

GOVERNO DO ESTADO



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH
COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS COGERH
PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS
PROURB CE

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM ITAÚNA

Volume II Relatório dos Estudos Básicos

Tomo III Estudos Hidrológicos

GHG

FORTALEZA
Setembro 1997

GOVERNO DO ESTADO



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGERH
PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS
PROURB/CE

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM ITAÚNA

VOLUME II - RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICOS

TOMO III - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Lote: 01600 - Prep (X) Scan (X) Index ()

Projeto Nº 0152/02/03/0

Volume _____

Qtd. A4 _____

Qtd. A3 _____

Qtd. A2 _____

Qtd. A1 _____

Qtd. A0 _____

Outros _____



FORTALEZA
439-198

GOVERNO DO ESTADO



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGERH
**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS
PROURB/CE**

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM ITAÚNA

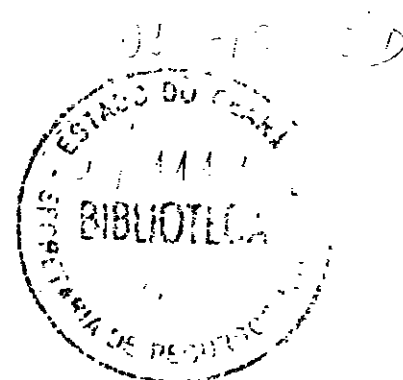
VOLUME II - RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICOS

TOMO III - ESTUDOS HIDROLÓGICOS



FORTALEZA
ABRIL/98

000003



INDICE

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	5
1. INTRODUÇÃO	7
2. CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA.....	10
2 1 PRINCIPAIS PARÂMETROS	11
2 1 1 Temperatura	11
2 1 2 Umidade Relativa	13
2 1 3 Insolação Média	14
2 1 4 Nebulosidade	15
2 1 5 Precipitação Total	16
2 1 6 Evapotranspiração potencial média	17
2 2 BALANÇO HÍDRICO	18
2 3 CLASIFICAÇÃO DO CLIMA	20
2 3 1 Classificação segundo Thornthwaite	20
2 4 SINOPSE CLIMATOLÓGICA	21
3. ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS.....	22
3 1 DADOS UTILIZADOS	23
3 2 CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO	24
3 2 1 Nível Anual	24
3 2 2 Nível Mensal	24
3 2 3 Nível Diário	26
3 3 ESTUDOS DE CHUVAS INTENSAS	26
3 3 1 Método das Isozonas (TORRICO, 1975)	27
4. ESTUDO DE DEFLÚVIOS	35
4 1 METODOLOGIA	36
4 2 DADOS UTILIZADOS	39
4 2 1 Pluviometria	39
4 2 2 Evapotranspiração	43
4 2 3 Fluviometria	43
4 3 AJUSTE DO MODELO	44

4 4	SIMULAÇÃO PARA OBTENÇÃO DA SÉRIE DE VAZÕES FLUENTES	48
5.	ESTUDO DAS CHEIAS DE PROJETO	52
5 1	METODOLOGIA	53
5 1 1	Solos e uso atual da terra	54
5 1 2	Vegetação	58
5 1 3	Precipitação	59
5 1 4	Precipitação Efetiva	61
5 1 5	Hidrograma Unitário - SCS	64
5 2	RESULTADOS	65
5 3	VERIFICAÇÃO DA CHEIA PARA MAIORES VOLUMES AFLUENTES	67
5 3 1	Metodologia	67
5 3 2	Resultados	68
5 4	CONCLUSÃO	71
6.	DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO.....	79
6 1	INTRODUÇÃO	80
6 2	METODOLOGIA	80
6 2 1	Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico	81
6 2 2	O Diagrama Triangular de Regularização	83
6 2 3	Simulação com a Série Afluente do MODHAC - Programa Opera	84
6 3	RESULTADOS	85
7.	DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO.....	92
7 1	PROPAGAÇÃO DA CHEIA NO RESERVATÓRIO	93
8.	ESTUDOS ADICIONAIS	100
8 1	INTRODUÇÃO	101
8 2	ESTUDO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA	101
8 3	INTERFERÊNCIA COM OUTROS AÇUDES EXISTENTES	109



APRESENTAÇÃO



APRESENTAÇÃO

A GHG - Geologia de Engenharia Ltda apresenta, a seguir, o Projeto Executivo da Barragem Itaúna, no município de Chaval, estado do Ceará objeto do Contrato N° 14/96 - PROURB-CE/COGERH/96, firmado com a COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos

O referido projeto está apresentado nos seguintes documentos

VOLUME I - Relatório dos Estudos Preliminares

VOLUME II - Relatório dos Estudos Básicos

TOMO I - Estudos Topográficos

TOMO II - Estudos Geológicos e Geotécnicos

TOMO III - Estudos Hidrológicos

VOLUME III - Relatório de Concepção Geral do Projeto

VOLUME IV - Relatório Geral

TOMO I - Descrição Geral do Projeto

TOMO II - Memorial de Cálculo

TOMO III - Especificações Técnicas e Orçamento

TOMO IV - Desenhos

VOLUME V - Relatório Síntese

O presente relatório refere-se ao Volume II - Relatório dos Estudos Básicos

Tomo III - Estudos Hidrológicos, cujos capítulos

são divididos em

Capítulo 1 - Introdução

Capítulo 2 - Caracterização Climatológica

Capítulo 3 - Estudos Pluviométricos

Capítulo 4 - Estudos de Deflúvios

Capítulo 5 - Estudos da Cheia de Projeto

Capítulo 6 - Dimensionamento do Reservatório

Capítulo 7 - Dimensionamento do Sangradouro

Capítulo 8 - Estudos Complementares



1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Os Estudos Hidrológicos do Açude Itaúna objetivaram fornecer os elementos hidrológicos para o dimensionamento do reservatório e das estruturas hidráulicas de descarga de obra

Os estudos iniciaram-se com a caracterização climática da área, tendo-se coletado e analisado informações de estações próximas

Em seguida, nos estudos pluviométricos, coletou-se e analisou-se as informações de 5 estações próximas à região. Foram elaborados três estudos a partir dos dados de chuvas

- estudo de caracterização do regime pluviométrico,
- estudos de chuvas intensas,
- chuva média diária sobre a bacia hidrográfica

Para a caracterização do escoamento afluente à barragem, base para os estudos de regularização, foram realizados os estudos de vazões mensais, via modelo hidrológico chuva-deflúvio, visto tratar-se de bacia sem dados fluviométricos observados. A estação Granja, no rio Coreau, serviu para estimativa dos parâmetros do modelo MODHAC

No capítulo seguinte, são apresentados os estudos de cheias de 1 000 anos e 10 000 anos de período de retorno afluentes à barragem. Devido à ausência de dados observados, utilizou-se modelo hidrológico baseado no método do SCS (Soil Conservation Service), o modelo HEC-1

Partiu-se, em seguida, para o dimensionamento hidrológico-econômico da capacidade do açude a ser projetado. Para isso, pré-dimensionou-se o



sangradouro para diversas cotas de sangria. simulando-se a laminação da cheia de 1 000 anos

Para cada melhor opção do sangradouro, estimou-se o custo da barragem, obtendo-se assim a curva de custo do m³ regularizado para cada alternativa. Essa curva foi elaborada para o parâmetro de 90% de atendimento à demanda.

Escolhida a dimensão do açude, elaborou-se os estudos de laminação para a cheia de 1 000 anos, para dimensionamento do sangradouro, e para a cheia de 10 000 anos, para garantir que a barragem não seja galgada nessa cheia, dimensionando a cota do coroamento nesse sentido.

Alguns estudos complementares foram acrescentados, tais como a probabilidade de enchimento e esvaziamento do reservatório.



2. CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

2. CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

A abordagem da climatologia a ser desenvolvida visa dar subsídios as etapas subsequentes dos estudos a serem realizados para a construção da Barragem Itaúna

Para caracterizar a hidroclimatologia da zona onde será construída a barragem Itaúna, foi considerada a estação de Sobral, situada no município homônimo. Esta estação não será utilizada para caracterizar a precipitação e a evaporação da região, sendo utilizado no caso da precipitação postos próximos da área de estudo e como estimativa da evaporação a evapotranspiração calculada por Hargreaves. A caracterização hidroclimatológica da zona será feita utilizando-se os dados fornecidos pelo INEMET(1992)¹, os quais foram obtidos através de medições realizadas durante os anos de 1961 a 1990

2.1 PRINCIPAIS PARÂMETROS

2.1.1 Temperatura

A distribuição temporal de temperaturas diárias mostra pequenas variações para três pontos discretos de monitoramento realizadas às 12 00, 18 00 e 24 00 do tempo do meridiano de Greenwich -TMG-, 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 na estação meteorológica, fazendo-se uso da fórmula estabelecida pela Organização Meteorológica Mundial -OMM-

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

¹INEMET, 1992 INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS

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

Quadro 2 1 - Temperaturas Médias Máximas, Médias Mínimas e Médias Compensadas (°C) na estação de Sobral - CE

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MEDIA
Maxima	33,8	32,9	30,1	31,1	31,2	31,6	33,0	38,8	35,8	35,9	35,6	34,0	33,7
Comp	26,7	27,1	26,2	27,5	26,2	24,9	26,4	27,2	26,3	26,7	27,1	26,6	26,6
Mínima	23,6	22,0	22,5	22,6	21,3	21,5	21,2	21,4	21,5	21,5	22,0	23,3	22,0

FONTE INEMET (1992)

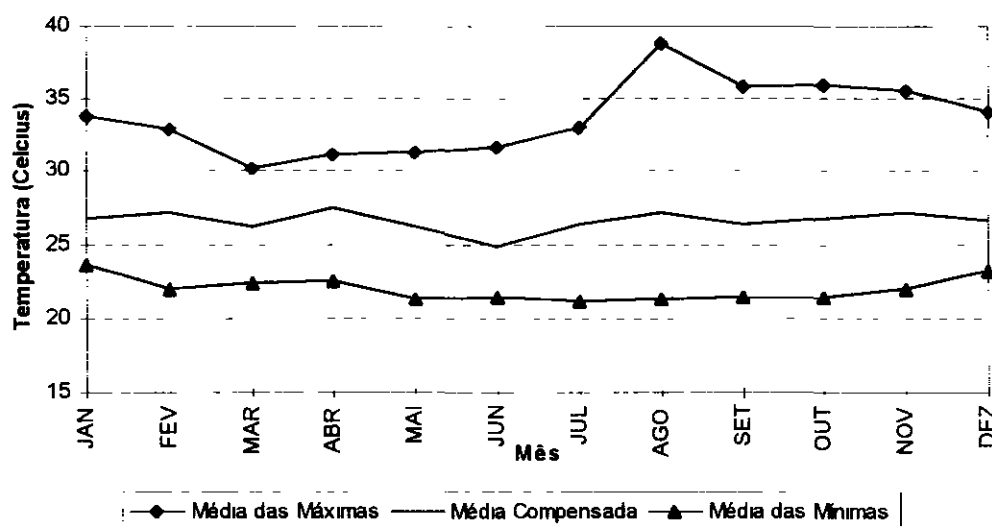


Figura 2 1 - Temperaturas Médias Máximas, Médias Mínimas e Médias Compensadas na estação de Sobral - CE

A temperatura média compensada apresenta uma pequena variação de 2,6 °C, isso para os meses de junho (24,9 °C) e abril (27,5 °C) As médias máximas e

médias mínimas extremas ocorrem. respectivamente, no mês de agosto (38.8 °C) e julho (21,2 °C), conforme se observa no quadro 2 1 e na figura 2 1

2 1 2 Umidade Relativa

A umidade relativa média possui uma variação máxima de 25% ocorrida entre os meses de abril (80%) e novembro (55%), como pode ser verificado no quadro 2 2 e na figura 2 2

Quadro 2 2 - Umidade Relativa Média na estação de Sobral - CE

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
%	69	74	81	85	80	74	66	55	55	58	57	61	68

FONTE INEMET (1992)

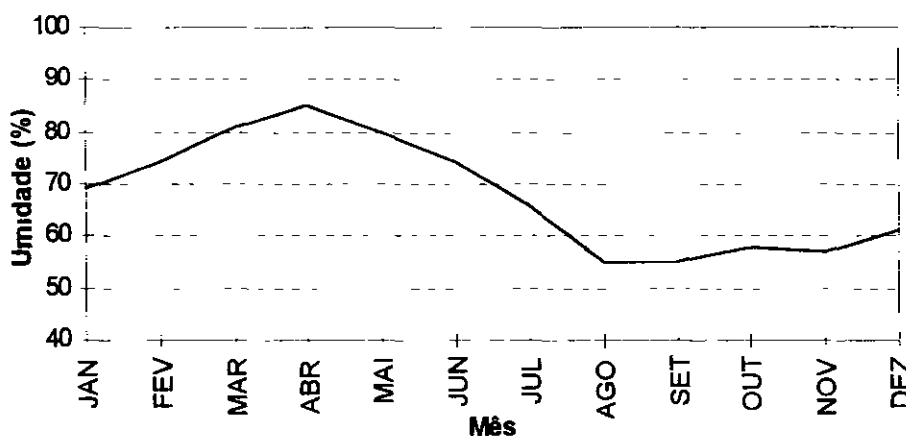


Figura 2 2 - Umidade Relativa Média na estação de Sobral - CE

Os índices de umidade relativa medidos resultam de uma composição de efeitos climatológicos, levando-se em consideração, a pluviometria a qual é o principal componente do fenômeno

2 1 3 Insolação Média

O quadro 2 3 e a figura 2 3 mostram, respectivamente, o número de horas médio de exposição solar na estação de Sobral - CE e sua distribuição mensal. Em termos médios anuais têm-se 2416,6 horas de exposição, podendo-se concluir que cerca de 55,2 % dos dias do ano possuem incidência solar direta (admitindo-se que o dia está composto por 12 horas de luz diurna e 12 horas de luz noturna). Durante os meses de julho, agosto, setembro e outubro ocorrem os maiores valores de horas de insolação, os menores valores ocorrem no trimestre fevereiro/março/abril. O mês de agosto apresenta o maior índice de insolação (268,2 horas) e o mês de fevereiro o menor (143,5 horas).

Quadro 2 3 - Insolação Média na estação de Sobral - CE

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
horas	188,1	143,5	155,0	151,7	189,3	195,5	234,7	268,2	232,2	233,4	221,8	203,2	2416,6

FONTE: INEMET (1992)

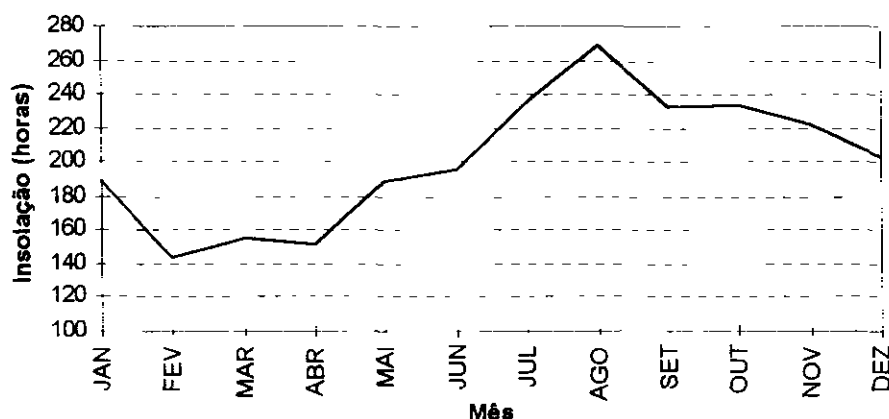


Figura 2 3 - Insolação total média na estação de Sobral - CE

2 1 4 Nebulosidade

Na estação de Sobral - CE apresenta-se uma variação máxima na nebulosidade de 4,0, sendo os meses de maior índice de nebulosidade fevereiro, março e abril (7,0) e os de menores agosto e setembro (3,0) Esta variável é avaliada por um fator adimensional que varia entre 0 e 10 O quadro 2 4 e a figura 2 4 permitem observar a variação temporal desta variável

Quadro 2 4 - Nebulosidade na estação de Sobral - CE

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
0-10	6,0	7,0	7,0	7,0	6,0	6,0	4,0	3,0	3,0	4,0	5,0	5,0	5,3

FONTE INEMET (1992)

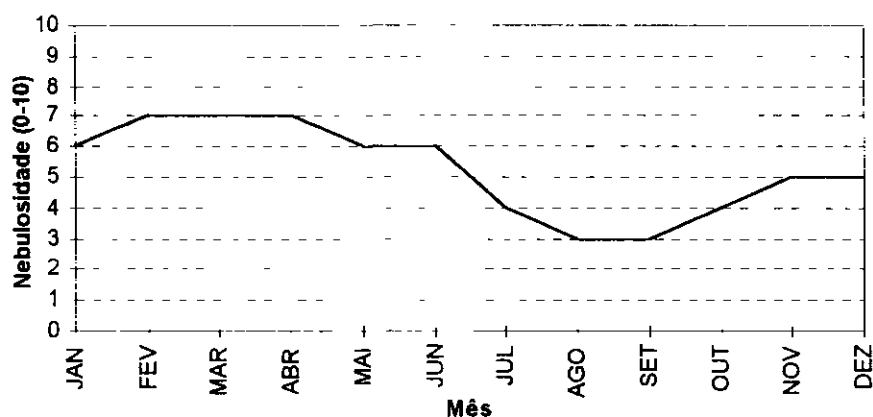


Figura 2 4 - Nebulosidade na estação de Sobral - CE

2.1.5 Precipitação Total

A precipitação média anual observada na bacia do rio Timonha em Itaúna - CE é de 1179,0 mm. As precipitações estão concentradas no primeiro semestre onde ocorre, aproximadamente, 94,14% do total anual, o trimestre mais chuvoso é fevereiro/março/abril/maio com 68,03% do total, o trimestre menos chuvoso é agosto/setembro/outubro onde precipita pouco mais do que 0,9% do total anual. O mês mais chuvoso é março (307,5 mm) e no mês de setembro ocorre o menor índice de precipitação (1,8 mm). A distribuição temporal da precipitação é apresentada no quadro 2.5 e na figura 2.5.

Quadro 2.5 - Precipitação Total na bacia do rio Timonha em Itaúna - CE

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
mm	122,5	212,5	307,5	282,2	145,5	39,8	12,1	4,7	1,8	4,3	9,4	36,8	1179,0

FONTE: PERH (1992)

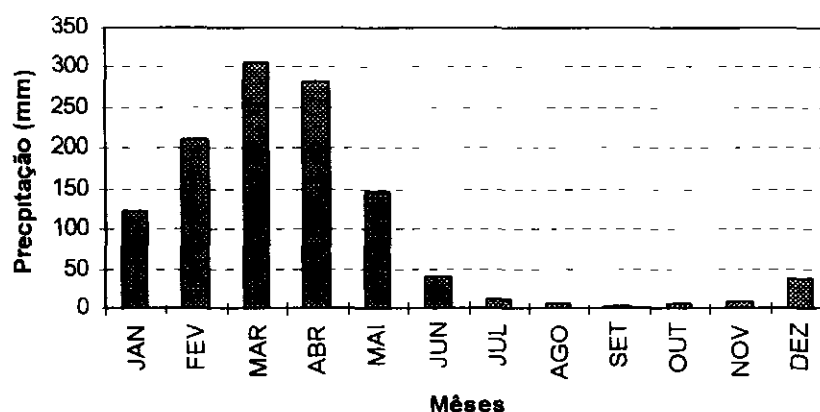


Figura 2.5 - Precipitação mensal sobre a bacia do rio Timonha em Itaúna

2 1 6 Evapotranspiração potencial média

Como estimativa da evapotranspiração média, foi utilizada a equação de Hargreaves² 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 2 6 - Evaporação média mensal para a bacia do Timonha em Itaúna - CE

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
mm	167	141	128	107	115	117	146	185	188	196	193	186	1873

FONTE HARGREAVES (1974)

O trimestre que apresenta os maiores valores de evapotranspiração corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (196 mm). O trimestre março/abril/maio possui o menor índice de evaporação, ocorrendo o mínimo em março com 107 mm. Vale ressaltar, entretanto, que para adoção destes valores como representativos da evaporação em açudes, deve-se multiplicar por um coeficiente de correção que varia entre 0,70 e 0,80.

²HARGREAVES G. H. 1974. POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION REQUIREMENTS FOR NORTH-EAST OF BRAZIL. UTAH STATE UNIVERSITY.

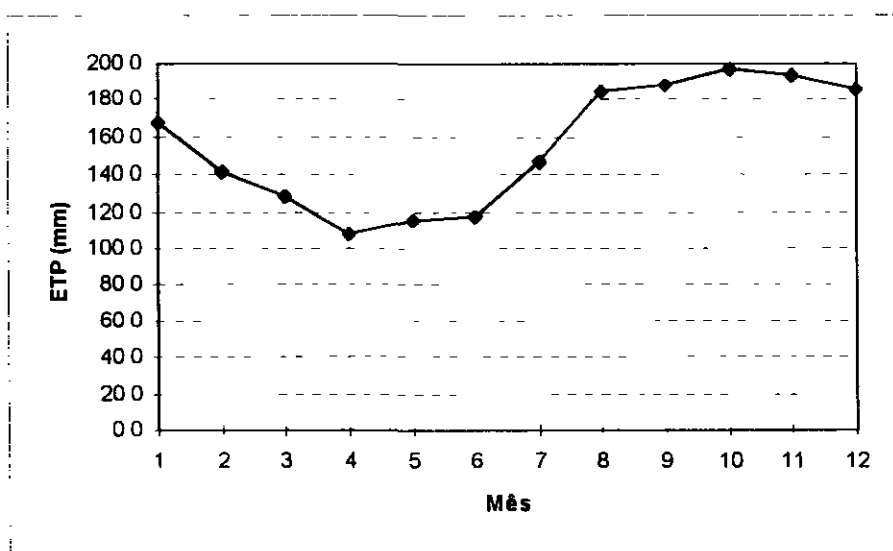


Figura 2.6 - Evapotranspiração potencial total média

2.2 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico climático -BHC- permite estimar as disponibilidades de água no solo para as plantas. O BHC baseia-se na aplicação do princípio da conservação da massa através de um volume de controle com uma capacidade finita de armazenamento. A aplicação do BHC permite conhecer a magnitude dos volumes (ou lâminas) de água transferidos entre cada uma das variáveis que compõe esse balanço.

Essas variáveis são a precipitação pluvial, o déficit hídrico, a evapotranspiração potencial, a variação no armazenamento de água no solo e o excesso hídrico. Este princípio é a base do balanço hídrico, concebido por Thornthwaite & Mather (1955), e tem sido utilizado amplamente quando não se dispõe de muitos dados para realizar 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, obtém-se o quadro 2.8. A figura 2.7 apresenta as variáveis Precipitação, Evaporação e sua diferença.

Quadro 2 8 - Balanço Hídrico segundo Thornthwaite & Mather

Mês	P	ETP	P-ETP	Neg	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	122 45	167 30	-44 85	0 00	0 00	0 00	122 45	44 85	0 0
Fev	212 48	141 00	71 48	33 00	71 48	71 48	141 00	0 00	0 0
Mar	307 47	128 74	178 73	0 00	100 00	28 52	128 74	0 00	150 2
Abr	282 19	107 51	174 67	0 00	100 00	0 00	107 51	0 00	174 6
Mai	145 51	115 15	30 36	0 00	100 00	0 00	115 15	0 00	30 3
Jun	39 82	117 48	-77 66	77 66	45 00	-55 00	94 82	22 66	0 0
Jul	12 06	146 73	-134 68	212 33	11 00	-34 00	46 06	100 68	0 0
Ago	4 71	185 06	-180 35	392 68	2 00	-9 00	13 71	171 35	0 0
Set	1 84	188 52	-186 68	579 36	0 00	-2 00	3 84	184 68	0 0
Out	4 29	196 29	-192 00	771 36	0 00	0 00	4 29	192 00	0 0
Nov	9 40	193 30	-183 90	955 26	0 00	0 00	9 40	183 90	0 0
Dez	36 83	186 13	-149 30	1104 56	0 00	0 00	36 83	149 30	0 0
ANO	1179 05	1873 21	-694 16		429 48	0 00	823 81	1049 40	355 24

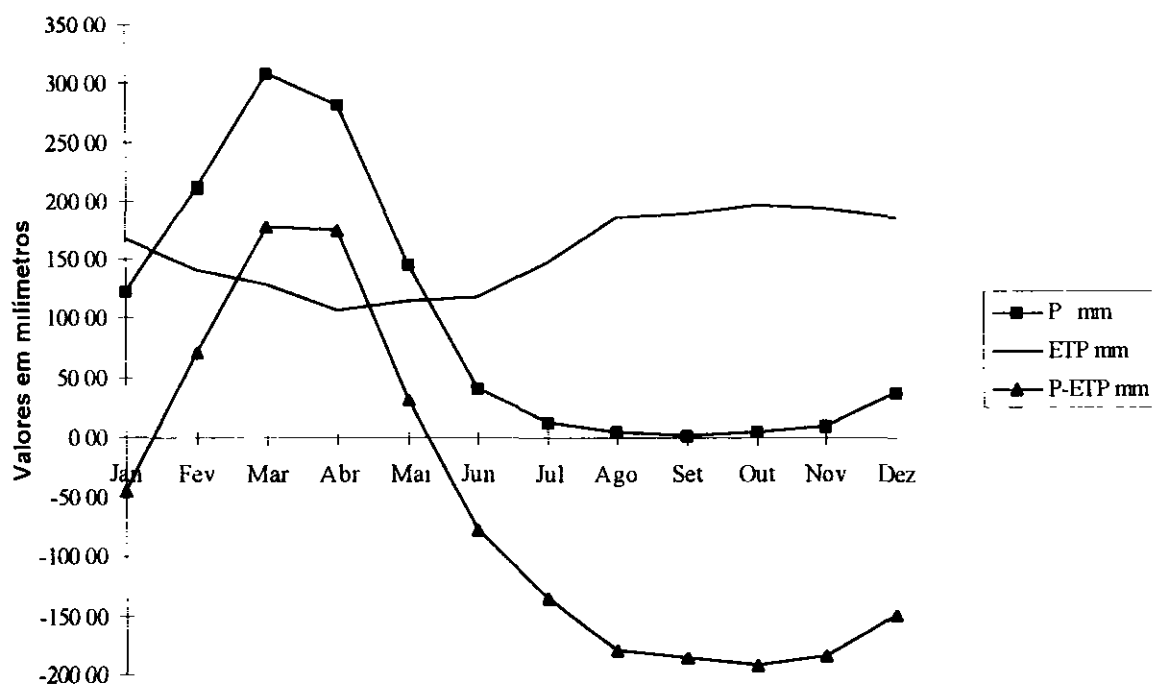


Figura 2 7 - Balanço Hídrico

2.3 CLASIFICACIÓN DO CLIMA

2.3.1 Classificação segundo Thornthwaite

Segundo esta classificação, o elemento determinante do clima é a evapotranspiração, além da característica pluviométrica e térmica. 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 a partir dos dados do Balanço Hídrico.

