

BARRAGEM RIACHO DO MEIO

MÓDULO II – ESTUDOS BÁSICOS, ANTEPROJETOS E AVALIAÇÕES

VOLUME I – ESTUDOS BÁSICOS

TOMO 2 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS

EDITADO EM MARÇO DE 2006

ÍNDICE

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	5
1 – INTRODUÇÃO	12
2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO	14
3 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA	17
3.1 – ÍNDICES DE FORMA DA BACIA	17
4 – ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS	22
4.1 – PRINCIPAIS PARÂMETROS	22
4.1.1 – Temperatura	22
4.1.2 – Umidade Relativa	23
4.1.3 – Insolação Média	24
4.1.4 – Ventos	25
4.1.5 – Evaporação Média	26
4.1.6 – Evapotranspiração	27
4.2 – BALANÇO HÍDRICO	27
4.3 – CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA	29
4.3.1 – Classificação Segundo Köeppen	29
4.3.2 – Classificação Segundo Thornthwaite	29
4.4 – SINOPSE CLIMATOLÓGICA	30
5 – ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS	32
5.1 – DADOS UTILIZADOS	32
5.2 – CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO	32
5.2.1 – Nível Anual	32
5.2.2 – Nível Mensal	34

5.2.3 – Nível Diário	35
5.2.4 – Chuvas Intensas	36
6 – ESTUDO DE CHEIAS	40
6.1 – INTRODUÇÃO	40
6.2 – METODOLOGIA.....	40
6.2.1 – Precipitação	41
6.2.2 – Precipitação Efetiva	42
6.2.3 – Hidrograma Unitário – SCS	45
7 – CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO	48
7.1 – INTRODUÇÃO	48
7.2 – METODOLOGIA.....	48
7.2.1 – Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico	48
7.2.2 – O Diagrama Triangular de Regularização	51
7.3 – RESULTADOS	51
8 – DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO	55
8.1 – PROPAGAÇÃO DA CHEIA NO RESERVATÓRIO	55
8.2 – RESULTADOS	56
8.3 – RESULTADOS PARA CHUVA DE DURAÇÃO DE DOIS DIAS	58
8.4 – RESULTADOS PARA A ALTERNATIVA DE DOIS VERTEDOUROS.....	60
9 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO	64
10 – ESTUDOS ADICIONAIS	66
10.1 – INTRODUÇÃO	66
10.2 – PROBABILIDADES DE ENCHIMENTO E Esvaziamento - EQUILÍBRIO	66
10.3 – ASSOREAMENTO DO AÇUDE RIACHO DO MEIO	67
ANEXO 1 – BACIA HIDRÁULICA	

APRESENTAÇÃO

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 - Textos

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 Técnicas, Ambientais, Financeiras e Econômicas

TOMO 1 – Relatório de Avaliações Técnica, Ambiental, 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 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 Medições

Módulo VII: Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção

VOLUME I: Manuais de Operação e Manutenção

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

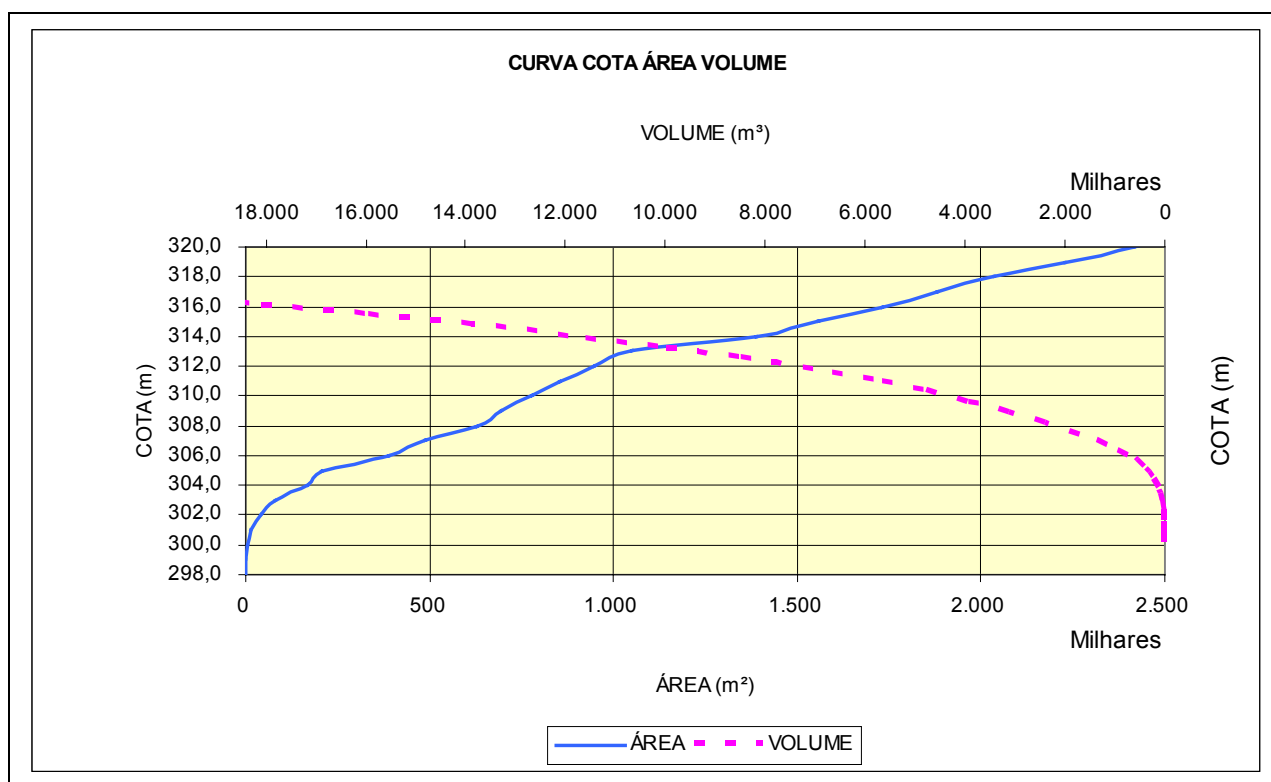
SUMÁRIO TÉCNICO DOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	
Área da bacia do Açude Riacho do Meio	91,21 km ²
Perímetro da bacia do Açude Riacho do Meio	41,91 km
Declividade Média da bacia do Açude Riacho do Meio	16,67 m/km
Comprimento do rio principal	18,0 km
Fator de compactidade	1,24
Fator de forma	0,28
Tempo de concentração	2,98 hrs

HIDROCLIMATOLOGIA	
Pluviometria Média Anual (sobre a bacia)	1001,4 mm
Evaporação Média Anual	2289,0 mm
Evapotranspiração Potencial (Hargreaves)	1937,4 mm
Insolação Média Anual	2848 h
Umidade Relativa Média Anual	63,6 %
Temperatura Média Anual: Média das Máximas	31,5 °C
Temperatura Média Anual: Média das Médias	25,2 °C
Temperatura Média Anual: Média das Mínimas	20,5 °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	82
Vazão afluente – Tempo de retorno = 1000 anos	954 m ³ /s
Vazão afluente – Tempo de retorno = 10000 anos	1187 m ³ /s

CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO	
Capacidade máxima	18,375 hm ³
Cota da soleira do sangradouro	320 m
Cota de coroamento	323,00 m
COTA – ÁREA – VOLUME	



CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO – EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO			
RG - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m ³ /s)
3,419 – 55,2%	0,691 – 11,1%	2,087 – 33,7%	0,113

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 = 320 m			
COTA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	QOUT (m ³ /s)
Tr = 1.000 anos - Q_{in} = 954 m³/s			
Perfil Creager: L = 100,00 m			
320	322,00	2,00	615,0
Tr = 10.000 anos - Q_{in} = 1187 m³/s			
Perfil Creager: L = 100,00 m			
320	322,30	2,30	771,0

PROBABILIDADES DE Esvaziamento e Enchimento	
RETIRADA ANUAL (hm ³)	PROBABILIDADES
3,5	Enchimento = 18% Esvaziamento = 10% Garantia = 90%

ASSOREAMENTO			
VOLUME INICIAL	PERÍODO SIMULADO	VOLUME FINAL	REDUÇÃO
18,38 hm ³	100 anos	15,17 hm ³	17,46%

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 Riacho do Meio.

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

2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O sítio do barramento localiza-se no Riacho do Meio, no município de Granjeiro.

O acesso ao local da obra é feito a partir de Fortaleza pela rodovia federal BR-116, até chegar ao Triângulo de Quixadá, percorrendo 75,0 km. Do Triângulo de Quixadá, pega-se a rodovia estadual CE-359, percorrendo 83,0 km até chegar em Quixadá. Em Quixadá pega-se a rodovia estadual CE-060 até Iguatu, percorrendo 226,1 km e passando pelas cidades de Quixeramobim, Mombaça e Acopiara.

Pela mesma rodovia estadual, a CE-060 sai de Iguatu e chega em Várzea Alegre, percorrendo 60,0 km.

Em Várzea Alegre, pega-se a rodovia federal BR-230 por 10 km em direção a Lavras da Mangabeira, até atingir o entroncamento da estrada estadual, denominada de CE-060, recentemente pavimentada, que leva a cidade de Granjeiro. Para a cidade de Granjeiro, percorre-se 19 km.

Para atingir o eixo selecionado, Eixo IV, tem de estar na CE-060, na entrada para Lagoa dos Órfãos (do entroncamento da BR-230 com a CE-060, a distância a ser percorrida é de 14 km, pela rodovia estadual), e pega-se uma estrada vicinal carroçável a direita. Da Lagoa dos Órfãos até o local da barragem, percorre-se 5,0 km.

Na Figura 2.1 é apresentado o mapa de localização e acesso.

3 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

3 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia do Açude Riacho do Meio abrange uma área de 91,21 km², um perímetro de 41,91km, uma declividade de 16,67 m/km e um comprimento do curso principal de 18 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 Riacho do Meio pode ser caracterizada por estes índices calculados da seguinte forma.

$$k_c = \frac{P}{\frac{2\pi\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}}}$$

Fator de compacidade

$$k_f = \frac{A}{L^2}$$

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 Riacho do Meio, tem-se que A=91,21 km², P=41,91 km e L= 18 km, o que resulta em um fator de forma (k_f) de 0,28 e um fator de compacidade (k_c) de 1,24.

