

GOVERNO DO ESTADO



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS BÁSICOS DA BARRAGEM CHORÓ, EM BEBERIBE-CE

VOLUME 2 - RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICOS
TOMO III - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

GOVERNO DO ESTADO



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS BÁSICOS DA BARRAGEM CHORÓ, EM BEBERIBE-CE

VOLUME 2 - RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICOS
TOMO III - ESTUDOS HIDROLÓGICOS



TSA - PROJETOS DE ENGENHARIA LTDA.

FORTALEZA
MARÇO/99



0075/040518

10/05/2018

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

A **TSA** - Projetos de Engenharia Ltda, em cumprimento ao Contrato nº 01/99 firmado entre a referida empresa e a SRH – Secretaria de Recursos Hídricos, apresenta o relatório dos Estudos Hidrológicos do Projeto Básico da Barragem Choró.

O projeto básico é composto pelos seguintes documentos:

VOLUME I - Relatório dos Estudos Preliminares

VOLUME II - Relatório dos Estudos Básicos

TOMO I - Estudos Topográficos

TOMO II - Estudos Geológicos e Geotécnicos

TOMO III - Estudos Hidrológicos

VOLUME III - Relatório Geral

TOMO I - Descrição Geral do Projeto

TOMO II - Memorial de Cálculo

TOMO III - Especificações Técnicas e Orçamento

TOMO IV - Desenhos

TOMO V - Relatório Síntese

O presente relatório refere-se ao **VOLUME II - Relatório dos Estudos Básicos – TOMO III – Estudos Hidrológicos**.

ÍNDICE

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO

1. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA	5
2. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	10
2.1. Parâmetros Climáticos	11
2.1.1. <i>Temperatura</i>	11
2.1.2. <i>Umidade Relativa do Ar</i>	13
2.1.3. <i>Insolação</i>	16
2.1.4. <i>Nebulosidade</i>	18
2.1.5. <i>Evaporação de Piché</i>	20
2.1.6. <i>Evaporação de Tanque Classe "A"</i>	22
2.1.7. <i>Evapotranspiração Potencial</i>	24
2.2. Balanço Hídrico	26
2.3. Classificação Climática	28
3. ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS	30
3.1. Postos Utilizados	31
3.2. Comportamento Pluviométrico	32
3.2.1. <i>A Nível Mensal e Anual</i>	32
3.2.2. <i>A Nível Diário</i>	35
3.3. Pluviometria Média na Bacia	38
3.4. Estudo de Chuvas Intensas	39
3.4.1. <i>Objetivo do Estudo</i>	39
3.4.2. <i>Metodologia Utilizada</i>	39
3.4.3. <i>Chuvas Intensas na Bacia</i>	41
4. ESTUDOS DOS DEFLÚVIOS	47
4.1. Dados Existentes	48
4.2. Modelo Matemático Chuva-Deflúvio	48
4.2.1. <i>Introdução</i>	48
4.2.2. <i>Calibração do Modelo MODHAC</i>	49
4.3. Volumes Mensais Afluentes	53

4.2.2. Calibração do Modelo MODHAC	49
4.3. Volumes Mensais Afluentes	53
5. ESTUDO DO DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO	56
5.1. Estudo da Vazão de regularização do Açude Choró	57
6. ESTUDO DA CHEIA DE PROJETO	58
6.1. Introdução	59
6.2. Metodologia utilizada	59
6.3. Hidrograma Unitário Triangular do SCS	60
6.4. Hidrogramas das Cheias de Projeto	61
6.5. Cheias de Projeto do Açude Choró	71
6.6. Amortecimento das Cheias de Projeto do Açude Choró	72

1. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA

1. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA

Utilizando as Cartas Topográficas da SUDENE, na escala 1:100.000, obteve-se, para o ponto de interseção do eixo da Barragem do açude Choró com o Rio Choró, as seguintes coordenadas:

- Latitude = $04^{\circ}11'39''\text{S}$ (9.513.200mN)
- Longitude = $38^{\circ}11'54''\text{W}$ (533.650mE)

Tendo em vista a existência de vários açudes a montante do açude Choró, tornou-se necessário a subdivisão de sua bacia hidrográfica em diversas sub-bacias, a fim de possibilitar tanto o estudo de cheias quanto o estudo de dimensionamento da capacidade de acumulação. As características fisiográficas dessas sub-bacias são apresentadas a seguir:

⇒ Sub-bacia do Açude Pompeu Sobrinho

- Área de Drenagem: 320,88 Km².
- Altitude máxima: 520 m.
- Altitude mínima: 201 m.
- Comprimento do curso d'água entre as altitudes máxima e mínima: 43,32 Km.

⇒ Sub-bacia do Rio Cangati

- Área de Drenagem: 975,43 Km².
- Altitude máxima: 360 m.
- Altitude mínima: 125 m.
- Comprimento do curso d'água entre as altitudes máxima e mínima: 72,93 Km.

⇒ Sub-bacia do Trecho 01

- Área de drenagem: 276,94 Km².
- Altitude máxima: 280 m.
- Altitude mínima: 125 m.

- Comprimento do curso d'água entre as altitudes máxima e mínima: 51,86 Km.
 - Comprimento do Rio Choró entre as seções (A) e (B): 40,40 Km.
- ⇒ Sub-bacia do Açude Castro
- Área de drenagem: 396,12 Km²
 - Altitude máxima: 400 m.
 - Altitude mínima: 160 m.
 - Comprimento do curso d'água entre as altitudes máxima e mínima: 38,38 Km.
- ⇒ Sub-bacia do Trecho 02
- Área de drenagem: 266,88 Km².
 - Altitude máxima: 200 m.
 - Altitude mínima: 103 m.
 - Comprimento do curso d'água entre as altitudes máxima e mínima: 28,13 Km.
 - Comprimento do Rio Choró entre as seções (B) e (D): 21,22 Km.
 - Comprimento do Rio Castro entre as seções (C) e (D): 17,71 Km.
- ⇒ Sub-bacia do Açude Pesqueiro
- Área de drenagem: 82,67 Km².
 - Altitude máxima: 800 m.
 - Altitude mínima: 182 m.
 - Comprimento do curso d'água entre as altitudes máxima e mínima: 14,00 Km.
- ⇒ Sub-bacia do Trecho 03
- Área de drenagem: 307,18 Km².
 - Altitude máxima: 600 m.
 - Altitude mínima: 75 m.
 - Comprimento do curso d'água entre as altitudes máxima e mínima: 36,45 Km.
 - Comprimento do Rio Choró entre as seções (D) e (F): 15,92 Km.
 - Comprimento do Riacho da Lagoa Nova entre as seções (E) e (F): 34,42 Km.

⇒ Sub-bacia do Açude Aracoiaba

- Área de drenagem: 584,05 Km².
- Altitude máxima: 830 m.
- Altitude mínima: 65 m.
- Comprimento do curso d'água entre as altitudes máxima e mínima: 53,10 Km.

⇒ Sub-bacia do Trecho 04

- Área de drenagem: 342,00 Km².
- Altitude máxima: 200 m.
- Altitude mínima: 49 m.
- Comprimento do curso d'água entre as altitudes máxima e mínima: 36,03 Km.
- Comprimento do Rio Choró entre as seções (F) e (H): 19,37 Km.
- Comprimento do Rio Aracoiaba entre as seções (G) e (H): 5,06 Km.

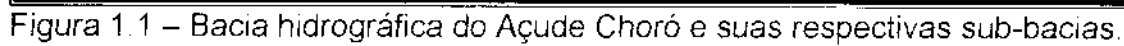
⇒ Sub-bacia do Trecho do Açude Pacajus

- Área de drenagem: 974,51 Km².
- Altitude máxima: 120 m.
- Altitude mínima: 22 m.
- Comprimento do curso d'água entre as altitudes máxima e mínima: 61,82 Km.
- Comprimento do Rio Choró entre as seções (H) e (I): 48,22 Km.

⇒ Sub-bacia do Trecho do Açude Choró

- Área de drenagem: 138,05 Km².
- Altitude máxima: 60 m.
- Altitude mínima: 2 m.
- Comprimento do curso d'água entre as altitudes máxima e mínima: 29,62 Km.
- Comprimento do Rio Choró entre as seções (H) e (I): 24,71 Km.

Na Figura 1.1 estão apresentadas as sub-bacias mencionadas acima.



2. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

2. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

A bacia do Rio Choro compreende três (3) regiões climáticas bem distintas, a saber: Região da Serra de Baturité, representada pela estação meteorológica de Guaramiranga; Região de Sertão, representada pela estação meteorológica de Quixeramobim; e Região Litorânea, representada pela estação meteorológica de Fortaleza.

Essas estações meteorológicas são operadas pelo INMET - Instituto Nacional de Meteorologia -, o qual publicou em 1992 as normais climatológicas do período 1961-1990, fornecendo, portanto, valores médios dos diversos parâmetros meteorológicos das estações utilizadas.

2.1. Parâmetros Climáticos

2.1.1. Temperatura

⇒ Região da Serra de Baturité

A Tabela 2.1 e a Figura 2.1 apresentam os dados estatísticos referentes à temperatura do ar para a Região da Serra de Baturité.

Tabela 2.1 - Temperaturas (°C) Média, Mínima Média, Máxima Média, Mínima Absoluta e Máxima Absoluta na Estação Meteorológica de Guaramiranga.

TEMPERATURA	MESES												Média Anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Média	21.2	20.9	20.9	20.9	20.6	20.0	19.7	19.2	20.4	20.8	21.0	20.5	20.5
Mínima Média	17.8	18.2	19.1	18.3	18.1	18.8	16.3	16.1	16.9	17.5	17.8	18.9	17.8
Máxima Média	25.9	25.4	24.7	24.4	23.3	22.9	23.4	25.1	26.5	26.8	26.0	26.5	25.1
Mínima Absoluta	13.4	12.4	12.8	10.6	10.6	10.0	10.0	10.0	11.6	14.6	13.2	15.0	12.0
Máxima Absoluta	30.6	30.2	29.4	28.5	28.2	28.0	28.5	29.2	30.1	30.4	30.5	30.6	29.5

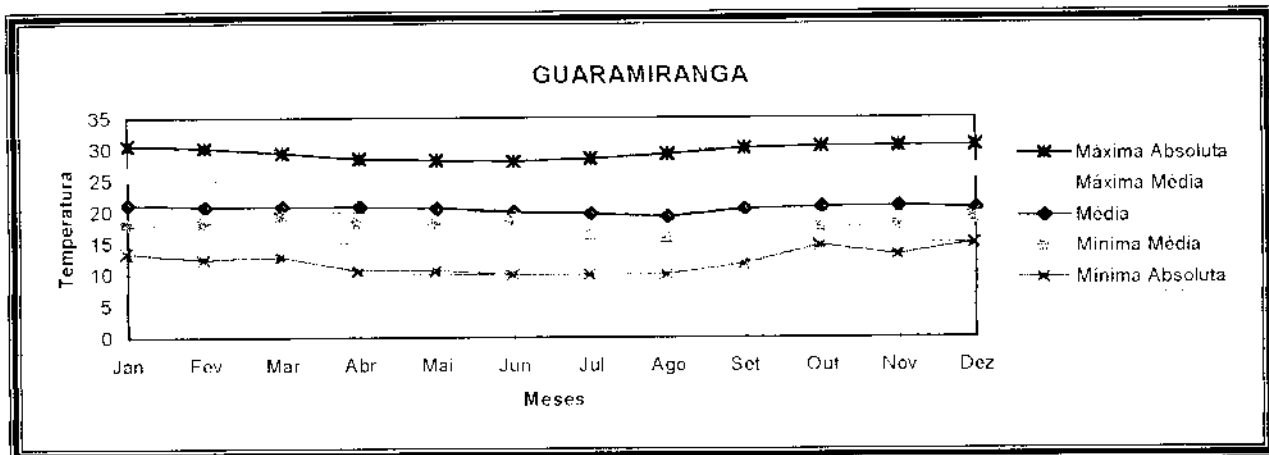


Figura 2.1 - Temperaturas (°C) Média, Mínima Média, Máxima Média, Mínima Absoluta e Máxima Absoluta na estação meteorológica de Guaramiranga.

⇒ Região de Sertão.

A Tabela 2.2 e a Figura 2.2 apresentam os dados estatísticos referentes à temperatura do ar para a Região de Sertão.

Tabela 2.2 - Temperaturas (°C) Média, Mínima Média, Máxima Média, Mínima Absoluta e Máxima Absoluta na Estação Meteorológica de Quixeramobim.

TEMPERATURA	MESES												Média Anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Média	27,7	27,1	26,0	26,0	25,0	25,0	25,0	27,0	27,0	27,0	26,0	26,0	26,6
Mínima Média	23,0	23,0	23,0	23,0	22,0	21,0	21,0	22,5	22,0	23,1	23,4	23,0	22,8
Máxima Média	33,3	32,0	31,0	30,0	29,0	30,0	30,0	32,0	34,0	34,0	34,0	34,0	32,5
Mínima Absoluta	18,5	20,0	20,4	20,9	19,2	17,6	16,2	17,0	19,0	20,4	21,0	19,4	16,2
Máxima Absoluta	38,2	37,2	36,4	35,5	34,9	34,2	35,5	36,6	37,0	37,7	37,9	37,5	38,2

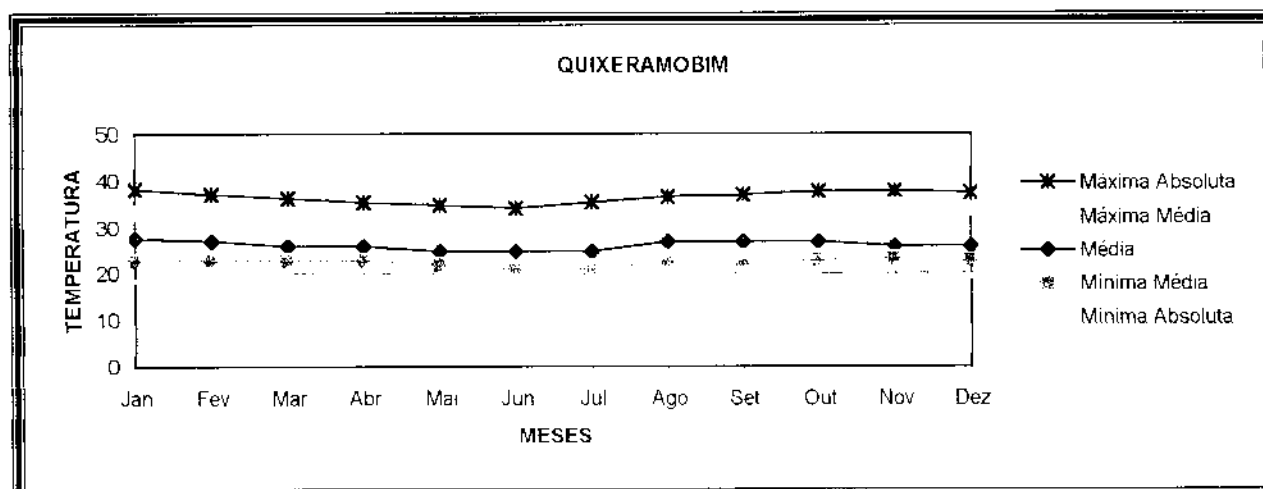


Figura 2.2 - Temperaturas (°C) Média, Mínima Média, Máxima Média, Mínima Absoluta e Máxima Absoluta na estação meteorológica de Quixeramobim.

> Região Litorânea.

A Tabela 2.3 e a Figura 2.3 apresentam os dados estatísticos referentes à temperatura do ar para a Região Litorânea.

Tabela 2.3 - Temperaturas (°C) Média, Mínima Média, Máxima Média, Mínima Absoluta e Máxima Absoluta na Estação Meteorológica de Fortaleza.

TEMPERATURA	MESES												Média Anual
	Jan	Fed.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Média	27.3	26.9	26.5	26.5	26.4	26.0	25.8	26.2	26.7	27.2	27.3	27.5	26.7
Mínima Média	24.4	23.8	23.5	23.4	23.3	22.8	22.3	22.6	23.3	23.9	24.4	24.6	23.5
Máxima Média	30.6	30.2	29.7	29.8	30.0	29.7	29.7	30.2	30.4	30.8	30.9	31.0	30.3
Mínima Absoluta	22.1	21.8	22.1	21.9	21.9	21.3	20.8	21.0	21.7	22.2	22.7	23.0	21.9
Máxima Absoluta	32.1	31.8	31.3	31.2	31.2	30.0	31.1	31.1	31.1	32.0	31.9	32.3	31.4

Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.

Figura 2.3 - Temperaturas (°C) Média, Mínima Média, Máxima Média, Mínima Absoluta e Máxima Absoluta na estação meteorológica de Fortaleza.

2.1.2. Umidade Relativa do Ar

> Região da Serra de Baturité

A Tabela 2.4 e a Figura 2.4 apresentam os valores médios referentes à umidade relativa do ar para a Região da serra de Baturité.

Tabela 2.4 - Umidade Relativa do ar (%) na Estação Meteorológica de Guaramiranga.

Estação	MESES												Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Guaramiranga	82	88	90	89	81	87	85	80	78	83	79	77	83.3

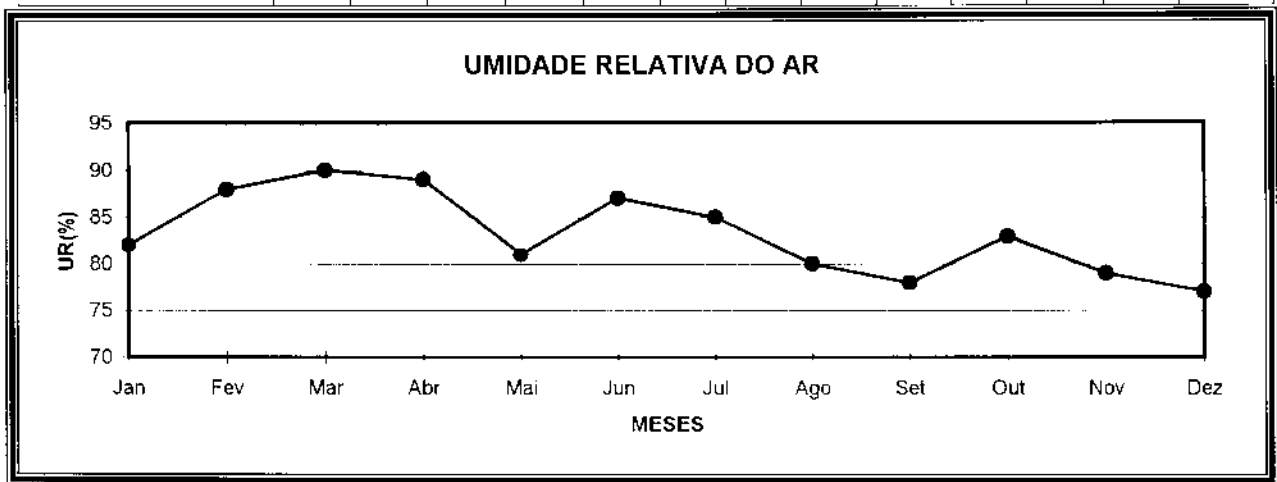


Figura 2.4 Umidade Relativa do ar (°C) na estação meteorológica de Guaramiranga.

⇒ Região de Sertão.

A Tabela 2.5 e a Figura 2.5 apresentam os valores médios referentes à umidade relativa do ar para a Região de Sertão.

Tabela 2.5 - Umidade Relativa do ar (°C) na Estação Meteorológica de Quixeramobim.

Estação	MESES												Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Quixeramobim	59	68	76	80	79	75	65	58	56	58	55	57	59

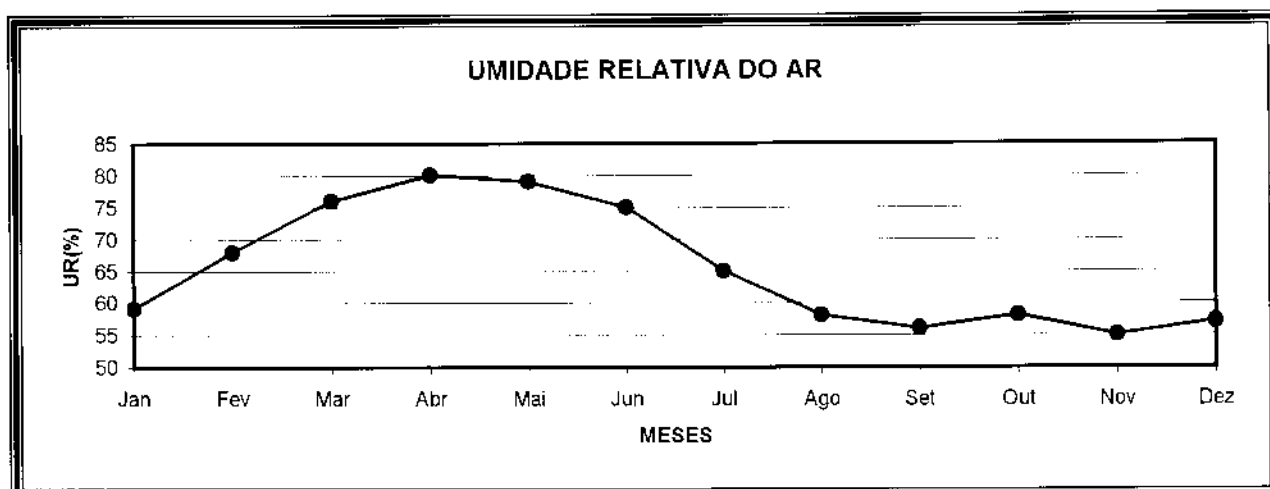


Figura 2.5 - Umidade Relativa do ar (°C) na estação meteorológica de Quixeramobim.

⇒ Região Litorânea.

A Tabela 2.6 e a Figura 2.6 apresentam os valores médios referentes à umidade relativa do ar para a Região Litorânea.

Tabela 2.6 - Umidade Relativa do ar (°C) na Estação Meteorológica de Fortaleza.

Estação	MESES												Média Anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Fortaleza	79	81	85	85	84	82	80	75	73	74	74	76	79.0

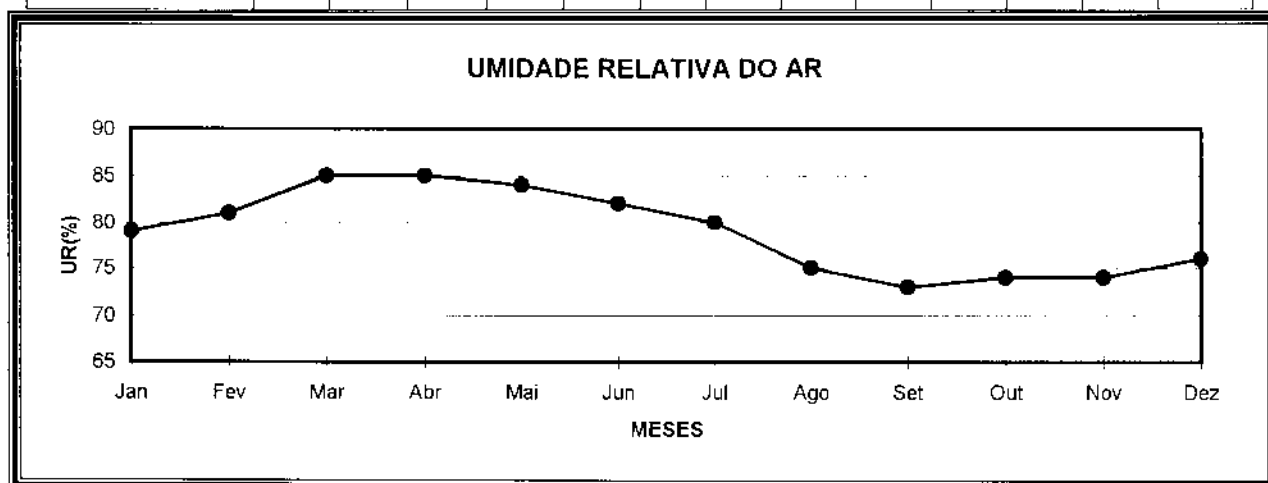


Figura 2.6 - Umidade Relativa do ar (°C) na estação meteorológica de Fortaleza.

2.1.3. Insolação

⇒ Região da Serra de Baturité

Observa-se na Tabela 2.7 e na Figura 2.7 a insolação, em horas, para a Região da Serra de Baturité.

Tabela 2.7. - Insolação (horas) na Estação Meteorológica de Guaramiranga.

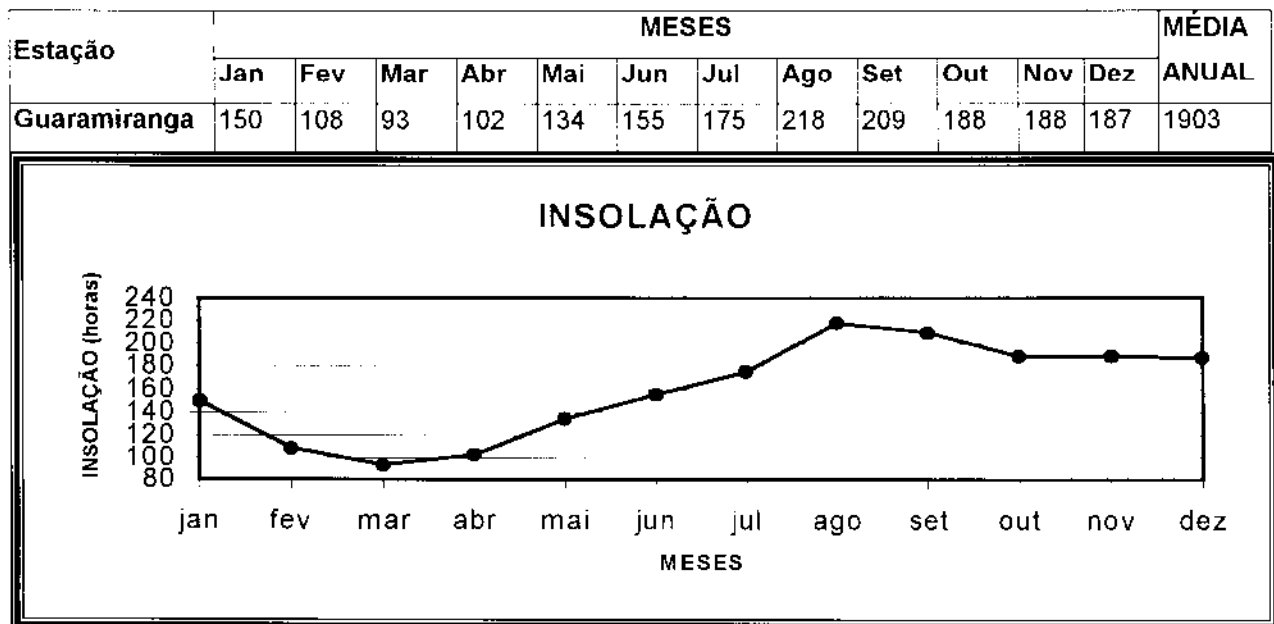


Figura 2.7 – Insolação (horas) na estação meteorológica de Guaramiranga.

⇒ Região de Sertão.

Observa-se na Tabela 2.8 e na Figura 2.8 a insolação, em horas, para a Região de Sertão.

Tabela 2.8. – Insolação (horas) na Estação Meteorológica de Quixeramobim.

