

GOVERNO DO ESTADO



**CEARÁ**

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**

# **PROJETO EXECUTIVO BÁSICO DA BARRAGEM AMARELAS**

## **VOLUME II - RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICOS TOMO III - ESTUDOS HIDRÓLOGICOS**

**GHG**

**FORTALEZA  
ABRIL DE 2000**



## **Folha de Dados**

**IDGED:**

0242/02/03/B

**LOTE:**

2556

**AUTOR:**

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH; GHG

**TÍTULO:**

PROJETO BÁSICO DA BARRAGEM AMARELAS

**SUBTÍTULO:**

VOLUME II – RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICO; TOMO III ESTUDOS HIDROLÓGICOS

**ABRIL/2000**

FOLHA DE DADOS - GED/SRH

TIPO DE DOCUMENTO: PROJETO

Identidade GED: 024210210313

Lote: 02556

Nº de Registro: 0010026

Autores: SRH / GHG

Programa: \_\_\_\_\_

Título: Projeto Básico da Barragem Amarelas

Sub-Título 1: Relatório dos Estudos Básicos

Sub-Título 2: Estudos Hidrológicos

Nº de Páginas: 72 p

Volume: 2

Tomo: 3

Editor: GHG

Data de Publicação (mês/ano): Abrel / 2000

Local de Publicação: Fortaleza

Localização da Obra

Tipo de Empreendimento:

<input type="checkbox"/> Barragem	<input type="checkbox"/> Açude	<input type="checkbox"/> Adutora	<input checked="" type="checkbox"/> Canal / Eixo de Transp.	<input type="checkbox"/> Outro
Rio / Riacho Barrado: _____		Fonte Hídrica: <u>Rio Pirangi</u>		

Bacia: Baixo Jaguaribe

Sub-bacia: \_\_\_\_\_

Municípios: Fortim

Distrito: \_\_\_\_\_

Microregião: litorânea de Aracati

Estado: Ceará

GOVERNO DO ESTADO



# PROJETO BÁSICO DA BARRAGEM AMARELAS

## VOLUME II - RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICOS TOMO III - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Lote: 02556 - Prep (X) Scan ( ) Index ( )  
Projeto Nº 0242/02/03/B  
Volume 1  
Qtd A4 \_\_\_\_\_ Qtd A3 \_\_\_\_\_  
Qtd A2 \_\_\_\_\_ Qtd A1 \_\_\_\_\_  
Qtd A0 \_\_\_\_\_ Outros \_\_\_\_\_

0242/02/03/B  
ex. 3

GHG

FORTALEZA  
ABRIL/2000

GOVERNO DO ESTADO



# **PROJETO BÁSICO DA BARRAGEM AMARELAS**

## **VOLUME II - RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICOS**

### **TOMO III - ESTUDOS HIDROLÓGICOS**



000503

FORTALEZA  
ABRIL/2000



0242/02/03/B  
2000/0026  
B  
X 3

## APRESENTAÇÃO

000004

## APRESENTAÇÃO

A **GHG - Geologia de Engenharia Ltda.**, apresenta, a seguir, o **Projeto Básico da Barragem Amarelas**, no município de **Fortim**, no estado do Ceará, objeto do Contrato nº 040/98, firmado com a SRH - Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará

O referido projeto está apresentado nos seguintes documentos

- TOMO I - **Relatório dos Estudos Preliminares**
- TOMO II - **Relatório dos Estudos Básicos**
  - Volume I - Estudos Topográficos
  - Volume II - Estudos Geológicos e Geotécnicos
  - ~~Volume III - Estudos Hidrológicos~~
- TOMO III - **Relatório da Concepção Geral do Projeto**
- TOMO IV - **Relatório Geral**
  - Volume I - Descrição Geral do Projeto
  - Volume II - Memorial de Cálculo
  - Volume III - Especificações Técnicas e Orçamento
  - Volume IV - Desenhos
- TOMO V - **Relatório Síntese**

O presente relatório refere-se ao TOMO II - **Relatório de Estudos Básicos**  
Volume III - Estudos Hidrológicos

000005



## ÍNDICE

iii



## ÍNDICE

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>2</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>2 - CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 - Principais Parâmetros.....</b>	<b>10</b>
2 1 1 - Temperatura	10
2 1 2 - Umidade Relativa	11
2 1 3 - Insolação Média	12
2 1 5 - Precipitação Média	13
2 1 6 - Evapotranspiração potencial média	14
2 1 7 - Evaporação média	15
<b>2.2 - Balanço Hídrico.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 - Classificação do Clima.....</b>	<b>18</b>
2 3 1 - Classificação segundo Thornthwaite	18
<b>2.4 - Sinopse Climatológica.....</b>	<b>18</b>
<b>3 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 - Dados Utilizados.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 - Caracterização do Regime Pluviométrico.....</b>	<b>20</b>
3 2 1 - Nível Anual	20
3 2 2 - Nível Mensal	21
3 2 3 - Nível Diário	22
3 2 4 - Método das Isozonas (TORRICO,1975)	27
<b>4 - ESTUDO DE DEFLÚVIOS.....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 - Metodologia.....</b>	<b>31</b>
<b>4.2 - Resultados.....</b>	<b>34</b>
4 2 1 - Pluviometria média mensal	34
4 2 2 - Vazões médias observadas	37
<b>4.3 - Parâmetros do Modelo Chuva-Vazão.....</b>	<b>38</b>
<b>4.4 - Simulação da Série de Vazões.....</b>	<b>38</b>
<b>5 - ESTUDO DAS CHEIAS DE PROJETO.....</b>	<b>43</b>

<b>5.1 - Metodologia .....</b>	<b>44</b>
5 1 1 - Precipitação .....	45
5 1 2 - Precipitação Efetiva .....	47
5 1 3 - Distribuição dos Grupos de Solos Hidrológicos .....	50
5 1 4 - Hidrograma Unitário .....	50
<b>5.2 - Resultados.....</b>	<b>51</b>
<b>6 - DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO.....</b>	<b>53</b>
<b>6.1 - Introdução .....</b>	<b>54</b>
<b>6.2 - Metodologia .....</b>	<b>54</b>
6 2 1 - Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico .....	54
<b>6.3 - Resultados.....</b>	<b>57</b>
6 3 1 - Parâmetros utilizados .....	57
6 3 2 - Análise do reservatório Amarelas .....	57
<b>7 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO .....</b>	<b>60</b>
<b>7.1 - Propagação da Cheia no Reservatório.....</b>	<b>61</b>



## 1 - INTRODUÇÃO

000009

## 1 - INTRODUÇÃO

Os Estudos Hidrológicos do Açude Amarelas objetivaram fornecer os elementos 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 sobre o regime hidrológico médio da bacia hidrográfica, coletou-se e analisou-se as informações a respeito da pluviometria média mensal e anual, deflúvio médio anual e análise da variabilidade interanual

Para a caracterização do escoamento afluente à barragem, base para os estudos de regularização, foram realizados os estudos de vazões mensais. Como a bacia hidrográfica não possui dados fluviométricos observados, a estação Baú, na bacia do Rio Pacoti, serviu para estimativa dos parâmetros referentes ao escoamento superficial

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

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



## **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 Amarelas

Devido à inexistência de estações meteorológicas na bacia hidrográfica, a caracterização da hidroclimatologia da região onde será construída a barragem Amarelas baseou-se na estação de Aracati (Latitude 4°34'N, Longitude 37°46' W) Esta estação não será utilizada para caracterizar a precipitação da região, sendo utilizados os postos pluviométricos na bacia hidrográfica. A caracterização hidroclimatológica será feita utilizando-se os dados climatológicos publicados no Plano Estadual dos Recursos Hídricos em 1992)

### 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-

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

onde,	$T_{\text{comp}}$	Temperatura média compensada
	$T_{12}$	Temperatura observada às 12 00 TMG
	$T_{24}$	Temperatura observada às 24 00 TMG
	$T_{\text{MAX}}$	Temperatura máxima do dia
	$T_{\text{MIN}}$	Temperatura mínima do dia

Tabela 2.1 - Temperaturas Médias Máximas, Médias Mínimas e Médias Compensadas (°C) na estação de Aracati - CE.

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máxima	29.1	29.2	29.2	29.4	29.3	28.8	28.6	28.4	28.4	28.7	27.4	28.3
Comp.	26.5	26.5	26.4	26.0	26.2	25.8	25.3	25.3	25.5	26.1	26.3	26.5
Mínima	22.3	21.8	21.5	21.2	21.7	20.5	22.1	20.8	20.7	21.4	22.2	21.6

FONTE: INEMET (1992)

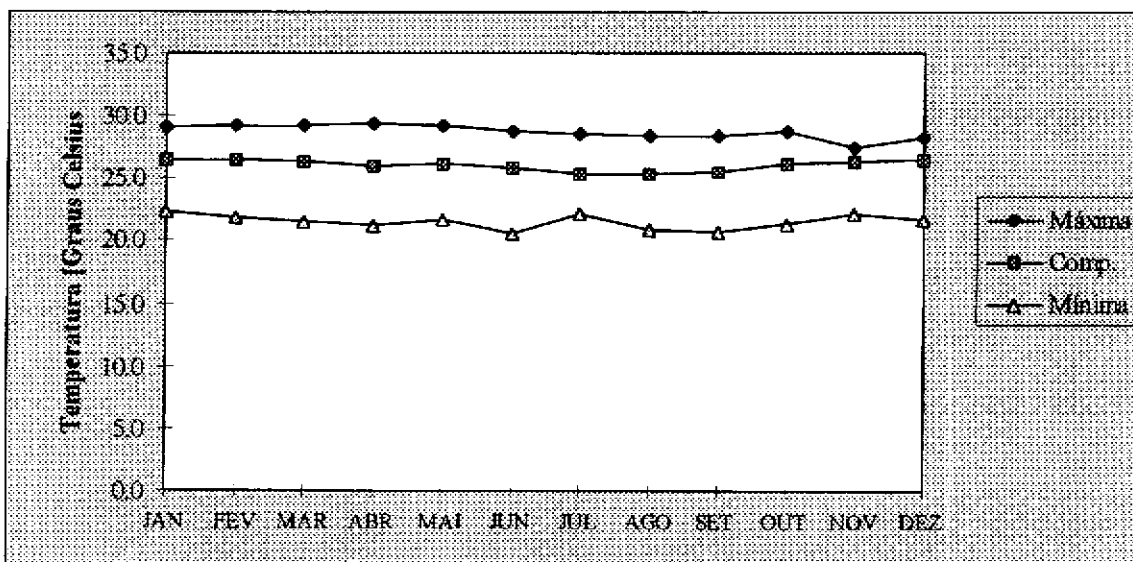


Figura 2.1 - Temperaturas Médias Máximas, Médias Mínimas e Médias Compensadas na estação de Aracati - CE.

A temperatura média compensada apresenta uma pequena variação durante o ano. As médias máximas e médias mínimas extremas ocorrem, respectivamente, no mês de abril (29,4 °C) e junho (20,5 °C), conforme se observa no Tabela 2.1 e na figura 2.1.

### 2.1.2 - Umidade Relativa

A umidade relativa média possui uma variação máxima de 33% ocorrida entre os meses de abril (55,0%) e novembro (77,0%), como pode ser verificado no Tabela 2.2 e na figura 2.2.

Tabela 2.2 - Umidade Relativa Média na estação de Aracati - CE.

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
%	60.0	65.0	68.0	69.0	67.0	75.0	61.0	55.0	62.0	63.0	75.0	77.0	66,4

FONTE: PERH-CE (1992)

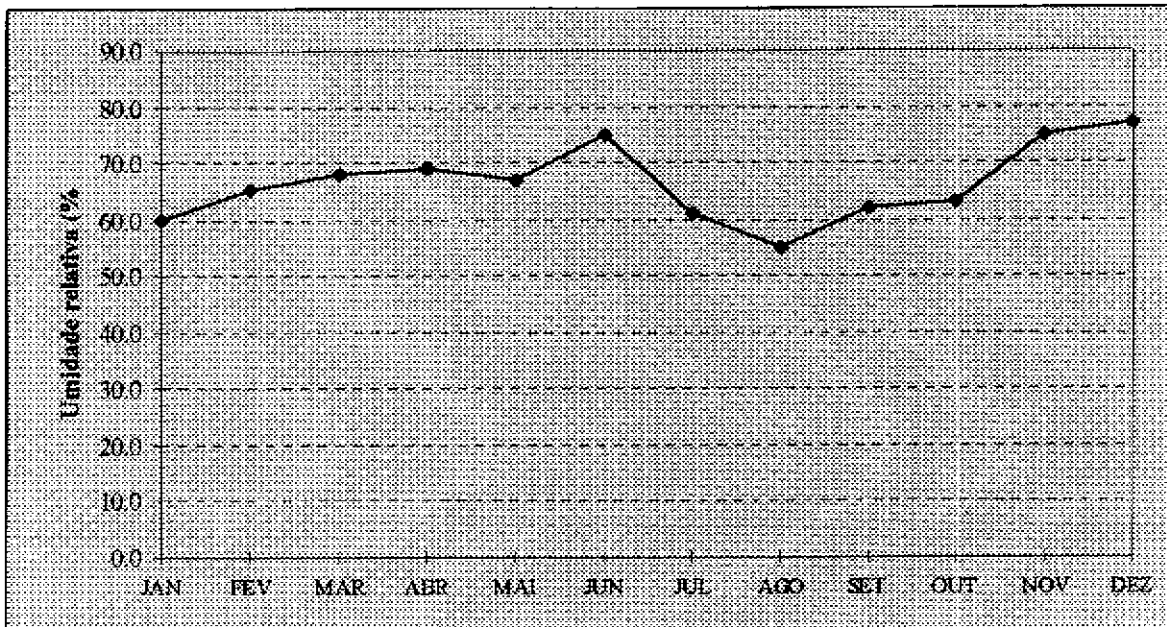


Figura 2.2 - Umidade Relativa Média na estação de Aracati - CE.

### 2.1.3 - Insolação Média

O Tabela 2.3 e a figura 2.3 mostram, respectivamente, o número de horas médio de exposição solar na estação de Aracati - CE e sua distribuição mensal. Em termos médios anuais têm-se 3031 horas de exposição, podendo-se concluir que cerca de 69,2 % dos dias do ano possuem incidência solar direta (admitindo-se que o dia está composto por 12 horas de luz diurna). Durante os meses de agosto, setembro e outubro ocorrem os maiores valores de horas de insolação; os menores valores ocorrem no trimestre setembro/outubro/novembro. O mês de outubro apresenta o maior índice de insolação (318 horas) e o mês de fevereiro o menor (203 horas).



Tabela 2.3 - Insolação Média na estação de Aracati - CE.

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
Horas	244.0	203.0	203.0	192.0	187.0	251.0	267.0	287.0	302.0	318.0	299.0	278.0	3031.0

FONTE: PERH-CE (1992)

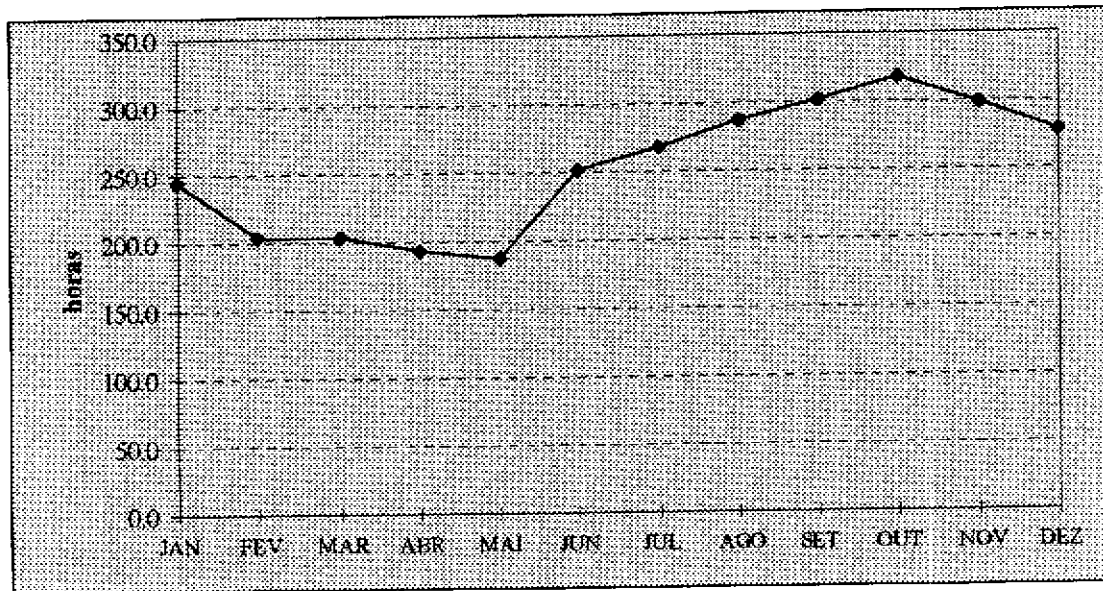


Figura 2.3 - Insolação total média na estação de Aracati - CE.