- 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), sendo igual este índice igual a 19.

- Índice efetivo de umidade:

Este índice reflete o excesso ou déficit de água ao longo do ano, apresentando um valor igual a -15.

Os dados para a área em estudo, mostram um clima seco e sub-úmido tipo C_1 com índice hídrico variando entre -20% e -40%, sub-tipo S, com moderado excesso de água no inverno, tipo A' , megatérmico e sub-tipo a' , baixa variação estacional ($C_1SA'a'$)



2.4 SINOPSE CLIMATOLÓGICA

Pluviometria Total Média Anual (sobre a bacia)	1179,05 mm
Evaporação Total Média Anual	1873,21 mm
Nebulosidade Média Anual	5,25
Insolação Total Média Anual	2416,6 h
Umidade Relativa Média Anual	67,9%
Temperatura Média Anual Média das Máximas	33,7 °C
Temperatura Média Anual Média das Médias	26,6 °C
Temperatura Média Anual Média das Mínimas	22,0 °C
Classificação Climática	C ₁ SA'a'



3. ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

3. ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

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

3.1 DADOS UTILIZADOS

O PERH contemplou a consistência e a homogeneização das séries pluviométricas pelo método do Vetor Regional

Foram utilizados 5 postos neste estudo, todos próximos à área de interesse, (bacia do rio Timonha em Itaúna, com um área de 672,27 km²), pertencentes a dois grupos regionais, Chaval e Granja

O quadro 3.1 mostra os postos pluviométricos utilizados que fazem parte dos grupos regionais de Chaval e Granja, ou seja, aqueles utilizados na formação do Vetor Regional

Quadro 3.1 - Estações Pluviométricas utilizadas no estudo

Ord*	Posto	Código	Código	Coordenadas	Altitude	MÉDIA ANUAL	
		DNAEE	SUDENE	Lat	Long	(m)	(mm)
74	Iboaçú	00340019	2768719	3°23'	40°55'	200,0	1203,9
102	Chaval	00341010	2767053	3°02'	41°15'	14,0	920,8
103	Caraúba	00341012	2767789	3°23'	41°04'	150,0	1078,1
104	Ibuguaçu	00341013	2767748	3°22'	41°16'	80,0	866,4
105	Viçosa do Ceará	00341016	2777185	3°34'	41°05'	685,0	1297,4

(*) Ordem numerica no inventário do DNAEE no estado do Ceará Fonte DNAEE (1983)

3 2 CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO

3 2 1 Nível Anual

As isoietas, linhas de mesma precipitação média, e iso-cv's (coeficientes de variação) estão apresentadas nas figuras 3 1 e 3 2, que mostram a região da bacia do rio Coreaú e onde se acha assinalada a área do estudo. A área de estudo apresenta, segundo análise destas figuras, média pluviométrica entre 1000 e 1200 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,40

Uma análise frequencial foi realizada para os postos listados anteriormente, sendo testadas várias distribuições, e escolhida a Log-Pearson III como a de melhor ajuste, sendo seus parâmetros estimados pelo método dos momentos. O quadro 3 2 resume esta análise de frequência.

Quadro 3 2 - Análise de Frequência dos Totais Anuais Distribuição Log-Pearson III

Código	N	TR (ANOS)				
		10	100	200	500	1000
00341010	28	1511,56	2274,92	2534,32	2908,92	3220,9
00341013	18	1552,47	2801,96	3299,36	4086,69	4807,0
00341012	19	2032,97	3581,02	4130,04	4936,61	5617,9
00340019	40	1969,81	2705,60	2887,42	3107,44	3260,2
00341016	58	1909,15	2671,32	2891,19	3181,04	3401,0

3 2 2 Nível Mensal

A análise da distribuição temporal mostra a concentração do total precipitado no primeiro semestre do ano, correspondendo a cerca de 95% do total anual.

A nível trimestral nota-se mais ainda a gravidade da concentração temporal, onde constata-se que cerca de 68% do total anual precipita-se em apenas três meses do ano, no trimestre Março/Abril/Maio. Neste trimestre o mês de abril corresponde ao mais chuvoso, com cerca de 26% do total anual.



No quadro 3.3 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que no quadro 3.4 apresenta-se um resumo da análise de frequência utilizando a série de totais mensais para os meses do trimestre mais chuvoso nos postos considerados. Os períodos de retorno utilizados variam de 5 a 1000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Log-Pearson III.

Quadro 3.3 - Índices de Concentração Pluviométrica - Série de Valores Médios Mensais

CÓDIGO	MÊS MAIS CHUVOSO			TRIMESTRE MAIS CHUVOSO			SEMESTRE MAIS CHUVOSO		
	MÊS	mm	%	TRI	mm	%	S	mm	%
00341010	MARCO	233,0	25,3	FMA	609,7	66,2	1	874,0	94,9
00341013	ABRIL	252,0	29,1	FMA	603,7	69,7	1	847,5	97,8
00341012	ABRIL	307,2	28,5	MAM	740,4	68,7	1	1033,9	95,9
00340019	ABRIL	315,8	26,2	FMA	820,0	68,1	1	1145,5	95,2
00341016	MARCO	333,5	25,7	FMA	855,4	66,0	1	1190,4	91,9

Quadro 3.4 - Análise de Frequência a Nível Mensal - Mês do Trimestre mais chuvoso - Distribuição Log-Pearson III

Código	N Nº. anos	TR (ANOS)				
		10	100	200	500	1000
00341010	37	352,56	673,22	789,46	961,03	1106,1
	39	449,86	652,60	708,71	780,79	834,0
	40	427,97	784,53	877,27	1000,03	1093,0
00341013	23	243,14	450,32	523,74	630,99	720,8
	23	526,77	1050,64	1223,04	1460,49	1646,4
	24	537,13	1068,18	1255,29	1525,40	1748,2
00341012	22	547,83	976,05	1100,89	1293,88	1435,6
	22	604,83	1207,72	1431,37	1765,53	2051,5
	21	349,37	727,30	858,51	1044,77	1195,1
00340019	45	431,07	736,34	818,94	921,66	994,4
	44	558,34	833,94	903,94	989,18	1048,5
	45	557,35	807,15	868,06	940,75	990,3
00341016	58	455,76	789,74	893,76	1034,63	1143,8
	59	533,23	805,00	885,79	993,53	1076,1
	59	437,15	700,98	789,35	914,98	1017,6

000027

3.2.3 Nível Diário

Os principais tipos de precipitações da região são em decorrência da elevação brusca das massas de ar por efeito térmico ou lenta, neste caso quando a massa de ar encontra obstáculos topográficos

A probabilidade de ocorrência de dias chuvosos no período úmido é considerável. Em regiões de influência orográfica a ocorrência de até vinte dias chuvosos no mês não são incomuns

Na análise hidrológica de prováveis obras hidráulicas, os eventos de alta frequência assumem uma importância maior com relação aos de baixa. Aqui foram utilizadas séries anuais de máximos diários

Diversas distribuições podem ser utilizadas como teóricas para as frequências observadas. Depois de comparar diversas distribuições, foi escolhida a Log-Pearson III, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no quadro 3.5

Quadro 3.5 - Análise de Frequência de Máximos Diários de Chuva
Distribuição Log-Pearson III

Código	N Nº. anos	TR (ANOS)				
		10	100	200	500	1000
00340019	39	105,33	136,27	145,39	157,61	167,0
00341010	31	136,23	196,99	215,85	241,74	262,2
00341012	19	91,17	116,86	124,38	134,46	142,2
00341013	18	123,42	210,16	244,03	297,18	345,4
00341016	60	119,84	184,67	206,62	238,06	263,9

3.3 ESTUDOS DE CHUVAS INTENSAS

Os principais tipos de precipitações que ocorrem na bacia hidrográfica da barragem Itaúna são em decorrência da elevação brusca ou lenta das massas de ar. A elevação brusca é provocada por efeitos térmicos, porém a elevação lenta é consequência do encontro da massa de ar com obstáculos topográficos

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 escolhidos entre os "n" maiores valores disponíveis na série histórica de cada posto.

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 precipitação-duração-frequência.

Na área em estudo não existem registros de pluviógrafos, o aparelho mais comum nas estações pluviométricas é o pluviômetro, que é capaz de registrar a "precipitação 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-frequência para a área de representatividade do aparelho.

Como alternativa ao método tradicional (através de pluviógrafos), têm-se o Método das Relações das Durações e o Método das Isozonas. O estudo realizado considerou as duas metodologias acima citadas.

3.3.1 Método das Isozonas (TORRICO, 1975)³

Seguiu-se a metodologia descrita por TORRICO, 1975 que consiste nos seguintes passos:

- Compilação dos dados das máximas chuvas diárias, para cada ano, dos postos pluviométricos da região do projeto,

³TORRICO, J.T., 1975. PRÁTICAS HIDROLOGICAS. 2ª Ed., TRANSCOM, RIO DE JANEIRO.

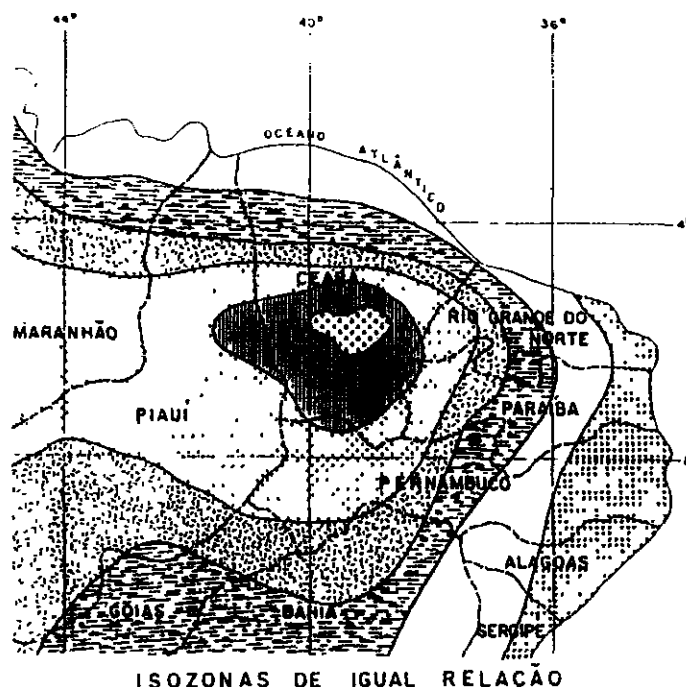


- Cálculo, para cada posto, a chuva de um dia, no tempo de recorrência previsto,
- Determina-se, no mapa do projeto, com o método de Thiessen, a média ponderada das máximas chuvas diárias para o tempo de recorrência previsto

A partir da chuva de 1 dia esta é convertida em chuva de 24 horas e, depois, em durações menores

A desagregação da chuva de 24 horas em chuvas de intervalos de tempo de menor duração consiste nas seguintes etapas de cálculo

- 1 multiplicar a chuva de um dia de duração por 1,10 para obter-se a chuva de 24 horas,
- 2 determinar a isozona onde está localizado o centro de gravidade da bacia hidrográfica - a barragem de Itaúna está localizada dentro da isozona C (figura 3.1),
- 3 estimar para os diferentes períodos de retorno, a chuva de 1 hora de duração a partir da chuva de 24 horas, através da multiplicação pelo fator R_{1h} ,
- 4 plotar os valores P_{24h} e P_{1h} em papel probabilístico para obter as chuvas de durações intermediárias



TEMPO DE RECORRÊNCIA EM ANOS

ISOZONA	1 HORA / 24 HORAS CHUVA										5 Min / 24h CHUVA	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10000	5	10
B	38,1	37,8	37,4	37,4	37,3	37,2	36,8	36,6	35,4	34,3	8,4	7,8
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,0	39,4	37,2	36,2	9,6	9,0
D	42,0	41,8	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,8	11,2	10,0
E	44,0	43,8	43,3	43,2	42,9	42,8	42,6	42,2	40,9	39,6	12,8	11,8
F	46,0	45,8	45,3	45,1	44,9	44,8	44,5	44,1	42,7	41,3	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	15,2
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,8	48,5	48,3	47,0	46,3	44,8	16,7	14,9

Figura 3 3 - Método das Isozonas de Taborga

Aplicou-se a metodologia acima descrita para os postos pluviométricos de Iboçu, Chaval e Viçosa do Ceará, os quais, além de serem considerados representativos da área de interesse, possuíam séries mais extensas para o estudo de frequências. Estes resultados são apresentados nos quadros 3 6 a 3 10. A figura 3 4 mostra o divisor de água da bacia com os polígonos de Thiessen. Já na figura 3 5 estão graficados os valores das precipitações para diferentes tempos de retorno.

000031

Quadro 3 6 - Serie de máximas anuais do posto Iboaçú (00340019)

Ano	Pmax (mm)	Ano	Pmax (mm)	Ano	Pmax (mm)
1934	51 8	1951	73 0	1971	75
1935	66 9	1952	104 5	1972	54
1936	77 4	1953	108 0	1973	64
1937	84 5	1954	102 0	1974	104
1938	61 5	1955	131 5	1975	85
1939	88 4	1956	73 0	1976	111
1940	84 0	1958	45 0	1977	77
1941	84 7	1959	74 5	1978	100
1942	85 1	1962	99 1	1979	82
1943	100 4	1963	80 7	1980	86
1944	79 0	1964	73 4	1981	97
1945	69 2	1965	63 0	1982	114
1946	72 0	1966	64 6		
1947	74 4	1967	62 6		
1948	86 0	1968	102 4		
1949	60 2	1969	62 7		
1950	99 0	1970	53 6		

000032

Quadro 3 7 - Série de máximas anuais do posto Chaval (00341010)

Ano	Pmax (mm)	Ano	Pmax (mm)
1921	78 3	1968	97
1922	59 0	1969	87
1923	45 0	1970	53
1924	118 0	1971	87
1926	127 0	1972	114
1927	147 0	1973	74
1928	105 0	1974	144
1929	121 7	1975	69
1930	86 2	1976	95
1950	39 2	1977	121
1952	68 0	1978	121
1962	52 5	1979	115
1963	121 5	1980	60
1964	108 8	1981	96
1965	76 2		
1966	90 8		
1967	62 1		

Quadro 3 8 - Série de máximas anuais do posto Viçosa do Ceará (00341016)

Ano	Pmax (mm)	Ano	Pmax (mm)	Ano	Pmax (mm)	Ano	Pmax (mm)
1912	52 0	1930	67 8	1949	60 7	1967	96
1913	65 0	1931	66 4	1950	134 0	1968	165
1914	67 5	1932	122 0	1951	78 3	1969	68
1915	82 0	1933	127 0	1952	67 8	1970	49
1916	67 4	1934	91 5	1953	119 0	1971	40
1917	69 3	1935	114 0	1954	64 6	1972	69
1918	60 8	1936	135 0	1955	56 8		
1919	63 4	1937	58 3	1956	46 5		
1920	102 0	1938	65 4	1957	64 8		
1921	116 0	1939	45 8	1958	31 2		
1922	68 4	1940	54 7	1959	71 4		
1923	66 2	1941	62 7	1960	71 2		
1924	81 6	1942	104 0	1961	154 0		
1925	64 2	1943	65 8	1962	74 2		
1926	78 5	1944	105 0	1963	92 3		
1927	111 0	1946	85 6	1964	84 6		
1928	134 0	1947	69 1	1965	63 4		
1929	75 5	1948	43 8	1966	112 0		

Quadro 3 9 - Coeficientes de Thiessen para o estudo de chuvas intensas

Ordem	Código	Coeficiente de Thiessen	Área km ²
74	00340019	0 50121	382,06
102	00341010	0 16886	128,72
105	00341016	0 32993	251,49

000034

Quadro 3 10 - Bacia do Timonha em Itauna - Chuvas intensas - Distribuição Log-earson III

Período	PRECIPITAÇÃO (mm)		
	Tr (anos)		
	100	1000	10000
diário	164 2	217 2	261 4
24 h	180 6	239 0	287 5
1 h	69 4	88 9	104 1
6 min	14 8	15.0	18 0

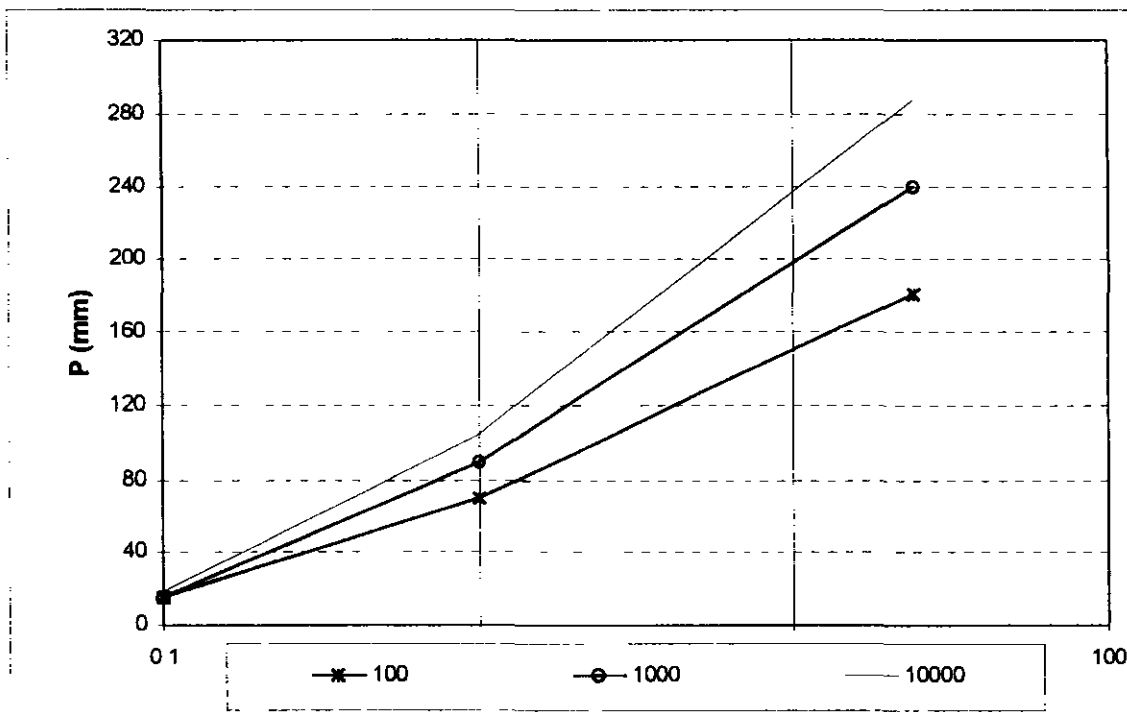


Figura 3 4 - Curvas precipitação-duração-freqüência - Método das Isozonas

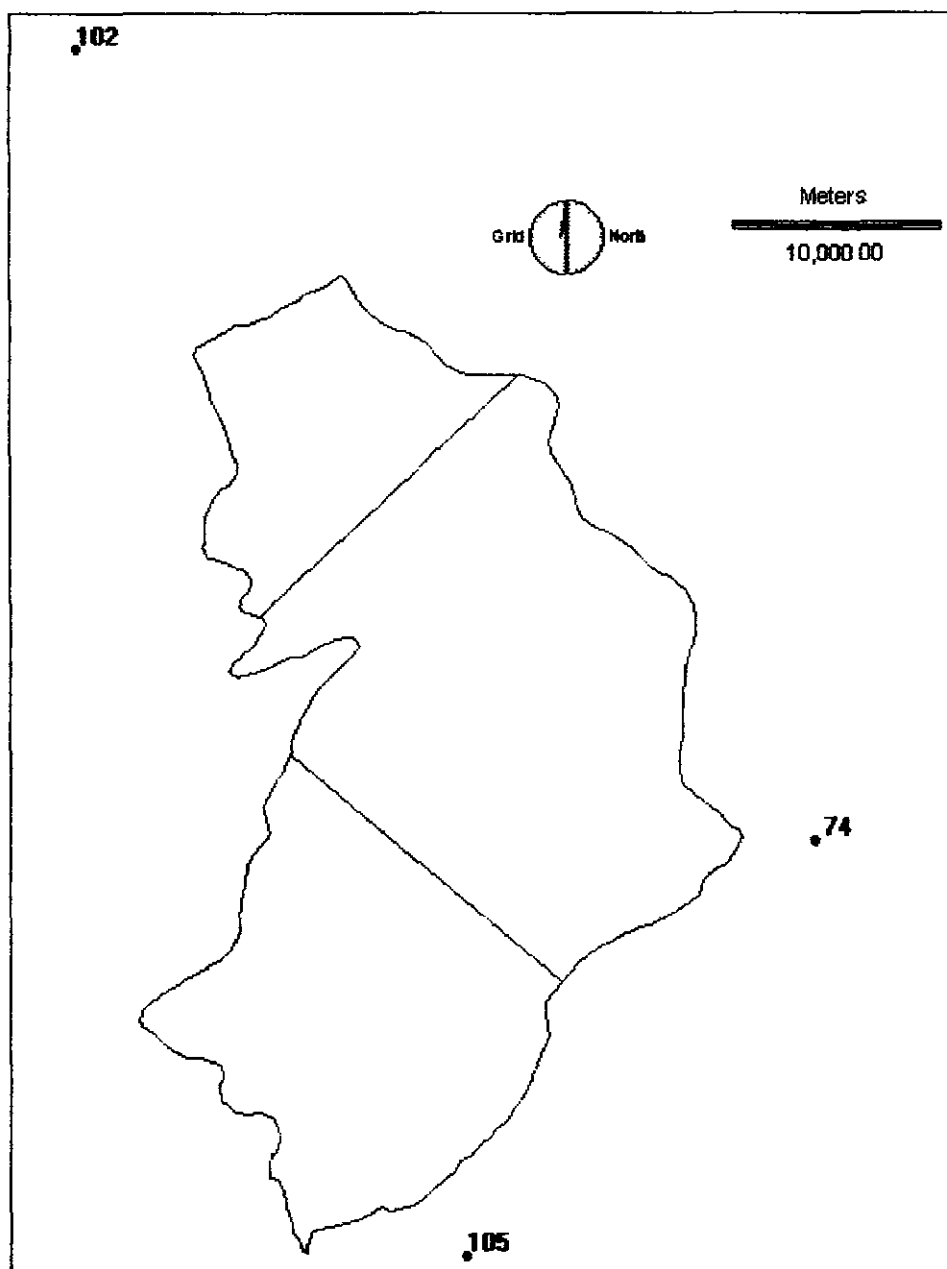


Figura 3.7 - Bacia do Timonha em Itaúna com os polígonos de Thiessen para o estudo de chuvas intensas

000036



4. ESTUDO DE DEFLÚVIOS

000037

4. ESTUDO DE DEFLÚVIOS

O presente capítulo é obter uma avaliação qualitativa e quantitativa da disponibilidade natural de água decorrente do escoamento superficial sobre a bacia do Rio Timonha até a seção da barragem de Itauna

A estimativa das vazões afluentes mensais ao açude Itauna foi realizada objetivando fornecer elementos para a caracterização do regime fluviométrico e para a simulação de sua operação, visando o dimensionamento do reservatório

O modelo escolhido foi o MODHAC⁴, cujos resultados no PERH-CE demonstraram uma boa adequação às bacias hidrográficas estaduais

Próximo à região de estudo existe a estação fluviométrica de Granja, localizada no Rio Coreaú. Procedeu-se uma nova calibração para o posto de Granja a fim de utilizar os parâmetros obtidos na simulação do escoamento afluente à seção de Itauna

4.1 METODOLOGIA

O estudo das vazões medidas em estações fluviométricas é indispensável para o conhecimento do regime hidrológico de uma bacia hidrográfica. Mantidas ao longo de décadas por órgãos ligados ao setor de recursos hídricos, as estações fluviométricas têm uma densidade muito inferior à dos pluviômetros

Especificamente para este estudo, existe um posto fluviométrico em uma bacia hidrográfica vizinha com características hidroclimatológicas semelhantes. Assim, foi possível a utilização de um modelo chuva-vazão do tipo concentrado com o

⁴ MODHAC - Modelo Hidrológico Auto Calibrável - A. E. L. Lanna & M. Schwarzbach - 1989
Publicação de Recursos Hídricos 21 - Instituto de Pesquisas Hidráulicas I P H - U F R G S

intuito de se obter uma série de vazões sintéticas a partir da série de precipitações médias sobre a referida bacia. Foi utilizado o modelo chuva-vazão MODHAC, baseado na simulação de três reservatórios que representam os níveis de armazenamento de água superficial, subsuperficial e subterrâneo. O balanço hídrico é executado a nível diário (intervalo de computação) e os resultados e as vazões geradas são apresentadas mês a mês (intervalo de simulação)

Estes reservatórios, dispostos em série, possuem parâmetros que têm que ser ajustados a partir do confronto de dados observados de vazão mensais concomitantes com dados de precipitação diária. Os três reservatórios que compõem o MODHAC, esquematicamente representado na Figura 4.1, são descritos a seguir:

1 RESERVATÓRIO SUPERFICIAL permite simular os processos de interceptação da água pela vegetação, o armazenamento nas depressões impermeáveis e semi-permeáveis do solo. Seus parâmetros são:

RSPX: capacidade máxima do reservatório superficial, e

ASP: expoente utilizado para determinar a lei de esvaziamento deste reservatório, proporcional à permeabilidade do reservatório.