Estação	MESES												MÉDIA
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	ANUAL
Quixeramobim	218	194	195	178	211	212	243	275	267	272	260	237	2761

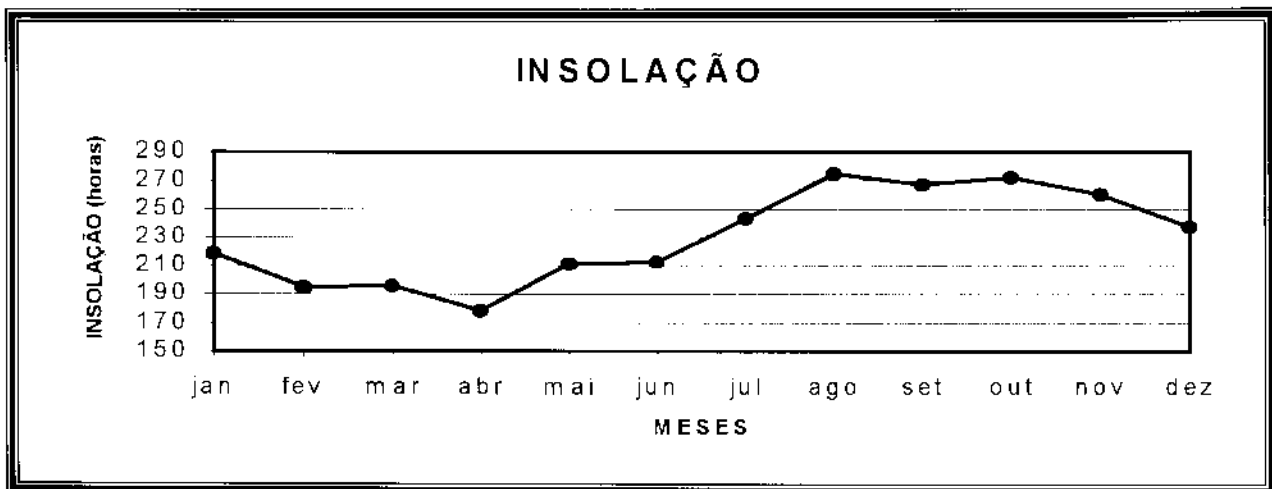


Figura 2.8 - Insolação (horas) na estação meteorológica de Quixeramobim.

⇒ Região Litorânea.

Observa-se na Tabela 2.9 e na Figura 2.9 a insolação, em horas, para a Região Litorânea.

Tabela 2.9 – Insolação (horas) na Estação Meteorológica de Fortaleza

Estação	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Fortaleza	223	173	152	154	203	229	257	285	274	282	277	259	2766

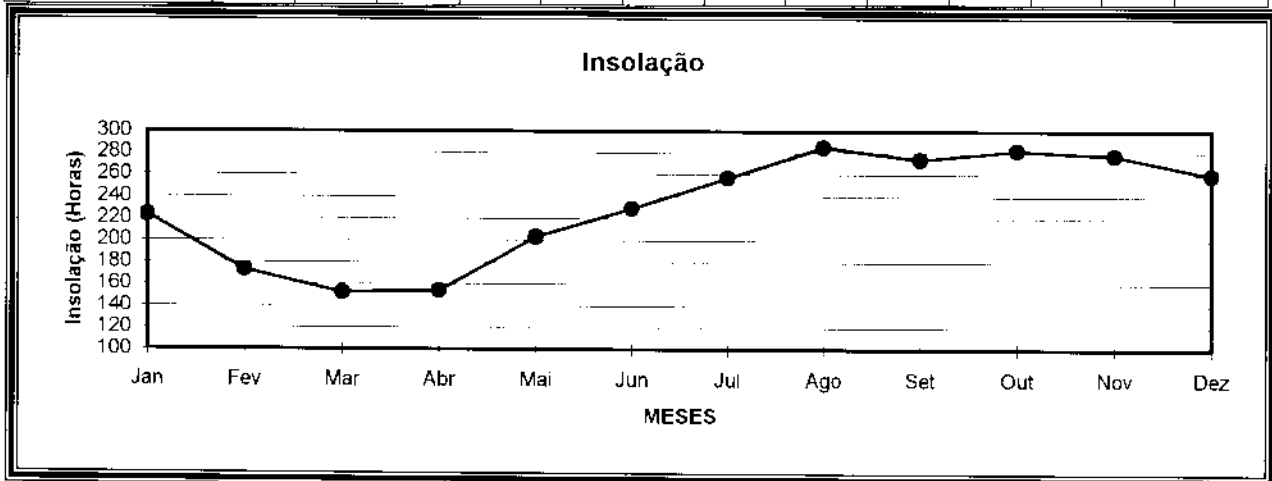


Figura 2.9 – Insolação (horas) na estação meteorológica de Fortaleza.

2.1.4. Nebulosidade

⇒ Região da Serra do Baturité

A Tabela 2.10 e a Figura 2.10 mostram os valores médios da nebulosidade para a Região da Serra de Baturité.

Tabela 2.10 - Nebulosidade (0-10) na Estação Meteorológica de Guaramiranga.

Estação	MESES												Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Guaramiranga	7.0	7.0	8.0	8.0	7.0	7.0	6.0	5.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.6

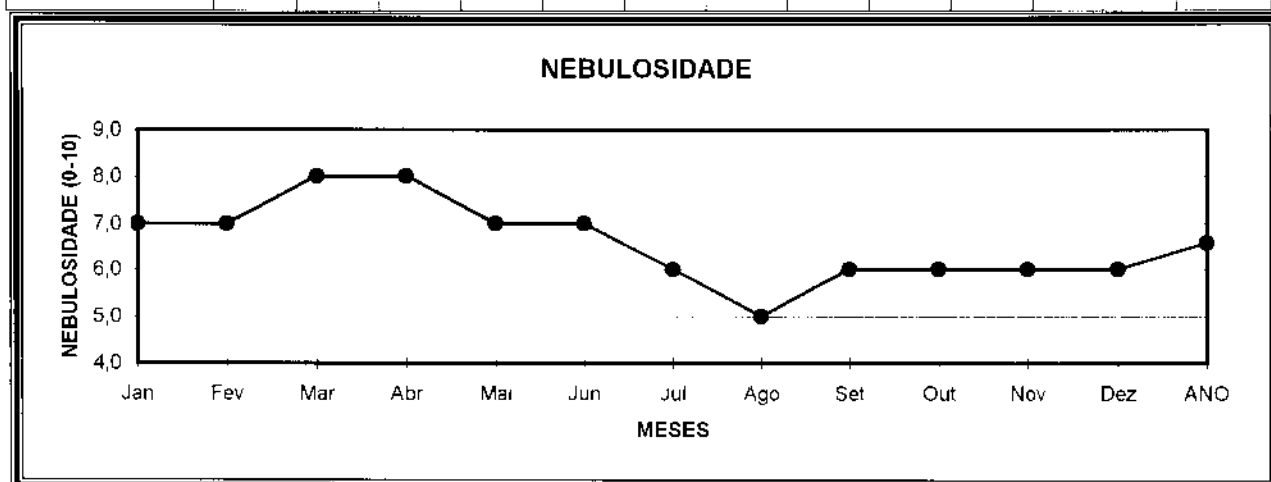


Figura 2.10 - Nebulosidade (0-10) na estação meteorológica de Guaramiranga.

→ Região de Sertão.

A Tabela 2.11 e a Figura 2.11 mostram os valores médios da nebulosidade para a Região de Sertão.

Tabela 2.11 - Nebulosidade (0-10) na Estação Meteorológica de Quixeramobim.

Estação	MESES												Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Quixeramobim	6.0	7.0	7.0	9.0	7.0	6.0	2.0	4.0	3.0	4.0	5.0	6.0	5.5

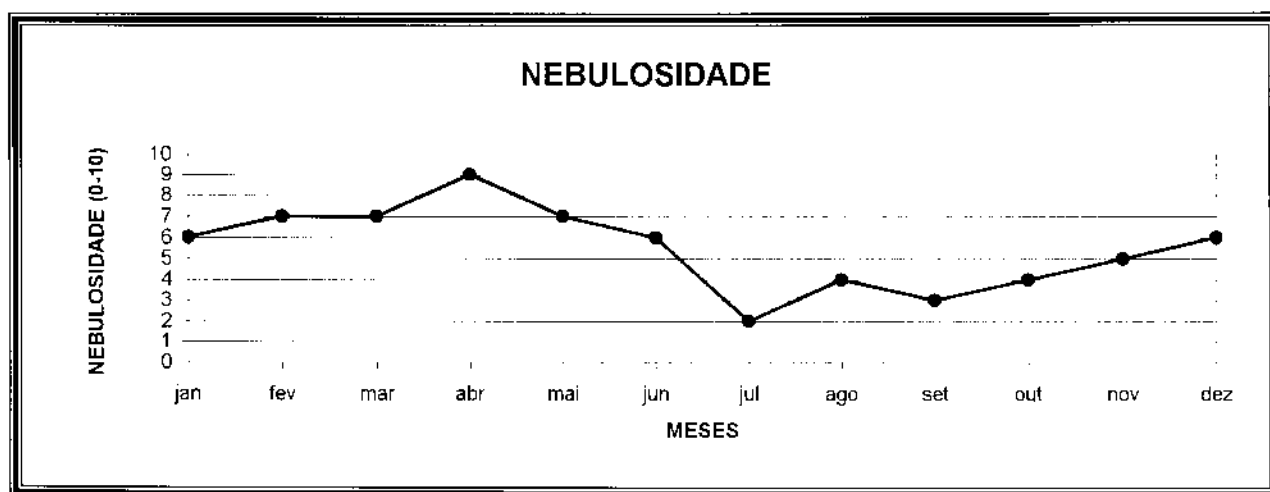


Figura 2.11 - Nebulosidade (0-10) na estação meteorológica de Guaramiranga.

⇒ Região Litorânea.

A Tabela 2.12 e a Figura 2.12 mostram os valores médios da nebulosidade para a Região Litorânea.

Tabela 2.12 - Nebulosidade (0-10) na Estação Meteorológica de Fortaleza.

Estação	MESES												Meia Anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Fortaleza	5.8	6.3	6.7	6.3	5.8	4.9	4.6	3.8	4.0	4.3	4.7	5.0	5.2

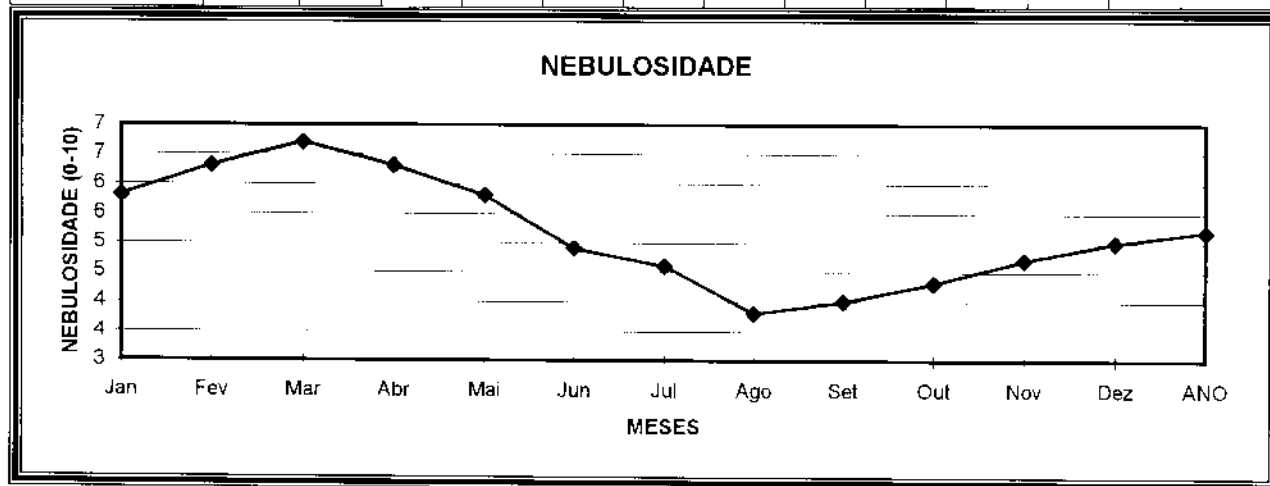


Figura 2.12 - Nebulosidade (0-10) na estação meteorológica de Fortaleza.

2.1.5. Evaporação de Piché

⇒ Região da Serra de Baturité

Observam-se na Tabela 2.13 e na Figura 2.13 os valores médios de evaporação de Piché para a Região da Serra de Baturité.

Tabela 2.13 - Evaporação de Piché (mm) na Estação Meteorológica de Guaramiranga.

Estação	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Guaramiranga	58.8	41	29.3	33.1	30.7	33.9	42.8	60.7	73.6	97.6	78.2	75	654.7

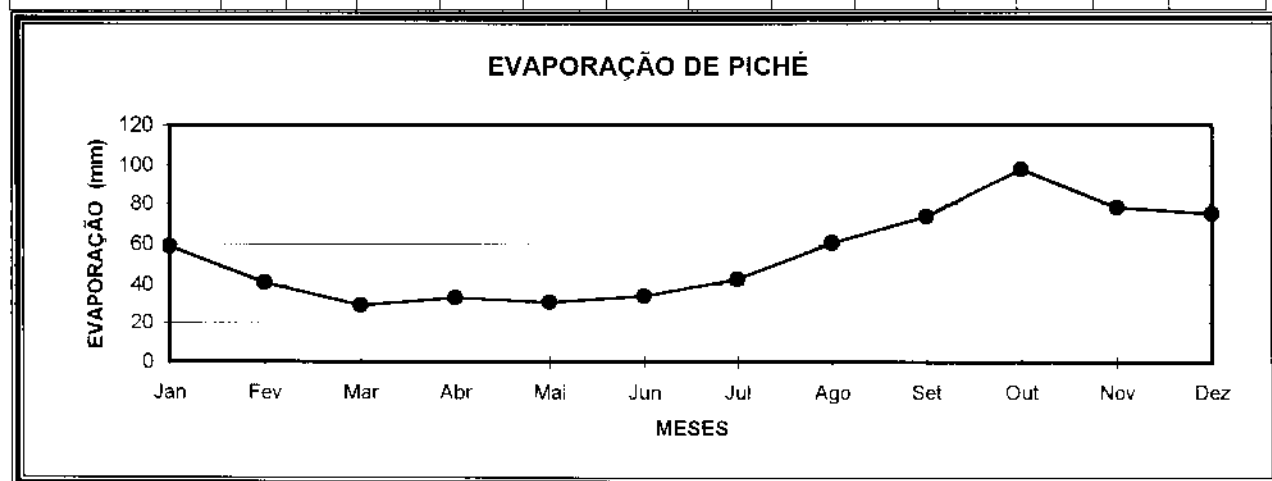


Figura 2.13 - Evaporação de Piché (mm) na estação meteorológica de Guaramiranga.

⇒ Região de Sertão.

Observam-se na Tabela 2.14 e na Figura 2.14 os valores médios de evaporação de Piché para a Região de Sertão.

Tabela 2.14 – Evaporação de Piché (mm) na Estação Meteorológica de Quixeramobim.

Estação	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Quixeramobim	189	137	103	82	84	108	149	207	246	282	241	242	2070

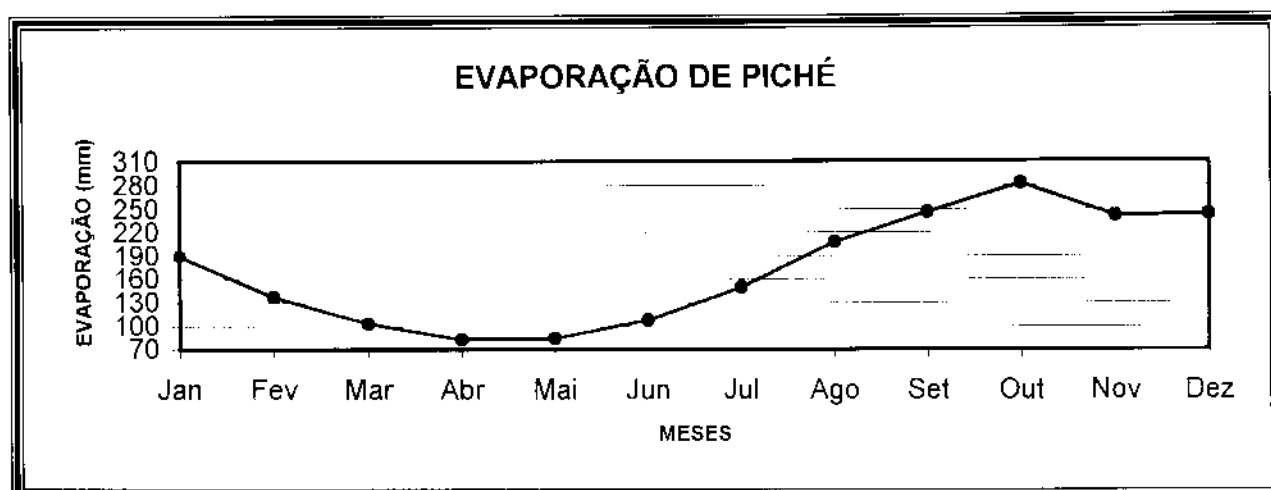


Figura 2.14 - Evaporação de Piché (mm) na estação meteorológica de Quixeramobim.

⇒ Região Litorânea.

Observam-se na Tabela 2.15 e na Figura 2.15 os valores médios de evaporação de Piché para a Região de Sertão.

Tabela 2.15 - Evaporação de Piché (mm) na Estação Meteorológica de Fortaleza.

Estação	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Fortaleza	129.9	98.7	75.3	69.8	80.4	96.5	116.9	157.1	164.3	178.5	167.2	151.7	1486.3

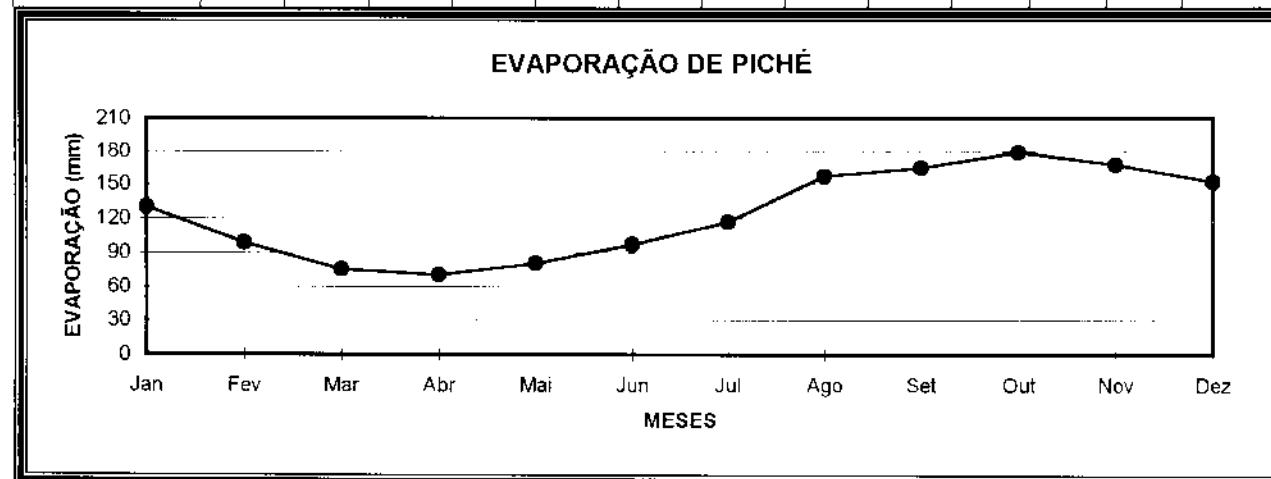


Figura 2.15 - Evaporação de Piché (mm) na estação meteorológica de Fortaleza.

2.1.6. Evaporação de Tanque Classe "A"

⇒ Região da Serra de Baturité

Através da Tabela 2.16 e da Figura 2.16 observa-se a evaporação média de Tanque Classe "A" para a Região da Serra de Baturité.

Tabela 2.16 - Evaporação Tanque Classe "A" (mm) na Estação de Meteorológica Guaramiranga.

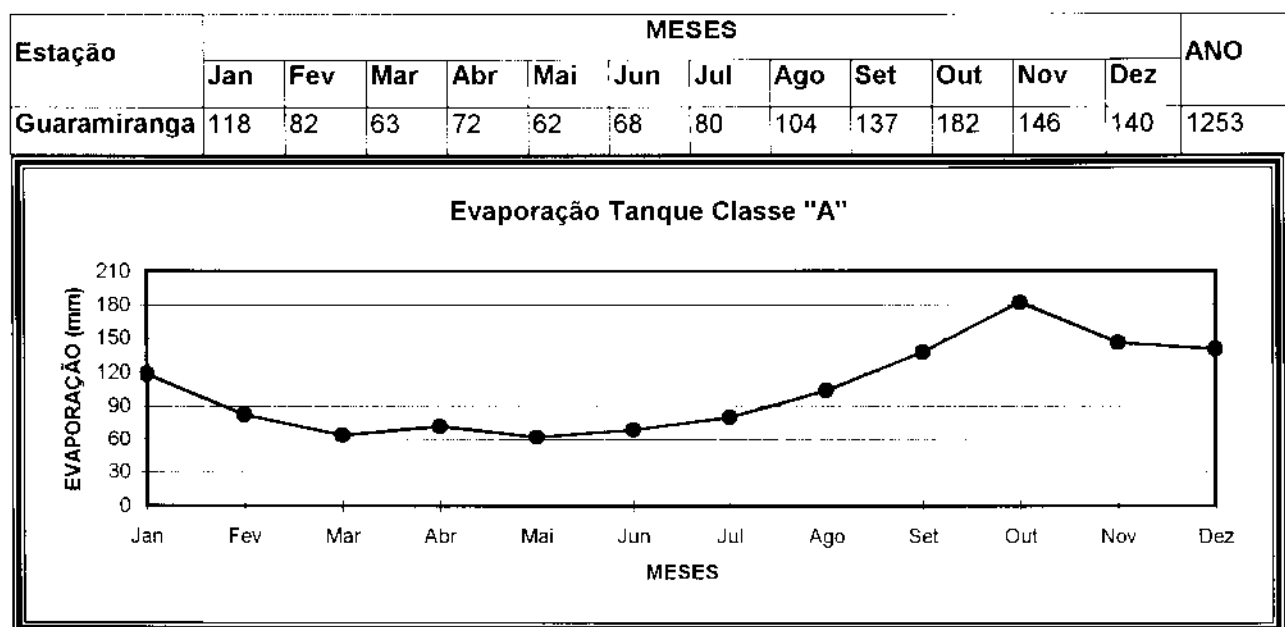


Figura 2.16 - Evaporação Tanque Classe "A" (mm) na estação meteorológica de Guaramiranga.

⇒ Região de Sertão.

Em virtude da não existência de dados de evaporação de Tanque Classe "A" na estação Quixeramobim, essa Região terá os referidos dados de evaporação substituídos por aqueles da estação climatológica de Caio Prado.

Através da Tabela 2.17 e da Figura 2.17 observa-se a evaporação média de Tanque Classe "A" para a Região de Sertão.

Tabela 2.17 - Evaporação Tanque Classe "A" (mm) na Estação Meteorológica de Caio Prado.

Estação	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Caio Prado	155	111	102	86	108	135	172	206	221	226	210	192	1926

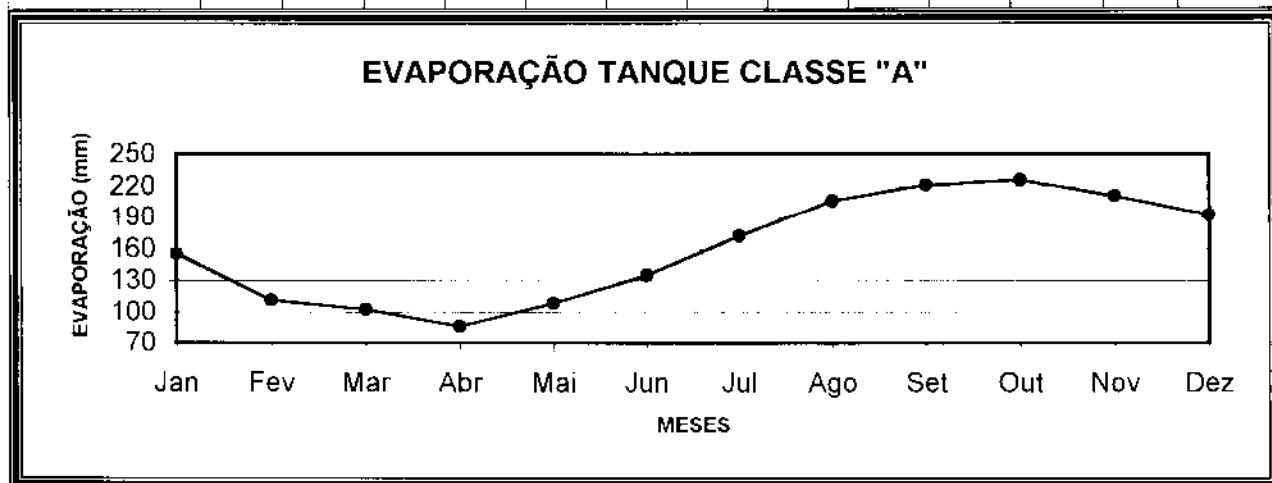


Figura 2.17 - Evaporação Tanque Classe "A" (mm) na estação meteorológica de Caio Prado.

⇒ Região Litorânea.

Através da Tabela 2.18 e da Figura 2.18 observa-se a evaporação média de Tanque Classe "A" para a Região Litorânea.

Tabela 2.18 - Evaporação Tanque Classe "A" (mm) na Meteorológica Estação Fortaleza.

Estação	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Fortaleza	224	172	150	145	163	162	200	247	266	273	265	262	2528

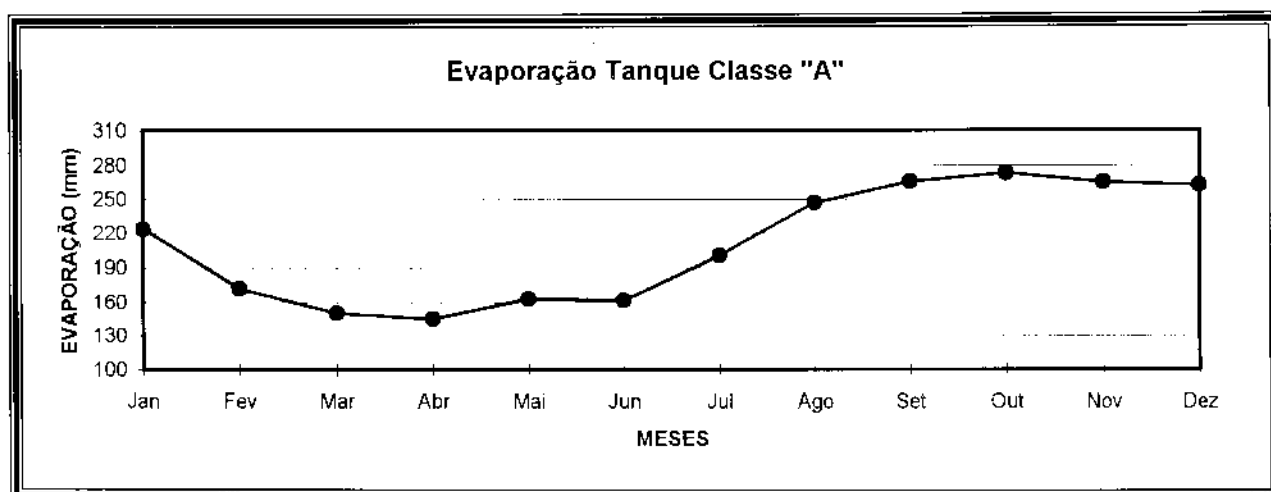


Figura 2.18 - Evaporação Tanque Classe "A" (mm) na estação meteorológica Fortaleza.

2.1.7. Evapotranspiração Potencial

A evapotranspiração potencial pode ser avaliada pelo método de Hargreaves, que é o mais utilizado, pois foi desenvolvido para o Nordeste brasileiro.

⇒ Região da Serra de Baturité

Na Tabela 2.19 e na Figura 2.19 são apresentados os valores médios de evapotranspiração potencial de Hargreaves na Região da Serra de Baturité.

Tabela 2.19 - Evapotranspiração Potencial (mm) na Estação Meteorológica de Guaramiranga.