### 2.1.5 - Precipitação Média

A precipitação média anual observada na bacia do Córrego do Camará é de 1011,0mm. As precipitações estão concentradas no primeiro semestre onde ocorre, aproximadamente, 88,4% do total anual, o trimestre mais chuvoso é fevereiro/março/abril com 63,2% do total, o trimestre menos chuvoso é agosto/setembro/outubro onde precipita pouco mais do 2,3% do total anual. O mês mais chuvoso é março (207,9) e no mês de setembro ocorre o menor índice de precipitação (4,7mm). A distribuição temporal da precipitação média mensal é apresentada no Tabela 2.5 e na figura 2.5.

Tabela 2.5 - Precipitação Total na bacia hidrográfica da Barragem Amarelas

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
P (mm)	85.3	142.4	207.9	155.0	79.2	37.8	11.8	5.4	4.7	8.8	14.3	47.5

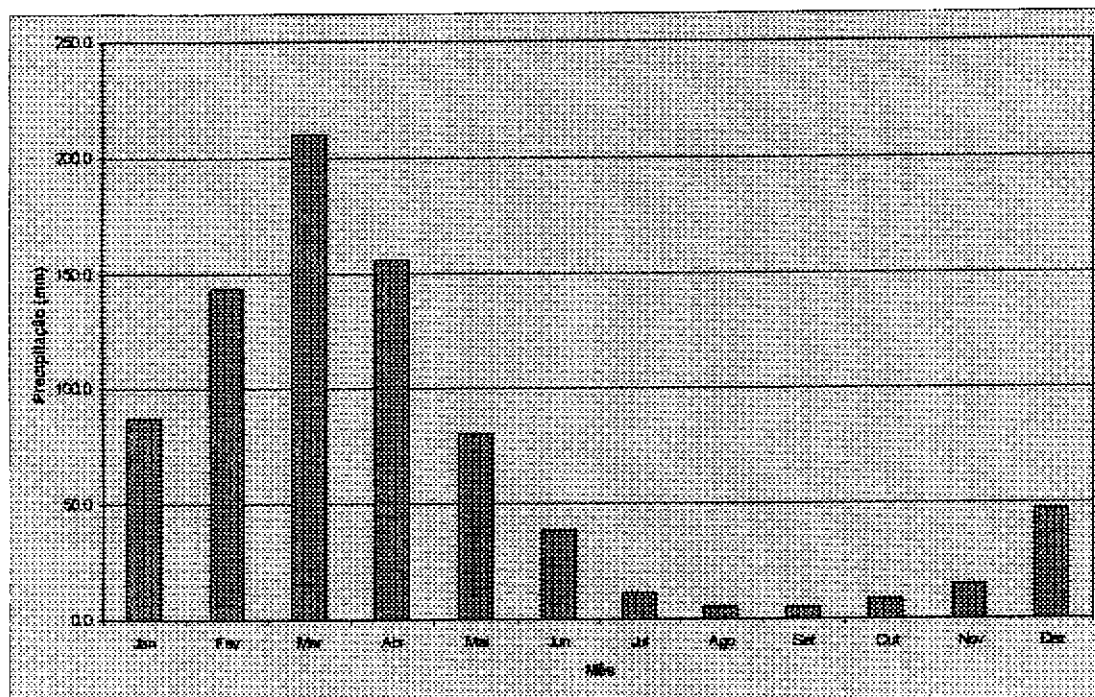


Figura 2.5 - Precipitação média mensal sobre a bacia hidrográfica

#### 2.1.6 - Evapotranspiração potencial média

Como estimativa da evapotranspiração média, foi utilizada a equação de Hargreaves<sup>1</sup> mostrada abaixo. Esta fornece a ETP em função da Temperatura média compensada, umidade relativa do ar e de um coeficiente de correção que depende da latitude do local considerado.

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

F - Fator dependente da latitude (adimensional)

T - Temperatura média compensada em °C

U - Umidade relativa do ar (%)

<sup>1</sup>HARGREAVES, G.H. 1974, POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION REQUIREMENTS FOR NORTH-EAST OF BRAZIL, UTAH STATE UNIVERSITY.

Tabela 2.6 - Evapotranspiração potencial média mensal

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
mm	203.6	164.2	171.0	152.5	153.6	123.3	160.1	172.3	171.7	179.4	140.2	137.0	1929.1

O trimestre que apresenta os maiores valores de evapotranspiração corresponde a janeiro/fevereiro/março seguido por agosto/setembro/outubro, ocorrendo o máximo em janeiro (203,6 mm). O mês de dezembro possui o menor índice de evaporação, que é 137,0mm.

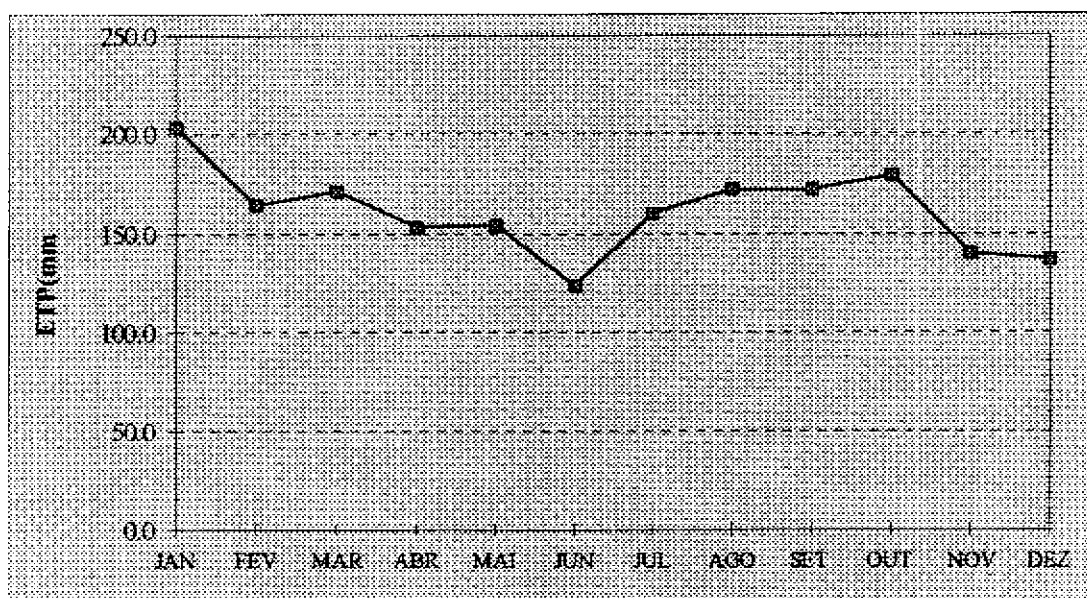


Figura 2.6 - Evapotranspiração potencial média mensal

### 2.1.7 - Evaporação média

A evaporação anual observada de acordo com o Plano Estadual dos Recursos Hídricos (PERH, 1992) é de 2235,2 mm, distribuída ao longo dos meses segundo a Tabela 2.7 e Figura 2.7.

Tabela 2.7 - Evaporação Média Mensal

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
mm	144	129	128	99	128	162	197	235	244	248	201	176	2091

FONTE: PERH (1992)

O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (248 mm).

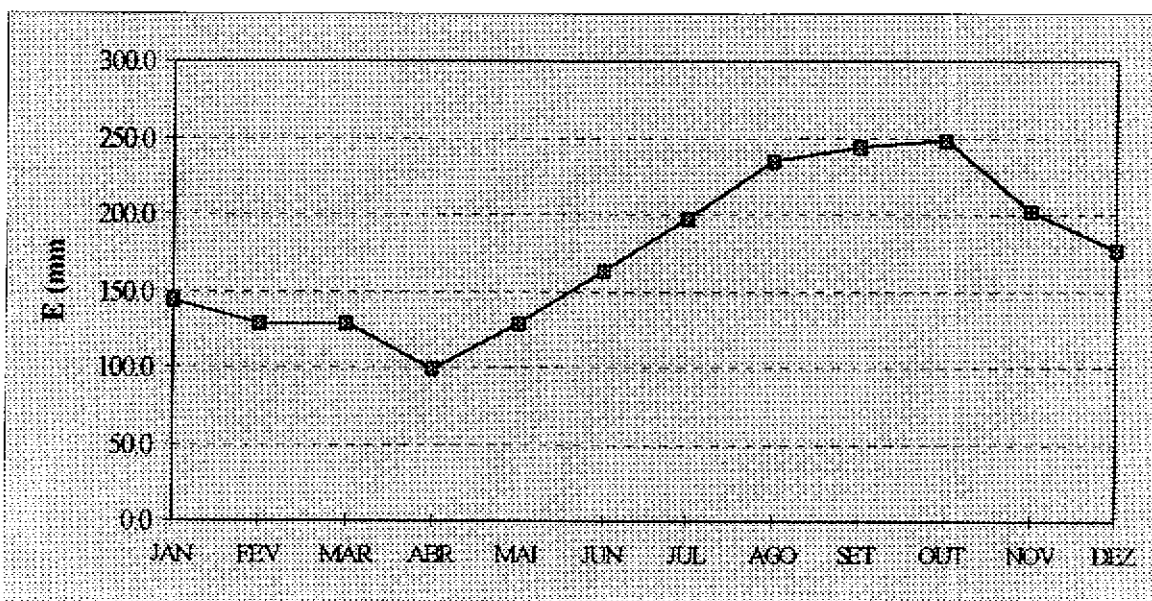


Figura 2.7 - Evaporação Média Mensal

## 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 Tabela 2.8. A figura 2.8 apresenta as variáveis Precipitação, Evaporação e sua diferença.

Tabela 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	70.9	203.6	-132.7	0.0	0.0	0.0	70.9	132.7	0.0
Fev	143.3	164.2	-20.9	20.9	0.0	0.0	143.3	20.9	0.0
Mar	265.9	171.0	94.9	6.0	94.9	94.9	171.0	0.0	0.0
Abr	245.0	152.5	92.5	0.0	100.0	5.1	152.5	0.0	87.4
Mai	143.2	153.6	-10.4	10.4	90.0	-10.0	153.2	0.4	0.0
Jun	61.3	123.3	-62.0	72.4	48.0	-42.0	103.3	20.0	0.0
Jul	24.0	160.1	-136.1	208.6	12.0	-36.0	60.0	100.1	0.0
Ago	7.5	172.3	-164.8	373.4	2.0	-10.0	17.5	154.8	0.0
Set	5.9	171.7	-165.8	539.2	0.0	-2.0	7.9	163.8	0.0
Out	7.0	179.4	-172.4	711.6	0.0	0.0	7.0	172.4	0.0
Nov	10.1	140.2	-130.1	841.7	0.0	0.0	10.1	130.1	0.0
Dez	27.5	137.0	-109.5	951.2	0.0	0.0	27.5	109.5	0.0
ANO	1011.6	1929.1			346.9	0.00	924.2	1004.9	87.4

(\*) ETP calculada pelo método de Hargreaves

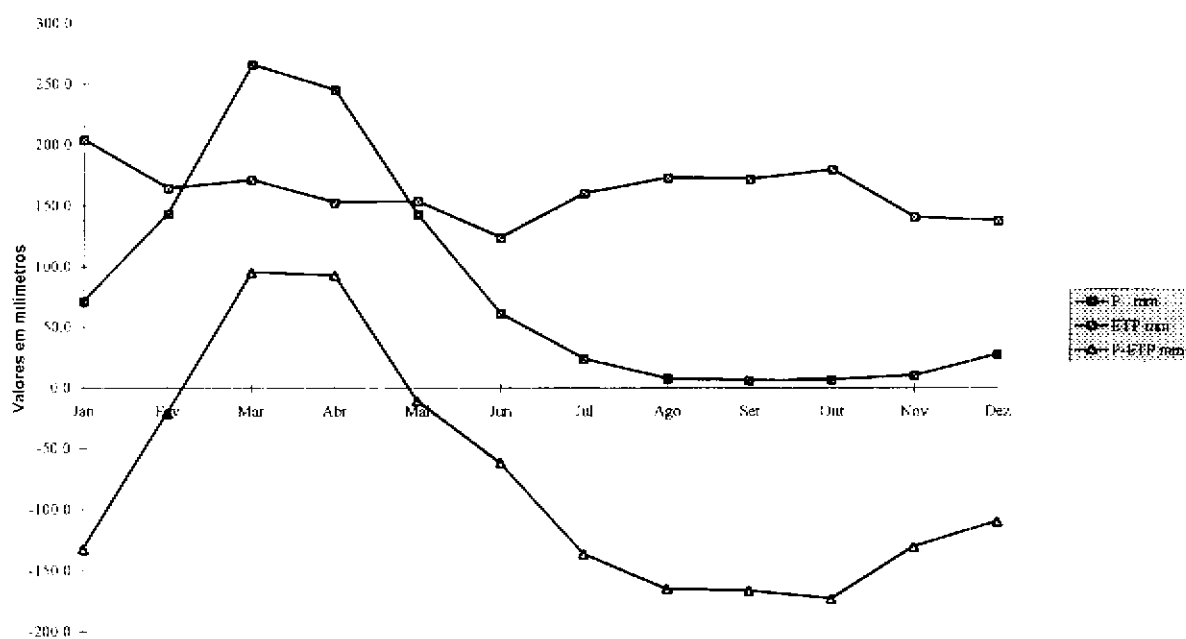


Figura 2.8 - Balanço Hídrico

000019

## 2.3 - Classificação 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 52 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 5.

#### - Índice efetivo de umidade:

Este índice reflete o excesso ou déficit de água ao longo do ano, apresentando um valor igual a -27.

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

## 2.4 - Sinopse Climatológica

Pluviometria Total Média Anual (sobre a bacia)	1011,6 mm
Evaporação Total Média Anual	2091,0 mm
Insolação Total Média Anual	3031,0
Umidade Relativa Média Anual	66,4
Temperatura Média Anual Média das Máximas	28,7
Temperatura Média Anual Média das Médias	26,0
Temperatura Média Anual Média das Mínimas	21,5
Classificação Climática	DdA'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 destacam-se, para os fins deste trabalho a caracterização do regime pluviométrico em vários intervalos de tempo e o estabelecimento de série pluviométrica média para as bacias hidrográficas dos açudes de médio e grande porte

#### 3.1 - Dados Utilizados

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

Foram utilizados 3 postos neste estudo, próximos à área de interesse, (bacia do Córrego do Camará com um área de 191,5 km<sup>2</sup>) A tabela 3 1 mostra a identificação das estações utilizadas e sua localização

Tabela 3 1 -ESTAÇÕES PLUVIOMETRICAS - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

POSTO	CÓDIGO	CÓDIGO	COORDENADAS		ALTITUDE	MÉDIA ANUAL
	DNAEE	SUDENE	LAT N	LONG W	(M)	(MM)
Itapeim	00438033	2883679	4° 20'	38° 07'	20,00	1204
Cristais	00438022	2893031	4° 30'	38° 21'	50,00	776
Boq do Cesário	00438015	2893165	4° 34'	38° 11'	150,0	846

FONTE PERH (1992)

#### 3.2 - Caracterização do Regime Pluviométrico

##### 3 2 1 - Nível Anual

A area de estudo apresenta média pluviométrica igual 1011 mm com um coeficiente de variação em torno de 0.41

Uma análise frequencial foi realizada para os postos listados anteriormente, sendo testadas varias distribuições, e escolhida a Normal como a mais adequada, 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 NORMAL.**

CÓDIGO	Nº ANOS	TR (ANOS)				
		10	100	200	500	1000
2883679	56	1905 7	2511 0	2660 0	2846 2	2978 7
2893031	46	1180 3	1519 6	1604 2	1709 4	1784 9

### 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 93% do total anual

A nível trimestral nota-se mais ainda a gravidade da concentração temporal, onde constata-se que cerca de 65% do total anual precipita-se em apenas três meses do ano, no trimestre Março/Abril/Maio. Nestes trimestres os mês de março corresponde mais frequentemente 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 mais chuvoso, março e abril, nos postos considerados. Os períodos de retorno utilizados variam de 10 a 1000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Pearson III. O posto de pluviométrico de Boqueirão do Cesário não foi incluído na análise de frequência devido à pequena extensão da série

**QUADRO 3.3**  
**ÍNDICES DE CONCENTRAÇÃO FLUVIOMÉTRICA. SÉRIE DE VALORES MÉDIOS MENSAIS.**

CODIGO	MÊS MAIS CHUVOSO			TRIMESTRE MAIS CHUVOSO			SEMESTRE MAIS CHUVOSO		
	MÊS	mm	%	TRI	mm	%	S	mm	%
2883679	MARCO	318 3	26 4	MAM	776 6	64 5	1	1131 3	93 9
2893031	ABRIL	196 2	25 3	MAM	512 5	66 0	1	728 1	93 7
2893165	MARCO	220 4	26 0	MAM	542 2	64 1	1	774 7	91 6

**QUADRO 3.4**  
**ANÁLISE DE FREQUÊNCIA A NÍVEL MENSAL. MÊS MAIS CHUVOSO. DISTRIBUIÇÃO**  
**PEARSON III.**

CODIGO	Nº ANOS	TR (ANOS)					
		10	100	200	500	1000	MÊS
2883679	56	596 0	1041 7	1180 4	1368 7	1515 6	MARÇO
2893031	47	326 7	449 5	481 4	521 7	551 1	ABRIL

### 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 é comum a ocorrência de até vinte dias chuvosos no mês

Várias distribuições teóricas podem ser utilizadas para descrever as frequências observadas. Depois de comparar diversas distribuições, foi escolhida a Pearson III, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no Quadro 3.5. A seguir são apresentadas as séries utilizadas e os resultados do ajuste das diversas distribuições de frequência para os máximos das séries de anuais.

