

GOVERNO DO ESTADO



**CEARÁ**  
AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

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

**PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM MACACOS**

**TOMO II - RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICOS**

**VOLUME III - ESTUDOS HIDROLÓGICOS**

**ENGEPROL**

**FORTALEZA- CE**  
**ABRIL DE 1999**

GOVERNO DO ESTADO



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

**PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM MACACOS**

**TOMO II**  
**RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICOS**

**VOLUME III**  
**ESTUDOS HIDROLÓGICOS**

Lote 02472 - Prep () Scan ( ) Index ( )  
Projeto Nº 0237/02/03  
Volume 1  
Qtd A4 \_\_\_\_\_ Qtd A3 \_\_\_\_\_  
Qtd A2 \_\_\_\_\_ Qtd A1 \_\_\_\_\_  
Qtd A0 \_\_\_\_\_ Outros \_\_\_\_\_

**0237/02/03**  
**ex.1**

**FORTALEZA**  
abril/99





ÍNDICE

000003

INDICE

<b>APRESENTAÇÃO ..</b>	<b>4</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
<b>2 - CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA . .</b>	<b>8</b>
2 1 - PRINCIPAIS PARÂMETROS	9
2 1 1 - Temperatura	9
2 1 2 - Umidade Relativa	10
2 1 3 - Insolação Média	11
2 1 4 - Nebulosidade	12
2 1 5 - Precipitação Média	13
2 1 6 - Evapotranspiração potencial média	14
2 1 7 - Evaporação média	16
2 2 - BALANÇO HÍDRICO	16
2 3 - CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA	18
2 3 1 - Classificação segundo Thornthwaite	18
2 4 - SINOPSE CLIMATOLÓGICA	19
<b>3 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS .....</b>	<b>20</b>
3 1 - DADOS UTILIZADOS	21
3 2 - CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO	22
3 2 1 - Nivel Anual	22
3 2 2 - Nivel Mensal	22
3 2 3 - Nivel Diário	23
3 2 4 - Método das Isozonas (TORRICO,1975)	29
<b>4 - ESTUDO DE DEFLÚVIOS .....</b>	<b>33</b>
4 1 - METODOLOGIA	34
4 2 - RESULTADOS	36
4 2 1 - Pluviometria média mensal	36
4 2 2 - Vazões médias observadas	38
4 3 - PARÂMETROS DO MODELO CHUVA-VAZÃO	39
4 4 - SIMULAÇÃO DA SÉRIE DE VAZÕES	40
<b>5 - ESTUDO DAS CHEIAS DE PROJETO .....</b>	<b>44</b>
5 1 - METODOLOGIA	45
5 1 1 - Precipitação	46

5 1 2 - Precipitação Efetiva	47
5 1 3 - Distribuição dos Grupos de Solos Hidrológicos	50
5 1 4 - Hidrograma Unitário	50
5 2 - RESULTADOS	51
<b>6 - DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO..... ..</b>	<b>53</b>
6 1 - INTRODUÇÃO	54
6 2 - METODOLOGIA	54
6 2 1 - Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico	54
6 3 - RESULTADOS	56
6 3 1 - Parâmetros utilizados	56
6 3 2 - Análise do reservatório Macacos	57
<b>7 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO .....</b>	<b>60</b>
7 1 - PROPAGAÇÃO DA CHEIA NO RESERVATÓRIO	61

## APRESENTAÇÃO

A ENGEPROL Ltda apresenta, a seguir, o Projeto Executivo da Ampliação da Reserva Hídrica do Sistema Carrapateiras/Macacos, no município de Ibaratama, no estado do Ceará, objeto do Contrato nº 079/97-SRH- Secretaria dos Recursos Hídricos

O referido projeto está apresentado nos seguintes documentos

TOMO I – Relatório dos Estudos Preliminares

TOMO II – Relatórios 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 dos Estudos Básicos

VOLUME III – Estudos Hidrológicos, cujos os capítulos são divididos em

1 – Introdução

2 – Características Climatológicas

3 – Estudos Pluviométricos

4 – Estudo de Cheias

5 – Dimensionamento do Reservatório

6 – Dimensionamento do Sangradouro

## 1 - INTRODUÇÃO



## 1 - INTRODUÇÃO

Os Estudos Hidrológicos do Açude Macacos 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 Cristais, no rio Pirangi, 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 a 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

000009

## 2 - CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

000010

## 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 Macacos

Devido à inexistência de estações meteorológicas na bacia hidrográfica, a caracterização da hidroclimatologia da região onde será construída a barragem Macacos baseou-se na estação de Morada Nova (Latitude 6°05'N, Longitude 39°23' 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 as Normais Climatológicas do INEMET(1992)<sup>1</sup>, resultante das 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-

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

onde, Tcomp	Temperatura média compensada
T12	Temperatura observada às 12 00 TMG
T24	Temperatura observada às 24 00 TMG
TMAX	Temperatura máxima do dia
TMIN	Temperatura mínima do dia

<sup>1</sup>INEMET, 1992 INVENTARIO DE ESTACIONES HIDROCLIMATOLOGICAS

Tabela 2 1 - Temperaturas Médias Máximas, Médias Mínimas e Médias Compensadas (°C)  
na estação de Morada Nova - CE

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máxima	35 1	33 8	32 3	31 9	31 9	31 8	32 6	34 2	35 3	36 1	34 5	35 7
Comp	26 9	27 3	26 7	26 6	26 7	26 0	26 0	26 6	27 6	27 9	28 4	28 3
Mínima	22 3	23 5	23 0	21 8	22 6	21 4	20 8	20 6	21 4	22 1	20 8	22 9

FORNTE INEMET (1992)

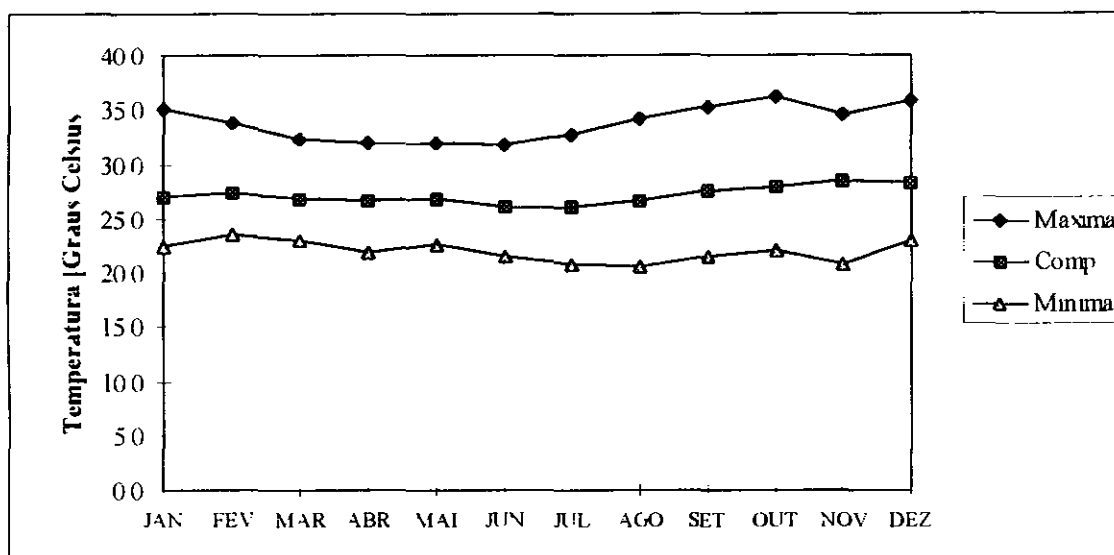


Figura 2 1 - Temperaturas Médias Máximas, Médias Mínimas e Médias Compensadas na estação de Morada Nova - CE

A temperatura média compensada apresenta uma pequena variação durante o ano. As médias máximas e médias mínimas extremas ocorrem, respectivamente, no mês de dezembro (35,7 °C) e agosto (20,6 °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 22,8% ocorrida entre os meses de abril (80,3%) e novembro (57,5%), como pode ser verificado no Tabela 2 2 e na figura 2 2

Tabela 2 2 - Umidade Relativa Média na estação de Morada Nova - CE

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
%	65,8	72,0	80,3	79,5	75,0	73,7	67,6	61,4	57,5	58,0	58,3	61,4	67,5

FONTE INEMET (1992)

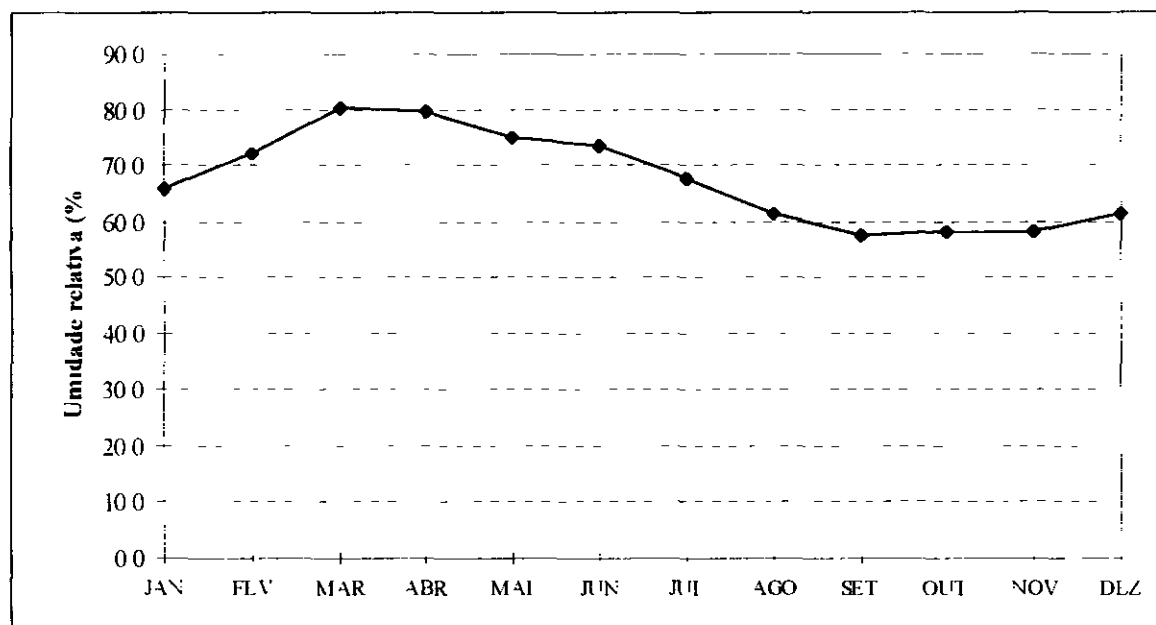


Figura 2 2 - Umidade Relativa Média na estação de Morada Nova - CE

### 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 Morada Nova - CE e sua distribuição mensal. Em termos médios anuais têm-se 2982,8 horas de exposição, podendo-se concluir que cerca de 68,1 % 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 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 (282,7 horas) e o mês de fevereiro o menor (197,9 horas).

Tabela 2 3 - Insolação Média na estação de Morada Nova - CE

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
horas	232,6	203,1	206,3	197,9	233,5	248,9	259,0	279,9	282,7	297,0	279,2	262,7	2982,8

FONTE INEMET (1992)

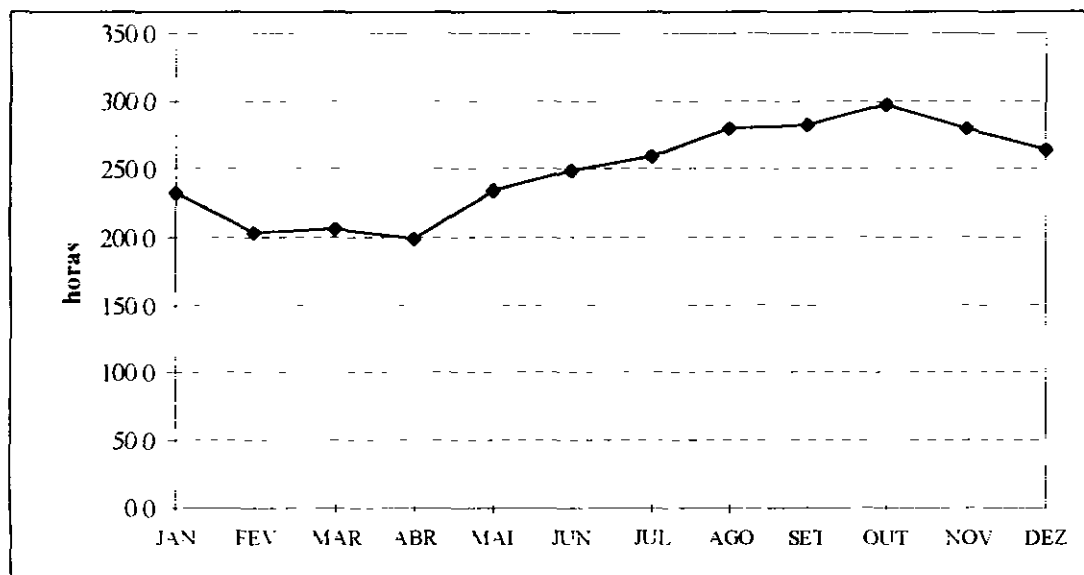


Figura 2 3 - Insolação total média na estação de Morada Nova - CE

#### 2 1 4 - Nebulosidade

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

Tabela 2 4 - Nebulosidade na estação de Morada Nova - CE

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
NEB 0-10	5 5	5 8	6 7	6 1	5 5	4 8	4 4	3 0	3 1	3 3	3 9	4 5	4 7

FONTE INEMET (1992)

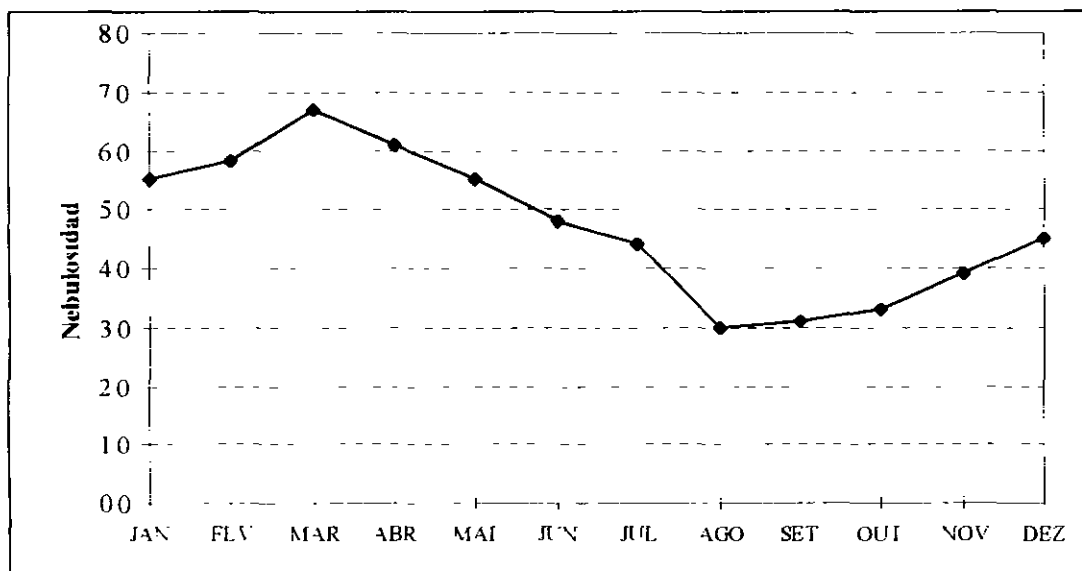


Figura 2 4 - Nebulosidade na estação de Morada Nova - CE

#### 2 1 5 - Precipitação Media

A precipitação media anual observada na bacia do Riacho dos Macacos é de 800,0mm. 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 do Riacho dos Macacos

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

007015

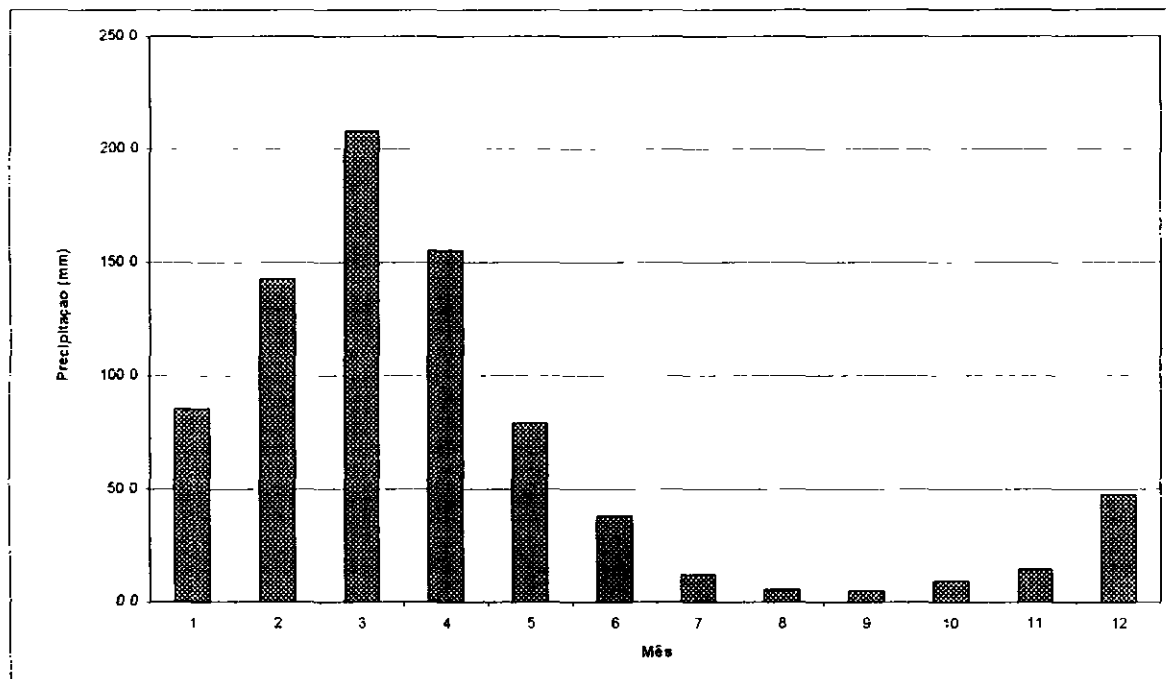


Figura 2 5 - Precipitação mensal sobre a bacia do Riacho dos Macacos

#### 2 1 6 - Evapotranspiração potencial média

Como estimativa da evapotranspiração média, foi utilizada a equação de Hargreaves<sup>2</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.

