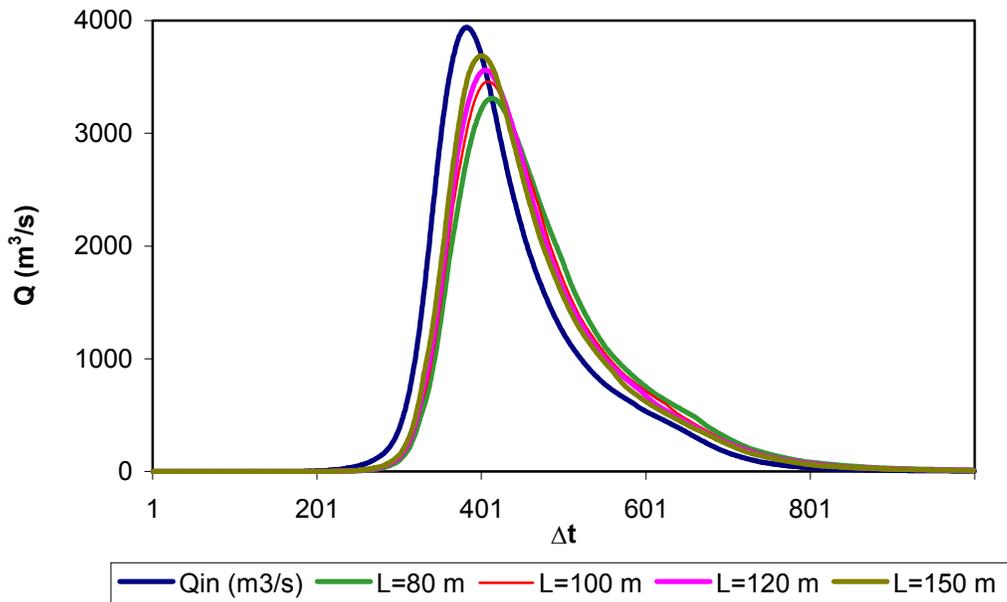


FIGURA 8.4 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO MAMOEIRO (TR=10.000 ANOS, PERFIL CREAGER) – CHUVA DE 2 DIAS

9 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO

A determinação da capacidade da Barragem Mamoeiro foi realizada com base no potencial hidrológico e estudos de cheia da Bacia, assim como nas condicionantes topográficas e geotécnicas. Além disso, levou-se em consideração o objetivo principal da obra, ou seja, o abastecimento de água de pequenas comunidades.

O estudo da barragem Mamoeiro apresentado no capítulo 7 deste relatório mostrou um potencial hidrológico relativamente alto para a Bacia. Entretanto, a consideração principal tomada na determinação da capacidade foi o abastecimento de um pequeno povoado. Assim, chegou-se a seguinte dimensão do reservatório:

Capacidade máxima = 20,683 hm³.

Cota correspondente à capacidade máxima = 355 m.

10 – ESTUDOS ADICIONAIS

10.1 – INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta alguns estudos adicionais visando identificar as características do açude Mamoeiro 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 cálculo da probabilidade de esvaziamento e enchimento em equilíbrio. Para tanto, foi utilizada a formulação proposta pelo Prof. Nilson Campos (Campos, J.N.B., A procedure for reservoir sizing on intermittent rivers under high evaporation rates, PhD Thesis, Colorado State University, Fort Collins, 1987, pp. 133.)

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 68 % dos anos ocorre sangria para uma retirada anual de 6 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 6 hm³/ano tem-se uma probabilidade de esvaziamento na fase de equilíbrio próximo de 10 %, o que implica em uma garantia de 90 %.