2 RESERVATÓRIO SUB-SUPERFICIAL: permite representar a água armazenada dentro do solo, desde a superfície do terreno até a profundidade radicular das plantas. A recarga deste reservatório é a infiltração e as descargas são o escoamento hipodérmico, evaporação do solo e a evapotranspiração das plantas. São seus parâmetros:

RSSX: capacidade máxima do reservatório sub-superficial, e

ASS: expoente utilizado para determinar a lei de esvaziamento deste reservatório, proporcional a permeabilidade das camadas mais superficiais do solo.

3 RESERVATÓRIO SUBTERRÂNEO: representa o armazenamento da água nas camadas mais profundas do solo onde não existe nem evapotranspiração das plantas, nem evaporação do solo. A recarga deste reservatório é a percolação profunda do reservatório sub-superficial e a descarga é o escoamento de base. Seus parâmetros são

RSSB: capacidade máxima do reservatório subterrâneo, e

ASB: expoente utilizado para determinar a lei de esvaziamento deste reservatório, proporcional à transmissividade das camadas mais profundas do solo

Alem destes coeficientes próprios de cada reservatório fictício, existem outros que permitem representar as características do solo e da evaporação. São eles

IMIN: infiltração mínima observada,

IMAX: representa a capacidade de percolação de todo o horizonte do solo,

IDEC: parâmetro que permite representar uma gama de valores compreendida entre o ponto onde não existe infiltração e o ponto que representa toda a água infiltrada, e

CEVA: parâmetro da lei de evapotranspiração do solo

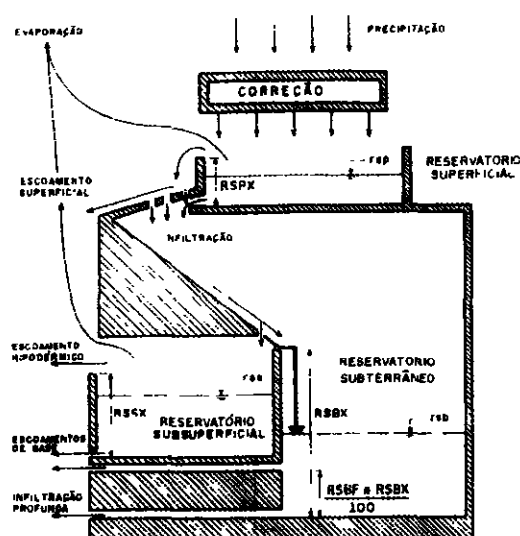


Figura 4.1 - Representação esquemática do MODHAC

00010

4.2 DADOS UTILIZADOS

Os dados necessários para a calibração do MODHAC são pluviometria diária, séries fluviométricas mensais/diárias e evapotranspiração potencial

Em resumo, procedeu-se da seguinte maneira para a utilização dos dados disponíveis

- calibração do MODHAC para a bacia que contribui para a estação Granja,
- verificação e análise dos parâmetros obtidos,
- com os parâmetros obtidos, fez-se a geração de séries de vazões na bacia do açude Itauna em um período correspondente a duração da série de precipitação média sobre a mesma

A hipótese aqui é considerar que os parâmetros utilizados, obtidos na calibração, são representativos para simular os processos de transformação chuva-vazão que ocorrem na bacias do Rio Timonha

4.2.1 Pluviometria

As estações utilizadas neste estudo com suas respectivas localizações encontram-se no Quadro 4.1, sendo a série de precipitação média sobre a bacia de contribuição do reservatório Itauna apresentada no Quadro 4.2. Esta série de precipitação média foi calculada utilizando-se o método de Thiessen, sendo estabelecidos os diversos polígonos de Thiessen de acordo com a disponibilidade de dados das estações. A Figura 4.2 mostra a bacia de contribuição e os polígonos de Thiessen para os anos de 1962 e 1963, para os quais existe o maior número de estações com disponibilidade de dados

Quadro 4 1 - Localização das estações pluviométricas utilizadas neste estudo

ORDEM	CÓDIGO	LATITUDE	LONGITUDE
74	00340019	3°23'	40°55'
102	00341010	3°03'	41°15'
103	00341012	3°23'	41°04'
104	00341013	3°22'	41°16'
105	00341016	3°34'	41°05'

Quadro 4 2 - Pluviometria média mensal (mm) na bacia de contribuição do Reservatório Itauna

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOT ANUA
1912	69 4	327 2	320 9	268 5	234 1	37 0	4 0	15 0	0 0	0 0	0 0	21 0	1297
1913	114 2	301 5	386 4	303 9	315 9	76 6	9 7	0 0	13 2	8 7	4 0	113 1	1649
1914	171 8	191 7	161 3	261 8	68 0	73 2	15 5	29 5	0 0	0 0	0 2	0 0	973
1915	55 9	36 3	89 7	244 3	43 3	8 8	0 0	0 3	0 0	0 0	0 0	54 1	532
1916	217 3	249 8	465 5	393 7	112 3	143 3	0 0	0 0	0 0	0 0	27 5	82 7	1692
1917	470 7	357 6	475 6	281 3	422 4	105 2	18 0	2 3	0 0	23 3	112 3	153 5	2422
1918	219 7	168 1	414 8	185 8	258 9	108 5	30 6	32 0	2 0	0 0	0 0	13 7	1434
1919	62 1	102 7	123 8	108 2	57 4	20 2	5 9	2 0	0 0	0 0	0 0	66 7	549
1920	24 7	115 2	904 8	251 6	126 6	83 3	14 3	130 5	0 0	0 0	0 0	145 3	1796
1921	181 5	342 0	367 2	304 0	416 2	18 2	136 7	9 1	35 2	23 4	54 8	72 2	1960
1922	139 4	119 4	303 2	489 6	182 2	64 1	50 5	9 6	0 6	3 0	9 1	43 6	1414
1923	117 0	433 5	221 6	343 5	73 9	75 4	13 6	2 9	3 1	1 5	0 4	0 6	1287
1924	273 7	254 4	597 0	551 3	442 0	72 2	0 6	3 4	0 3	16 8	29 0	86 3	2327
1925	257 7	272 8	352 5	384 8	158 4	58 0	46 1	1 8	6 1	16 7	5 6	18 2	1578
1926	140 4	501 4	581 4	433 2	126 7	30 3	8 8	0 0	1 8	4 8	0 0	21 3	1850
1927	119 1	228 2	373 7	356 7	82 7	86 2	15 6	0 0	0 0	0 0	0 0	0 6	1262
1928	166 1	82 9	366 3	330 0	104 5	53 4	14 6	0 0	0 0	0 0	0 0	13 1	1130
1929	245 9	332 7	400 0	262 1	106 9	62 7	3 3	2 8	2 6	3 4	3 2	131 2	1556
1930	222 3	361 9	261 4	213 1	72 4	60 7	11 7	0 0	0 0	1 6	0 0	32 1	1237
1931	105 8	421 5	383 8	181 0	81 0	13 2	14 4	8 0	4 3	0 0	0 0	1 9	1214
1932	180 9	198 0	304 6	153 0	39 8	89 0	10 7	0 0	16 4	0 0	0 0	0 0	992
1933	228 8	387 2	375 1	448 0	58 6	59 7	0 0	0 0	0 0	18 2	2 4	53 1	1631
1934	2 0	242 3	297 7	239 9	226 1	9 9	0 0	0 0	0 8	0 0	15 7	40 8	1075
1935	92 7	256 4	269 8	352 2	218 2	44 7	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	6 9	1240
1936	52 5	224 6	52 1	92 4	72 4	16 3	0 4	0 0	0 4	0 0	0 9	0 0	512
1937	22 4	197 2	180 4	207 3	124 3	69 2	6 1	0 2	0 8	14 9	0 2	8 4	831
1938	119 4	81 4	374 4	333 2	95 9	17 6	1 0	2 3	0 6	0 0	2 0	7 7	1035
1939	29 1	223 5	321 7	152 4	161 9	8 5	7 2	0 0	2 3	46 7	1 1	1 1	955
1940	52 3	118 5	151 9	238 5	79 2	78 0	3 6	1 8	0 5	1 5	0 0	5 7	731
1941	7 2	100 4	175 4	138 2	40 6	13 0	2 3	0 0	0 0	0 4	1 3	3 6	482
1942	3 7	74 8	81 4	83 4	19 7	1 7	0 0	0 0	0 3	0 9	0 8	13 6	280
1943	40 7	49 7	119 1	105 4	60 8	33 8	5 9	0 0	0 6	0 0	1 6	23 0	440
1944	43 1	44 8	372 0	350 3	134 8	0 0	2 0	0 0	0 0	0 0	0 0	71 9	1018



1945	187 3	468 4	266 9	323 4	184 6	29 8	7 6	0 0	0 0	0 0	0 0	24 1	1492
1946	210 0	198 8	122 9	224 0	95 9	35 3	1 4	0 0	0 0	23 6	5 4	89 5	1006
1947	64 6	255 7	477 5	325 5	306 7	13 7	11 8	0 5	15 7	3 6	89 7	94 4	1659
1948	147 0	120 4	310 7	138 7	122 9	17 6	4 7	0 0	0 0	1 1	16 8	31 1	911
1949	83 8	148 0	290 4	319 0	160 7	39 4	11 2	18 5	0 0	2 7	74 3	16 1	1164
1950	138 0	170 2	293 3	438 1	93 2	12 3	6 9	0 9	0 0	4 0	21 0	18 9	1196
1951	19 6	33 3	139 9	246 5	123 3	19 3	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	137 5	719
1952	50 2	151 8	243 6	218 6	131 5	14 6	0 0	0 0	0 0	0 0	5 1	39 8	855
1953	36 8	199 0	255 2	223 4	59 3	3 2	0 0	0 0	0 0	3 7	0 0	7 2	787
1954	23 0	289 1	287 1	136 1	163 7	12 8	5 6	0 0	3 8	0 0	53 4	6 5	981
1955	214 7	216 2	244 1	500 5	109 2	5 0	0 0	0 0	0 0	3 0	0 0	16 0	1308
1956	17 1	255 3	351 0	247 9	75 3	29 0	6 8	0 0	0 0	0 0	0 9	16 9	1000
1957	239 4	95 1	263 3	436 1	95 1	31 9	13 4	0 0	0 0	0 0	11 2	16 0	1201
1958	39 7	54 7	53 3	49 9	81 1	1 7	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	22 6	303
1959	99 4	272 1	492 6	150 4	148 6	42 8	14 7	33 0	0 0	0 0	10 3	0 0	1263
1960	48 0	49 7	612 4	189 3	120 7	75 6	0 0	0 0	0 0	25 6	0 0	112 8	1234
1961	306 4	731 7	322 6	287 1	124 7	28 0	2 2	0 0	0 0	0 0	0 0	40 0	1842
1962	0 0	83 5	129 9	84 2	42 6	9 3	4 4	0 0	0 6	0 0	6 4	16 9	377
1963	254 5	367 4	444 6	367 7	110 9	3 5	7 0	0 0	0 0	0 0	5 3	41 2	1602
1964	308 3	428 4	349 4	619 4	292 9	52 7	22 7	13 6	0 5	1 7	0 0	0 8	2090
1965	76 9	80 8	397 9	747 6	142 8	80 9	19 2	0 4	4 5	12 5	0 0	1 2	1564
1966	18 5	103 6	84 0	152 8	65 8	36 8	14 6	0 0	4 9	0 0	3 1	22 2	506
1967	154 8	233 3	409 1	354 4	304 6	11 9	18 5	0 0	1 0	0 0	0 0	29 0	1516
1968	71 3	108 7	282 4	303 7	292 1	0 9	1 8	0 0	0 0	0 0	1 0	27 6	1089
1969	101 5	103 8	298 0	287 9	85 9	56 5	31 5	0 5	0 0	0 0	0 0	0 5	966
1970	47 6	62 4	179 0	224 9	14 2	25 5	9 8	0 3	0 9	0 3	48 1	4 4	617
1971	206 3	106 2	350 5	276 6	217 9	61 7	12 0	0 1	0 2	1 7	0 0	14 6	1247
1972	18 1	64 6	62 6	250 9	123 7	53 1	18 7	8 1	0 0	0 0	0 0	112 1	711
1973	188 8	191 4	440 3	428 1	165 0	91 5	74 4	0 2	0 4	1 5	0 0	12 0	1593
1974	202 7	243 0	417 4	685 8	320 8	75 8	2 4	0 0	0 0	28 6	4 0	88 1	2068
1975	78 3	153 8	223 4	184 0	198 1	41 4	14 6	0 0	3 3	0 9	9 8	71 2	978
1976	83 1	399 9	296 5	268 0	73 3	6 7	0 0	0 0	0 0	0 0	20 1	48 2	1195
1977	121 9	244 3	151 5	339 5	129 6	31 5	3 4	0 0	0 0	0 0	0 0	19 7	1041
1978	252 0	142 2	219 2	322 9	222 1	8 1	49 6	0 0	0 0	0 0	0 0	9 2	1225
1979	42 7	108 2	329 6	177 6	106 0	5 3	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	769
1980	49 6	444 8	360 2	126 0	66 1	24 1	0 0	0 0	0 8	0 0	0 2	6 5	1078
1981	120 2	94 2	444 2	53 9	196 9	4 4	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	56 4	970
MÉDIA	122 6	212 6	307 5	282 2	146 6	39 8	12 1	4 7	1 8	4 3	9 4	36 8	1179

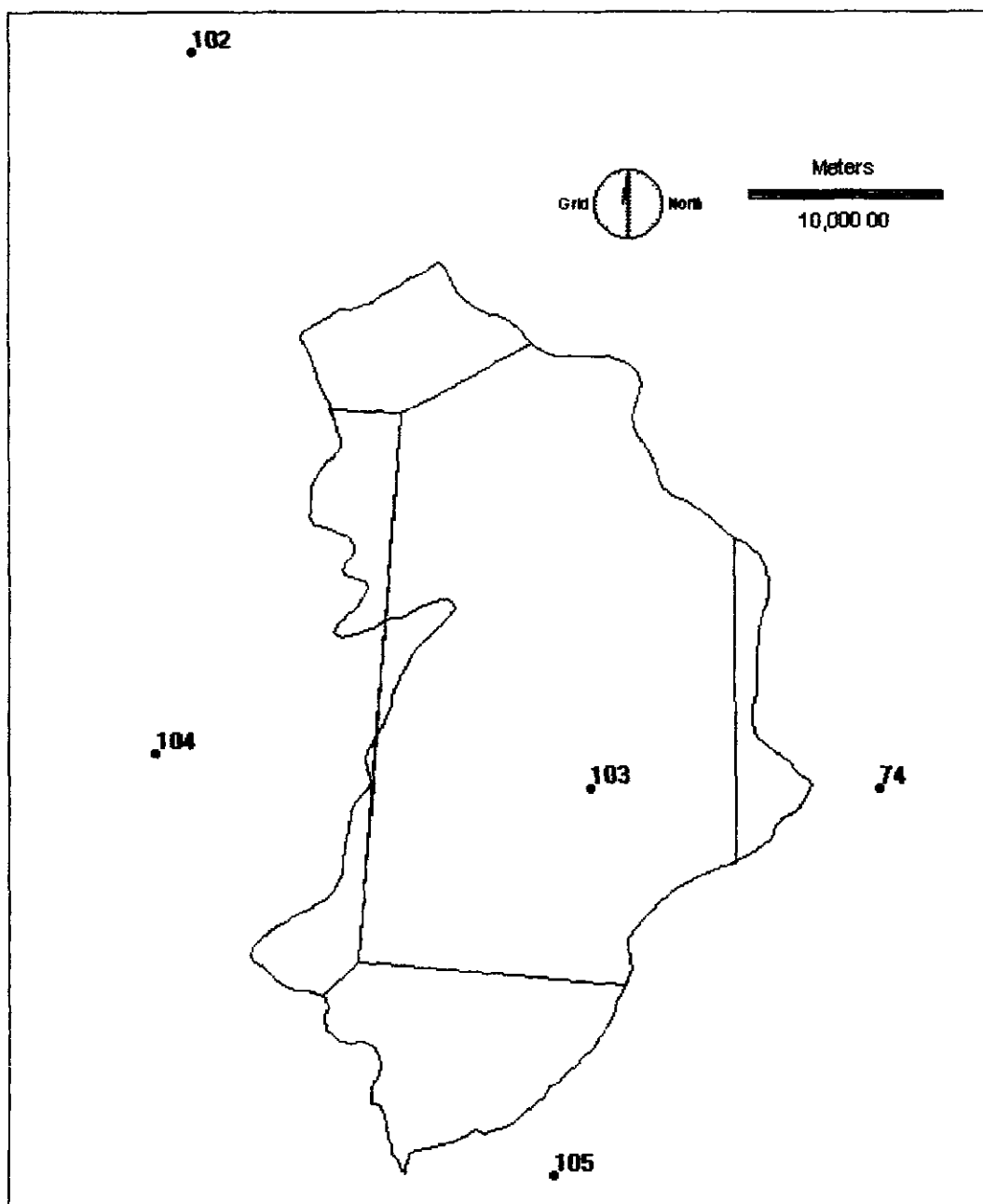


Figura 4 2 - Bacia do Itauna com polígonos de Thiessen para o anos de 1962 e 1963 (Anos com o maior número de estações com disponibilidade de dados)

A hietograma médio para a bacia de contribuição do açude Itauna encontra-se na Figura 4 3

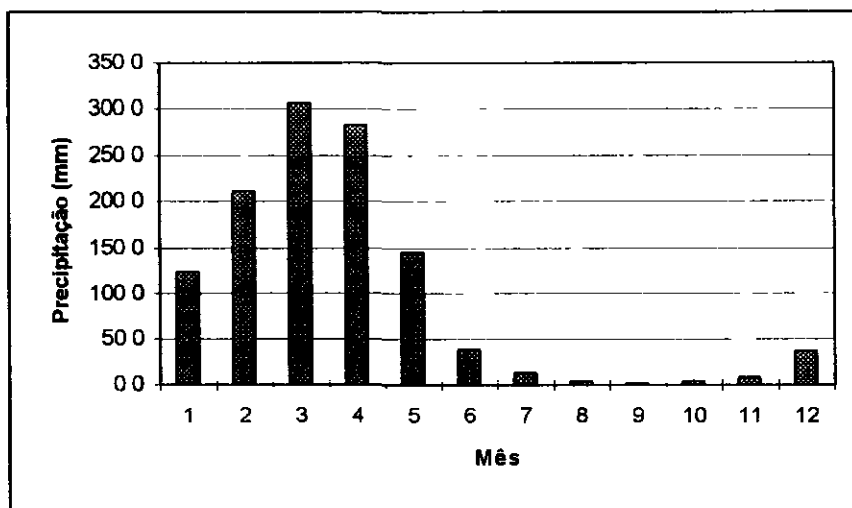


Figura 4 3 - Hietograma Médio para a bacia de contribuição do açude Itauna

4 2 2 Evapotranspiração

A série de evapotranspirações mensais, apresentada no Quadro 4 3, foi obtida a partir do método de Hargreaves, utilizando-se para tanto os dados da estação climatológica de Sobral (código 82392 do INEMET), considerada como representativa da região em estudo

Quadro 4 3 - Evapotranspiração Potencial segundo Hargreaves

Código	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DE
82392	167 3	141 0	128 7	107 5	115 2	117 5	146 7	185 1	188 5	196 3	193 3	186

4 2 3 Fluviometria

A série fluviométrica a nível mensal para a estação Granja está apresentada abaixo no Quadro 4 4 As características da série observada são

- Coeficiente de Escoamento 18,8%
- Lâmina Escoadada Média 224,1 mm
- Coeficiente de Variação 1,12

Quadro 4.4 - Fluvimetria mensal observada (m³/s) da estação Granja

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DE
1969	1 41	1 51	4 24	81 80	35 34	4 38	4 24	1 41	0 00	0 00	0 00	0 0
1970	0 00	0 00	0 10	9 03	1 89	0 29	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 0
1971	0 00	1 51	28 27	140 22	63 61	13 15	1 41	1 41	0 00	0 00	0 00	0 0
1972	0 00	0 00	2 83	20 45	25 44	1 46	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 0
1973	5 65	15 11	79 16	186 96	76 33	21 91	9 89	5 65	1 46	0 00	0 00	0 0
1974	22 62	66 48	117 32	-	163 97	103 71	19 79	5 65	1 46	1 41	1 46	1 4
1975	1 41	33 24	124 39	84 72	132 87	24 83	14 14	4 24	1 46	1 41	0 00	1 4
1976	1 41	34 75	79 16	103 71	16 96	5 84	2 83	1 41	0 00	0 00	0 00	0 0
1977	2 83	25 69	36 75	75 95	65 02	14 61	5 65	2 83	0 00	0 00	0 00	0 0
1978	7 07	10 58	11 31	37 98	28 27	5 84	2 83	1 41	0 00	0 00	0 00	0 0
1979	0 00	6 04	11 31	5 84	9 89	1 46	0 00	0 00	0 00	0 00	2 92	15 5
1980	9 89	28 71	74 92	4 38	2 83	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 0
1981	0 00	0 00	49 47	33 59	5 65	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 0
1982	0 00	3 12	40 60	53 70	8 13	0 94	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 0
1983	0 00	0 18	0 00	2 18	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 0
1984	0 00	0 94	51 80	175 00	137 00	13 20	2 81	0 98	0 22	0 00	0 00	0 0
1985	15 40	196 00	307 00	505 00	270 00	53 20	24 50	8 55	4 52	2 39	1 18	5 7
1986	13 70	88 50	333 00	447 00	188 00	55 30	20 40	8 82	4 87	2 74	1 79	1 1
1987	2 47	5 34	152 00	49 60	17 70	6 48	2 95	1 42	0 54	0 12	0 00	0 0
1988	5 81	13 10	90 20	261 00	206 00	30 10	12 80	4 68	1 89	0 97	0 59	1 5
Media	4 48	26 54	79 69	119 90	72 75	17 83	6 21	2 42	0 82	0 45	0 40	1 3

4.3 AJUSTE DO MODELO

Na tentativa de garantir que o mínimo obtido pelo método de Rosebrook seja um mínimo global, o processo de calibração foi repetido várias vezes com diferentes condições iniciais para estes parâmetros, sendo empregada a função objetivo do tipo mínimos quadrados

Obteve-se, para a estação Granja, na fase de calibração, uma lâmina média escoada de 231,0 mm, coeficiente de deflúvio de 19,3% e um coeficiente de variação de 1,13 para o período compreendido entre 1969 e 1988

O Quadro 4 5 mostra os parâmetros obtidos na calibração automática pelo método de Rosembrook

Quadro 4 5 - Parâmetros Utilizados pelo Modelo MODHAC - calibração

RSPX mm	RSSX mm	RSBX	RSBF	IMAX mm/ dia	IMIN mm/ dia	IDEC	ASP	ASS	ASB	PRED	CEVA
Função Objetivo Coef Defluvio = 19,3% Lâmina Média Escuada = 231,0 mm											
207 9	279 8	0 0	0 0	18 74	4 781	0 8283	0 001	0 0022	0 0	999 0	0 9971

Os Quadros 4 6 e 4 7 apresentam respectivamente as vazões observadas e calculadas pelo MODHAC no processo de calibração para o posto Granja

Quadro 4 6 - Vazões Observadas (mm) no posto Granja

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1969	1 00	1 00	3 00	56 00	25 00	3 00	3 00	1 00	0 00	0 00	0 00	0 00	93
1970	0 00	0 00	0 07	6 18	1 34	0 20	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	7
1971	0 00	1 00	20 00	96 00	45 00	9 00	1 00	1 00	0 00	0 00	0 00	0 00	173
1972	0 00	0 00	2 00	14 00	18 00	1 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	35
1973	4 00	10 00	58 00	128 00	54 00	15 00	7 00	4 00	1 00	0 00	0 00	0 00	279
1974	16 00	44 00	83 00	-	116 00	71 00	14 00	4 00	1 00	1 00	1 00	1 00	352
1975	1 00	22 00	88 00	58 00	94 00	17 00	10 00	3 00	1 00	1 00	0 00	1 00	296
1976	1 00	23 00	56 00	71 00	12 00	4 00	2 00	1 00	0 00	0 00	0 00	0 00	170
1977	2 00	17 00	26 00	52 00	46 00	10 00	4 00	2 00	0 00	0 00	0 00	0 00	159
1978	5 00	7 00	8 00	26 00	20 00	4 00	2 00	1 00	0 00	0 00	0 00	0 00	73
1979	0 00	4 00	8 00	4 00	7 00	1 00	0 00	0 00	0 00	0 00	2 00	11 00	37
1980	7 00	19 00	53 00	3 00	2 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	84
1981	0 00	0 00	35 00	23 00	4 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	62
1982	0 0	2 0	28 1	36 0	5 6	0 6	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	72
1983	0 0	0 1	0 0	1 5	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1
1984	0 0	0 6	35 9	117 2	94 8	8 8	1 9	0 7	0 1	0 0	0 0	0 0	260
1985	10 7	126 9	212 5	338 3	186 9	35 6	17 0	5 9	3 0	1 7	0 8	4 0	943
1986	9 5	57 3	230 5	299 5	130 2	37 1	14 1	6 1	3 3	1 9	1 2	0 8	791
1987	1 7	3 5	105 2	33 2	12 3	4 3	2 0	1 0	0 4	0 1	0 0	0 0	163
1988	4 0	8 5	62 4	174 9	142 6	20 2	8 9	3 2	1 3	0 7	0 4	1 1	428
MÉDIA	3.1	17.3	55 6	80.9	50 8	12.1	4.3	1.7	0.6	0.3	0.3	0.9	224.