Método Hargreaves	MESES												ANUAL
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
	110	5	80	77	95	74	84	102	116	108	118	89	

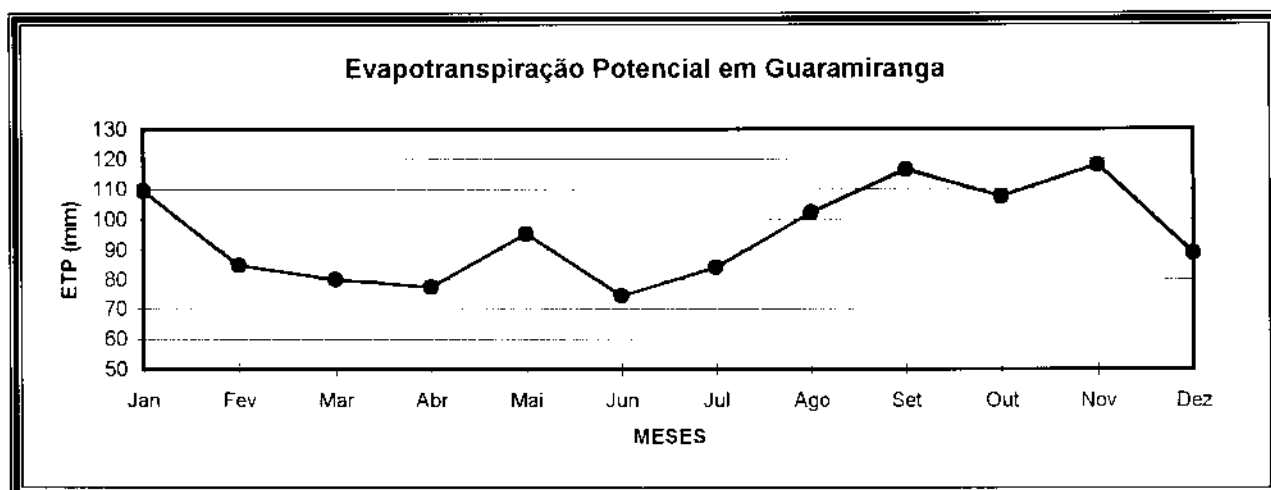


Figura 2.19 - Evapotranspiração Potencial (mm) na estação meteorológica de Guaramiranga.

⇒ Região de Sertão

Na Tabela 2.20 e na Figura 2.20 são apresentados os valores médios de evapotranspiração potencial de Hargreaves na Região de Sertão.

Tabela 2.20 - Evapotranspiração Potencial (mm) medida na Estação Meteorológica de Quixeramobim.

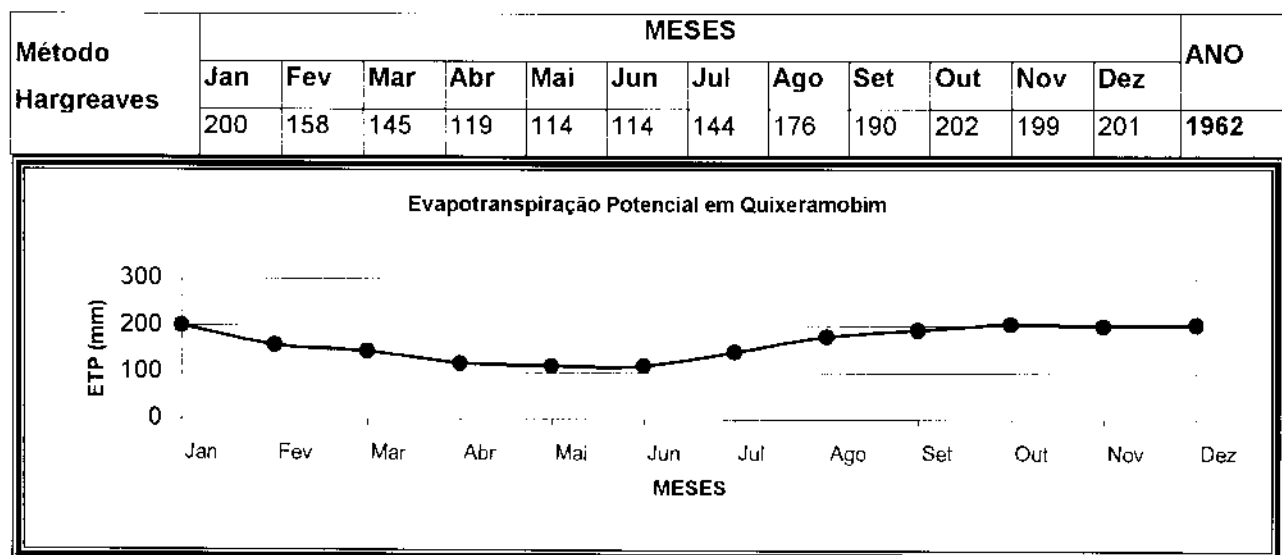


Figura 2.20 - Evapotranspiração Potencial (mm) na estação meteorológica de Quixeramobim.

⇒ Região Litorânea.

Na Tabela 2.21 e na Figura 2.21 são apresentados os valores médios de evapotranspiração potencial de Hargreaves na Região Litorânea.

Tabela 2.21 - Evapotranspiração Potencial (mm) na Estação Meteorológica de Fortaleza.

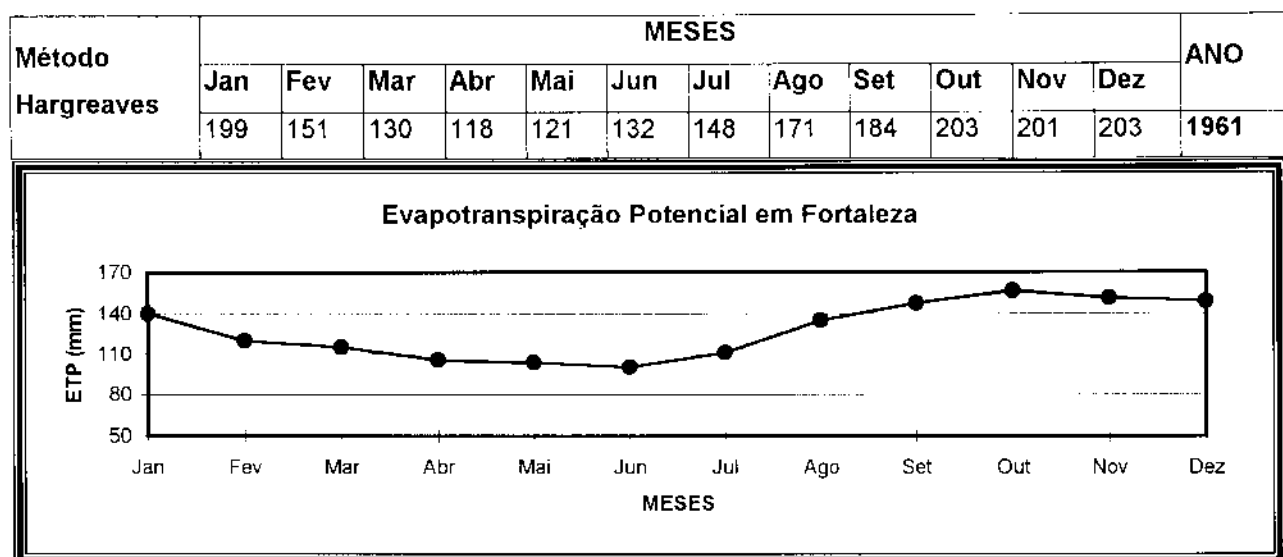


Figura 2.21 - Evapotranspiração potencial (mm) na estação meteorológica de Fortaleza.

2.2. Balanço Hídrico

A fim de possibilitar o conhecimento da necessidade de irrigação de qualquer bacia, utiliza-se normalmente o balanço hídrico de Thornthwaite e Mather, o qual mostra os excessos e deficiências hídricas da bacia considerada.

Além disso, o balanço hídrico de Thornthwaite e Mather permite o cálculo de alguns índices, tornando possível a definição climática da bacia estudada.

Para o caso do Açude Choró, determinou-se apenas o balanço hídrico referente à Região litorânea, que é a Região que utilizará as águas represadas no referido açude. Assim sendo utilizou-se os dados meteorológicos da estação Fortaleza para determinação do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather.

A Tabela 2.22 apresenta a aplicação da metodologia de Thornthwaite e Mather aos dados médios mensais de precipitação e evapotranspiração potencial da estação Fortaleza, a qual representa a Região de interesse.

A Figura 2.22 mostra o comportamento das precipitações, evapotranspirações potenciais e evapotranspirações reais médias para a Região onde se localizará o açude Choró.

Tabela 2.22 - Balanço Hídrico de THORNTHWAITE & MATHER para a Estação de Fortaleza.

Meses	Prec. Média Mensal	ETP Thornthwaite	P-ETP	Negativo Acumulado	Armaz.	Alteração do Armaz.	ETR	Deficit	Excesso
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)			(mm)	(mm)	(mm)
Jan	116.4	157.0	-40.6	-669.6	0	0	116.4	40.6	0.0
Fev	201.5	133.4	68.1	0.0	68.1	68.1	133.4	0.0	0.0
Mar	346.7	138.0	208.7	0.0	100	31.9	138.0	0.0	176.8
Abr	338.1	132.6	205.5	0.0	100	0	132.6	0.0	205.5
Mai	238.7	134.7	104.0	0.0	100	0	134.7	0.0	104.0
Jun	174.1	122.5	51.6	0.0	100	0	122.5	0.0	51.6
Jul	100.8	123.5	-22.7	-22.7	79	-21	121.8	1.7	0.0
Ago	34.7	131.2	-96.5	-119.2	30.0	-49	83.7	47.5	0.0
Set	23.0	136.5	-113.5	-232.6	9.0	-21	44.0	92.5	0.0
Out	15.0	153.3	-138.3	-371.0	2.0	-7	22.0	131.3	0.0
Nov	12.6	151.4	-138.8	-509.8	1.0	-1	13.6	137.8	0.0
Dez	40.8	160.0	-119.2	-629.0	0.0	-1	41.8	118.2	0.0
ANO	1642.4	1674.0				0.0	1104.5	569.6	537.9

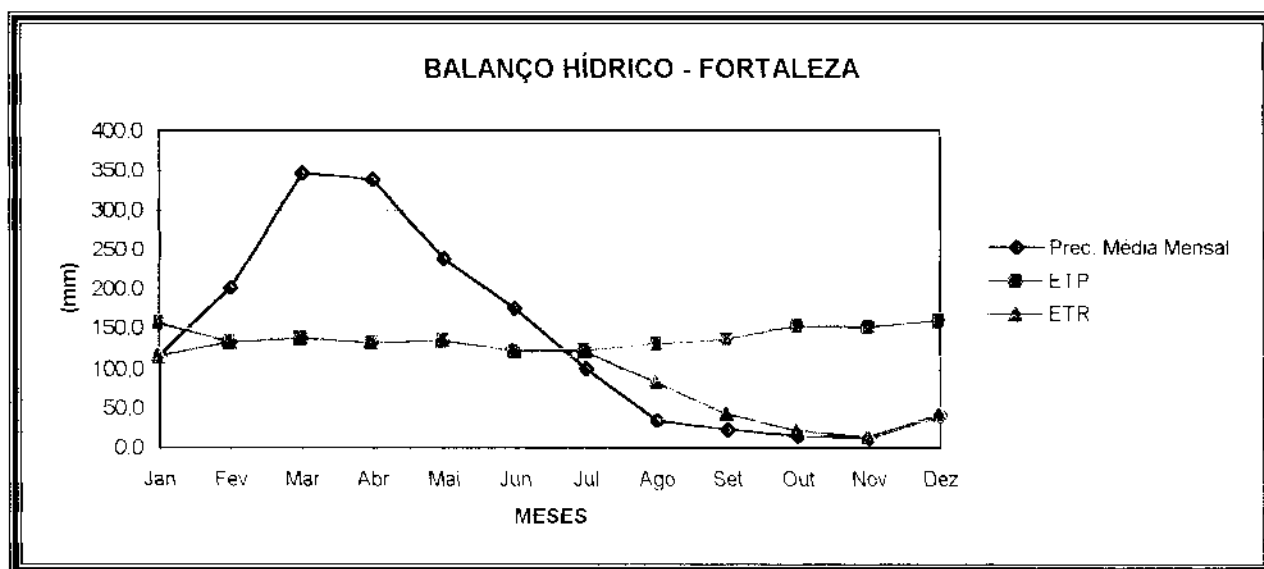


Figura 2.22 – Precipitação, evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) média mensal medida na estação meteorológica de Fortaleza.

2.3. Classificação Climática

A classificação climática, segundo a metodologia de Thornthwaite, baseia-se nos seguintes índices:

→ Índice de Umidade, I_u (%), dado pela expressão:

- $I_u = 100 \times \text{EXC} / \text{ETP}$,

onde

- EXC = excesso hídrico do ano
- ETP = evapotranspiração potencial

→ Índice de Aridez, I_a (%), dado pela expressão:

- $I_a = 100 \times \text{DEF} / \text{ETP}$,

Onde

- DEF = déficit hídrico do ano
- ETP = evapotranspiração potencial

→ Índice de Eficiência Térmica, I_{et} (mm), dado pela evapotranspiração anual média.

→ Índice Efetivo de Umidade, I_{eu} (%), dado pela expressão:

- $I_{eu} = I_u - 0,6 \times I_a$

Para a Região de interesse, obteve-se os seguintes valores para os índices descritos no parágrafo anterior:

Tabela 2.23 - Índices e Classificação Climáticos Segundo Thornthwaite

Estação Meteorológica	Índices Climáticos				Classificação Climática de Thornthwaite
	$I_{eu}(\%)$	$I_a(\%)$	$I_{et}(mm)$	$I_u(\%)$	
Fortaleza	11,7	34,0	1674,0	32,1	C ₂ W ₂ A' a'

Conforme a classificação climática de Thornthwaite, a Região de interesse possui clima sub-úmido, com grande deficiência hídrica no inverno e primavera (julho a dezembro), megatérmico, apresentando pequena variação da evapotranspiração potencial ao longo do ano.

3. ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

3. ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

3.1. Postos Utilizados

Uma análise detalhada das informações pluviométricas existentes resultou nos postos pluviométricos apresentados na Tabela 3.1, onde são mostradas suas principais características.

Os dados dos postos pluviométricos existentes foram obtidos junto ao PERH¹ e, portanto, já devidamente consistidos e homogeneizados.

Tabela 3.1 - Características Principais dos Postos Pluviométricos Utilizados

Posto	Município	Código SUDENE	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período	
			(° ')	(° ')		Início	Fim
Açude Salão	Canindé	2881838	04°25'	39°19'	200	01/1912	-
Aratuba	Aratuba	2881895	04°25'	39°02'	600	02/1935	-
Acarape do Meio	Redenção	2882458	04°13'	38°43'	76	01/1912	-
Baturité	Baturité	2882626	04°20'	38°53'	123	10/1911	-
Aracoiaba	Aracoiaba	2882735	04°22'	38°50'	101	01/1933	-
Vazantes	Aracoiaba	2882862	04°25'	38°42'	50	01/1931	-
Cascavel	Cascavel	2883256	04°08'	38°14'	30	01/1912	-
Angicos	Cascavel	2883435	04°13'	38°20'	35	01/1961	-
Pitombeira	Cascavel	2883836	04°26'	38°20'	45	01/1919	-
Faz. Feijão	Quixadá	2891168	04°34'	39°10'	250	02/1917	-
São José da Macaoca	Quixeramobim	2891407	04°42'	39°28'	280	02/1961	-
Açude Pompeu Sobrinho	Quixadá	2891677	04°48'	39°07'	190	01/1933	-
Faz. Monte Alegre	Quixeramobim	2891726	04°53'	39°23'	300	01/1932	-
Queimadas	Quixadá	2891766	04°53'	39°11'	200	-/1934	-
Dom Mauricio	Quixadá	2891876	04°56'	39°08'	300	-/1913	-
Açude Cedro	Quixadá	2891988	04°58'	39°04'	190	12/1910	-
Riachão	Capistrano	2892012	04°31'	38°57'	130	01/1912	12/1932
Passagem funda	Aracoiaba	2892044	04°30'	38°47'	90	01/1961	09/1976
Curupiba	Aracoiaba	2892089	04°32'	38°34'	120	12/1961	-
Itapiuna	Itapiuna	2892111	04°33'	38°57'	130	-/1917	-
Caio Prado	Itapiuna	2892307	04°39'	38°58'	111	-/1911	-
Várzea Nova	-	2892527	04°45'	38°52'	-	-/1931	-
Olho D'Água	Quixadá	2892531	04°45'	38°51'	150	01/1931	-
Daniel de Queiroz(Muxiopa)	Quixadá	2892605	04°49'	38°59'	185	04/1919	-
São Francisco	Quixadá	2892811	04°54'	38°57'	160	01/1962	-

¹ CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. Plano Estadual dos Recursos Hídricos. Fortaleza, 1992. 4v.v.2 : Estudos de Base I.

Cristais	Cascavel	2893031	04°30'	38°21'	50	01/1925	-
-----------------	-----------------	---------	--------	--------	----	---------	---

3.2. Comportamento Pluviométrico

3.2.1. A Nível Mensal e Anual

Na Tabela 3.2 apresentam-se os principais e mais importantes parâmetros estatísticos das pluviométrias mensal e anual, utilizando os postos Aratuba (Aratuba), Caio Prado (Itapiuna) e Cascavel (Cascavel), para representarem o comportamento pluviométrico das partes mais elevadas, mediana e mais baixa da bacia, respectivamente.

Tabela 3.2 - Principais Parâmetros Estatísticos dos Postos Utilizados.

Postos		Par. Estat.	Meses												Anual
Código	Nome		Jan.	Fev.	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
2881895	Aratuba	Média	119	195	308	362	299	181	112	35	19	22	24	60	1737
		D.P.	105	138	141	203	162	130	101	41	22	36	27	60	602
		C.V.	0,88	0,71	0,46	0,56	0,54	0,72	0,90	1,17	1,19	1,60	1,15	0,99	0,35
		Ass.	1,34	1,33	1,20	1,49	0,61	0,69	1,61	2,11	1,62	3,78	2,44	1,83	0,51
		Curt.	1,50	1,33	1,87	3,82	-0,12	-0,11	3,63	5,07	2,63	17,52	7,97	4,81	-0,14
2892307	Caio Prado	Média	68	116	200	188	120	51	23	7,6	1,5	4,2	8,5	25	813
		D.P.	60	86	108	104	75	47	31	14	3,1	9,2	16	29	289
		C.V.	0,88	0,75	0,54	0,55	0,63	0,93	1,35	1,91	2,10	2,18	1,90	1,16	0,36
		Ass.	1,61	0,81	0,51	0,77	0,65	1,82	1,70	4,32	2,80	3,63	4,05	1,13	0,46
		Curt.	3,75	-0,06	-0,25	0,83	-0,04	4,08	2,58	23,5	8,41	14,64	20,59	0,18	1,85
2883256	Cascavel	Média	105	213	324	310	204	93	40	13	12	12	20	43	1389
		D.P.	90	154	163	151	134	76	51	20	15	17	31	58	576
		C.V.	0,86	0,72	0,50	0,49	0,66	0,81	1,27	1,54	1,22	1,40	1,59	1,35	0,41
		Ass.	1,52	1,00	0,86	-0,11	0,43	0,77	1,62	2,26	1,38	1,90	4,98	3,76	0,37
		Curt.	2,54	0,39	0,73	-0,85	-0,84	-0,36	2,13	5,64	1,32	3,18	31,89	18,60	-0,38

Analisando os parâmetros estatísticos dos postos selecionados, constata-se a grande irregularidade pluviométrica na bacia do açude Choró.

Utilizando a Tabela 3.2, no que concerne ao comportamento da pluviosidade média da bacia hidrográfica do Açude Choró, pode-se concluir o seguinte:

- As partes mais elevada, mediana e baixa da bacia apresentaram março e abril como bimestres mais chuvosos, com 39%, 48% e 46% da chuva anual, respectivamente;
- ⇒ As partes mais elevada, mediana e baixa da bacia apresentaram março, abril e maio como trimestres mais chuvosos, com 56%, 62% e 60% da chuva anual, respectivamente; e
- ⇒ As partes mais elevada, mediana e baixa da bacia apresentaram fevereiro, março, abril e maio, como quadrimestres mais chuvosos, com 67%, 77% e 76% da chuva anual, respectivamente;

As conclusões acima mencionadas podem ser mais bem observadas por intermédio das Figuras 3.1, 3.2, e 3.3.

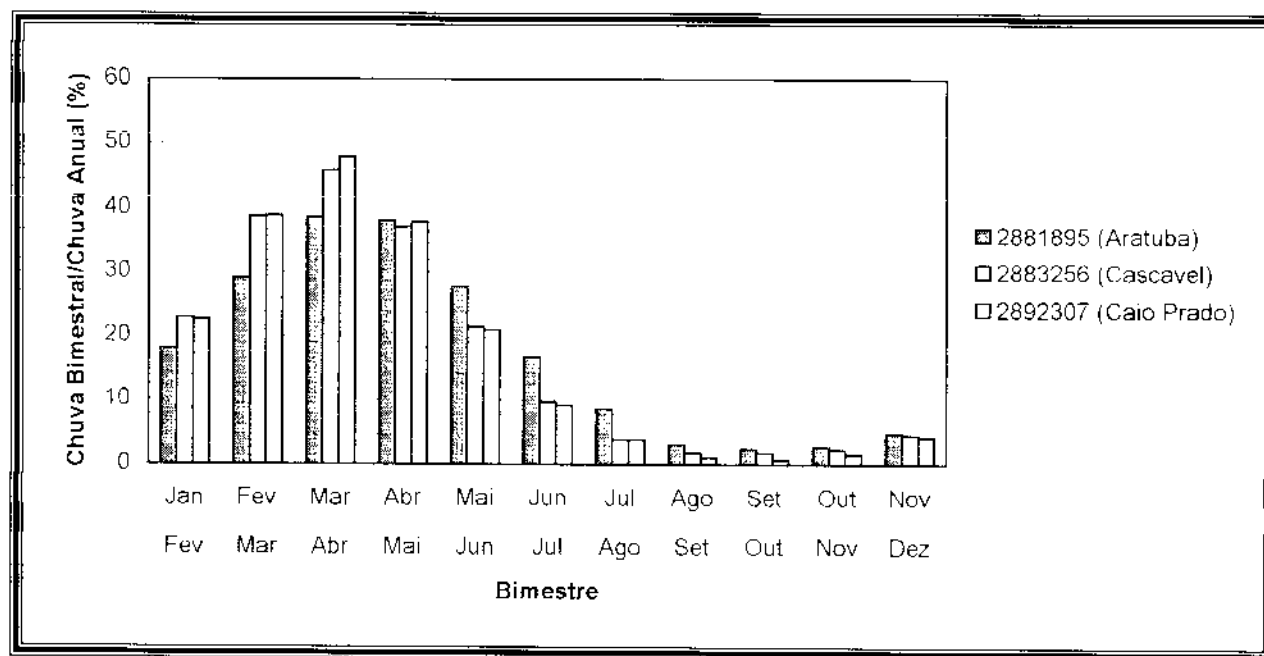


Figura 3.1 – Bimestres mais chuvosos (%) da parte mais elevada (Aratuba), mediana (Caio Prado) e mais baixa (Cascavel) da bacia.

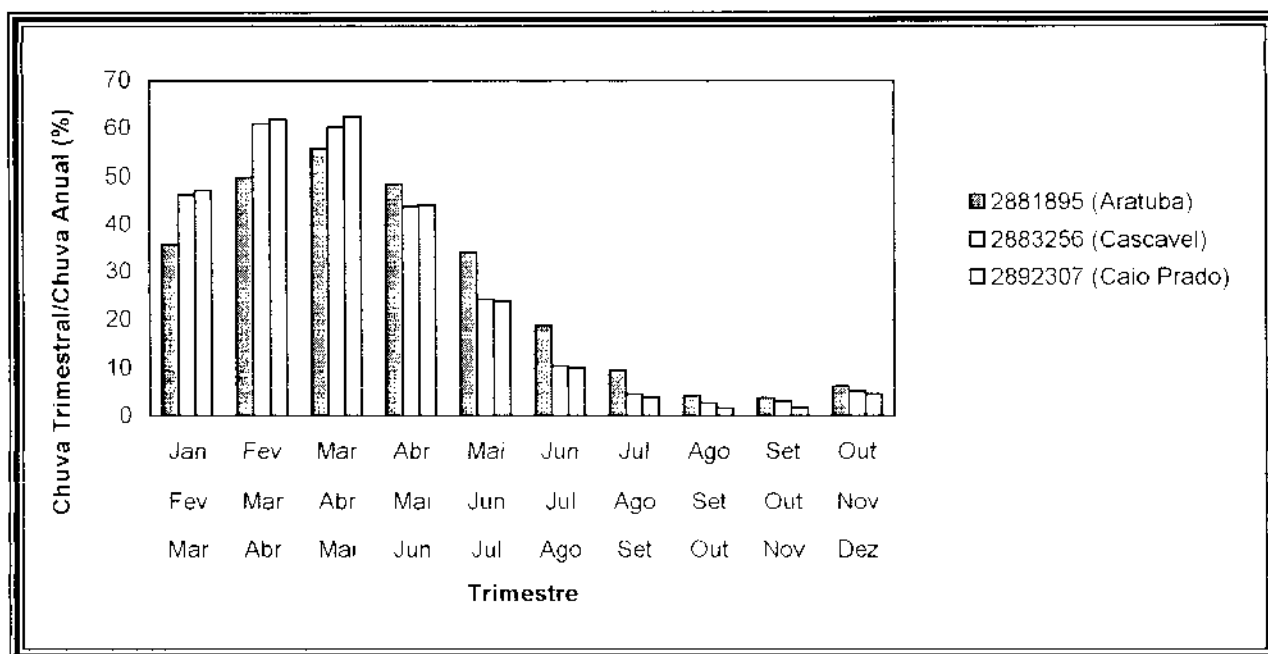


Figura 3.2 - Trimestres mais chuvosos (mm) da parte mais elevada (Aratuba), mediana (Caio Prado) e mais baixa (Cascavel) da bacia.

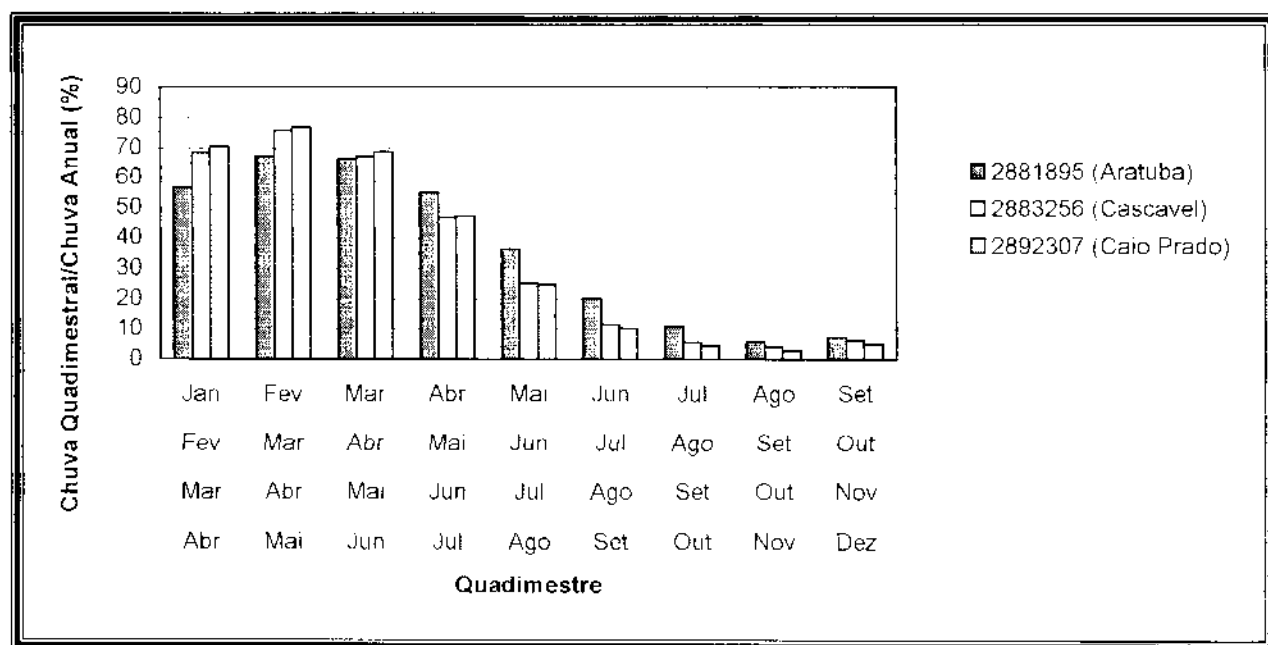


Figura 3.3 - Quadrimetres mais chuvosos (mm) da parte mais elevada (Aratuba), mediana (Caio Prado) e mais baixa (Cascavel) da bacia.