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. O fator de compactidade da Bacia do Riacho do Meio é relativamente próximo a 1, o que indica uma bacia propensa a enchentes rápidas, se comparada com bacias semelhantes com forma mais alongada.

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



FIGURA 3.1 – CURVAS DE NÍVEL DA BACIA DO AÇUDE RIACHO DO MEIO

A bacia do Açude Riacho do Meio tem predominantemente solos PE21 (Ver Figura 3.2), o que associado com o relevo da bacia resulta em solos baixa capacidade de drenagem (Figura 3.3). A vegetação é caracterizada principalmente pela Caatinga Arbórea e Caatinga Arbustiva Densa, com pequenos locais de Mata Seca e Cerradão (Figura 3.4). O principal uso é a agricultura de culturas anuais, temporárias e permanentes e vegetação natural (Figura 3.5).



FIGURA 3.2 – SOLOS DA BACIA DO AÇUDE RIACHO DO MEIO (FONTE: FUNCEME)



FIGURA 3.3 – GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SOLOS DA BACIA DO AÇUDE RIACHO DO MEIO (FONTE: FUNCEME)



FIGURA 3.4 – VEGETAÇÃO DA BACIA DO AÇUDE RIACHO DO MEIO (FONTE: FUNCEME)



FIGURA 3.5 – USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO AÇUDE RIACHO DO MEIO (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 Riacho do Meio, principalmente àquelas relacionadas ao aproveitamento dos seus recursos hídricos.

A bacia hidrográfica estudada drena uma área de 91,21 km² no local a ser barrado. A referida bacia não tem localizada em seus domínios nenhuma estação hidroclimatológica, sendo por isso utilizada como estação representativa a de Barbalha, 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):

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

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 2,5 °C, isso para os meses de julho (23,8 °C) e dezembro (26,3 °C). As médias máximas e mínimas extremas ocorrem respectivamente nos meses de outubro (34,1 °C) e agosto (18,1 °C), conforme se observa no Quadro 4.1 e Figura 4.1.

QUADRO 4.1 – TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS E COMPENSADAS (°C) NA ESTAÇÃO DE BARBALHA													
MÉDIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Máxima	332,1	330,9	330,3	330,1	330,0	228,4	229,8	331,7	333,3	334,1	333,9	333,1	331,5
Comp.	225,5	224,8	224,5	224,5	224,1	223,8	223,8	224,9	226,2	226,7	226,8	226,3	225,2
Mínima	221,2	221,1	220,9	221,2	220,6	119,3	119,1	118,1	220,1	221,1	221,8	221,7	220,5

FONTES: INEMET (1991)²

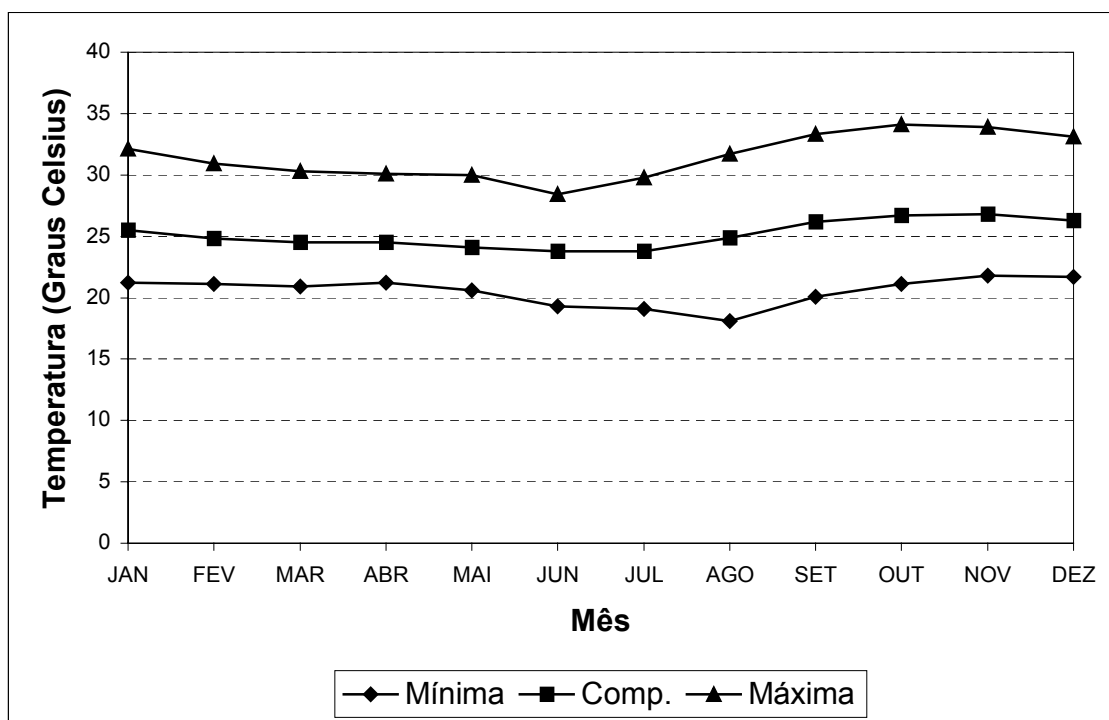


FIGURA 4.1 – TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS E MÉDIAS COMPENSADAS NA ESTAÇÃO DE BARBALHA

4.1.2 – Umidade Relativa

A umidade relativa média apresenta uma variação máxima de 31 % referente aos meses de março (80%) e setembro (49%), como pode-se verificar no Quadro 4.2 e Figura 4.2.

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

QUADRO 4.2 – UMIDADE RELATIVA NA ESTAÇÃO DE BARBALHA													
MÉDIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
%	668,0	774,0	880,0	779,0	773,0	667,0	661,0	553,0	449,0	551,0	553,0	555,0	663,6

FONTE: INEMET (1991)³

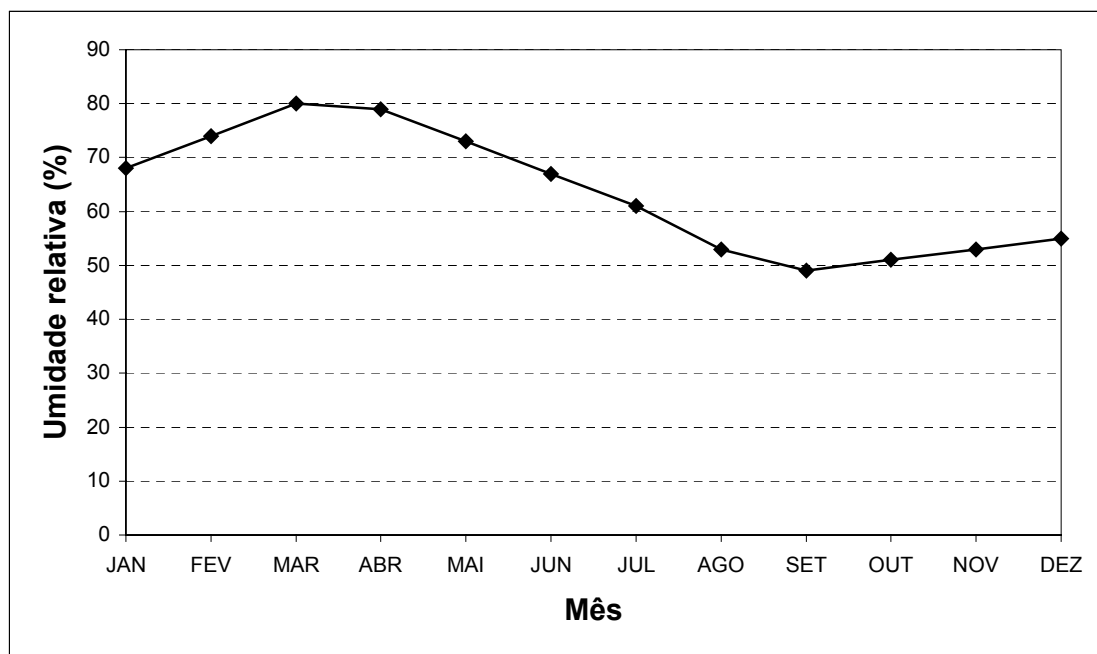


FIGURA 4.2 – UMIDADE RELATIVA NA ESTAÇÃO DE BARBALHA

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.

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 Barbalha e sua distribuição mensal. Em termos anuais, no mesmo período, tem-se 2848 horas de exposição, podendo-se concluir de maneira aproximada que cerca de 65% 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.

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

QUADRO 4.3 – INSOLAÇÃO MÉDIA NA ESTAÇÃO DE BARBALHA													
MÉDIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
horas	2216	1192	1198	2206	2225	2240	2252	2282	2276	2269	2256	2234	22848

FONTE: INEMET (1991)⁴

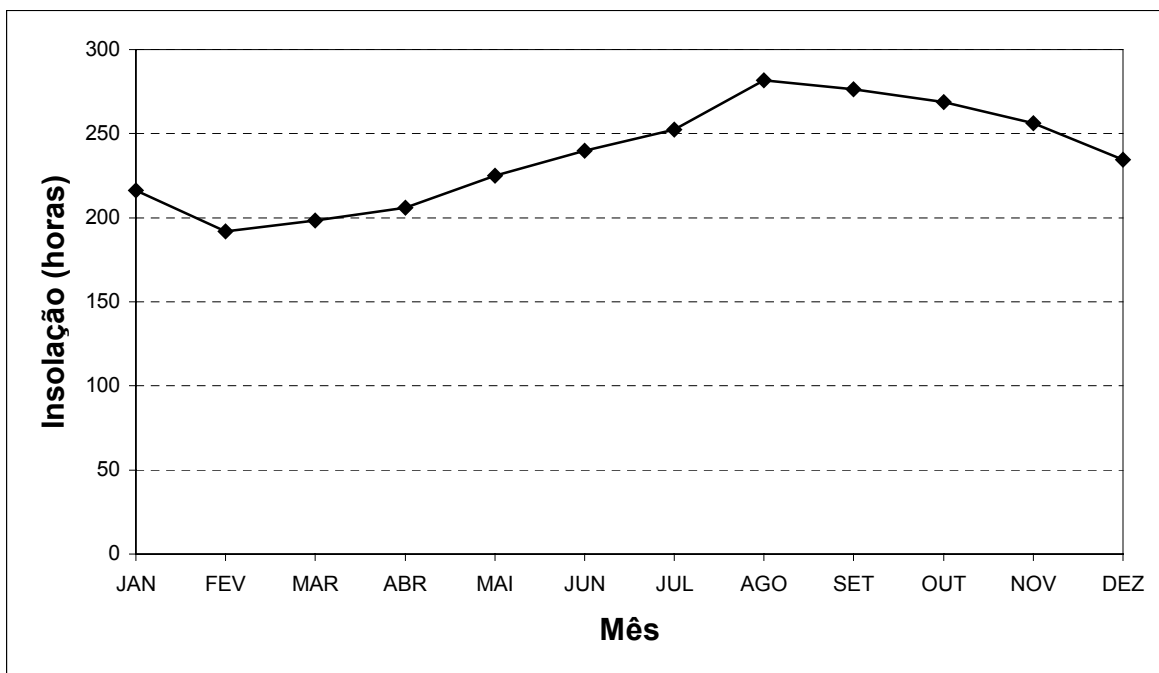


FIGURA 4.3 – INSOLAÇÃO MÉDIA NA ESTAÇÃO DE BARBALHA

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

FONTE: PERH(1992)⁵

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

4.1.5 – Evaporação Média

A evaporação anual observada em tanque-tipo classe “A” é de 2289 mm, distribuída ao longo dos meses segundo o Quadro 4.5 e Figura 4.4.