Quadro 4.7 - Vazões calculadas (mm) pelo MODHAC no posto Granja

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOT
1969	00	00	01	64.8	16.0	7.0	6.9	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	97
1970	00	00	01	2.7	1.3	1.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5
1971	00	01	24.7	127.5	75.5	12.5	12.4	7.5	0.1	0.0	0.0	0.0	260
1972	00	00	0.0	0.2	20.1	4.5	4.5	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	30
1973	00	0.2	96.0	210.9	68.3	18.4	18.1	16.8	6.9	0.1	0.0	0.0	435
1974	00	15.7	124.1	373.5	293.6	53.2	18.1	10.8	0.6	0.0	0.0	0.0	889
1975	00	0.0	73.7	45.3	107.1	15.1	14.8	8.7	0.2	0.0	0.0	0.0	264
1976	00	0.1	73.0	81.8	12.3	11.4	8.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	187
1977	00	0.2	20.7	115.2	30.2	11.3	11.2	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	194
1978	00	0.0	0.1	0.3	15.1	2.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19
1979	00	0.0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1
1980	00	0.0	52.7	4.1	4.3	4.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65
1981	00	0.0	57.5	34.3	4.5	4.3	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	101
1982	00	0.0	10.8	68.4	8.2	7.8	5.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	101
1983	00	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
1984	00	0.0	11.1	93.8	68.0	14.0	13.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	205
1985	00	97.7	158.5	385.6	183.9	18.2	17.9	14.7	3.2	0.0	0.0	0.0	879
1986	0.1	0.1	165.8	197.3	25.2	17.6	17.3	10.4	0.5	0.0	0.0	0.0	434
1987	0.0	0.0	74.1	8.7	5.9	5.5	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96
1988	0.0	0.1	41.8	175.1	90.5	16.9	16.7	10.9	0.7	0.0	0.0	0.0	352
MÉDIA	0.0	5.7	49.2	99.5	51.5	11.3	8.6	4.7	0.6	0.0	0.0	0.0	231.

A Figura 4.4, apresentada a seguir, mostra os fluviogramas com as vazões calculadas e observadas para um período de calibração entre 1969 e 1988, sendo que ocorrem um mês de falha no ano de 1974. Os resultados da calibração encontram-se em anexo.

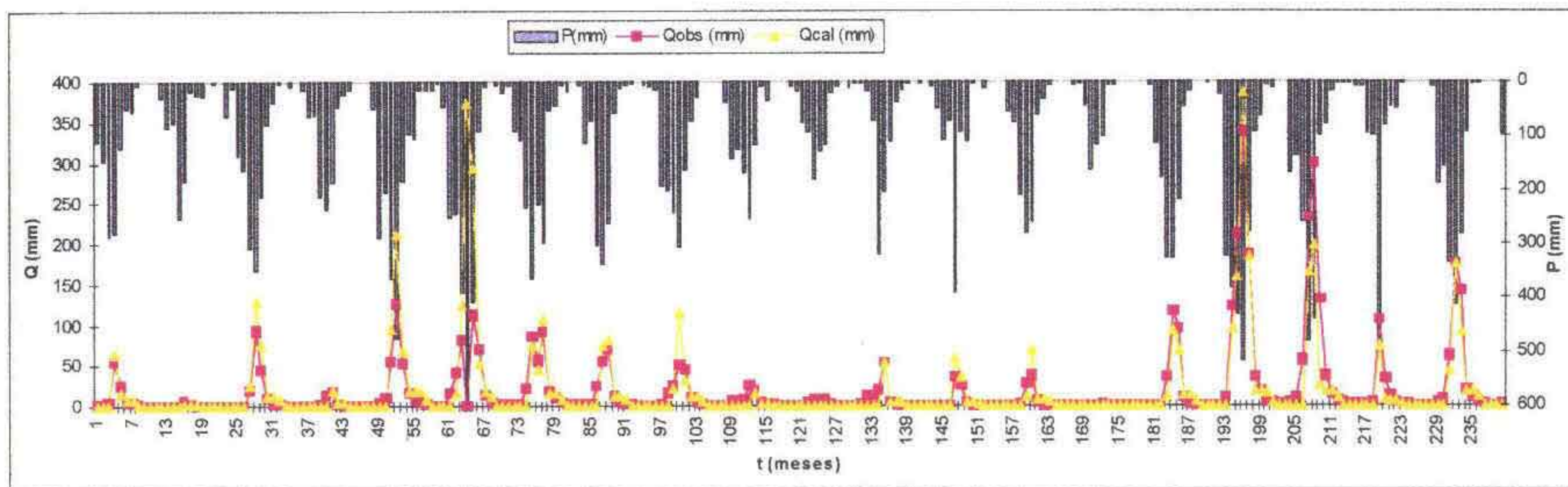


Figura 4.4 - Resultados da Calibração do Modelo MODHACX para a Bacia do Rio Coreau em Granja

000049

4.4 SIMULAÇÃO PARA OBTENÇÃO DA SÉRIE DE VAZÕES FLUENTES

Utilizando os parâmetros obtidos na fase de calibração (Quadro 4.5) para a estação Granja, foi simulada com o MODHAC a série de vazões para a bacia hidrográfica afluente ao açude Itauna. As características da série simulada a partir dos parâmetros do MODHAC obtidos na calibração são as seguintes:

- Coeficiente de Escoamento 23,8%
- Lâmina Escuada Média 281,4 mm
- Coeficiente de Variação 0,94

Em anexo estão os relatórios de saída do modelo MODHACX para o período de simulação, de 1912 a 1981, contendo informações acerca da lâmina precipitada e escoada, evapotranspiração e do armazenamento em cada reservatório. O coeficiente de deflúvio, calculado pela razão entre a lâmina escoada e a precipitada, situa-se em torno de 23%.

O Quadro 4.8 apresenta as vazões mensais afluentes ao açude, em m³/s, geradas pela simulação com MODHAC entre no período 1912-1981, enquanto que a Figura 4.5 apresenta o fluviograma médio gerado. A Figura 4.6 apresenta a série gerada em mm para o período entre 1912 e 1981.

Quadro 4.8 - Vazões simuladas (m³/s) para a bacia do Rio Timonha em Chaval - CE

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTA
1912	0 00	0 03	30 27	29 59	31 82	3 66	3 23	0 82	0 00	0 00	0 00	0 00	99 4
1913	0 00	1 12	43 70	39 65	48 21	4 52	4 27	1 95	0 00	0 00	0 00	0 00	143 4
1914	0 00	0 02	0 07	11 45	4 64	1 25	1 07	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	18 5
1915	0 00	0 00	0 00	0 05	0 14	0 17	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 3
1916	0 00	9 70	55 97	57 82	16 48	4 59	4 36	2 62	0 08	0 00	0 00	0 00	151 6
1917	25 95	43 58	71 65	38 54	87 44	17 98	5 05	3 32	0 30	0 00	0 00	0 00	293 8
1918	0 03	0 08	44 54	10 92	26 05	21 46	3 44	1 73	0 01	0 00	0 00	0 00	108 2
1919	0 00	0 00	0 01	0 02	0 04	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 0
1920	0 00	0 00	123 06	28 43	5 73	10 59	4 34	3 37	0 98	0 00	0 00	0 00	176 5
1921	0 03	10 69	36 00	36 60	73 45	5 27	5 00	4 28	1 21	0 00	0 00	0 00	172 5
1922	0 00	0 00	0 03	69 29	11 55	3 53	3 37	2 08	0 02	0 00	0 00	0 00	89 8
1923	0 00	14 71	16 91	41 36	3 47	3 34	3 14	0 92	0 00	0 00	0 00	0 00	83 8

1924	0 00	11 53	85 60	110 84	92 96	5 31	5 05	3 24	0 25	0 00	0 00	0 00	314 7
1925	0 00	13 73	35 93	51 92	17 23	4 27	4 05	2 26	0 03	0 00	0 00	0 00	129 4
1926	0 01	32 95	88 94	74 38	16 53	5 19	4 57	1 55	0 00	0 00	0 00	0 00	224 1
1927	0 00	0 01	33 74	41 34	6 05	3 36	3 17	1 01	0 00	0 00	0 00	0 00	88 6
1928	0 01	0 00	3 74	39 21	10 89	2 37	2 08	0 20	0 00	0 00	0 00	0 00	58 5
1929	0 00	14 13	45 48	29 88	4 53	4 33	4 06	1 62	0 00	0 00	0 00	0 00	104 0
1930	0 02	26 86	19 85	27 93	2 79	2 67	2 28	0 22	0 00	0 00	0 00	0 00	82 6
1931	0 00	10 47	51 57	14 70	3 59	3 05	2 29	0 13	0 00	0 00	0 00	0 00	85 8
1932	0 00	0 04	34 57	1 24	1 97	1 33	1 10	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	40 2
1933	0 01	37 73	42 40	71 90	4 89	4 66	4 08	1 15	0 00	0 00	0 00	0 00	166 8
1934	0 00	0 01	13 25	20 23	24 32	3 24	2 56	0 23	0 00	0 00	0 00	0 00	63 8
1935	0 00	0 01	11 29	41 05	23 58	3 53	3 25	0 85	0 00	0 00	0 00	0 00	83 5
1936	0 00	0 01	0 06	0 10	0 09	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 2
1937	0 00	0 00	0 04	6 23	5 33	1 09	1 07	0 08	0 00	0 00	0 00	0 00	13 8
1938	0 00	0 00	6 35	36 91	2 46	2 48	1 92	0 08	0 00	0 00	0 00	0 00	50 2
1939	0 00	0 00	22 15	10 77	6 16	1 42	1 20	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	41 7
1940	0 00	0 00	0 03	0 32	0 27	0 34	0 34	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	1 3
1941	0 00	0 00	0 02	0 07	0 12	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 2
1942	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 0
1943	0 00	0 00	0 00	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 0
1944	0 00	0 00	9 11	48 32	11 07	2 70	1 73	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	72 9
1945	0 02	21 46	21 28	36 96	24 36	4 92	4 39	1 47	0 00	0 00	0 00	0 00	114 8
1946	0 00	0 03	0 09	2 06	0 50	0 57	0 44	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	3 6
1947	0 00	0 00	43 66	38 57	37 98	5 06	4 67	1 96	0 00	0 00	0 00	0 00	131 9
1948	0 00	0 03	0 81	2 21	5 79	1 19	0 74	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	10 7
1949	0 00	0 01	0 04	28 64	11 47	2 72	2 46	0 39	0 00	0 00	0 00	0 00	45 7
1950	0 01	0 03	1 20	58 81	2 83	2 77	2 30	0 20	0 00	0 00	0 00	0 00	68 1
1951	0 00	0 00	0 00	0 05	0 20	0 34	0 24	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 8
1952	0 00	0 01	0 04	7 51	12 11	1 04	0 52	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	21 2
1953	0 00	0 00	6 18	14 87	1 68	1 64	0 71	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	25 0
1954	0 00	0 01	21 12	6 54	7 08	1 84	1 44	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	38 0
1955	0 00	9 68	8 02	75 42	10 56	4 10	3 07	0 37	0 00	0 00	0 00	0 00	111 2
1956	0 00	0 00	20 95	22 08	5 93	2 59	1 82	0 04	0 00	0 00	0 00	0 00	53 4
1957	0 01	0 05	2 05	52 19	2 92	2 85	2 56	0 40	0 00	0 00	0 00	0 00	63 0
1958	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 0
1959	0 00	0 02	60 75	15 31	11 38	3 20	2 73	0 54	0 00	0 00	0 00	0 00	93 9
1960	0 00	0 00	53 56	13 28	13 22	2 70	2 46	0 40	0 00	0 00	0 00	0 00	85 6
1961	0 69	136 33	36 15	40 33	21 83	5 09	4 31	1 25	0 00	0 00	0 00	0 00	245 9
1962	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 0
1963	0 01	29 36	52 30	54 08	20 76	5 13	3 95	0 84	0 00	0 00	0 00	0 00	166 4
1964	0 01	47 95	36 67	121 34	56 76	5 21	4 93	3 03	0 19	0 00	0 00	0 00	276 0
1965	0 00	0 00	10 10	128 14	20 73	4 79	4 51	2 16	0 01	0 00	0 00	0 00	170 4
1966	0 00	0 00	0 00	0 01	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 0
1967	0 00	0 02	32 98	37 38	45 58	5 22	4 66	1 71	0 00	0 00	0 00	0 00	127 5
1968	0 00	0 00	0 01	25 05	32 40	2 64	2 24	0 20	0 00	0 00	0 00	0 00	62 5

1969	0 00	0 00	0 02	24 71	5 04	1 51	1 41	0 12	0 00	0 00	0 00	0 00	32 8
1970	0 00	0 00	0 02	0 06	0 14	0 18	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 4
1971	0 00	0 06	19 45	27 16	16 82	3 27	3 14	1 44	0 00	0 00	0 00	0 00	71 3
1972	0 00	0 00	0 00	0 00	0 08	0 17	0 20	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 4
1973	0 02	0 05	38 59	61 99	12 05	10 80	4 04	3 01	0 24	0 00	0 00	0 00	130 7
1974	0 01	0 05	47 69	122 61	58 04	13 33	5 06	2 75	0 11	0 00	0 00	0 00	249 6
1975	0 00	0 00	0 04	0 11	14 16	1 07	0 99	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00	16 4
1976	0 00	14 97	26 93	28 05	3 78	3 63	2 54	0 17	0 00	0 00	0 00	0 00	80 0
1977	0 00	0 03	0 10	36 64	9 81	1 83	1 52	0 04	0 00	0 00	0 00	0 00	49 9
1978	0 01	0 08	3 01	33 17	23 11	2 98	2 71	0 66	0 00	0 00	0 00	0 00	65 7
1979	0 00	0 00	10 93	10 59	2 48	1 42	0 88	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	26 3
1980	0 00	28 56	52 82	2 62	2 55	2 45	1 45	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	90 4
1981	0 00	0 01	27 24	4 08	2 34	1 46	1 08	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	36 2
MÉDIA	0.38	7.37	22.30	30.34	14.86	3.39	2.32	0.81	0.05	0.00	0.00	0.00	81.8



Figura 4.5 - Fluviograma médio mensal na seção Itauna

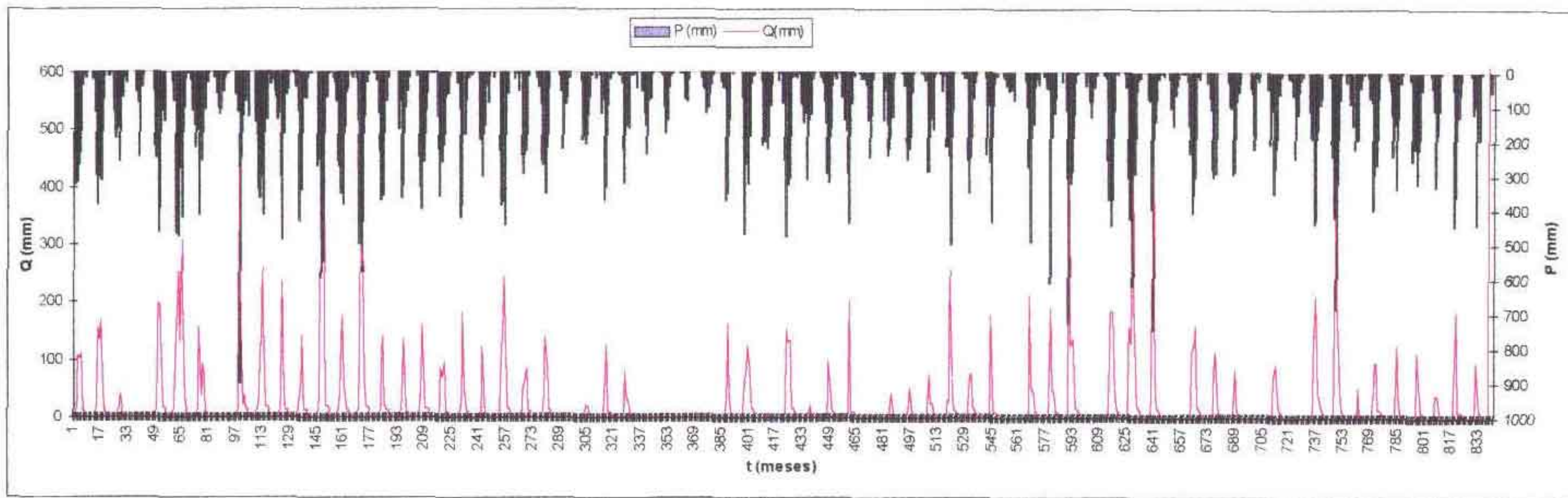


Figura 4.6 - Resultados da Simulação com o Modelo MODHACX para a Bacia do Rio Timonha em Itauna - CE 1912-1981.

500053



5. ESTUDO DAS CHEIAS DE PROJETO

5. ESTUDO DAS CHEIAS DE PROJETO

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 barragem pequenas e médias, onde grandes riscos não estão envolvidos, pode-se utilizar o hidrograma de projeto baseado no último caso, podendo o período de retorno de 1000 anos ser suficiente, fazendo-se posteriormente uma verificação para 10000 anos.

5.1 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-1⁵

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Açude Itauna foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, um modelo projetado para simular o escoamento superficial em uma bacia, sendo esta representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para esta bacia foi estudada a sua resposta ao hidrograma 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 Itauna, diante dos dados disponíveis, foi adotado o seguinte

- 1 Método Curva-Número (*Soil Conservation Service*) na determinação da chuva efetiva,
- 2 Método do *Soil Conservation Service* na determinação do hidrograma unitário sintético - Escoamento Superficial na bacia (*Overland flow*);
- 3 Método de Puls para propagação do escoamento em reservatórios.

5.1.1 Solos e uso atual da terra

De acordo com o estudo realizado no Projeto Áridas - Tema Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1994, as principais unidades de mapeamento de solos encontradas na bacia hidrográfica são mostradas abaixo na figura 5.1 abaixo

⁵US ARMY CORPS OF ENGINEERS - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER 1990 HEC-1 FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE - USERS MANUAL. 415 p

O uso atual da terra é representado principalmente pela exploração agrícola com baixo índice de mecanização e pela pecuária extensiva. Os principais produtos agrícolas são o algodão arbóreo, o arroz, a banana, a Castanha de Caju, o feijão, a mandioca, o milho.

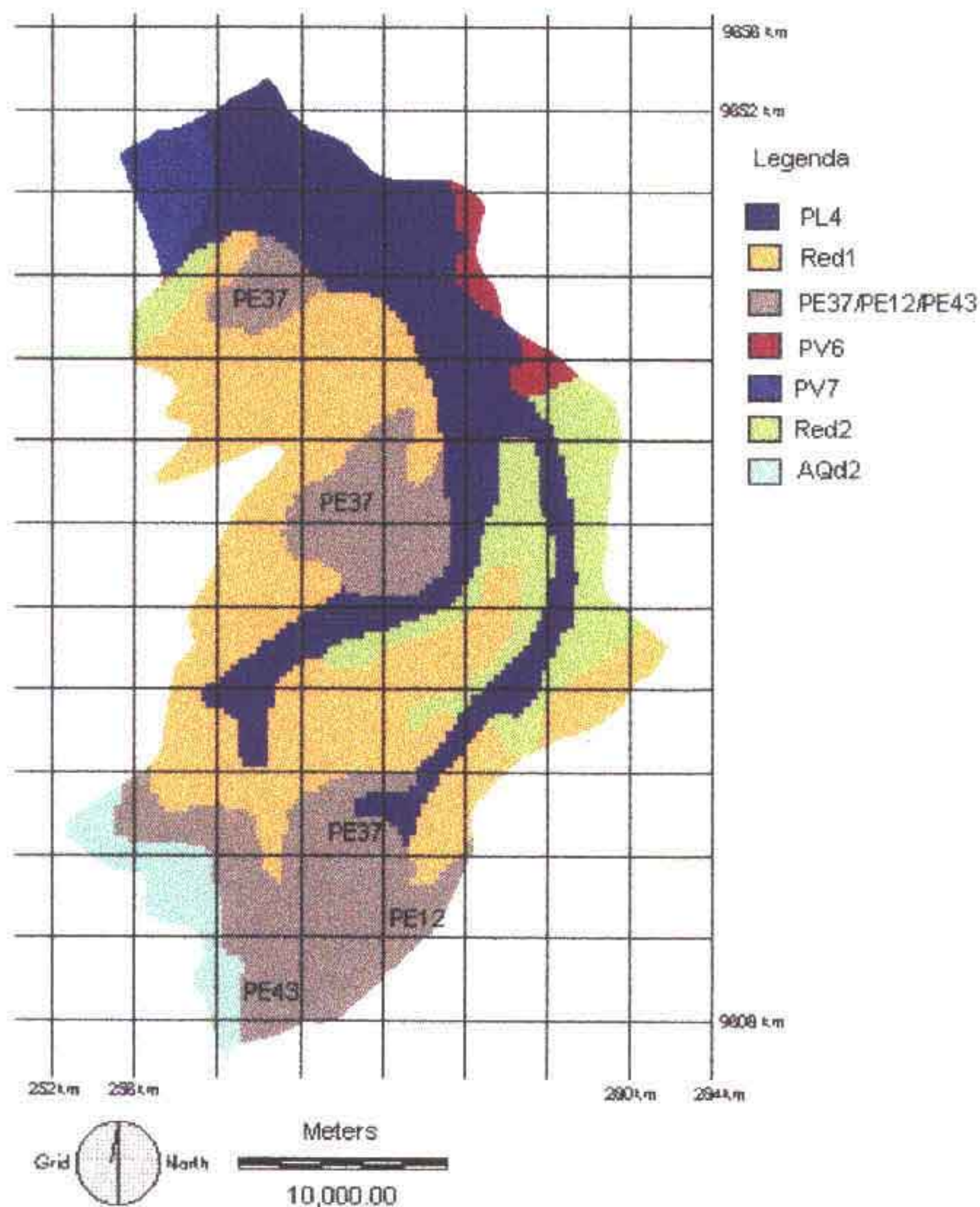


Figura 5.1 - Mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Timonha em Itauna

A explicação sobre a legenda do mapa de solos é apresentada a seguir

PV7 - Associação de Podzólico Vermelho Amarelo abrupto plíntico textura areno-argilosa + Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico textura média + Podzólico Acinzentado Distrófico com fragipan textura média todos A fraco e moderado fase caatinga hiperxerófila e floresta caatinga relevo plano e suave ondulado

PV6 - Associação de Podzólico Vermelho Amarelo abrupto plíntico textura areno-argilosa + Laterita Hidromórfica Eutrófica textura argilosa cascalhenta + Latossolo Vermelho Amarelo textura médio todos A fraco e moderado fase caatinga hipoxerófila relevo plano e suave ondulado

PE37 - Associação de Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico raso textura argilosa cascalhenta fase relevo suave ondulado + Solos Litólicos Eutróficos textura arenosa e média fase pedregosa e rochosa relevo suave ondulado e ondulado substrato gnaisse e granito + Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico textura argilosa fase relevo plano e suave ondulado todos A fraco fase caatinga hiperxerófila

PL4 - Associação de Planossolo Solódico textura arenosa/média e argilosa + Solos Litólicos Eutróficos textura arenosa e média fase pedregosa e rochosa substrato ondulado e granito + Solonetz Solodizado textura arenosa/média e argilosa todos A fraco fase caatinga hiperxerófila e campo xerófilo relevo plano e suave ondulado

Red1 - Associação de Solos Litólicos Eutrófico e Distrófico A fraco e moderado textura arenosa e média fase pedregosa e rochosa floresta/caatinga hipoxerófila relevo forte ondulado e montanhoso substrato gnaisse e granito quartzo e xisto + Afloramento de Rocha + Podzólico Vermelho Amarelo

Eutrófico A fraco e moderado textura argilosa e média fase pedregosa floresta caatinga relevo forte ondulado e montanhoso

Red2 - Associação de Solos Litólicos Eutrófico e Distrófico textura arenosa e média fase pedregosa e rochosa relevo suave ondulado substrato gnaise e granito quartzo e xisto + Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico textura argilosa cascalhento fase pedregosa e rochosa relevo suave ondulado e ondulado + Solos Litólicos Eutróficos textura arenosa média e argilosa fase pedregosa e rochosa relevo plano e ondulado substrato arenítico argilito e siltito todos A fraco e moderado fase caatinga hipoxerófila

AQd2 - Associação de Areias Quartzosas Distróficas fase relevo plano e suave ondulado + Latosolo Vermelho Amarelo Distrófico textura média fase relevo suave ondulado + Solos Litólicos Distróficos textura arenosa fase pedregosa e rochosa relevo suave ondulado e ondulado substrato arenoso A fraco e moderado fase floresta caatinga

PE12 - Associação de Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico A fraco e moderado textura argilosa + Solos Litólicos Eutróficos Indiscriminados fase pedregosa e rochosa ambos fase floresta caatinga relevo forte ondulado e montanhoso + Afloramento de Rocha

PE43 - Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico latossólico A moderado e chermozênico textura argilosa e média fase floresta sub-perenifólia relevo suave ondulado e forte ondulado

A abrangência espacial de cada tipo de solo, em percentual da área total da bacia, é apresentada no quadro 5.1

Quadro 5.1 - Abrangência espacial de cada tipo de solo

Tipo de solo	Fração da área total (%)	Classificação do USDA
Red1	33%	D
PE37/PE12/PE43	24%	C/D
AQd2	4%	A
PL4	24%	B/C
Red2	10%	D
PV6	2%	A
PV7	3%	A

5.1.2 Vegetação

Na bacia do rio Timonha, até o boqueirão Itauna, são encontradas as seguintes unidades fitoecológicas: Complexo Vegetacional da Zona Litorânea, Floresta Subcaducifólia Tropical (Matas Secas) e Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea).