3.2.2. A Nível Diário

A nível diário é bastante importante o conhecimento das chuvas máximas diárias de tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos, as quais permitem o dimensionamento do sangradouro do açude Choró.

Através de um estudo de ajuste de distribuição de probabilidade aos valores anuais máximos da pluviometria diária dos postos utilizados, constatou-se que a distribuição Pearson III foi a que melhor se ajustou aos referidos postos, com exceção do posto Caio Prado, que apresentou a distribuição Lognormal 2 Parâmetro como aquela de melhor ajuste.

Na Tabela 3.3 são apresentados os resultados do teste χ^2 , para os postos pluviométricos considerados, onde se constata a aprovação das referidas distribuições Pearson III e Lognormal 2 Parâmetros.

Tabela 3.3 - Resultado do Teste χ^2 para os Postos Utilizados.

Posto	Município	Código	χ^2 (calculado)	χ^2 $\alpha=0,05$ (Tabelado)
Açude Salão	Canindé	2881838	2,364	14,070
Aratuba	Aratuba	2881895	6,696	11,073
Acarape do Meio	Redenção	2882458	7,329	14,070
Baturité	Baturité	2882626	2,596	12,596
Aracoiaba	Aracoiaba	2882735	0,769	12,596
Vazantes	Aracoiaba	2882862	2,909	12,596
Cascavel	Cascavel	2883256	3,829	14,070
Angicos	Cascavel	2883435	2,815	9,492
Pitombeira	Cascavel	2883836	2,200	11,073
Faz. Feijão	Quixadá	2891168	7,957	12,596
São José da Macaoca	Quixeramobim	2891407	0,923	9,492
Açude Pompeu Sobrinho	Quixadá	2891677	2,340	12,596
Faz. Monte Alegre	Quixeramobim	2891726	4,667	9,492
Queimadas	Quixadá	2891766	1,438	9,492
Dom Mauricio	Quixadá	2891876	5,758	14,070
Açude Cedro	Quixadá	2891988	2,259	12,596
Riachão	Capistrano	2892012	1,273	11,072
Passagem Funda	Aracoiaba	2892044	11,034	12,596
Curupiba	Aracoiaba	2892089	17,396	12,596
Itapiuna	Itapiuna	2892111	7,328	14,070
Caio Prado	Itapiuna	2892307	11,034	12,596

Os valores de chuvas máximas para os tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos são mostrados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Precipitações Máximas Diárias (mm) para as Sub-bacias Estudadas, para Tempo de Retorno de 1.000 e 10.000 Anos.

Bacia	Posto	Município	Posto	1000 Anos	10000 Anos
Açude Pompeu Sobrinho	Açude Pompeu Sobrinho	Quixadá	2891677	142,3	168,2
	Faz. Monte Alegre	Quixeramobim	2891726	162,7	198,9
	Queimadas	Quixadá	2891766	210,5	271,0
	Dom Maurício	Quixadá	2891876	199,1	247,3
	Custódio	Quixadá	2891969	163,1	196,7
Rio Cangati	Açude Salão	Canindé	2881838	78,1	91,3
	Faz. feijão	Quixadá	2891168	70,9	81,5
	São José da Macaoca	Quixeramobim	2891407	175,9	217,0
	Açude Pompeu Sobrinho	Quixadá	2891677	142,3	168,2
	Daniel de Queiroz (Muxiopa)	Quixadá	2892605	182,8	168,2
Trecho 01	Caio Prado	Itapiuna	2892307	176,1	223,3
	Açude Pompeu Sobrinho	Quixadá	2891677	142,3	168,2
	Queimadas	Quixadá	2891766	70,0	87,0
	Dom Maurício	Quixadá	2891876	83,4	98,5
	Daniel de Queiroz (Muxiopa)	Quixadá	2892605	182,8	168,2
Açude Castro	Caio Prado	Itapiuna	2892307	176,1	223,3
	Faz. Feijão	Quixadá	2891168	140,3	165,2
	Aratuba	Aratuba	2881895	256,9	328,6
	Itapiuna	Itapiuna	2892111	142,3	168,1
Trecho 02	Caio Prado	Itapiuna	2892307	176,1	223,3
	Olho D'água	Quixadá	2892531	200,6	262,7
	Itapiuna	Itapiuna	2892111	142,3	168,1
Açude Pesqueiro	Itapiuna	Itapiuna	2882111	142,3	168,1
	Aratuba	Aratuba	2881895	256,9	328,6
Trecho 03	Caio Prado	Itapiuna	2892307	176,1	223,3
	Aratuba	Aratuba	2881895	256,9	328,6
	Baturité	Baturité	2882626	144,9	166,1
	Vazantes	Aracoiaba	2882862	176,8	212,0
	Olho D'água	Quixadá	2892531	200,6	262,7
Açude Aracoiaba	Aratuba	Aratuba	2881895	256,9	328,6
	Faz. Mulungu	Mulungu	2882601	107,5	118,2
	Vazantes	Aracoiaba	2882862	176,8	212,0
	Baturité	Baturité	2882626	144,9	166,1
Trecho 04	Itapiuna	Itapiuna	2892111	142,3	168,1
	Baturité	Baturité	2882626	144,9	166,1
	Vazantes	Aracoiaba	2882862	176,8	212,0
Trecho Açude Pacajus	Pitombeira	Cascavel	2883836	218,4	288,0
	Vazantes	Aracoiaba	2882862	176,8	212,0
	Acarape do Meio	Redenção	2882458	146,2	173,0
Trecho Açude Choró	Cascavel	Cascavel	2883256	211,5	244,5
	Angicos	Cascavel	2883435	279,5	365,8

3.3. Pluviometria Média na Bacia

O estudo da disponibilidade dos dados diários dos postos selecionados constatou a necessidade da utilização de uma razoável combinação de postos pluviométricos, a fim de tornar possível a determinação da chuva média diária na bacia do açude Choró, para o período de 1932 a 1988.

A combinação de postos é imprescindível, porquanto o preenchimento de dados inexistentes de chuva a nível diário, através de outros postos pluviométricos não é viável, tanto face sua imensa variabilidade, como também às grandes distâncias entre os postos.

No presente estudo tornou-se necessário a determinação da pluviometria média diária apenas da sub-bacia do Açude Pompeu Sobrinho, das Sub-bacias do Rio Cangati, Trechos 01, 02, 03, 04 e Trecho do Açude Pacajus – considerados como uma grande sub-bacia – e da sub-bacia do Trecho Açude Choró, uma vez que a mesma já era conhecida para o caso das sub-bacias dos Açudes Castro, Pesqueiro e Aracoiaba.

A determinação da chuva média diária nas três sub-bacias – Açude Pompeu Sobrinho, grande sub-bacia e Trecho do Açude Choró –, resultou em uma grande combinação de postos pluviométricos naquelas sub-bacias.

Na sub-bacia do Açude Pompeu Sobrinho obtiveram-se 94 (noventa e quatro) combinações de postos pluviométricos.

Na Grande sub-bacia – Rio Cangati, Trechos 01, 02, 03, 04 e Trecho do Açude Pacajus – foram obtidos 208 (duzentos e oito) combinações de postos pluviométricos.

No caso da sub-bacia do Trecho do Açude Choró, a quantidade de combinações de postos pluviométricos foi igual a 13 (treze).

Somente nas sub-bacias do Açude Pompeu Sobrinho e do Trecho do Açude Choró, que apresentaram áreas de drenagem inferior a 400 Km², houve a ocorrência de combinação com apenas 1 (um) posto pluviométrico. Para esses casos, determinou-se a chuva média diária através da expressão empírica:

$$P_{\text{bacia}} = P_o (1 - w \cdot \log(A_{\text{bacia}}/A_o))$$

Onde:

- P_{bacia} - chuva média na bacia hidrográfica, em mm;
- P_o - chuva no ponto (posto pluviométrico), em mm;
- A_{bacia} - área na bacia hidrográfica, em Km²;
- A_o - área de influência do ponto, considerada igual a 25 Km²;
- w - coeficiente empírico, Adotou-se o valor 0,16, obtido por MENESES FILHO²

Assim sendo, determinou-se a chuva diária nas sub-bacias consideradas, para o período de 1932 a 1988, perfazendo, portanto, um total de 57 anos de dados.

3.4. Estudo de Chuvas Intensas

3.4.1. Objetivo do Estudo

O presente estudo objetiva proporcionar elementos para a seleção da cheia de projeto com vista ao dimensionamento do sangradouro do Açude Choró. Para tanto se estudou o regime de chuvas intensas nas sub-bacias da bacia hidrográfica do referido açude. Essas sub-bacias foram apresentadas na Figura 1.1.

3.4.2. Metodologia Utilizada

Na região das sub-bacias estudadas há três estações meteorológicas – Guaramiranga, Quixeramobim e Fortaleza -, todavia não foi possível a obtenção de seus

⇒ _____

² Meneses Filho, Anísio de Sousa. Estudo da Distribuição Espacial de Chuvas Intensas no Estado do Ceará. Fortaleza-Ce: 79p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Ceará, 1991.
C:\TSA\TSA\Projeto\Choró\Barragem\Hidrologia\Relatorio de Hidrologia.doc

pluviogramas junto ao INMET, porquanto o referido órgão não soube informar o seu destino.

Face à inexistência de dados pluviográficos disponíveis na bacia estudada foi aplicada a metodologia do Engenheiro TABORGA - TORRICO³, no cálculo das chuvas intensas na bacia.

A metodologia aplicada baseia-se na utilização do método da desagregação regional. Essa metodologia consta dos seguintes procedimentos:

- ⇒ Estudo probabilístico da chuva intensa de um dia, para cada posta selecionado;
- ⇒ Determinação da chuva intensa de um dia, na área da bacia, através do método dos polígonos de Thiessen, para os tempos de retorno escolhidos;
- ⇒ Desagregação da chuva intensa de um dia, na bacia, em chuva intensa de 24h e
- ⇒ Desagregação da chuva intensa de 24 h, na bacia, em chuvas intensas de durações menores, através do método gráfico de TABORGA – TORRICO.

Para as sub-bacias estudadas, foi possível a utilização de pelo menos dois postos pluviométricos. Na Tabela. 3.4 estão apresentados as chuvas máximas diárias desses postos, para períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

Depois de obtidas as chuvas máximas diárias dos postos utilizados, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, determinou-se as respectivas chuvas máximas diárias nas sub-bacias, através do método dos polígonos de Thiessen.

A desagregação da chuva intensa de um dia em chuva intensa de 24h é obtida da multiplicação do fator 1,1 pelo valor da chuva intensa de 1 dia.

Determinadas as chuvas intensas de 24h, a metodologia de TABORGA-TORRICO desagregou-as em chuvas intensas de 1 h, através da expressão

- $P_{1h} = K \times P_{24h}$.

onde

- K - coeficiente Tabelado por TABORGA-TORRICO em função da isozona da bacia estudada.

3.4.3 Chuvas Intensas na Bacia

A aplicação da metodologia de TABORGA-TORRICO permitiu a obtenção das chuvas intensas nas sub-bacias estudadas, para os tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, com durações de 1 dia, 24 horas e 1 hora, conforme mostrado na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Chuvas Intensas na Bacia do Rio Choró, para Durações de 1 dia, 24 horas e 1 hora.

Sub-bacias	Período de Retorno (Anos)	Precipitação Máxima Diária na Bacia	P 24 h	Taborga (Isozona D) P 1 h / P 24 h	P 1 h
		(mm)	(mm)		(mm)
Açude Pompeu	1000	170,10	187,11	0,37	69,60
	10000	197,90	217,69	0,36	78,37
Rio Cangati	1000	170,10	187,11	0,37	69,60
	10000	197,90	217,69	0,36	78,37
Trecho 01	1000	170,10	187,11	0,37	69,60
	10000	197,90	217,69	0,36	78,37
Açude Castro	1000	170,10	187,11	0,37	69,60
	10000	197,90	217,69	0,36	78,37
Trecho 02	1000	170,10	187,11	0,37	69,60
	10000	197,90	217,69	0,36	78,37
Açude Pesqueiro	1000	170,10	187,11	0,37	69,60
	10000	197,90	217,69	0,36	78,37
Trecho 03	1000	170,10	187,11	0,37	69,60
	10000	197,90	217,69	0,36	78,37
Açude Aracoiaíba	1000	170,10	187,11	0,37	69,60
	10000	197,90	217,69	0,36	78,37
Trecho 04	1000	170,10	187,11	0,37	69,60
	10000	197,90	217,69	0,36	78,37

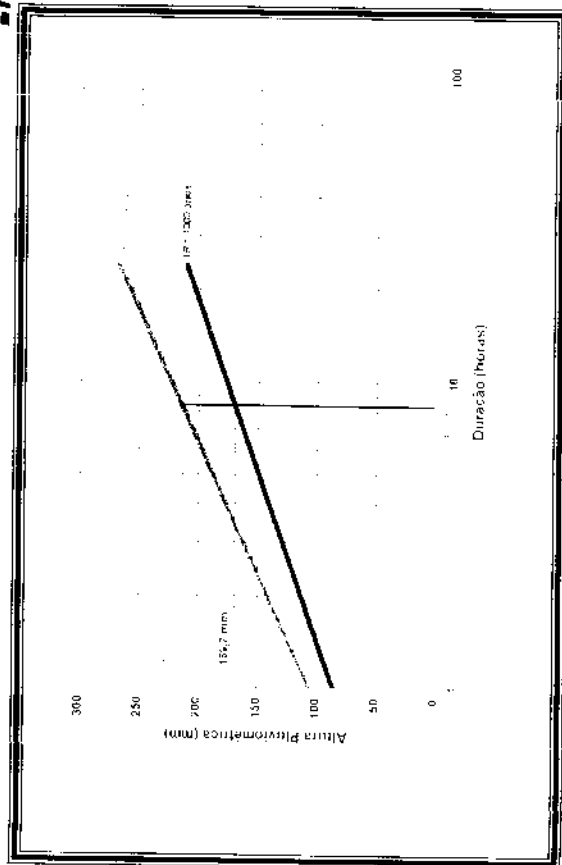
³ TABORGA - TORRICO, J.J. Práticas Hidrológicas. Rio de Janeiro, TRANSCON, 1974. 120p.
C:\Tsa\TSA\Projeto\Choró\Barragem\Hidrologia\Relatorio de Hidrologia.doc

Trecho Açude do Pacajus	1000	170,10	187,11	0,37	69,60
	10000	197,90	217,69	0,36	78,37
Trecho Açude do Choró	1000	170,10	187,11	0,37	69,60
	10000	197,90	217,69	0,36	78,37

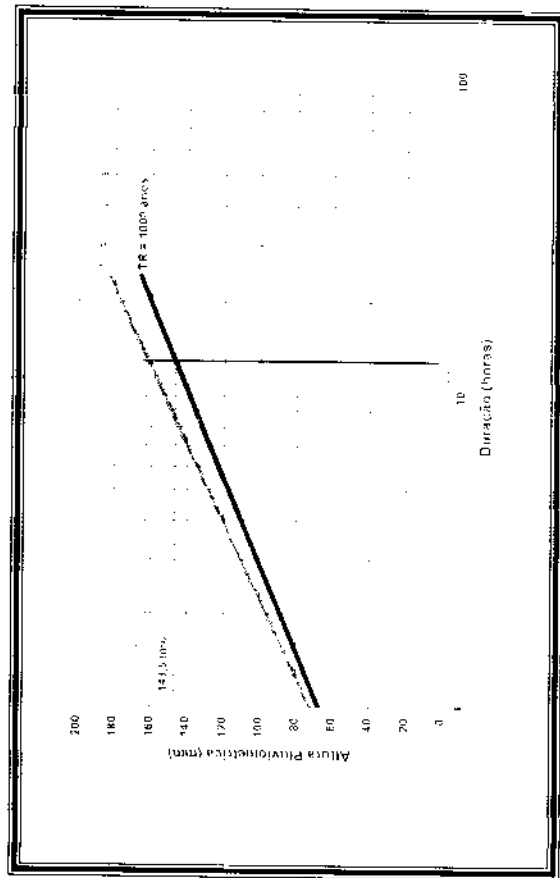
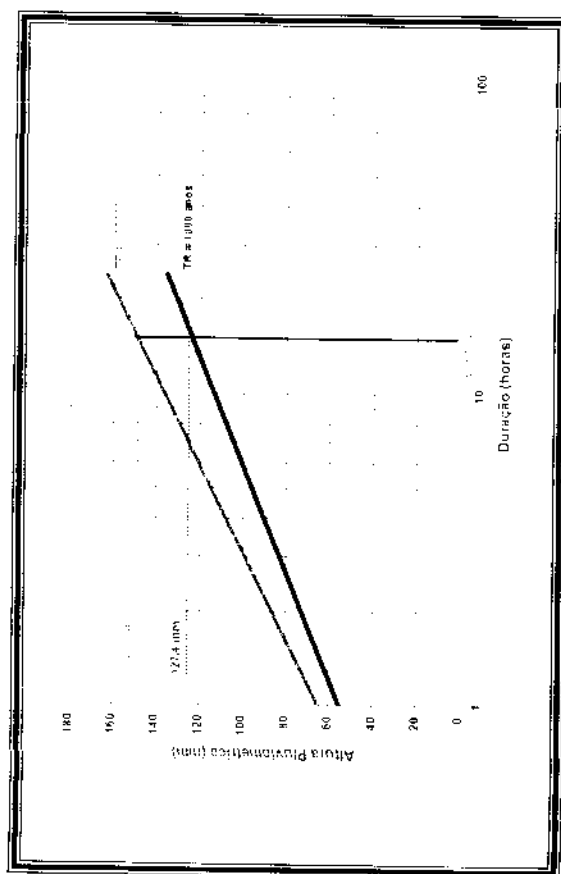
Nas Figuras 3.4 a 3.6. são apresentados os gráficos da metodologia de TABORGA-TORRICO, os quais permitem calcular as chuvas intensas para quaisquer durações, no intervalo de 1 a 24 horas.

Sub-bacia do Rio Cangati

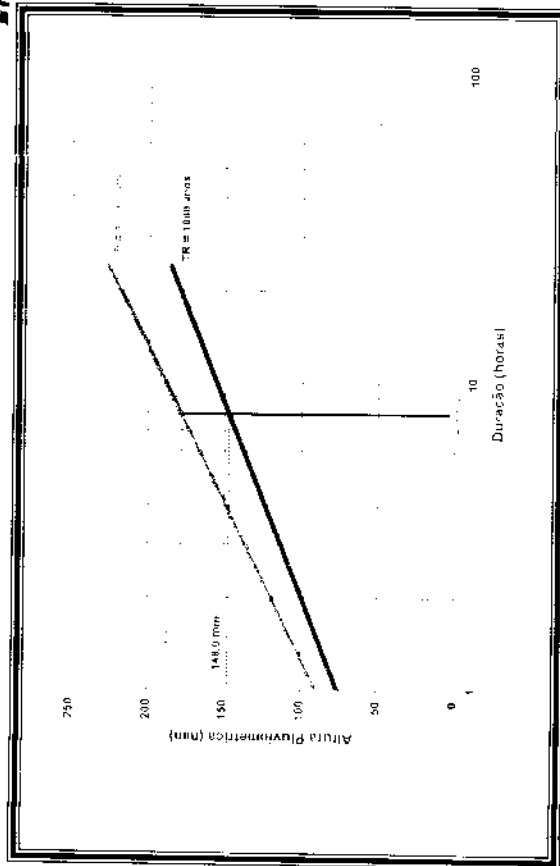
Figura 3.4 – Gráficos da metodologia TABORGA-TORRICO para determinação da chuva intensa em função da duração.



Sub-bacia do Açude Pompeu Sobrinho

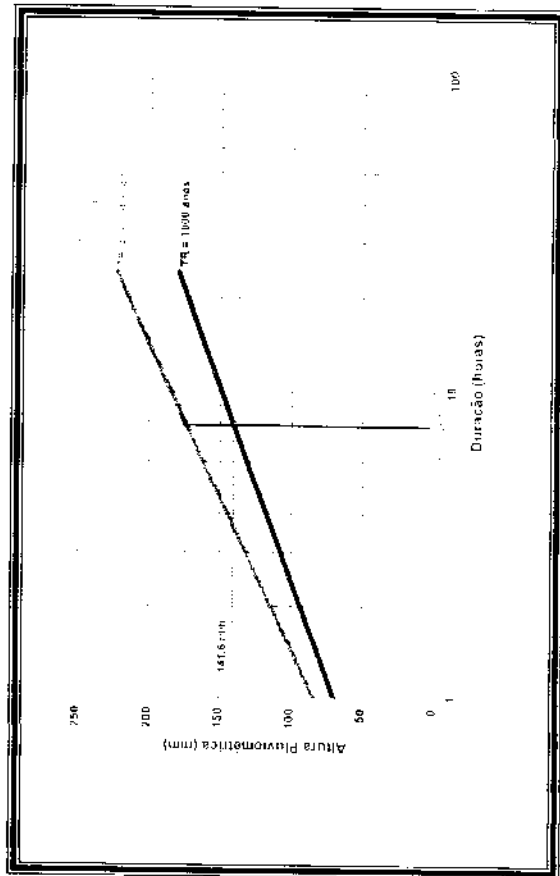


Sub-bacia do Trecho 01

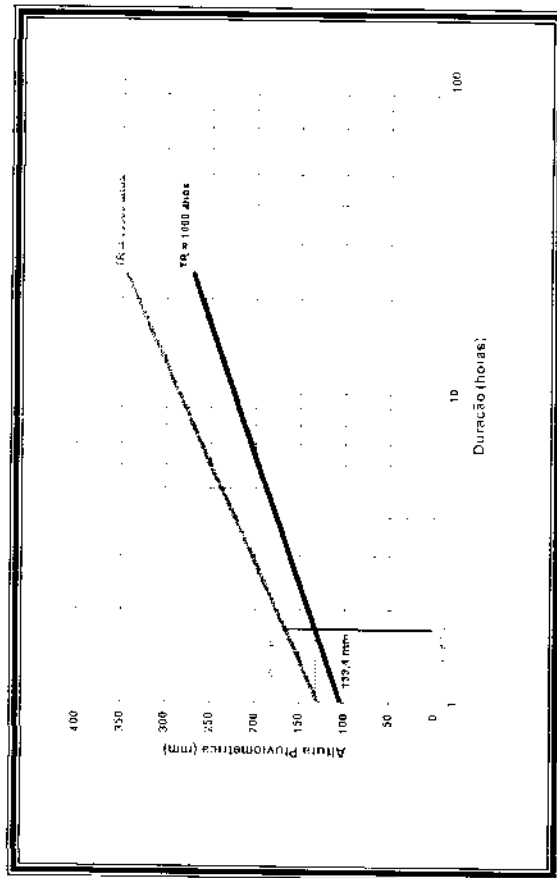


Sub-bacia do Açude Castro

para as sub-bacias do Açude Pompeu Sobrinho, Rio
Cangati, Trecho 01 e Açude Castro.