QUADRO 4.5 – EVAPORAÇÃO MÉDIA NA ESTAÇÃO DE BARBALHA													
MÉDIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
mm	1160	1124	1108	1100	1146	1161	2225	2269	2293	2263	2224	2216	22289

FONTE: INEMET (1991)

O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a agosto/setembro/outubro, ocorrendo o máximo em setembro (293 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

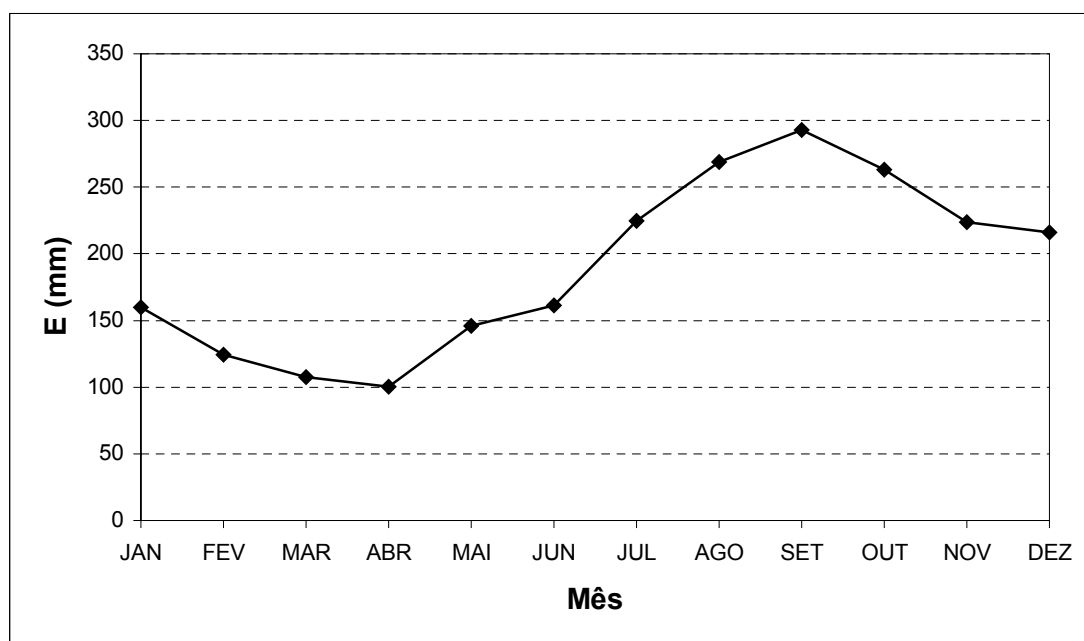


FIGURA 4.4 – EVAPORAÇÃO MÉDIA NA ESTAÇÃO DE BARBALHA

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

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.

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

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	173,0	137,3	127,1	115,5	120,9	120,8	139,3	172,5	198,0	215,6	208,8	208,8	1937,4

O trimestre que apresenta os maiores valores de evapotranspiração corresponde a outubro/novembro/dezembro, ocorrendo o máximo em outubro (215,6 mm). O trimestre abril/maio/junho possui o menor índice de evaporação, ocorrendo o mínimo em abril com 115,5 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

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

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

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	175,2	173,0	2,2	-381,6	2,2	2,2	173,0	0,0	0,0
Fev	191,4	137,3	54,1	-57,5	56,3	54,1	137,3	0,0	0,0
Mar	234,3	127,1	107,2	49,2	100,0	43,7	127,1	0,0	63,5
Abr	209,8	115,5	94,3	66,4	100,0	0,0	115,5	0,0	94,3
Mai	48,1	120,9	-72,8	-72,8	48,3	-51,7	99,8	21,0	0,0
Jun	20,8	120,8	-100,0	-172,8	17,8	-30,5	51,3	69,5	0,0
Jul	11,5	139,3	-127,8	-300,6	4,9	-12,8	24,3	115,0	0,0
Ago	5,6	172,5	-166,9	-467,5	0,9	-4,0	9,6	162,9	0,0
Set	5,2	198,0	-192,8	-660,3	0,1	-0,8	6,0	192,0	0,0
Out	2,5	215,6	-213,1	-873,4	0,0	-0,1	2,6	213,0	0,0
Nov	4,8	208,8	-204,0	-1077,4	0,0	0,0	4,8	204,0	0,0
Dez	92,2	208,8	-116,6	-1193,9	0,0	0,0	92,2	116,6	0,0
ANO	1001,4	1937,4	-936,0		330,6	0,0	843,5	1093,9	157,9

(*) ETP calculada pelo método de Hargreaves

A primeira coluna (P) representa os valores da precipitação mensal do posto de Barbalha; 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 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.

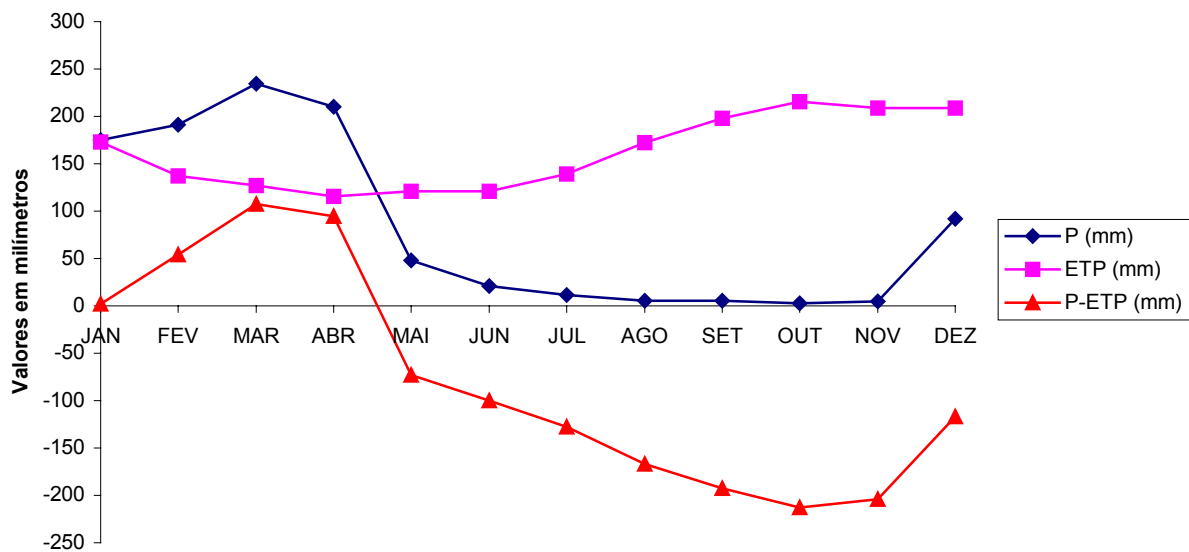


FIGURA 4.5 – BALANÇO HÍDRICO

4.3 – CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA

4.3.1 – Classificação Segundo 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 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 56,46 (Quadro 4.8).

- Índice de umidade:

O índice de umidade é o excesso de água (EXC) expresso em percentagem da necessidade que é representado pela evapotranspiração potencial (ETP), este índice apresentou um valor de 8,15 (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 -25,73 % (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, sub-tipo S2, com índice de aridez superior a 33%; tipo A', megatérmico e sub-tipo a', baixa variação estacional (DS2A'a').

4.4 – SINOPSE CLIMATOLÓGICA

Pluviometria Média Anual (sobre a bacia)	1001,4 mm
Evaporação Média Anual	2289,0 mm
Evapotranspiração Potencial (Hargreaves)	1937,4 mm
Insolação Média Anual	2848 h
Umidade Relativa Média Anual	63,6 %
Temperatura Média Anual: Média das Máximas	31,5 °C
Temperatura Média Anual: Média das Médias	25,2 °C
Temperatura Média Anual: Média das Mínimas	20,5 °C
Classificação Climática	DS2A'a'
Classificação climática segundo Köeppen	BWx'

5 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

5 – ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

5.1 – DADOS UTILIZADOS

O posto que foi utilizado neste estudo é o mais próximo da área de interesse, que possui uma bacia hidrográfica com 91,21 km², além de estar em uma altitude que representa melhor as características da área de estudo. O Quadro 5.1 mostra o posto pluviométrico utilizado.

QUADRO 5.1 – POSTO UTILIZADO NO PROJETO DA BARRAGEM RIACHO DO MEIO					
POSTO	CÓDIGO	PERÍODO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)
GRANJEIRO	51	1979 - 2003	06°53'	39°13'	300

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 do Ceará e onde se encontra a área do estudo, que apresenta média pluviométrica em torno de 955 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,36.