- Complexo Vegetacional da Zona Litorânea

Dentro da bacia hidrográfica, esta unidade encontra-se representada pela vegetação dos Tabuleiros Litorâneos com uma diversificação florística considerável. Incluem-se a Mata de Tabuleiro (com antropismo e nativa), o Cerrado e a Caatinga.

- Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Matas Secas)

Ocupa os níveis superiores dos relevos cristalinos à retaguarda da mata umida é a chamada mata seca. Esta floresta recobre, ainda, relevos cristalinos mais baixos, denominados localmente de serrotes, e as vertentes de níveis tabulares menos favorecidas pelas chuvas. Encontram-se indivíduos da mata umida e da caatinga arbórea, cuja faixa de amplitude ecológica torna possível a vida neste ambiente.

- Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea)

Apresenta-se com fisionomia e florística variada. A caatinga arbórea é representada por indivíduos com um maior porte e com densidade menor que nas caatingas arbustivas e subarbustivas.

5.1.3 Precipitação

Para cálculo do escoamento superficial para a bacia do Itauna 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 aplicado um fator redutor de área de acordo com o programa HEC-1. O Quadro 5.2 apresenta a chuva de projeto sem aplicar o fator redutor de área.

Quadro 5.1 - Chuvas Pontual (mm)

Período	Tr (anos)	
	1000	10000
diário	217,3	261,4
24 h	239,0	287,5
1 h	88,9	104,1
6 min	15,0	18,0

A partir das curvas precipitação-duração-frequência, foi obtida a precipitação associada aos tempos de retorno de 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

O hietograma de projeto tem uma duração igual ao tempo de concentração da bacia, estimado aqui pela fórmula do Califórnia Highways, também conhecida como fórmula de Kirpich

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

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

$$\text{Seção Itauna: } L = 71,75 \text{ km}$$

$$\Delta H = 560 \text{ m}$$

o que resulta $T_c = 11,56 \text{ h}$; $T_{LAG} = 6,94 \text{ h}$

O HEC-1 utiliza estes dados para construir uma distribuição triangular da precipitação, onde é assumido que cada total precipitado para qualquer duração ocorre durante a parte central da tormenta (tormenta balanceada) Alturas correspondentes a 10 e 30 minutos são interpoladas das alturas precipitadas de

5, 15 e 60 minutos através das equações do HYDRO-35 (National Weather Service, 1977)

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

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

onde P_v é a precipitação para a duração de m minutos

5.1.4 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 podem ser usadas 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

A equação de escoamento do SCS é dada por

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (1)$$

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

$$I_a = 0,20 S \quad (2)$$

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

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

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

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

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

CONDIÇÕES SECAS

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

CONDIÇÕES ÚMIDAS

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

Alternativamente, os CNs para estas condições podem ser obtidos, a partir da condição normal (AMC II), utilizando-se tabelas⁶

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

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

⁶ PONCE, V.M., 1989 ENGINEERING HYDROLOGY PRINCIPLES AND PRACTICES PRENTICE HALL, NEW JERSEY, 640 p

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. Para a bacia do Itauna foi estimado um CN = 75 com base nos tipos e usos dos solos (AMC II)

5.1.5 Hidrograma Unitário - SCS

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

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

onde Q_p = é a vazão de pico (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 $\Delta t = 0,20 t_p$, não devendo exceder $0,25.t_p$. Estas relações baseiam-se nas seguintes relações empíricas

$$\tau_{0,97} = 0,60 T_c \quad \text{e} \quad 1,7 \tau_{0,97} = \Delta \tau + T_c$$

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 necessário uma estimativa do tempo de concentração da bacia. Estes tempos

de concentração foram avaliados através da aplicação da fórmula de Kirpich (item 5.1.1)

5.2 RESULTADOS

A adoção de cheias de projeto da magnitude da cheia máxima provável não se justifica para o reservatório em estudo, por suas localizações, capacidades e finalidades. Assim, dentro desta perspectiva, optou-se por utilizar a cheia associada ao hietograma de 1000 anos e verificar para o hietograma de 10000 anos

Para a bacia contribuinte ao reservatório Itauna, que possui um tempo de concentração $t_c = 12$ horas, resulta $T_{lag} = 6,94$ horas. A velocidade média do escoamento superficial difuso (overland flow) foi estimada em $v = 0,09$ m/s e pode ser verificada como o comprimento médio de fluxo ($L = 2,34$ km) dividido pelo tempo de retardo do escoamento superficial. Para a velocidade média total, com base no tempo de concentração e no percurso da água desde as vertentes até o exutório da bacia, estimou-se uma velocidade média de $1,6$ m/s

Apesar do tempo de concentração ser de 12 horas, verificou-se que existia ainda uma forte influência da duração da chuva sobre o hidrograma efluente, sendo adotado portanto uma chuva de duração igual a 24 horas, como será visto no capítulo 7. Os hidrogramas afluentes para os tempos de retorno 1000 e 10.000 anos encontram-se apresentados nas figuras abaixo 5.1 e 5.2, respectivamente. Os picos dos hidrogramas afluentes ao açude Itauna associados a 1000 e 10000 anos são respectivamente $1332,63$ m³/s e $1924,89$ m³/s

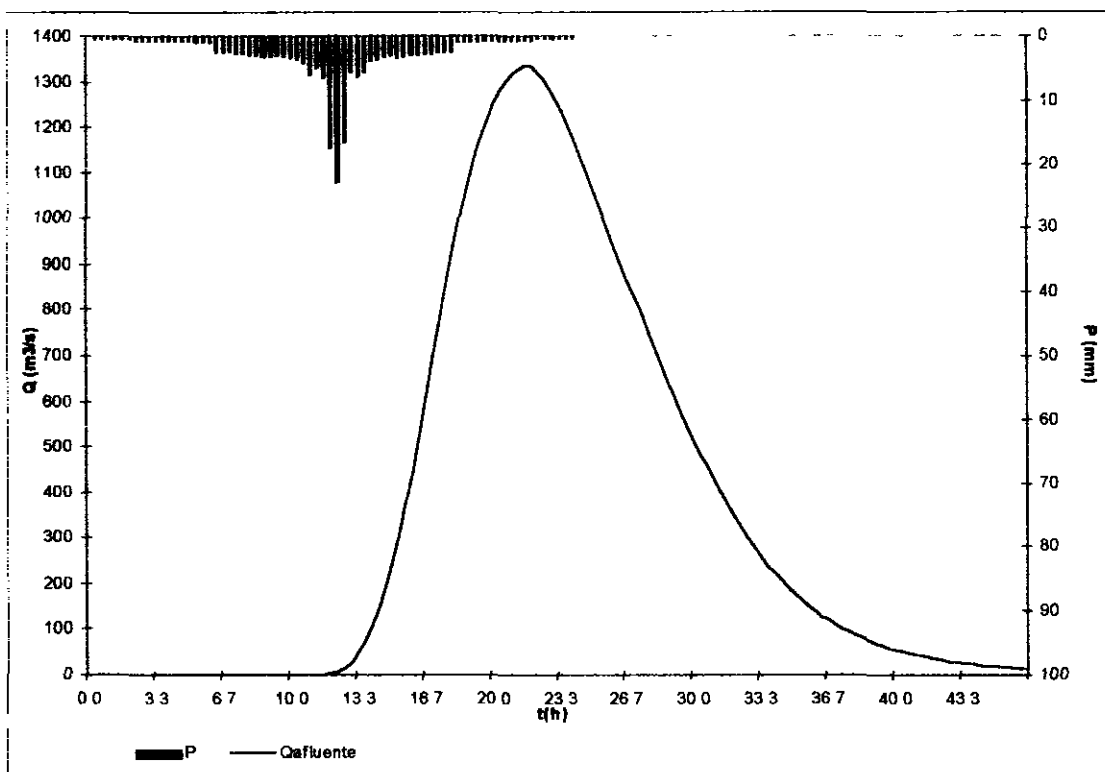


Figura 5 1 - Hidrograma Afluente associado ao tempo de retorno 1 000 anos
Açude Itauna

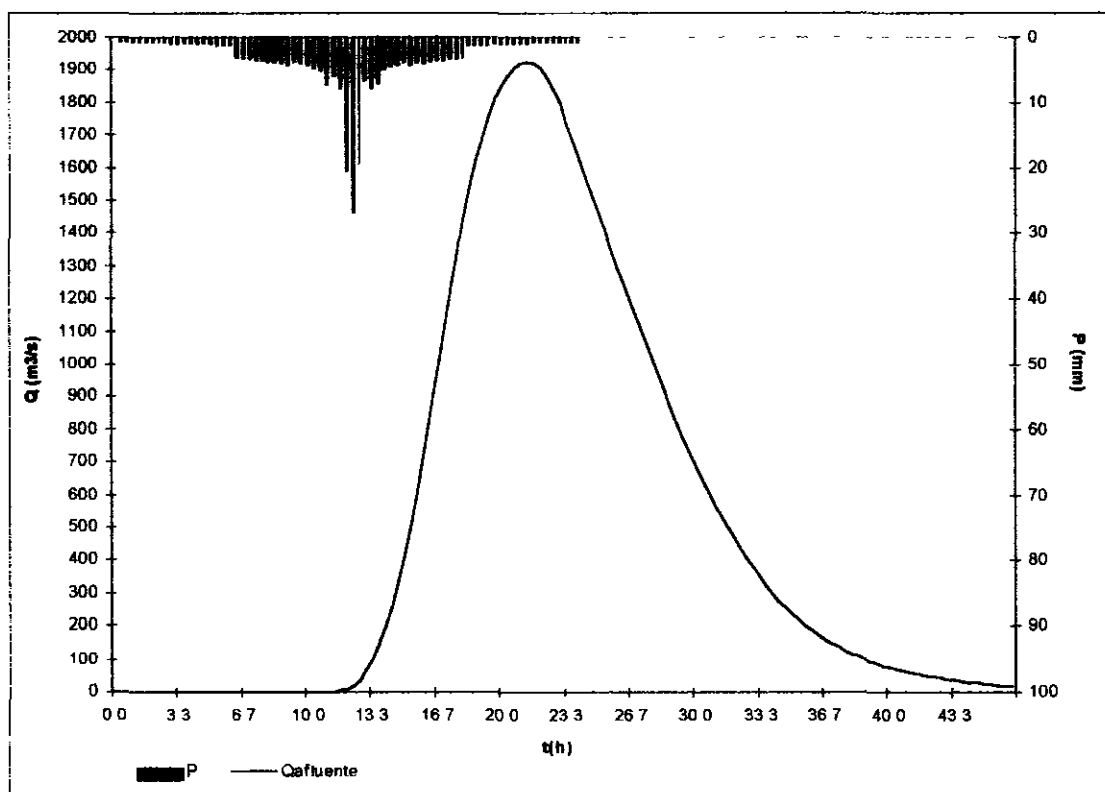


Figura 5 2 - Hidrograma Afluente associado ao tempo de retorno 10 000 anos - Açude Itauna

5.3 VERIFICAÇÃO DA CHEIA PARA MAIORES VOLUMES AFLUENTES

A verificação do dimensionamento do vertedouro apresentada neste relatório consiste na análise da resposta do reservatório a vazões afluentes de volumes maiores. Estas afluências são construídas a partir de precipitações de durações entre duas e vinte vezes o tempo de concentração da bacia.

5.3.1 Metodologia

A análise foi desenvolvida em duas etapas. A primeira consistiu na revisão do relatório estudos hidrológicos apresentado e a segunda é o cálculo da cheia afluente e de sua laminação no reservatório por metodologia alternativa, à realizada no relatório citado. Os passos desta são descritos a seguir:

- construiu-se as séries de precipitações acumuladas para os postos Iboaçú (SUDENE 276879), Chaval (SUDENE 2767053) e Viçosa Ceará ((SUDENE 2777185) para seis durações (1 dia, 2 dias, 3 dias, 4 dias, 7 dias e 10 dias),
- associou-se uma distribuição de probabilidade Extremo I e II, Pearson III e Log-Pearson III para as séries de máximas anuais obtidas no item anterior. Escolheu-se a distribuição de probabilidade que apresentou o melhor ajuste.
- calculou-se o valor de precipitação acumulada nas recorrências de 1 000 e 10 000 anos para as seis durações para cada um dos postos e utilizando os pesos dos polígonos de Thiessen calculou-se o valor médio destas precipitações para a bacia,
- transformou-se a precipitação pontual média em precipitação na bacia,
- gerou-se hietograma triangular associado a cada uma das durações para cada período de retorno,
- calculou-se a precipitação efetiva utilizando o método do SCS para a partição chuva-deflúvio,
- calculou-se o hidrograma afluente utilizando o método do hidrograma triangular do SCS,
- propagou-se a cheia no reservatório utilizando o método de Puls,

- construiu-se as tabelas sínteses.

5.3.2. Resultados

As curvas de precipitação média acumulada versus duração na bacia do Itaúna encontradas para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos com as durações variando de um dia a dez dias são apresentadas na Figura 1. Observa-se que a precipitação para dez dias nestes períodos de retorno são de aproximadamente 500 mm, valor correspondente à metade da precipitação média anual na bacia . A Figura 2 mostra a curva de Frequência x Precipitação acumulada em dez dias para os três postos que influenciam na bacia do Itaúna, esta Figura é exemplo das curvas construídas para as demais durações.

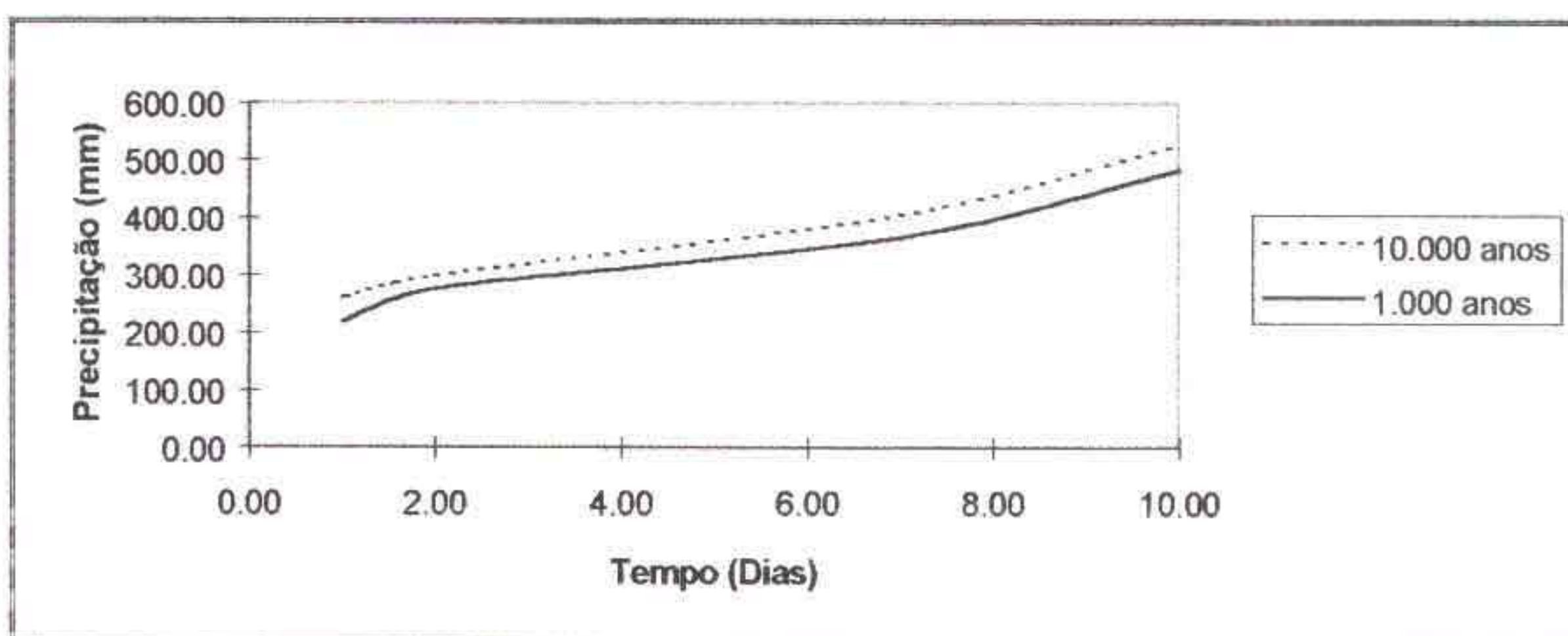


Figura 1: Precipitações média para diversos dias

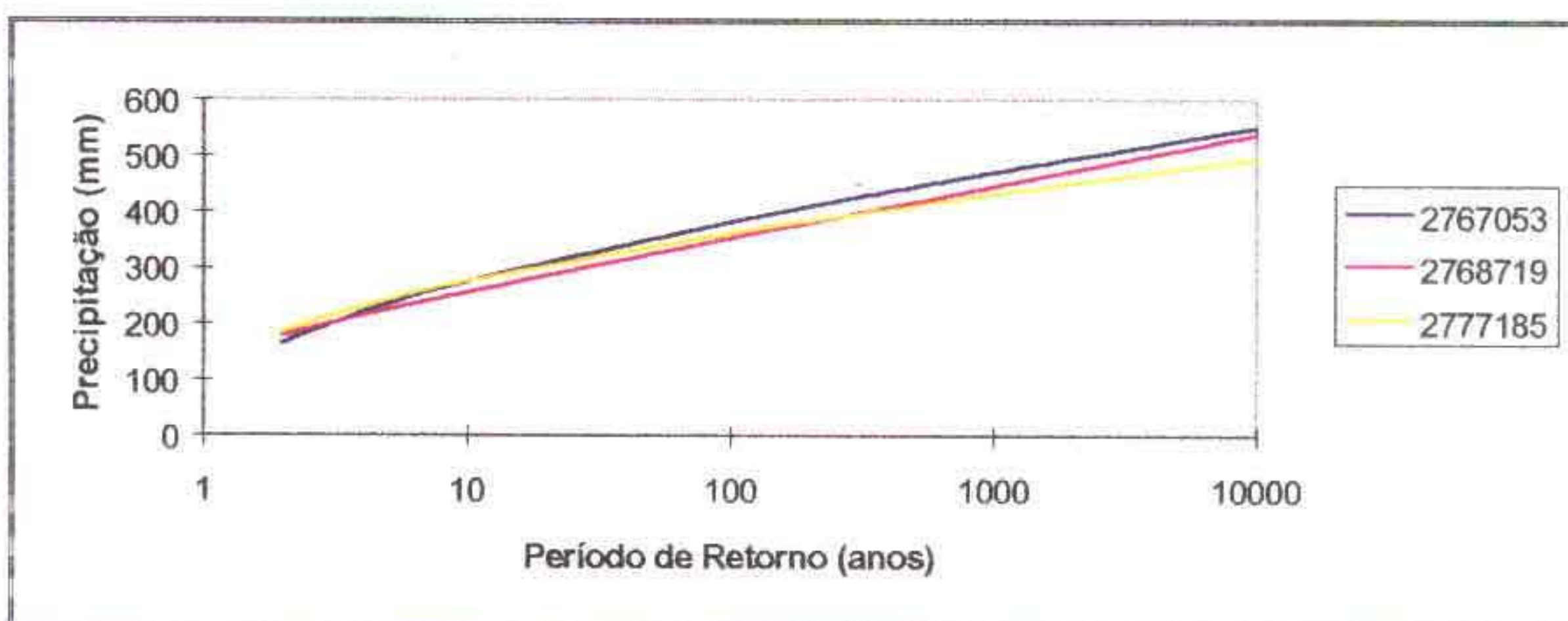


Figura 2: Precipitação acumulada em dez dias para uma recorrência de 10000 anos

A Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados das simulações realizadas para precipitações com período de retorno de 1 000 anos. A Figura 3 apresenta o gráfico das lâminas máximas associada a diversas durações.

Observa-se que a lâmina máxima observada ocorre na duração de três dias, sendo 0,35 m superior a lâmina de precipitação com duração de 24 horas. Após a duração de três dias, a lâmina máxima decresce. A duração deste evento de chuva é de seis vezes o valor do tempo de concentração.

O resumo dos principais parâmetros da cheia afluyente e da laminação encontra-se em anexo.

Tabela 1 Lâmina e vazões afluentes e efluentes ao reservatório para diversas durações das precipitações. Período de retorno de 1000 anos.

Duração (Dias)	Lâmina (m)	Vazão afluyente (m ³ /s)	Vazão Efluyente (m ³ /s)	Volume Afluyente (hm ³)
1	1,89	1074	341	63
2	2,14	892	409	83
3	2,24	777	438	110
4	2,12	636	404	116
10	1,65	350	276	166

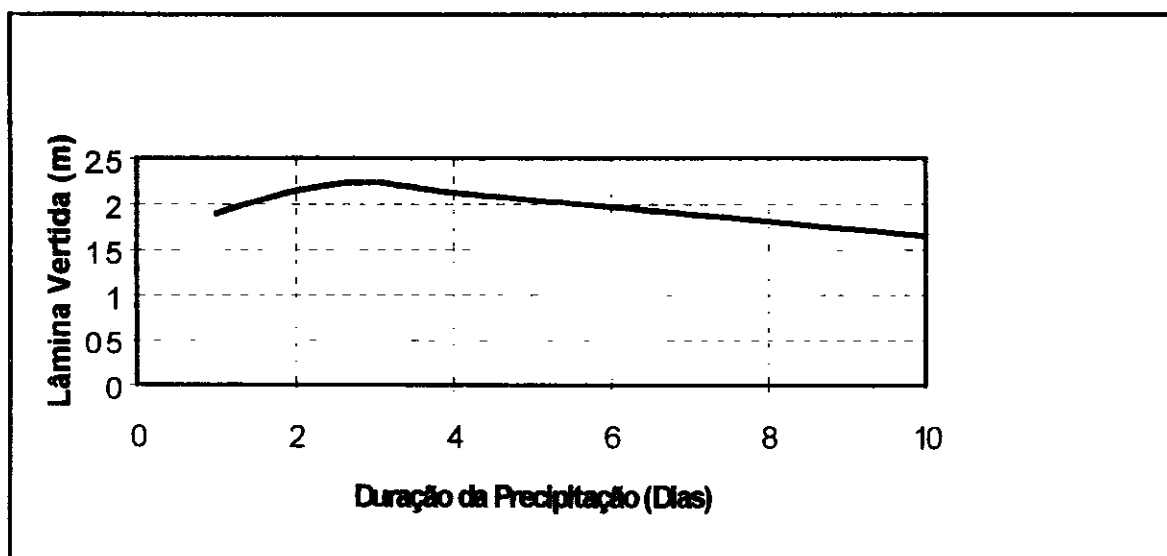


Figura 3 Lâmina vertida com recorrência de 1000 anos para diversas durações.