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

F - Fator dependente da latitude (adimensional)

T - Temperatura média compensada em °C

U - Umidade relativa do ar (%)

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

000016



Tabela 2 6 - Evapotranspiração potencial média mensal para a bacia do Riacho dos Macacos

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
Mm	183 2	150 7	133 5	121 6	126 4	116 6	137 0	165 7	183 0	200 6	198 8	200 5	1917 6

FONTE HARGREAVES (1974)

O trimestre que apresenta os maiores valores de evapotranspiração corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (200,6 mm) O trimestre abril/maio/junho possui o menor índice de evaporação, ocorrendo o mínimo em março com 116,6 mm

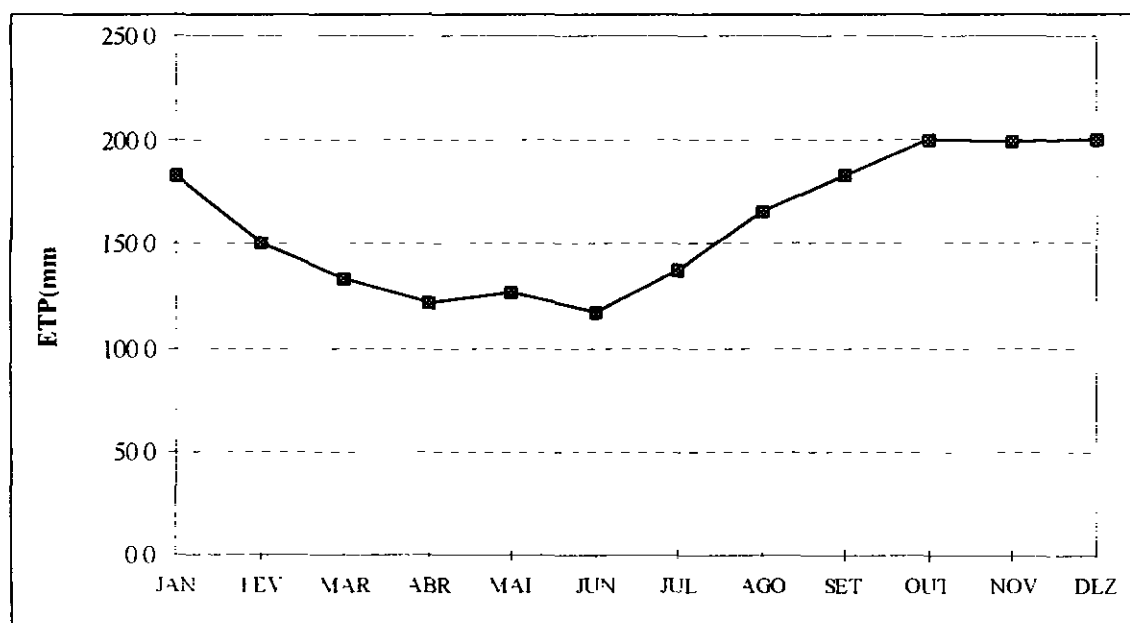


Figura 2 6 - Evapotranspiração potencial média mensal

## 2.1.7 - Evaporação média

A evaporação anual observada de acordo com a publicação Normais Climatológicas do Brasil (INEMET, 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	207,7	149,8	87,7	90,1	112,4	128,7	179,6	243,8	246,7	279,3	259,9	249,5	2235,2

FORNE INEMET (1992)

O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a outubro/novembro/dezembro, ocorrendo o máximo em outubro (279,3 mm)

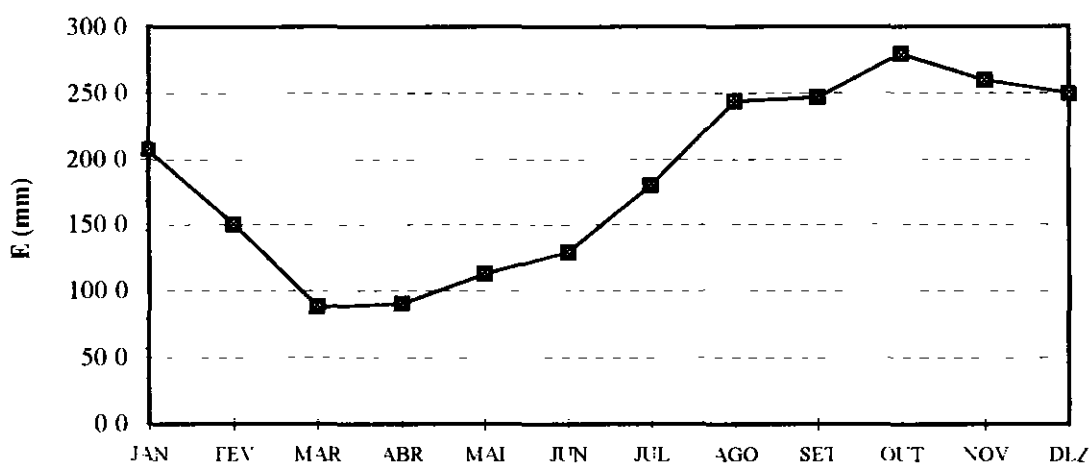


Figura 2.7 - Evaporação Média Mensal

## 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.

000018

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 mm	ETP mm	P-ETP Mm	Neg mm	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	85,3	183,2	-97,9	0,0	0,0	0,0	85,3	97,9	0,0
Fev	142,4	150,7	-8,3	8,3	0,0	0,0	142,4	8,3	0,0
Mar	207,9	133,5	74,4	29,0	74,4	74,4	133,5	0,0	0,0
Abr	155,0	121,6	33,4	0,0	100,0	25,6	121,6	0,0	7,8
Mai	79,2	126,4	-47,2	47,2	62,0	-38,0	117,2	9,2	0,0
Jun	37,8	116,6	-78,8	126,0	28,0	-34,0	71,8	44,8	0,0
Jul	11,8	137,0	-125,2	251,1	8,0	-20,0	31,8	105,2	0,0
Ago	5,4	165,7	-160,3	411,5	2,0	-6,0	11,4	154,3	0,0
Set	4,7	183,0	-178,3	589,8	0,0	-2,0	6,7	176,3	0,0
Out	8,8	200,6	-191,8	781,6	0,0	0,0	8,8	191,8	0,0
Nov	14,3	198,8	-184,5	966,2	0,0	0,0	14,3	184,5	0,0
Dez	47,5	200,5	-153,0	1119,1	0,0	0,0	47,5	153,0	0,0
ANO	800,0	1917,6			274,4	0,00	792,2	1125,4	7,8

000019

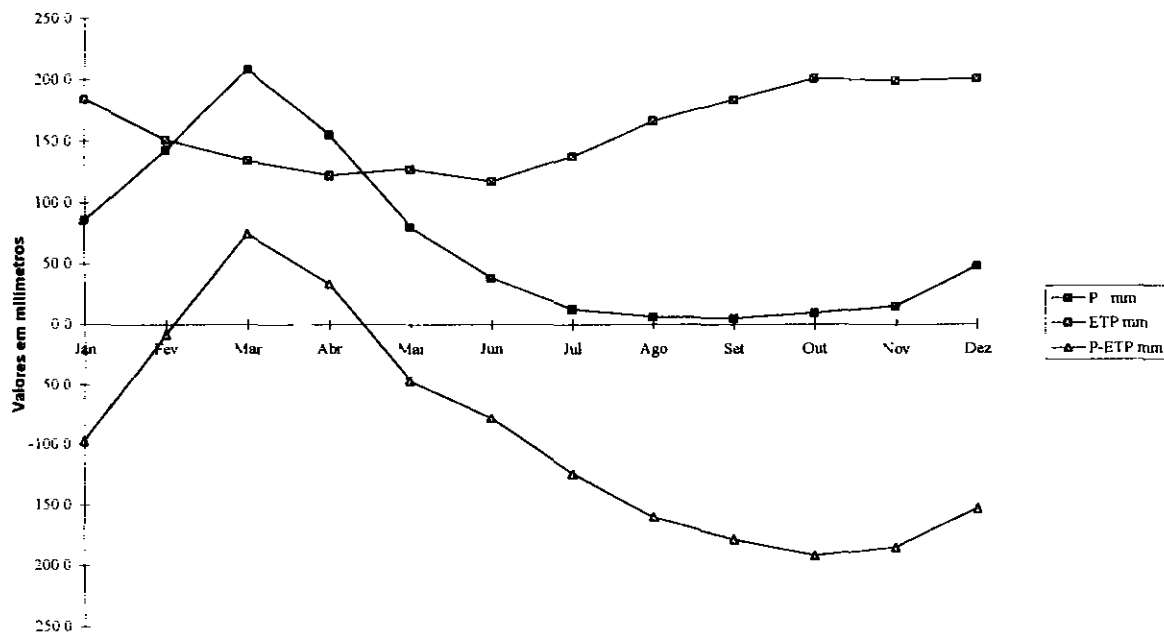


Figura 2 8 - Balço Hídrico

## 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 59 a partir dos dados do Balço 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 0.

**- Índice efetivo de umidade.**

Este índice reflete o excesso ou déficit de água ao longo do ano, apresentando um valor igual a -35

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)	800,0 mm
Evaporação Total Média Anual	2235,2 mm
Nebulosidade Média Anual	4,7
Insolação Total Média Anual	2982,8h
Umidade Relativa Média Anual	67,5%
Temperatura Média Anual Média das Máximas	33 °C
Temperatura Média Anual Média das Médias	27 °C
Temperatura Média Anual Média das Mínimas	21 °C
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 2 postos neste estudo, próximos à área de interesse, (bacia do Riacho dos Macacos com um área de 67,60 km<sup>2</sup>) A tabela 3.1 mostra a identificação das estações utilizadas e sua localização

Tabela 3.1

#### ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

POSTO	CÓDIGO DNAEE	CÓDIGO SUDENE	COORDENADAS		ALTITUDE (M)	MÉDIA ANUAL (MM)
			LAT N	LONG W		
Olho d' Água	00438035	2892531	4° 45'	38° 51'	150,00	807,9
Boa Água	00438014	2892679	4° 50'	38° 37'	120,00	807,4

FONTE PERH (1992)

000023

### 3 2 - Caracterização do Regime Pluviométrico

#### 3 2.1 - Nível Anual

A área de estudo apresenta média pluviométrica igual 800 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,38

Uma análise frequencial foi realizada para os postos listados anteriormente, sendo testadas várias 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
00438035	50	1239,7	1586,3	1672,5	1779,2	1855,8
00438014	27	1268,4	1674,9	1779,8	1912,2	2009,1

#### 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 90% do total anual

A nível trimestral nota-se mais ainda a gravidade da concentração temporal, onde constata-se que cerca de 60% do total anual precipita-se em apenas três meses do ano, no trimestre Fevereiro/Março/Abril e Março/Abril/Maio. Nestes trimestres, o mês de março corresponde mais frequentemente ao mais chuvoso, com cerca de 25% 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 mês mais chuvoso, março, nos postos considerados. Os períodos de retorno utilizados variam de 10 a 1000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Pearson III



### QUADRO 3.3

#### INDICES DE CONCENTRAÇÃO FLUVIOMÉTRICA SÉRIE DE VALORES MÉDIOS MENSIS

CÓDIGO	MÊS MAIS CHUVOSO			TRIMESTRE MAIS CHUVOSO			SEMESTRE MAIS CHUVOSO		
	MÊS	Mm	%	TRI	mm	%	S	mm	%
00438035	MARCO	199,0	26,1	FMA	505,9	62,8	1	718,1	89,1
00438014	MARCO	210,1	24,6	MAM	490,8	60,8	1	733,5	90,9

### QUADRO 3.4

#### ANÁLISE DE FREQUÊNCIA A NÍVEL MENSAL MÊS MAIS CHUVOSO DISTRIBUIÇÃO PEARSON III

CÓDIGO	Nº. ANOS	TR (ANOS)					MÊS
		10	100	200	500	1000	
00438035	56	342,7	476,3	511,8	557,1	590,4	MARÇO
00438014	27	319,9	430,0	458,8	495,3	522,2	MARÇO

#### 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.

Diversas 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.

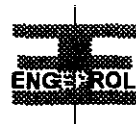
**QUADRO 3 5**  
**ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE MÁXIMOS DIÁRIOS DE CHUVA DISTRIBUIÇÃO**  
**PEARSON III**

CÓDIGO	Nº. ANOS	TR (ANOS)				
		50	100	500	1000	10000
00438035	50	131,8	147,2	185,3	202,8	265,90
00438014	27	130,4	145,8	184,2	202,0	268,3

ESTAÇÃO 2892531 (00438035) - SÉRIE DE PLUVIOMETRIA MÁXIMA

MONTH	WAT	YR	PEAK VALUE (mm)	RANK	RETURN PERIOD				
					WEIBULL	HAZEN	GRINGORTEN	CHEGODAYEV	CUNNANE
4		1933	116 50	1	51 00	100 00	69 50	72 00	83 67
3		1934	65 30	26	1 96	1 96	1 96	1 96	1 96
5		1935	65 50	25	2 04	2 04	2 04	2 04	2 04
12		1936	65 60	23	2 22	2 22	2 22	2 22	2 22
2		1937	65 60	24	2 13	2 13	2 13	2 13	2 13
2		1938	60 00	36	1 42	1 41	1 41	1 41	1 41
5		1939	65 00	29	1 76	1 75	1 75	1 76	1 76
2		1940	64 50	31	1 65	1 64	1 64	1 64	1 64
3		1941	70 70	16	3 19	3 23	3 22	3 21	3 22
2		1942	72 90	14	3 64	3 70	3 70	3 68	3 69
11		1943	66 40	21	2 43	2 44	2 44	2 43	2 44
12		1944	89 00	6	6 35	6 67	6 63	6 55	6 61
5		1945	92 00	5	8 50	9 09	9 01	8 84	8 96
5		1946	82 00	10	5 10	5 26	5 24	5 20	5 23
5		1948	61 00	34	1 50	1 49	1 49	1 50	1 49
3		1949	59 20	38	1 34	1 33	1 33	1 34	1 34
4		1950	60 00	37	1 38	1 37	1 37	1 37	1 37
4		1951	65 50	18	2 83	2 86	2 85	2 85	2 85
2		1952	59 10	39	1 31	1 30	1 30	1 30	1 30
3		1953	60 40	35	1 46	1 45	1 45	1 45	1 45
4		1954	45 50	48	1 06	1 05	1 05	1 06	1 05
2		1956	69 00	17	3 00	3 03	3 03	3 02	3 02
2		1957	76 40	12	4 25	4 35	4 34	4 31	4 33
3		1961	76 00	11	4 64	4 76	4 75	4 71	4 74
3		1962	72 40	15	3 40	3 45	3 44	3 43	3 44
3		1963	75 00	13	3 92	4 00	3 99	3 97	3 98
4		1964	65 00	30	1 70	1 69	1 70	1 70	1 70
4		1965	47 00	47	1 09	1 08	1 08	1 08	1 08
4		1967	58 20	40	1 27	1 27	1 27	1 27	1 27
4		1968	51 00	45	1 13	1 12	1 12	1 13	1 12
4		1969	97 60	4	12 75	14 29	14 08	13 62	13 94
3		1970	56 00	41	1 24	1 23	1 24	1 24	1 24
5		1971	66 70	19	2 68	2 70	2 70	2 70	2 70
3		1972	55 00	42	1 21	1 20	1 21	1 21	1 21
4		1973	82 20	9	5 67	5 88	5 86	5 79	5 84
4		1974	91 10	7	7 29	7 69	7 64	7 52	7 61
3		1975	53 20	44	1 16	1 15	1 15	1 15	1 15
3		1976	42 10	49	1 04	1 03	1 03	1 03	1 03
4		1977	65 20	27	1 89	1 89	1 89	1 89	1 89
2		1978	65 20	28	1 82	1 82	1 82	1 82	1 82
4		1979	50 10	46	1 11	1 10	1 10	1 10	1 10
5		1980	133 70	2	25 50	33 33	32 13	29 65	31 38
3		1981	66 00	22	2 32	2 33	2 32	2 32	2 32
4		1982	66 60	20	2 55	2 56	2 56	2 56	2 56
4		1983	64 00	32	1 59	1 59	1 59	1 59	1 59
4		1984	54 30	43	1 19	1 16	1 18	1 18	1 18
4		1985	62 40	33	1 55	1 54	1 54	1 54	1 54
4		1986	117 40	3	17 00	20 00	19 58	18 67	19 31
6		1987	37 00	50	1 02	1 01	1 01	1 01	1 01
4		1988	97 40	5	10 20	11 11	10 99	10 72	10 91

Por que não  
 usar dados mais recentes -  
 (cris) 1980 - a 2000 / ?