Uma análise freqüencial foi realizada para o posto de Granjeiro, 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
51	24	1414,6	1868,1	2059,9	2502,9	2693,4	3325,8

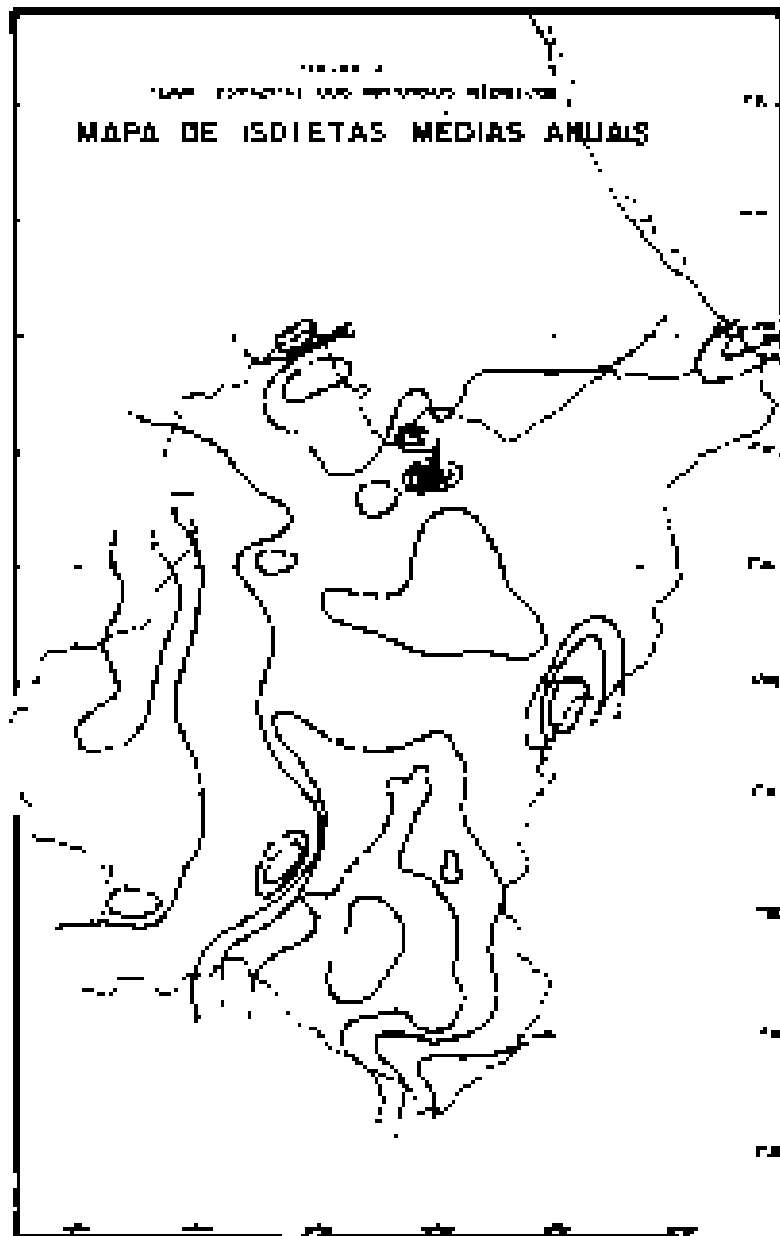


FIGURA 5.1 – ISOIETAS

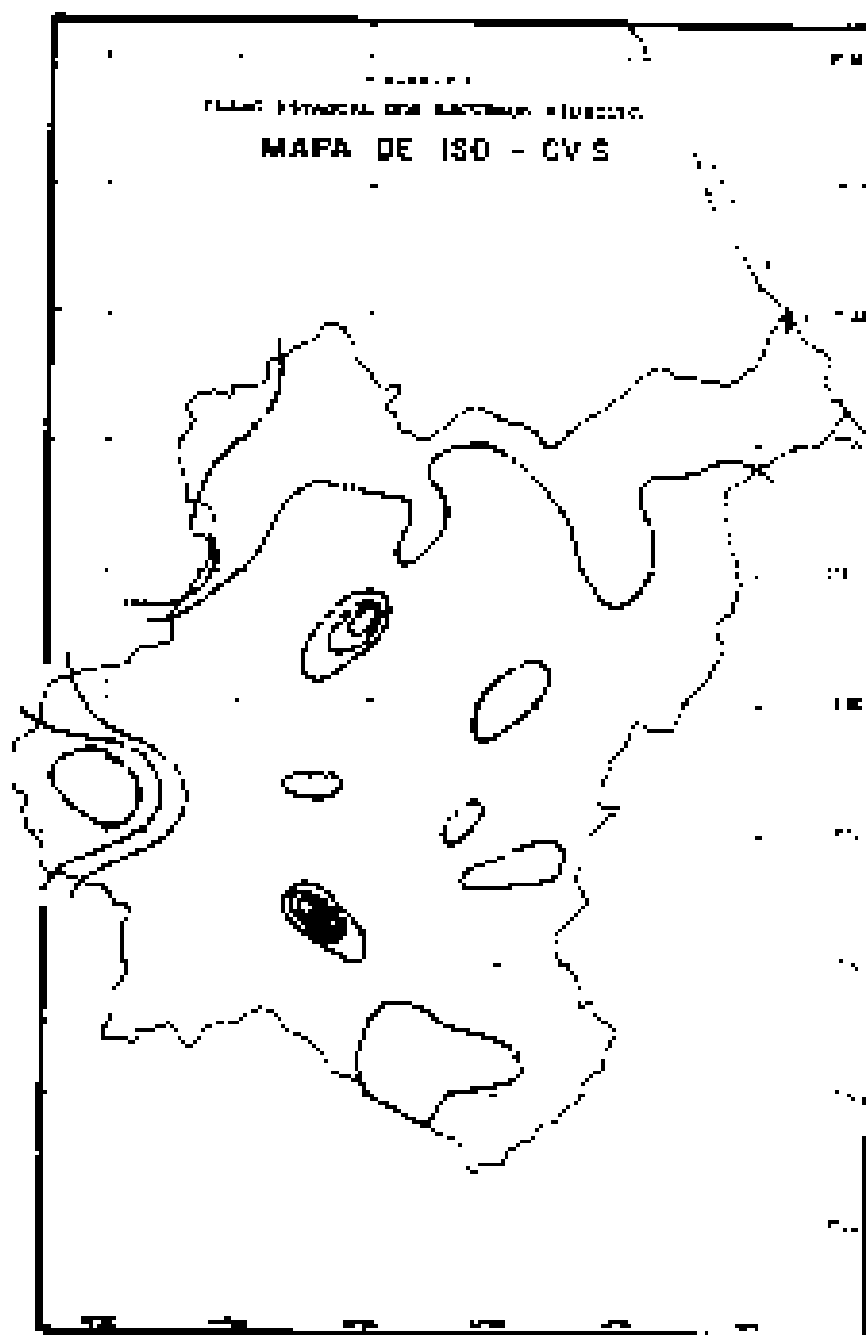


FIGURA 5.2 – ISO-CV'S

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 85% do total anual.

A nível trimestral nota-se mais ainda a gravidade da concentração temporal, onde se constata que cerca de 62% do total anual precipita-se em apenas três meses

do ano. Neste trimestre o mês de março corresponde ao mais chuvoso, com cerca de 24% do total anual.

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

QUADRO 5.3 – ÍNDICES DE CONCENTRAÇÃO PLUVIOMÉTRICA. SÉRIE DE VALORES MÉDIOS MENSAIS.									
CÓDIGO	MÊS	VALOR	%TOT	TRIMES	VALOR	%	SEM	VALOR	%
51	MARÇO	234,4	24,4	FMA	593,5	61,7	1	822,4	85,5

QUADRO 5.4 – ANÁLISE DE FREQUÊNCIA-NÍVEL MENSAL-DISTRIBUIÇÃO GUMBEL (MÊS MAIS CHUVOSO = MARÇO).							
CÓDIGO	N	PERÍODO DE RETORNO					
		10	50	100	500	1000	10000
51	24	378,8	521,3	581,5	720,7	780,5	979,2

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:

QUADRO 5.5 – ANÁLISE DE FREQUÊNCIA-NÍVEL DIÁRIO-DISTRIBUIÇÃO GUMBEL							
CÓDIGO	N	PERÍODO DE RETORNO					
		10	50	100	500	1000	10000
		127,8	162,9	177,7	211,9	226,7	275,6

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-freqüência pluviométrica.

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

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

A desagregação da chuva de 24 horas em chuvas de menores 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.

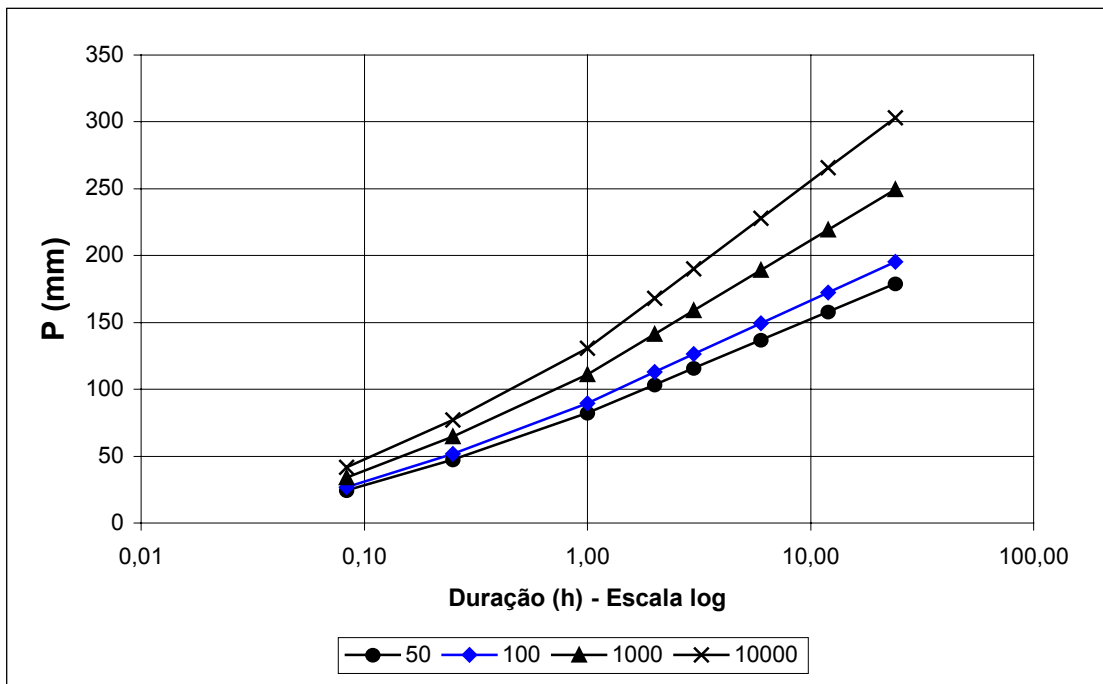


FIGURA 5.4 – CURVAS INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA

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 5 minutos.