A Tabela 2 apresenta o resumo dos resultados das simulações realizadas para precipitações com período de retorno de 10 000 anos. A Figura 4 apresenta o gráfico das lâminas máximas associadas a diversas durações.

As lâminas máximas de vertimento do reservatório apresentada na Figura 4 mostram para as durações de um e três dias um crescimento de 0,18 m. Após três dias a lâmina vertida decresce, sendo a duração de três dias, seis vezes o valor do tempo de concentração, aquela que apresenta a maior lâmina.

Tabela 2 Lâmina e vazões afluentes e efluentes ao reservatório para diversas durações das precipitações Período de retorno de 10 000 anos

Duração (h)	Lâmina (m)	Vazão afluente (m ³ /s)	Vazão Efluente (m ³ /s)	Volume Afluente (hm ³)
1	2,46	1504	505	82
2	2,50	1092	515	94
3	2,64	950	560	123
4	2,46	717	504	128
7	2,05	479	383	132
10	1,94	404	353	185

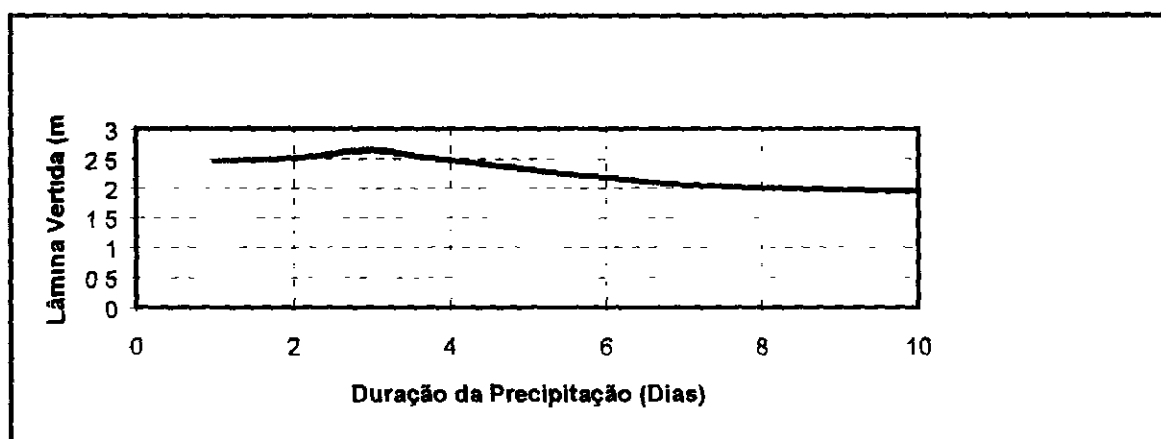


Figura 4 Lâmina vertida com recorrência de 10 000 anos para diversas durações

5.4 CONCLUSÃO

O Relatório de estudos hidrológicos apresentou-se correto

Os resultados da nova metodologia de cálculo da cheia e de sua laminação indicam que

A cheia de período de retorno de 10 000 anos sofreu alteração do valor da lâmina vertida calculada no projeto em 0,17cm. Este fato se deu pois o evento extremo não está associado à duração de um dia, como anteriormente calculado, e sim à duração da precipitação de três dias.

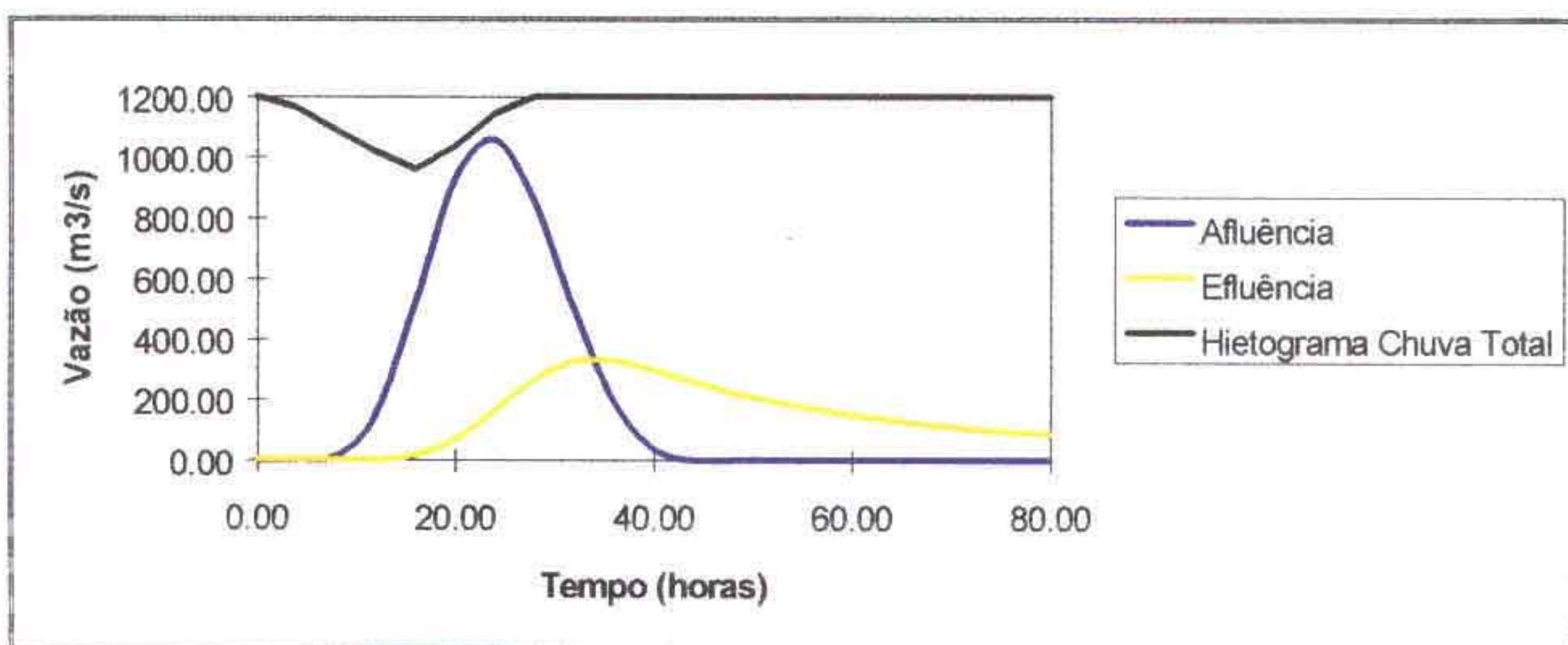
O mesmo ocorreu para a cheia de 1 000 anos, que tem a lâmina máxima vertida associada à duração de três dias. O acréscimo na lâmina foi de 0,35m com relação à associada à cheia de um dia de duração.

Os projetos tradicionalmente utilizam para definir a cheia de projeto, quando geradas por modelo chuva-deflúvio, àquela associada à chuva de duração igual ao período de concentração da bacia de contribuição. Este raciocínio procura proporcionar o evento de maior vazão afluente possível, e baseia-se no fato de que a intensidade da chuva decresce com o crescimento da duração da mesma para um dado período de retorno, induzindo o fato de que se deve procurar a chuva de menor duração possível. Este raciocínio é perfeito para obras que são dimensionadas pela vazão afluente, não sendo este o caso de um reservatório. A cheia afluente sofre uma transformação no processo de laminação, transformação esta que é função da capacidade de acumulação do reservatório (dimensão volumétrica), da capacidade de descarga do vertedouro (dimensão do fluxo de vazão) e da distribuição temporal do volume afluente. A incorporação desta transformação no dimensionamento altera o critério de duração da chuva igual a duração do período de retorno e coloca a questão do volume da cheia afluente e sua distribuição temporal como parâmetros do dimensionamento (VEJA RESUMOS DAS SIMULAÇÕES A SEGUIR)

RESUMOS DAS SIMULAÇÕES REALIZADAS

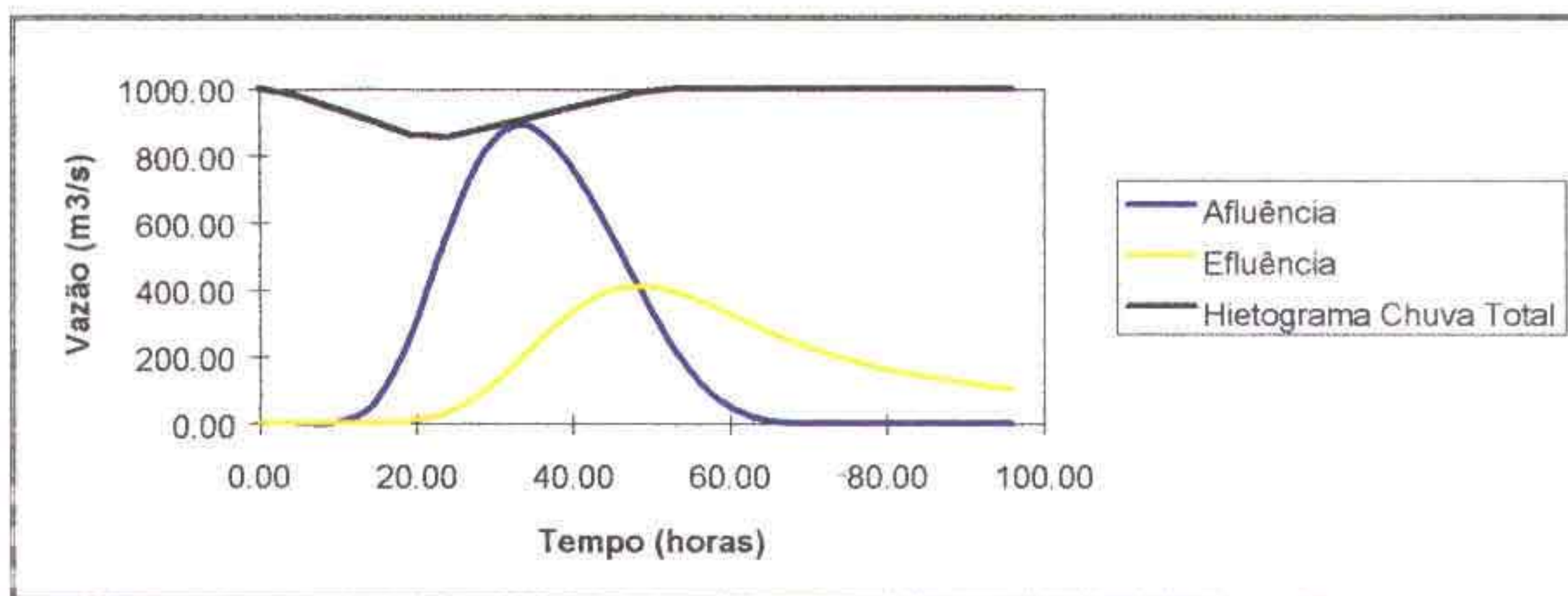
Tr 1.000 duração 1 dia Creager 60

Vazão Máxima Afluente	1057.17 m ³ /s
Vazão Máxima Efluente	327.80 m ³ /s
Armazenamento Máximo	119.86 hm ³
Lâmina Máxima	1.85 m
Cota Máxima	34.35 m
Arnotecimento	0.31
Precipitação Total Pontual	23.87 cm
Precipitação Total Area	16.36 cm
Precipitação Efetiva	9.30 cm
Infiltração	5.37 cm
Retenção Inicial	1.69 cm
Volume Total Escoado	63 hm ³



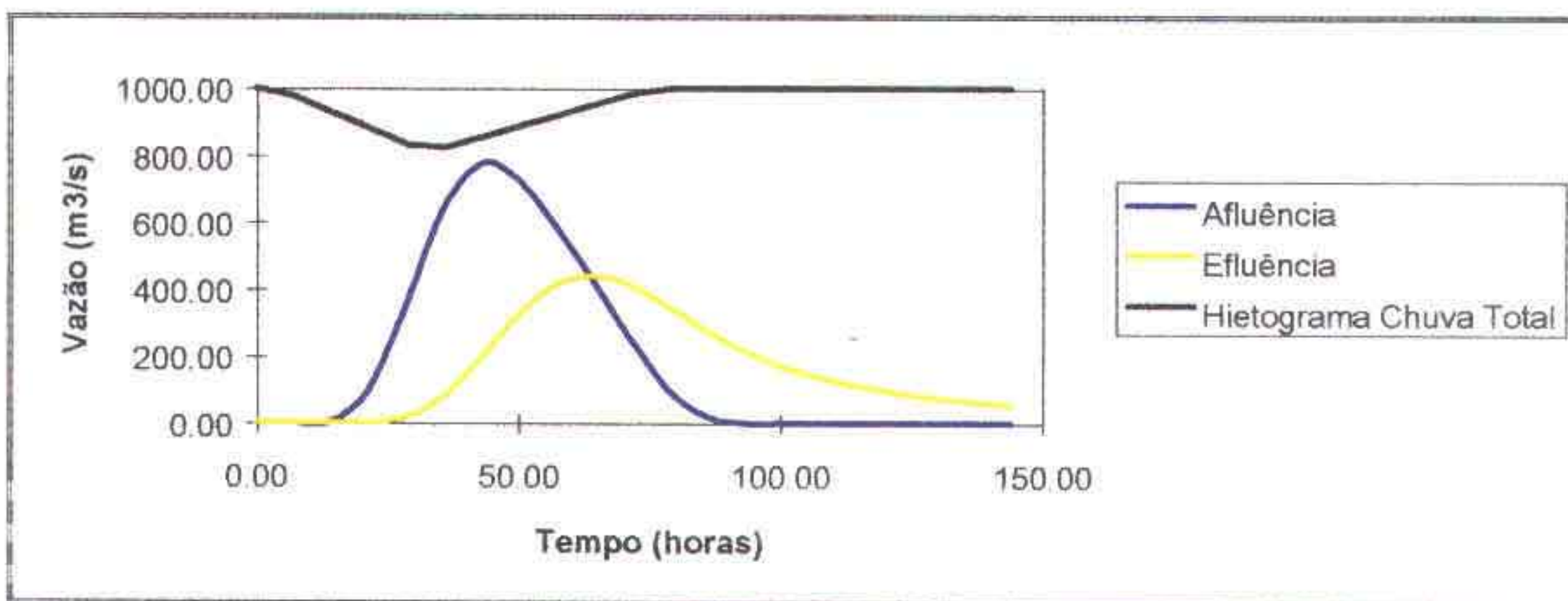
Tr 1.000 duração 2 dias Creager 60

Vazão Máxima Afluente	892.35 M3/s
Vazão Máxima Efluente	409.83 M3/s
Armazenamento Máximo	127.12 Hm3
Lâmina Máxima	2.14 m
Cota Máxima	34.64 m
Arnotecimento	0.46
Precipitação Total Pontual	28.875 cm
Precipitação Total Area	19.79 cm
Precipitação Efetiva	12.33 cm
Infiltração	5.77 cm
Retenção Inicial	1.69 cm
Volume Total Escoado	83 hm3



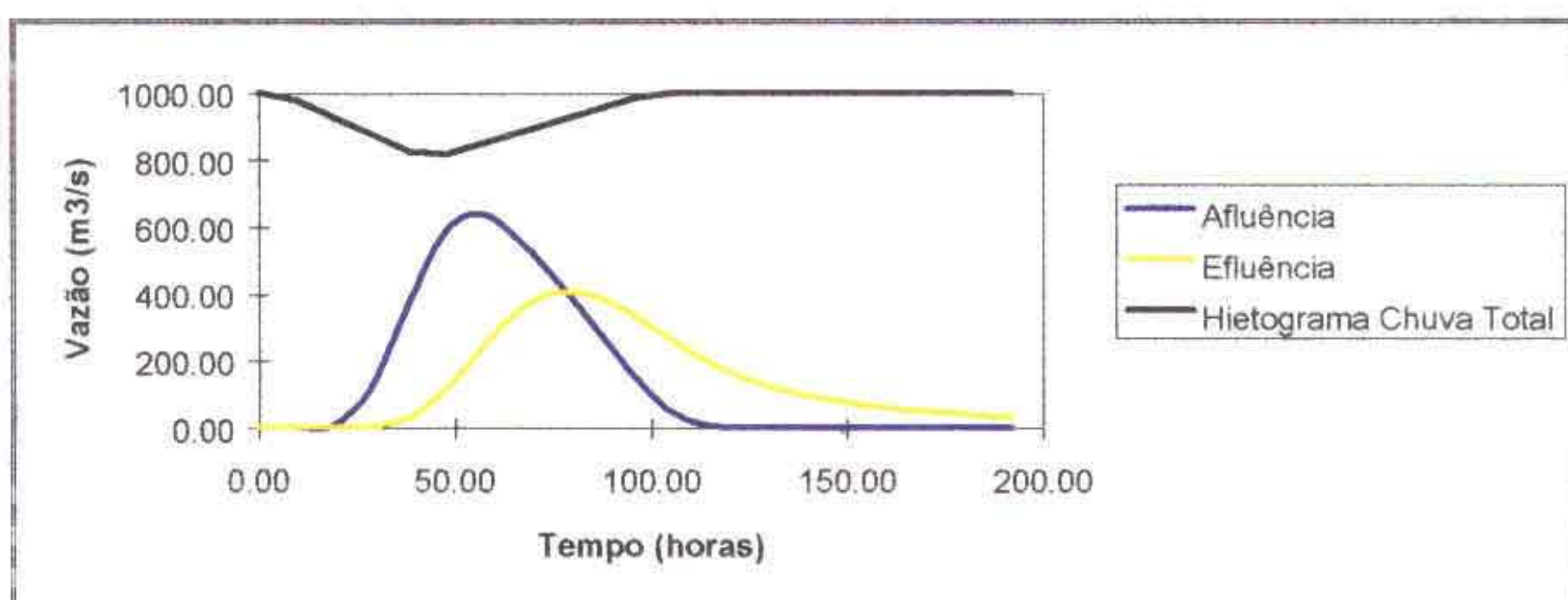
Tr 1.000 duração 3 dias Creager 60

Vazão Máxima Afluente	777.47	m3/s
Vazão Máxima Efluente	438.88	m3/s
Armazenamento Máximo	130.27	hm3
Lâmina Máxima	2.24	m
Cota Máxima	34.74	m
Arnotecimento	0.56	
Precipitação Total Pontual	35.2	cm
Precipitação Total Area	24.13	cm
Precipitação Efetiva	16.29	cm
Infiltração	6.15	cm
Retenção Inicial	1.69	cm
Volume Total Escoado	110	hm3



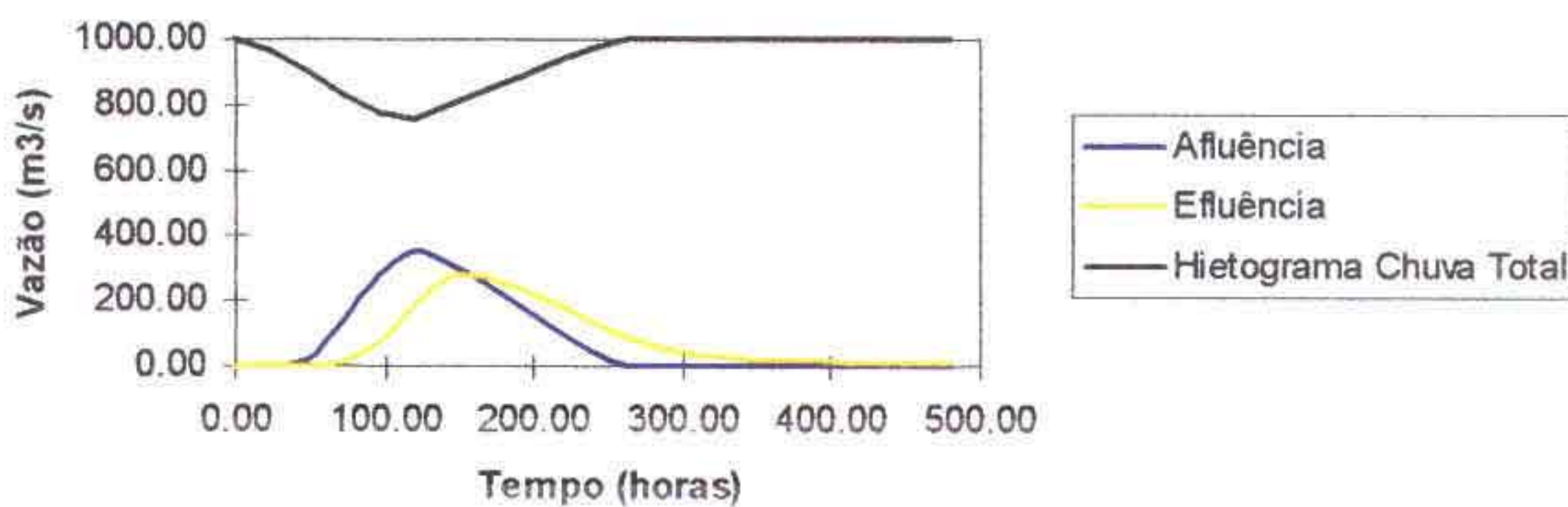
Tr 1.000 duração 4 dias Creager 60

Vazão Máxima Afluente	636.34 m ³ /s
Vazão Máxima Efluente	404.17 m ³ /s
Armazenamento Máximo	128.27 hm ³
Lâmina Máxima	2.12 m
Cota Máxima	34.62 m
Arnotecimento	0.64
Precipitação Total Pontual	36.7 cm
Precipitação Total Area	25.16 cm
Precipitação Efetiva	17.24 cm
Infiltração	6.22 cm
Retenção Inicial	1.69 cm
Volume Total Escoado	116 hm ³



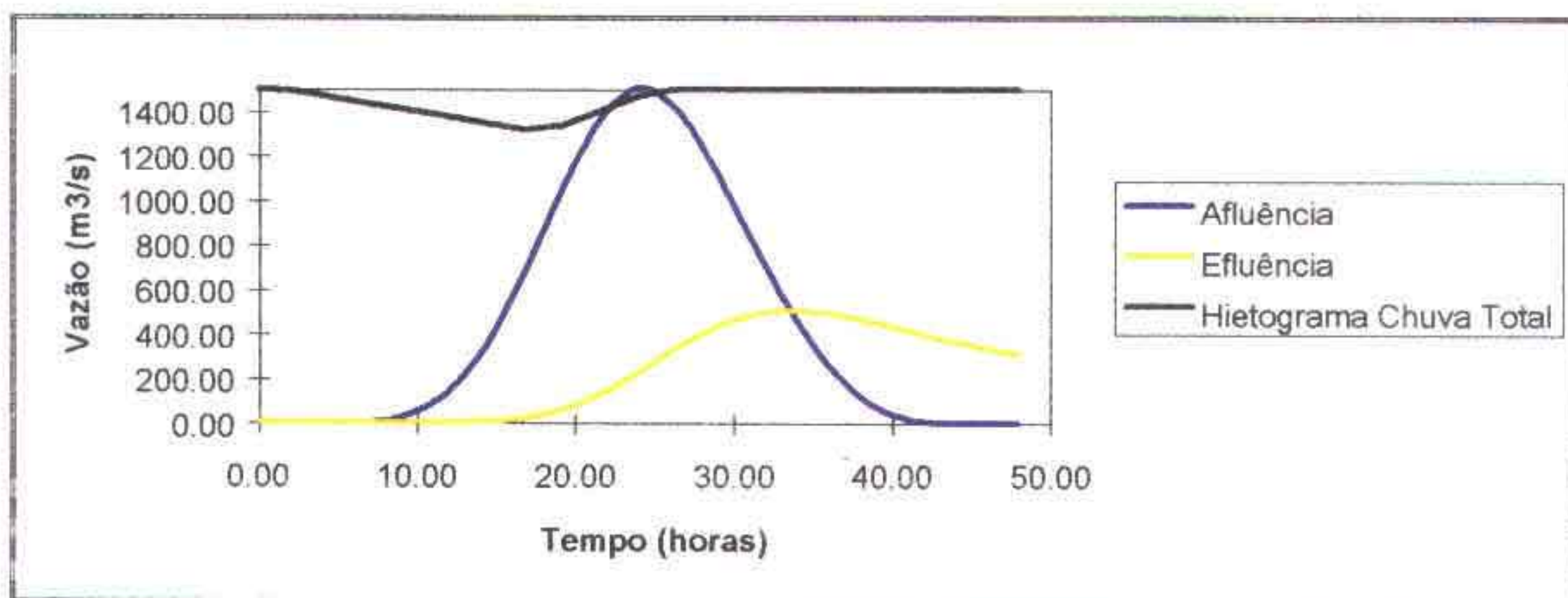
Tr 1.000 duração 10 dias Creager 60

Vazão Máxima Afluente	350.33 m ³ /s
Vazão Máxima Efluente	276.07 m ³ /s
Armazenamento Máximo	121.75 hm ³
Lâmina Máxima	1.65 M
Cota Máxima	34.15 m
Arnotecimento	0.79
Precipitação Total	48.2 cm
Pontual	
Precipitação Total Area	33.04 cm
Precipitação Efetiva	24.68 cm
Infiltração	6.67 cm
Retenção Inicial	1.69 cm
Volume Total Escoado	166 hm ³