ESTAÇÃO 2892679 (00438014) - SÉRIE DE PLUVIOMETRIA MÁXIMA

MONTH	WAT	YR	PEAK VALUE ( mm )	RANK	WEIBULL	RETURN PERIOD		CHEGODAYEV	GUMNAME
						HAZEN	GRINGORTEN		
5	1962		66 00	9	3 11	3 16	3 17	3 15	3 16
4	1963		64 20	12	2 33	2 35	2 35	2 34	2 34
4	1964		78 00	5	5 60	6 00	5 95	5 83	5 91
4	1965		63 20	13	2 15	2 16	2 16	2 16	2 16
4	1966		48 30	20	1 46	1 38	1 39	1 39	1 39
2	1967		76 30	7	4 00	4 15	4 13	4 09	4 12
3	1968		49 20	19	1 47	1 46	1 46	1 47	1 46
4	1969		86 00	4	7 00	7 71	7 62	7 41	7 56
3	1970		61 40	15	1 87	1 86	1 86	1 86	1 86
3	1971		129 80	1	28 00	54 00	48 43	39 14	45 33
12	1972		47 20	22	1 27	1 26	1 26	1 26	1 26
4	1973		46 80	23	1 22	1 20	1 20	1 21	1 20
4	1974		76 60	6	4 67	4 91	4 88	4 61	4 86
5	1975		45 40	24	1 17	1 15	1 15	1 16	1 15
2	1976		36 20	26	1 08	1 06	1 06	1 07	1 06
2	1977		61 20	16	1 75	1 74	1 74	1 75	1 74
6	1978		41 60	25	1 12	1 10	1 10	1 11	1 11
3	1979		35 20	27	1 04	1 02	1 02	1 03	1 02
3	1980		67 60	8	3 50	3 60	3 59	3 56	3 58
3	1981		60 60	17	1 65	1 64	1 64	1 64	1 64
3	1982		48 20	21	1 33	1 32	1 32	1 32	1 32
2	1983		65 60	10	2 80	2 84	2 84	2 82	2 83
4	1984		54 40	18	1 56	1 54	1 54	1 55	1 55
5	1985		101 40	3	9 33	10 80	10 59	10 15	10 46
4	1986		115 80	2	14 00	18 00	17 38	16 12	17 00
3	1987		64 60	11	2 55	2 57	2 57	2 56	2 57
12	1988		62 00	14	2 06	2 00	2 00	2 00	2 00

000028

# ESTAÇÃO 2892531 (00438035)- ANÁLISE DE FREQUÊNCIA

SAMPLE SIZE = 50

## STATISTICS OF THE OBSERVED VALUES

MEAN = 70 00 STD DEV = 20 80 COEF OF SKEW = 1 7998

## STATISTICS OF THE NATURAL LOGARITHMS

MEAN = 4 21226 STD DEV = 26310 COEF OF SKEW = 7220

## STATISTICS OF THE BASE 10 LOGARITHMS

MEAN = 1 82936 STD DEV = 11426 COEF OF SKEW = 7224

## FREQUENCY DISTRIBUTION

RETURN PERIOD (YRS)	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	70 00	67 51	65 34	66 74	64 78	64 30	65 43
2 33	73 73	70 77	68 55	70 54	67 97	67 58	68 57
3 00	87 66	84 41	83 50	87 05	83 76	83 40	83 20
10 00	97 02	95 02	96 83	100 50	99 29	97 63	96 39
20 00	104 87	104 94	110 64	115 40	116 89	112 09	110 20
50 00	113 89	117 61	130 14	130 10	144 37	131 79	130 48
100 00	120 03	127 10	146 11	142 61	169 13	147 25	147 46
200 00	125 75	136 64	163 34	155 08	198 02	163 26	166 40
500 00	132 83	149 45	188 31	171 53	243 81	185 35	194 93
1000 00	137 92	159 38	209 11	183 96	285 33	202 80	219 69
10000 00	153 63	194 42	292 52	225 24	480 92	265 90	328 78

## FREQUENCY DISTRIBUTION

CLASS INTERVAL	PROBABILITY	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	47 79	50 96	51 28	48 23	51 26	49 77	50 84
2	28571	58 22	58 17	56 94	56 13	56 65	53 18	56 31
3	42857	66 25	64 39	62 40	63 14	61 90	57 36	61 55
4	57143	73 74	70 78	68 56	70 57	68 00	62 74	67 42
5	71429	81 77	78 35	76 55	79 69	76 31	70 33	75 04
6	85714	92 21	89 40	89 59	93 68	91 08	83 31	87 52
7	1 00000	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY
CHI-SQUARE VALUE		21 680	15 800	11 880	14 120	11 040	17 760	11 600

95% CHI-SQUARE TEST STATISTIC = 12 592

# ESTAÇÃO 2892679 (00438014) - ANÁLISE DE FREQUÊNCIA

SAMPLE SIZE = 27

STATISTICS OF THE OBSERVED VALUES

MEAN = 64.92 STD DEV = 22.59 COEF OF SKEW = 1.3410

STATISTICS OF THE NATURAL LOGARITHMS

MEAN = 4.12173 STD DEV = 3.1965 COEF OF SKEW = 1.4509

STATISTICS OF THE BASE 10 LOGARITHMS

MEAN = 1.79064 STD DEV = 1.3690 COEF OF SKEW = 1.4535

FREQUENCY DISTRIBUTION

RETURN PERIOD (RS)	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)
3.00	64.92	61.67	60.71	61.50	58.75	60.12	60.21
3.33	66.99	65.32	64.44	65.85	62.48	63.95	63.79
5.00	84.25	81.08	81.12	84.76	81.67	81.31	80.34
10.00	94.62	93.91	93.37	100.16	101.57	96.08	95.24
20.00	103.44	106.41	109.76	114.94	125.21	110.71	111.02
50.00	113.75	123.13	129.72	134.06	164.15	130.42	134.21
100.00	120.90	136.25	145.90	148.39	201.08	145.84	154.11
200.00	127.68	149.98	163.27	162.67	246.14	161.87	176.63
500.00	136.24	169.31	186.46	181.50	321.38	184.16	211.40
1000.00	142.51	185.01	209.49	195.74	393.16	201.98	242.39
10000.00	162.59	245.86	295.30	243.01	767.81	268.35	387.95

FREQUENCY DISTRIBUTION

CLASS INTERVAL	PROBABILITY	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	20000	45.92	47.11	46.47	44.21	45.99	43.72	46.38
2	40000	59.20	56.87	55.90	55.77	54.17	52.08	54.99
3	60000	70.64	66.87	66.03	67.76	64.20	61.86	64.51
4	80000	83.93	80.71	80.73	84.76	81.67	76.58	78.89
5	1.00000	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY	INFINITY
CHI-SQUARE VALUE		5.778	3.185	3.556	6.889	2.074	2.815	1.333

95% CHI-SQUARE TEST STATISTIC = 9.488

### 3.2.4 - Método das Isozonas (TORRICO, 1975) <sup>3</sup>

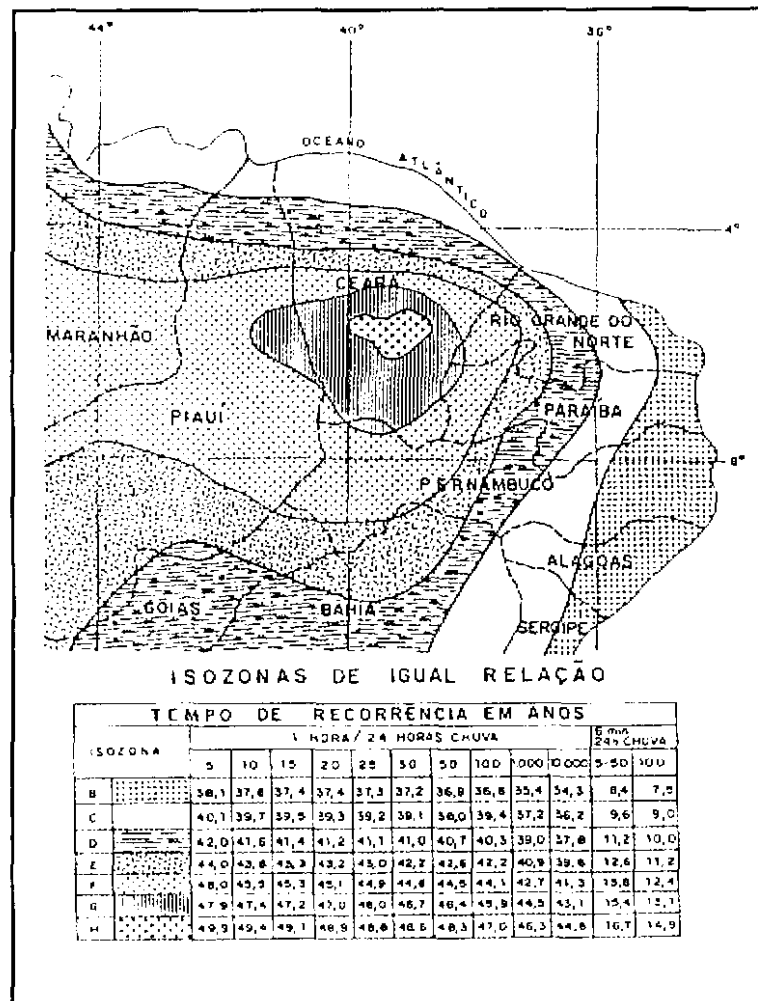
Este método consiste na desagregação da chuva de 1 dia em 24 horas e a partir desta em durações menores

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 de Macacos está localizada dentro da isozona D,
- 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 R1h,
- plotar os valores P24h e P1h em papel probabilístico para obter as chuvas de durações intermediárias

---

<sup>3</sup>TORRICO, J. T., 1975. PRÁTICAS HIDROLÓGICAS, 2ª Ed., TRANSCOM, RIO DE JANEIRO



**FIGURA 3.1**  
MÉTODAS ISOZONAS DE TABORGA.

Aplicou-se a metodologia acima descrita para cada o posto pluviométrico 00438035 (Olho D' Água), o qual, além de ser considerado representativos da área de interesse, possuía a série mais extensa para o estudo de frequências. Estes resultados são apresentados no Quadro 3.6 e Figura 3.2.



Tabela 3.6 - Precipitação Pontual correspondente a diversas durações

Duração	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) - TR 50	13.5	33.6	59.0	77.8	88.7	107.5	126.2	145.0
P(mm) - TR 100	13.5	36.4	65.3	86.4	98.7	119.8	140.9	162.0
P(mm) - TR 1000	18.6	48.8	87.0	116.7	134.0	163.7	193.4	223.1
P(mm) - TR 10000	24.4	62.2	110.0	149.8	173.1	212.9	252.7	292.5

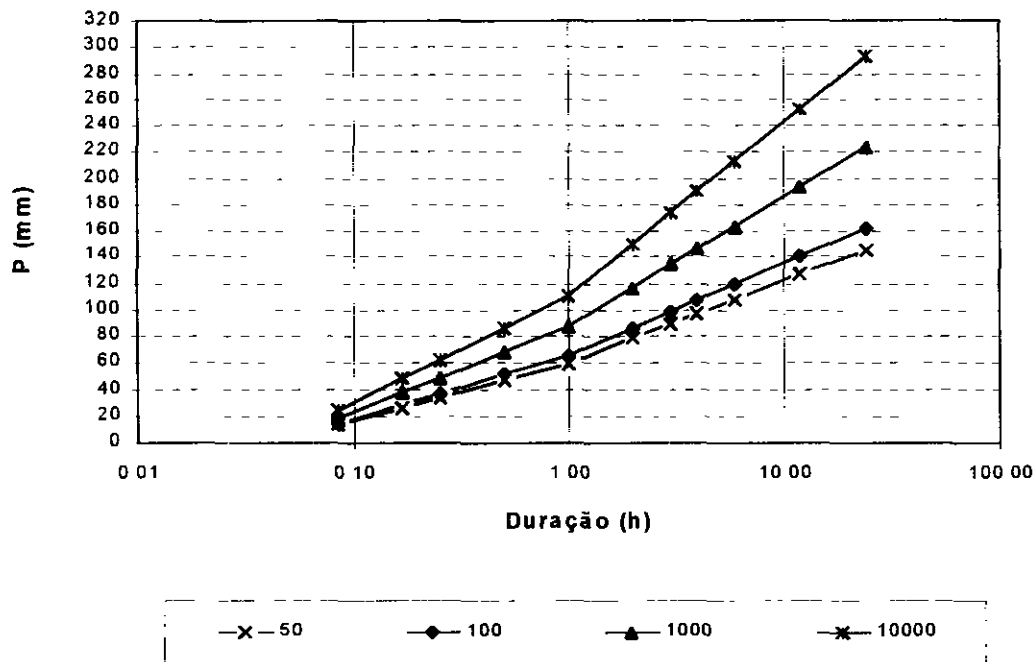


Figura 3.2 - Curva Altura de chuva - duração - Frequência (TR= 50, 100, 1000, 10000 anos)

O hietograma reduzido baseia-se nas curvas altura-duração-frequência citadas, sendo ajustado a área da bacia usando a seguinte equação

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

onde  $W = 0,22$  (coeficiente regional para zonas áridas e semi-áridas),

$P_A$  = Precipitação sobre toda a área,

$P_0$  = Chuva pontual,

$A = 67,6 \text{ km}^2$  (área da bacia hidrográfica a montante da barragem Macacos),

$A_0 = 25 \text{ km}^2$  (área base para chuva pontual),

O resultado da aplicação da equação acima à bacia do Inhanduba é apresentado abaixo na Tabela 3.7 e na Figura 3.3

Tabela 3 7 - Precipitação reduzida sobre a bacia do Macacos (A=67,6 km<sup>2</sup>)

Duração	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) - TR 50	12 2	30 4	53 4	70 4	80 3	97 3	114 2	131 2
P(mm) - TR 100	12 2	32 9	59 1	78 2	89 3	108 4	127 5	146 6
P(mm) - TR 1000	16 8	44 2	78 7	105 6	121 3	148 2	175 0	201 9
P (mm) - TR 10000	22 1	56 3	99 5	135 5	156 6	192 6	228 7	264 7

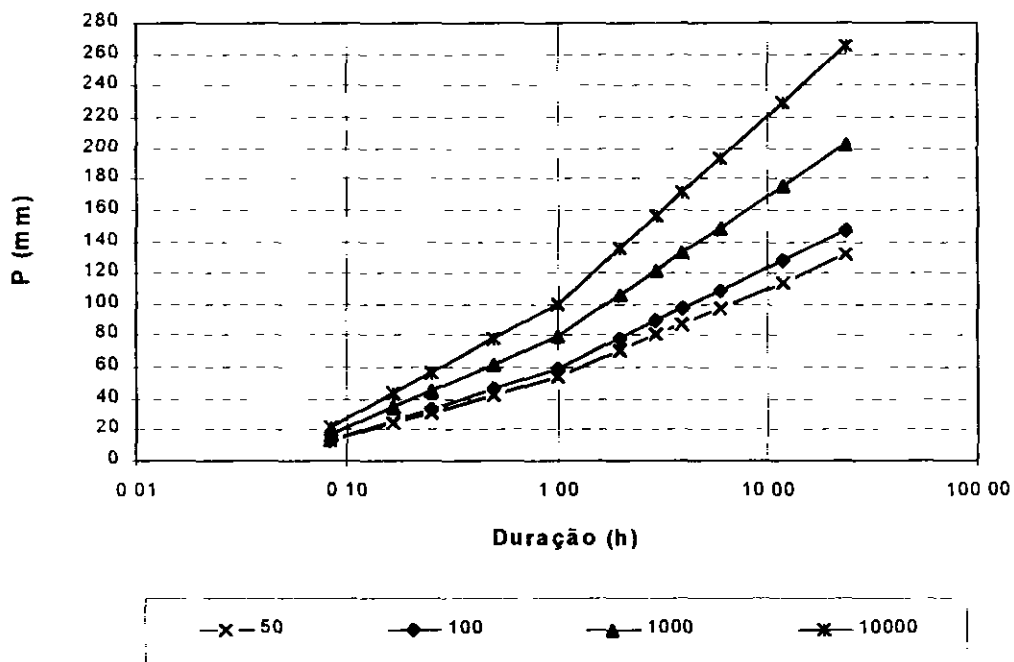


Figura 3 3

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

#### 4 - ESTUDO DE DEFLÚVIOS

## 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 Riacho dos Macacos até a seção da barragem homônima

A estimativa das vazões afluentes mensais ao açude Macacos 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 partes do rio (no caso o posto fluviométrico Cristais), ✓
- 2 Aplicação de um modelo chuva-deflúvio ✓

Especificamente na região de estudo, existe o posto fluviométrico de Cristais, na bacia hidrográfica do Rio Pirangi, a jusante da barragem no Riacho dos Macacos. Devido a homogeneidade do regime pluviométrico entre as duas bacias optou-se por estimar os deflúvios no Riacho dos Macacos a partir dos deflúvios em Cristais. ✓

A série de deflúvios afluentes a seção Cristais já havia sido estendida utilizando o modelo MODHAC<sup>4</sup>, cujos resultados no PERH-CE demonstraram uma boa adequação aos dados observados na bacia hidrográfica em questão.

Este modelo chuva-vazão, baseado na simulação de três reservatórios que representam os níveis de armazenamento de água superficial, subsuperficial e subterrâneo

<sup>4</sup> 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.

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

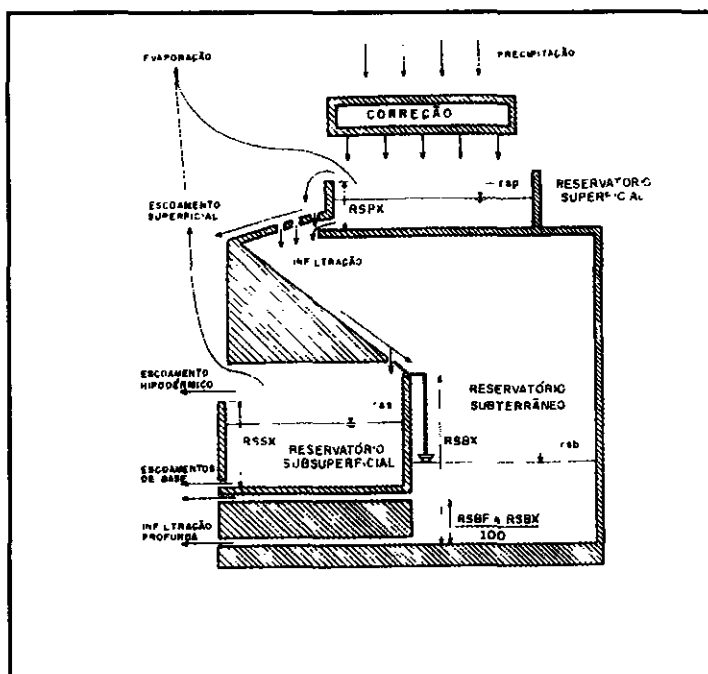
Além destes coeficientes próprios de cada reservatório fictício, existem outros que permitem representar as características do solo e da evaporação. São eles

**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 Olho d'Água e Boa Água. 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 Macacos é apresentada na Tabela 4 2.