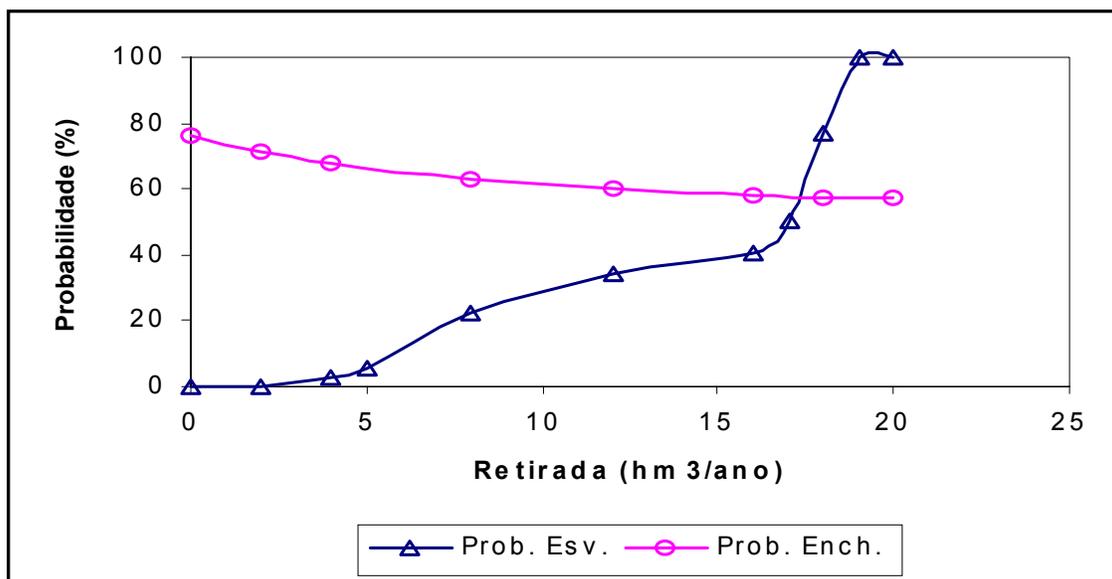


FIGURA 10.1 – PROBABILIDADES DE ESVAZIAMENTO E ENCHIMENTO DO AÇUDE MAMOEIRO

10.3 – ASSOREAMENTO DO AÇUDE MAMOEIRO

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 pode-se destacar aqueles inerentes à hidrologia da bacia hidrográfica, capacidade de armazenamento do açude frente ao volume afluente, conformação geométrica da bacia hidráulica e a composição dos sedimentos.

A composição média dos sedimentos adotada, baseada nos tipos predominantes de solos, foi 15% de Argila, 10,7% de Silte e 74,3% de Areia. A partir destas características e outros dados da bacia (área da bacia, volume afluente médio anual, precipitação média anual da bacia e precipitação do mês mais chuvoso) foram utilizados formulas empíricas para cálculo dos seguintes parâmetros para utilização da metodologia de Veiga (1993) para previsão do assoreamento do reservatório.

Deflúvio anual médio (hm ³) :	89	Área=	1887,6 km ²
Composição média dos sedimentos:	Argila	Silte	Areia
	15%	10,7%	74,3%
Peso específico aparente inicial - gamai (t/m ³):	1,360431		
Coeficiente de consolidação médio - K :	0,023272		
Descarga sólida média (t/ano):	849129,6		
Descarga sólida média específica (t/km ² /ano):	449,8461		
Razão de transporte ("delivery ratio") - T	0,087751		
Precipitação do mês mais chuvoso (mm):	253,9		
Precipitação média anual (mm):	600		

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 Mamoeiro 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 observado um assoreamento completo do reservatório ao final de 40 anos,

havendo uma redução de 100% no volume útil do açude Mamoeiro, o qual era inicialmente de 20,68 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	20,68	0,23	0,93	1,38	7923,62	5,76	14,92
10	20	14,92	0,17	0,92	1,38	7778,97	11,39	9,29
20	30	9,29	0,10	0,88	1,39	7481,96	16,78	3,90
30	40	3,90	0,04	0,77	1,39	6562,08	21,50	0,00

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