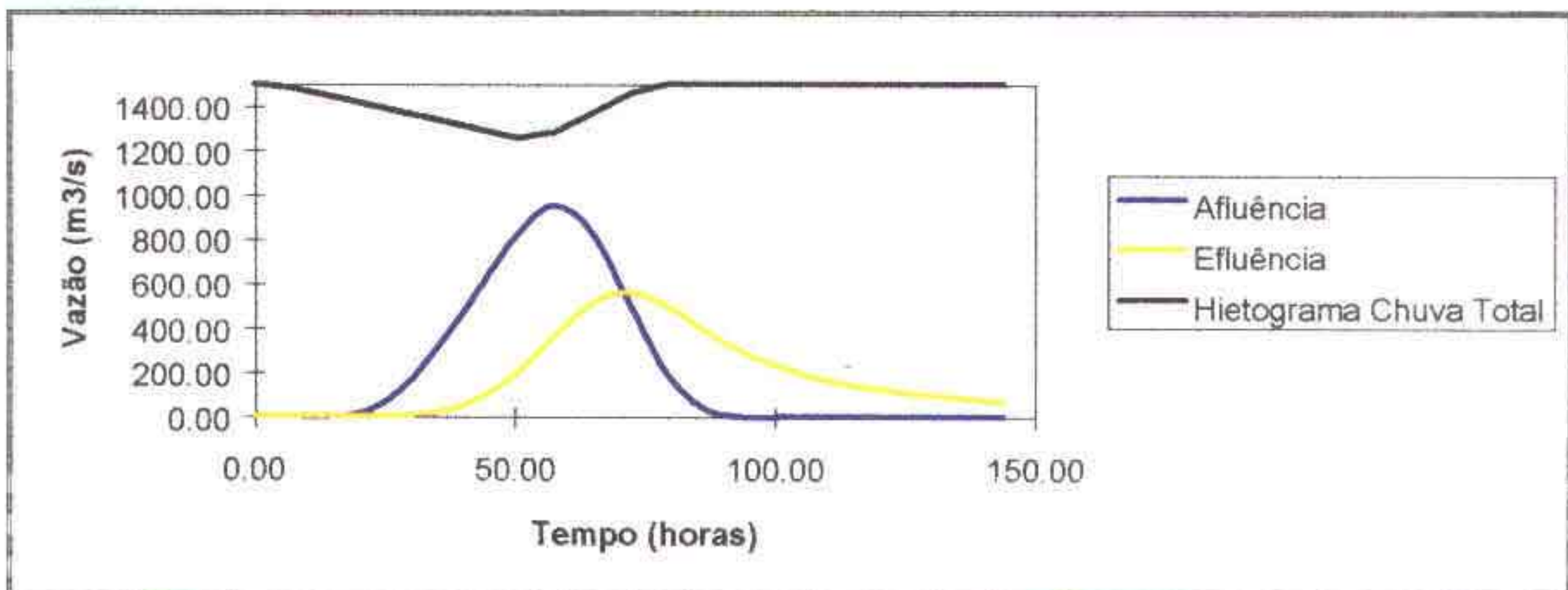
tr 10.000 duração 1 dia Creager 60

Vazão Máxima Afluente	1504.53 m ³ /s
Vazão Máxima Efluente	505.66 m ³ /s
Armazenamento Máximo	133.88 hm ³
Lâmina Máxima	2.46 m
Cota Máxima	34.96 m
Arnotecimento	0.34
Precipitação Total Pontual	28.71 cm
Precipitação Total Area	19.68 cm
Precipitação Efetiva	12.23 cm
Infiltração	5.76 cm
Retenção Inicial	1.69 cm
Volume Total Escoado	82 hm ³



Tr 10.000 duração 3 dias Creager 60

Vazão Máxima Afluente	950.56	m ³ /s
Vazão Máxima Efluente	560.00	m ³ /s
Armazenamento Máximo	139.45	hm ³
Lâmina Máxima	2.64	m
Cota Máxima	35.14	m
Arnotecimento	0.59	
Precipitação Total Pontal	38.3	cm
Precipitação Total Area	26.25	cm
Precipitação Efetiva	18.26	cm
Infiltração	6.30	cm
Retenção Inicial	1.69	cm
Volume Total Escoado	123	hm ³





6. DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

6. DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

6.1 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.

Hidrologicamente, os objetivos centrais deste capítulo são

- 1 análise incremental do ganho em volume regularizado em relação ao aumento da capacidade para a Barragem Itauna,
- 2 estimativa das perdas por evaporação e sangria da Barragem Itauna

O traçado das curvas de regulação, inclui volumes evaporado (E), liberado (M) e sangrado (S) versus capacidade (K) e dM/dK versus K

6.2 METODOLOGIA

Na determinação das curvas de regulação do reservatório foi utilizado dois métodos, a saber:

- OPERA - PERH, 1992 ;
- solução direta da equação de balanço hídrico³,
- Diagrama Triangular de Regularização⁷

⁷ CAMPOS, J N B 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMI-TENTES TESE PARA CONCURSO DE PROF TITULAR UFC

6.2.1 Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico

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

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

com

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

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

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 hidrográfica por

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

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)⁸, 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

$$\begin{aligned} Z_Y &= Z_\tau + I_\tau & p / Z_\tau + I_\tau \leq K \\ Z_Y &= K & \text{caso contrário} \end{aligned}$$

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

onde Z_Y é o volume armazenado no final da estação e D_S o volume sangrado no ano τ .

- 4 Calcula-se o volume no fim da estação seca (início do próximo ano) por
 - a) divide-se M e E em L partes (no caso $L=6$),

- b) retirada da reserva, se disponível, de M/L

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

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

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

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

VOLUME UTILIZADO

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

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

⁸ CAMPOS, J N B 1990. REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMI-TENTES TESE PARA CONCURSO DE PROF TITULAR UFC

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

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

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

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

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

$$Z_3 = \alpha h_3^3$$

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 unidades. Caso afirmativo aceita-se o valor de M , caso contrário atribui-se novo valor de M e retorna-se a 1

6.2.2 O Diagrama Triangular de Regularização

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

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

onde ΣI , ΣM , ΣS , ΣE 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

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

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)⁹

6.2.3 Simulação com a Série Afluente do MODHAC - Programa Opera

Devido a ocorrência de falhas em longos períodos de liberações de vazão, no PERH-CE (Plano Estadual de Recursos Hídricos - Ceará) estabeleceu-se o conceito de volume de alerta. Assim, na operação do reservatório, retira-se uma vazão Q_{90A} (vazão regularizada com 90% de garantia com volume de alerta) constante enquanto o volume do reservatório estiver acima do volume de alerta. Ao atingir o volume de alerta, retira-se uma vazão $Q_{emerg} < Q_{90A}$ (vazão regularizada com 90% de garantia considerado o volume de alerta) - a demanda de emergência, capaz de garantir o fornecimento em grande parcela dos períodos considerados como secos. Aqui pretendeu-se que esta demanda de emergência fosse atendida em 80% do tempo. A representação deste volumes encontra-se esquematicamente representada na Figura 6.1 abaixo.

⁹ CAMPOS, J. N. B. 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMITENTES. TESE PARA CONCURSO DE PROF. TITULAR. UFC.

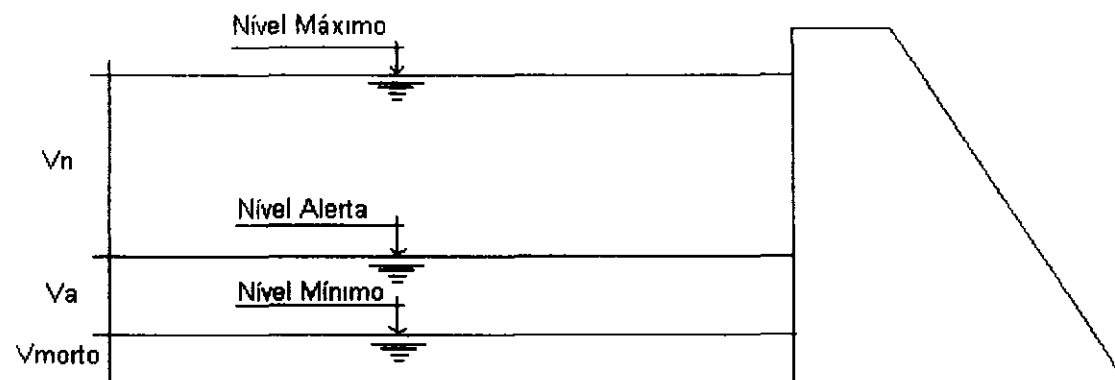


Figura 6.1 - Representação Esquemática dos Níveis Operacionais

Ainda segundo o PERH-CE, adotou-se que o fornecimento desta vazão de emergência se dá em 80% do total do período seco (onde ocorrem as falhas). Foi realizada uma operação com uma demanda de emergência igual a 50% de Q_{90} .

6.3 RESULTADOS

As características do escoamento estabelecidas no estudo de deflúvios pelo uso do MODHAC, parte do TOMO I - ESTUDOS BÁSICOS, VOLUME 1 - Estudos Hidroclimatológicos, foram utilizadas aqui para a geração de séries sintéticas de vazão, a saber.

- lâmina média escoada: 281,39 mm
- volume afluyente médio escoado (μ): 217,04 hm³
- coeficiente de variação (CV): 0,94

No caso do coeficiente de variação foi adotado o valor de 0,90

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,

$$\alpha = 38973,72$$

$$E = 1150,01 \text{ mm}$$

$$f_E = \frac{3 \alpha^{1/3} E}{\mu^{1/3}} \quad f_E = 0,19$$

Com base nestes valores utilizou-se a solução direta da equação do balanço hídrico para o estudo incremental de capacidades do açude Itaúna. No Quadro 6.1 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de f_K . A figura 6.1 apresenta as curvas de regulação para o reservatório, que nada mais é que a representação gráfica dos valores apresentados no Quadro 6.1

Quadro 6.1 - Estudo incremental de capacidades do açude Itauna 90% de Garantia (CAMPOS, 1990)¹⁰

Cota M	K hm ³	$f_K = K/\mu$	%LIB	LIB hm ³ /ano	%EV	EV hm ³ /ano	%SG	SG hm ³ /ano	dM/dK	Q90 m ³ /s
30,0	31,400	0,14	10,5	22,260	2,9	6,232	86,6	183,735		0,751
30,5	37,200	0,17	11,4	24,244	3,5	7,43	85,1	180,554	0,342	0,815
31,0	43,040	0,20	11,7	25,910	3,9	8,550	84,4	186,220	0,285	0,860
31,5	51,700	0,24	13,5	28,614	4,8	10,125	81,7	173,451	0,312	0,956
32,0	60,44	0,28	14,4	31,688	5,2	11,446	80,5	177,501	0,332	1,046
32,5	68,94	0,32	15,6	34,423	5,8	12,725	78,6	173,488	0,322	1,134
33,5	88,54	0,41	18,3	40,357	7,0	15,468	74,7	164,750	0,303	1,324
34,5	113,84	0,52	21,9	48,400	8,4	18,521	69,7	153,626	0,318	1,585
35,5	140,24	0,65	25,7	56,630	9,7	21,323	64,7	142,569	0,312	1,857
36,5	164,64	0,76	29,1	64,079	10,7	23,604	60,2	132,816	0,305	2,107
37,0	177,84	0,82	30,7	67,574	11,3	24,831	58,1	128,046	0,265	2,225

LIB - VOLUME LIBERADO
EV - VOLUME EVAPORADO

SG - VOLUME SANGRADO

¹⁰ CAMPOS J N B 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMI-TENTES TESE PARA CONCURSO DE PROF. TITULAR UFC

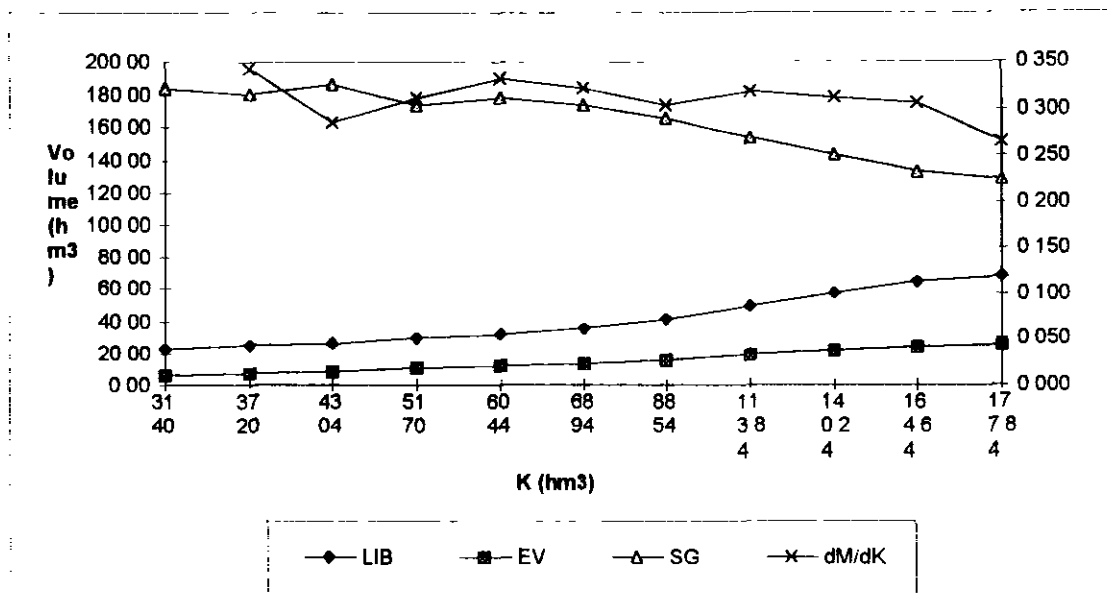


Figura 6 1 - Curvas de Regulação do Reservatório Itauna

Utilizando-se o método do Diagrama Triangular de Regularização com $f_E = 0,19$, $f_K = 0,32$ (cota da soleira = 32,5 m) e $CV = 0,90$, obtém-se um volume de 39,066 hm³ regularizado anualmente, ou em termos de vazão, $Q_{90} = 1,239$ m³/s. Este valor está bem próximo ao valor obtido pela solução direta da equação do balanço hídrico (Quadro 6 1). A figura 6 2 apresenta o Diagrama Triangular ($CV = 0,90$) e nele o caso da Barragem Itaúna.

Alternativamente aos dois métodos acima, foi utilizada a série gerada pelo MODHAC para obtenção da vazão regularizada com 90% de garantia a partir do uso do programa OPERA, o qual utiliza a regra de operação do PERH, 1992. Os resultados destas simulações estão sumarizados no Quadro 6 2 abaixo. Os resultados obtidos para a garantia de 90% são próximos aos obtidos pela solução direta do balanço hídrico.

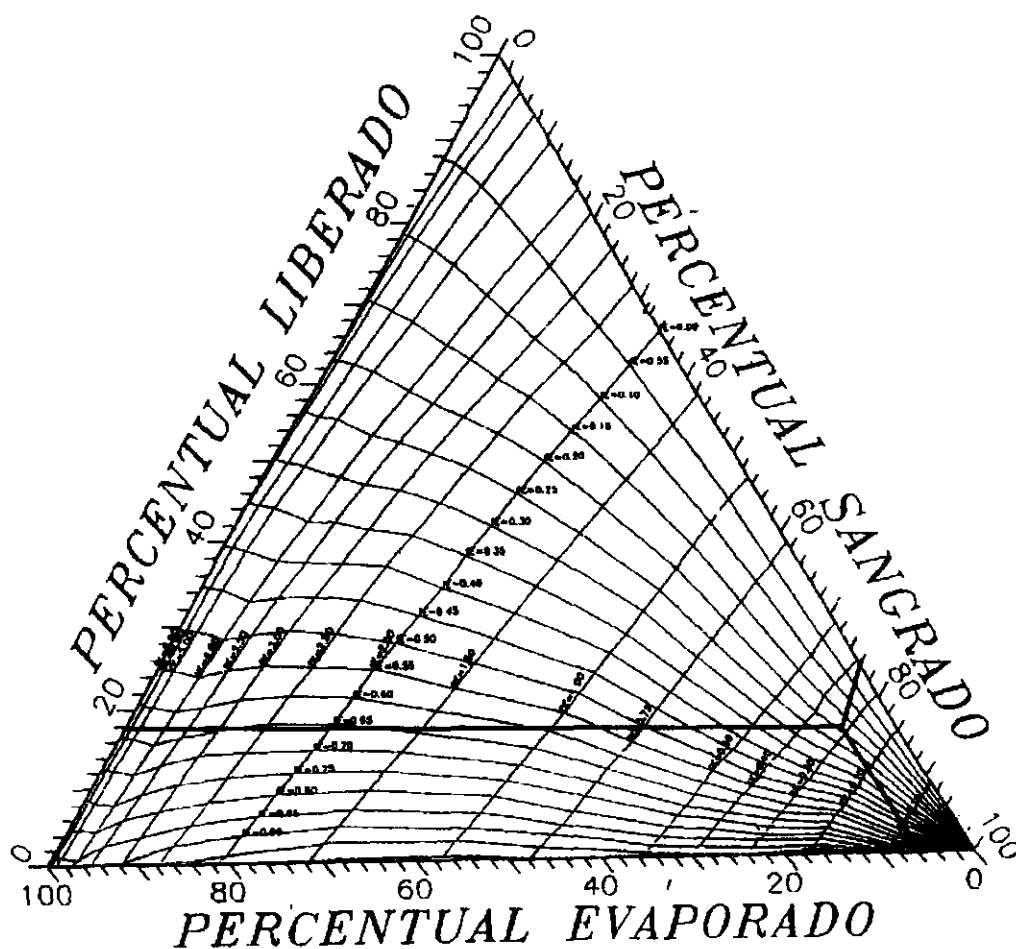


Figura 6 2 - Diagrama Triangular de Regularização para CV = 0,90 Açude Itaúna

Quadro 6 2 - Estudo incremental de capacidades do Reservatório Itauna (OPERA)

90% de Garantia

COTA (m)	VOL MAX (hm ³)	VOL UTIL (hm ³)	VOL ALERTA (hm ³)	Q ₉₀ A (m ³ /s)
31,0	51,600	43,040	29,004	0,585
32,0	69,000	60,440	35,758	0,817
32,5	77,500	68,940	39,583	0,895
33,5	97,100	88,540	46,190	1,098
34,5	122,400	113,840	56,942	1,346
35,5	148,800	140,240	64,656	1,663
36,5	173,200	164,640	70,300	1,965
37,0	186,400	177,840	75,250	2,129

Q₉₀A - vazão regularizada com 90% de garantia com volume de alerta

A determinação do tamanho do reservatório não foi realizada unicamente com base na eficiência hidrológica, mas também tendo como base o custo total da barragem.

Para as diversas cotas determinou-se a melhor opção de configuração maciço/sangradouro. Associou-se a cada cota um custo total correspondente da obra. A partir dos pares (cotas,custo) foi encontrado o custo do m³ regularizado anualmente com 90% de garantia. O Quadro 6 3 apresenta o sumário da análise de custo para a garantia de 90% e a Figura 6 4 mostra a respectiva curva custo/volume regularizado com 90% de garantia em função da cota adotada

A interpretação dos dados sobre a eficiência hidrológica do reservatório juntamente com a análise de custo da barragem por volume regularizado anualmente (90% de garantia) sugerem como cota da soleira do sangradouro a cota 32,50m, o que corresponde a um volume máximo de 77,50 hm³

Quadro 6 3 - Custo total da barragem por volume regularizado anualmente com 90% de garantia

Alternativa	Cota máxima (m)	Regularização		Custo total (\$R)	Custo do volume regularizado anual (\$R/m3)
		(m3/s)	(hm3/ano)		
A	31,00	0,880	28,749	1000000,00	0,037
B	32,00	1,046	32,535	1000000,00	0,031
C	32,50	1,134	35,272	1000000,00	0,028
D	33,50	1,324	41,182	1000000,00	0,024
E	34,50	1,585	49,300	1000000,00	0,020
F	35,50	1,857	57,760	1000000,00	0,017

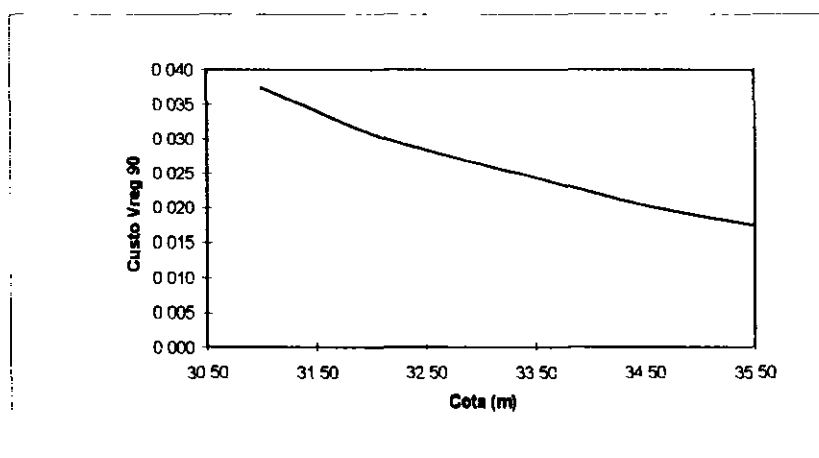


Figura 6 4 - Custo/Volume regularizado com 90% de garantia x Cota Máxima de Armazenamento

A figura 6.5 apresenta a curva cota-área-volume do reservatório Itauna

000092

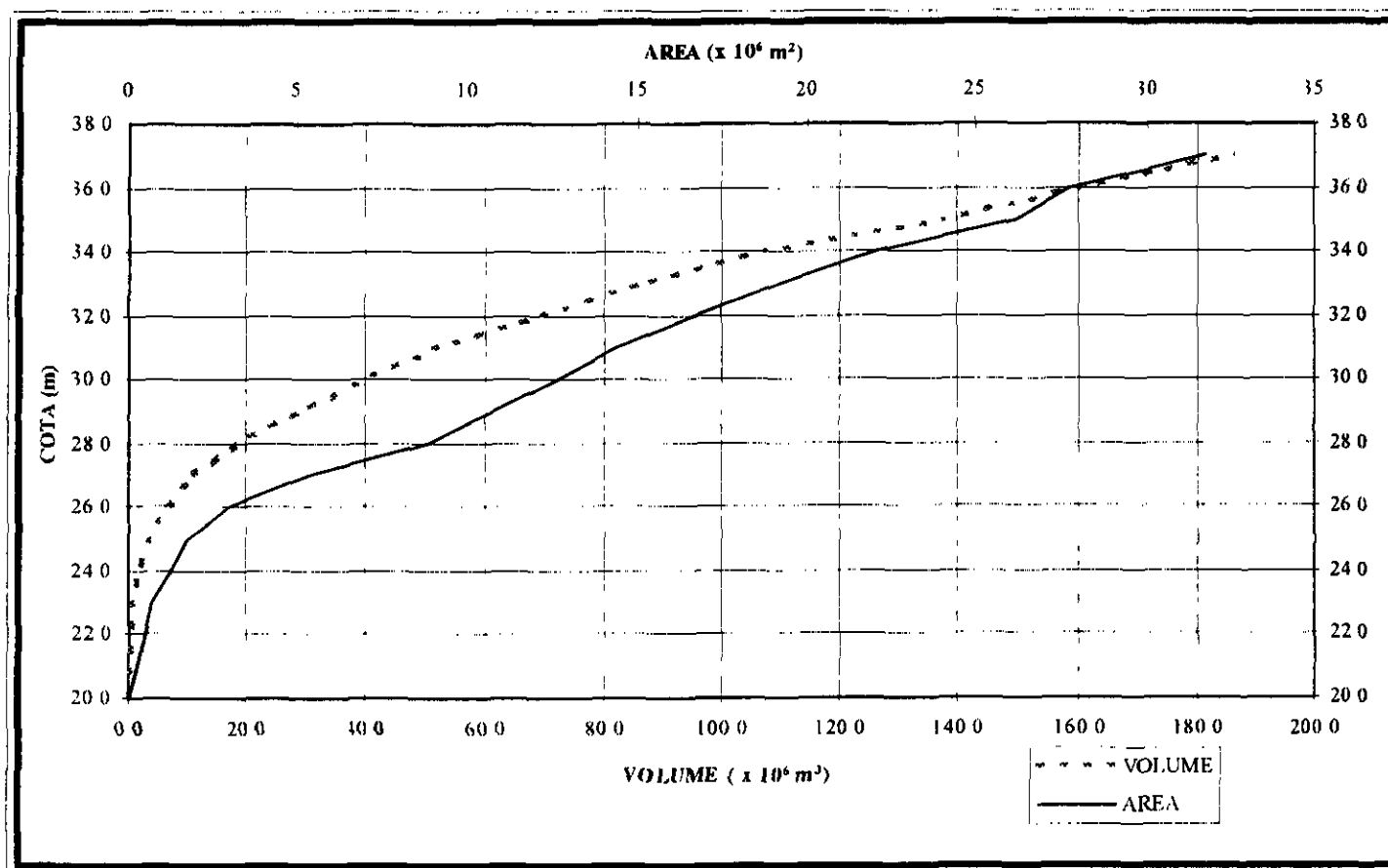


Figura 6.5 - Curva cota-área-volume do reservatório Itauna

000093



7. DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO

7. DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO

Uma vez realizado o dimensionamento do reservatório com base nos estudos hidrológicos e econômicos 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 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