Tabela 4 1 - Coeficientes de Thiessen para Bacia do Riacho dos Macacos

POSTO	CÓDIGO DNAEE	CÓDIGO SUDENE	COORDENADAS		ALTITUDE (M)	MÉDIA ANUAL (MM)	Coeficiente de Thiessen
			LAT N	LONG W			
Olho d' Água	00438035	2892531	4° 45'	38° 51'	150,00	807,9	0,76528
Boa Água	00438014	2892679	4° 50'	38° 37'	120,00	807,4	0,23472

FONTE PERH (1992)

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

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1932	-	35 7	46 9	11 1	0 0	63 5	10 2	0 0	106 8	0 0	10 9	12 8	297 9
1933	130 1	147 7	322 2	300 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	20 8	920 9
1934	118 2	195 5	315 8	92 7	90 2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	38 7	209 8	1060 9
1935	147 8	358 8	279 8	210 6	141 7	17 9	2 1	0 0	0 0	2 8	28 8	5 0	1195 3
1936	75 4	280 1	65 8	81 6	23 8	20 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	93 6	640 4
1937	31 8	343 7	147 0	78 7	149 8	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	751 0
1938	66 7	46 0	238 0	18 4	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	42 2	8 1	0 0	419 4
1939	10 4	374 0	126 0	24 9	75 6	0 0	0 0	0 0	12 0	33 2	55 8	56 8	768 7
1940	82 2	147 0	267 0	181 0	108 8	5 1	0 0	0 0	8 4	38 4	1 0	66 6	905 5
1941	49 6	107 0	258 0	188 6	35 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	638 2
1942	85 5	125 1	174 2	113 6	8 1	5 4	0 0	0 4	0 0	48 1	54 3	47 6	662 3
1943	54 8	145 3	311 7	104 6	27 0	1 6	0 0	0 0	0 0	0 0	81 6	63 2	789 8
1944	83 2	103 3	113 8	108 1	10 4	1 9	0 0	0 0	41 4	0 0	3 2	324 3	789 6
1945	65 1	307 9	128 2	143 7	190 7	28 6	2 1	0 4	0 5	52 0	24 4	82 6	1026 2
1946	251 9	231 0	144 7	140 8	26 2	73 1	0 0	14 4	0 1	0 0	31 4	126 7	1040 3
1947	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1948	130 4	72 2	243 0	73 0	48 3	11 2	5 3	0 0	0 0	16 0	1 2	120 1	720 7
1949	27 0	100 4	213 4	181 7	94 7	8 5	4 2	10 2	4 5	3 8	112 0	3 8	764 2
1950	129 6	108 6	129 3	319 0	0 0	0 0	2 2	0 0	4 5	76 0	3 5	59 4	832 1
1951	147 7	37 3	57 3	175 5	31 5	25 6	4 5	0 0	0 0	20 3	4 0	56 2	559 9
1952	40 0	152 5	218 4	111 7	40 4	11 2	0 0	0 0	4 0	0 0	15 3	26 0	619 5
1953	10 2	53 8	153 9	94 8	7 6	60 6	0 0	5 4	7 9	0 0	61 2	19 7	475 1
1954	59 9	76 5	182 9	64 2	17 0	5 5	7 0	0 0	0 0	0 0	36 8	42 6	492 4
1955	120 7	-	315 7	254 1	9 3	0 0	0 0	2 2	0 0	4 7	14 8	52 1	-
1956	15 2	397 4	170 4	179 8	25 9	10 4	4 7	7 0	0 0	54 9	27 5	43 9	937 1
1957	129 2	79 9	272 3	225 5	2 5	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	162 5	871 9
1958	-	80 5	138 0	4 6	39 1	0 0	0 0	94 4	0 0	0 0	0 0	18 0	-
1959	224 9	273 4	111 4	122 5	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	-	-	-
1960	35 0	36 0	385 9	45 0	18 9	0 0	0 0	0 0	-	9 6	-	19 8	-
1961	67 0	199 2	340 0	18 3	0 0	1 4	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	81 3	707 2
1962	129 6	290 9	241 4	96 2	47 1	24 0	1 4	0 0	0 0	3 8	0 0	91 3	925 7
1963	80 3	347 5	402 1	259 1	38 7	6 1	0 0	0 0	0 0	4 0	1 2	115 9	1254 9
1964	248 7	139 2	328 8	287 5	178 7	75 0	14 6	14 2	1 2	1 0	0 2	0 0	1289 1
1965	38 7	50 8	92 0	231 2	75 8	170 5	4 7	0 0	0 0	6 9	0 0	0 3	670 9
1966	1 2	74 3	34 8	106 5	174 1	34 5	-	0 8	0 5	0 0	0 3	12 6	-
1967	50 3	163 1	326 9	229 0	104 4	24 6	6 5	1 8	2 9	0 0	0 0	3 5	912 9
1968	95 3	30 4	242 0	93 9	174 2	8 5	17 9	1 7	0 0	0 5	0 0	12 4	676 6
1969	98 7	39 8	147 0	210 2	57 0	126 3	61 7	20 2	0 0	0 0	0 9	0 0	761 7
1970	50 3	29 0	212 9	103 7	8 6	30 4	2 3	0 0	0 8	1 0	44 8	20 4	504 2

Tabela 4 2 - Pluviométrica média mensal (mm) na bacia hidrográfica do Reservatório Macacos  
(continuação)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1971	116 7	110 3	185 9	173 2	158 6	88 1	29 1	27 6	4 2	23 7	34 8	4 8	957 0
1972	20 7	76 2	145 0	70 8	68 9	82 1	17 5	10 6	5 6	1 8	0 0	44 9	544 0
1973	151 2	48 7	182 4	286 4	132 7	106 1	26 5	11 2	0 0	5 5	0 0	36 9	987 6
1974	453 5	180 4	371 5	295 2	328 3	63 6	12 9	2 4	14 4	1 0	16 4	52 5	1792 1
1975	57 6	125 6	275 0	114 1	224 1	101 9	59 8	0 3	6 3	0 5	0 0	23 9	989 1
1976	21 2	97 4	180 0	93 7	13 3	1 5	3 2	1 2	1 0	12 1	0 0	15 7	440 4
1977	61 7	133 7	159 1	180 6	160 8	128 0	63 2	0 0	0 0	0 0	0 0	9 5	896 5
1978	5 1	108 3	113 4	154 8	92 5	56 9	31 3	0 0	0 0	5 4	18 5	48 8	634 9
1979	13 6	44 3	101 7	63 3	119 8	32 2	10 5	1 5	17 9	0 0	1 9	2 4	409 1
1980	55 1	223 5	213 2	33 3	26 3	13 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1 6	0 8	566 7
1981	53 0	37 0	307 2	110 5	43 4	8 7	4 7	0 0	0 0	0 0	0 0	95 3	659 8
1982	63 9	55 6	209 0	187 2	96 0	40 9	7 6	9 6	0 0	3 9	12 8	4 1	690 5
1983	5 3	155 1	136 0	101 8	47 9	1 8	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0	2 4	451 2
1984	28 4	67 5	135 4	379 1	261 4	24 5	46 3	23 0	0 6	0 6	0 0	1 5	968 3
1985	140 4	259 2	330 6	328 0	220 4	207 5	105 6	14 2	0 0	0 0	0 0	53 2	1659 0
1986	55 2	202 7	375 4	441 1	174 9	112 7	32 7	17 0	5 1	16 1	21 7	15 8	1470 3
1987	30 5	66 8	228 1	73 2	23 6	119 9	10 8	9 5	0 0	0 0	0 0	1 7	564 0
1988	91 5	56 7	94 8	308 3	163 9	74 3	37 7	0 0	6 1	1 1	0 0	127 9	962 3
MÉDIA	85 3	142 4	207 9	155 0	79 2	37 8	11 8	5 4	4 7	8 8	14 3	47 5	800 0
DSVPAD	77 5	101 9	94 5	99 9	77 8	48 4	20 9	13 8	15 5	16 9	23 5	59 9	307 1
CV	0 91	0 72	0 45	0 64	0 98	1 28	1 76	2 57	3 32	1 93	1 65	1 26	0 38

#### 4 2 2 - Vazões médias observadas

A série fluviométrica a nível mensal para a estação Cristais esta apresentada abaixo na Tabela 4 3

Tabela 4 3 - Rio Pirangi em Cristais (35950000) - VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m<sup>3</sup>/s)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MAX	MIN	ANUAL
1982	0 00	0 00	0 00	1.47	1.40	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,07	0,00	0,25
1983	0 00	0,56	0 15	0,00	0,00	0,00	0,00	0 00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,78	0,00	0,06
1984	0,00	0,00	4,30	61,9	66,4	3,14	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	282	0,00	11,4
1985	0,28	40,9	135	127	126	25,5	6,08	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	519	0,00	38,4
1986	0 00	2 67	52 2	169	37 3	11,9	0 98	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	420	0 00	22,8
1987	0,00	0 00	7,42	2,51	0 33	0,72	0,58	0 00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,5	0,00	0,96
1988	0 10	0 23	0,35	29 0	41,5	0,84	0,31	0 00	0,00	0,00	0,00	0 00	231	0,00	6,03
1989	0,00	0 00	1,21	50 6	33 9*	3,50*	3,90*	0 00	0 00	0,00	0,00	0,00	167	0,00*	7,76*
1990	0 00	0 09	0 28	0,00	0 15	0,00	0,00	0 00	0,00	0,00	0 00	0,00	3,58	0 00	0 04
1991	0,00	0 00	5 35	2,15	1 92	0,00	0 00	0 00	0,00	0,00	0,00	0,00	73,9	0,00	0 78
1992	0 00	0 30	1,34	8,06	0,00	0 00	0 00	0 00	0,00	0,00	0,00	0,00	64,3	0 00	0 81
1993	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	0,00	0,00
1994	0 00	0 00	0 98	10,6	3 35	3,96	2,42	0 00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,4	0,00	1 78
Média	0,03	3 44	16 0	35,6	24,0	3 82	1,17	0,03	0,00	0,00	0 00	0,00	146	0,00	7 01



### 4 3 - PARÂMETROS do Modelo CHUVA-VAZÃO

O período de vazões observadas 1973-1988 não foi utilizado na calibração do MODHAC para a bacia do Cristais

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

**QUADRO 4 4**

PARÂMETROS UTILIZADOS PELO MODELO MODHAC - CALIBRAÇÃO

RSP Xmm	RSS X mm	RSBX	RSBF	IMAX mm/dia	IMIN Mm/dia	IDEC	ASP	ASS	ASB	PRED	CEVA
84,0	88,7	-	-	46,70	7,71	0 6548	0 0010	0 0086	-	-	0,970 0

Os Quadros 4 5 apresenta o deflúvios calculado pelo MODHAC (em mm) no processo de calibração para o posto Cristais

**QUADRO 4.5**

LÂMINAS CALCULADAS (MM) PELO MODHAC NO POSTO FLUVIOMÉTRICO CRISTAIS

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
1973	00	00	9 1	124 3	102 3	36 9	11 2	00	00	00	00	00	283 8
1974	43 6	20 7	197 6	184 2	116 2	20 6	7 5	00	00	00	00	00	590 4
1975	00	00	6 5	7 3	35 4	18 3	10 3	00	00	00	00	00	77 8
1976	00	00	0 1	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 2
1977	00	0 1	0 3	2 1	17 0	10 2	7 4	00	00	00	00	00	37 1
1978	00	0 1	0 2	0 0	1 3	2 7	1 2	00	00	00	00	00	5 5
1979	00	0 0	0 2	0 0	0 1	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 4
1980	00	17 2	40 3	6 5	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	64 0
1981	00	0 0	30 9	37 0	5 4	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	73 3
1982	00	0 0	0 1	0 0	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 2
1983	00	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 1
1984	00	0 0	5 0	69 9	116 0	19 0	2 4	00	00	00	00	00	212 3
1985	00	34 7	190 4	188 2	137 5	20 6	17 9	2 7	00	00	00	00	592 0
1986	00	0 9	26 6	128 1	30 0	16 4	4 1	00	00	00	00	00	206 1
1987	00	0 0	0 0	0 3	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 4
1988	00	0 0	6 8	222 6	94 4	13 5	0 6	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	337 9

#### 4.4 - Simulação da Série de Vazões

Utilizando os parâmetros obtidos na fase de calibração (Quadro 4.4) para a estação Sítios Novos, gerou-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. As características da série simulada a partir dos parâmetros do MODHAC e da pluviometria supra-citada são as seguintes:

- Coeficiente de Escoamento 15,2%
- Lâmina Escoda Média 121,8 mm
- Volume escoado médio 8,233 hm<sup>3</sup>/ano
- Coeficiente de Variação 1,25

O coeficiente de deflúvio, calculado pela razão entre a lâmina escoada e a precipitada, situa-se em torno de 15%. O Quadro 4.6 apresenta as lâminas mensais afluentes ao açude Macacos, em mm, geradas pela simulação com MODHAC no período 1912-1988. O Quadro 4.7 apresenta a série de vazões médias, em m<sup>3</sup>/s, afluentes à futura barragem Macacos.

**QUADRO 4.6**

LÂMINA MÉDIA (mm) ESCOADA AFLUENTE A BARRAGEM DE MACACOS

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1912	00	15.4	20.9	28.3	19.2	12.9	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.2
1913	00	0.0	3.1	38.0	24.4	14.6	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.3
1914	00	0.1	0.1	0.3	0.7	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7
1915	00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1916	00	0.0	0.1	1.7	35.0	5.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.5
1917	16.7	37.5	194.9	21.2	140.1	20.3	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	436.8
1918	00	0.0	0.0	27.3	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.4
1919	00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1920	00	0.0	11.5	13.4	12.6	9.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.8
1921	00	0.1	60.8	75.3	125.3	16.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	278.4
1922	00	0.0	0.0	116.9	121.0	18.4	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	263.7
1923	00	9.9	12.6	9.9	7.8	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.0
1924	00	19.2	256.2	290.0	54.0	20.5	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	649.5
1925	00	0.0	49.6	135.6	30.5	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	219.6
1926	00	0.0	18.1	69.3	29.8	15.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	132.8
1927	00	0.0	0.3	38.4	18.4	10.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67.4
1928	00	0.0	0.0	1.7	29.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.9
1929	00	3.6	39.8	61.2	20.0	13.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	137.9
1930	00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1931	00	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
1932	00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1933	00	00	29 1	160 3	18 1	0 8	00	00	00	00	00	00	208 3
1934	00	00	78 1	31 6	58 3	18 1	0 8	00	00	00	00	00	186 9
1935	00	31 5	71 9	112 5	80 9	16 2	2 5	00	00	00	00	00	315 5
1936	00	0 1	0 9	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1 0
1937	00	27 8	20 0	14 3	11 6	8 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	81 8
1938	00	0 0	41 6	16 6	13 5	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	72 7
1939	00	33 8	25 7	13 4	1 6	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	74 5
1940	00	0 0	29 9	97 5	46 8	20 3	9 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	203 6
1941	00	0 0	16 9	5 9	4 3	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	27 1
1942	00	0 1	0 1	0 3	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 5
1943	00	0 0	12 5	12 0	5 6	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	30 1
1944	00	0 0	0 1	0 2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	39 6	39 9
1945	7 9	37 4	11 5	30 9	47 3	16 7	1 6	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	153 3
1946	0 1	17 5	14 4	18 0	13 5	0 8	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	64 3
1947	00	0 0	6 5	49 2	65 0	14 6	0 9	0 0	0 0	0 0	77 4	9 5	223 1
1948	00	0 0	14 0	7 4	6 2	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	28 6
1949	00	0 0	32 7	19 9	11 9	6 3	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	70 8
1950	00	0 0	0 6	187 6	20 7	3 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	212 0
1951	00	0 0	0 0	0 1	0 2	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 4
1952	00	0 0	0 1	13 2	6 9	2 2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	22 4
1953	00	0 0	0 1	0 0	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 2
1954	00	0 0	0 1	0 3	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 4
1955	00	0 0	0 3	0 9	31 5	6 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	38 8
1956	00	22 6	25 9	86 9	15 4	0 2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	151 0
1957	00	0 0	50 7	119 3	18 1	1 6	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	189 7
1958	00	0 0	0 0	0 0	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 1
1959	00	0 2	8 8	4 6	4 0	0 5	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	18 1
1960	00	0 0	41 2	34 7	21 0	6 9	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	103 8
1961	00	2 9	149 6	20 5	12 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	185 1
1962	00	0 0	23 7	60 2	17 2	2 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	103 2
1963	00	33 9	257 9	95 3	18 3	6 8	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	412 2
1964	1 8	9 9	162 3	192 2	141 8	20 1	9 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	537 1
1965	00	0 0	0 0	89 4	42 6	16 4	8 8	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	157 2
1966	00	0 0	0 0	0 0	0 2	2 4	0 7	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	3 3
1967	00	0 0	41 6	118 5	54 1	16 0	0 9	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	231 1
1968	00	0 0	3 8	2 4	14 7	3 9	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	24 8
1969	00	0 0	0 0	50 6	12 9	8 3	2 8	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	74 6
1970	00	0 0	0 1	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 2
1971	00	0 0	0 2	18 6	35 0	17 3	9 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	80 2
1972	00	0 0	0 2	0 2	2 1	1 9	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	4 4
1973	00	0 0	9 1	124 3	102 3	36 9	11 2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	283 8
1974	43 6	20 7	197 6	184 2	116 2	20 6	7 5	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	590 4
1975	00	0 0	6 5	7 3	35 4	18 3	10 3	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	77 8
1976	00	0 0	0 1	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 2
1977	00	0 1	0 3	2 1	17 0	10 2	7 4	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	37 1
1978	00	0 1	0 2	0 0	1 3	2 7	1 2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	5 5
1979	00	0 0	0 2	0 0	0 1	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 4
1980	00	17 2	40 3	6 5	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	64 0
1981	00	0 0	30 9	37 0	5 4	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	73 3
1982	00	0 0	0 1	0 0	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 2
1983	00	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 1
1984	00	0 0	5 0	69 9	116 0	19 0	2 4	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	212 3