**QUADRO 3.5**  
**ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE MÁXIMOS DIÁRIOS**  
**DE CHUVA. DISTRIBUIÇÃO PEARSON III.**

CÓDIGO	Nº ANOS	TR (ANOS)				
		50	100	500	1000	10000
2883679	56	187,5	209,7	262,8	286,6	370,0
2893031	46	114,8	122,2	131,6	138,6	161,3



ESTAÇÃO ITAPEIM - 2893679 (00438033) - SÉRIE DE PLUVIOMETRIA MÁXIMA

MONTH	WAT	YR	PEAK VALUE (mm)	RANK	WEIBULL	RETURN PERIOD		CHEGODAYEV	CUNNANE
						HAZEN	GRINGORTEN		
2		1932	48 10	53	1 08	1 07	1 07	1 07	1 07
4		1933	76 30	38	1 50	1 49	1 49	1 50	1 49
6		1934	81 00	30	1 90	1 90	1 90	1 90	1 90
5		1935	120 50	10	5 70	5 89	5 87	5 81	5 85
4		1936	53 40	50	1 14	1 13	1 13	1 13	1 13
4		1937	141 20	4	14 25	16 03	15 76	15 24	15 61
2		1939	236.70	1	57 00	112 00	100 21	80 57	93 67
4		1940	65 50	45	1 27	1 26	1 26	1 26	1 26
3		1941	78 60	32	1 78	1 78	1 78	1 78	1 78
3		1942	96 30	19	3 00	3 03	3 02	3 02	3 02
3		1943	118 30	12	4 75	4 87	4 85	4 82	4 84
5		1944	78 60	33	1 73	1 72	1 72	1 72	1 72
5		1945	65 30	46	1 24	1 23	1 23	1 23	1 23
4		1946	91 10	21	2 71	2 73	2 73	2 72	2 73
3		1947	151 10	2	28 50	37 33	35 97	33 18	35 13
3		1948	96.70	18	3 17	3 20	3 20	3 19	3 19
2		1949	142.10	3	19 00	22 40	21 92	20 89	21 62
4		1950	85 20	25	2 28	2 29	2 29	2 28	2 28
3		1951	106 70	15	3 80	3 86	3 85	3 84	3 85
4		1952	86 10	24	2 38	2 38	2 38	2 38	2 38
3		1953	68 80	43	1 33	1 32	1 32	1 32	1 32
5		1954	71 20	41	1 39	1 38	1 38	1 39	1 38
3		1955	66 50	44	1 30	1 29	1 29	1 29	1 29
2		1956	77 40	36	1 58	1 58	1 58	1 58	1 58
3		1957	127 20	7	8 14	8 62	8 55	8 42	8 52
4		1958	31 60	55	1 04	1 03	1 03	1 03	1 03
5		1959	82 60	29	1 97	1 96	1 96	1 97	1 97
3		1960	120 40	11	5 18	5 33	5 31	5 27	5 30
3		1961	102 50	16	3 56	3 61	3 61	3 59	3 60
3		1962	78 20	34	1 68	1 67	1 67	1 67	1 67
3		1963	112 20	14	4 07	4 15	4 14	4 12	4 13
3		1964	121 10	9	6 33	6 59	6 56	6 48	6 53
3		1965	125 20	8	7 13	7 47	7 42	7 32	7 39
6		1966	78 20	35	1 63	1 62	1 62	1 63	1 62
3		1967	83 10	28	2 04	2 04	2 04	2 04	2 04
4		1968	79 50	31	1 84	1 84	1 84	1 84	1 84
4		1969	56 40	48	1 19	1 18	1 18	1 18	1 18
3		1970	34 20	54	1 06	1 05	1 05	1 05	1 05
3		1971	61 50	47	1 21	1 20	1 21	1 21	1 21
4		1972	75 10	39	1 46	1 45	1 46	1 46	1 46
2		1973	131 30	6	9 50	10 18	10 09	9 89	10 04
2		1974	192 30	17	3 35	3 39	3 39	3 38	3 39
5		1975	75 10	40	1 42	1 42	1 42	1 42	1 42
3		1976	86 30	23	2 48	2 49	2 49	2 48	2 49
3		1977	77 30	37	1 54	1 53	1 54	1 54	1 54
2		1978	137 10	5	11 40	12 44	12 31	12 00	12 22
3		1979	48.20	52	1 10	1 09	1 09	1 09	1 09
3		1980	118 20	13	4 38	4 48	4 47	4 44	4 46
12		1981	83 30	27	2 11	2 11	2 11	2 11	2 11
3		1982	50 00	51	1 12	1 11	1 11	1 11	1 11
4		1983	31 00	56	1 02	1 01	1 01	1 01	1 01
4		1984	70 00	42	1 36	1 35	1 35	1 35	1 35
5		1985	87 00	22	2 59	2 60	2 60	2 60	2 60
4		1986	92 00	20	2 85	2 87	2 87	2 86	2 87
3		1987	55 00	49	1 16	1 15	1 16	1 16	1 16
3		1988	83.40	26	2 19	2 20	2 20	2 19	2 20



ESTAÇÃO CRISTAIS - 2883031(00438022) - SÉRIE DE PLUVIOMETRIA MÁXIMA

MONTH	WAT	YR	PEAK VALUE (mm)	RANK	WEIBULL	RETURN	PERIOD	CHEGODAYEV	CUNNANE
						HAZEN	GRINGORTEN		
2	1932		57.50	30	1.60	1.59	1.59	1.60	1.59
2	1933		49.00	35	1.37	1.36	1.36	1.37	1.36
4	1934		75.70	10	4.80	4.95	4.93	4.89	4.92
4	1935		58.00	29	1.66	1.65	1.65	1.65	1.65
2	1936		35.80	42	1.14	1.13	1.13	1.14	1.13
5	1937		38.70	41	1.17	1.16	1.16	1.16	1.16
4	1938		53.50	33	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
2	1939		65.70	17	2.82	2.85	2.85	2.84	2.84
4	1940		60.20	26	1.85	1.84	1.84	1.84	1.84
4	1941		41.20	40	1.20	1.19	1.19	1.19	1.19
3	1942		26.70	45	1.07	1.06	1.06	1.06	1.06
4	1943		71.30	12	4.00	4.09	4.08	4.05	4.07
4	1944		45.20	39	1.23	1.22	1.22	1.22	1.22
2	1945		76.00	9	5.33	5.53	5.50	5.45	5.49
3	1946		63.00	22	2.18	2.19	2.19	2.18	2.19
11	1947		120.00	1	48.00	94.00	84.14	67.71	78.67
3	1948		58.20	28	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71
3	1949		79.10	7	6.86	7.23	7.18	7.07	7.15
4	1950		59.60	27	1.78	1.77	1.77	1.78	1.77
4	1951		45.50	38	1.26	1.25	1.25	1.26	1.26
3	1952		66.50	15	3.20	3.24	3.24	3.22	3.23
3	1953		21.00	47	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01
3	1954		47.40	36	1.33	1.32	1.33	1.33	1.33
5	1955		100.80	2	24.00	31.33	30.21	27.88	29.50
4	1956		87.90	5	9.60	10.44	10.33	10.09	10.26
3	1957		63.30	21	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
5	1958		23.00	46	1.04	1.03	1.03	1.04	1.04
2	1959		64.60	20	2.40	2.41	2.41	2.41	2.41
3	1960		95.50	3	16.00	18.80	18.41	17.56	18.15
2	1961		66.40	16	3.00	3.03	3.03	3.02	3.03
4	1962		81.10	6	8.00	8.55	8.47	8.32	8.43
4	1963		72.40	11	4.36	4.48	4.46	4.43	4.45
4	1964		78.20	8	6.00	6.27	6.23	6.16	6.21
3	1965		35.20	43	1.12	1.11	1.11	1.11	1.11
4	1966		52.00	34	1.41	1.40	1.40	1.41	1.40
3	1967		70.40	13	3.69	3.76	3.75	3.73	3.75
5	1968		54.00	32	1.50	1.49	1.49	1.50	1.49
4	1969		65.00	18	2.67	2.69	2.68	2.68	2.68
4	1970		62.20	24	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
4	1971		65.00	19	2.53	2.54	2.54	2.53	2.54
2	1972		60.30	25	1.92	1.92	1.92	1.92	1.92
4	1973		46.20	37	1.30	1.29	1.29	1.29	1.29
4	1974		68.60	14	3.43	3.48	3.47	3.46	3.47
5	1975		56.30	31	1.55	1.54	1.54	1.54	1.54
2	1976		62.40	23	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09
5	1977		88.00	4	12.00	13.43	13.24	12.81	13.11
4	1978		33.20	44	1.09	1.08	1.08	1.08	1.08



ESTAÇÃO ITAPEIM - 2893679 (00438033) - ANÁLISE DE FREQUÊNCIA

SAMPLE SIZE = 56

STATISTICS OF THE OBSERVED VALUES

MEAN = 89.27 STD DEV = 34.96 COEF OF SKEW = 1.4115

STATISTICS OF THE NATURAL LOGARITHMS

MEAN = 4.42003 STD DEV = 3.8776 COEF OF SKEW = -0.3154

STATISTICS OF THE BASE 10 LOGARITHMS

MEAN = 1.91960 STD DEV = 1.6840 COEF OF SKEW = -0.3147

RETURN PERIOD (YRS)	FREQUENCY DISTRIBUTION						
	TRUNCATED NORMAL (mm)	2-PARAMETER LOGNORMAL (mm)	3-PARAMETER LOGNORMAL (mm)	TYPE I EXTREMAL (mm)	TYPE I LOG-EXTREMAL (mm)	PEARSON TYPE III (mm)	LOG PEARSON TYPE III (mm)
2.00	89.27	83.10	82.52	83.76	78.17	81.49	84.81
2.33	95.54	89.08	88.22	90.10	83.87	87.34	90.82
5.00	118.92	115.46	113.69	117.64	113.83	113.94	115.94
10.00	134.61	137.42	135.31	140.07	145.99	136.44	135.25
20.00	147.75	158.98	156.84	161.58	185.34	158.45	152.98
50.00	162.81	187.87	186.08	189.43	252.42	187.49	175.03
100.00	173.03	210.43	209.21	210.30	318.17	209.71	191.06
200.00	182.54	233.85	233.45	231.09	400.71	232.28	206.72
500.00	194.30	266.42	267.52	258.53	543.24	262.83	227.05
1000.00	202.71	292.48	295.04	279.26	683.70	286.57	242.24
10000.00	228.59	389.74	399.60	348.09	1467.17	370.05	292.98

CLASS INTERVAL	PROBABILITY	FREQUENCY DISTRIBUTION						
		TRUNCATED NORMAL (mm)	2-PARAMETER LOGNORMAL (mm)	3-PARAMETER LOGNORMAL (mm)	TYPE I EXTREMAL (mm)	TYPE I LOG-EXTREMAL (mm)	PEARSON TYPE III (mm)	LOG PEARSON TYPE III (mm)
0	0.0000	00	00	00	00	00	00	00
1	14286	51.95	54.93	56.26	52.91	55.52	56.09	54.52
2	28571	69.49	66.72	67.14	66.07	64.24	65.85	65.05
3	42857	82.98	77.50	77.23	77.76	73.14	75.75	75.02
4	57143	95.56	89.11	88.24	90.16	83.92	87.07	86.16
5	71429	109.05	103.49	102.06	105.36	99.34	101.61	100.54
6	85714	126.59	125.71	123.74	128.70	128.68	124.50	124.02
7	1.00000	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY
CHI-SQUARE VALUE		6.500	5.750	11.750	6.750	12.750	14.750	14.500

95% CHI-SQUARE TEST STATISTIC = 12.592



ESTAÇÃO CRISTAIS 2883031 (00438022) - ANÁLISE DE FREQUÊNCIA

SAMPLE SIZE = 47

STATISTICS OF THE OBSERVED VALUES

MEAN = 61.00 STD DEV = 19.87 COEF OF SKEW = 3747

STATISTICS OF THE NATURAL LOGARITHMS

MEAN = 4.05281 STD DEV = 3.6039 COEF OF SKEW = -8459

STATISTICS OF THE BASE 10 LOGARITHMS

MEAN = 1.76011 STD DEV = 1.5651 COEF OF SKEW = -8447

RETURN PERIOD (YRS)	FREQUENCY DISTRIBUTION						
	TRUNCATED NORMAL (mm)	2-PARAMETER LOGNORMAL (mm)	3-PARAMETER LOGNORMAL (mm)	TYPE I EXTREMAL (mm)	TYPE I LOG-EXTREMAL (mm)	PEARSON TYPE III (mm)	LOG PEARSON TYPE III (mm)
2.00	61.00	57.56	59.78	57.89	54.40	59.76	60.50
2.33	64.56	61.40	63.34	61.53	58.12	63.34	64.27
5.00	77.87	78.18	77.37	77.38	77.47	77.41	78.43
10.00	86.83	91.96	87.48	90.28	97.90	87.54	87.69
20.00	94.35	105.40	96.42	102.66	122.55	96.46	95.08
50.00	102.99	123.29	107.23	118.68	163.87	107.19	102.97
100.00	108.88	137.20	114.94	130.68	203.74	114.82	107.90
200.00	114.38	151.59	122.39	142.64	253.10	122.16	112.13
500.00	121.21	171.56	132.00	158.42	336.98	131.57	116.85
1000.00	126.11	187.51	139.16	170.35	418.37	138.55	119.87
10000.00	141.30	247.00	162.79	209.95	858.03	161.33	127.23

CLASS INTERVAL	PROBABILITY	FREQUENCY DISTRIBUTION						
		TRUNCATED NORMAL (mm)	2-PARAMETER LOGNORMAL (mm)	3-PARAMETER LOGNORMAL (mm)	TYPE I EXTREMAL (mm)	TYPE I LOG-EXTREMAL (mm)	PEARSON TYPE III (mm)	LOG PEARSON TYPE III (mm)
0	00000	00	00	00	00	00	00	00
1	14286	39.78	39.18	40.13	40.14	39.43	40.12	39.49
2	28571	49.75	46.94	49.04	47.71	45.23	49.02	45.13
3	42857	57.42	53.94	56.28	54.44	51.10	56.29	50.83
4	57143	64.57	61.42	63.35	61.57	58.16	63.34	57.55
5	71429	72.24	70.58	71.29	70.31	68.16	71.37	66.72
6	85714	82.21	84.57	82.19	83.74	86.95	82.31	82.82
7	1.00000	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY
CHI-SQUARE VALUE		4.085	7.064	5.574	4.979	13.617	6.170	17.191

95% CHI-SQUARE TEST STATISTIC = 12.592

### 3.2.4 - Método das Isozonas (TORRICO, 1975) <sup>2</sup>

Este método consiste na desagregação da chuva de 1 dia em 24 horas e a partir desta em durações menores