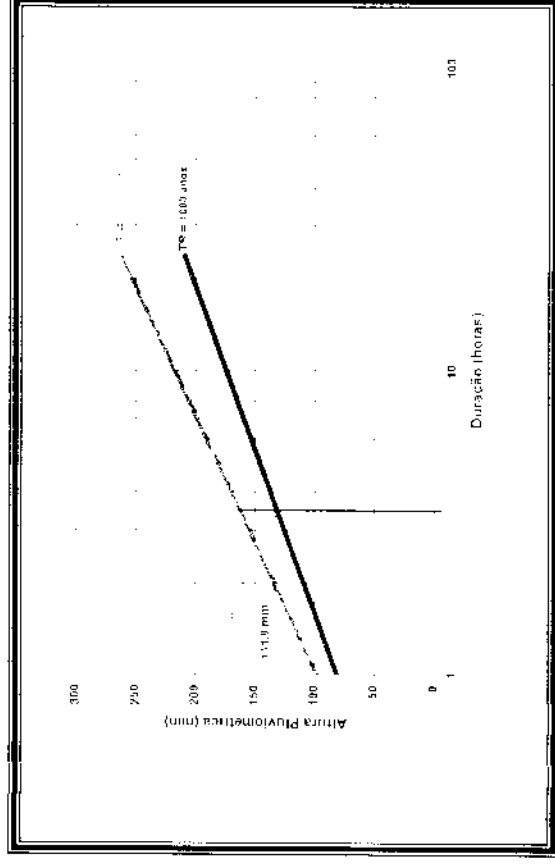


Sub-bacia do Trecho 02

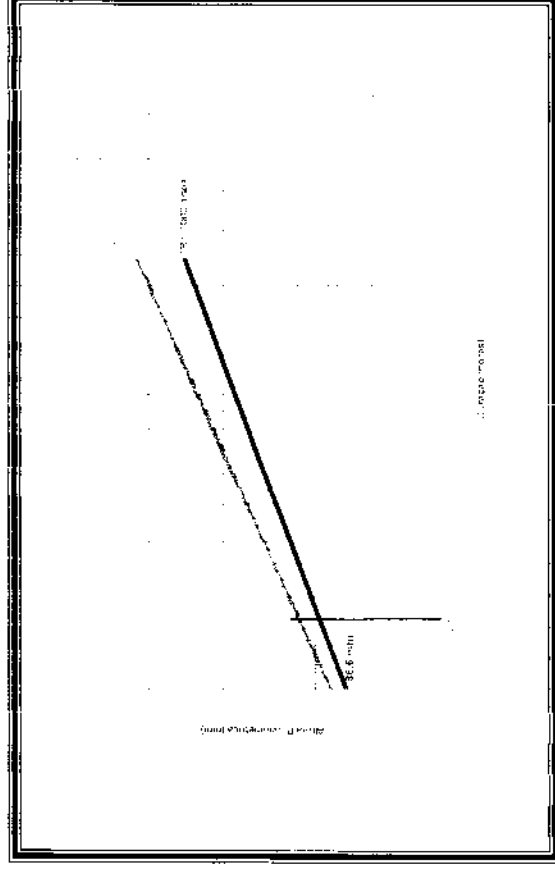


Sub-bacia do Açude Pesqueiro

Figura 3.5 – Gráficos da metodologia TABORGA-TORRICO para determinação da chuva intensa em função da duração,



Sub-bacia do Trecho 03

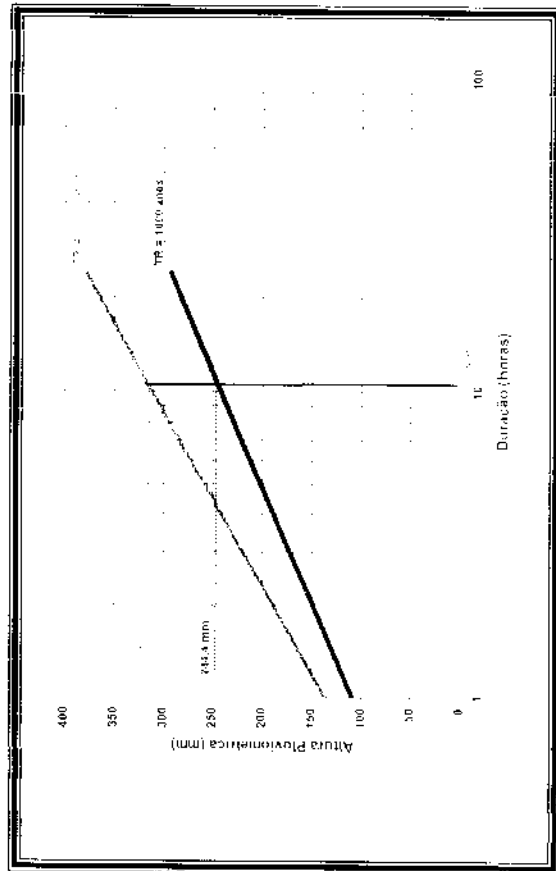


Sub-bacia do Açude Aracoiaba

para as sub-bacias do Trecho 02, Açude Pesqueiro,
Trecho 03 e Açude Aracoiaba

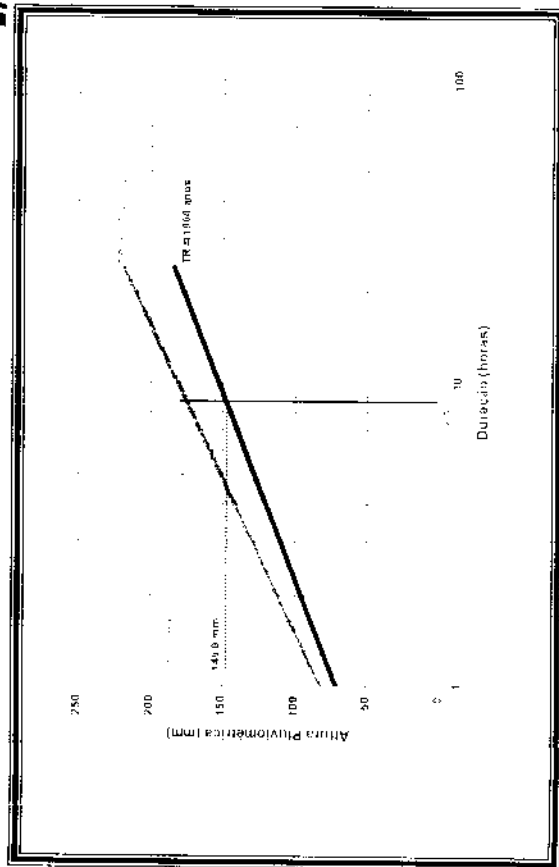


Sub-bacia do Trecho do Açude Pacajus

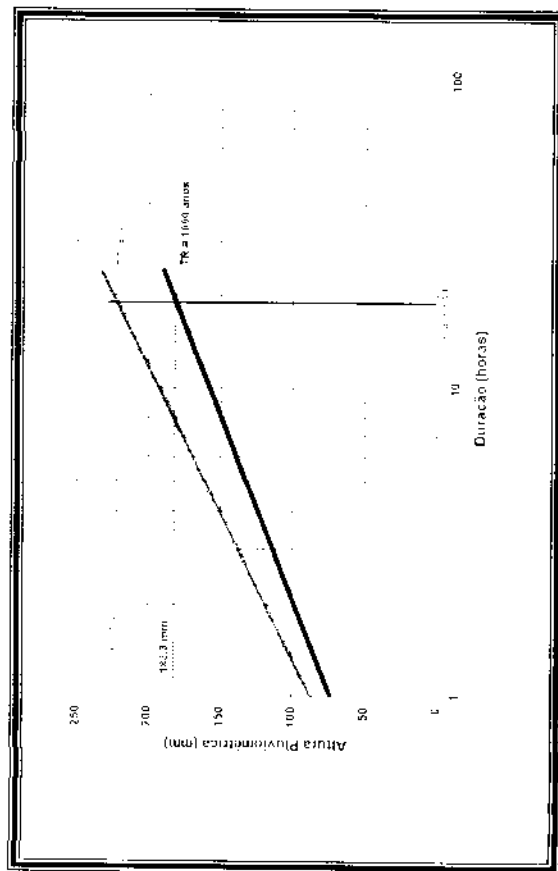


Sub-bacia do Trecho do Açude Choró

Figura 3.6 – Gráficos da metodologia TABORGA-TORRICO para determinação da chuva intensa em função da duração, para as sub-bacias do Trecho 04, Trecho do Açude Pacajus e do Trecho do Açude Choró.



Sub-bacia do Trecho 04



4. ESTUDOS DOS DEFLÚVIOS

4. ESTUDO DOS DEFLÚVIOS

4.1. Dados Existentes

A montante do eixo da barragem do açude Choró há a estação fluviométrica Chorozinho, no rio Choró, com área de drenagem de 3726 Km² e localização 04° 19' S e 38° 29' W.

Essa estação fluviométrica possui vazões de razoável qualidade, para o período de 1969 a 1981, Somente existem falhas nos meses de janeiro a abril de 1969.

Assim sendo esta estação foi utilizada para calibração do modelo matemático chuva-deflúvio utilizado.

4.2. Modelo Matemático Chuva-Deflúvio

4.2.1. Introdução

Com o objetivo de tornar possível a obtenção das vazões mensais, para o período de 1932 a 1988, possibilitando, dessa forma, o estudo de regularização da capacidade de acumulação do açude Choró, resolveu-se fazer uso do modelo matemático chuva-deflúvio, desenvolvido por LANNA e SCHWARZBACH⁴ e que recebeu, de seus autores, a denominação MODHAC - Modelo Hidrológico Auto-Calibrável.

O modelo MODHAC é utilizado, com razoável sucesso, no Nordeste brasileiro, principalmente no estado do Ceará, onde foi utilizado em todas as suas bacias hidrográficas, quando da realização de seu PERH - Plano Estadual de Recursos Hídricos. É também bastante divulgado entre aqueles que fazem a hidrologia da Região nordestina.

⇒ _____

⁴ LANNA, A. E. e SCHWARZBACH, M. MODHAC - Modelo Hidrológico Auto-Calibrável. Porto Alegre-RS:

4.2.2. Calibração do Modelo MODHAC

Na calibração do modelo MODHAC, conforme já mencionado no item 4.1, utilizou-se os dados da estação fluviométrica Chorozinho, após sua transformação para valores de deflúvio (lâmina escoada em mm).

O modelo MODHAC, com intervalo de computação diário tem como característica mais notável, segundo seus próprios autores, a "possibilidade de ter seus parâmetros ajustados automaticamente, produzindo ajustes nas vazões mensais calculadas às vazões mensais observadas". A Figura 4.1 mostra o esquema de funcionamento do modelo MODHAC.

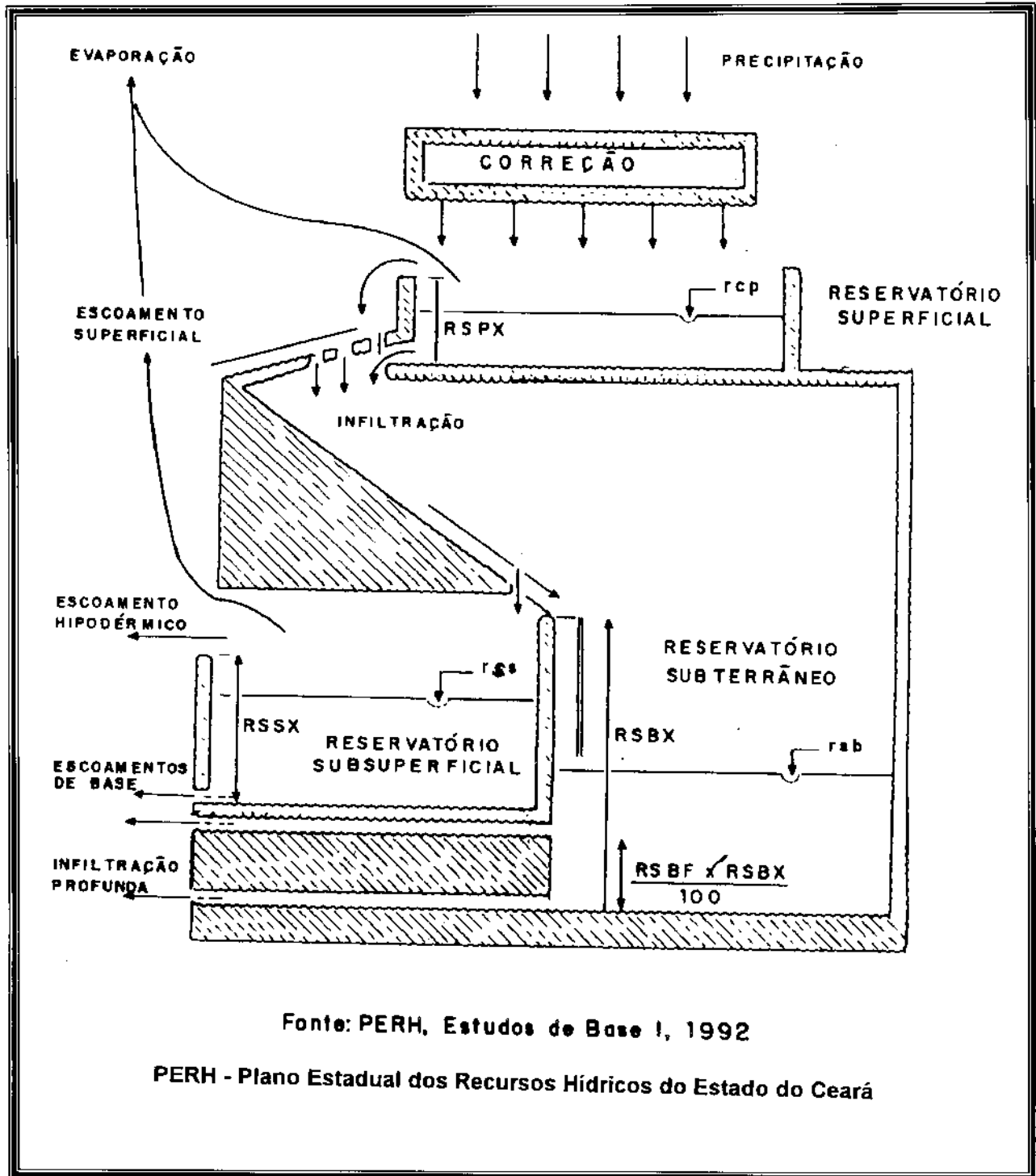


Figura 4.1 - Esquema de funcionamento do modelo MODHAC

Em sua concepção original, o modelo MODHAC possui 14 parâmetros. Esses parâmetros e respectivos significados são os seguintes.

- ⇒ RSPX é a capacidade máxima do reservatório superficial, sendo função desta o retardo na resposta do escoamento superficial à ocorrência de chuva; representa todas as retenções, inclusive a ačudagem difusa;
- ⇒ RSSX é a capacidade máxima do reservatório sub-superficial. Em consequência de estar relacionada com a retenção na zona de atividade radicular dos vegetais, atua sobre as perdas por evapotranspiração e alimentação do escoamento em curtos períodos de estiagem;
- ⇒ RSBX é a capacidade máxima do reservatório subterrâneo. Tomado como nulo no caso de bacias da Região semi-árida do Brasil (Formação Cristalina); valores elevados encontram-se nas bacias sedimentares;
- ⇒ IMIN é a infiltração mínima. É utilizado fundamentalmente para transladar os escoamentos no tempo, e seu efeito é semelhante ao parâmetro RSPX;
- ⇒ IMAX é a permeabilidade do solo. Seu valor é proporcional à permeabilidade, em função da heterogeneidade dos solos que compõem a área drenada e das chuvas que ocorrem, esse parâmetro poderá perder o efeito na calibração;
- ⇒ IDEC é o coeficiente de infiltração, Influencia a inter-relação entre os parâmetros IMIN e IMAX;
- ⇒ ASB é o expoente da lei de esvaziamento do reservatório subterrâneo. Entra na calibração apenas no caso de RSBX ser diferente de zero;
- ⇒ CEVA é um parâmetro da lei de evapotranspiração do solo, variando entre 0 e 1, Sua elevação determina maiores perdas por evapotranspiração;
- ⇒ ASP é o expoente da lei de esvaziamento do reservatório superficial;
- ⇒ ASS é o expoente da lei de esvaziamento do reservatório sub-superficial;
- ⇒ TS é o tempo de trânsito do escoamento superficial. Seu valor deverá ser fixado na dependência do tempo de concentração estimado na bacia. Em geral, afeta muito pouco os resultados da simulação quando o intervalo de computação é o diário e o de simulação o mensal;
- ⇒ TB é o tempo de trânsito do escoamento subterrâneo. Os mesmos comentários relativos a TS se aplicam. Normalmente, $TB \geq TS$;
- ⇒ PRED é a correção da precipitação. Nos casos em que existe uma boa densidade de pluviômetros na bacia esse parâmetro deverá ser fixado com o valor 999 e não haverá correção da precipitação. Nos outros casos deverá ser verificado se as precipitações medidas sub ou superestimam os valores reais,

No caso de superestimativa PRED deverá ser positivo. No outro caso, negativo, Seu ajuste deverá ser conduzido após os parâmetros mais sensíveis, listados previamente, terem sido pré-ajustados e quando for confirmada a hipótese de inconsistência das precipitações medidas; e

- ⇒ RSBF é o armazenamento mínimo para que ocorra contribuição do reservatório subterrâneo no escoamento na base. Esse parâmetro é dado em percentagem da capacidade do reservatório subterrâneo, Logo, seu valor varia entre 0 e 100, Ele influencia as simulações de forma idêntica ao parâmetro PRED, de ajuste de chuva, quando este último for positivo. Ou seja, ele diminui os escoamentos da bacia. Seu uso deverá ser cogitado quando houver um excesso de escoamento calculado em conjunto com boa consistência dos dados pluviométricos. O uso efetivo, porém, deve ocorrer quando houver evidências de que a bacia é assentada em subsolo cristalino com relevante sistema de fraturas ou no Karst.

Depois de realizadas diversas calibrações foram obtidos pelo PERH, os parâmetros apresentados na Tabela 4.1, que possibilitaram um ajuste razoável, entre os deflúvios mensais observados e calculados, para o período de calibração de 1969 a 1981.

Tabela 4.1 - Valores ótimos da calibração do modelo MODHAC, aplicado à bacia hidrográfica do açude Choró.

PARÂMETROS DO MODELO	VALORES ÓTIMOS
RSPX	54,0
RSSX	132,2
RSBX	0,0
RSBF	0,0
IMAX	16,56
IMIN	4,95
IDEC	0,2113
ASP	0,0010
ASS	0,0053
ASB	0,0
PRED	999,0
CEVA	0,9439

Na aplicação do modelo, utilizou-se como evapotranspiração potencial, os valores médios diários das evapotranspirações potenciais de HARGREAVES da Estação Climatológica de Caio Prado, para as sub-bacias do Açude Choró. Esses valores utilizados são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Valores Médios Diários de Evapotranspiração (mm) Potencial de Hargreaves da Estação Climatológica de Caio Prado.

VARIÁVEL	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ETP(mm)	6,4	5,4	4,2	3,9	3,9	4,4	4,8	5,5	6,1	6,5	6,7	6,5

4.3. Volumes Mensais Afluentes

A fim de obter-se os volumes afluentes ao Açude Choró procedeu-se inicialmente da seguinte forma:

- Aplicou-se o modelo MODHAC às bacias hidrográficas do açude Pompeu Sobrinho e Pesqueiro, obtendo assim seus volumes afluentes, os quais não foram encontrados em seus estudos hidrológicos existentes;
- Aplicou-se o modelo MODHAC à bacia compreendida entre o açude Pacajus e a região a montante, excluindo as bacias hidrografias dos açudes Pompeu Sobrinho, Pesqueiro, Castro e Aracoiaba, obtendo-se os volumes oriundos desse trecho;
- Obteve-se finalmente os volumes utilizados da bacia compreendida entre os açudes Pacajus e Choró, através da utilização do modelo MODHAC.

Os volumes afluentes aos açudes Castro e Pesqueiro foram obtidos através de seus estudos hidrológicos.

Conhecidos os valores afluentes, para o período de 1932 a 1988, aos açudes Pompeu Sobrinho, Pesqueiro, Castro e Aracoiaba, fez-se a operação desses açudes, considerando como volume retirado para cada um dos referidos açudes, os respectivos volumes regularizados com garantia de 90%.

Trabalhando a favor da segurança, considera-se que todos os volumes regularizados dos açudes mencionados acima seriam totalmente utilizados, isto é, sem nenhum percentual de retorno para jusante.

Assim, adicionou-se os 90% dos valores sangrados dos açudes Pompeu Sobrinho, Pesqueiro, Castro e Aracoiaba – 10% foram considerados como perdas em trânsito – ao volume oriundo da aplicação do modelo MODHAC ao trecho a montante do açude Pacajus, cujo volume retirado também foi aquele correspondente ao volume regularizado de 90% de garantia.

Finalmente, obteve-se os volumes afluentes ao Açude Choró através da adição de 90% dos volumes sangrados – 10% para perdas em trânsito – aos volumes obtidos pela aplicação do modelo MODHAC à bacia hidrográfica compreendida entre os açudes Pacajus e Choró.

Na Tabela 4.3 são apresentados os volumes afluentes, em hm^3 , ao Açude Choró.

Tabela 4.3 – Volumes Afluentes (hm^3) ao Açude Choró.

Ano	MESES												ANUAL
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1932	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1933	0,0	0,0	0,0	124,9	64,4	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	204,6
1934	0,0	0,0	194,2	244,9	476,3	61,4	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	980,9
1935	0,0	0,0	0,0	117,9	220,5	61,2	33,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	433,3
1936	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1937	0,0	0,0	0,0	0,0	51,9	59,3	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	125,1
1938	0,0	0,0	18,2	433,2	92,9	44,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	589,3
1939	0,0	131,3	620,0	144,7	158,3	30,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1085,0
1940	0,0	0,0	446,6	1305,5	949,8	234,1	177,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	3117,3
1941	0,0	0,0	170,9	57,1	61,6	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	296,7
1942	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1943	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1944	0,0	0,0	0,0	0,0	28,6	50,7	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	79,6
1945	0,0	32,4	52,6	319,7	396,7	70,5	44,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	916,1
1946	0,0	0,0	9,9	118,7	64,5	22,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	215,8
1947	0,0	0,0	0,0	266,8	329,9	39,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	636,2
1948	0,0	0,0	0,0	49,5	80,2	38,4	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	184,3
CONTINUA...													
CONTINUAÇÃO.													

Ano	MESES												ANUAL
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1949	0,0	0,0	177,1	178,6	262,6	52,9	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	675,5
1950	0,0	0,0	0,0	1076,3	358,8	42,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1478,0
1951	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1952	0,0	0,0	0,0	0,0	35,8	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	65,8
1953	0,0	0,0	0,0	0,0	29,2	20,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49,9
1954	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1955	0,0	0,0	0,0	12,7	179,9	47,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	239,9
1956	0,0	0,0	0,0	322,5	52,7	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	379,7
1957	0,0	0,0	39,0	576,6	65,6	21,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	702,4
1958	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1959	0,0	0,0	0,0	74,2	68,8	35,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	178,2
1960	0,0	0,0	95,5	273,0	58,9	18,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	446,1
1961	0,0	0,0	497,1	568,1	142,9	51,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1259,4
1962	0,0	0,0	68,8	343,4	67,9	29,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	510,0
1963	0,0	0,0	274,9	285,2	99,7	22,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	682,6
1964	0,0	7,7	424,9	853,9	506,3	67,6	43,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1903,6
1965	0,0	0,0	0,0	266,2	216,8	192,3	43,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	718,6
1966	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1967	0,0	0,0	0,0	282,6	335,1	65,8	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	688,7
1968	0,0	0,0	0,0	55,5	212,0	55,5	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	326,6
1969	0,0	0,0	0,0	153,5	60,6	57,3	48,2	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	321,0
1970	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1971	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	97,3	40,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	152,9
1972	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1973	0,0	0,0	0,0	483,5	303,8	122,4	61,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	971,3
1974	101,3	165,3	931,5	1056,7	818,0	177,4	26,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3276,3
1975	0,0	0,0	0,0	24,3	213,1	65,9	54,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	357,5
1976	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1977	0,0	0,0	0,0	40,1	484,6	99,3	70,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	699,6
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1980	0,0	0,0	114,9	50,1	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	169,6
1981	0,0	0,0	120,1	81,5	33,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	235,5
1982	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1984	0,0	0,0	0,0	0,0	375,2	62,2	24,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	461,7
1985	0,0	0,0	546,7	616,8	470,8	127,7	62,7	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1831,1
1986	0,0	0,0	251,0	685,1	316,2	75,9	29,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1358,0
1987	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9
1988	0,0	0,0	0,0	388,4	454,7	54,5	19,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	917,2
Média	1,8	5,9	88,7	209,3	161,8	42,7	14,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	525,0

5. ESTUDO DO DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

5. ESTUDO DO DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

5.1. Estudo da Vazão de regularização do Açude Choró

Utilizando a equação do balanço hídrico, os volumes médios mensais de precipitação do posto Cascavel e de evaporação da estação meteorológica de Fortaleza, bem como a curva Cota x Volume do açude Choró e suas vazões mensais afluentes, determinou-se sua curva de garantia (%) x Vazão regularizada (hm^3/ano), para a capacidade $8,594 \text{ hm}^3$ (cota = 9 m). A Figura 5.1 apresenta a curva de Garantia x Vazão regularizada do açude Choró, para a capacidade de $8,594 \text{ hm}^3$, correspondente à cota 9,0m.

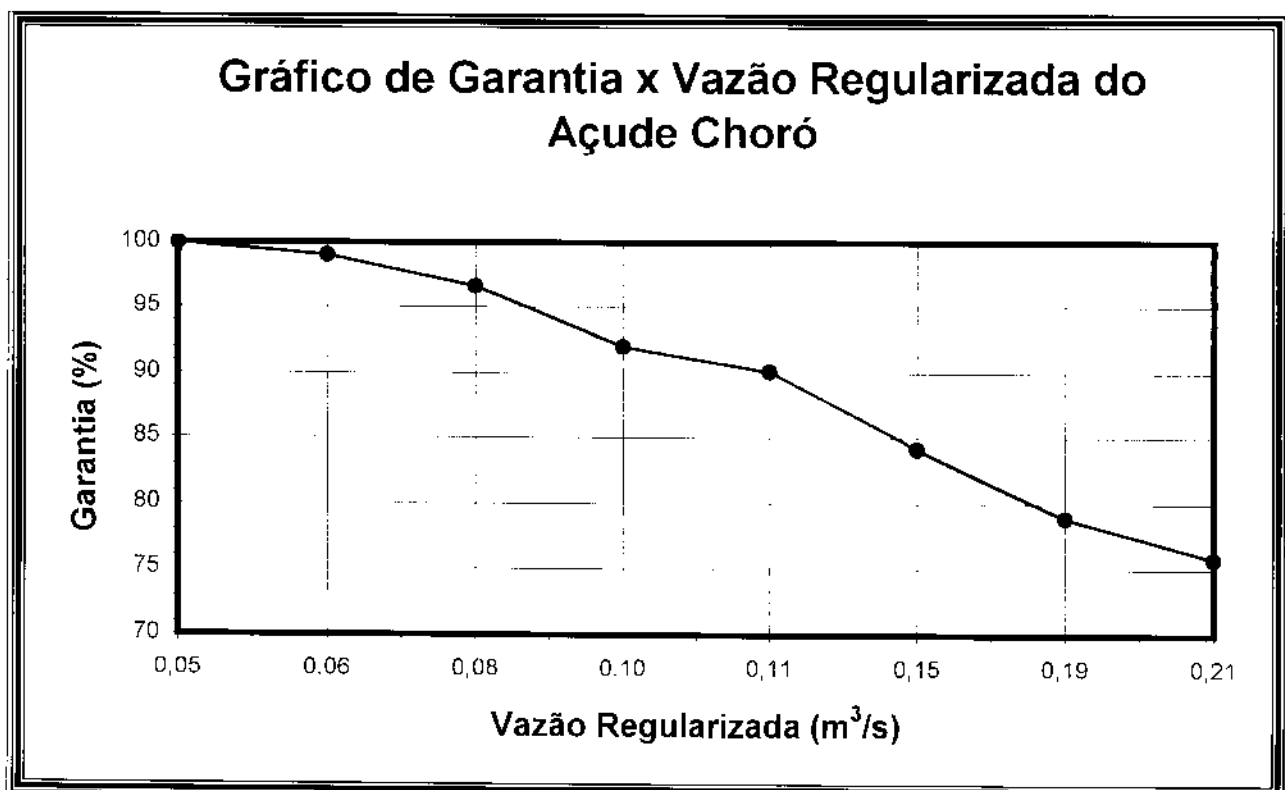


Figura 5.1 – Vazão Regularizada do Açude Choró para a Capacidade de $8,594 \text{ hm}^3$ (cota = 9 m).

6. ESTUDO DA CHEIA DE PROJETO

6. ESTUDO DA CHEIA DE PROJETO

6.1. Introdução

A segurança e economia de um açude estão diretamente relacionada com a obtenção da cheia de projeto, a qual permitirá o dimensionamento adequado de seu sangradouro. Em açudes de grande porte - tipo Castanhão ou Orós, no Estado do Ceará - onde há o perigo de grandes prejuízos e de perdas humanas, geralmente utilizam-se as cheias máximas prováveis ou decamilenares. Em açudes de médio porte é bastante a cheia milenar, enquanto que naqueles de pequeno porte é comum utilizar-se a cheia centenária.

6.2. Metodologia utilizada

A determinação das cheias de projeto, para os tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, foram obtidos através do seguinte procedimento:

- ⇒ Obtenção das cheias de projeto de 1.000 e 10.000 anos em todas as sub-bacias definidas no Capítulo 1;
- Deslocamento das cheias de projeto nos açudes e nos trechos ao longo do rio Choró até o Açude Choró;
- > Finalmente, deslocamento das cheias de projeto no Açude Choró.

Adotar-se-á, no presente estudo, a metodologia indireta do Soil Conservation Service⁵ (SCS), a qual se baseia em seu hidrograma unitário triangular e no parâmetro CN ("Curve Number"). Esse parâmetro CN representa o complexo solo-vegetação e seu relacionamento com a potencialidade da bacia na formação de picos de cheias,

Para cada Sub-Bacia obteve-se os seguintes valores de CN:

⇒ _____

⁵ USDA Soil Conservation Service. National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology. Washington, D.C. 1985.

- ⇒ Sub-bacias do Açude Pompeu Sobrinho; do Rio Cangatí; do Trecho 01; do Açude Castro; do Trecho 02; do Açude Pesqueiro; do Trecho 03; do Trecho 04 e do Trecho do Açude Choró: **CN = 80.**
- ⇒ Sub-bacias do Açude Aracoiaba e do Trecho do Açude Pacajus: **CN = 73.**

6.3. Hidrograma Unitário Triangular do SCS

Para a obtenção do Hidrograma Unitário Triangular (HUT), é necessária a determinação do tempo de concentração da bacia estudada, t_c , o que foi obtido pela fórmula de Kirpich.

- $t_c = 57 \times [L^3 / H]^{0.385}$

onde

- t_c - tempo de concentração, em minutos;
- L - comprimento do curso d'água principal, em Km; e
- H - desnível entre as cotas da cabeceira e do exutório da bacia, em m,

Após o cálculo do tempo de concentração (t_c), em horas, foram determinados os quatro parâmetros básicos do HUT do SCS, quais sejam.

- $t_r = 0,133 \times t_r$ (horas);
- $t_p = 0,5 \times t_r + 0,6 \times t_c$ (horas);
- $t_b = 2,667 \times t_p$ (horas);
- $Q_p = 0.208 \times \frac{A_{bacia}}{t_p} \times 1 \text{ mm } (\underline{\text{m}^3/\text{s}}).$

-

onde

- t_r - duração da chuva efetiva unitária do HUT, em horas;
- t_p - tempo decorrido até a vazão de pico do HUT, Q_p , em horas;
- t_b - tempo de base do HUT, em horas; e
- A_{bacia} - Área da bacia hidrográfica, em Km^2 ; e

- Q_p - vazão de pico correspondente à chuva efetiva unitária de 1mm, em m^3/s .