7.1 PROPAGAÇÃO DA CHEIA NO RESERVATÓRIO

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

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

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

Conhecendo-se a função $Q=f(\Sigma)$, constroi-se uma função $Q=\eta(Q+2\Sigma/\Delta\tau)$, 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 $(Q_{\tau-1} + 2 \Sigma_{\tau-1}/\Delta\tau)$ é possível obter $Q_{\tau+1}$ através de $Q=\eta(Q+2\Sigma/\Delta\tau)$ e $\Sigma_{\tau-1}$ através de $\Sigma_{\tau+1} = \phi-1(Q_{\tau-1})$,
- 4 repete-se 2 e 3 para todos intervalos de cálculo

Para determinar a curva que relaciona vazão e armazenamento faz-se uso de duas funções no caso da alternativa de sangradouro escavado em rocha

$$Z = \alpha \Sigma^\beta \quad \text{e} \quad Q = C L (Z - Z_\omega)^\kappa$$

onde Z = cota (m), S = armazenamento (m³), Q = vazão (m³/s), C = coeficiente de descarga, L = largura do sangradouro (m), Z_ω = cota da soleira do sangradouro e α, β são coeficientes obtidos por regressão. A relação lâmina x vazão de saída do sangradouro foi determinada pelo *Step method*, considerando-se um sangradouro escavado em rocha com comprimento de 240 m, declividade 0,0 m/m um Manning de 0,040 (canais em rochas escavadas por explosivos). Esta relação Vazão lâmina está apresentada no Quadro 7.1 abaixo, onde se verifica os pares Q/L e $(Z-Z_\omega)$. A partir destes valores foram determinados por otimização κ e C , utilizando-se como função objetivo o erro quadrado médio entre o par Q/L e o calculado pela equação

$$Q = C L (Z - Z_\omega)^\kappa$$

Assim, a equação para o sangradouro escavado em rocha ficou

$$Q = 0,75 L (Z - Z_w)^{1,98}$$

Quadro 7 1 - Relação Vazão por unidade de largura x Altura para a opção do Itauna sangradouro escavado em rocha $\Sigma_0 = 0$ (Declividade)

Q/L (m ³ /s/m)	Lâmina (m)
0,5	0,84
1,0	1,17
2,0	1,64
3,0	2,01
4,0	2,32
5,0	2,60
5,5	2,72
6,0	2,85
6,5	2,97
7,0	3,08
7,5	3,19

No caso de sangradouro em perfil Creager foi adotado um coeficiente de descarga igual 2,18, ficando a equação que descreve a relação descarga versus altura

$$Q = 2,18 L (Z - Z_w)^{1,5}$$

.2 - Resultados

Uma vez escolhida a dimensão do açude, elaborou-se os estudos de laminação para a cheia de 1 000 anos, para dimensionamento do sangradouro, e para a cheia de 10 000 anos, visando garantir que a barragem não seja galgada nesta cheia, servindo assim para a definição da cota de coroamento da barragem

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 7.1 para várias alternativas da barragem, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1 000 e 10 000 anos. As figuras 7.1 abaixo mostra, para o tempo de retorno $T_r=1000$ anos, o hidrograma de projeto, o hidrograma de entrada e os de saída ao reservatório Itauna, sendo os de saída correspondentes as várias larguras de sangradouro em perfil creager

Quadro 7.1 - Resultado da simulação acima descrita para as opções de Sangradouro escavado em rocha e em perfil Creager

L (m)	Q_{out} (m ³ /s)	Cota (m)	Lâmina (m)
Tr = 1.000 anos - $Q_{in} = 1332,63$ m³/s			
Escavado em rocha : $Z_w = 30,0$ m			
60	360.45	32.86	2.86
80	430.41	32.70	2.70
100	484.37	32.58	2.58
120	539.85	32.47	2.47
Perfil Creager : $Z_w = 31,0$ m			
60	441.87	33.25	2.25
80	532.55	33.10	2.10

100	608 80	32 98	1 98
120	666 00	32 86	1 86
Perfil Creager : $Z_w = 32,0$ m			
60	395 94	34 09	2 09
80	486 69	33.98	1.98
100	554 63	33 86	1 86
120	614.37	33 76	1 76
Perfil Creager : $Z_w = 32,5$ m			
60	349 22	34 42	1 92
80	429 49	34 32	1 82
100	499 15	34 24	1 74
120	561.03	34 16	1.66
$Tr = 10.000$ anos - $Q_{in} = 1924,89$ m³/s			
Perfil Creager : $Z_w = 32,5$ m			
60	519 76	35.01	2.51
80	632.04	34.86	2.36
100	730.64	34.74	2.24
120	816.38	34.63	2 13

L = Largura do Sangradouro Z_w = cota da soleira do sangradouro

Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

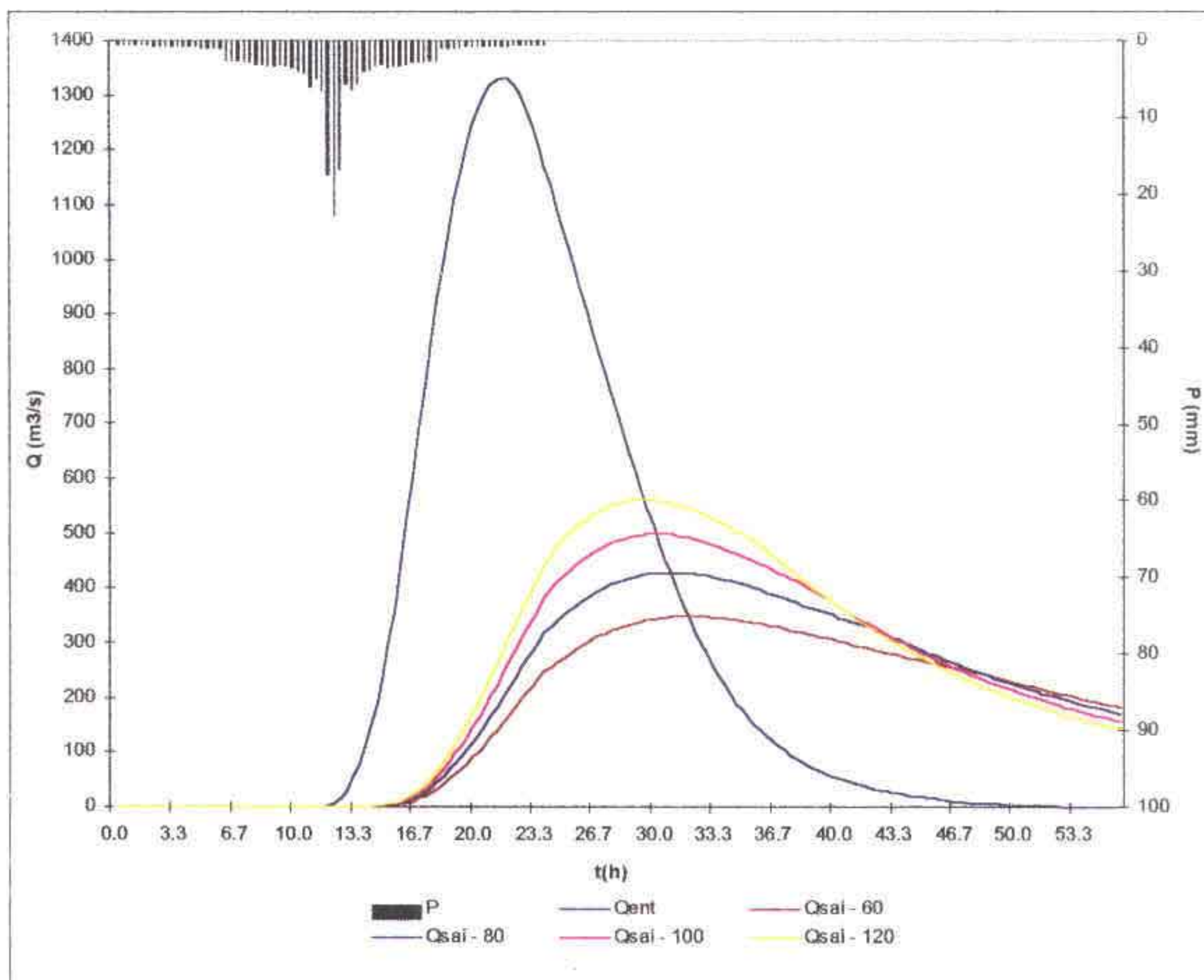


Figura 7.1 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Itauna ($Tr=1.000$ anos) - Perfil Creager. Largura do Sangradouro: 60 - 120m - Cota 32,5 m.

Verificou-se, utilizando novamente o modelo HEC-1, o galgamento da barragem para o hietograma de 10.000 anos, obtendo-se para os hidrogramas de entrada e saída associados respectivamente os valores apresentados no Quadro 7.1. A figura 7.2 abaixo mostra, para o tempo de retorno $Tr=10.000$ anos, o hietograma de projeto, o hidrograma de entrada e os de saída ao reservatório Itauna, sendo os de saída correspondentes as várias larguras de sangradouro em perfil creager.

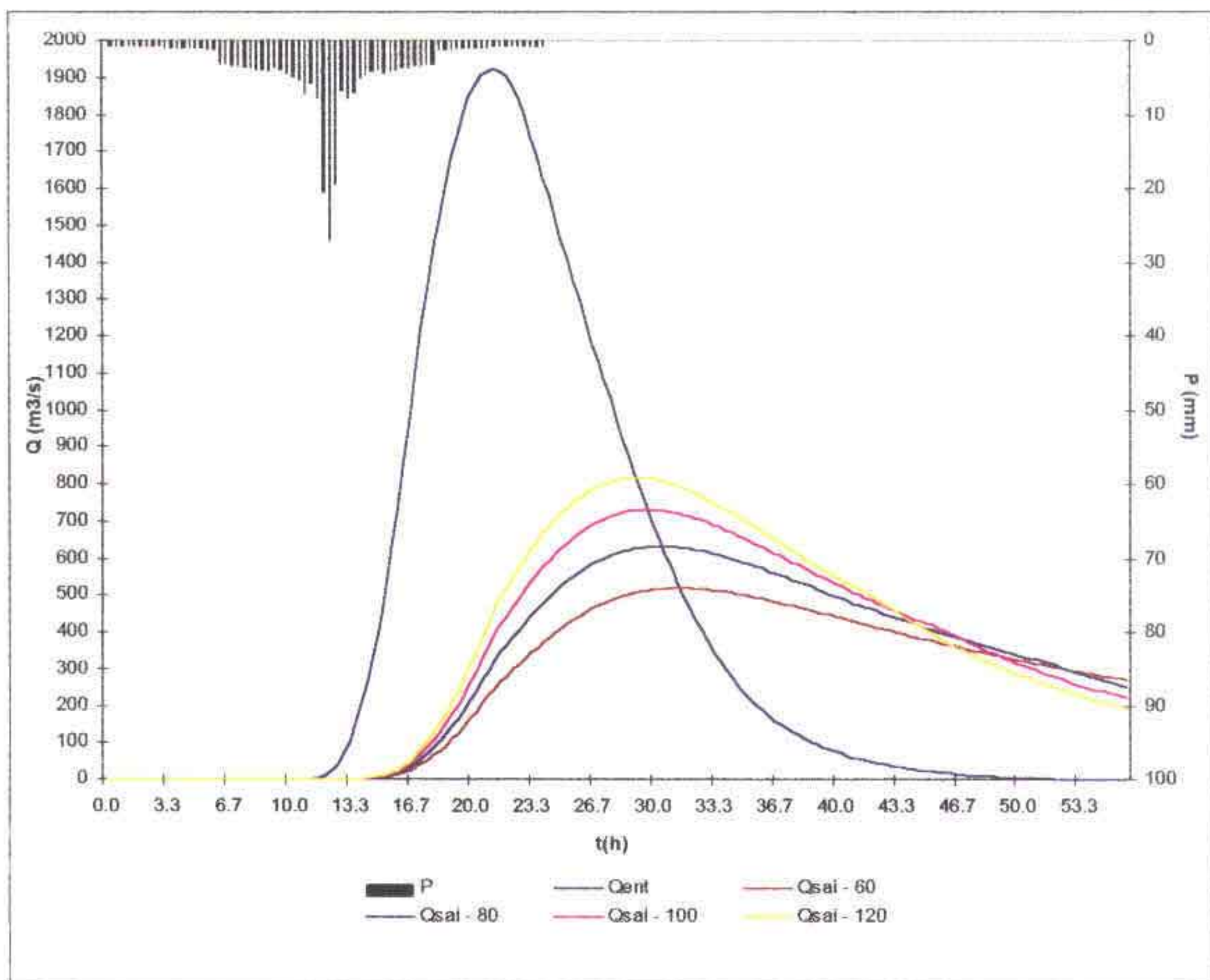


Figura 7.2 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Itauna ($T_r=10.000$ anos) - Perfil Creager, Largura do Sangradouro: 60 - 120 m - Cota 32,5 m.



8. ESTUDOS ADICIONAIS

8. ESTUDOS ADICIONAIS

8.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta estudos adicionais visando fornecer características do reservatório durante a fase de operação, sendo estudado

- a probabilidade de enchimento do reservatório na fase transiente,
- a probabilidade de esvaziamento do reservatório na fase de equilíbrio,
- a probabilidade de extravazamento do reservatório na fase de equilíbrio

8.2 ESTUDO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

O estudo da disponibilidade hídrica do reservatório Itauna compreende o estudo das probabilidades de enchimento, esvaziamento e extravazamento do reservatório. Este estudo pode ser realizado diante duas óticas: na fase transiente, quando essa probabilidade depende do volume inicial do reservatório, na fase de equilíbrio, quando o processo estocástico de armazenamento torna-se ergódico. A metodologia aqui empregada tem suporte teórico na teoria estocástica de reservatórios ou Teoria de Moran¹¹, apresentando como novidade a inclusão da matriz de evaporação para considerar as perdas por este processo - método de CAMPOS (1990).

As etapas de cálculo destas probabilidades para um reservatório de uma *determinada capacidade e retirada são descritas a seguir*

¹¹ MORAN, P. A. P. 1959. THE THEORY OF STORAGE. LONDON: METHUEN & CO. LTD. 111 p.

1 dividir o volume total do reservatório K, por 20, definindo 21 estados que podem ser atingidos pela reserva. A representação gráfica do espaço de definição destes estados de reserva é apresentada na figura 8.1 e no Quadro 8.1

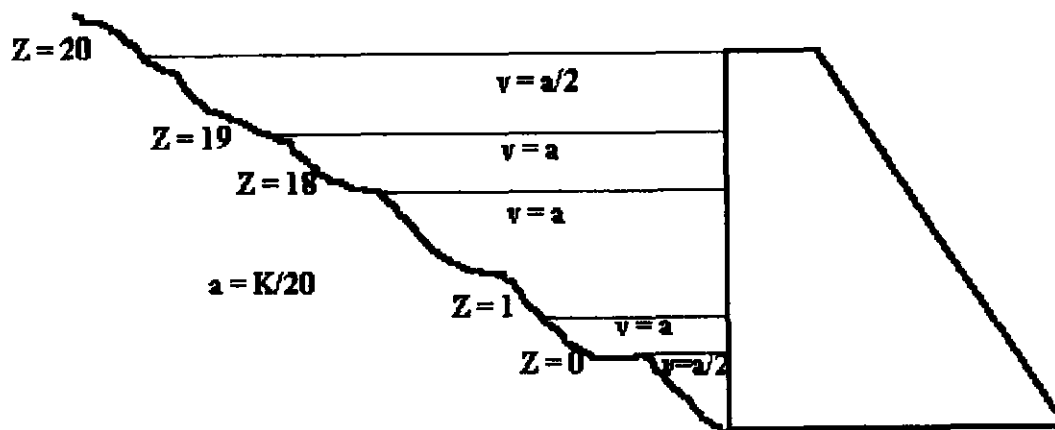


Figura 8.1 - Espaço de definição dos estados de reserva

Quadro 8.1 - Limite, em volume, dos estados de reserva

NÚMERO DO ESTADO (z)	LIMITES DE ARMAZENAMENTO	ARMAZENAMENTO NO ESTADO (z)
0	$0 < z \leq (1/2) a$	$z = \text{seco}$
1	$(1/2) a < z \leq (3/2) a$	$z = a$
2	$(3/2) a < z \leq (5/2) a$	$z = 2 a$
n-1	$(n-3/2) a < z \leq (n-1/2) a$	$z = (n-1) a$
n	$(n-1/2) a < z \leq K$	$z = \text{cheio}$

2. Calcular a matriz de transição de probabilidades devido aos deflúvios anuais [W]. Supõe-se que os deflúvios seguem uma distribuição Gamma de dois parâmetros na estação úmida e com uma massa de probabilidades para a estação seca.
3. Calcular a matriz de transição de probabilidades devido à metade da evaporação (E), supondo que a relação cota x área x volume é determinada por

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

onde h - altura do espelho d'água; α - fator de forma (obtido por regressão entre z e h³), A - área do espelho d'água a altura h e V - volume acumulado a altura h

4. Calcular a matriz de transição de probabilidades para uma retirada anual de M unidades de água [M];

5 Calcular a matriz de transição de probabilidade anual através do produto das matrizes parciais

$$[Q] = [E] [M] [E] [W]$$

6 Formar o sistema de equações para determinar a probabilidade de interesse

$$q_{00} \cdot \pi_0 + q_{01} \pi_1 + \dots + q_{0N} \pi_N = \pi_0$$

$$q_{10} \cdot \pi_0 + q_{11} \cdot \pi_1 + \dots + q_{1N} \pi_N = \pi_1$$

$$q_{N0} \pi_0 + q_{N1} \pi_1 + \dots + q_{NN} \pi_N = \pi_N$$

onde q_{ij} = probabilidade da reserva passar do estado i ao j em um ano e π_i = probabilidade da reserva atingir o estado i em condições de equilíbrio. Como o sistema acima não é homogêneo, uma de suas equações deve ser substituída por

$$\pi_0 + \pi_1 + \dots + \pi_N = 1$$

7 Resolver o sistema acima e calcular π_0 e π_N , respectivamente, a probabilidade do reservatório estar seco e cheio em condições de equilíbrio

Através desta metodologia foram determinadas as curvas de probabilidade de enchimento do reservatório (inicialmente seco) na fase transiente considerando as retiradas de 0, $Qr90 / 4$, $Qr90 / 2$, $3 Qr90 / 4$ e $Qr90$ (Quadro 8 2) Como pode-se observar pela figura 8 2, a retirada de $Qr90$ ao atingir o equilíbrio tem uma garantia de um pouco inferior de 90%, valor compatível com os resultados anteriores (volume anual regularizado com 90% de garantia) Na figura 8.2 apresenta-se as curvas de garantia para as retiradas de 0, $Qr90 / 4$, $Qr90 / 2$, $3 Qr90 / 4$ e $Qr90$

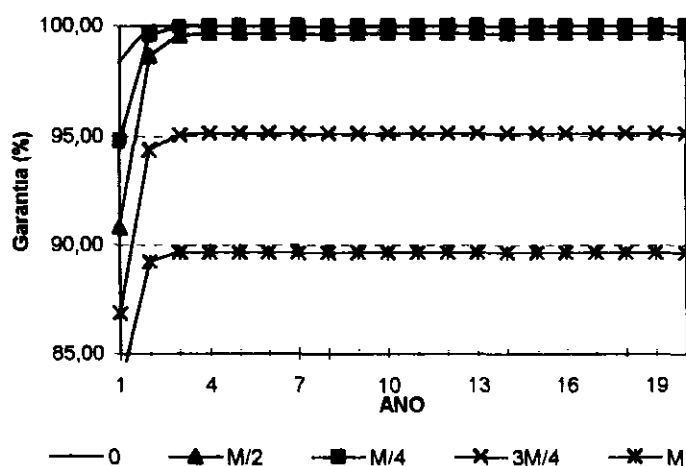


Figura 8 2 - Análise Probabilística da Garantia do Reservatório - fase transiente
M= $Qr90$

Quadro 8.2 - Análise Probabilística do Enchimento do Reservatório na Fase Transiente Reservatório inicialmente seco

ANO	RETIRADA (M = Q90)				
	0	M/4	M/2	3M/4	M
1	98,35	94,76	90,78	86,85	83,59
2	99,95	99,55	98,62	94,37	89,25
3	100,00*	99,95	99,52	95,05	89,65
4	100,00	99,99	99,63	95,12*	89,68*
5	100,00	100,00*	99,65*	95,12	89,68
6	100,00	100,00	99,65	95,12	89,68
7	100,00	100,00	99,65	95,12	89,68
8	100,00	100,00	99,65	95,12	89,68
9	100,00	100,00	99,65	95,12	89,68
10	100,00	100,00	99,65	95,12	89,68
11	100,00	100,00	99,65	95,12	89,68
12	100,00	100,00	99,65	95,12	89,68
13	100,00	100,00	99,65	95,12	89,68
14	100,00	100,00	99,65	95,12	89,68
15	100,00	100,00	99,65	95,12	89,68
16	100,00	100,00	99,65	95,12	89,68
17	100,00	100,00	99,65	95,12	89,68
18	100,00	100,00	99,65	95,12	89,68
19	100,00	100,00	99,65	95,12	89,68
20	100,00	100,00	99,65	95,12	89,68

M = Retirada anual (hm³)

* início do estado de equilíbrio (independência das condições iniciais)

Também foi realizada a análise probabilística de esvaziamento e de enchimento na fase de equilíbrio. A última análise mostra que, em equilíbrio, cerca de 82% dos anos ocorrem sangria para uma retirada anual de 35,750 hm³. A figura 8.3 apresenta as duas curvas probabilísticas (esvaziamento e enchimento), enquanto que o Quadro 8.3 os seus valores correspondentes. No Quadro 8.3 pode-se observar que para uma retirada igual a 35.750 hm³/ano tem-se uma probabilidade de esvaziamento na fase de equilíbrio igual a 10%, o que implica em uma garantia próxima a 90%.

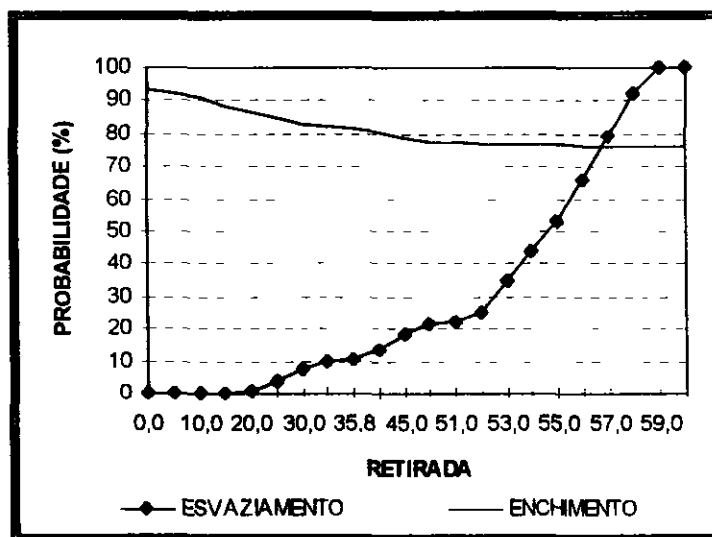


Figura 8.3 - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio

Quadro 8 3 - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio

RETIRADA	ESVAZIAMENTO	ENCHIMENTO
0,00	0,0	93,3
5,00	0,0	91,9
10,00	0,0	90,6
15,00	0,1	88,6
20,00	0,7	86,6
25,00	3,6	84,6
30,00	7,2	82,8
35,00	9,8	82,1
35,75	10,3	81,8
40,00	13,7	80,4
45,00	18,0	78,9
50,00	21,3	77,4
51,00	21,9	77,2
52,00	25,1	76,9
53,00	34,5	76,8
54,00	43,9	76,7
55,00	53,2	76,6
56,00	65,9	76,4
57,00	79,0	76,3
58,00	92,2	76,1
59,00	100,0	76,0
60,00	100,0	76,0



8.3 INTERFERÊNCIA COM OUTROS AÇUDES EXISTENTES

A bacia do Timonha, de acordo com o levantamento realizado pelo Plano Estadual dos Recursos Hídricos, possui um nível de açudagem que pode ser considerado o menor do Estado. A lâmina regionalizada dos açudes a montante do boqueirão Itauna foi menor do que 5mm, e, portanto, classificada como desprezível.