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1985	0 0	34 7	190 4	188 2	137 5	20 6	17 9	2 7	0 0	0 0	0 0	0 0	592 0
1986	0 0	0 9	26 6	128 1	30 0	16 4	4 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	206 1
1987	0 0	0 0	0 0	0 3	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 4
1988	0 0	0 0	6 8	222 6	94 4	13 5	0 6	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	337 9
MED	0 9	4.9	30 6	46.6	28.3	7.0	1.8	0 0	0.0	0.0	1 0	0.6	121.8
Dpad	5.4	10.6	58 4	64 2	38.7	8.3	3.6	0.3	0.0	0 0	8.8	4.6	152.3
CV	5.9	2 2	1 9	1 4	1 4	1.2	2.0	8.8	-	-	8.8	7.3	1.250

QUADRO 4.7

VAZÃO MEDIA (M3/S) ESCOADA AFLUENTE A BARRAGEM DE MACACOS

*Ca 195 m³/dia*

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1912	0 00	0 42	0 53	0 74	0 48	0 34	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1913	0 00	0 00	0 08	0 99	0 62	0 38	0 18	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1914	0 00	0 00	0 00	0 01	0 02	0 03	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1915	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1916	0 00	0 00	0 00	0 04	0 88	0 14	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1917	0 42	1 01	4 92	0 55	3 54	0 53	0 15	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1918	0 00	0 00	0 00	0 71	0 08	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1919	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1920	0 00	0 00	0 29	0 35	0 32	0 24	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1921	0 00	0 00	1 53	1 96	3 16	0 42	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1922	0 00	0 00	0 00	3 05	3 05	0 48	0 19	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1923	0 00	0 27	0 32	0 26	0 20	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1924	0 00	0 52	6 47	7 56	1 36	0 53	0 24	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1925	0 00	0 00	1 25	3 54	0 77	0 10	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1926	0 00	0 00	0 46	1 81	0 75	0 40	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1927	0 00	0 00	0 01	1 00	0 46	0 27	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1928	0 00	0 00	0 00	0 04	0 75	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1929	0 00	0 10	1 00	1 60	0 50	0 34	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1930	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1931	0 00	0 00	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
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
1933	0 00	0 00	0 73	4 18	0 46	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1934	0 00	0 00	1 97	0 82	1 47	0 47	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1935	0 00	0 85	1 81	2 93	2 04	0 42	0 06	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1936	0 00	0 00	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1937	0 00	0 75	0 50	0 37	0 29	0 21	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1938	0 00	0 00	1 05	0 43	0 34	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1939	0 00	0 91	0 65	0 35	0 04	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1940	0 00	0 00	0 75	2 54	1 18	0 53	0 23	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1941	0 00	0 00	0 43	0 15	0 11	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1942	0 00	0 00	0 00	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1943	0 00	0 00	0 32	0 31	0 14	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1944	0 00	0 00	0 00	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	1 00
1945	0 20	1 01	0 29	0 81	1 19	0 44	0 04	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1946	0 00	0 47	0 36	0 47	0 34	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1947	0 00	0 00	0 16	1 28	1 64	0 38	0 02	0 00	0 00	0 00	2 02	0 24
1948	0 00	0 00	0 35	0 19	0 16	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1949	0 00	0 00	0 83	0 52	0 30	0 16	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1950	0 00	0 00	0 02	4 89	0 52	0 08	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1951	0 00	0 00	0 00	0 00	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1952	0 00	0 00	0 00	0 34	0 17	0 06	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
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
1954	0 00	0 00	0 00	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1955	0 00	0 00	0 01	0 02	0 80	0 16	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1956	0 00	0 61	0 65	2 27	0 39	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1957	0 00	0 00	1 28	3 11	0 46	0 04	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
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
1959	0 00	0 01	0 22	0 12	0 10	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1960	0 00	0 00	1 04	0 90	0 53	0 18	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1961	0 00	0 08	3 78	0 53	0 31	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1962	0 00	0 00	0 60	1 57	0 43	0 05	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1963	0 00	0 91	6 51	2 49	0 46	0 18	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1964	0 05	0 27	4 10	5 01	3 58	0 52	0 23	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1965	0 00	0 00	0 00	2 33	1 08	0 43	0 22	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1966	0 00	0 00	0 00	0 00	0 01	0 06	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1967	0 00	0 00	1 05	3 09	1 37	0 42	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1968	0 00	0 00	0 10	0 06	0 37	0 10	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1969	0 00	0 00	0 00	1 32	0 33	0 22	0 07	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
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
1971	0 00	0 00	0 01	0 49	0 88	0 45	0 23	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1972	0 00	0 00	0 01	0 01	0 05	0 05	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1973	0 00	0 00	0 23	3 24	2 58	0 96	0 28	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1974	1 10	0 56	4 99	4 80	2 93	0 54	0 19	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1975	0 00	0 00	0 16	0 19	0 89	0 48	0 26	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1976	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1977	0 00	0 00	0 01	0 05	0 43	0 27	0 19	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1978	0 00	0 00	0 01	0 00	0 03	0 07	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1979	0 00	0 00	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1980	0 00	0 46	1 02	0 17	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1981	0 00	0 00	0 78	0 96	0 14	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
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
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
1984	0 00	0 00	0 13	1 82	2 93	0 50	0 06	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1985	0 00	0 94	4 81	4 91	3 47	0 54	0 45	0 07	0 00	0 00	0 00	0 00
1986	0 00	0 02	0 67	3 34	0 76	0 43	0 10	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1987	0 00	0 00	0 00	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1988	0 00	0 00	0 17	5 81	2 38	0 35	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
MED	0 02	0 13	0 77	1 21	0 71	0 18	0 05	0 00	0 00	0 00	0 03	0 02

## 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-defluvio 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>5</sup>.

As relações chuva-defluvio para a bacia do açude Macacos 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

<sup>5</sup>US ARMY CORPS OF ENGINEERS - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, 1990 HEC-1 FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE - USERS MANUAL, 415 p

hidraulicos Para esta bacia, foi estudada a sua resposta ao hietograma de projeto correspondentes a 1 000 anos (Tr = 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 Macacos, 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 para a bacia do Macacos foi assumido uma precipitação uniformemente distribuída sobre a refenda bacia O HEC-1 permite a entrada de tormentas historicas 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	16 8	44 2	78 7	105 6	121 3	148 2	175 0	201 9
P (mm) – TR 10000	22 1	56 3	99 5	135 5	156 6	192 6	228 7	264 7

O hietograma de projeto tem uma duração igual 24 horas, bem maior que o tempo de concentração da bacia para considerar efeitos do volume de cheia no dimensionamento do sangradouro Foi estimado aqui pela fórmula do Califórnia Highways, também conhecida como fórmula de Kirpich

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

007048



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 Macacos tem-se

Seção Macacos Sub-Bacia 1  $L = 8,31$  km  
 $\Delta H = 280,0$  m

Seção Macacos Sub-Bacia 2  $L = 15,05$  km  
 $\Delta H = 80,0$  m ✓

**QUADRO 5.2**

BACIA	COD	AREA (km <sup>2</sup> )	Compr. talvegue principal (km)	Declividade (m/km)	TC (h)	Tlag (h)	CN	Velocidade (m/s)
Subbacia 1	A1	14 74	8 31	33 69	1 25	0 751	77	1 84
Subbacia 2	A2	52 86	15 05	5 32	4 03	2 417	75	1 04

Os dados mostrados acima são as características básicas determinadas para o caculo 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 contribuir 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*

000049

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-Numero, *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

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

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

000050

### CONDIÇÕES SECAS

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

### CONDIÇÕES ÚMIDAS

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

Alternativamente, os CNs para estas condições podem ser obtidos, a partir da condição normal (AMC II), utilizando-se tabelas<sup>6</sup>

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 argilla 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

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

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

000051

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

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 Macacos 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 71

**QUADRO 5 2**  
**PROPORÇÃO DOS TIPOS DE SOLOS HIDROLÓGICOS**

SOLOS	AREAS (KM2)		AREAS (%)		CN
	Subbacia1	Subbacia2	Subbacia1	Subbacia2	
B	9 53	21 83	64 7%	41 3%	72
C	5 21	31 03	35 3%	58 7%	81
<b>TOTAL</b>	<b>14 74</b>	<b>52 86</b>	<b>75</b>	<b>77</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 hidrologicas. 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

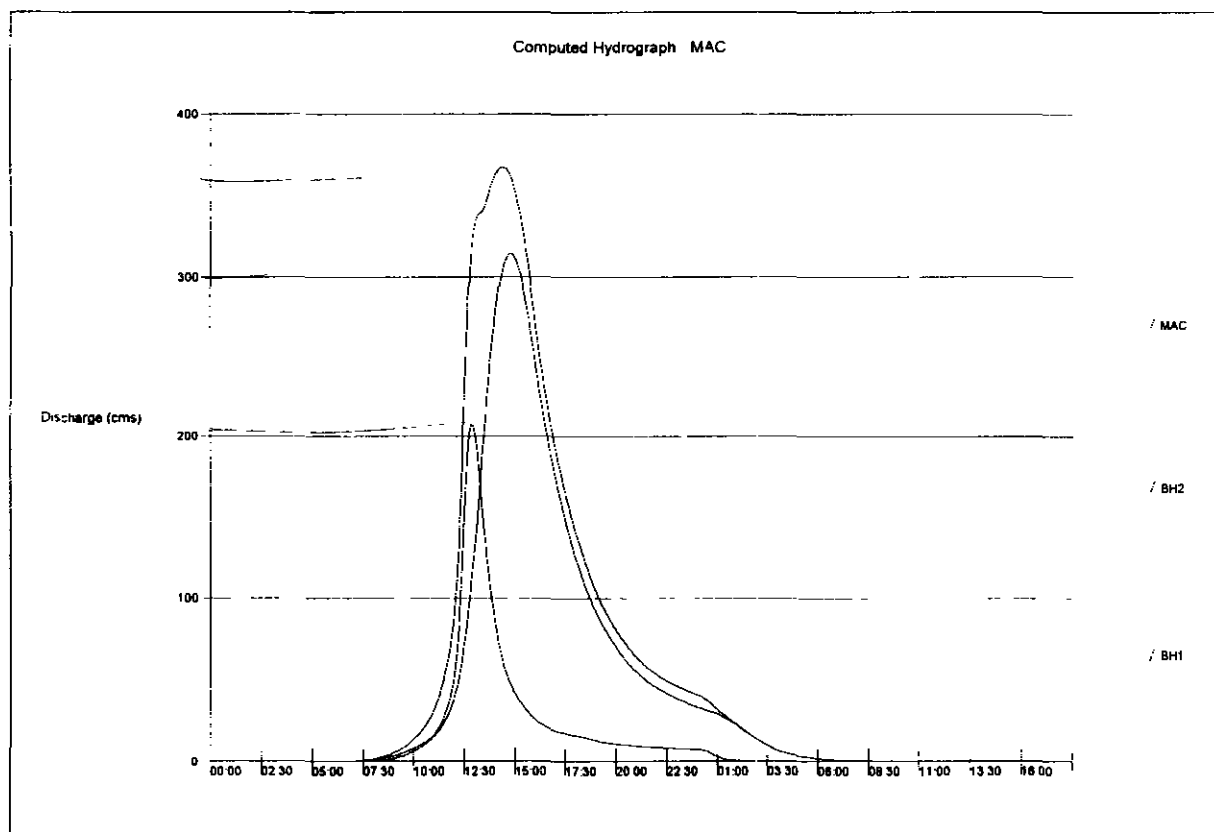
$$Q_p = 208 \frac{A}{t_p} \quad t_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{LAG}$$

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

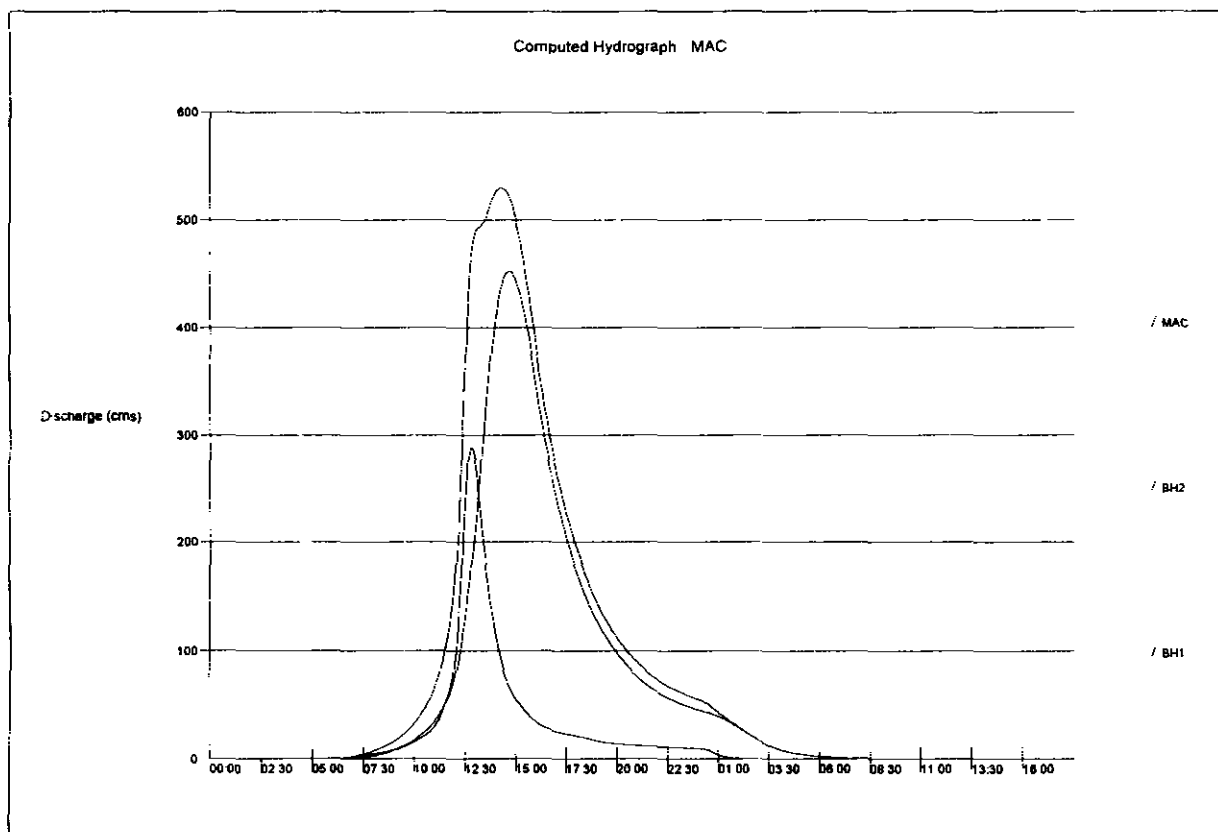
## 5.2 - Resultados

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 Macacos associado aos tempos de retorno 1 000 e 10 000 anos foram respectivamente de 367,16 m<sup>3</sup>/s e 528,86 m<sup>3</sup>/s.



**FIGURA 5.1**  
**HIDROGRAMA AFLUENTE ASSOCIADO AO TEMPO DE RETORNO 1 000 ANOS**  
**AÇUDE MACACOS**



**FIGURA 5.2**  
**HIDROGRAMA AFLUENTE ASSOCIADO AO TEMPO DE RETORNO 10 000 ANOS**  
**AÇUDE MACACOS**

000054

## 6 - DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

000055

## 6 - DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

### 6.1 - Introdução

A importância do estudo da capacidade de regularização de um reservatório esta 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 Macacos,
- 2 estimativa das perdas por evaporação e sangria da Barragem Macacos
- 3 Análise da interferência do açude Macacos na regularização do açude Sítios Novos

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,

000055



$A_t$  = 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>7</sup>, a saber

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

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

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

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

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

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

a) divide-se  $M$  e  $E$  em  $L$  partes (no caso  $L=6$ ),

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

#### ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

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

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

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

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

**VOLUME UTILIZADO**

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

**ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO**

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

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

**ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO**

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

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

**ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO**

$$Z_3 = \alpha h_3^3$$

**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

### 6.3 - Resultados

#### 6.3.1 - Parâmetros utilizados

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

### Barragem Macacos

- Area da Bacia hidrográfica 67.6 km<sup>2</sup>
- lâmina média escoada anual 121,8 mm
- volume afluente médio escoado ( $\mu$ ) 8,233 hm<sup>3</sup>/ano
- fator de forma da bacia hidráulica ( $\alpha$ ) 3069
- coeficiente de variação (CV) 1,25
- evaporação durante a estação seca (E) 1,167 m
- fator de capacidade ( $f_k$ ) variável entre 0,59 e 1,75

### 6.3.2 - Análise do reservatório Macacos

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,

$$\alpha = 3069$$

$$E = 0,8 \cdot (179,6 + 243,8 + 246,7 + 279,3 + 259,9 + 249,5)$$

$$E = 1167 \text{ mm}$$

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

$$\checkmark \quad f_E = 0,253$$

Com base nestes valores utilizou-se a solução direta da equação do balanço hídrico para o estudo incremental de capacidades do açude Macacos. 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 MACACOS 90% DE GARANTIA**  
**(CAMPOS, 1990)<sup>8</sup>**

Cota (m)	K (hm <sup>3</sup> )	fk=K/μ	%LIB	LIB (hm <sup>3</sup> /ano)	%EV	EV (hm <sup>3</sup> /ano)	%SG	SG (hm <sup>3</sup> /ano)	M (hm <sup>3</sup> /ano)	dM/dK	Q90 (m <sup>3</sup> /s)
116	4 824	0 59	16 58	1 3496	11 70	0 9518	71 72	5 8371	1 4223		0 045
117	5 982	0 74	18 62	1 5151	13 72	1 1164	67 66	5 5064	1 5910	0 146	0 050
118	7 274	0 89	21 14	1 7207	15 65	1 2739	63 20	5 1437	1 8064	0 167	0 057
119	8 715	1 07	23 53	1 9147	17 66	1 4367	58 81	4 7858	2 0078	0 140	0 064
120	10 320	1 27	26 13	2 1266	19 63	1 5978	54 24	4 4142	2 2305	0 139	0 071
121	12 140	1 49	28 91	2 3526	21 67	1 7633	49 43	4 0229	2 4758	0 135	0 079
122	14 283	1 75	31 39	2 5559	23 99	1 9530	44 62	3 6330	2 6902	0 100	0 085