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 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 Riacho do Meio 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 Riacho do Meio 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 Riacho do Meio foi assumido uma precipitação uniformemente distribuída sobre a referida bacia. O HEC-1 permite a entrada de tormentas históricas ou sintéticas, sendo as últimas frequentemente utilizadas para planejamento e estudos de projetos.

O hietograma adotado baseia-se nas curvas altura-duração-freqüência obtida nos estudos hidroclimatológicos, 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; $A = 134,26 \text{ km}^2$ (área da bacia da barragem Riacho do Meio); $A_0 = 25 \text{ km}^2$ (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	21,5	41,6	72,1	90,6	101,4	119,9	138,5	157,0
P(mm) – TR 100	23,5	45,4	78,6	98,8	110,7	130,9	151,1	171,3

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 1000	29,9	56,7	97,2	123,7	139,2	165,6	192,1	218,5
P (mm) – TR 10000	36,4	67,5	114,5	147,5	166,7	199,7	232,7	265,6

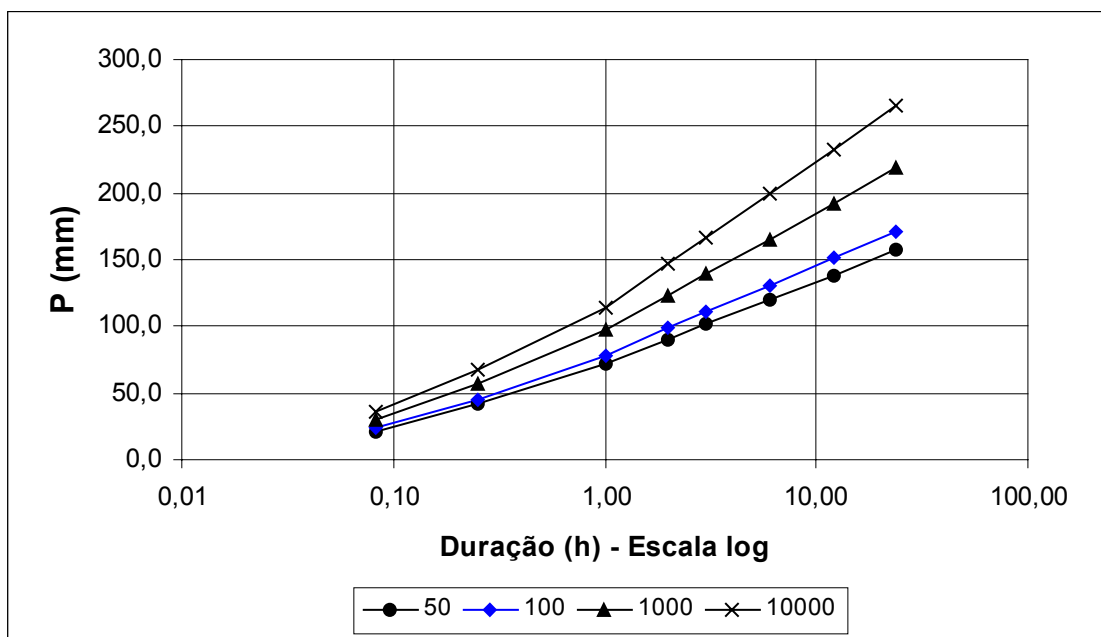


FIGURA 6.1 – CURVAS INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA - CHUVA REDUZIDA

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 Riacho do Meio foi adotado um CN = 82 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 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:

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

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 Riacho do Meio tem-se:

$$L = 18,0 \text{ km} \quad \Delta H = 300 \text{ m} \quad S = 16,67 \text{ m/km}$$

O que resulta T_C = 2,98 h; T_{LAG} = 1,79 h para a Barragem Riacho do Meio.

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 (m³/s), t_p = tempo de pico do hidrograma (h), A = área da bacia em km² 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 Δt = 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. Este tempo de concentração foi avaliado através da aplicação da fórmula de Kirpich (item 6.2.1).

A Figura 6.2 abaixo apresenta o hidrograma de projeto e o hidrograma afluente a barragem Riacho do Meio obtido através do uso do modelo HEC, conforme metodologia acima . A vazão de pico do hidrograma de 1000 anos de tempo de retorno foi 947,0 m³/s. Para o tempo de retorno de 10000 anos foi obtida uma vazão de pico de 1183,0 m³/s (Figura 6.3).

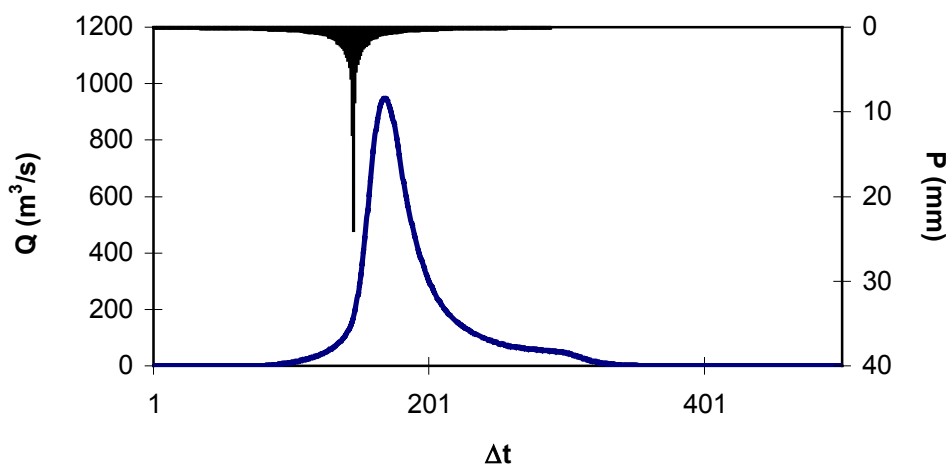


FIGURA 6.2 – HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE AO RIACHO DO MEIO (TR = 1000 ANOS)

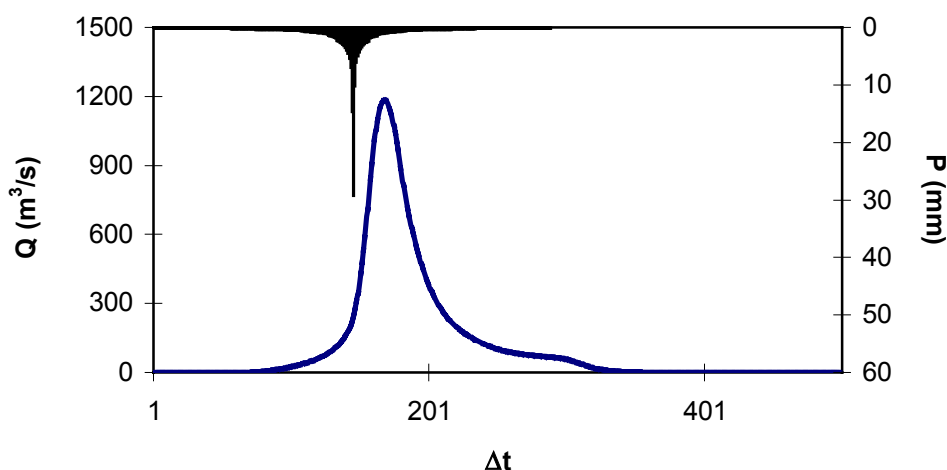


FIGURA 6.3 – HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE AO RIACHO DO MEIO (TR = 10000 ANOS)

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 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 Riacho do Meio;
2. Estimativa das perdas por evaporação e sangria da Barragem Riacho do Meio;

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 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 $\text{MIN}(0.5 K; 0.5 \square)$;
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

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

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

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

VOLUME UTILIZADO

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

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

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

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

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 , N suficientemente grande, obtém-se:

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

Onde $E \{.\}$ representa o 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: 68 mm
- volume afluente médio escoado (μ): 6.20 hm³/ano

O coeficiente de variação de $CV = 0.76$ 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 pretende-se analisar o ganho na regularização em função do aumento da capacidade. Assim,

$$E_L = 0.85 \cdot (161.3 + 224.8 + 268.7 + 292.8 + 262.9 + 223.7 + 216.1)$$

$$= 1402.7 \text{ mm (Evaporação na estação seca)}$$

$$\alpha = 1682,7$$

$$f_E = 3\alpha^{1/3} E_L / \mu^{1/3} = 0.27$$

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 Riacho do Meio, que nada mais é que o gráfico dos valores apresentados no Quadro 7.1.