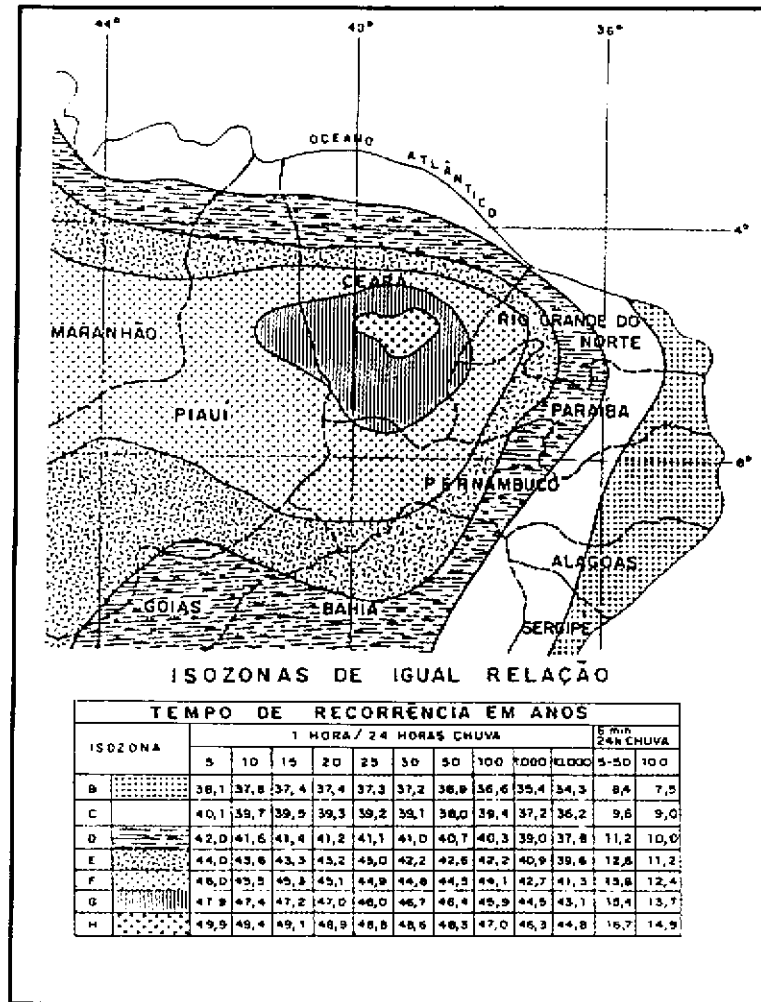
A desagregação da chuva de 24 horas em chuvas de intervalos de tempo de menor duração consiste nas seguintes etapas de cálculo

- multiplicar a chuva de um dia de duração por 1,10 para obter-se a chuva de 24 horas,
- determinar a isozona onde está localizado o centro de gravidade da bacia hidrográfica - a barragem Amarelas está localizada dentro da isozona C,
- 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<sub>1h</sub>,
- plotar os valores P<sub>24h</sub> e P<sub>1h</sub> em papel probabilístico para obter as chuvas de durações intermediárias

---

<sup>2</sup>TORRICO, J. T., 1975. PRÁTICAS HIDROLÓGICAS, 2a. Ed., TRANSCOM, RIO DE JANEIRO

000029



**FIGURA 3.1**  
**MÉTODO DAS ISOZONAS DE TABORGA.**

Aplicou-se a metodologia acima descrita para cada os postos pluviométricos 00438022 (Itapeim) e 00438033 (Cristais), os quais, além de serem considerados representativos da área de interesse, possuíam a série mais extensa para o estudo de freqüências. Estes resultados são apresentados no Quadro 3.6 e Figura 3.2.

O hietograma reduzido baseia-se nas curvas altura-duração-freqüência dos dois postos selecionados. A distribuição espacial da chuva sobre área da bacia foi realizada através da média pluviométrica calculada pelo método dos polígonos de Thiessen. O coeficiente da estação Itapeim resultou num valor de 0,55 enquanto que o do Cristais foi de 0,45. O resultado da aplicação da metodologia descrita acima à bacia do Camará é apresentado abaixo na Tabela 3.6 e na Figura 3.2.

000030





Tabela 3.6 - Precipitação reduzida sobre a bacia do Macacos ( $A=191,5 \text{ km}^2$ )

Duração	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) - TR 50	13.3	36.0	64.6	86.8	99.8	122.0	144.3	166.5
P(mm) - TR 100	13.8	39.7	72.4	96.7	110.9	135.1	159.4	183.7
P(mm) - TR 1000	18.1	49.9	90.0	123.1	142.5	175.7	208.8	242.0
P (mm) - TR 10000	22.8	61.3	110.0	152.2	176.9	219.2	261.5	303.7

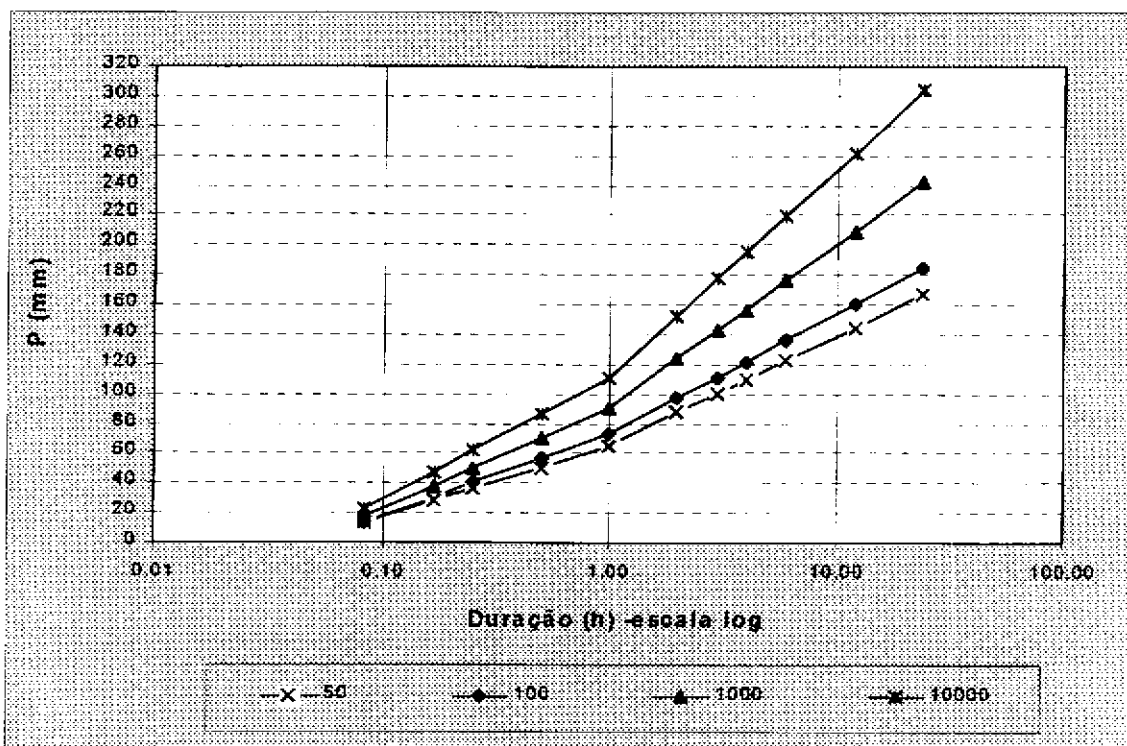


Figura 3.2 - Curva Altura de chuva - duração - Freqüência reduzida (TR= 50, 100, 1000 e 10000 anos)

000031

## **4 - ESTUDO DE DEFLÚVIOS**

000032

## 4 - ESTUDO DE DEFLÚVIOS

O presente capítulo visa obter uma avaliação qualitativa e quantitativa da disponibilidade natural de água decorrente do escoamento superficial sobre a bacia do Córrego do Camará ate a seção da barragem Amarelas

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

### 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 a dos pluviômetros

No local da Barragem não há registros de vazão Assim, existem duas alternativas para obtenção das séries de deflúvios

- 1 Transferência de informações de outras bacias (no caso o posto Bau, em uma bacia com características físicas similares),
- 2 Aplicação de um modelo chuva-deflúvio

Foi selecionada o posto fluviométrico Bau para empregar uma abordagem mista. isto é, calibrar o modelo chuva-deflúvio, e utilizar os resultados de acordo com os dados locais de pluviometria e evapotranspiração para simular o escoamento superficial na bacia hidrográfica do Córrego do Camará

A serie de deflúvios afluentes a seção Bau já havia sido simulada utilizando o modelo MODHAC<sup>3</sup>, cujos resultados no PERH-CE demonstraram uma boa adequação aos dados observados na bacia hidrográfica em questão

<sup>3</sup> MODHAC - Modelo Hidrológico Auto Calibravel - A.E.L. Lanna & M. Schwarzbach - 1989 - Publicação de Recursos Hídricos 21 - Instituto de Pesquisas Hidráulicas I.P.H. - U.F.R.G.S

Foi realizada nova calibração e simulação do escoamento utilizando o modelo citado, modificando a evapotranspiração e a precipitação de entrada, substituindo-a pelos valores calculados neste estudo

Este modelo chuva-vazão, 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 fictícios 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,

**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,

**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,

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

Além 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.

**CEVA:** parâmetro da lei de evapotranspiração do solo

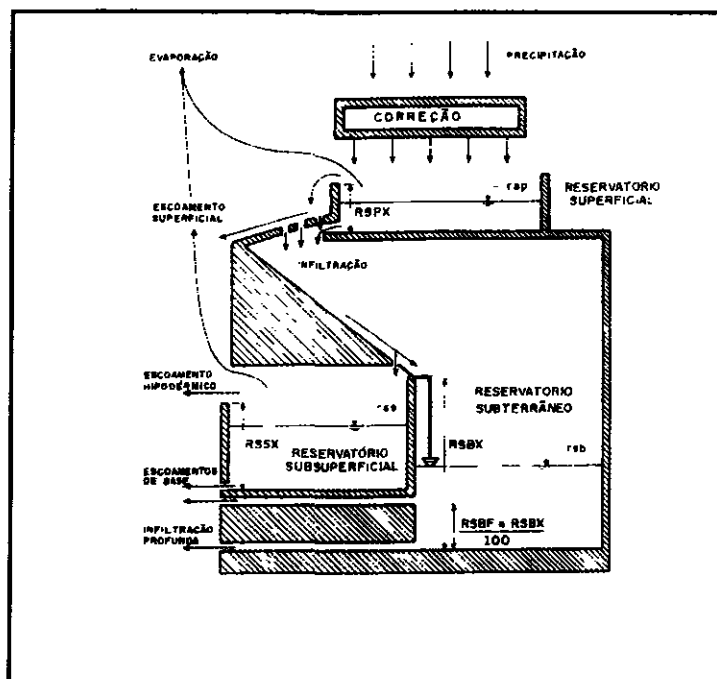


FIGURA 4.1

REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO MODHAC

## 4.2 - Resultados

### 4.2.1 - Pluviometria média mensal

Foi calculada a precipitação média sobre a bacia utilizando o método de Thiessen. As estações utilizadas neste estudo para caracterizar a pluviometria média sobre a bacia são as estações Itapeim, Cristais e Boqueirão do Cesário. A estação de Boqueirão do Cesário serviu apenas como base para o preenchimento de algumas falhas na série de Cristais. A localização e dados de referência encontram-se na tabela 4.1 abaixo. A série de precipitação média sobre a bacia de contribuição do reservatório Amarelas é apresentada na Tabela 4.2.

Tabela 4.1 - Coeficientes de Thiessen para Bacia do Riacho dos Amarelas

POSTO	CODIGO DNAEE	CÓDIGO SUDENE	COORDENADAS		ALTITUDE (M)	MÉDIA ANUAL (MM)	Coeficiente de Thiessen
			LAT N	LONG W			
Itapeim	00438033	2883679	4° 20'	38° 07'	20,00	1204	0,55013
Cristais	00438022	2893031	4° 30'	38° 21'	50,00	776	0,44987
Boq do Cesario	00438015	2893165	4° 34'	38° 11'	150,0	846	0,44987*

FONTE: PERH (1992)

\*em substituição a cristais para preenchimento de falhas na série

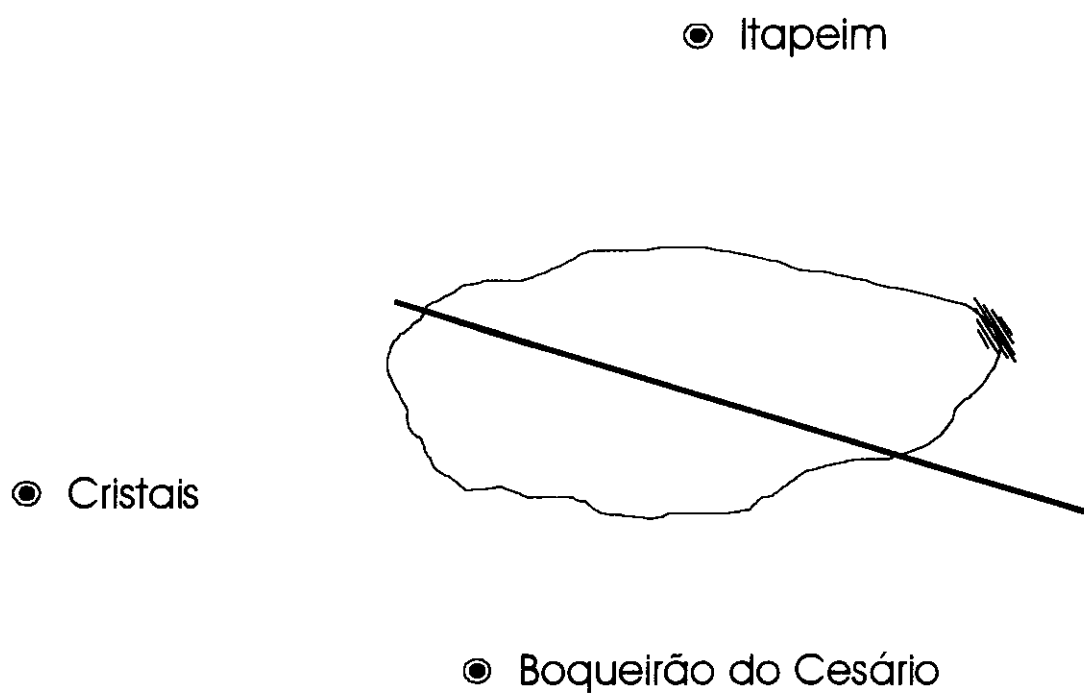


Figura 4.2 - Bacia do Córrego Camará com polígonos de Thiessen

Tabela 4.2 - Pluviometria média mensal (mm) na bacia hidrográfica do Reservatório Amarelas