LIB - VOLUME LIBERADO

SG - VOLUME SANGRADO

EV - VOLUME EVAPORADO

K = capacidade do reservatório

dM/dK = ganho de regularizacao com o aumento de capacidade do reservatório

Q90 = vazão regularizada com 90% de garantia

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

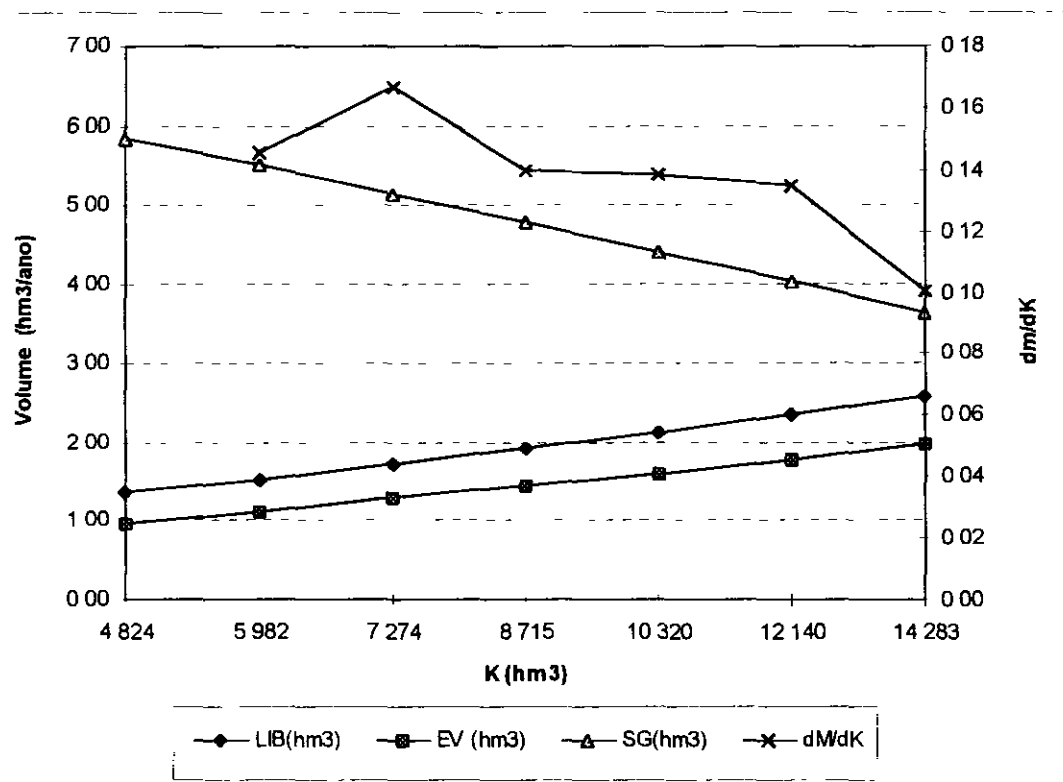


FIGURA 6.1

CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO MACACOS

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 Macacos ( $dM/dK$ ) acontece na variação entre 0,75 e 1,1 multiplicado pelo volume afluente. Para o valor em torno de  $fk=1,27$  (capacidade = 10,320 hm<sup>3</sup>) o açude mantém um ganho próximo a 0,139 hm<sup>3</sup>/ano/hm<sup>3</sup> de vazão regularizada, passando a diminuir consideravelmente este ganho para  $fk$  próximo a 1,7. Assim, a cota de sangria recomendada será 120,0 m, correspondendo a um volume de acumulação de 10,320 hm<sup>3</sup>.

## 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  $(Q_{t+1} + 2 S_{t+1}/\Delta t)$  é possível obter  $Q_{t+1}$  através de  $Q=h(Q+2S/\Delta t)$  e  $S_{t+1}$  através de  $S_{t+1} = f^{-1}(Q_{t+1})$ ,
- 4 repete-se 2 e 3 para todos intervalos de cálculo.

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 (m³),

Q = vazão (m³/s),

C = coeficiente de descarga,

L = largura do sangradouro (m),

Z<sub>w</sub> = cota da soleira do sangradouro

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

*Devido à geometria da seção onde será escavado o sangradouro, a declividade do sangradouro deverá facilmente ser próxima da crítica assente em rocha.*

Devido à geometria da seção onde será escavado o sangradouro, a declividade do sangradouro deverá facilmente ser próxima da crítica assente em rocha. Utilizando-se um n de manning de 0,035 e comprimento próximo a 50m, adotou-se o coeficiente de descarga de 1.68 para o sangradouro utilizando dados do trabalho de Osny Eneas (1993)<sup>9</sup>

Foram estudadas alternativas de sangradouro escavado em rocha com largura de 80, 100 e 120m e de cota da soleira correspondente às cota 119,0, 120,0 e 121,0 m, como e mostrado abaixo

Quadro 7 1 - Vazões de pico e lâminas resultantes da simulação para a cheia afluyente com Tr=1000anos (Sangradouro escavado em rocha C=1,68, Qp afluyente = 367.16 m3/s, cota da soleira = 119,0 m)

L (m)	Qp amortecida (m3/s)	Cota da soleira (m)	Cota de pico (m)	Lâmina máxima (m)
80,00	264,36	119,0	120,57	1,57
100,00	284,07	119,0	120,42	1,42
120,00	298,30	119,0	120,30	1,30

9 Silva. F O E 1993 Estudo dos Coeficientes de Descarga para Vertedores Escavados em Rocha



Quadro 7 2- Vazões de pico e lâminas resultantes da simulação para a cheia afluyente com  $T_r=1000$ anos (Sangradouro escavado em rocha  $C=1,68$ ,  $Q_p$  afluyente =  $367,16$  m<sup>3</sup>/s, cota da soleira =  $120,0$  m)

L (m)	$Q_p$ amortecida (m <sup>3</sup> /s)	Cota da soleira (m)	Cota de pico (m)	Lâmina máxima (m)
80,00	245,77	120,00	121,50	1,50
100,00	267,19	120,00	121,36	1,36
120,00	282,89	120,00	121,25	1,25

Quadro 7 3- Vazões de pico e lâminas resultantes da simulação para a cheia afluyente com  $T_r=1000$ anos (Sangradouro escavado em rocha  $C=1,68$ ,  $Q_p$  afluyente =  $367,16 \text{ m}^3/\text{s}$ , cota da soleira =  $121,0 \text{ m}$ )

L (m)	$Q_p$ amortecida ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Cota da soleira (m)	Cota de pico (m)	Lâmina máxima (m)
80,00	204,98	121,0	122,32	1,32
100,00	230,01	121,0	122,23	1,23
120,00	250,81	121,0	122,16	1,16

As Figuras 7 1 a 7 9 mostram os hidrogramas afluentes e efluentes com  $1000$  anos de tempo de retorno para cada uma das alternativas estudadas, isto é, para três larguras de sangradouro diferentes com cota da soleira sempre variando m

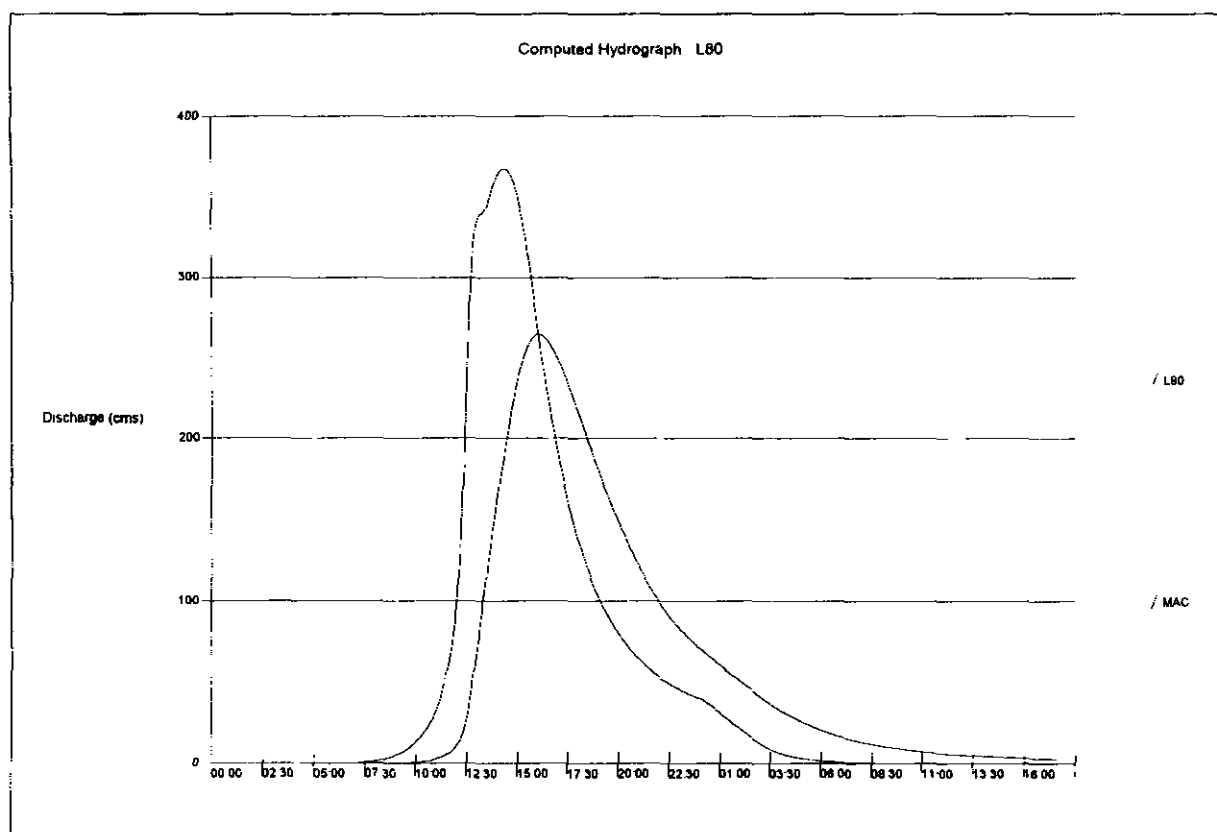
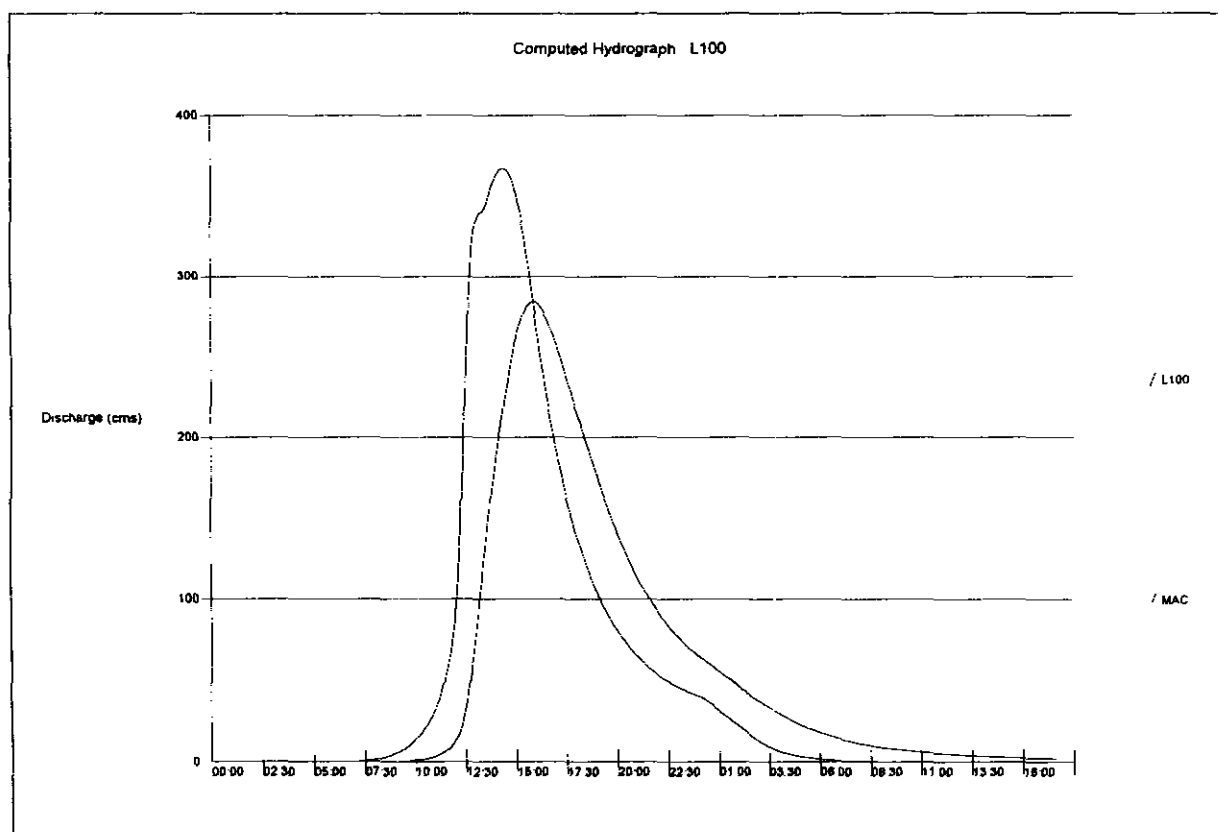


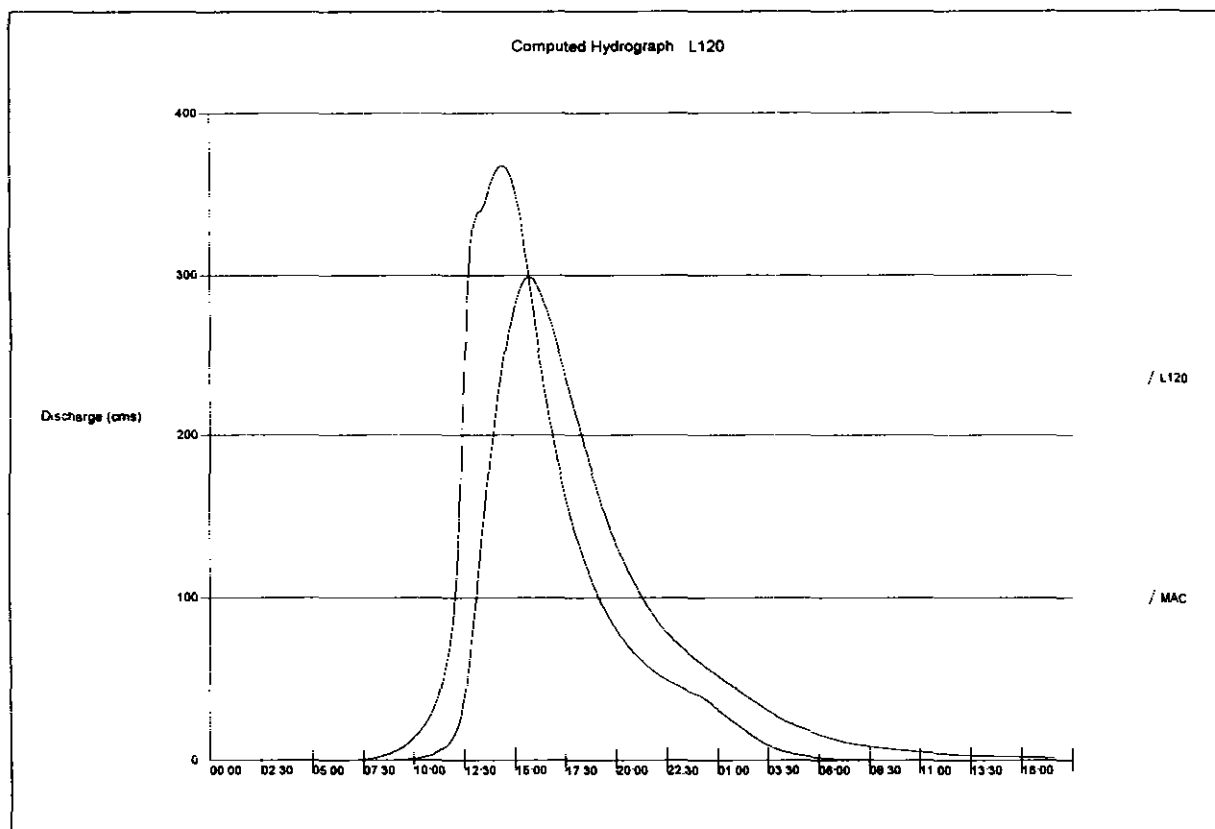
FIGURA 7.1

PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A  $T_r=1000$  ANOS - COTA SOLEIRA 119,0M  
LARGURA SANGRADOURO=80M



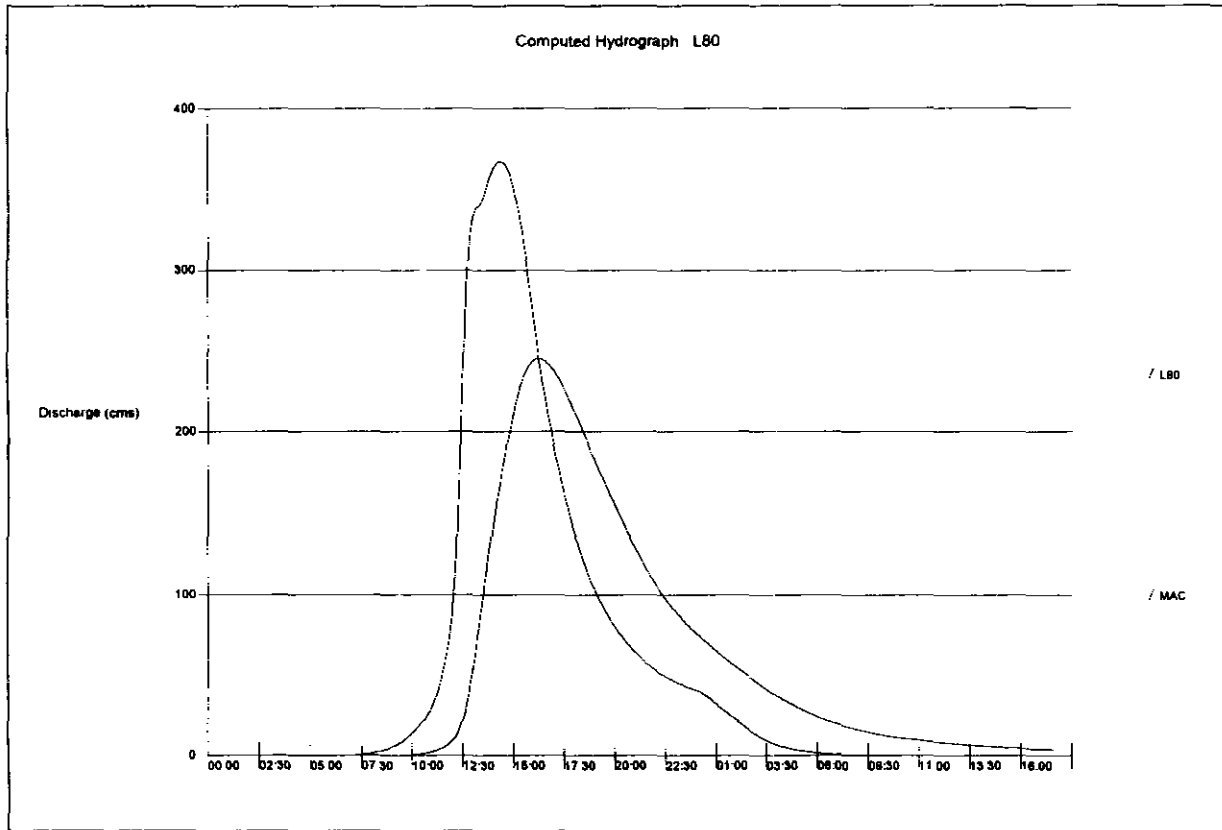
**FIGURA 7.2**

PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A TR=1000 ANOS - COTA SOLEIRA 119,0M  
LARGURA SANGRADOURO=100M



**FIGURA 7.3**

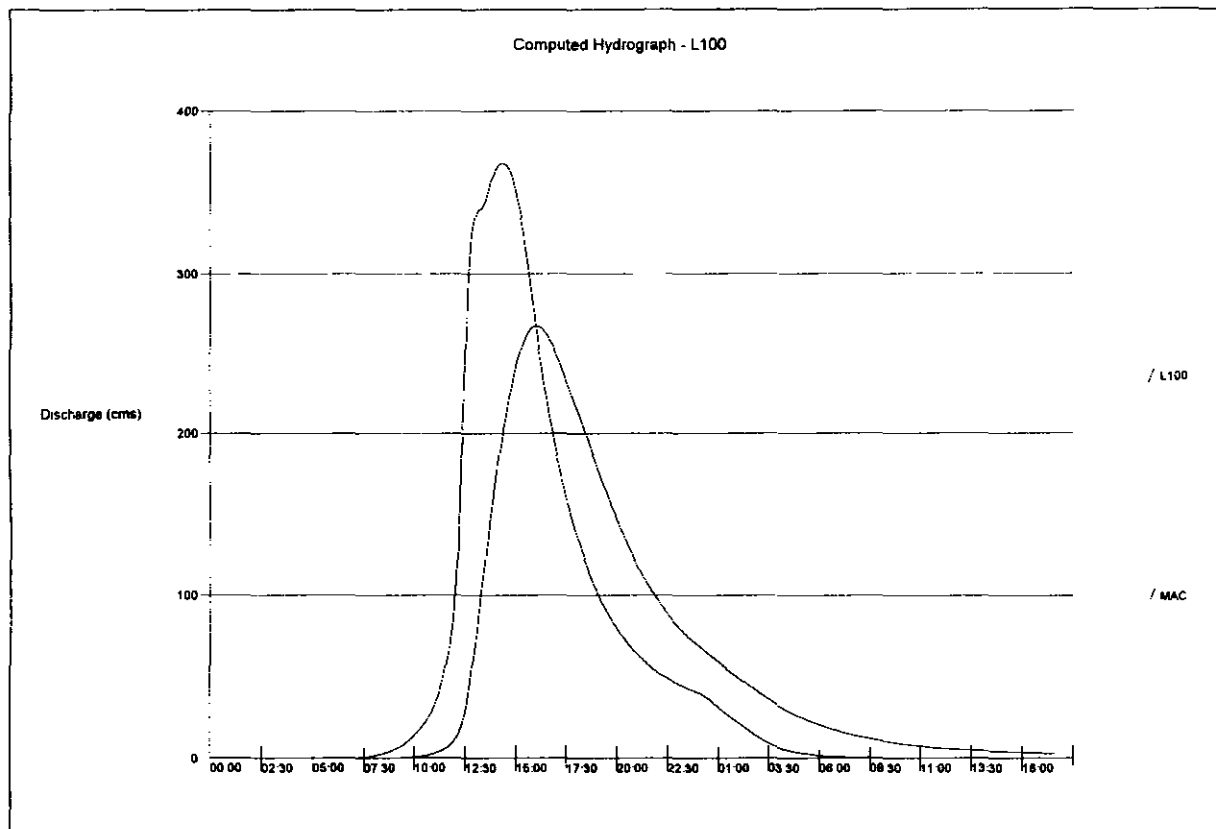
PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A TR=1000 ANOS - COTA SOLEIRA 119,0M  
LARGURA SANGRADOURO=120M



**FIGURA 7.4**

PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A TR=1000 ANOS - COTA SOLEIRA 120,0M  
LARGURA SANGRADOURO=80M

007069

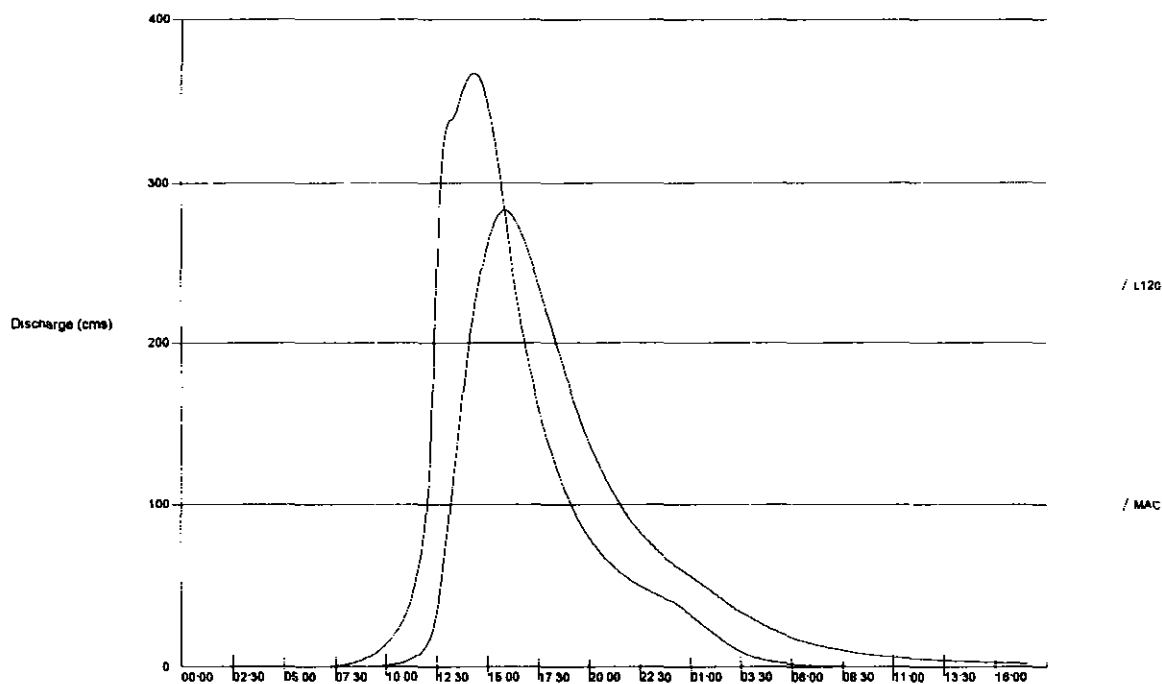


**FIGURA 7.5**

PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A TR=1000 ANOS - COTA SOLEIRA 120,0M  
LARGURA SANGRAOURO=100M

000070

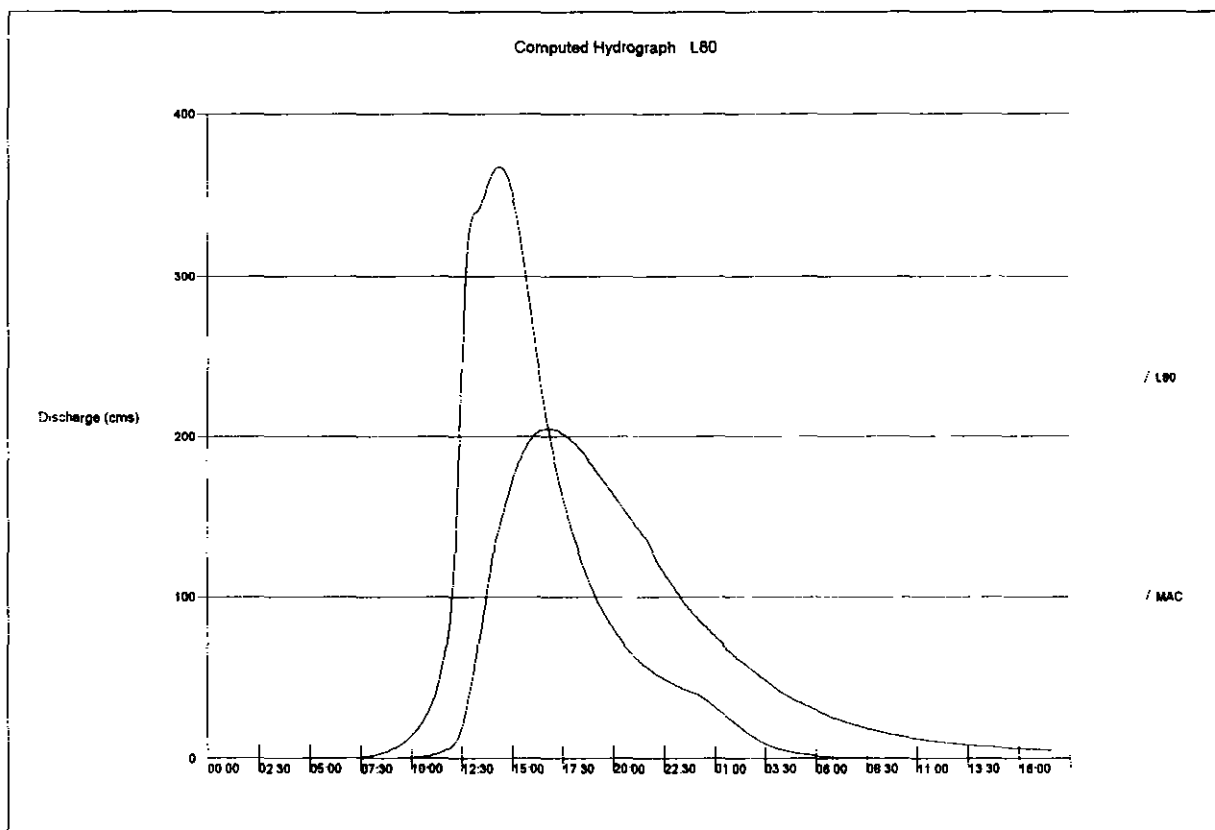
Computed Hydrograph L120



**FIGURA 7.6**

**PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A TR=1000 ANOS - COTA SOLEIRA 120,0M  
LARGURA SANGRADOURO=120M**

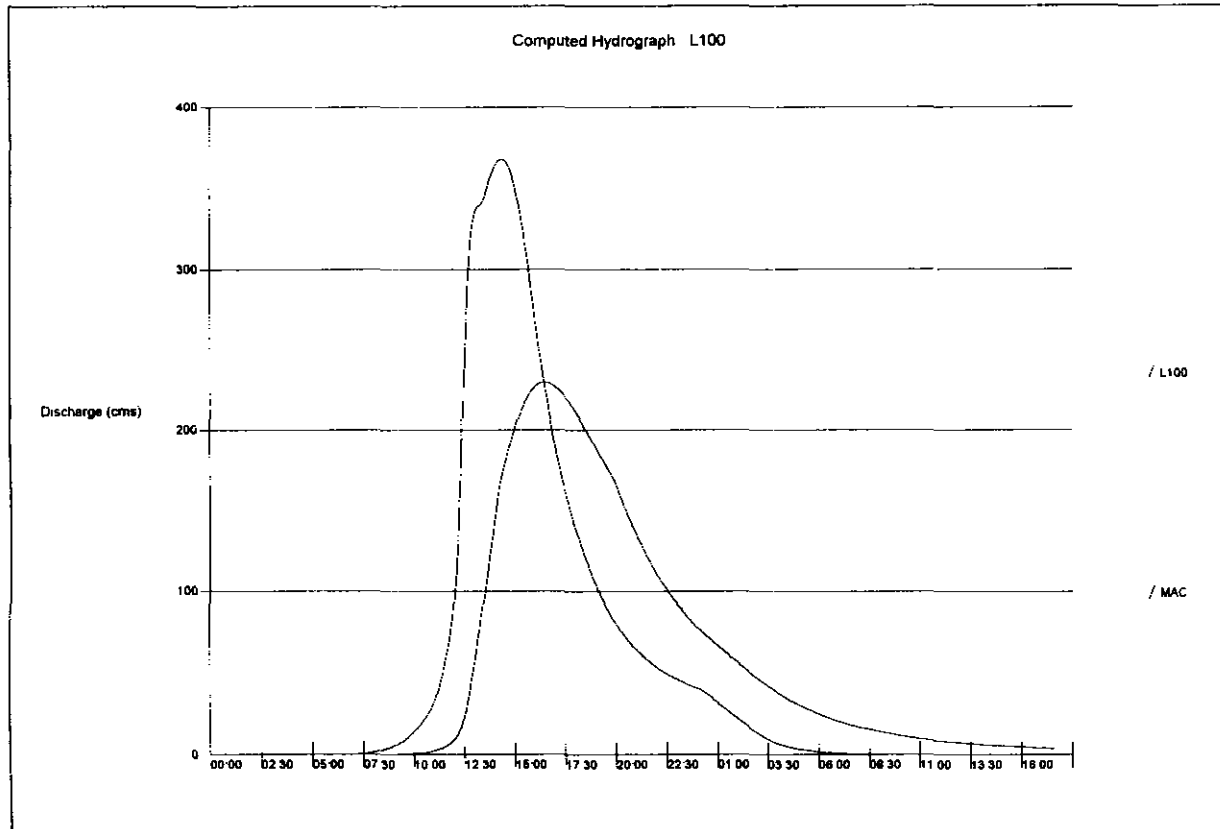
000071



**FIGURA 7.7**  
 PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A TR=1000 ANOS - COTA SOLEIRA 121,0M  
 LARGURA SANGRA DOURO=80M

000072

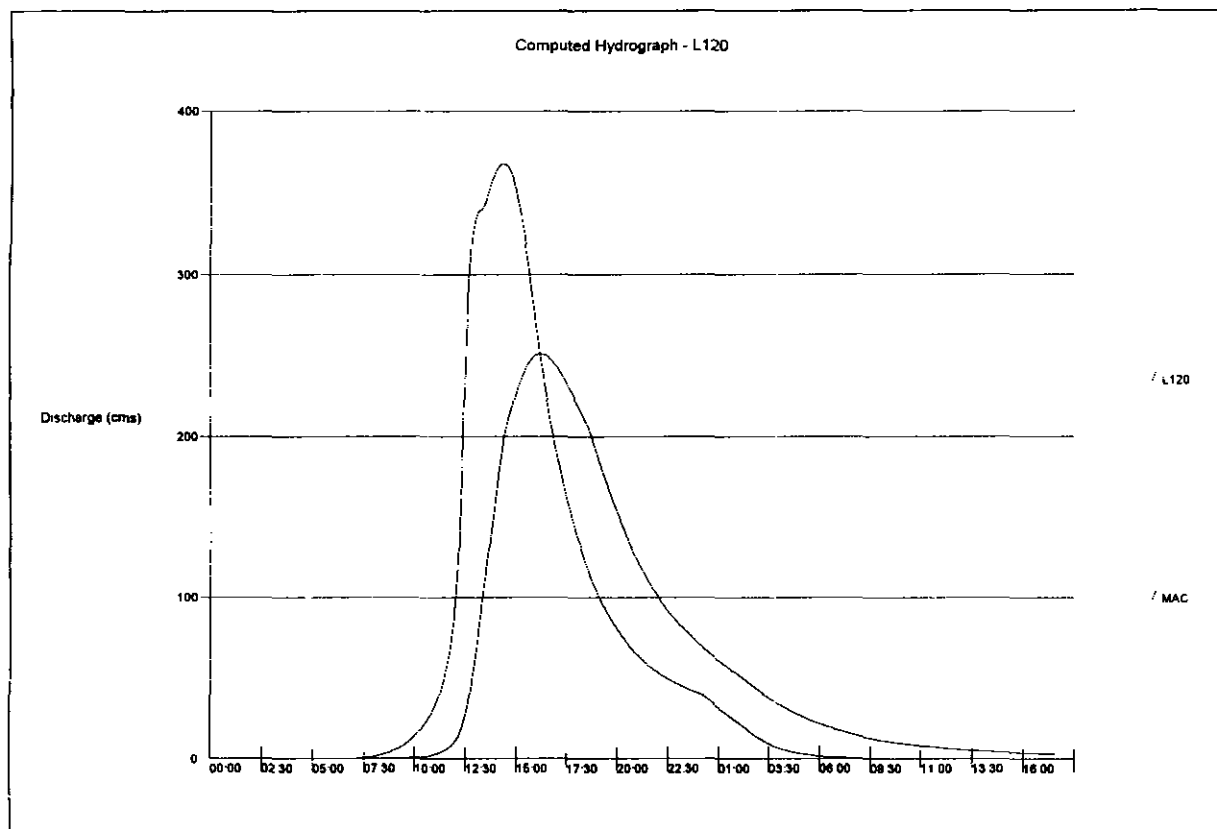




**FIGURA 7.8**

**PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A TR=1000 ANOS - COTA SOLEIRA 121,0M  
LARGURA SANGRADOURO=100M**

000073



**FIGURA 7.9**

**PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A TR=1000 ANOS - COTA SOLEIRA =21,0M  
LARGURA SANGRADOURO=120M**

Foi efetuada, também, a simulação da cheia decamilenar para a alternativa selecionada, com o objetivo de verificar o não galgamento da barragem por esta cheia. O Quadro 7.4 resume os resultados.