Na tabela 6.1 são mostrados os parâmetros de HUT, para as sub-bacias estudadas.

6.4. Hidrogramas das Cheias de Projeto

Para a obtenção dos hidrogramas das cheias de projeto, correspondentes aos tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, tornou-se necessário, inicialmente, a determinação do hidrograma unitário com duração igual àquela do tempo de concentração (t_c) para cada sub-bacia estudada. Essa duração foi considerada como a duração das cheias de projeto.

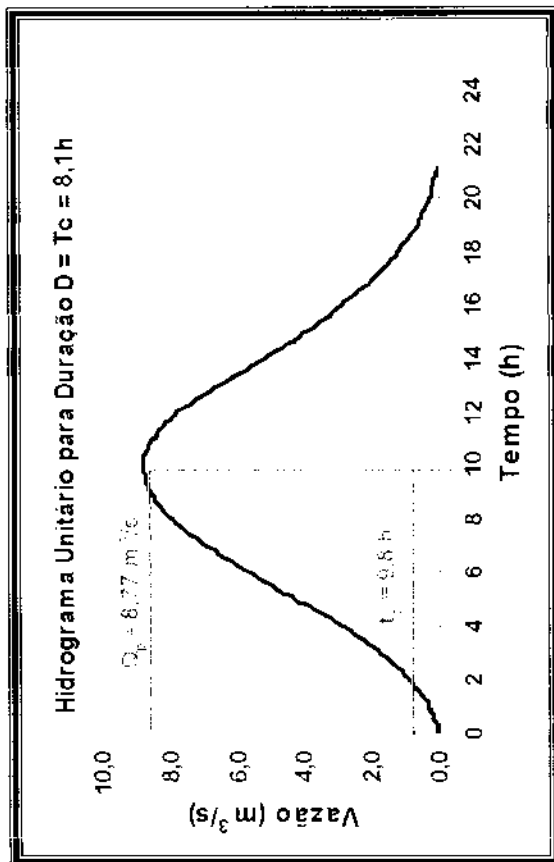
Na Tabela 6.1 estão apresentados os tempos de concentração de todas as sub-bacias estudadas.

Utilizando a metodologia da curva "S", foram obtidos os hidrogramas unitários com durações (t_c) idênticas aos tempos de concentração, para todas as sub-bacias. Esses hidrogramas unitários são mostrados nas figuras 6.1 a 6.3.

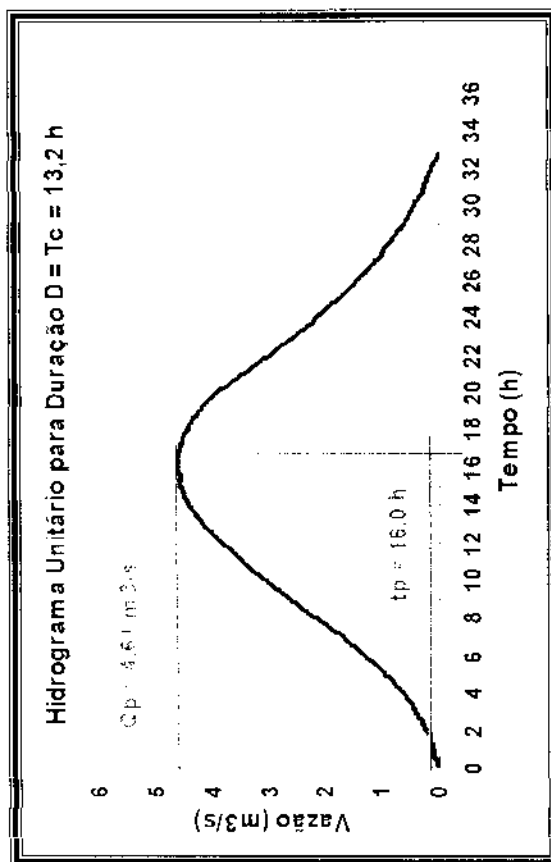
Tabela 6.1 – Parâmetros dos Hidrogramas Unitários, para as Sub-bacias Estudadas.

Sub-Bacias	Área	Cota Alta	Cota Baixa	Compto.	Temp. Conc.	Duração	Temp. Pico	Temp. Base	Vazão Pico
	(A)			(L)	(t_c)	(t_r)	(t_p)	(t_b)	(Q_p)
	(km^2)	(m)	(m)	(Km)	(h)	(h)	(h)	(h)	(m^3/s)
Aç. Pompeu Sobrino	322	520	201	43	8,1	1,1	5,4	14,4	12,4
Rio Cangati	975	360	125	73	16,7	2,2	11,1	29,7	18,2
Trecho 01	277	280	125	52	13,2	1,8	8,8	23,5	6,5
Aç. Castro	396	400	160	38	7,9	1,0	5,2	13,9	15,9
Trecho 02	267	200	103	28	7,8	1,0	5,2	13,8	10,7
Aç. Pesqueiro	83	800	182	14	1,7	0,2	1,1	3,0	15,3
Trecho 03	307	600	75	36	5,5	0,7	3,6	9,7	17,5
Aç. Aracoiaba					8,0	1,1	5,3	14,2	229,2
Trecho 04	342	200	49	36	8,7	1,2	5,8	15,5	12,2
Trecho do Aç. Pacajus	975	120	22	62	19,3	2,6	12,9	34,4	15,7
Trecho do Aç. Choró	138	60	2	30	10,1	1,3	6,7	17,9	4,3

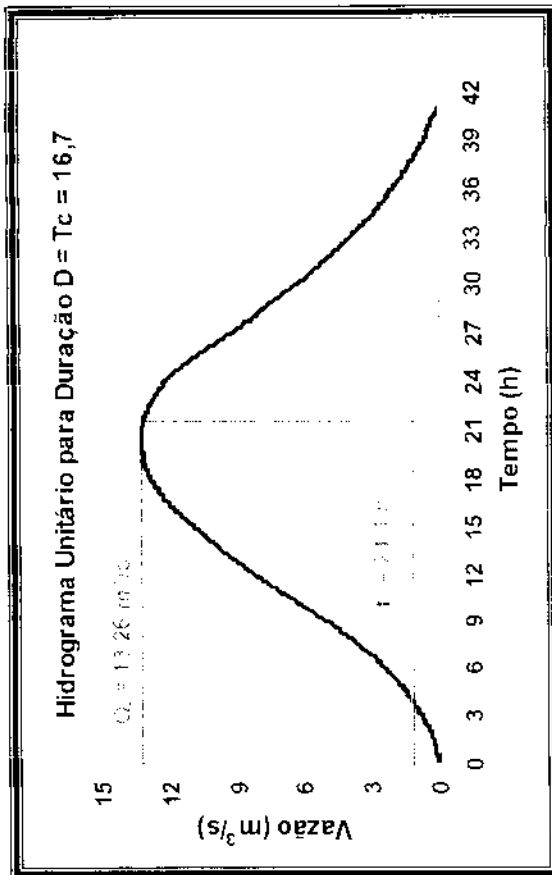
Figura 6.1 – Hidrogramas unitários das Sub-bacias do açude Pompeu Sobrinho, Rio Cangai, Trecho 01 e açude Castro.



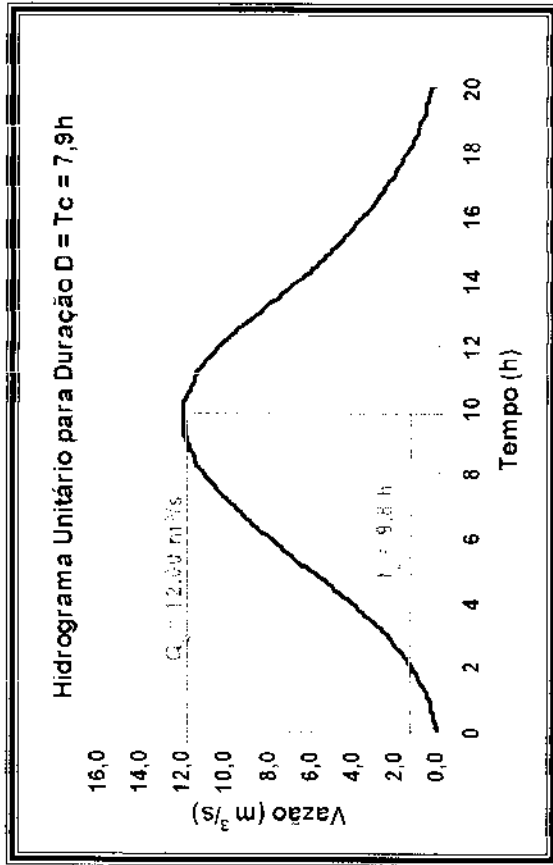
Sub-bacia do Açude Pompeu Sobrinho



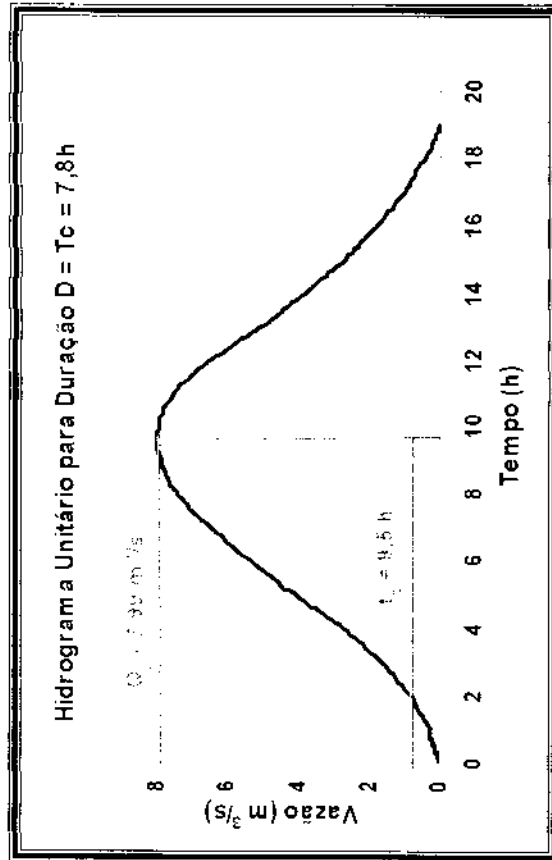
Sub-bacia do Trecho 01



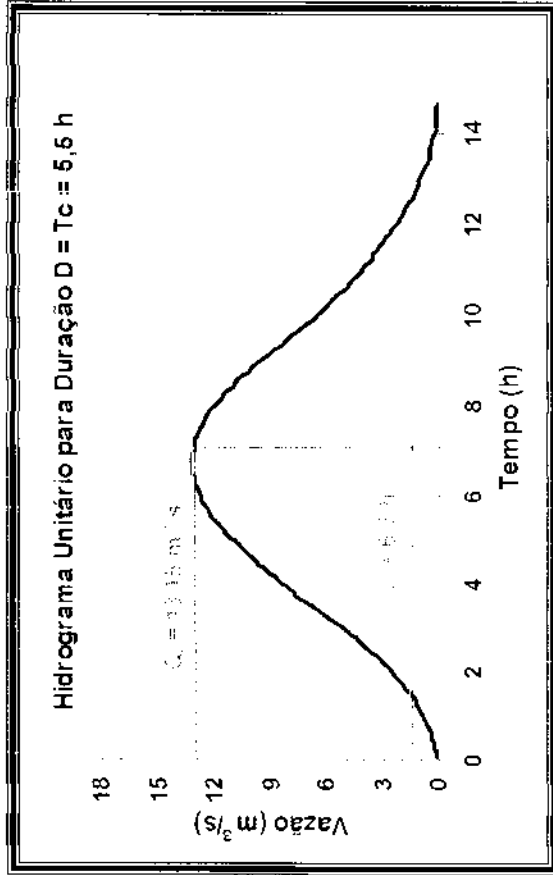
Sub-bacia do Rio Cangai



Sub-bacia do Açude Castro

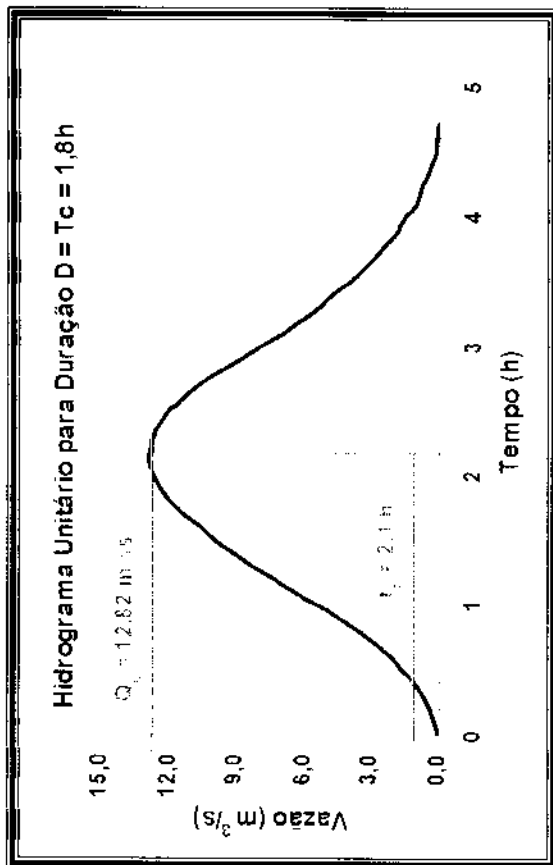


Sub-bacia do Trecho 02

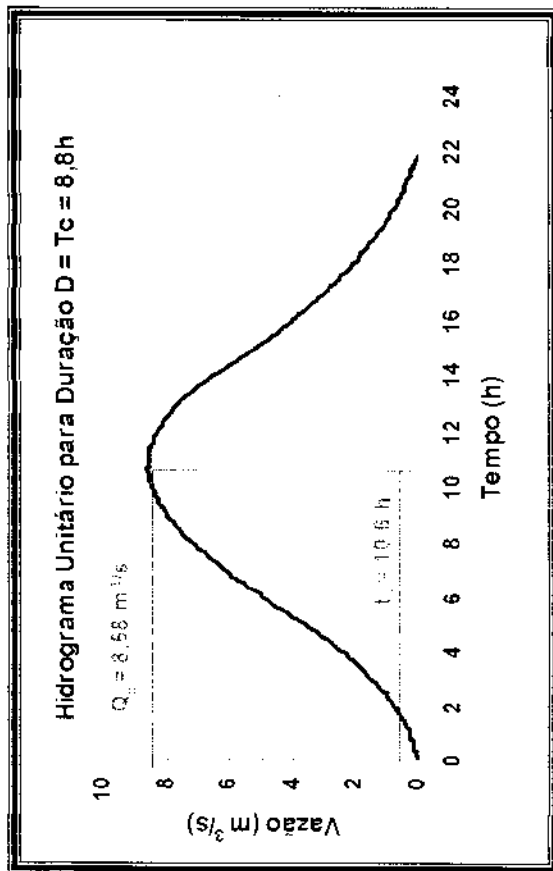


Sub-Sub-bacia do Trecho 03

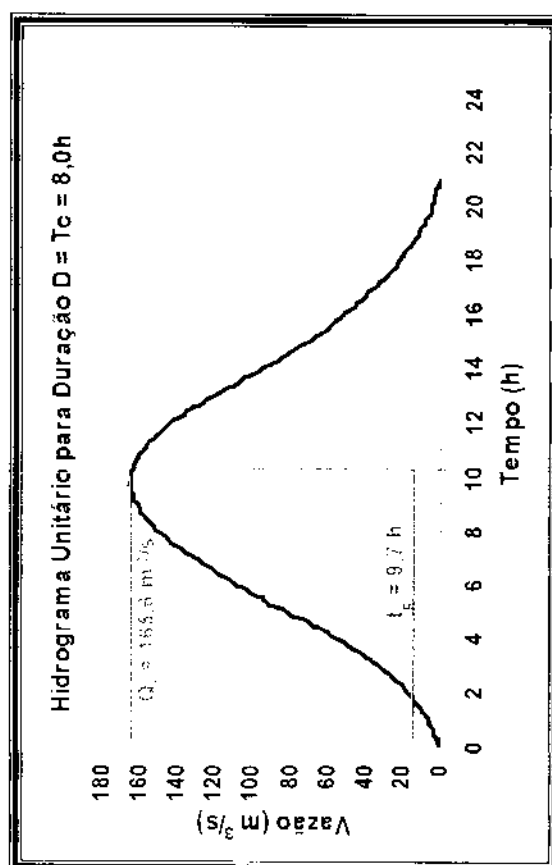
Figura 6.2 – Hidrogramas unitários das Sub-bacias do Trecho 02, açude Pesqueiro, Trecho 03 e açude Aracoiaba.



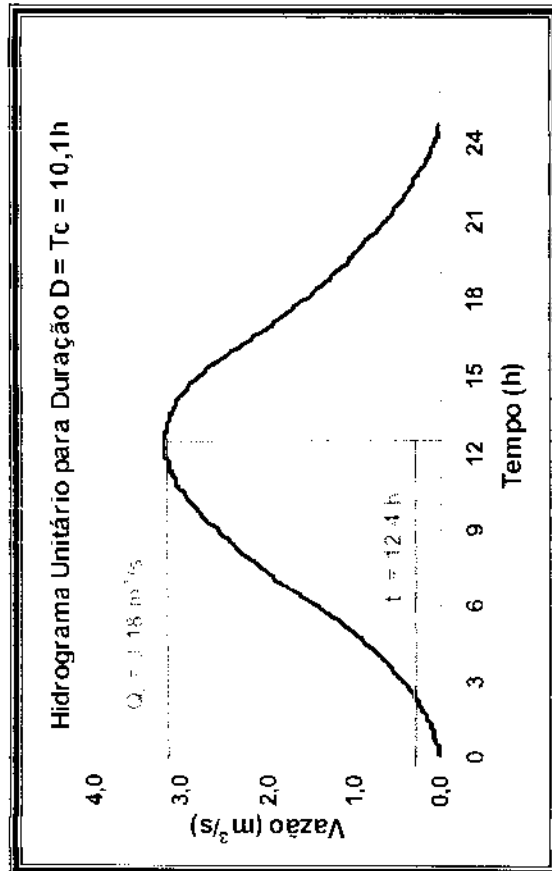
Sub-bacia do Açude Pesqueiro



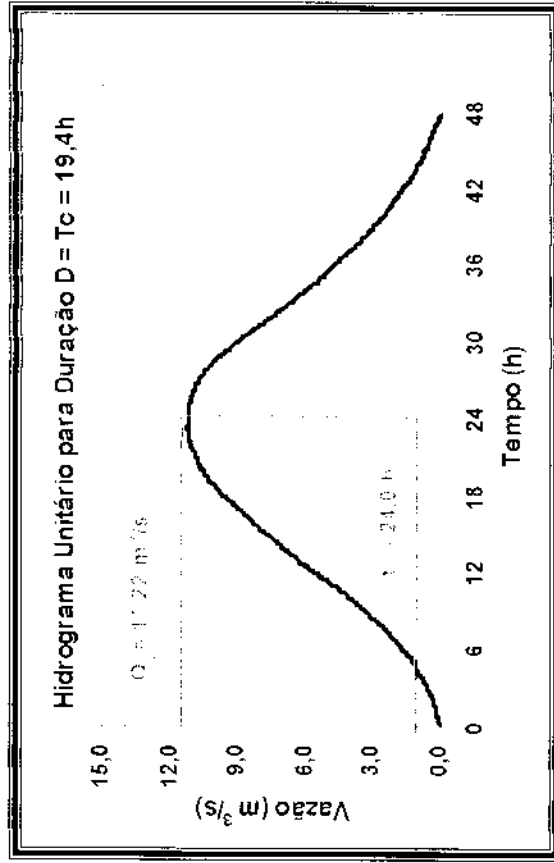
Sub-bacia do Trecho 04



Bacia do Açude Aracoiaba



Sub-bacia do Trecho do Açude Choró



Sub-bacia do Trecho do Açude Pacajus

Figura 6.3 – Hidrogramas unitários das Sub-bacias do Trecho 04, açude Pacajus e do açude Choró.

Depois de obtido os hidrogramas unitários das sub-bacias estudadas, com durações iguais aos seus tempos de concentração, procedeu-se à determinação de suas hidrogramas das cheias de projeto.

A determinação das cheias de projeto das sub-bacias são determinadas a partir das chuvas intensas efetivas de duração igual ao tempo de concentração com períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

Através das Figuras 3.4 a 3.6 apresentadas no capítulo 3, foram obtidas as chuvas intensas nas sub-bacias estudadas, para duração igual ao tempo de concentração. Na Tabela 6.2 estão apresentadas as chuvas intensas nas sub-bacias estudadas, para as respectivas durações (tempo de concentração) e tempo de retornos de 1.000 e 10.000 anos.

Tabela 6.2 – Tempos de Concentração Respective e Chuvas Intensas nas Sub-bacias Utilizadas, para Tempo de Retorno de 1.000 e 10.000 anos.

Sub-Bacias	Tempo de Conc.	Chuvas Intensas (mm)	
	(t _c)	TR = 1.000 anos	TR = 10.000 anos
	(h)		
Aç. Pompeu Sobrino	8,1	169,6	214,0
Rio Cangati	16,7	127,4	153,4
Trecho 01	13,2	148,5	163,3
Aç. Castro	7,9	148,0	179,3
Trecho 02	7,8	141,6	174,8
Aç. Pesqueiro	1,7	133,4	166,7
Trecho 03	5,5	151,0	187,4
Aç. Aracoiaba	8,0	169,6	214,0
Trecho 04	8,7	149,0	176,3
Trecho do Aç. Pacajus	19,3	104,6	140,9
Trecho do Aç. Choró	10,1	244,4	313,9

As chuvas intensas efetivas na bacia foram obtidas através da equação do SCS, em unidades do S.I.

$$P_{efetiva} = \frac{\left[P - \left(\frac{5080}{CN} \right) + 50,8 \right]^2}{\left[P + \left(\frac{20320}{CN} \right) - 203,2 \right]}$$

onde

- $P_{efetiva}$ - chuva intensa efetiva na bacia, em mm;

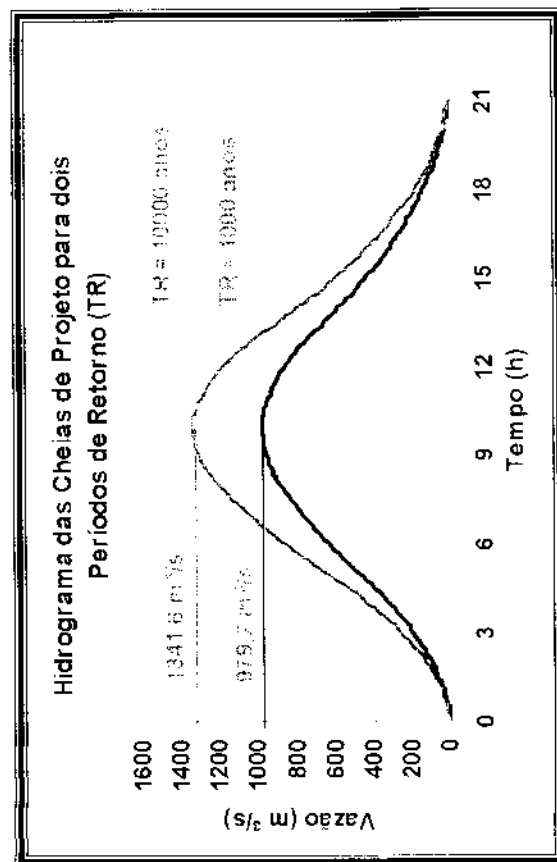
- P - chuva intensa na bacia, em mm; e
- CN - parâmetro CN - "Curve Number" - do SCS,

Com os CN's obtidos anteriormente das sub-bacias estudadas, obtiveram-se as chuvas intensas efetivas para os tempos de retorno escolhidos. Os valores das chuvas intensas e chuvas intensas efetivas das sub-bacias, para os tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos são apresentados na Tabela 6.3.

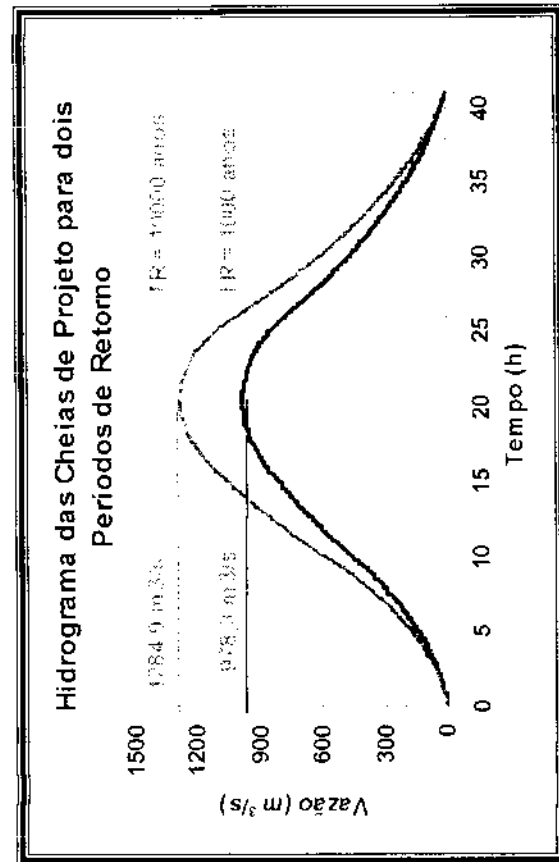
Tabela 6.3 - Chuvas Intensas e Chuvas Intensas Efetivas nas Sub-bacias do Açude Choró, para Tempos de Retornos Utilizados.

Sub-Bacias	Tempo de Retorno = 1.000 anos		Tempo de Retorno = 10.000 anos	
	Prec. Máxima	Prec. Efetiva	Prec. Máxima	Prec. Efetiva
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Aç. Pompeu Sobrino	169,6	111,7	214,0	153,0
Rio Cangati	127,4	73,8	153,4	96,9
Trecho 01	148,5	92,5	163,3	105,9
Aç. Castro	148,0	92,1	179,3	120,6
Trecho 02	141,6	86,3	174,8	116,5
Aç. Pesqueiro	133,4	79,1	166,7	108,9
Trecho 03	151,0	94,7	187,4	128,1
Aç. Aracoiaba	169,6	92,9	214,0	131,8
Trecho 04	149,0	93,0	176,3	117,9
Trecho do Aç. Pacajus	104,6	104,6	140,9	140,9
Trecho do Aç. Choró	244,4	181,8	313,9	248,7

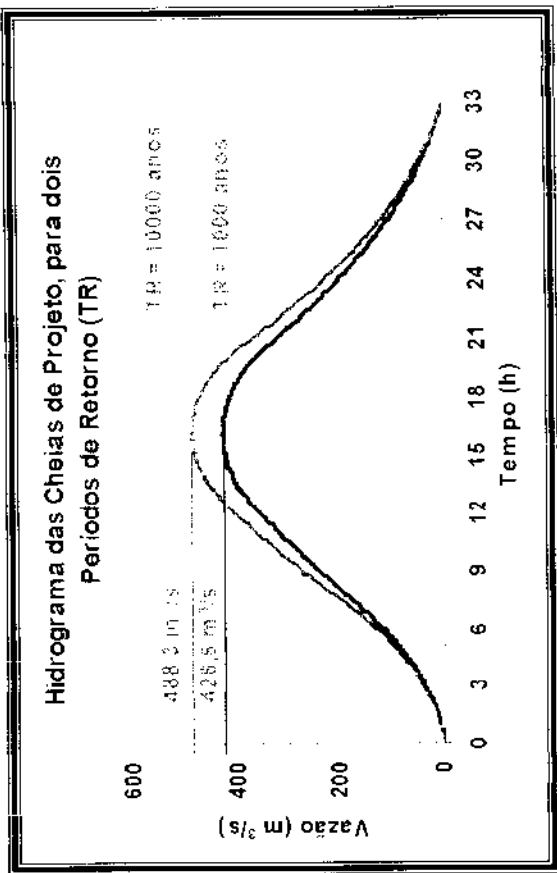
Aplicando as chuvas intensas efetivas calculadas nos H.U's das sub-bacias, obtiveram-se seus hidrogramas das cheias de projeto, para os tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, conforme mostrados na Figura 6.4 a 6.6.