QUADRO 7.1 – ESTUDO INCREMENTAL DE CAPACIDADES DO RESERVATÓRIO RIACHO DO MEIO											
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)
310	3,1	0,50	23,7	1,470	11,1	0,687	65,2	4,042		0,048	1,516
312	4,8	0,78	31,8	1,971	15,2	0,942	53,0	3,285	0,30	0,064	2,031
314	7,0	1,14	40,2	2,491	19,5	1,207	40,3	2,496	0,25	0,082	2,578
316	10,2	1,64	47,2	2,923	24,6	1,523	28,2	1,747	0,15	0,096	3,031
318	13,9	2,25	52,6	3,257	29,1	1,806	18,3	1,133	0,10	0,108	3,391
320	18,4	2,96	55,2	3,419	33,7	2,087	11,1	0,691	0,04	0,113	3,563
323	26,3	4,24	56,2	3,487	39,2	2,432	4,5	0,282	0,01	0,115	3,625

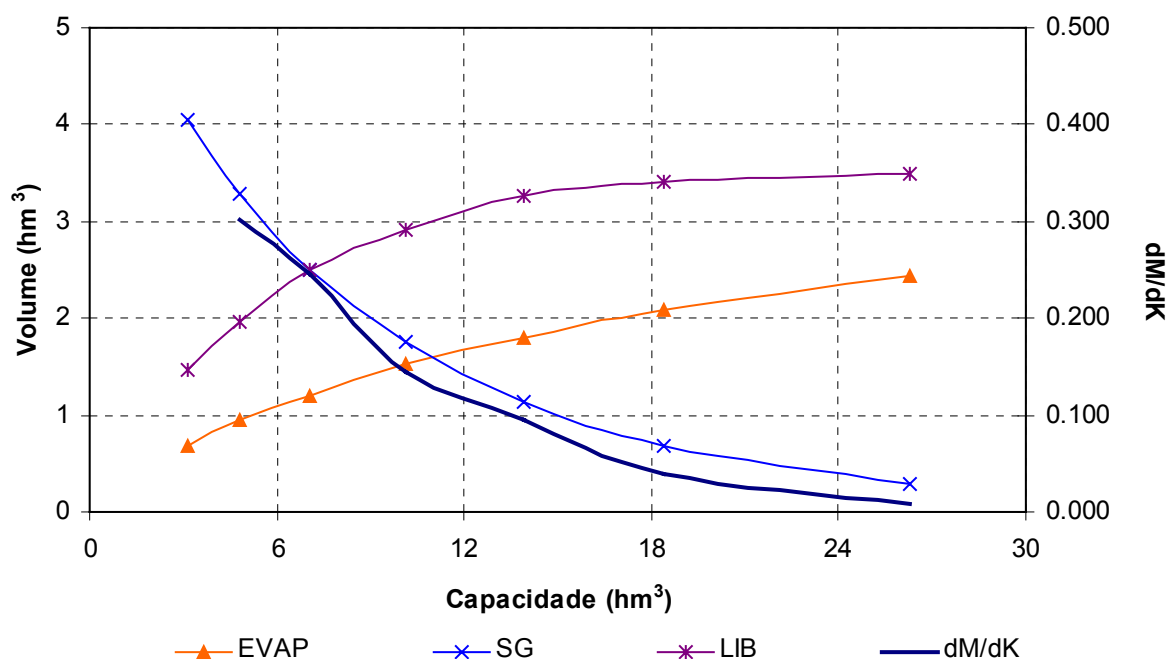


FIGURA 7.1 – CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO RIACHO DO MEIO

A Figura 7.1 e os dados apresentados no Quadro 7.1 sugerem que os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento decaem rapidamente. Foi adotado o volume em torno de 18,4 hm³, correspondente à cota 320 m. Para esta capacidade o reservatório regulariza 55,2% do

volume afluente médio anual, ou em termos de volume, 3,419 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 0,113 m³/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). Os resultados obtidos com o método do Diagrama Triangular de Regularização (Figura 7.2) confirmam os valores obtidos pela solução direta do balanço hídrico.

QUADRO 7.2 – DISTRIBUIÇÃO DO VOLUME AFLUENTE E QR (90%) PARA O RES. RIACHO DO MEIO			
EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO			
RG - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m3/s)
3,419 – 55,2%	0,691 – 11,1%	2,087 – 33,7%	0,113

EV - Volume Evaporado (hm3/ano) SG - Volume Sangrado (hm3/ano)

RG- Volume Regularizado (hm3/ano) Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia (m3/s)

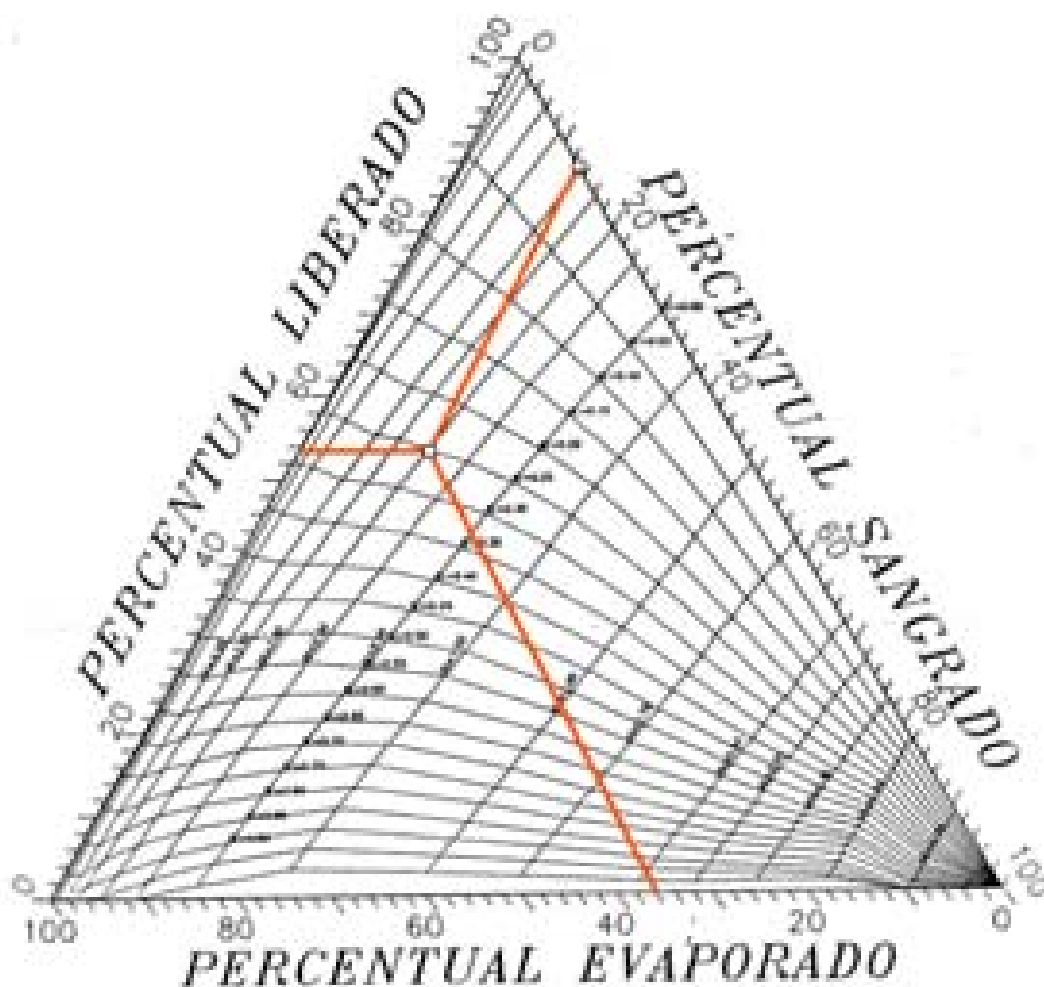


FIGURA 7.2 – DIAGRAMA TRIANGULAR DE REGULARIZAÇÃO APLICADO A BARRAGEM RIACHO DO MEIO.

8 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO

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.

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 vertedouro de perfil Creager com coeficiente de descarga 2.1, ficando suas equação característica:

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

8.2 – RESULTADOS

Uma vez escolhida a dimensão do açude (cota=320 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 8.1, usando-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 hietograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Riacho do Meio correspondente ao tempo de retorno $Tr=1000$ anos para vertedouro em perfil Creager. Os resultados correspondentes para o tempo de retorno de 10.000 anos podem ser visualizados na Figura 8.2.

QUADRO 8.1 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO ACIMA DESCRITA			
COTA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	Q_{out} (m^3/s)
Tr = 1.000 anos - $Q_{in} = 947 m^3/s$			
Perfil Creager: L = 150 m			
320	321,70	1,70	678,0
Perfil Creager: L = 180 m			
320	321,50	1,50	714,0
Perfil Creager: L = 200 m			
320	321,50	1,50	735,0
Tr = 10.000 anos - $Q_{in} = 1183,0 m^3/s$			
Perfil Creager: L = 150 m			
320	322,00	2,00	882,0
Perfil Creager: L = 180 m			
320	321,80	1,80	925,0

QUADRO 8.1 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO ACIMA DESCRITA			
COTA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	Q_{out} (m^3/s)
Perfil Creager: L = 200 m			
320	321,70	1,70	949,0

L = Largura do sangradouro

Z_w = cota da soleira do sangradouro

Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

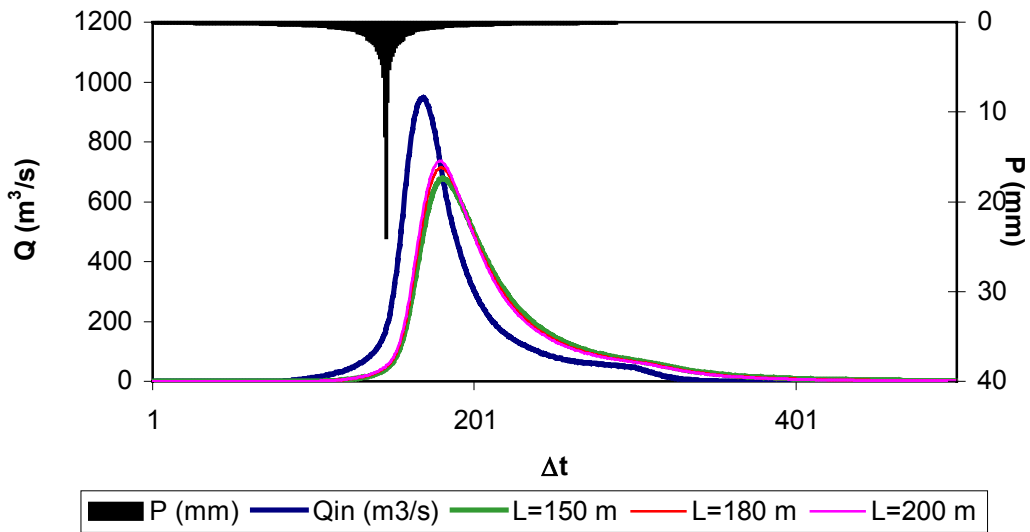


FIGURA 8.1 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAÍDA DO RESERVATÓRIO RIACHO DO MEIO (TR=1.000 ANOS, PERFIL CREAGER)

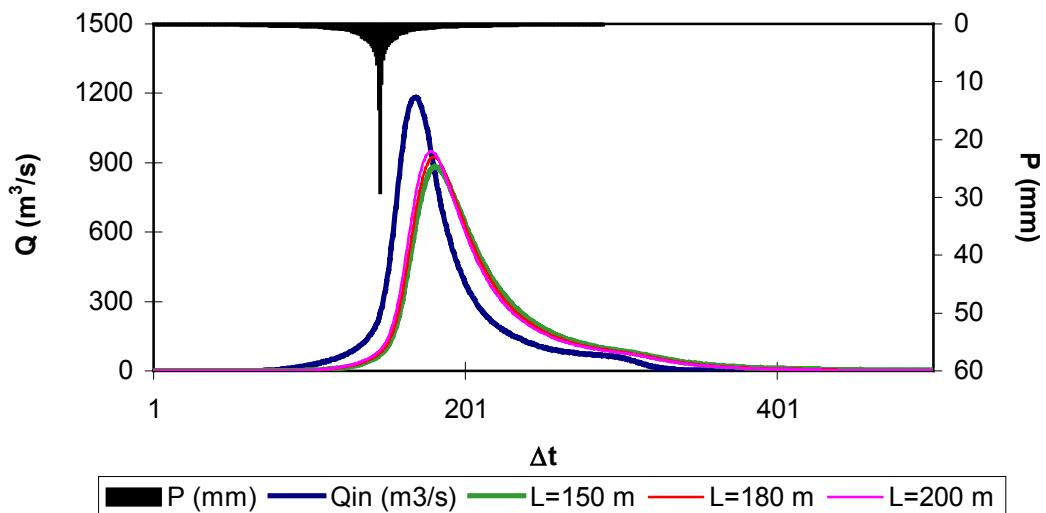


FIGURA 8.2 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAÍDA DO RESERVATÓRIO RIACHO DO MEIO (TR=10.000 ANOS, PERFIL CREAGER)

8.3 – RESULTADOS PARA CHUVA DE DURAÇÃO DE DOIS DIAS

Como forma de complementar o projeto hidrológico da Barragem Riacho do Meio, foi realizado um estudo do dimensionamento do sangradouro para uma chuva de duração de 2 dias. Considerou-se um intervalo de tempo de 5 minutos. A metodologia para o cálculo foi a mesma descrita nos capítulos 6 e 8. Adicionalmente, novas simulações foram realizadas para larguras menores de vertedouros.

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 8.2, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos e uma duração de chuva de dois dias. A Figura 8.3 abaixo mostra o hietograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Riacho do Meio correspondente ao tempo de retorno $Tr=1000$ anos para vertedouro em perfil Creager. Os resultados correspondentes para o tempo de retorno de 10.000 anos podem ser visualizados na Figura 8.4.

É possível observar no Quadro 8.2 que o hidrograma de projeto associado a uma chuva de duração de dois dias não apresenta diferenças significativas com relação ao hidrograma de projeto para chuva de duração 24 horas, conforme o Quadro 8.1.

QUADRO 8.2 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO ACIMA DESCRITA (DURAÇÃO DA CHUVA = 2 DIAS)			
COTA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	Q_{OUT} (m³/s)
Tr = 1.000 anos - Q_{in} = 954 m³/s			
Perfil Creager: L = 90 m			
320	322,1	2,1	570,0
Perfil Creager: L = 120 m			
320	321,9	1,9	637,0
Perfil Creager: L = 150 m			
320	321,7	1,7	686,0
Perfil Creager: L = 180 m			
320	321,5	1,5	722,0
Perfil Creager: L = 200 m			
320	321,5	1,5	743,0
Tr = 10.000 anos - Q_{in} = 1187,0 m³/s			
Perfil Creager: L = 90 m			
320	322,5	2,5	744,0

QUADRO 8.2 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO ACIMA DESCRITA (DURAÇÃO DA CHUVA = 2 DIAS)			
Perfil Creager: L = 120 m			
320	322,2	2,2	826,0
Perfil Creager: L = 150 m			
320	322,0	2,0	887,0
Perfil Creager: L = 180 m			
320	321,8	1,8	930,0
Perfil Creager: L = 200 m			
320	321,7	1,7	954,0

L = Largura do sangradouro

Z_w = cota da soleira do sangradouro

Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

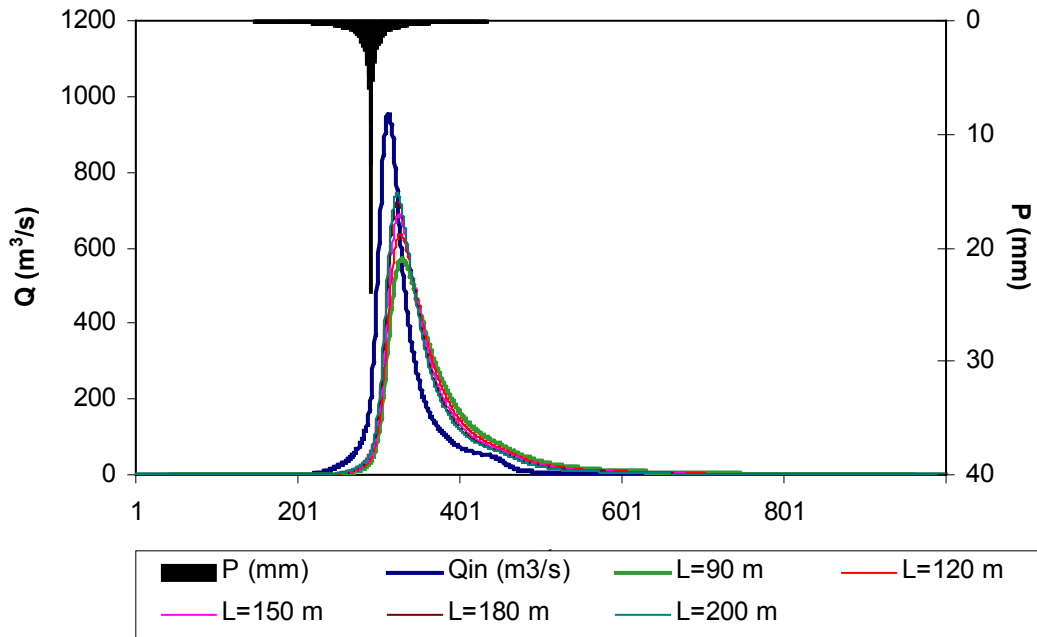


FIGURA 8.3 - HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAÍDA DO RESERVATÓRIO RIACHO DO MEIO (TR=1.000 ANOS, PERFIL CREAGER, CHUVA = 2 DIAS)

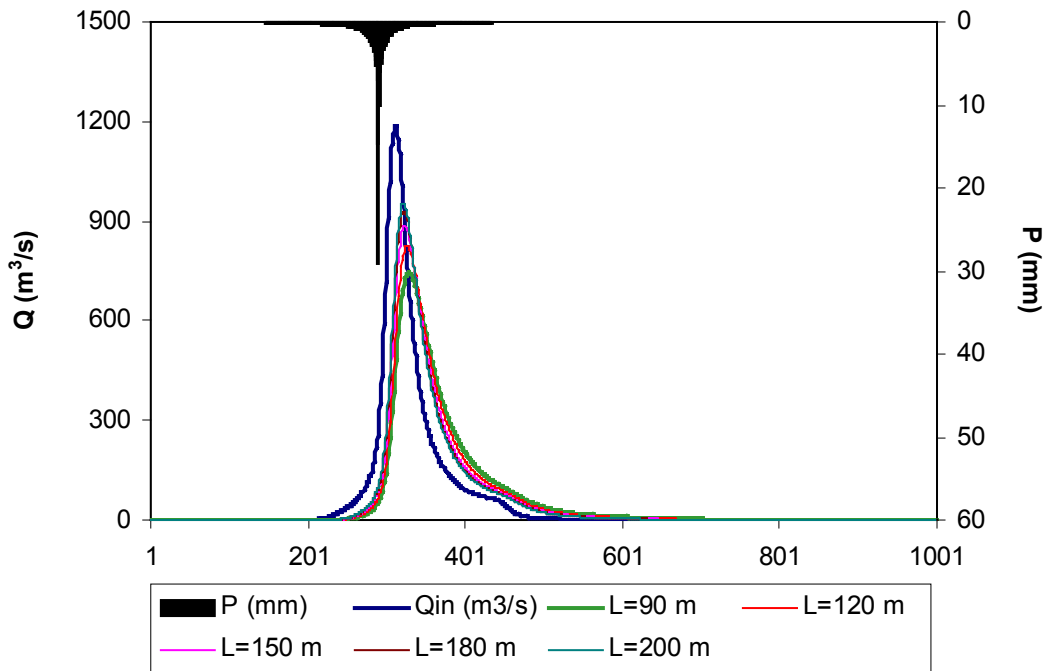


FIGURA 8.4 - HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAÍDA DO RESERVATÓRIO RIACHO DO MEIO (TR=10.000 ANOS, PERFIL CREAGER, CHUVA = 2 DIAS)

8.4 – RESULTADOS PARA A ALTERNATIVA DE DOIS VERTEDOUROS

Em virtude de certos critérios técnicos e financeiros, foram realizadas simulações considerando a construção de dois vertedouros de 50 metros de largura cada, nas cotas 320 m e 322 m. A metodologia adotada foi a mesma descrita nos itens 8.1 e 8.2, com o cálculo de um vertedouro equivalente a estes dois vertedouros. Foi ajustado um modelo do tipo $Q = Cx50x(Z-220)^a$, identificando-se C e a para a curva acumulada de vazões dos dois vertedouros tipo Creager com 50 m de largura e expoente 1,5. A duração da chuva foi de 24 horas, visto que chuvas com duração de dois dias não apresentarem diferenças significativas (item 8.3).

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida em cada vertedor encontram-se no Quadro 8.3, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A Figura 8.5 abaixo mostra o hidrograma de projeto, o hidrograma de entrada e o hidrograma de saída (equivalente quando se tem os dois vertedouros) ao reservatório Riacho do Meio correspondente ao tempo de retorno $Tr=1000$ anos para vertedouro em perfil Creager. Os resultados correspondentes para o tempo de retorno de 10.000 anos podem ser visualizados na Figura 8.6.

QUADRO 8.3 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO ACIMA DESCRITA (2 VERTEDOUROS DE 50 M CADA)			
COTA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	Q _{OUT} (m ³ /s)
Tr = 1.000 anos - Q_{in} = 954 m³/s			
2 Perfis Creager de L = 50 m para cada			
320,0	322,5	2,5	460,0
322,0	322,5	0,5	
Tr = 10.000 anos - Q_{in} = 1187,0 m³/s			
2 Perfis Creager de L = 50 m para cada			
320,0	323,0	3,0	630,0
322,0	323,0	1,0	

L = Largura do sangradouro

Z_w = cota da soleira do sangradouro

Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

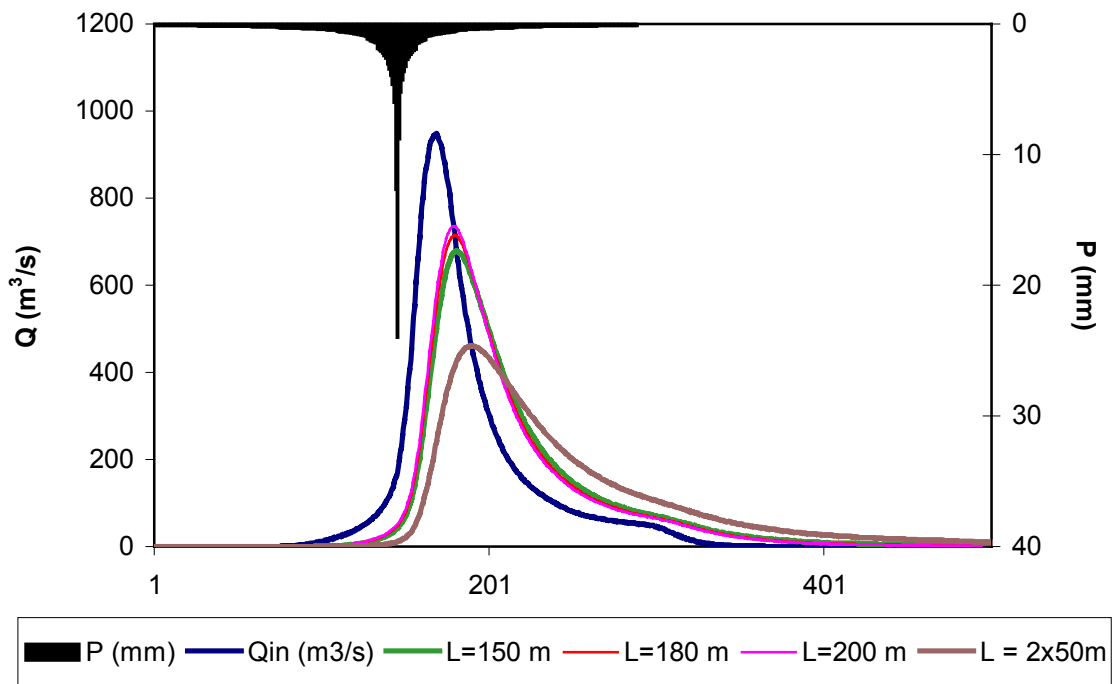


FIGURA 8.5 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAÍDA DO RESERVATÓRIO RIACHO DO MEIO (TR=1.000 ANOS, PERFIL CREAGER)

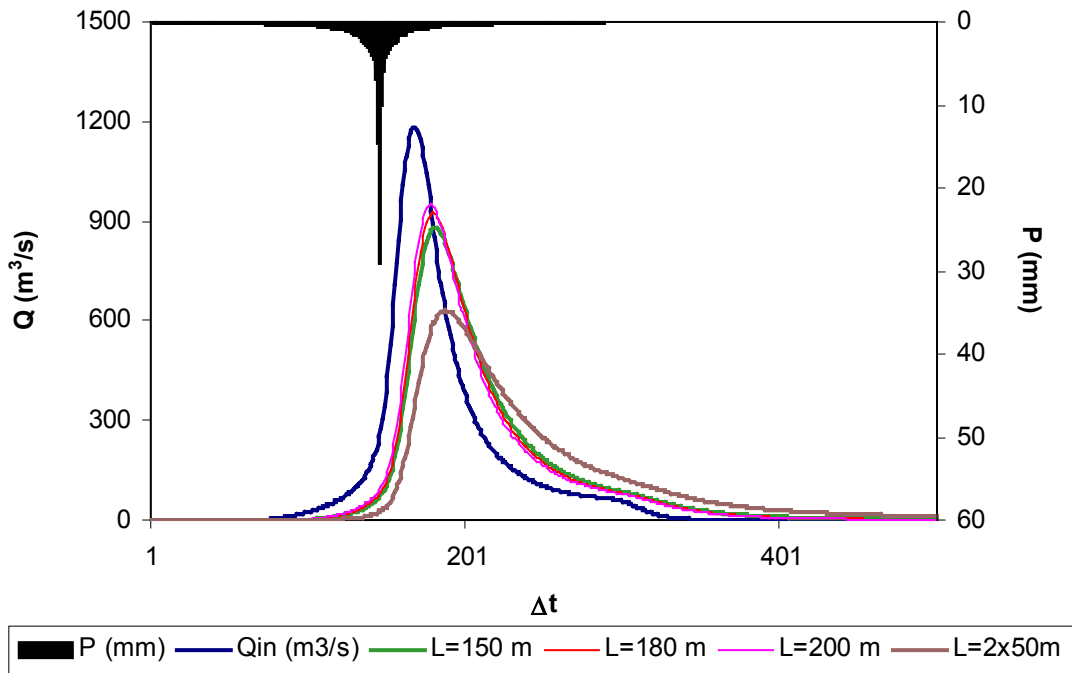


FIGURA 8.6 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO RIACHO DO MEIO (TR=10.000 ANOS, PERFIL CREAGER).

9 – DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO

9 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO

A determinação da capacidade da Barragem Riacho do Meio 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 potencial hidrológico da Bacia do Açude Riacho do Meio, apresentado no capítulo 7 deste relatório, foi o critério dominante na determinação da dimensão do reservatório, que foi assim definida:

Capacidade máxima = 18,375 hm³.

Cota correspondente à capacidade máxima = 320 m.

10 – ESTUDOS ADICIONAIS

10.1 – INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta alguns estudos adicionais visando identificar as características do açude Riacho do Meio 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 18 % dos anos ocorre sangria para uma retirada anual de 3,5 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 3,5 hm³/ano tem-se uma probabilidade de esvaziamento na fase de equilíbrio próximo de 10%, o que implica em uma garantia de 90%.

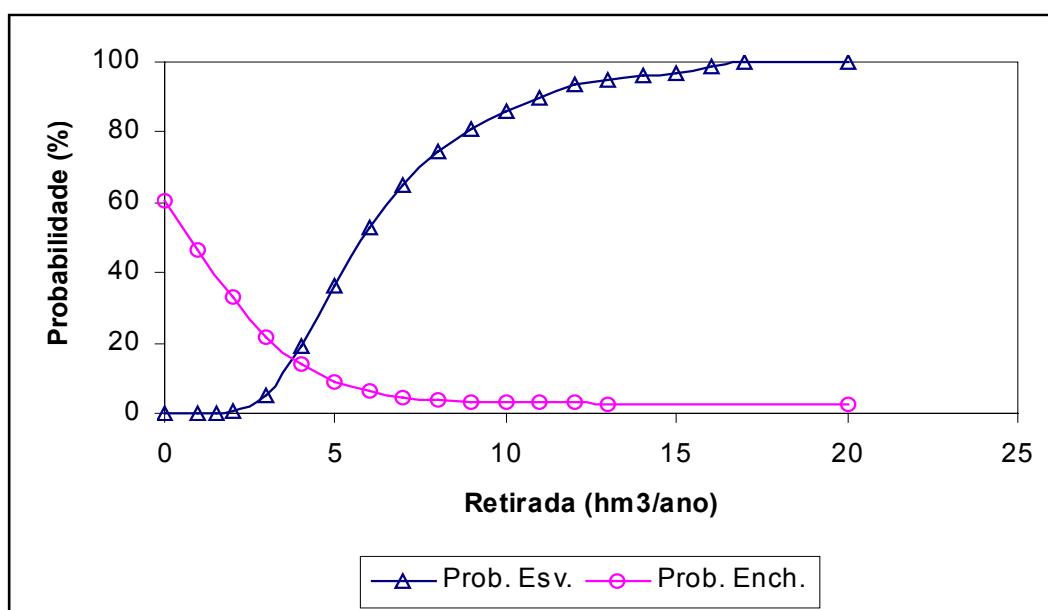


FIGURA 10.1 – PROBABILIDADES DE ESVAZIAMENTO E ENCHIMENTO DO AÇUDE RIACHO DO MEIO

10.3 – ASSOREAMENTO DO AÇUDE RIACHO DO MEIO

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 52% de Argila, 21% de Silte e 27% 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):	6,20	Área=	91,21 km ²
Composição média dos sedimentos:	Argila	Silte	Areia
	52%	21%	27%
Peso específico aparente inicial - gamai (t/m ³):			0,95007
Coeficiente de consolidação médio - K :			0,07604
Descarga sólida média (t/ano):			34341,77
Descarga sólida média específica (t/km ² /ano):			376,5132
Razão de transporte ("delivery ratio") - T			0,150205
Precipitação do mês mais chuvoso (mm):			234,4
Precipitação média anual (mm):			955

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 Riacho do Meio foi simulado durante 100 anos com Δt igual a 10 anos. O Quadro 10.1 apresenta os valores obtidos de acordo com a metodologia de Veiga (1993). A tabela mostra o acompanhamento, a cada intervalo de

simulação, das variáveis utilizadas bem como sedimento acumulado e do volume efetivo. Foi assim obtido um volume final ao período de 100 anos de 15,17 hm³, havendo uma redução de 17,46% no volume útil do açude Riacho do Meio, o qual era inicialmente de 18,38 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 ASSOAREAMENTO 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	18,38	2,96	0,98	1,00	335,35	0,33	18,04
10	20	18,04	2,91	0,98	1,02	335,33	0,66	17,71
20	30	17,71	2,86	0,98	1,03	335,30	0,99	17,39
30	40	17,39	2,80	0,98	1,04	335,28	1,31	17,07
40	50	17,07	2,75	0,98	1,05	335,25	1,63	16,75
50	60	16,75	2,70	0,98	1,05	335,22	1,95	16,43
60	70	16,43	2,65	0,98	1,06	335,20	2,26	16,11
70	80	16,11	2,60	0,98	1,06	335,17	2,58	15,80
80	90	15,80	2,55	0,98	1,07	335,14	2,89	15,48
90	100	15,48	2,50	0,98	1,07	335,11	3,21	15,17

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

ANEXO 1 – BACIA HIDRAULICA