000071

Quadro 7 4- Vazões de pico e lâminas resultantes da simulação para a cheia afluyente com  $T_r=10000$ anos (Sangradouro escavado em rocha  $C=1,68$ ,  $Q_p$  afluyente =  $528,86 \text{ m}^3/\text{s}$ , cota da soleira =  $120,0 \text{ m}$ )

L (m)	$Q_p$ amortecida ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Cota da soleira (m)	Cota de pico (m)	Lâmina máxima (m)
80,00	376,52	120,00	121,99	1,99
100,00	404,02	120,00	121,79	1,79
120,00	425,31	120,00	121,64	1,64

As Figuras 7 10, 7 11 e 7 12 mostram os hidrogramas afluentes e efluentes com 10 000 anos de tempo de retorno para cada alternativa

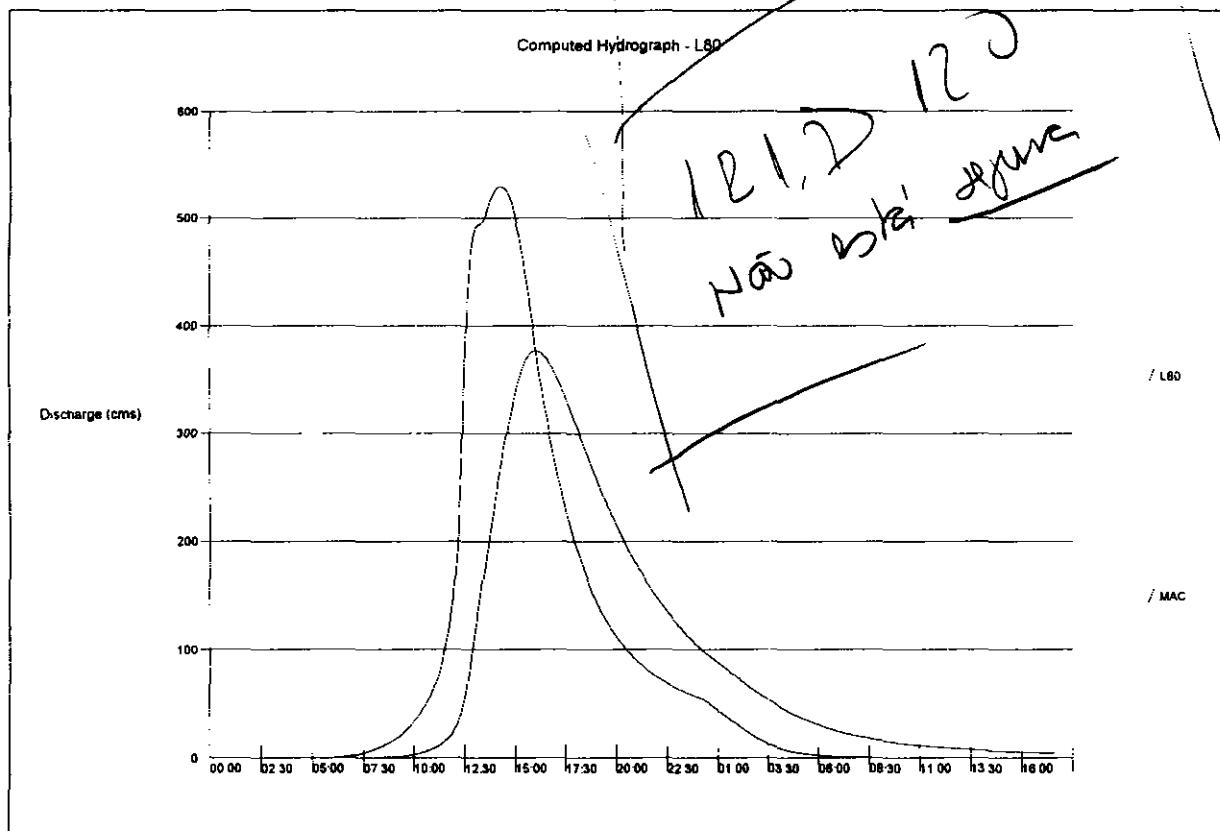
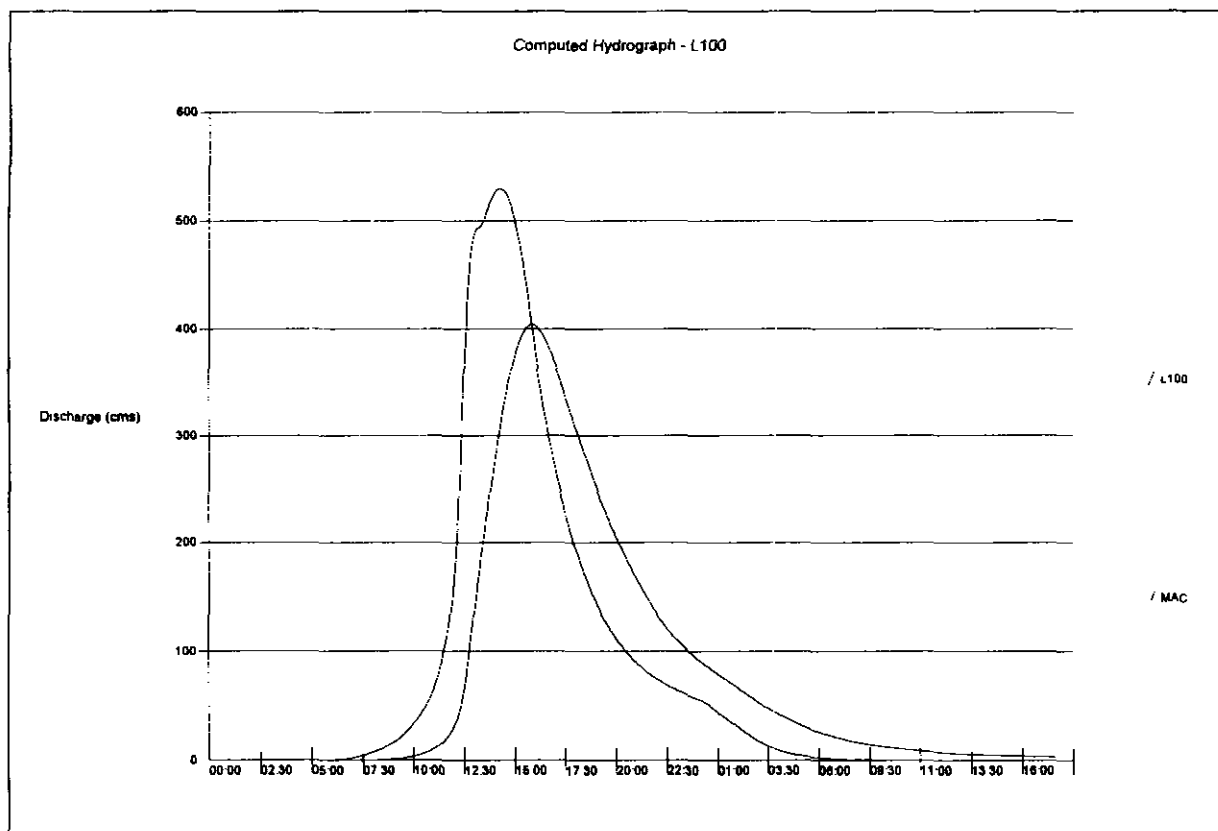


FIGURA 7.10

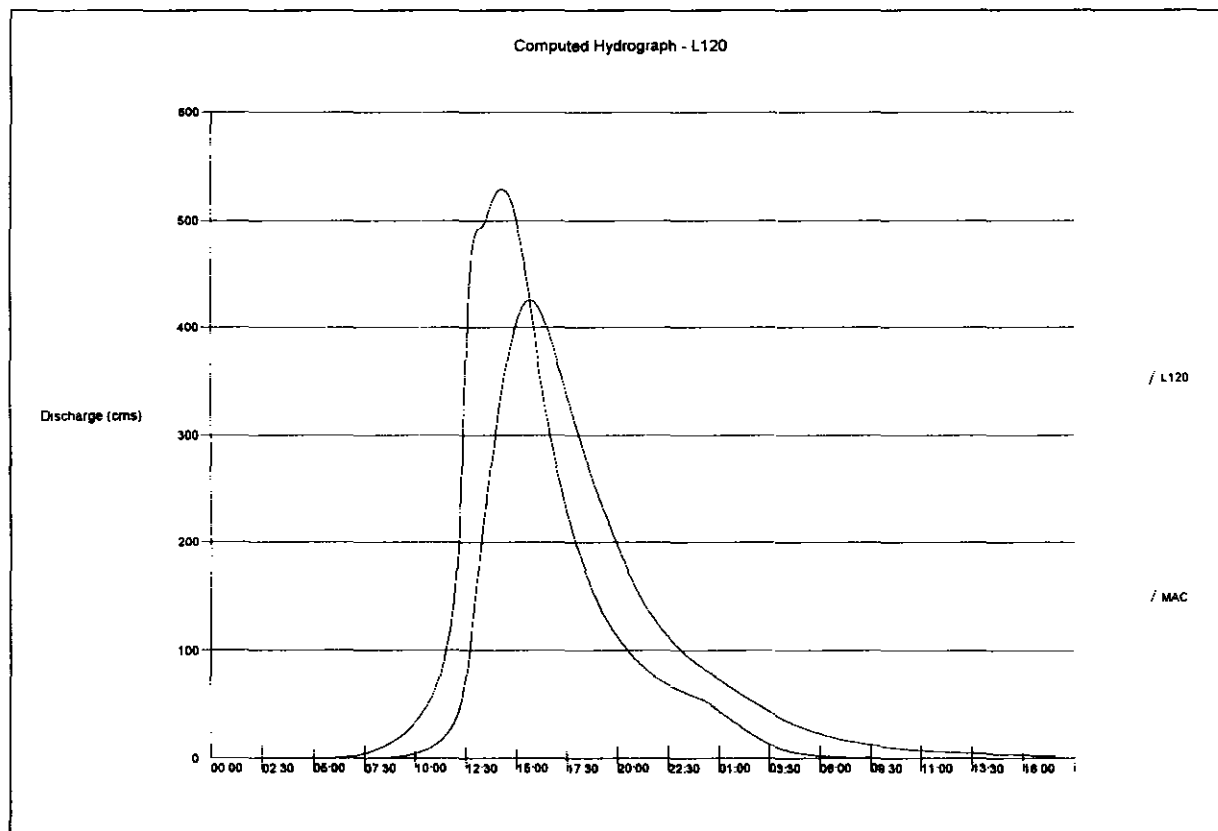
PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A  $T_r=10000$  ANOS - COTA SOLEIRA 120,0M  
LARGURA SANGRADOURO=80M

000075



**FIGURA 7.11**

PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A TR=10000 ANOS - COTA SOLEIRA 120,0M  
LARGURA SANGRADOURO=100M



**FIGURA 7.12**  
 PROPAGAÇÃO DA CHEIA ASSOCIADA A TR=10000 ANOS - COTA SOLEIRA 120,0M  
 LARGURA SANGRADOURO=120M

## "RESUMO"

### CLIMATOLOGIA:

• Pluviometria Total Média Anual (sobre a bacia )	800,0 mm,
• Evaporação Total Média Anual	2235,2 mm,
• Nebulosidade Média Anual	4,7
• Insolação Total Média Anual	2982,8
• Umidade Relativa Média Anual	67,5
• Temperatura Média Anual Média das Máximas	33 8
• Temperatura Média Anual Média das Médias	27 1
• Temperatura Média Anual Média das Mínimas	21 9
• Classificação Climática	DdA'a'

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

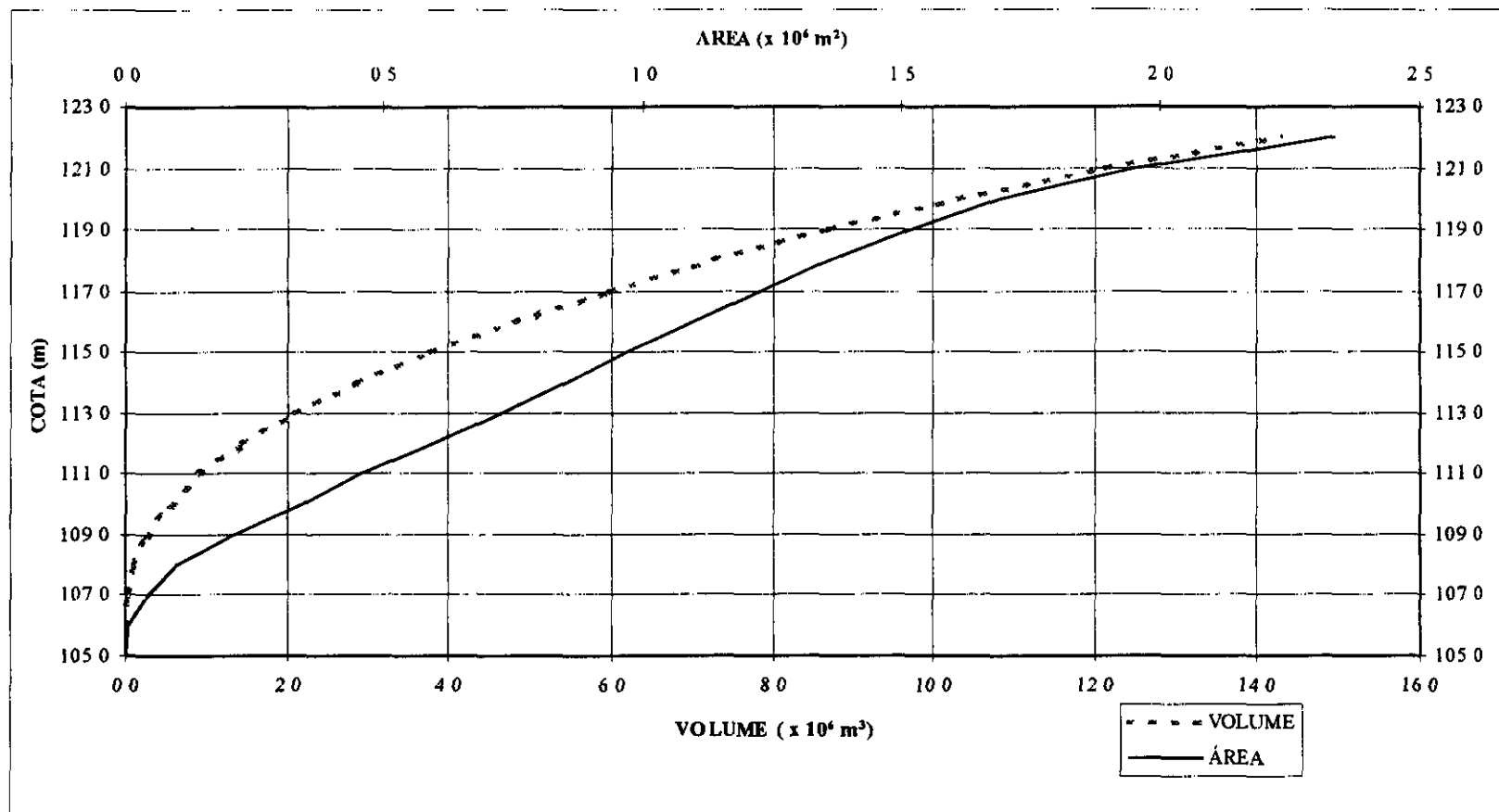
• Área da Bacia Hidrográfica	67,6 km <sup>2</sup> ,
• Coeficiente de Escoamento	15,2%,
• Volume afluente médio anual	8,234 hm <sup>3</sup> ,
• Lâmina Escoada Média	121,8 mm,
• Coeficiente de Variação dos deflúvios	1,25,
• Capacidade total do reservatório	10,320 hm <sup>3</sup> ,
• Volume regularizável anual com 90% de garantia	0,071 m <sup>3</sup> /s,

### DIMENSIONAMENTO DO SANGRADEIRO

• Tipo de sangradouro	Lateral retangular escavado em rocha,
• Largura do sangradouro	100,00 m,
• Cota do sangradouro	120,0 m,
• Vazão de pico afluente (Tr=1 000anos)	367,16 m <sup>3</sup> /s,
• Vazão de pico amortecida (Tr=1 000 anos)	267,19 m <sup>3</sup> /s,
• Altura da lâmina vertente (Tr=1 000 anos)	1,36 m,
• Vazão de pico afluente de verificação (Tr=10 000 anos)	528,86 m <sup>3</sup> /s,
• Vazão de pico amortecida de verificação (Tr=10 000 anos)	404,02 m <sup>3</sup> /s,
• Altura da lâmina vertente de verificação (Tr=10 000anos)	1,79 m

**Tabela Cota x Área x Volume**

Cota(m)	Área(m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
105	0	0
106	4386	1462
107	41764	24536
108	97164	94000
109	206029	245597
110	338177	517700
111	458183	915880
112	596388	1443165
113	722208	2102463
114	846956	2887045
115	966824	3793935
116	1093520	4824107
117	1222620	5982177
118	1361910	7274442
119	1519540	8715167
120	1690800	10320337
121	1949140	12140307
122	2337005	14283380



CURVA COTA - ÁREA - VOLUME DO AÇUDE MACACOS

000080