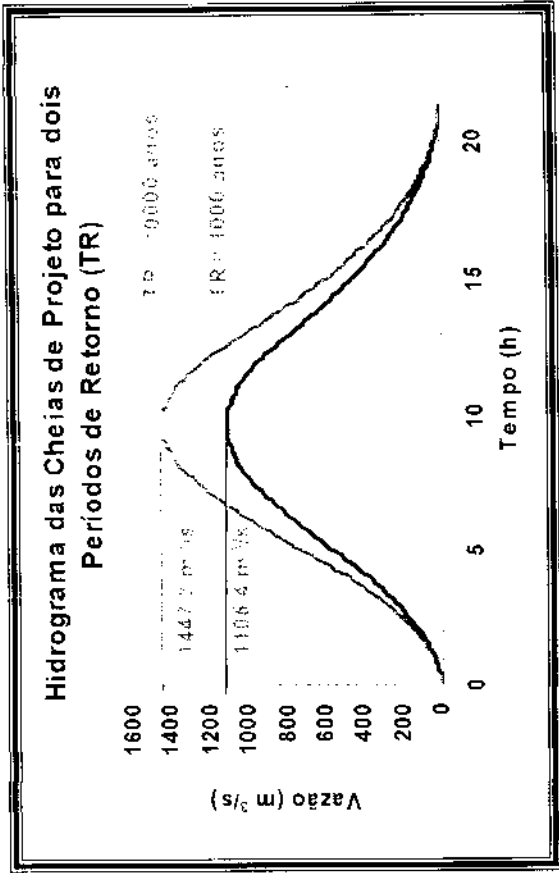
Bacia do Açude Pompeu Sobrinho



Bacia do Rio Cangati

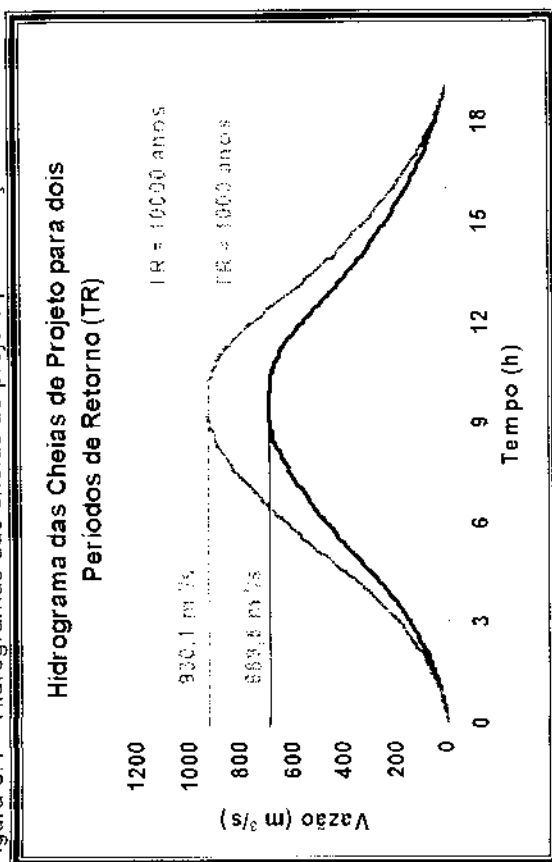


Bacia do Trecho 01

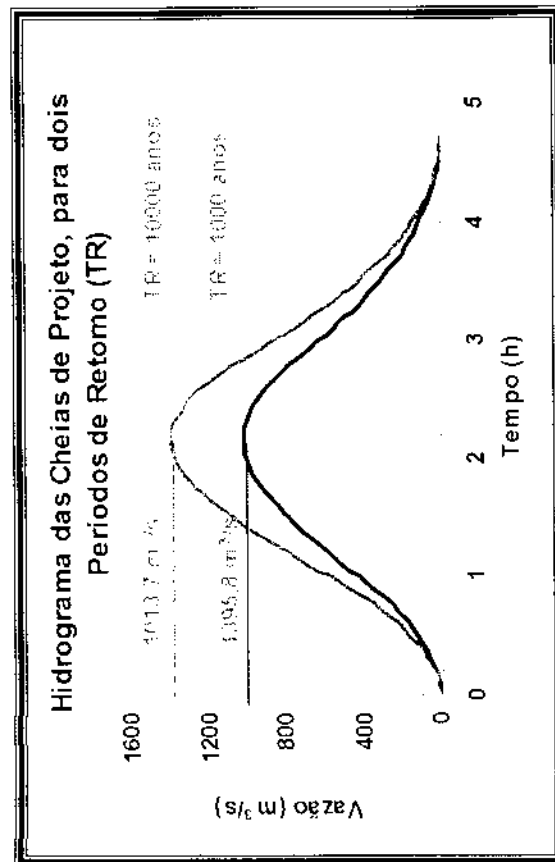


Bacia do Açude Castro

Figura 6.4 – Hidrogramas das cheias de projeto para o Açude Choró.

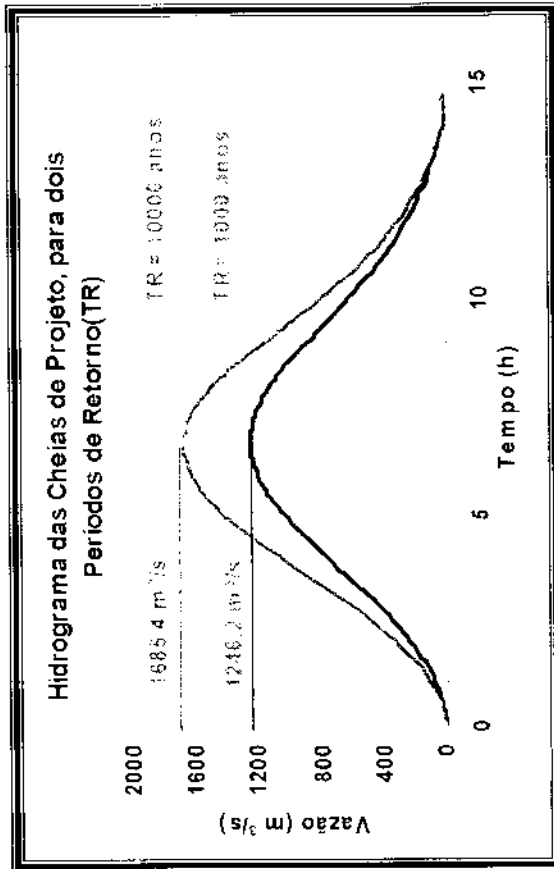


Bacia do Trecho 02

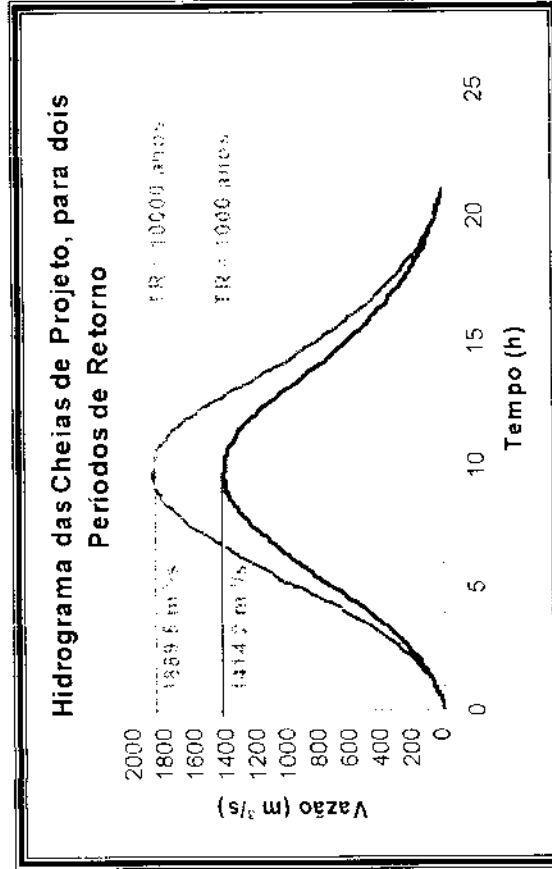


Bacia do Açude Pesqueiro

C:\TSA\TSA\Projeto\Choró\Barragem\Hidrologia\Relatório de Hidrologia.doc

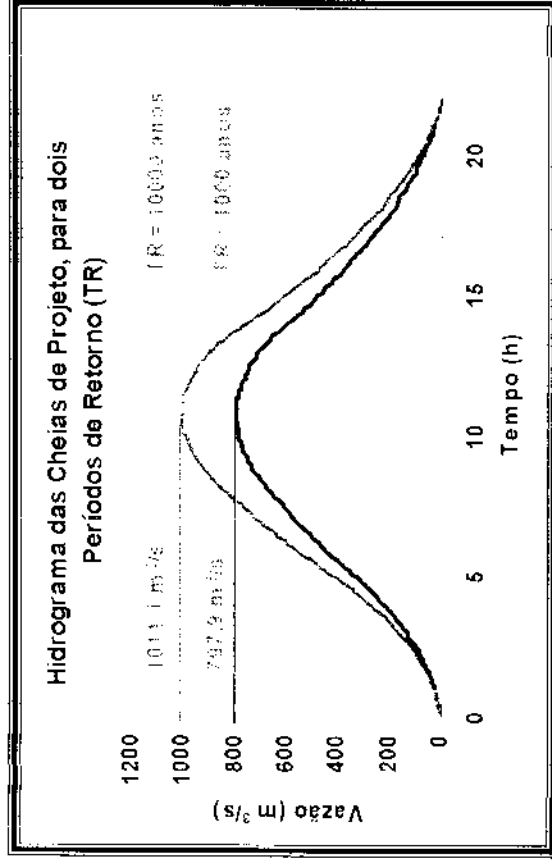


Bacia do Trecho 03

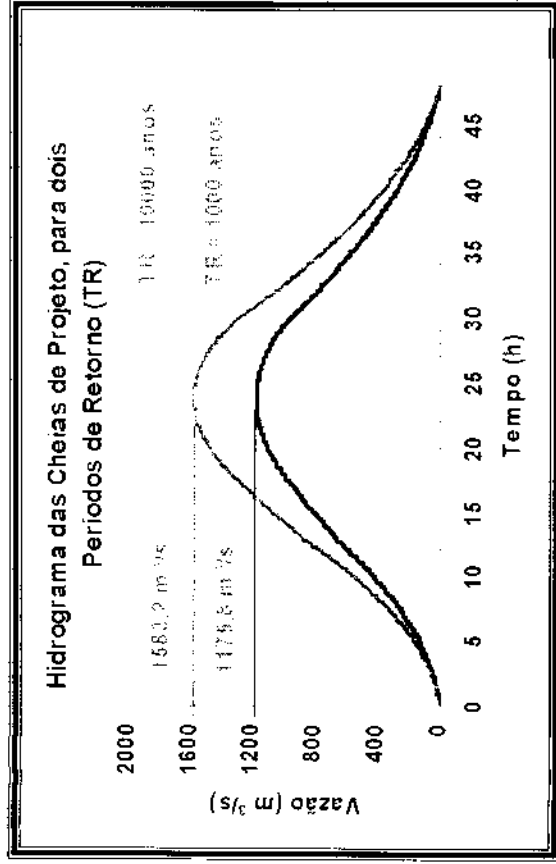


Bacia do Açude Aracoiaba

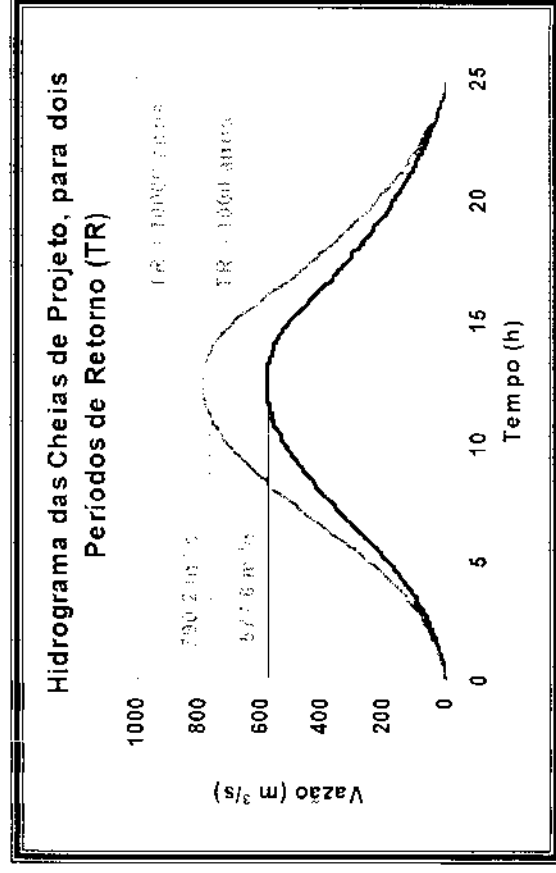
Figura 6.5 – Hidrogramas das cheias de projeto para o Açude Choró.



Bacia do Trecho 04



Bacia do Trecho do Açude Pacajus



Bacia do Trecho do Açude Choró

Figura 6.6 – Hidrogramas das cheias de projeto para o Açude Choró.

Na Tabela 6.4 são apresentadas as vazões de pico dos hidrogramas das cheias de projeto das sub-bacias, para os tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

Tabela 6.4 - Vazões de Pico dos Hidrogramas das Cheias de Projeto das Sub-bacias para os Tempos de Retorno de 1.000 e 10.000 anos

Sub-bacias	Vazões de Pico dos Hidrogramas das Cheias de Projeto (m ³ /s)	
	TR = 1.000 anos	TR = 10.000 anos
Aç. Pompeu Sobrino	979,2	1341,6
Rio Cangati	978,3	1284,9
Trecho 01	426,6	488,3
Aç. Castro	1105,4	1447,3
Trecho 02	689,5	930,1
Aç. Pesqueiro	1013,7	1395,8
Trecho 03	1246,2	1685,4
Aç. Aracoiaba	1414,2	1889,5
Trecho 04	797,9	1011,1
Trecho do Aç. Pacajus	1175,8	1583,2
Trecho do Aç. Choró	577,6	790,2

6.5. Cheias de Projeto do Açude Choró

Obtidas todas as cheias das sub-bacias consideradas, para os tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, procedeu-se à determinação das cheias de projeto de 1.000 e 10.000 anos de período de retorno para o Açude Choró.

Inicialmente, utilizando o método de PULS, fez-se o amortecimento das cheias de 1.000 e 10.000 anos de período de retorno no açude Pompeu Sobrinho. Essas cheias amortecidas foram então deslocadas no Trecho 01 do rio Choró através da metodologia MUSKINGHUM e adicionalmente às cheias de 1.000 e 10.000 anos da bacia do rio Cangati, produzindo as cheias resultante na Seção B.

As cheias resultantes (1.000 e 10.000 anos) na Seção B foram deslocadas no Trecho 02 do rio Choró e somadas às cheias amortecidas pelo açude Castro e deslocadas ao longo do rio Castro, e somadas às cheias do Trecho 02, resultando em cheias de 1.000 e 10.000 anos na Seção D.

As cheias da Seção D foram deslocadas no Trecho 03 do rio Choró e somadas às cheias do Trecho 03, cujo resultado foi então somado ao deslocado das cheias

amortecidas pelo açude Pesqueiro, ao longo do Riacho da Lagoa Nova, obtendo-se, conseqüentemente as cheias de 1.000 e 10.000 anos na Seção F.

A adição das cheias na Seção F devidamente deslocadas no Trecho 04 do rio Choró às cheias do Trecho 04 e às cheias amortecidas pelo açude Aracoiaba e devidamente deslocada no rio Aracoiaba, resultando na obtenção das cheias de 1.000 e 10.000 anos na Seção H.

Fazendo-se o deslocamento das cheias da Seção H no Trecho entre as Seções H e I, ao longo do rio Choró, e somado-se essas cheias deslocadas às cheias do Trecho da Bacia do Açude Pacajus (Seção H à Seção I), obtiveram-se as cheias de 1.000 e 10.000 anos, afluentes ao açude Pacajus.

Finalmente, somando-se as cheias resultantes do deslocamento no Trecho I a J das cheias amortecidas pelo açude Pacajus às cheias da bacia do Trecho do Açude Choró (Seção I à Seção J), obtiveram-se as cheias de 1.000 e 10.000 anos, afluentes ao Açude Choró. Essas cheias são apresentadas nas Figuras 6.7 a 6.11.

6.6. Amortecimento das Cheias de Projeto do Açude Choró

O amortecimento das cheias de 1000 e 10000 anos do Açude Choró foi efetivado, através da utilização de sua curva cota x volume e da metodologia de PULS, que é dada pela equação.

$$V_{i+1} + \frac{1}{2}(QE_{i+1}) \times DT = (V_i - \frac{1}{2}(QE_i) \times DT) + \frac{1}{2}(QA_i + QA_{i+1}) \times DT$$

Onde

- V - volume acumulado no açude, em metros cúbicos;
- QA - vazão afluente ao açude, em metros cúbicos por segundo;
- QE - vazão efluente ao açude, em metros cúbicos por segundo;
- DT - intervalo de tempo utilizado,

Considerando o volume do Açude Choró em sua cota de sangria de 9,0 m, com cerca de 8,6 hm³ e o coeficiente de descarga do sangradouro igual a 2,0, fez-se a utilização da metodologia PULS, para o caso de larguras do sangradouro iguais a 500, 600, 700, 800 e 900 metros.

Nas Tabelas 6.5 e 6.6 são apresentadas as cheias afluentes, efluentes e lâmina de sangradouro do Açude Choró, para os tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, respectivamente.

As Figuras 6.7 a 6.11 mostram as cheias afluentes e efluentes do Açude Choró, para os tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, respectivamente, com larguras do sangradouro iguais a 500, 600, 700, 800 e 900 metros.

Tabela 6.5 – Vazões das Cheias de Projeto (Vazões Afluentes) e Respectivas Cheias Amortecidas pelo Açude Choró (Vazões Efluentes) e Lâminas do Sangradouro para um TR = 1.000 anos.

Cheia	Cheia Deslocada Lsang, = 500 m	Cheia Deslocada Lsang, = 600 m	Cheia Deslocada Lsang, = 700 m	Cheia Deslocada Lsang, = 800 m	Cheia Deslocada Lsang, = 900 m
0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
41,9	0,05	12,2	0,05	13,8	0,05
133,8	0,15	56,1	0,14	62,6	0,13
291,1	0,28	146,9	0,26	161,2	0,25
499,1	0,44	290,9	0,41	315,2	0,38
734,0	0,65	522,3	0,59	541,4	0,54
1006,6	0,85	792,1	0,77	825,3	0,71
1332,2	1,05	1090,1	0,95	1122,3	0,87
1683,0	1,26	1435,2	1,14	1470,5	1,03
2094,4	1,49	1810,0	1,34	1853,6	1,22
2467,0	1,72	2205,4	1,55	2245,5	1,41
2738,2	1,92	2539,5	1,72	2577,9	1,57
2925,9	2,08	2785,6	1,86	2814,5	1,69
3062,2	2,20	2960,8	1,96	2981,7	1,77
3137,5	2,27	3077,6	2,02	3091,7	1,82
3154,6	2,30	3135,1	2,04	3142,3	1,84
3113,8	2,29	3134,3	2,03	3134,7	1,83
3013,0	2,25	3074,8	1,99	3068,3	1,79
2860,2	2,18	2958,7	1,92	2945,7	1,73
2662,8	2,08	2793,0	1,84	2774,2	1,65
2432,5	1,97	2586,6	1,73	2563,3	1,55
2178,3	1,83	2350,1	1,61	2323,2	1,45
1914,0	1,69	2094,4	1,48	2067,5	1,33
1651,7	1,54	1832,4	1,35	1806,7	1,21
1419,7	1,39	1587,2	1,22	1558,4	1,09
1222,0	1,25	1367,1	1,10	1340,8	0,98

Cheia	Cheia Deslocada Lsang, = 500 m		Cheia Deslocada Lsang, = 600 m		Cheia Deslocada Lsang, = 700 m		Cheia Deslocada Lsang, = 800 m		Cheia Deslocada Lsang, = 900 m	
1043,4	1,13	1173,4	0,99	1153,0	0,89	1144,4	0,81	1131,5	0,74	1121,3
885,3	1,01	1000,6	0,89	990,2	0,80	975,2	0,72	963,3	0,66	954,2
748,4	0,91	858,2	0,80	840,6	0,71	826,5	0,65	816,0	0,59	808,0
632,6	0,82	728,2	0,71	711,0	0,64	698,7	0,58	689,7	0,53	682,9
536,3	0,73	616,8	0,64	601,7	0,57	591,3	0,52	583,8	0,48	589,9
457,8	0,66	524,0	0,57	511,4	0,51	502,8	0,47	511,3	0,44	511,2
394,6	0,59	448,2	0,52	437,9	0,47	445,3	0,43	444,0	0,39	439,2
344,2	0,54	387,1	0,48	389,6	0,43	390,1	0,39	385,0	0,36	380,0
304,0	0,49	342,1	0,44	346,5	0,39	342,1	0,36	336,9	0,33	332,6
272,0	0,46	310,7	0,41	308,0	0,36	302,7	0,33	298,2	0,30	294,8
246,2	0,43	280,8	0,38	275,8	0,34	271,0	0,30	267,3	0,28	264,5
225,2	0,40	254,6	0,35	249,4	0,31	245,3	0,29	242,3	0,26	240,1
207,8	0,38	232,5	0,33	227,7	0,30	224,3	0,27	221,9	0,25	220,1
193,1	0,36	213,9	0,31	209,8	0,28	206,9	0,25	204,9	0,23	203,4
180,5	0,34	198,2	0,30	194,6	0,27	192,3	0,24	190,6	0,22	189,3
169,5	0,32	184,7	0,28	181,7	0,25	179,7	0,23	178,3	0,21	177,2
159,7	0,31	173,0	0,27	170,5	0,24	168,7	0,22	167,5	0,20	166,5

Tabela 6.6 – Vazões das Cheias de Projeto (Vazões Afluentes) e Respectivas Cheias Amortecidas pelo Açude Choró (Vazões Efluentes) e Lâminas do Sangradouro para um TR = 10.000 anos.

Cheias	Cheia Deslocada Lsang, = 500		Cheia Deslocada Lsang, = 600		Cheia Deslocada Lsang, = 700		Cheia Deslocada Lsang, = 800		Cheia Deslocada Lsang, = 900	
0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
57,4	0,07	16,7	0,06	18,9	0,06	20,9	0,06	22,7	0,06	24,3
183,0	0,18	76,8	0,17	85,6	0,16	93,2	0,16	99,8	0,15	105,6
398,2	0,34	200,9	0,32	220,6	0,31	236,9	0,29	250,7	0,28	262,5
683,4	0,55	413,2	0,51	433,6	0,47	458,2	0,45	480,2	0,42	498,5
1006,5	0,82	747,8	0,76	788,7	0,69	810,9	0,64	823,9	0,60	832,2
1379,1	1,06	1098,9	0,96	1137,5	0,89	1169,7	0,82	1195,1	0,77	1216,2
1833,8	1,32	1518,4	1,19	1563,3	1,09	1590,3	1,00	1609,5	0,94	1631,8
2393,3	1,59	2013,4	1,44	2067,4	1,31	2109,9	1,22	2143,6	1,13	2162,1
2931,9	1,87	2559,5	1,68	2619,3	1,53	2660,0	1,42	2693,6	1,32	2721,7
3415,0	2,11	3075,6	1,90	3135,2	1,73	3177,6	1,59	3205,8	1,48	3226,8
3780,8	2,31	3514,3	2,07	3565,8	1,88	3601,3	1,73	3627,2	1,60	3646,1
4027,3	2,45	3841,7	2,19	3880,3	1,98	3906,5	1,82	3924,7	1,69	3938,3
4197,6	2,55	4067,8	2,27	4096,2	2,05	4113,9	1,88	4126,5	1,74	4135,6
4281,1	2,61	4210,3	2,32	4229,3	2,09	4240,2	1,92	4247,7	1,77	4253,1
4282,6	2,63	4269,7	2,33	4278,1	2,11	4282,1	1,93	4284,4	1,78	4285,6
4203,2	2,62	4247,5	2,32	4245,4	2,09	4242,6	1,91	4239,8	1,77	4237,2
4041,2	2,58	4143,4	2,28	4130,9	2,05	4121,4	1,88	4113,5	1,73	4107,0
3811,6	2,50	3963,2	2,21	3940,8	1,99	3925,1	1,82	3912,5	1,68	3902,4
3537,6	2,40	3720,9	2,12	3693,3	1,90	3672,6	1,74	3656,8	1,60	3644,3
3231,9	2,28	3438,5	2,00	3406,4	1,80	3382,4	1,64	3364,4	1,51	3350,2
2895,7	2,14	3123,8	1,88	3087,4	1,68	3061,2	1,53	3041,3	1,41	3029,4
2545,5	1,98	2785,1	1,74	2745,9	1,56	2717,9	1,42	2700,1	1,31	2684,2
2195,9	1,81	2436,5	1,59	2396,6	1,42	2371,0	1,29	2351,1	1,19	2333,7
1861,2	1,64	2093,4	1,43	2056,4	1,28	2031,0	1,16	2009,3	1,07	1992,5
1555,9	1,46	1770,9	1,28	1737,8	1,14	1710,9	1,04	1690,7	0,96	1681,0
1324,7	1,31	1497,7	1,14	1465,3	1,02	1442,2	0,93	1434,2	0,86	1424,7
1133,0	1,18	1275,5	1,03	1248,7	0,92	1239,5	0,84	1227,6	0,77	1216,1

969,1	1,06	1090,0	0,93	1075,3	0,83	1062,5	0,76	1050,0	0,69	1040,3
829,2	0,96	936,5	0,84	923,2	0,75	909,0	0,68	898,2	0,63	890,0
711,2	0,87	807,6	0,76	791,2	0,68	778,6	0,61	769,4	0,56	762,5
613,6	0,78	695,1	0,68	680,0	0,61	669,5	0,56	661,8	0,51	655,9
533,7	0,71	601,0	0,62	588,2	0,56	579,4	0,50	573,1	0,47	582,2
468,9	0,65	523,7	0,57	513,2	0,51	506,0	0,47	514,7	0,43	513,6
416,6	0,60	461,0	0,52	452,4	0,47	457,5	0,43	457,8	0,40	453,5
374,2	0,55	410,1	0,49	408,2	0,44	412,2	0,40	408,4	0,37	404,2
339,6	0,51	368,9	0,46	374,4	0,41	371,9	0,38	367,7	0,34	364,1
311,2	0,49	339,8	0,43	342,1	0,39	338,0	0,35	334,2	0,32	331,3
287,4	0,46	316,3	0,41	313,9	0,37	309,8	0,33	306,6	0,31	304,2
267,3	0,44	293,7	0,39	289,9	0,35	286,2	0,32	283,5	0,29	281,5
250,0	0,42	273,4	0,37	269,3	0,33	266,2	0,30	263,9	0,28	262,2
234,9	0,40	255,4	0,35	251,7	0,32	248,9	0,29	247,0	0,26	245,5
221,5	0,39	239,6	0,34	236,2	0,30	233,8	0,28	232,1	0,25	230,8