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1932	19 7	74 9	65 2	23 4	10 2	41 7	3 1	0 0	21 8	2 2	0 0	1 5	263.7
1933	77 0	110 5	118 8	284 7	69 7	1 3	5 0	2 0	0 6	0 6	6 5	33 3	710.0
1934	63 0	176 2	397 2	293 7	301 3	110 7	0 9	1 2	3 6	0 0	11 8	62 3	1421.9
1935	117 0	344 5	252 2	363 3	239 9	78 7	47 9	2 4	0 3	8 6	3 2	0 4	1458.4
1936	14 7	141 6	47 9	109 3	104 8	56 0	1 7	0 0	0 0	1 7	0 0	0 3	478.0
1937	0 1	270 1	183 8	332 5	307 8	140 2	47 4	0 0	3 1	4 0	5 3	15 7	1310.0
1938	63 3	22 7	223 2	275 8	120 4	16 4	7 0	4 1	4 1	1 8	5 2	5 9	749.9
1939	46 7	585 3	376 1	251 7	105 1	26 1	74 6	51 8	21 9	83 3	30 1	22 4	1675.1
1940	130 8	79 5	238 7	378 0	254 6	85 8	33 2	3 7	16 6	16 9	2 8	15 0	1255.6
1941	20 0	88 5	209 2	113 8	61 3	9 1	7 9	3 7	2 0	3 0	23 8	42 0	584.3
1942	12 2	88 1	177 8	80 8	56 2	16 8	6 6	5 5	6 9	20 8	11 9	14 1	497.7
1943	111 2	57 6	279 3	249 9	23 4	19 6	38 0	15 0	4 3	3 5	13 1	77 3	892.2
1944	91 7	50 1	261 4	164 2	262 9	14 5	27 9	4 7	3 1	7 5	6 9	63 7	958.6
1945	77 7	388 8	230 9	363 7	276 6	161 9	57 5	4 8	6 0	4 2	16 4	23 7	1612.2
1946	256 8	186 5	225 6	352 1	64 2	51 8	2 8	7 3	3 5	3 1	5 8	36 8	1196.3
1947	82 1	140 7	413 7	205 2	162 2	20 2	27 3	4 3	8 0	7 8	218 8	23 2	1313.5
1948	38 1	66 8	284 4	179 5	124 0	73 8	32 8	28 6	8 5	8 6	4 1	8 8	858.0
1949	0 0	153 9	268 9	227 0	325 2	64 5	12 6	6 2	6 2	2 3	8 3	0 0	1075.1
1950	49 5	69 3	390 4	484 2	89 6	17 8	4 1	3 2	2 9	5 9	6 6	11 8	1135.3
1951	24 6	38 5	99 9	255 8	94 3	184 2	4 5	0 0	0 0	11 2	9 4	63 5	785.9
1952	104 9	101 6	257 7	547 5	145 7	38 0	3 7	4 6	4 7	1 9	1 8	7 7	1219.8
1953	7 7	50 4	154 2	141 4	40 5	33 3	4 8	0 0	4 9	5 1	9 4	16 9	468.6
1954	20 9	164 0	203 6	165 9	280 2	23 1	0 0	4 0	0 0	2 3	2 9	12 9	879.8
1955	60 9	105 7	230 5	302 4	202 2	37 2	0 0	0 0	0 0	5 3	0 0	34 8	979.0
1956	10 1	196 2	237 0	193 9	42 2	10 2	12 3	23 0	0 0	0 0	0 0	19 8	744.7
1957	108 1	14 5	623 8	371 9	80 6	0 0	2 3	0 0	0 0	0 0	0 0	22 6	1223.8
1958	5 7	23 3	21 4	27 8	63 4	8 0	13 4	0 0	0 0	0 0	2 3	6 1	171.4
1959	81 9	182 7	407 5	239 2	237 7	17 4	8 4	25 3	0 0	0 0	1 2	0 0	1201.3
1960	32 8	28 3	759 9	250 4	111 9	34 6	30 2	3 9	0 0	0 0	0 0	21 5	1273.5
1961	157 1	381 3	403 8	549 4	72 7	65 0	39 6	0 0	0 0	0 0	0 0	31 0	1699.9
1962	73 9	135 5	462 7	285 4	84 8	44 3	9 9	0 9	15 0	0 0	10 7	26 7	1149.8
1963	251 9	285 6	656 8	298 0	54 6	5 2	2 3	0 0	0 0	0 0	31 2	222 8	1808.4
1964	238 9	149 3	411 8	462 5	178 8	128 9	54 7	2 0	20 4	0 0	4 2	0 0	1651.5
1965	84 3	45 1	284 9	448 4	269 1	120 5	40 5	0 1	6 0	9 3	1 9	10 4	1320.5
1966	3 0	130 6	57 2	117 3	98 2	115 4	31 6	8 5	4 9	7 6	3 2	5 5	583.0
1967	29 6	300 2	472 0	296 3	186 9	72 3	17 0	4 2	3 0	1 2	1 6	35 7	1420.0
1968	75 6	16 2	260 6	200 4	288 5	5 2	24 6	2 5	0 0	0 0	0 0	41 8	915.4
1969	59 5	35 3	160 0	285 0	132 5	49 9	48 6	32 6	8 7	14 0	1 3	9 3	836.7
1970	91 7	19 9	186 2	115 0	25 8	6 9	18 4	3 8	0 0	0 4	9 5	19 9	497.5

000038



Tabela 4 2 - Pluviometria média mensal (mm) na bacia hidrográfica do Reservatório Amarelas (continuação)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1971	44 0	114 5	233 4	236 5	289 9	89 6	42 8	5 6	8 7	42 2	19 9	8 3	1135.4
1972	5 8	144 5	139 2	266 3	128 1	117 8	11 8	17 1	0 0	0 3	0 0	43 7	874.6
1973	71 8	199 5	320 4	493 1	152 9	157 8	55 8	7 2	6 0	17 2	0 7	26 7	1509.1
1974	331 9	189 0	368 1	397 5	317 9	45 2	21 3	10 0	21 0	27 5	7 9	97 4	1834.7
1975	33 3	164 0	216 9	256 8	255 8	188 3	60 2	18 3	18 9	3 5	3 0	86 1	1305.1
1976	91 9	168 9	289 8	129 0	18 2	3 4	0 0	4 6	0 0	21 6	6 2	6 8	740.4
1977	94 2	144 0	207 1	184 7	170 8	137 4	140 8	1 3	11 2	12 7	4 8	6 3	1115.3
1978	43 1	122 7	151 1	117 6	127 2	41 7	56 8	8 4	0 0	12 2	20 7	7 4	708.9
1979	41 6	115 8	67 7	60 8	57 9	47 8	0 0	0 8	40 4	0 0	6 6	0 0	439.4
1980	30 7	327 5	175 6	55 7	24 8	31 0	4 2	0 0	1 4	7 5	6 3	5 7	670.4
1981	36 8	29 2	272 9	85 9	58 5	18 4	3 6	0 0	0 0	0 6	0 0	93 3	599.2
1982	32 7	37 6	119 8	141 5	76 4	27 5	4 3	9 8	0 0	0 0	16 4	0 0	466.0
1983	6 6	128 2	100 1	61 1	26 2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	322.2
1984	11 2	53 6	249 8	300 8	263 7	108 9	33 9	45 4	3 8	2 0	5 5	0 0	1078.6
1985	170 1	394 9	346 0	290 5	242 7	160 5	34 9	16 8	4 9	0 0	0 0	70 2	1731.5
1986	90 5	136 3	316 6	279 6	95 1	86 1	9 2	9 1	12 9	9 9	5 2	7 1	1057.6
1987	20 0	111 1	416 5	133 5	32 9	145 1	20 7	8 3	0 0	0 0	1 8	0 0	889.9
1988	89 5	88 7	166 9	188 2	175 1	83 6	61 3	0 0	13 8	0 0	0 0	39 4	906.5
<b>MÉDIA</b>	<b>70.9</b>	<b>143.3</b>	<b>265.9</b>	<b>245.0</b>	<b>143.2</b>	<b>61.3</b>	<b>24.0</b>	<b>7.5</b>	<b>5.9</b>	<b>7.0</b>	<b>10.1</b>	<b>27.5</b>	<b>1011.6</b>
<b>DSVPAD</b>	<b>68.8</b>	<b>115.1</b>	<b>147.7</b>	<b>129.2</b>	<b>95.5</b>	<b>53.1</b>	<b>25.8</b>	<b>10.9</b>	<b>7.9</b>	<b>13.0</b>	<b>29.1</b>	<b>36.5</b>	<b>416.9</b>
<b>CV</b>	<b>0.97</b>	<b>0.80</b>	<b>0.56</b>	<b>0.53</b>	<b>0.67</b>	<b>0.87</b>	<b>1.08</b>	<b>1.46</b>	<b>1.35</b>	<b>1.85</b>	<b>2.88</b>	<b>1.33</b>	<b>0.41</b>

#### 4 2 2 - Vazões médias observadas

A série fluviométrica a nível mensal para a estação Baú está apresentada abaixo na Tabela 4 3

TABELA 4.3 - RIO PACOTI EM BAU - VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m<sup>3</sup>/s)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1967	0 00	0 52	6 35	9 31	9 90	0 96	0 37	0 30	0 00	0 00	0 00	0 00	2 31
1968	0 00	0 00	1 48	5 39	9 61	0 52	0 07	0 00	0 00	0 07	0 15	0 15	1 45
1969	0 15	0 07	0 59	7 83	3 40	0 44	1 11	0 15	0 00	0 00	0 00	0 00	1 15
1970	0 22	0 00	0 22	0 67	0 15	0 07	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 11
1971	0 00	0 00	0 81	3 99	3 84	4 06	2 14	0 07	0 00	0 00	0 00	0 00	1 24
1972	0 00	0 00	0 00	0 15	0 81	0 22	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 10
1973	0 00	0 96	8 13	14 56	7 02	7 61	0 81	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	3 26

000039

### 4.3 - Parâmetros do Modelo Chuva-Vazão

O período de vazões observadas 1967-1973 foi utilizado na calibração do MODHAC

O Quadro 4.4 mostra os parâmetros obtidos na calibração automática pelo método de Rosembrook

**QUADRO 4.4**  
**PARÂMETROS UTILIZADOS PELO MODELO MODHAC – CALIBRAÇÃO**

RSPX mm	RSSX mm	RSBX	RSBF	IMAX mm/dia	IMIN Mm/dia	IDEC	ASP	ASS	ASB	PRED	CEVA
138.9	212.4	0.0	0.0	41.19	3.806	0.4224	0.0004	0.0019	0.0	-	0.488

### 4.4 - Simulação da Série de Vazões

Utilizando os parâmetros obtidos na fase de calibração (Quadro 4.4) para a estação Baú, produziu-se com o MODHAC a série de vazões. Utilizou-se, para este fim, a pluviometria média diária calculada a partir dos polígonos de Thiessen para as diversas configurações de postos conforme a disponibilidade de dados de chuva, bem como os dados de evapotranspiração potencial média (calculados no capítulo 2). As características da série de lâminas escoadas na bacia são as seguintes:

- Coeficiente de Escoamento 14,2%
- Lâmina Escoada Média 144,1mm
- Volume escoado médio 27,595 hm<sup>3</sup>/ano
- Coeficiente de Variação 1,17

O coeficiente de deflúvio, calculado pela razão entre a lâmina escoada e a precipitada, situa-se em torno de 14%. O Quadro 4.6 apresenta as lâminas mensais afluentes ao açude Amarelas, em mm, geradas pela simulação com MODHAC no período 1932-1988. O Quadro 4.7 apresenta a série de vazões médias, em m<sup>3</sup>/s, afluentes à futura barragem Amarelas.



QUADRO 4 6

LÂMINA MÉDIA (mm) ESCOADA AFLUENTE A BARRAGEM DE AMARELAS

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1932	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	0.0
1933	00	00	00	00	03	01	00	00	00	00	00	00	0.4
1934	00	00	56.6	57.0	147.4	48.9	9.7	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	322.4
1935	00	24.5	25.2	92.0	97.3	11.6	10.8	5.3	0.4	0.0	0.0	0.0	267.2
1936	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	0.0
1937	00	7.7	2.8	99.3	59.6	14.9	11.6	7.6	1.2	0.0	0.0	0.0	204.8
1938	00	00	00	29.9	3.8	3.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.2
1939	00	179.2	134.7	143.3	11.4	10.3	5.1	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	485.6
1940	00	00	00	72.4	40.5	11.0	10.0	4.6	0.1	0.0	0.0	0.0	138.6
1941	00	00	1.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9
1942	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	0.0
1943	00	00	00	44.0	3.7	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.9
1944	00	00	00	6.2	36.8	4.6	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.2
1945	00	41.3	17.2	108.1	119.0	33.4	37.1	7.7	1.2	0.0	0.0	0.0	365.0
1946	00	00	6.6	70.9	8.7	8.0	3.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	98.0
1947	00	00	46.0	28.7	30.0	8.1	4.1	0.1	0.0	0.0	21.4	1.8	140.2
1948	0.5	0.0	0.0	3.4	1.4	1.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4
1949	00	00	0.7	17.3	63.3	9.1	7.6	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	99.8
1950	00	00	35.1	181.0	22.3	10.8	5.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	254.9
1951	00	00	0.0	2.7	0.7	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6
1952	00	00	0.0	144.4	69.6	11.1	6.2	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	232.1
1953	00	00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1954	00	00	0.0	0.7	29.2	3.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.9
1955	00	00	0.0	24.8	40.6	6.2	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	74.8
1956	00	00	0.0	33.0	2.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0
1957	00	00	131.0	191.0	13.0	10.4	4.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	350.2
1958	00	00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1959	00	00	52.7	52.1	66.3	11.2	6.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	189.5
1960	00	00	266.9	92.7	22.2	11.2	7.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	401.7
1961	00	70.5	100.4	397.1	18.0	11.2	7.4	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	606.4
1962	00	00	72.3	65.0	27.3	10.8	5.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	181.0
1963	2.8	44.5	332.4	145.2	13.5	9.9	3.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	552.4
1964	17.7	1.5	80.8	248.2	27.3	30.0	11.6	7.2	1.1	0.0	0.0	0.0	425.5
1965	00	00	12.7	106.5	118.7	27.9	11.5	6.1	0.5	0.0	0.0	0.0	284.0
1966	00	00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1967	00	3.7	115.6	126.0	88.8	11.5	8.7	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	356.5
1968	00	00	0.0	3.7	45.9	5.8	3.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	59.3
1969	00	00	0.0	11.1	11.9	2.7	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.9
1970	00	00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	00	00	0.0	10.8	46.2	10.8	5.4	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	74.8
1972	00	00	0.0	30.6	5.0	3.4	2.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	42.0
1973	00	00	34.0	184.4	13.5	64.8	11.5	6.9	0.9	0.0	0.0	0.0	316.0
1974	23.6	18.7	81.9	197.7	154.3	13.5	10.2	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	503.6
1975	00	00	0.0	13.7	36.5	29.1	8.0	5.7	0.8	0.0	0.0	0.0	93.8
1976	00	00	31.5	3.1	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.8
1977	00	00	0.0	0.0	0.1	8.3	6.5	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	16.1

000641

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1978	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	0.0
1979	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	0.0
1980	00	29.1	42.9	5.3	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.5
1981	00	00	6.6	12.2	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.2
1982	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	0.0
1983	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	0.0
1984	00	00	00	41.3	51.7	8.4	7.9	3.2	0.1	0.0	0.0	0.0	112.6
1985	00	54.3	83.0	120.3	143.1	11.9	11.4	6.8	0.9	0.0	0.0	0.0	431.6
1986	00	00	8.8	54.1	5.7	5.3	3.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	77.6
1987	00	00	40.2	10.7	4.6	2.6	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.7
1988	00	00	00	00	12.3	1.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.7
<b>MEDIA</b>	0.8	8.3	31.9	57.6	30.2	8.8	4.6	1.5	0.1	0.0	0.4	0.0	144.1
<b>D PADRAO</b>	3.9	27.3	63.2	78.8	41.2	12.3	6.0	2.4	0.3	0.0	2.8	0.2	169.0
<b>CV</b>	4.95	3.27	1.98	1.37	1.37	1.40	1.30	1.63	2.53	-	7.55	7.55	1.17

QUADRO 4 7

VAZÃO MÉDIA (M3/S) ESCOADA AFLUENTE A BARRAGEM DE AMARELAS

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1932	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.00
1933	0 00	0 00	0 00	0 00	0 02	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.00
1934	0 00	0 00	4 18	4 21	10 89	3 61	0 72	0 21	0 00	0 00	0 00	0 00	1.99
1935	0 00	1 81	1 86	6 80	7 19	0 86	0 80	0 39	0 03	0 00	0 00	0 00	1.65
1936	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.00
1937	0 00	0 57	0 21	7 34	4 40	1 10	0 86	0 56	0 09	0 00	0 00	0 00	1.26
1938	0 00	0 00	0 00	2 21	0 28	0 22	0 04	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.23
1939	0 00	13 24	9 95	10 59	0 84	0 76	0 38	0 12	0 00	0 00	0 00	0 00	2.99
1940	0 00	0 00	0 00	5 35	2 99	0 81	0 74	0 34	0 01	0 00	0 00	0 00	0.85
1941	0 00	0 00	0 12	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.01
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	0.00
1943	0 00	0 00	0 00	3 25	0 27	0 09	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.30
1944	0 00	0 00	0 00	0 46	2 72	0 34	0 19	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.31
1945	0 00	3 05	1 27	7 99	8 79	2 47	2 74	0 57	0 09	0 00	0 00	0 00	2.25
1946	0 00	0 00	0 49	5 24	0 64	0 59	0 27	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0.60
1947	0 00	0 00	3 40	2 12	2 22	0 60	0 30	0 01	0 00	0 00	1 58	0 13	0.86
1948	0 04	0 00	0 00	0 25	0 10	0 10	0 06	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.05
1949	0 00	0 00	0 05	1 28	4 68	0 67	0 56	0 13	0 00	0 00	0 00	0 00	0.61
1950	0 00	0 00	2 59	13 37	1 65	0 80	0 39	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00	1.57
1951	0 00	0 00	0 00	0 20	0 05	0 05	0 04	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.03
1952	0 00	0 00	0 00	10 67	5 14	0 82	0 46	0 06	0 00	0 00	0 00	0 00	1.43
1953	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.00
1954	0 00	0 00	0 00	0 05	2 16	0 26	0 11	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.22
1955	0 00	0 00	0 00	1 83	3 00	0 46	0 24	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.46
1956	0 00	0 00	0 00	2 44	0 19	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.22
1957	0 00	0 00	9 68	14 11	0 96	0 77	0 33	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	2.16
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	0.00
1959	0 00	0 00	3 89	3 85	4 90	0 83	0 46	0 07	0 00	0 00	0 00	0 00	1.17
1960	0 00	0 00	19 72	6 85	1 64	0 83	0 52	0 12	0 00	0 00	0 00	0 00	2.47
1961	0 00	5 21	7 42	29 34	1 33	0 83	0 55	0 12	0 00	0 00	0 00	0 00	3.73
1962	0 00	0 00	5 34	4 80	2 02	0 80	0 38	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00	1.11
1963	0 21	3 29	24 56	10 73	1 00	0 73	0 28	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	3.40
1964	1 31	0 11	5 97	18 34	2 02	2 22	0 86	0 53	0 08	0 00	0 00	0 00	2.62
1965	0 00	0 00	0 94	7 87	8 77	2 06	0 85	0 45	0 04	0 00	0 00	0 00	1.75
1966	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.00
1967	0 00	0 27	8 54	9 31	6 56	0 85	0 64	0 17	0 00	0 00	0 00	0 00	2.20
1968	0 00	0 00	0 00	0 27	3 39	0 43	0 28	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0.37
1969	0 00	0 00	0 00	0 82	0 88	0 20	0 09	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.17
1970	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.00
1971	0 00	0 00	0 00	0 80	3 41	0 80	0 40	0 12	0 00	0 00	0 00	0 00	0.46
1972	0 00	0 00	0 00	2 26	0 37	0 25	0 21	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0.26
1973	0 00	0 00	2 51	13 62	1 00	4 79	0 85	0 51	0 07	0 00	0 00	0 00	1.95
1974	1 74	1 38	6 05	14 61	11 40	1 00	0 75	0 28	0 00	0 00	0 00	0 00	3.10
1975	0 00	0 00	0 00	1 01	2 70	2 15	0 59	0 42	0 06	0 00	0 00	0 00	0.58
1976	0 00	0 00	2 33	0 23	0 16	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.23
1977	0 00	0 00	0 00	0 00	0 01	0 61	0 48	0 09	0 00	0 00	0 00	0 00	0.10

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1978	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.00
1979	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.00
1980	0 00	2 15	3 17	0 39	0 09	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.48
1981	0 00	0 00	0 49	0 90	0 10	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.12
1982	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.00
1983	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.00
1984	0 00	0 00	0 00	3 05	3 82	0 62	0 58	0 24	0 01	0 00	0 00	0 00	0.69
1985	0 00	4 01	6 13	8 89	10 57	0 88	0 84	0 50	0 07	0 00	0 00	0 00	2.66
1986	0 00	0 00	0 65	4 00	0 42	0 39	0 26	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0.48
1987	0 00	0 00	2 97	0 79	0 34	0 19	0 12	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.37
1988	0 00	0 00	0 00	0 00	0 91	0 08	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.08
<b>MEDIA</b>	<b>0 06</b>	<b>0.62</b>	<b>2.36</b>	<b>4 25</b>	<b>2 23</b>	<b>0.65</b>	<b>0 34</b>	<b>0 11</b>	<b>0.01</b>	<b>0.00</b>	<b>0.03</b>	<b>0.00</b>	<b>0 89</b>
<b>D</b>	<b>0 29</b>	<b>2.01</b>	<b>4.67</b>	<b>5.82</b>	<b>3.05</b>	<b>0.91</b>	<b>0.44</b>	<b>0.18</b>	<b>0.02</b>	<b>0.00</b>	<b>0 21</b>	<b>0 02</b>	<b>1.04</b>
<b>PADRAO</b>													
<b>cv</b>	<b>4 95</b>	<b>3 27</b>	<b>1.98</b>	<b>1.37</b>	<b>1.37</b>	<b>1.40</b>	<b>1 30</b>	<b>1 63</b>	<b>2 53</b>	<b>-</b>	<b>7.55</b>	<b>7.55</b>	<b>1 17</b>



## **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

### 5.1 - Metodologia

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

A metodologia procura descrever as diversas hipóteses de cálculo da cheia de projeto a escolha da chuva de projeto, o hidrograma utilizado, a definição da precipitação efetiva, o hidrograma da cheia na bacia e, por fim, o seu amortecimento no sangradouro. A ferramenta utilizada para a implementação desta metodologia foi o programa HEC-1<sup>4</sup>.

<sup>4</sup>US ARMY CORPS OF ENGINEERS - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, 1990 HEC-1 FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE - USERS MANUAL, 415 p.  
C:\GHG 99\Projetos\Amaré\Barragem\Hidrologia\Relatorio-Hidrologia.doc



As relações chuva-deflúvio para a bacia do açude Amarelas 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 hietograma de projeto correspondentes a 1 000 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 ora estudada, 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 - Precipitação

Para cálculo do escoamento superficial na bacia do hidrográfica foi utilizada uma precipitação com distribuição espacial uniforme. O HEC-1 permite a entrada de tormentas históricas ou sintéticas, sendo as últimas frequentemente utilizadas para planejamento e estudos de projetos.

Utilizou-se o método de Taborga para calcular a chuva de projeto. O Quadro 5.1 apresenta a chuva de projeto associada ao tempo de retorno de 1 000 anos e 10 000 anos.

**QUADRO 5.1**  
**CHUVA DE PROJETO ADOTADA (MM)**

Duração	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) - TR 1000	18 1	49 9	90 0	123 1	142 5	175 7	208 8	242 0
P (mm) – TR 10000	22 8	61 3	110 0	152 2	176 9	219 2	261 5	303 7

O hietograma de projeto tem uma duração igual 24 horas, bem maior que o tempo de concentração da bacia para considerar o efeito do volume da cheia no dimensionamento do sangradouro. O tempo de concentração da bacia hidrográfica foi estimado pela fórmula de Kirpich e verificado quanto à velocidade média do escoamento

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

onde  $T_c$  = tempo de concentração em minutos,  $L$  = comprimento do maior talvegue em km,  $\Delta H$  = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório. Logo, para a bacia do Camará em Amarelas tem-se

Seção Amarelas  $L = 30,66$  km

$\Delta H = 57,0$  m

**QUADRO 5.2**  
**CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA UTILIZADAS PARA ESTIMAR O**  
**HIDROGRAMA DE CHEIA**

BACIA	ÁREA	Comprimento do talvegue principal	Declividade	TC	Tlag	CN	Velocidade
	(km <sup>2</sup> )	(km)	(m/km)	(h)	(h)		(m/s)
Camara	191 50	30 66	1 86	10 44	6 26	68	0 82

Os dados mostrados acima são as características básicas determinadas para o cálculo da vazão e tempos de pico do hidrograma de cheia

## 5.1.2 - Precipitação Efetiva

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

O cálculo das perdas de precipitação 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 determinado pela seguinte relação empírica

$$I_a = 0,20 S$$

(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	CONDIÇÕES ÚMIDAS
$CN(I) = \frac{4,2 \text{ CN(II)}}{10 - 0,058 \text{ CN(II)}}$	$CN(III) = \frac{2,3 \text{ CN(II)}}{10 + 0,13 \text{ CN(II)}}$

Alternativamente, os CNs para estas condições podem ser obtidos, a partir da condição normal (AMC II), utilizando-se tabelas<sup>5</sup>

<sup>5</sup> PONCE, V.M. 1989. ENGINEERING HYDROLOGY. PRINCIPLES AND PRACTICES. PRENTICE HALL, NEW JERSEY, 640 p.

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

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

Desde que o método do SCS dá o excesso total para uma tormenta, o excesso incremental de precipitação para um período de tempo é calculado como a diferença entre o excesso acumulado no fim do presente período e o acumulado do período anterior.

A chuva de projeto associada ao tempo de retorno de 1 000 anos foi aquela correspondente a uma duração de 24 horas a fim de considerar a influência do volume da cheia na definição do pico do hidrograma. 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). A partir desta série de precipitação acumulada calcula-se a precipitação efetiva utilizando-se o método curva número.

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

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

onde  $P_n$  é a precipitação para a duração de  $n$  minutos.

### 5.1.3 - Distribuição dos Grupos de Solos Hidrológicos

A bacia hidrográfica do açude Amarelas é recoberta com as seguintes proporções dos grupos de solos hidrológicos do SCS. Estes valores foram obtidos através da planimetria das áreas das zonas de permeabilidade produzida no Plano Estadual dos Recursos Hídricos e pela estimativa das condições de uso do solo e umidade antecedente (AMC II). A média ponderada do CN sobre toda a bacia hidrográfica ficou igual a 68.

**QUADRO 5.2**  
**PROPORÇÃO DOS TIPOS DE SOLOS HIDROLÓGICOS**

SOLOS	AREAS (KM <sup>2</sup> )	AREAS (%)	CN
	Subbacia1	Subbacia1	
A	147,5	77,0%	65
C	44,0	23,0%	81
<b>TOTAL</b>	<b>191,5</b>	<b>68</b>	

### 5.1.4 - Hidrograma Unitário

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 km<sup>2</sup>, e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas. Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro: o TLAG. Este parâmetro, TLAG, 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

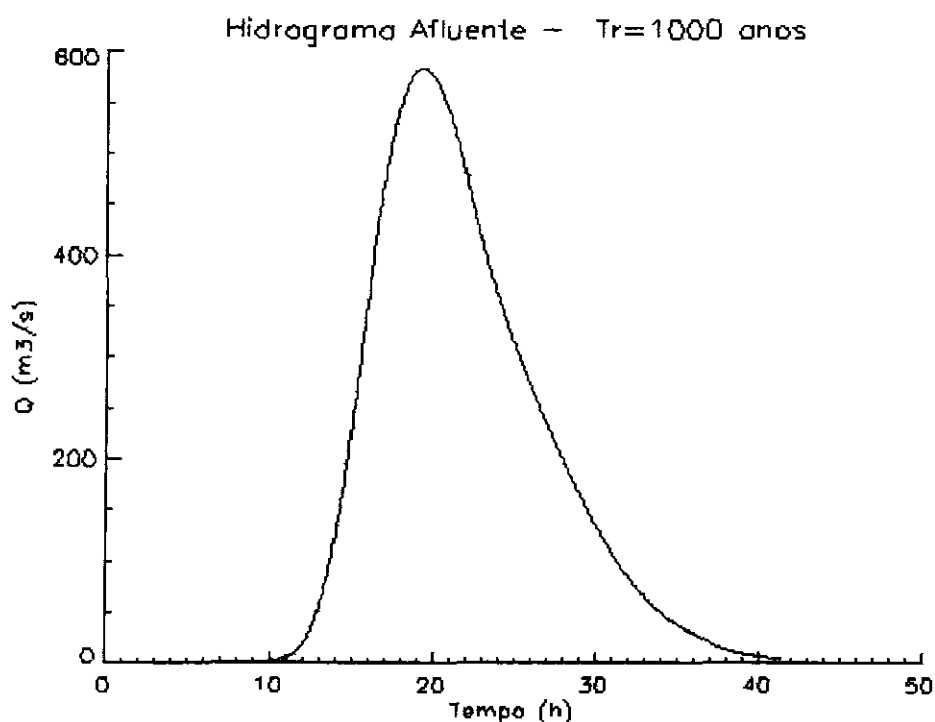
$$Q_p = 208 \frac{A}{t_p} \quad t_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{LAG}$$

onde  $Q_p$  = é a vazão de pico (m<sup>3</sup>/s),  $t_p$  = tempo de pico do hidrograma (h),  $A$  = área da bacia em km<sup>2</sup> e  $\Delta t$  = o intervalo de cálculo em horas ( $\Delta t = t_c/6$ )

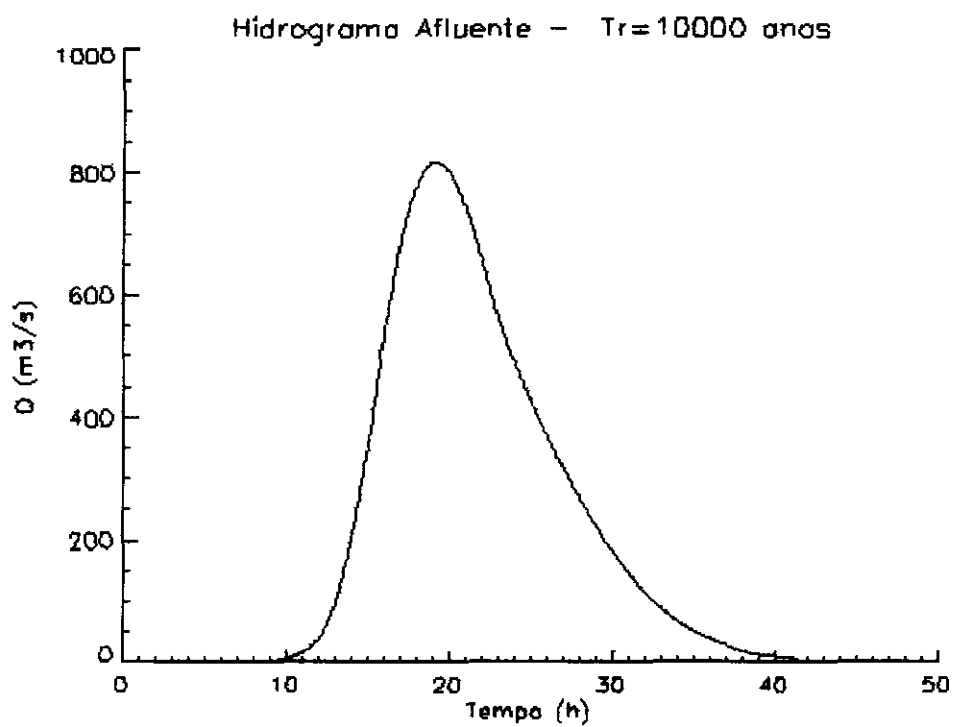
## 5.2 - Resultados

A adoção de cheias de projeto da magnitude da cheia máxima provável não se justifica para o reservatório em estudo, por sua localização, capacidade e finalidades. Assim, dentro desta perspectiva, optou-se por utilizar a cheia associada ao hietograma de 1 000 anos e verificar posteriormente para o hietograma de 10 000 anos.

Os hidrogramas afluentes para os tempos de retorno 1 000 e 10 000 anos encontram-se apresentados nas Figuras 5.2 e 5.3. O pico do hidrograma afluente ao açude Amarelas associado aos tempos de retorno 1 000 e 10 000 anos foram respectivamente de 583,6 m<sup>3</sup>/s e 818,2 m<sup>3</sup>/s.



**FIGURA 5.1**  
**HIDROGRAMA AFLUENTE ASSOCIADO AO TEMPO DE RETORNO 1.000 ANOS.**  
**AÇUDE AMARELAS.**



**FIGURA 5.2**  
**HIDROGRAMA AFLUENTE ASSOCIADO AO TEMPO DE RETORNO 10.000 ANOS.**  
**AÇUDE AMARELAS.**





## **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 ter a obra de maneira que ganhos em regularização de águas justifique os investimentos a serem realizados.

Os objetivos centrais deste capítulo são

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

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 o método da solução direta do balanço hídrico

#### 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

$\alpha$  - 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)<sup>6</sup>, a saber

- 1 estabelece-se um valor inicial para a retirada  $M$ ,
- 2 considera-se um volume inicial igual  $\text{MIN}(0,05 K, 0,2 \square)$ ,
- 3 Calcula-se

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

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

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

onde  $ZU$  é o volume armazenado no final da estação e  $DS$  o volume sangrado no ano  $t$

- 4 Calcula-se o volume no fim da estação seca (início do próximo ano) por

<sup>6</sup> CAMPOS, J N B 1990. REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMI-TENTES TESE PARA CONCURSO DE PROF TITULAR UFC

- 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*

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

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

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

*VOLUME UTILIZADO*

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

*ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO*

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

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

*ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO*

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

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

*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 0,001 unidades. Caso afirmativo aceita-se o valor de M, caso contrário atribui-se novo valor de M e retorna-se a 1

## 6.3 - Resultados

### 6.3.1 - Parâmetros utilizados

As características da série de vazões afluentes ao açude Amarelas e os parâmetros utilizados na simulação da operação são os seguintes

#### Barragem Amarelas

- Área da Bacia hidrográfica 191,5 km<sup>2</sup>
- lâmina média escoada anual 144,1 mm
- volume afluente médio escoado ( $\mu$ ) 27,595 hm<sup>3</sup>/ano
- fator de forma da bacia hidráulica ( $\alpha$ ) 21569
- coeficiente de variação (CV) 1,17
- evaporação durante a estação seca (E) 1,045 m
- fator de capacidade (fk) variável entre 0,25 e 3,00

### 6.3.2 - Análise do reservatório Amarelas

No caso da *Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico*, as características do regime fluviométrico acima foram utilizadas para a geração da série afluente ao reservatório. Para aplicação deste método faz-se necessário a determinação do fator de forma  $\alpha$ , lâmina evaporada e fator adimensional de evaporação e capacidade. O fator adimensional de capacidade é variável, uma vez que pretende-se analisar o ganho na regularização em função do aumento da capacidade. Assim,

$$\alpha = 21569,15$$

$$E = 0,8 \cdot (197,0 + 235,0 + 244,0 + 248,0 + 201,0 + 176,0)$$

$$E = 1045 \text{ mm}$$

$$f_E = \frac{3 \alpha^{1/3} E}{\mu^{1/3}}$$

$$f_E = 0,289$$

Com base nestes valores utilizou-se a solução direta da equação do balanço hídrico para o estudo incremental de capacidades do açude Amarelas. No Quadro 6.1 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de  $f_k$ , assim como a vazão regularizada com 90% de garantia. A Figura 6.2 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 AMARELAS 90% DE GARANTIA.**  
**(CAMPOS, 1990)<sup>7</sup>**

Cota*	K	$f_k=K/m$	%LIB	LIB	%EV	EV	%SG	SG	dM/dK	Q90
(m)	( $hm^3$ )			( $hm^3/ano$ )		( $hm^3/ano$ )		( $hm^3/ano$ )		( $m^3/s$ )
13.8	6.899	0.25	6.69	1.846	7.40	2.042	85.91	23.707	----	0.063
15.6	13.798	0.50	13.05	3.601	11.67	3.220	75.27	20.771	0.278	0.124
16.9	20.696	0.75	19.14	5.282	14.92	4.117	65.94	18.196	0.276	0.184
17.9	27.595	1.00	22.74	6.275	18.17	5.014	59.09	16.306	0.157	0.219
18.7	34.494	1.25	25.31	6.984	21.18	5.845	53.51	14.766	0.110	0.243
19.4	41.393	1.50	27.84	7.682	23.75	6.554	48.41	13.359	0.110	0.267
20.1	48.291	1.75	30.41	8.392	25.96	7.164	43.63	12.040	0.117	0.292
20.7	55.190	2.00	32.33	8.921	28.08	7.749	39.59	10.925	0.085	0.311
21.2	62.089	2.25	33.52	9.250	30.24	8.345	36.23	9.998	0.051	0.322
21.7	68.988	2.50	34.94	9.642	32.06	8.847	33.00	9.106	0.064	0.336
22.2	75.886	2.75	35.87	9.898	33.92	9.360	30.22	8.339	0.040	0.345
22.7	82.785	3.00	36.92	10.188	35.53	9.805	27.55	7.602	0.047	0.355

(\*) Estimada através da relação volume-cota

LIB - VOLUME LIBERADO

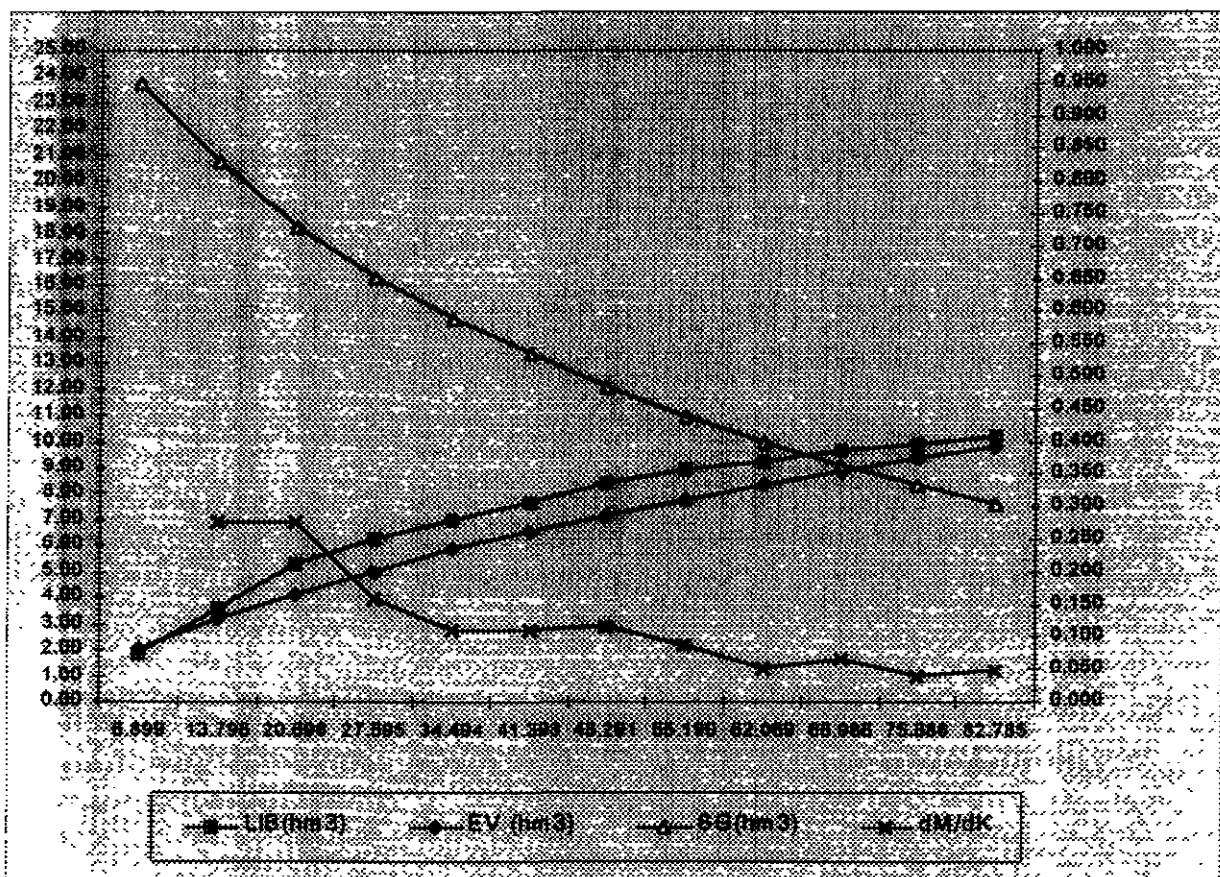
SG - VOLUME SANGRADO

EV - VOLUME EVAPORADO

K = capacidade do reservatório

$dm/dK$  = ganho de regularização com o aumento de capacidade do reservatório

Q90 = vazão regularizada com 90% de garantia



**FIGURA 6.1**  
**CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO AMARELAS**

A interpretação dos dados sobre a eficiência hidrológica do reservatório mostra que o maior ganho de regularização com relação a variação da capacidade do reservatório Amarelas (dM/dK) acontece no intervalo entre 0,5 e 1,75 multiplicado pelo volume afluente. Para um valor em torno de  $fk=1,5$  (capacidade =  $41,393 \text{ hm}^3$ ) o açude mantém um ganho de vazão regularizada próximo a  $0,110 \text{ hm}^3/\text{ano}/\text{hm}^3$  de capacidade, passando a diminuir consideravelmente esta taxa para  $fk$  maior que 2,0.



## **7 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO**



## 7 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO

Nas análises do dimensionamento do sangradouro foi adotada a cheia associada ao tempo de retorno de 1 000 anos, calculando-se a laminação correspondente para cada alternativa de sangradouro, fornecendo, finalmente, elementos suficientes para a determinação da cota de coroamento da barragem. A cheia decamilenar servirá apenas para verificar a condição de não galgamento da barragem, isto é, não considerando folga para esta frequência de cheia. A partir 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 da 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  $t+1$ ,  $\Delta t$  = 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  $Q=f(S)$ , constrói-se uma função  $Q=h(Q+2S/\Delta t)$ , resultando no seguinte processo de cálculo

- 1 determinação do volume inicial  $S_0$  (conforme objetivo do estudo), e a partir deste, determina-se  $Q_0$ ,
- 2 calcular o termo direito da equação 2, uma vez que o hidrograma de entrada foi determinado pelo método do hidrograma unitário do SCS,
- 3 com este valor  $(Q_{t+1} + 2 S_{t+1}/ Dt)$  é possível obter  $Q_{t-1}$  através de  $Q=h(Q+2S/Dt)$  e  $S_{t-1}$  através de  $S_{t+1} = f^{-1}(Q_{t+1})$ ,
- 4 repete-se 2 e 3 para todos intervalos de cálculo

Neste estudo foi considerado o dimensionamento de um sangradouro escavado em rocha cuja equação geral é do tipo

$$Q = C L (Z - Z_w)^{3/2}$$

Onde

- $Z$  = cota (m),
- $S$  = armazenamento ( $m^3$ ),
- $Q$  = vazão ( $m^3/s$ ),
- $C$  = coeficiente de descarga,
- $L$  = largura do sangradouro (m),
- $Z_w$  = cota da soleira do sangradouro

Como auxílio na definição da dimensão do reservatório Amarelas, foi realizado o estudo de laminação para as várias alturas de barragem com tempos de retorno de 1 000 e 10 000 anos

Foram estudadas alternativas de sangradouro tipo perfil Creager, coeficiente  $C=2,18$ , largura de 80, 100 e 120m A variação de volume acumulado estudado são correspondentes às seguintes cotas de soleira 18 7 ( $V=34\ 494\ hm^3$ ), 19 4 ( $V=41\ 393\ hm^3$ ) e 20 1 ( $V=48\ 291\ hm^3$ ) como é mostrado abaixo

**Quadro 7 1 - Vazões de pico e lâminas resultantes da simulação para a cheia afluente com  $T_r=1000$ anos (Perfil Creager  $C=2,18$ ,  $Q_p$  afluente = 583,6 m<sup>3</sup>/s, cota da soleira = 18,7 m)**

L	$Q_p$ amortecida	Cota da soleira	Cota de pico	Lâmina máxima
(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)
80.00	253 8	18,7	19 98	1 28
100.00	285 1	18,7	19 89	1 19
120.00	311 6	18,7	19 82	1 12

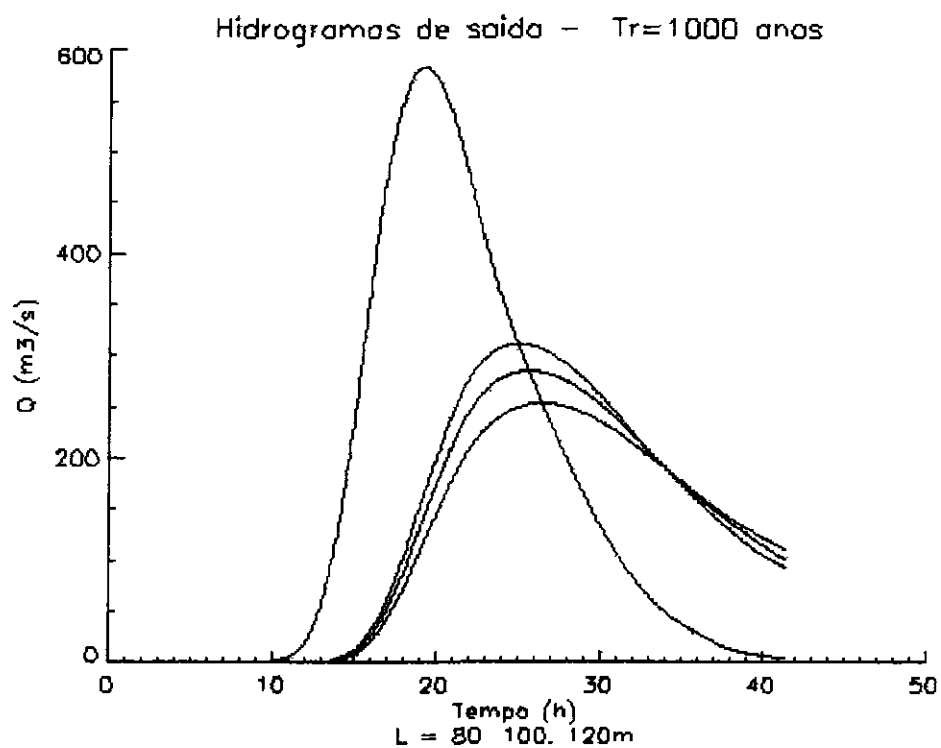
**Quadro 7 2- Vazões de pico e lâminas resultantes da simulação para a cheia afluente com  $T_r=1000$ anos (Perfil Creager  $C=2,18$ ,  $Q_p$  afluente = 583,6 m<sup>3</sup>/s, cota da soleira = 18,7m)**

L	$Q_p$ amortecida	Cota da soleira	Cota de pico	Lâmina máxima
(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)
80.00	235 6	19 4	20 62	1 22
100.00	265 1	19 4	20 54	1 14
120.00	290 9	19 4	20 47	1 07

**Quadro 7 3- Vazões de pico e lâminas resultantes da simulação para a cheia afluente com  $T_r=1000$ anos (Perfil Creager  $C= 2,18$ ,  $Q_p$  afluente = 583,6 m<sup>3</sup>/s, cota da soleira = 18,7 m)**

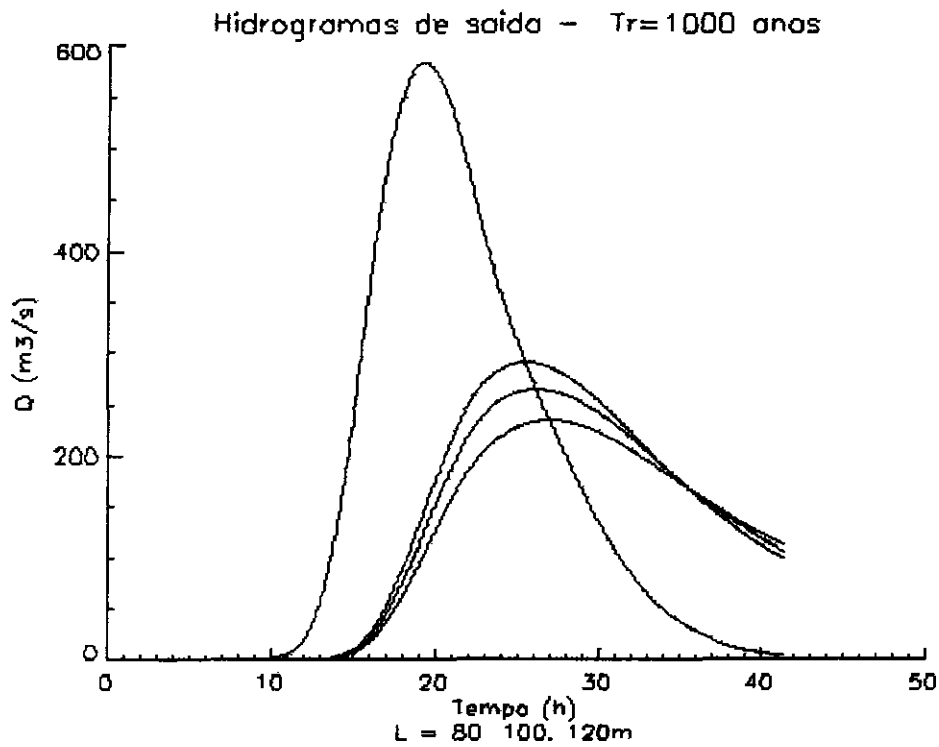
L	$Q_p$ amortecida	Cota da soleira	Cota de pico	Lâmina máxima
(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)
80,00	220 6	20 1	21 27	1 17
100.00	248 5	20 1	21 19	1 09
120.00	273 8	20 1	21 13	1 03

As Figuras 7 1 a 7 3 mostram os hidrogramas afluentes e efluentes com 1 000 anos de tempo de retorno para cada uma das alternativas de capacidade estudada, variando, também, a largura do sangradouro

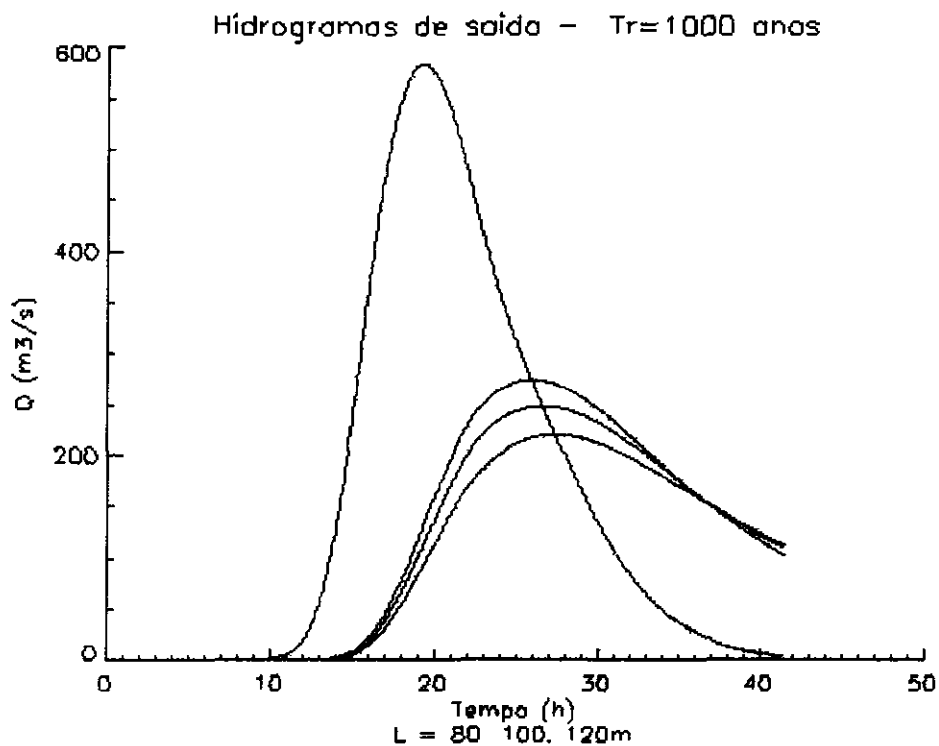


**FIGURA 7.1**

PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A  $TR=1000$  ANOS - COTA SOLEIRA 18,7M  
LARGURA DO SANGRADOURO= 80,100 e 120 M



**FIGURA 7.2**  
**PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A  $TR=1000$  ANOS - COTA SOLEIRA 19,4M**  
**LARGURA DO SANGRADOURO 80,100 E 120**



**FIGURA 7.3**  
**PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A  $TR=1000$  ANOS - COTA SOLEIRA 21,1M**  
**LARGURA DO SANGRADOURO 80,100 E 120**

Foi efetuada, também, a simulação da cheia decamilenar para todas as alternativas estudadas, com o objetivo de verificar o não galgamento da barragem. Os Quadros 7 4, 7 5 e 7 6 resumem os resultados.

Quadro 7 4- Vazões de pico e lâminas resultantes da simulação para a cheia afluyente com  $T_r=10000$ anos (Perfil Creager  $C=2,18$ ,  $Q_p$  afluyente = 818,2 m<sup>3</sup>/s, cota da soleira = 18,7 m)

L	$Q_p$ amortecida	Cota da soleira	Cota de pico	Lâmina máxima
(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)
80.00	378.2	18.70	20.37	1.67
100.00	423.4	18.70	20.25	1.55
120.00	460.8	18.70	20.15	1.45

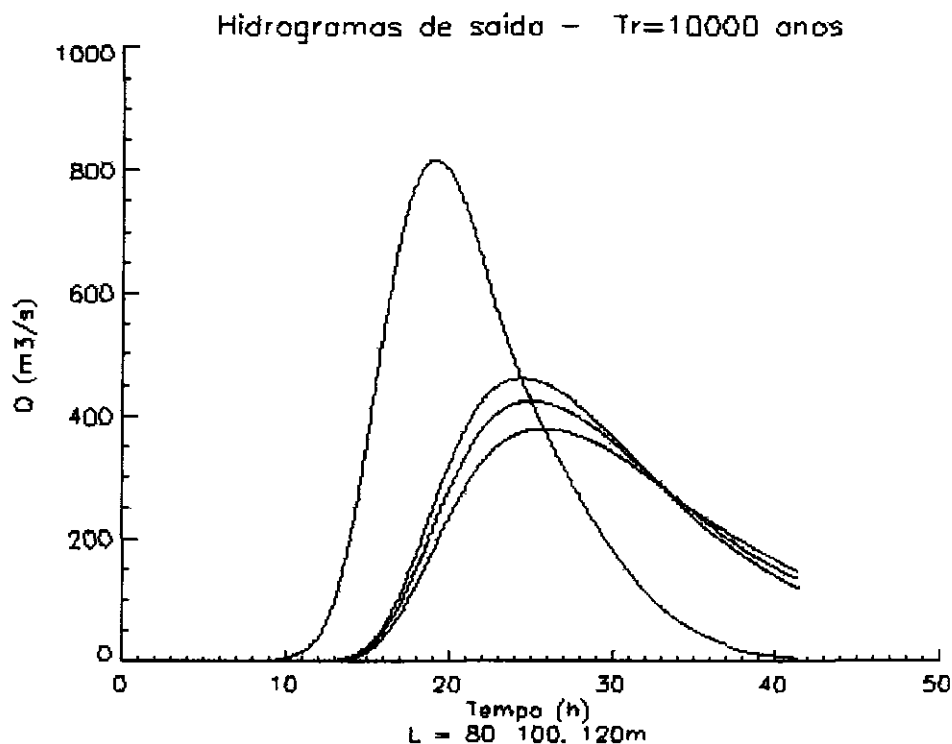
Quadro 7 4- Vazões de pico e lâminas resultantes da simulação para a cheia afluyente com  $T_r=10000$ anos (Perfil Creager  $C=2,18$ ,  $Q_p$  afluyente = 818,2 m<sup>3</sup>/s, cota da soleira = 19,4 m)

L	$Q_p$ amortecida	Cota da soleira	Cota de pico	Lâmina máxima
(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)
80.00	352.9	19.40	21.00	1.60
100.00	397.1	19.40	20.89	1.49
120.00	433.9	19.40	20.79	1.39

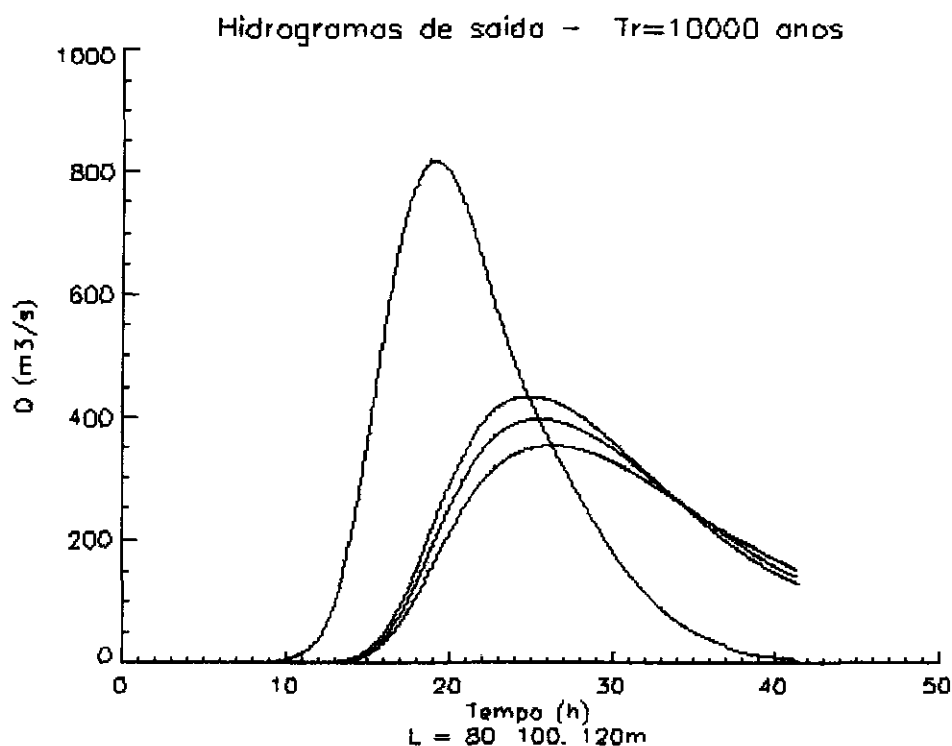
Quadro 7 5- Vazões de pico e lâminas resultantes da simulação para a cheia afluyente com  $T_r=10000$ anos (Perfil Creager  $C=2,18$ ,  $Q_p$  afluyente = 818,2 m<sup>3</sup>/s, cota da soleira = 20,1m)

L	$Q_p$ amortecida	Cota da soleira	Cota de pico	Lâmina máxima
(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)
80.00	332.3	20.10	21.63	1.53
100.00	374.3	20.10	21.53	1.43
120.00	410.6	20.10	21.44	1.34

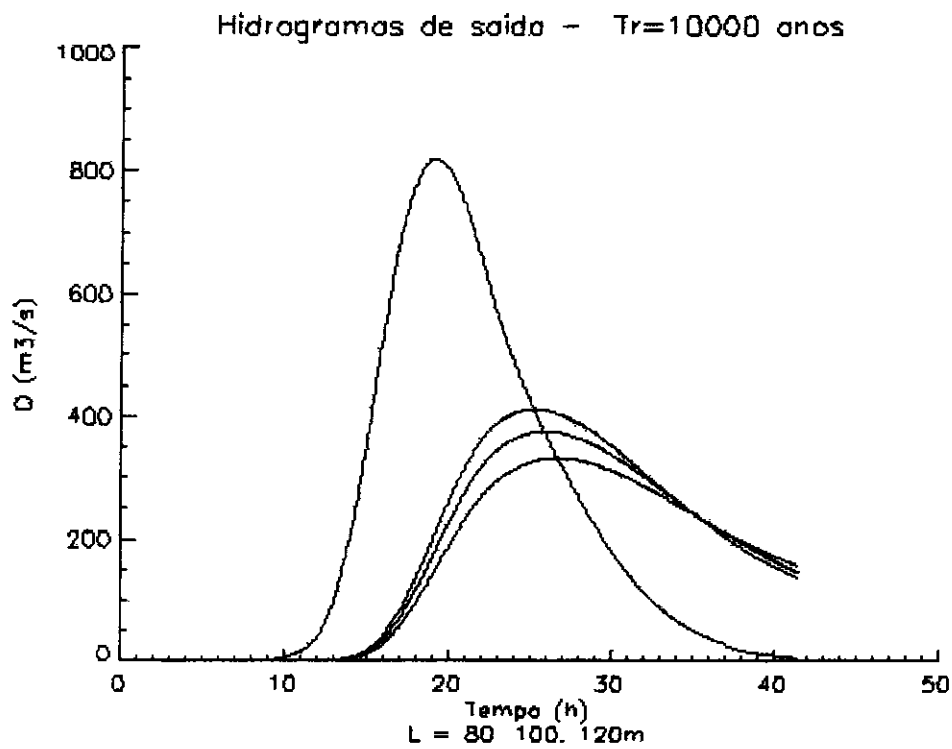
As Figuras 7 4, 7 5 e 7 6 mostram os hidrogramas afluentes e efluentes com 10 000 anos de tempo de retorno para cada alternativa.



**FIGURA 7.4**  
**PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A  $TR=10000$  ANOS - COTA SOLEIRA 18,7M**  
**LARGURA DO SANGRADOURO 80,100 E 120**



**FIGURA 7.5**  
**PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A  $TR=10000$  ANOS - COTA SOLEIRA 19,4M**  
**LARGURA SANGRADOURO=100M**



**FIGURA 7.6**  
**PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A  $TR=10000$  ANOS - COTA SOLEIRA 21,1M**  
**LARGURA DO SANGRADOURO 80,100 E 120**



## “RESUMO”

### CLIMATOLOGIA:

Pluviometria Total Média Anual (sobre a bacia )	1011,6 mm
Evaporação Total Média Anual	2091,0 mm
Insolação Total Média Anual	3031,0
Umidade Relativa Média Anual	66,4
Temperatura Média Anual Média das Máximas	28,7
Temperatura Média Anual Média das Médias	26,0
Temperatura Média Anual Média das Mínimas	21,5
Classificação Climática	DdA'a'

### REGIME HIDROLÓGICO MÉDIO DA BACIA E CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO

• Área da Bacia Hidrográfica	191,5 km <sup>2</sup> ,
• Coeficiente de Escoamento	14,2%,
• Volume afluente médio anual	27,595 hm <sup>3</sup> .
• Lâmina Escoda Média	144,1 mm,
• Coeficiente de Variação dos deflúvios	1,17,
• Capacidade total do reservatório	48,291 hm <sup>3</sup> .
• Volume regularizável anual com 90% de garantia	0,292 m <sup>3</sup> /s.

### DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO

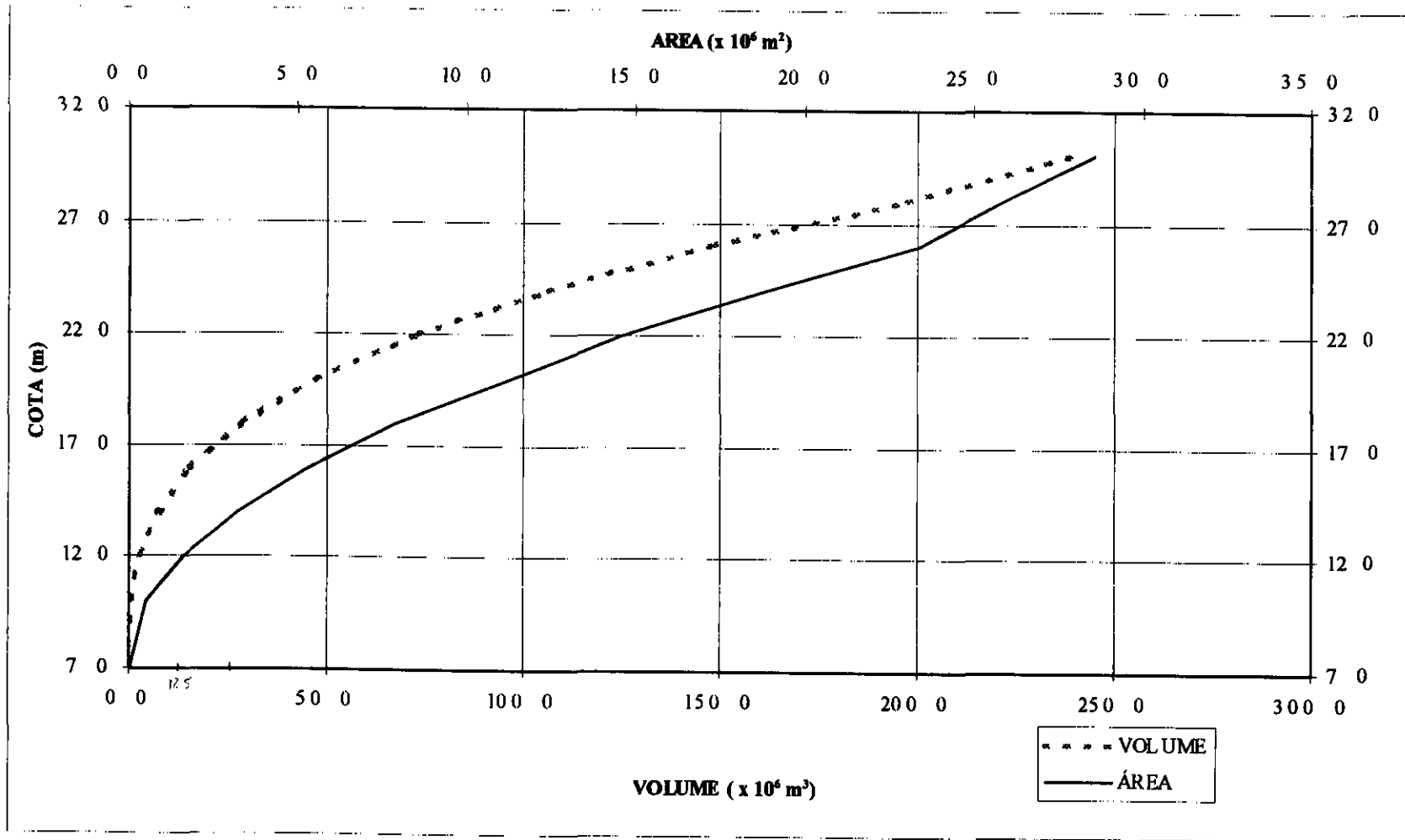
• Tipo de sangradouro	Perfil Creager
• Largura do sangradouro	80,00 m,
• Cota do sangradouro	20,1 m.
• Vazão de pico afluente (Tr=1 000anos)	583,6 m <sup>3</sup> /s,
• Vazão de pico amortecida (Tr=1 000 anos)	311,6 m <sup>3</sup> /s.
• Altura da lâmina vertente (Tr=1 000 anos)	1,12 m.
• Vazão de pico afluente de verificação (Tr=10 000 anos)	818,2 m <sup>3</sup> /s.
• Vazão de pico amortecida de verificação (Tr=10 000 anos)	460,8 m <sup>3</sup> /s,
• Altura da lâmina vertente de verificação (Tr=10 000anos)	1,45 m

### Tabela Cota x Área x Volume

Cota(m)	Area(m2)	Volume(m3)
7	0	0
10	490 718	490 718
20	11 231 022	47 388 549
30	28 586 786	239 841 624

### Tabela Cota x Área x Volume (estimada)

Cota (m)	Area (m2)	Volume (m3)
7 0	0	0
10 0	490718	490718
12 0	1617686	2490301
14 0	3170665	7192376
16 0	5241304	15518068
18 0	7829602	28502696
20 0	11231000	47388549
22 0	14559176	73179608
24 0	18700453	106352962
26 0	23359390	148326528
28 0	25785000	197450952
30 0	28587000	239841624



CURVA COTA - ÁREA - VOLUME DO AÇUDE AMARELAS