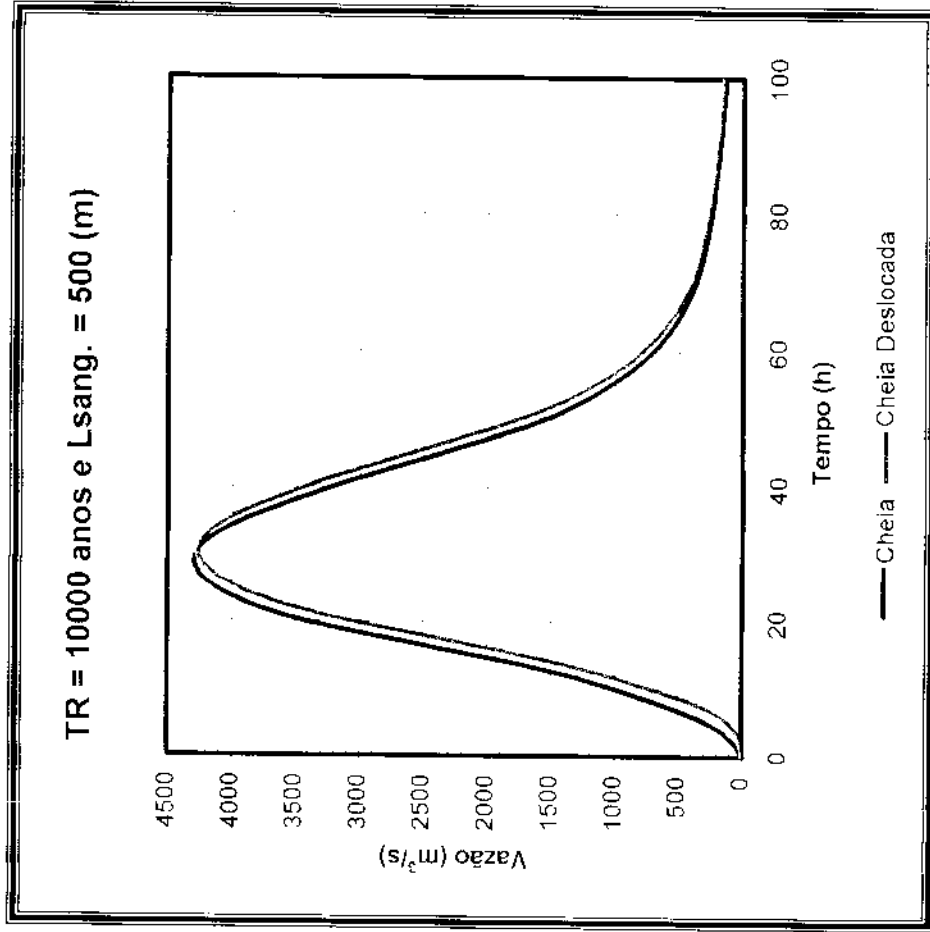
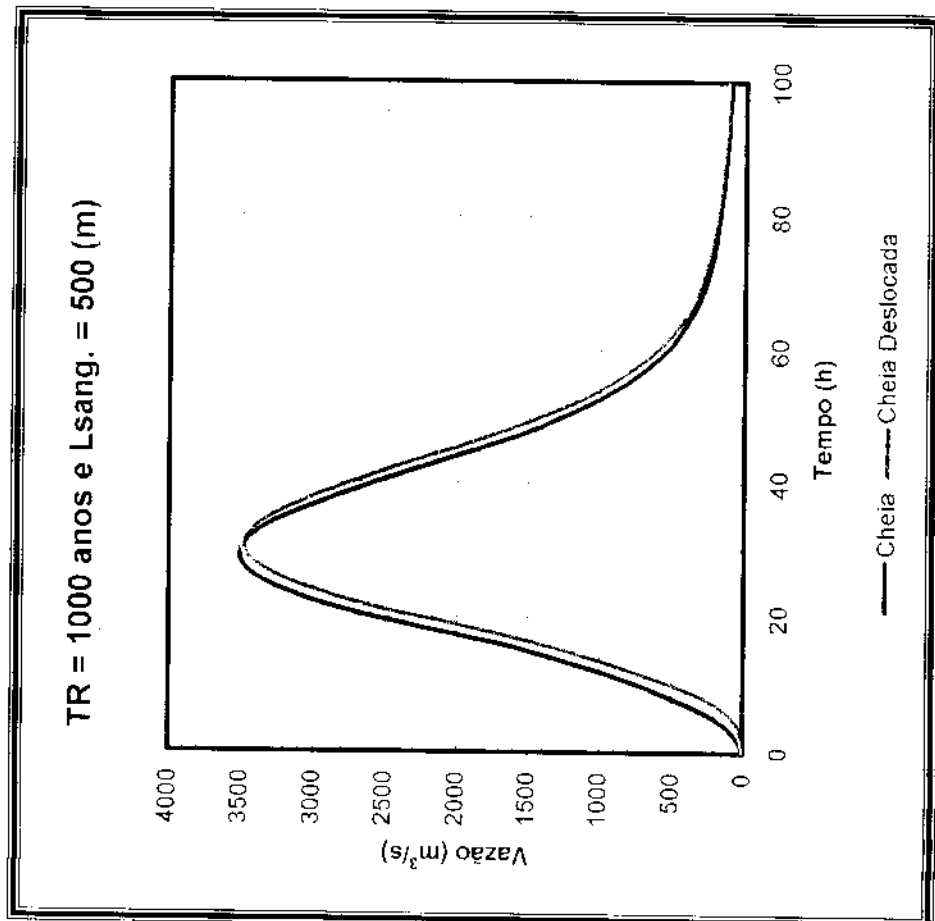


Figura 6.7 – Cheias afluentes e efluentes do Açude Choró, para largura do sangradouro igual a 500m e tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

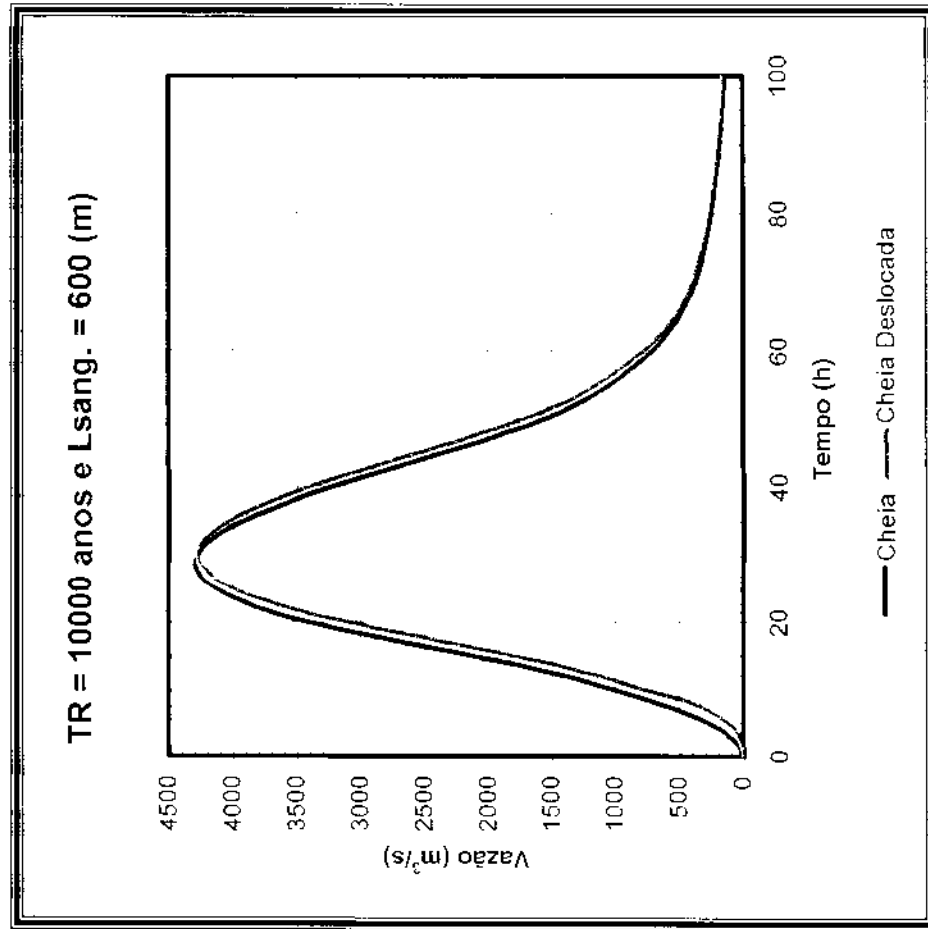
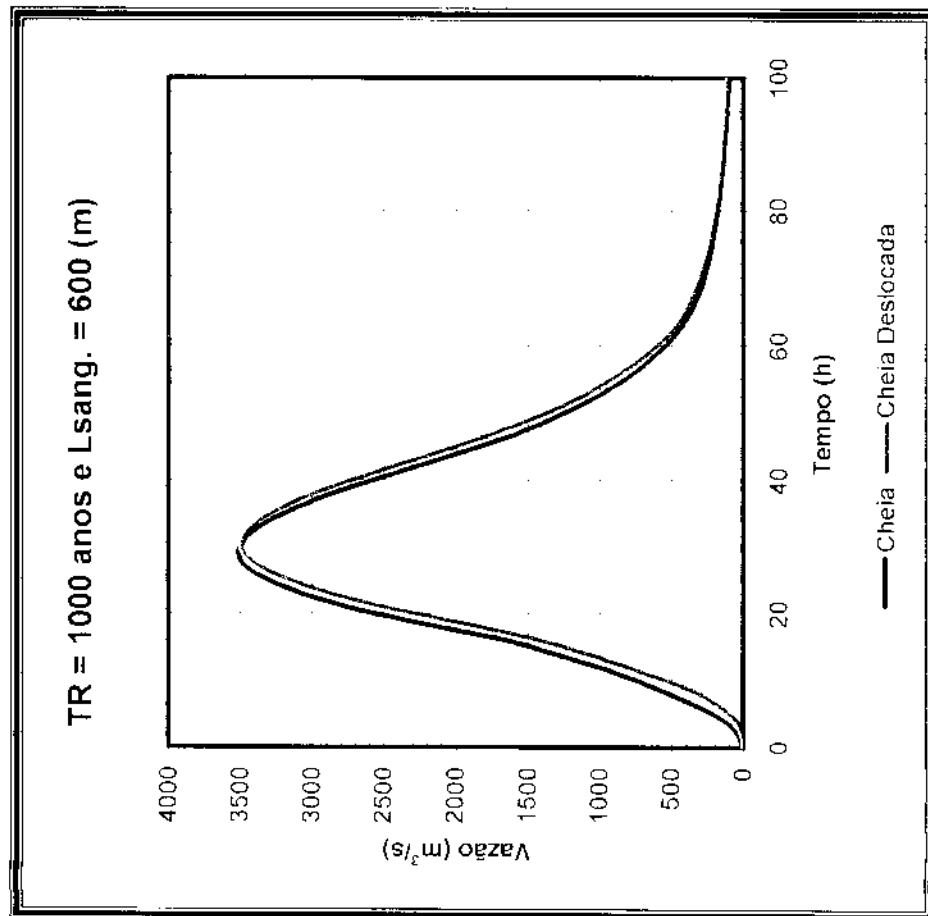


Figura 6.8 – Cheias afluentes e efluentes do Açude Choró, para largura do sangradouro igual a 600m e tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

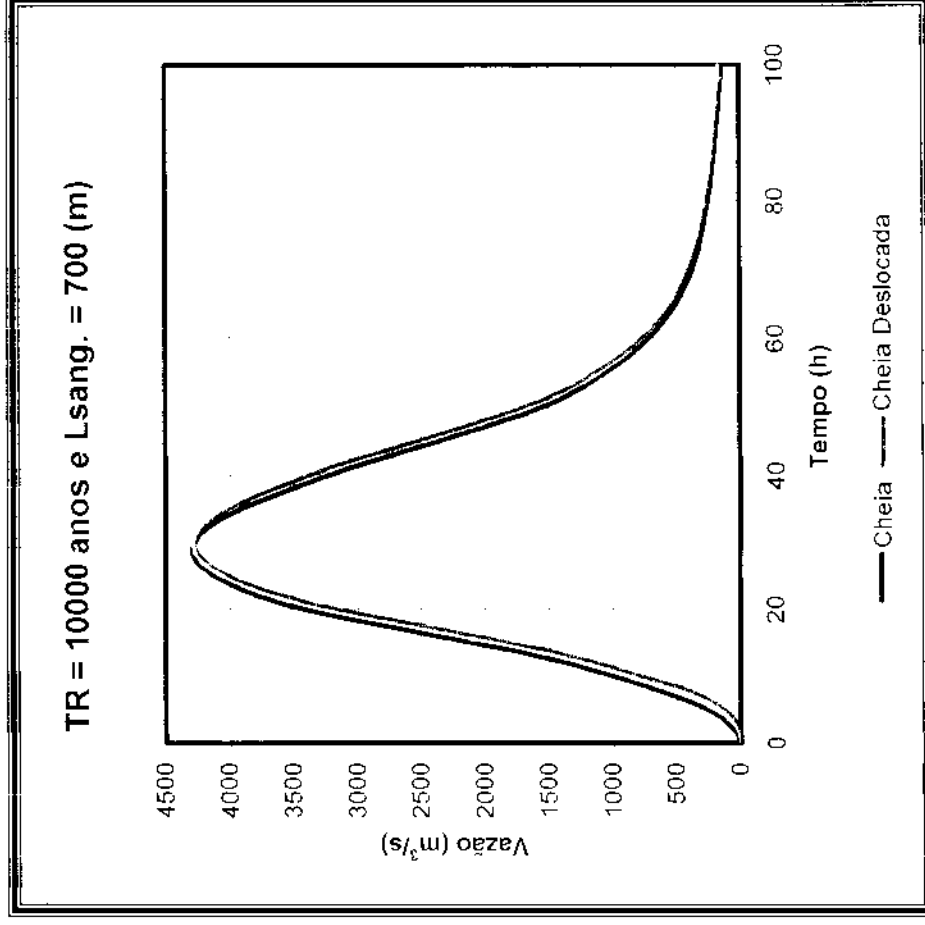
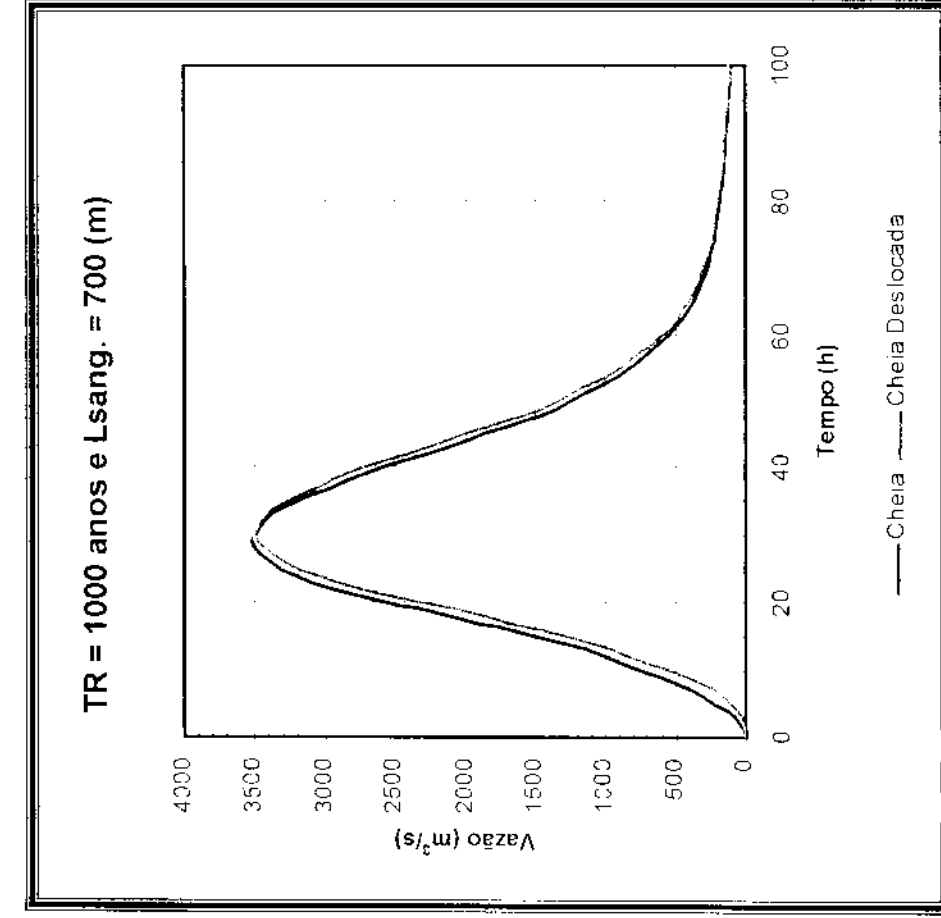


Figura 6.9 – Cheias afluentes e efluentes do Açude Choró, para largura do sangradouro igual a 700m e tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

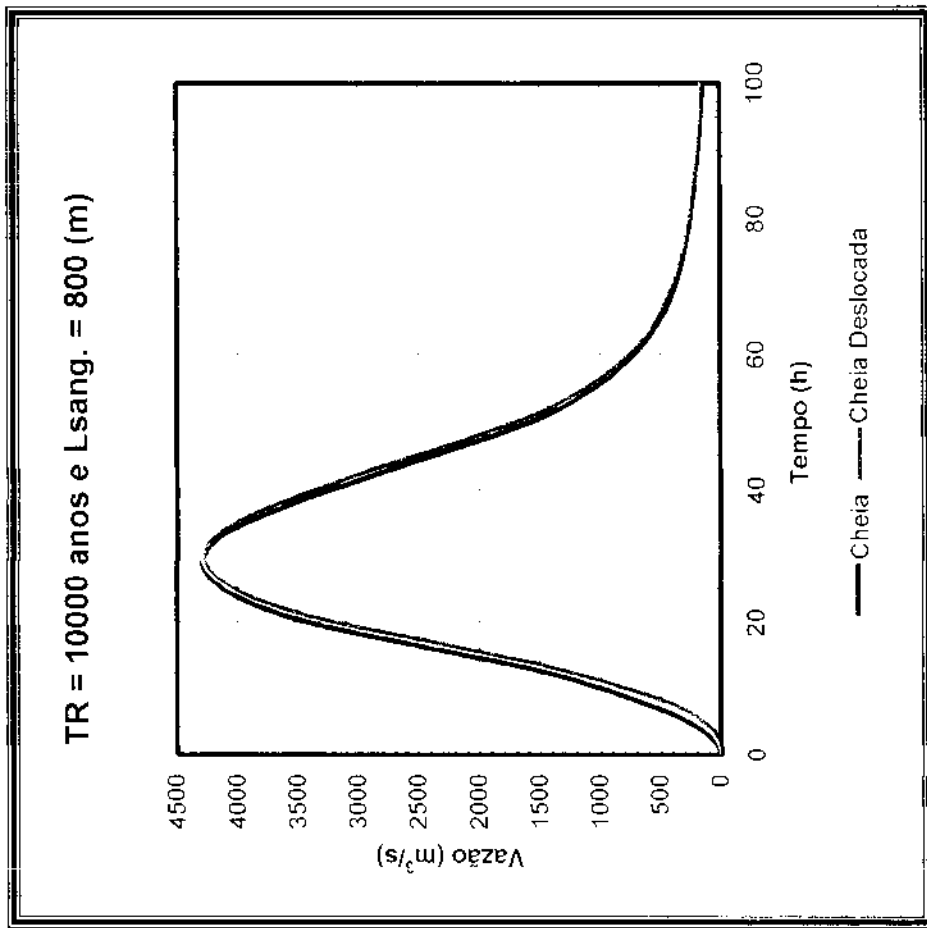
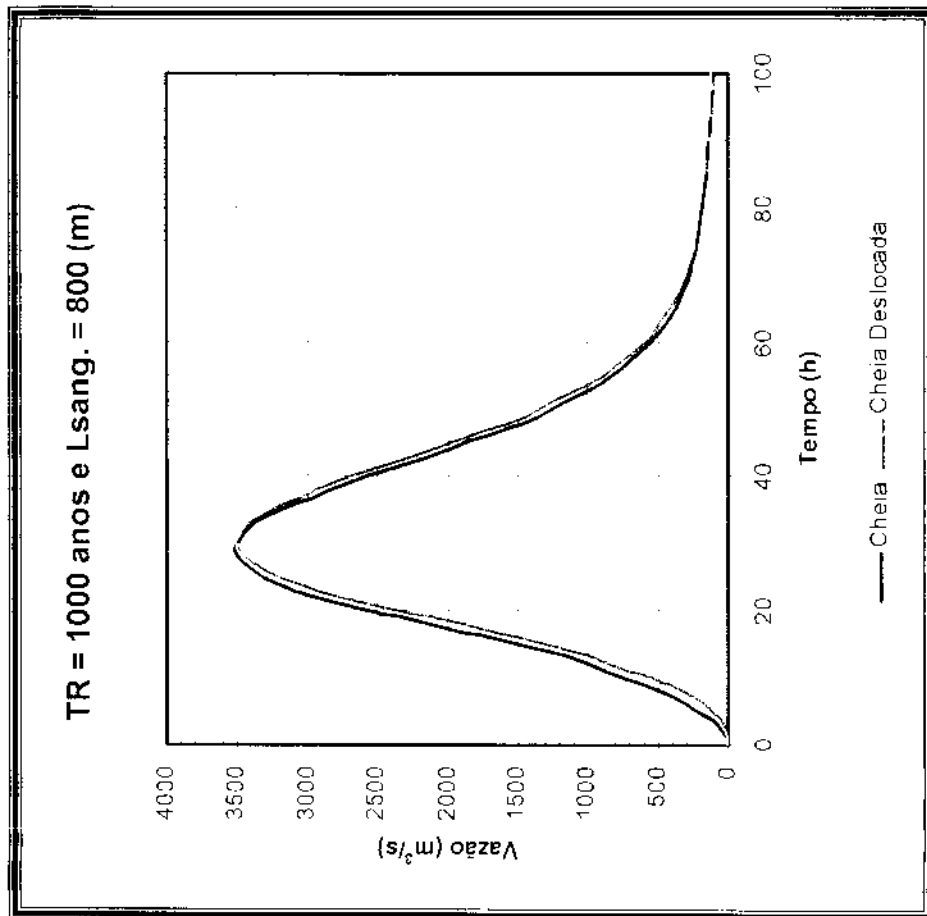


Figura 6.10 – Cheias afluentes e efluentes do Açude Choró, para largura do sangradouro igual a 800m e tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

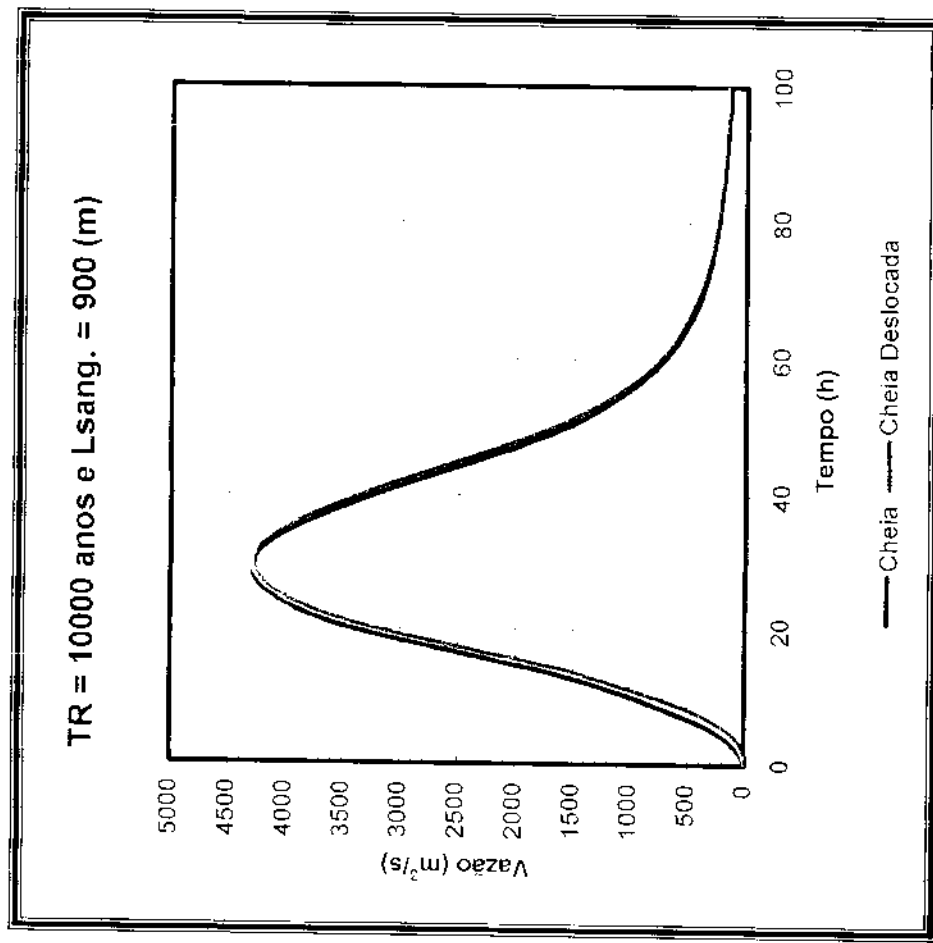
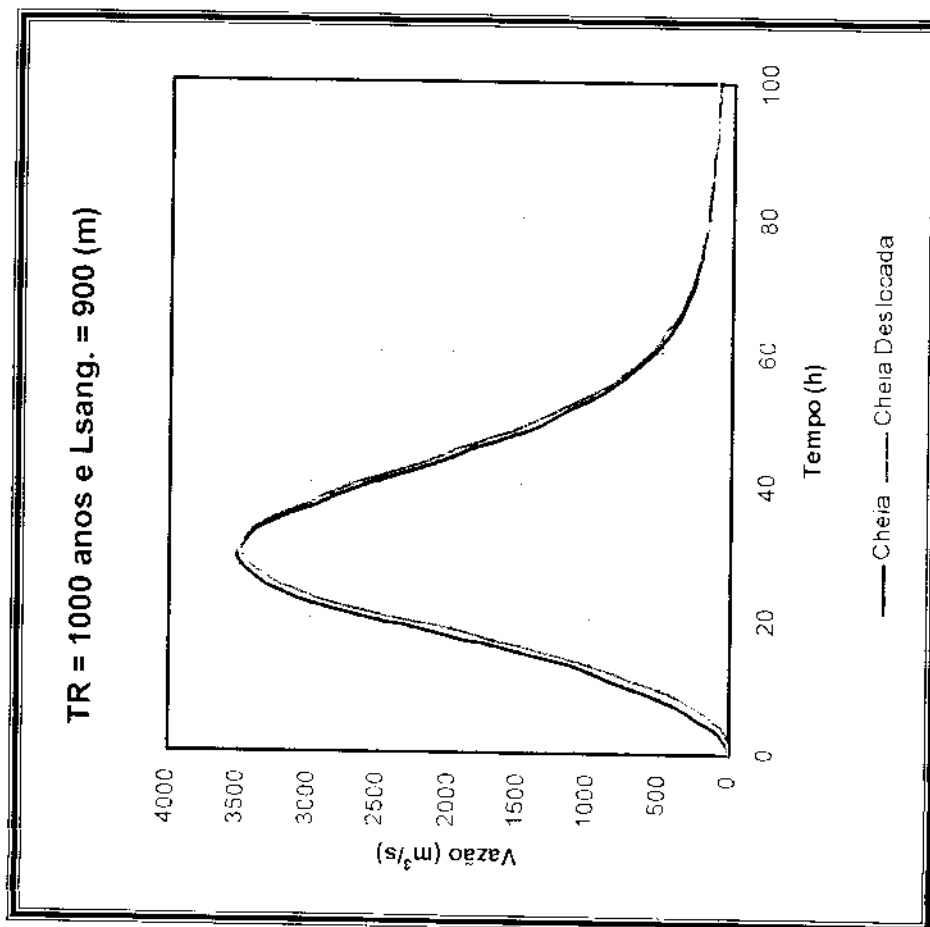


Figura 6.11 – Cheias afluentes e efluentes do Açude Choró, para largura do sangradouro igual a 900m e tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos.