

GOVERNO DO ESTADO



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

**PLANO DE APROVEITAMENTO MÚLTIPLO DOS  
RECURSOS NATURAIS DA BACIA DO RIO TIMONHA**

Estudo Hidrológico do Açude Itaúna

**TEC CONSULT**

FORTALEZA  
JANEIRO 1995

# GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

## SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

### PLANO DE APROVEITAMENTO MÚLTIPLO DOS RECURSOS NATURAIS DA BACIA DO RIO TIMONHA

### ESTUDOS HIDROLÓGICOS DO AÇUDE ITAÚNA



SECRETARIA DOS  
RECURSOS HÍDRICOS - BRH



TEC-CONSULT LTDA

0167/02/A  
ex.1

LT - Consultoria, Pr

Lote 016702 Pres. X. Sean G. ...

Projeto Nº 0167/02/B

Volume

Qtd. A1

Qtd. A2

Qtd. A3

Qtd. A1

Qtd. A2

Qtd. A3

tda.

# GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

## SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

### PLANO DE APROVEITAMENTO MÚLTIPLO DOS RECURSOS NATURAIS DA BACIA DO RIO TIMONHA

ESTUDOS HÍDRICOS

### ESTUDOS HIDROLÓGICOS DO AÇUDE ITAÚNA



TEC-CONSULT LTDA



TEC-CONSULT - Consultoria, Projetos, Irrigação, Comércio e Representações Ltda.

Novembro de 1995

600303



**SUMÁRIO**

000004



## SUMÁRIO

	Página
<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>3</b>
<b>2 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA.....</b>	<b>5</b>
<b>3 - CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....</b>	<b>7</b>
3 1 - ASPECTOS METEOROLÓGICOS	8
3 2 - REGIME PLUVIOMÉTRICO	8
3 3 - ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DAS CHUVAS	11
3.3 1 - Análise da Frequência Anual..	11
3 3.2 - Análise da Frequência Mensal.....	11
3 3.3 - Análise da Frequência Diária.....	11
<b>4 - ESTUDO DOS DEFLÚVIOS .....</b>	<b>13</b>
4 1 - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	14
4 2 - CÁLCULO DO DEFLÚVIO	16
4 3 - VOLUME MÉDIO AFLUENTE ANUAL	17
<b>5 - ESTUDO DAS CHEIAS.....</b>	<b>24</b>
5 1 - DETERMINAÇÃO DAS CHUVAS PARA OS PERÍODOS DE RETORNO CONSIDERADOS	25
5 2 - DETERMINAÇÃO DAS CHEIAS DE PROJETO	30
5 3 - CÁLCULO DA PRECIPITAÇÃO EFETIVA	32
5 4 - DETERMINAÇÃO DO HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE	33
<b>6 - ESTUDO DE REGULARIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO .....</b>	<b>37</b>
<b>7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>42</b>



**APRESENTAÇÃO**

Este documento consolida o capítulo Estudos Hidrológicos do Açude Itaúna, executado através do Contrato Nº 41/95 firmado entre a TEC-CONSULT - Consultoria, Projetos, Irrigação, Comércio e Representações Ltda e a SRH - Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, sobre a elaboração do Plano de Aproveitamento Múltiplo dos Recursos Naturais da Bacia do Rio Timonha

Fortaleza, novembro de 1995



**1 - INTRODUÇÃO**





Os estudos hidrológicos desenvolvidos para o Projeto da Barragem Itaúna tiveram os seguintes objetivos

- Dimensionar hidrológicamente a capacidade da barragem e determinar seu poder de *regularização de ações*,
- Dimensionar o sangradouro para escoamento de vazões de pico de cheia de até 1 000 anos de período de retorno

No âmbito do primeiro objetivo, tomou-se como base as informações do Plano Estadual dos Recursos Hídricos (Secretaria dos Recursos Hídricos, 1992) para o estudo dos deflúvios afluentes ao local da barragem

No contexto do segundo objetivo, foram determinados os hidrogramas para cheias de 100, 500 e 1 000 anos de período de retorno



## 2 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA



A área da bacia hidrográfica a ser controlada pela Barragem Itaúna é de 771,3 km<sup>2</sup>, que drena o Rio Timonha e seus afluentes

A bacia possui uma parte de sua área na zona litorânea úmida com precipitações variando de 1 000 a 1 400 mm com a pluviometria média na ordem de 800 a 1 000 mm

O regime de chuvas pode ser considerado aproximadamente normal, embora próximo à faixa limitrofe considerada ocorrência normal

Seus principais parâmetros físicos são a seguir enumerados

- Área: 771,3 km<sup>2</sup>
- Perímetro 139,5 km
- Extensão do talvegue 71,75 km
- Coeficiente de Compacidade 1,417
- Fator de Forma 0,15
- Desnível Específico 560 m



### 3 - CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA



### 3.1 - ASPECTOS METEOROLÓGICOS

O regime de chuvas é regulado por três sistemas de tempo sinóptico. As frentes frias, a zona de convergência intertropical (ZCIT), os vértices ciclônicos, além de perturbações locais, a exemplo dos efeitos de ventos, convecção local, etc. A ZCIT é o sistema de tempo mais importante, uma vez que sua influência ocorre sempre no período esperado de maior pluviosidade da região. O deslocamento da ZCIT está fortemente relacionado com a temperatura das águas do Oceano Atlântico.

Devido à sua proximidade com o litoral, a bacia tem um regime pluviométrico relativamente uniforme, o que pode ser constatada através do mapa de ISO-CV (Figura 3.1), onde se observa que a região apresenta índices inferiores a 0,40, relativamente próximos à faixa 0,25, considerada o limite para o regime normal de chuvas.

### 3.2 - REGIME PLUVIOMÉTRICO

A bacia não dispõe de posto pluviométrico e fluviométrico com observações constituindo uma longa série de dados. O posto pluviométrico de Chaval instalado pelo DNOCS em 1913, registra uma falha de observações de 32 anos contínuos, sendo por este motivo descartado.

O Plano Estadual dos Recursos Hídricos (PERH) fundamentou todos os seus estudos relativos a Bacia do Rio Coreaú do posto de Granja (Quadro 3.1). Este dispõe da mais longa série de observações dentre aqueles postos selecionados para a bacia.

**QUADRO 3.1 - CARACTERIZAÇÃO DO POSTO PLUVIOMÉTRICO SELECIONADO**

Nome do Posto	Código	Localização Geográfica	Pluviometria Anual (mm)	Área da Bacia (km <sup>2</sup> )	Volume Precipitado (hm <sup>3</sup> )
Granja	2768235	3° 07' 08" e 40° 49' 34"	1 179,4	1 851,4	2 187

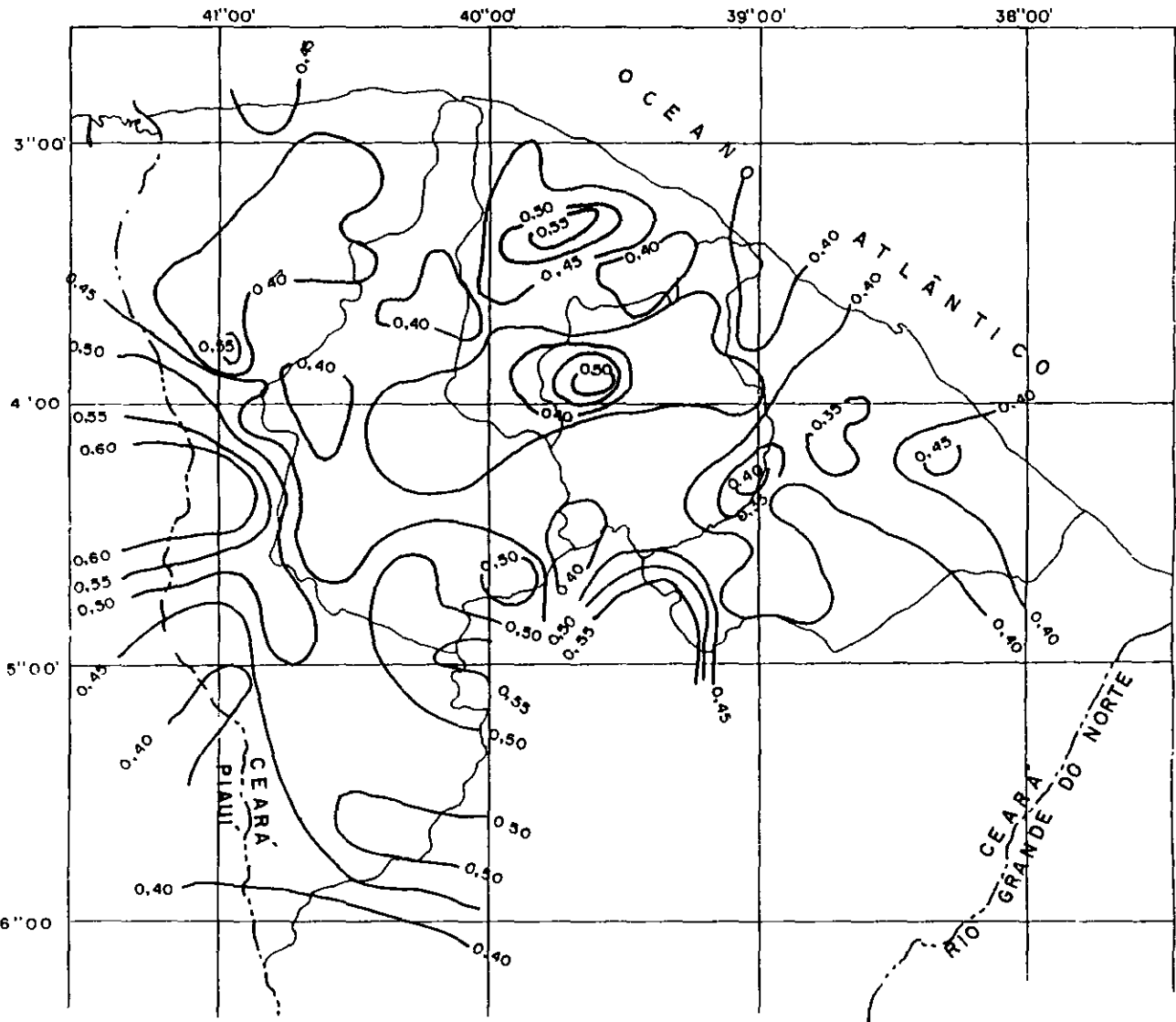
O regime pluviométrico foi estudado a nível anual, mensal e diário.

O PERH realizou a análise de consistência de dados, considerando a metodologia apropriada para os três tipos de série. Assim, os dados foram consistidos para o tratamento a nível anual, mensal e diário. Para todos estes tipos de tratamento foram realizados estudos de correção de dados, preenchimento de falhas e estudos de frequência.

O mês mais chuvoso é março com 27 % da pluviometria, o bimestre mais chuvoso é março e abril, que concentra 50 % do total e, o trimestre mais chuvoso - fevereiro, março e abril - com 67 % da precipitação anual. No primeiro semestre ocorre mais de 90 % da pluviometria anual.

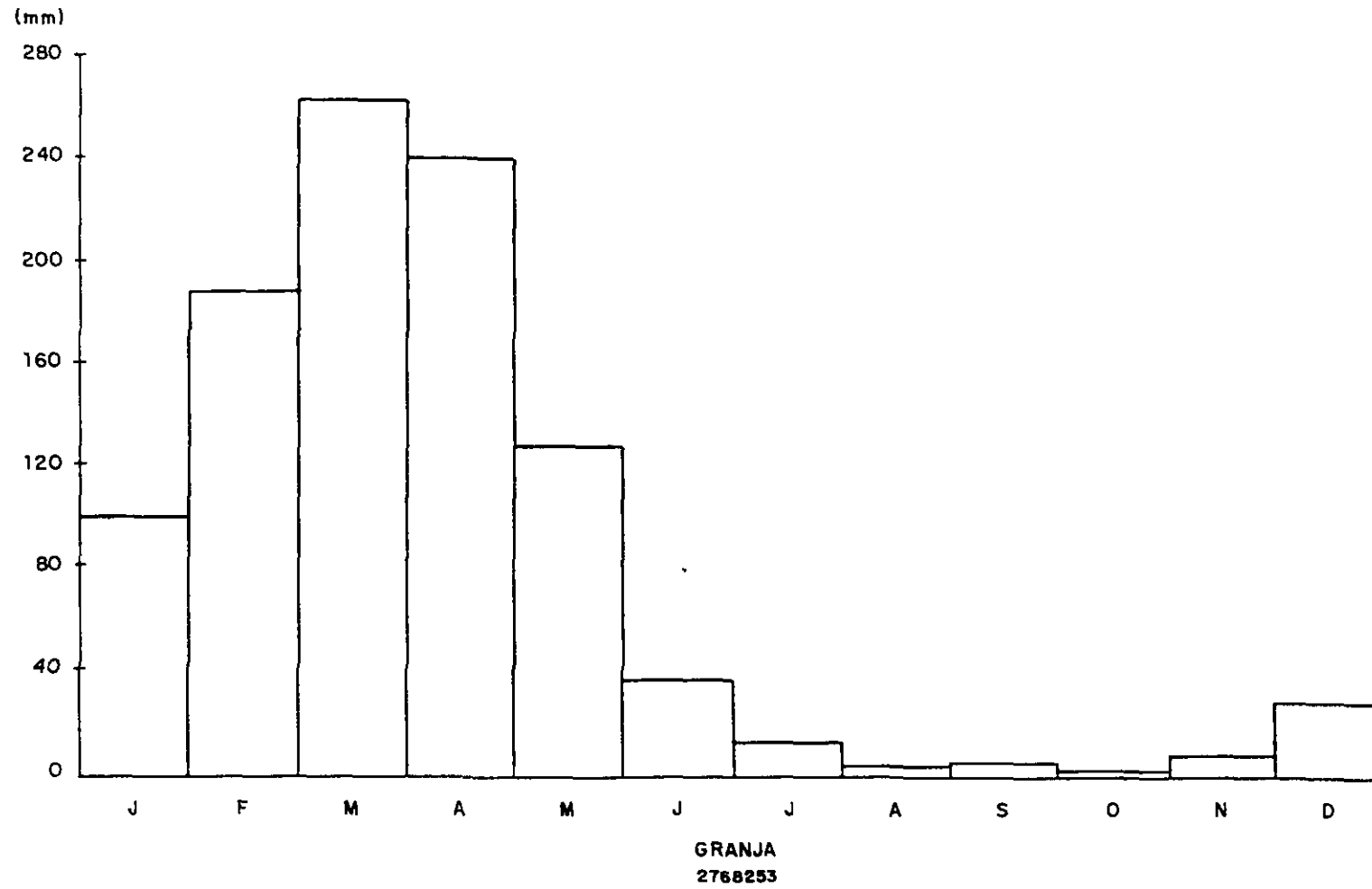
A Figura 3.2 apresenta o hietograma do Posto de Granja.

FIGURA 3.1 - MAPA ISO-CV's Anuais



Fonte: PERH, Estudos de Base I, 1992

FIGURA 3.2 - HIETOGRAMA DO POSTO DE GRANJA



FONTE: PERH, ESTUDOS DE BASE I, 1992

### 3.3 - ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DAS CHUVAS

#### 3.3.1 - Análise da Frequência Anual

O Quadro 3.2 mostra a análise de frequência da precipitação anual do posto em Granja, a média de precipitação é de 1179,4 mm e as precipitações para diferentes períodos de retorno são estimadas usando a distribuição de probabilidade de Pearson III

#### 3.3.2 - Análise da Frequência Mensal

O Quadro 3.3 mostra a análise de frequência da precipitação mensal do posto em Granja, a média de precipitação mensal varia de 130 a 264 mm para a quadra chuvosa. As precipitações mensais da quadra chuvosa são estimadas para diferentes períodos de retorno usando a distribuição de probabilidade de Pearson III

#### 3.3.3 - Análise da Frequência Diária

Neste procedimento, buscou-se avaliar a frequência de ocorrência de no mínimo  $n$  dias de chuva em cada mês,  $n$  variando de 1 a 25 dias, e finalmente, procurou-se avaliar a distribuição frequencial das precipitações máximas diárias que comprovam a magnitude da intensidade desses eventos

Em relação ao nível diário, constatou-se que, em média, nos meses que compõem o trimestre mais úmido, a frequência de dias de chuva é normalmente elevada (Quadro 3.4). Ela varia de valores mínimos, não muito frequentes, inferiores a 25%, até limites que chegam a superar 70%, com predominância em torno de 50%. Isto significa que o número esperado de dias de chuva vai de 8 a 9 dias, no mês úmido de menor índice, até cerca de 20 dias naquele mais chuvoso

**QUADRO 3.2 - PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS ANUAIS**

Posto	Média (mm)	Análise de Frequência P (X > X <sub>p</sub> )									
		Períodos de Retorno / Frequência									
		1/1,00	2/0,500	5/0,200	10/0,100	20/0,050	50/0,020	80/0,013	90/0,011	98/0,010	99/0,010
Granja	1 071	443	504	538	640	688	1 001	1 372	1 610	2 110	2 313

**QUADRO 3.3 - ANÁLISE DA FREQUÊNCIA MENSAL**

Mês	Média (mm)	Análise de Frequência P (X > X <sub>p</sub> )									
		Períodos de Retorno / Frequência									
		5/0,200	10/0,100	15/0,067	20/0,050	25/0,040	30/0,033	40/0,025	50/0,020	75/0,013	100/0,010
Fevereiro	189,995	294,28	353,70	385,15	406,24	422,21	434,88	454,38	469,27	495,28	513,63
Março	263,709	365,86	425,51	457,19	478,48	494,61	507,42	527,16	542,24	568,63	587,26
Abril	241,288	333,34	391,32	422,05	442,69	458,32	470,72	489,83	504,42	529,94	547,95
Maior	129,823	204,09	269,91	307,42	333,56	353,85	370,25	396,00	416,06	451,94	477,86





**QUADRO 3.4 - ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE CHUVA**

Posto	Mês	Frequências de pelo Menos $n$ Ocorrências de Chuva										Frequências Mensais		
		$n = 1$	$n = 2$	$n = 4$	$n = 8$	$n = 12$	$n = 15$	$n = 18$	$n = 20$	$n = 22$	$n = 25$	HDC	HID	$f$
2768235	Jan	98,3	98,6	88,1	54,2	17,0	11,9	5,1	3,4	3,4	0,0	490	1 829	26,8
	Fev	100,0	91,3	98,3	77,6	60,3	37,9	31,0	13,0	6,9	0,0	748	1 639	45,6
	Mar	100,0	100,0	100,0	94,9	83,1	69,5	54,2	39,0	27,1	8,5	1 017	1 829	55,6
	Abr	100,0	100,0	98,3	94,9	76,3	59,3	47,5	32,2	22,0	6,8	978	1 770	55,3
	Mai	100,0	96,6	91,5	66,1	35,6	22,0	11,9	3,4	3,4	1,7	601	1 829	32,9
	Jun	86,9	75,4	50,8	9,8	1,8	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	233	1 830	12,7
	Jul	50,8	37,3	11,9	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	88	1 829	4,8
	Ago	15,8	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16	1 767	0,9
	Set	8,6	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8	1 740	0,5
	Out	10,2	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9	1 829	0,5
	Nov	29,8	15,8	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38	1 710	2,2
	Dez	53,5	39,7	22,4	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	103	1 798	5,7

FONTE PERH



**4 - ESTUDO DOS DEFLÚVIOS**



#### 4.1 - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

A bacia não dispõe de nenhuma informação de descarga de seus rios, o que descarta por completo a possibilidade de se empregar qualquer método estatístico com base em séries históricas. Utilizou-se, por transferência, neste estudo, as vazões geradas no posto fluviométrico de Granja, na bacia do rio Coreaú.

O modelo de simulação hidrológica utilizado foi o MODHAC (Modelo Hidrológico Autocalibrável), que compreende a geração de séries históricas de deflúvios de longa duração para estações fluviométricas ou açudes de maior porte e, a definição de expressões de regionalização do deflúvio médio. O seu ajustamento depende da fidedignidade dos parâmetros utilizados na calibragem do modelo, por serem representativos das características hidrofísicas da bacia.

O MODHAC, com intervalo de cômputo diário, tem como característica mais notável, segundo seus próprios autores, a "possibilidade de ter seus parâmetros ajustados automaticamente, visando ajustar as vazões calculadas às vazões observadas". A Figura 4.1 mostra o esquema do MODHAC.

O posto de Granja, na bacia do rio Coreaú, possui a mais longa série contínua de observações fluviométricas dentre as bacias do Bloco 2, estudadas para o PERH (Figuras 4.2 a 4.6). O posto foi classificado como de qualidade comprovada, atestada em estudos hidrológicos específicos, sendo por este motivo calibrado seus dados calibrados, ajustados e utilizados na obtenção de dados de deflúvios.

**QUADRO 4.1 - SÍNTESE DA CALIBRAGEM DO POSTO FLUVIOMÉTRICO DE GRANJA**

RSPX	RSSX	IMAX	IMIN	IPEC	ASP	ASS	CEVA	RSBX	ASB	Período de Calibragem		Qualidade Global da Calibragem
										Vol. obs (mm)	Vol. Calc (mm)	
205,5	209,6	18,67	6,15	0,7920	0,001	0,0043	0,8454	-	-	2424	2425	Bom

Os parâmetros de ajustamento aplicados aos dados observados em Granja, produziram resultado superior ao da própria calibragem (Figura 4.7).

- 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 açudagem difusa,
- RSSX é a capacidade máxima do reservatório subsuperficial. 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 e, 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 subsuperficial

#### 4.2 - CÁLCULO DO DEFLÚVIO

Segundo o procedimento acima especificado, foram obtidas suas informações de deflúvio para o posto de Granja (248 mm e 230,2 mm), correspondentes aos dois períodos de observação considerados. O resultado da série mais longa de observações produziu deflúvio 8% superior à aquele produzido pela série de 11 anos (Quadro 4.2)

**QUADRO 4.2**

**SÍNTESE DOS PARÂMETROS MÉDIOS PARA O POSTO FLUVIOMÉTRICO DE GRANJA**

Série	Parâmetros Médios das Séries			Parâmetros Médios da Série 1974 a 1985		
	Pluviometria (mm)	Deflúvio (mm)	Coefficiente de Escoamento (%)	Pluviometria (mm)	Deflúvio (mm)	Coefficiente de Escoamento (%)
1912-88	1 179,4	248,5	21,1	1 151,8	230,2	20,0

Fonte: PERH

#### Características Gerais da Bacia do Timonha no Boqueirão Itauna

Área da Bacia Hidrográfica 771,3 km<sup>2</sup>

Comprimento do talvegue 71,75 km

Perímetro da bacia 139,5 km

Coefficiente de Compacidade,  $K_c = 1,417$

Fator de Forma,  $K_f = 0,15$

O Coeficiente de Compacidade (adimensional) é determinado por

$$K_c = \frac{P}{2\pi r} \quad (4.1)$$

Onde P é o perímetro da bacia e r é o raio

$$A = \pi r^2 \quad (4.2)$$



$$\text{De (4 2), } r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{771,3}{\pi}} \quad r = 15,669 \text{ km}$$

$$\text{De (4 1), } K_c = \frac{139,5}{2\pi 15,669}, \text{ então } K_c = 1,1417$$

Ja o Fator de Forma (adimensional) é calculado pela equação abaixo

$$K_f = \frac{\bar{L}}{L} \quad (4 3)$$

Onde  $\bar{L}$  = Largura média

$$\bar{L} = \frac{A}{L}$$

$$\text{De (4 3), } K_f = \frac{A}{L^2} = \frac{771,3}{71,75^2}, \text{ então } K_f = 0,15$$

#### 4 3 - VOLUME MÉDIO AFLUENTE ANUAL

O volume médio afluente anual foi obtido com a aplicação da média dos deflúvios das duas séries de deflúvios estudadas para o posto de Granja, mostradas no item anterior

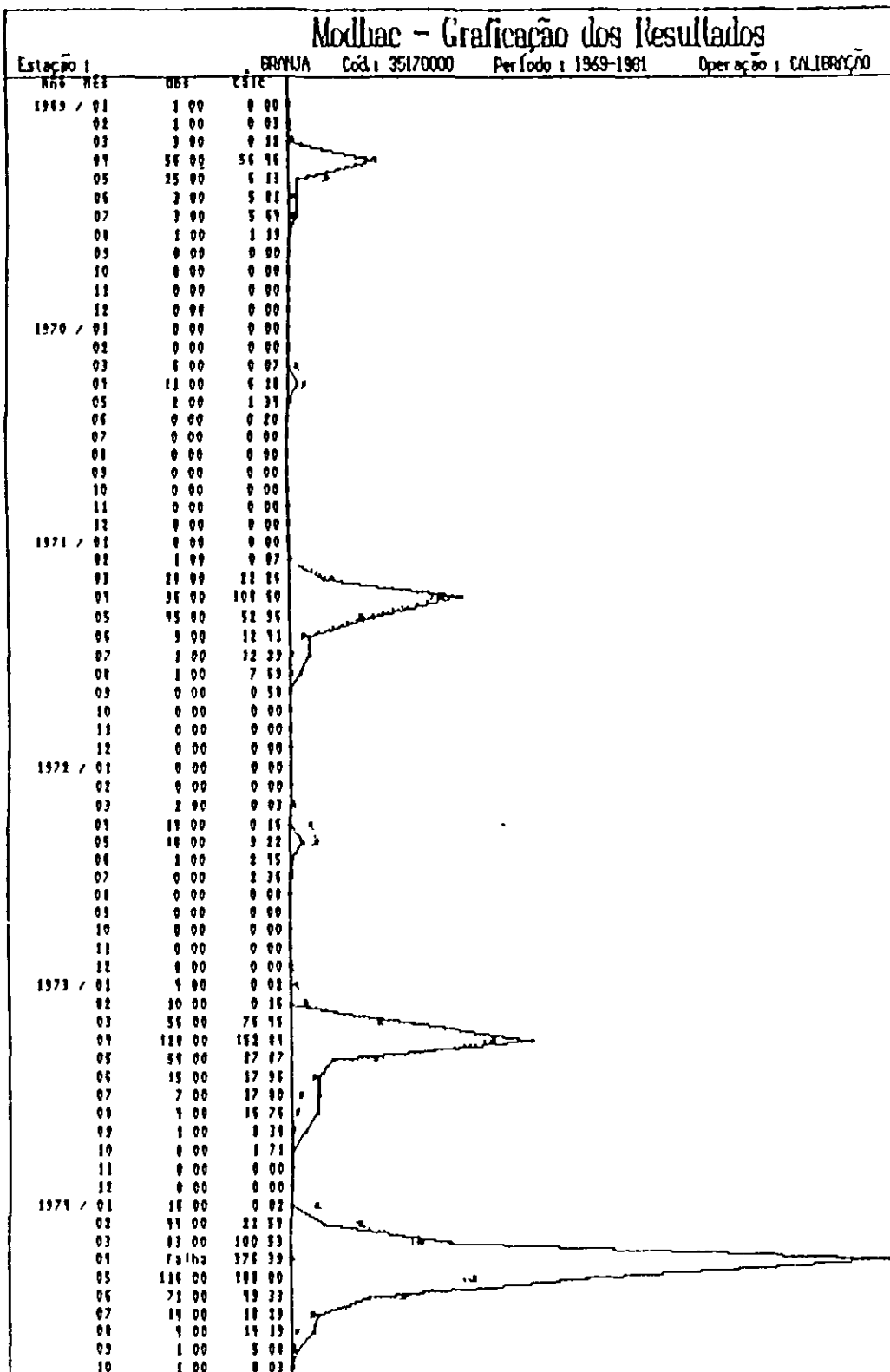
$$V_a = A \times H \quad (4 4)$$

Onde A é a área da bacia hidrográfica e H é a altura do escoamento

Neste caso, A = 771,3 km<sup>2</sup> e H = 239,35 mm

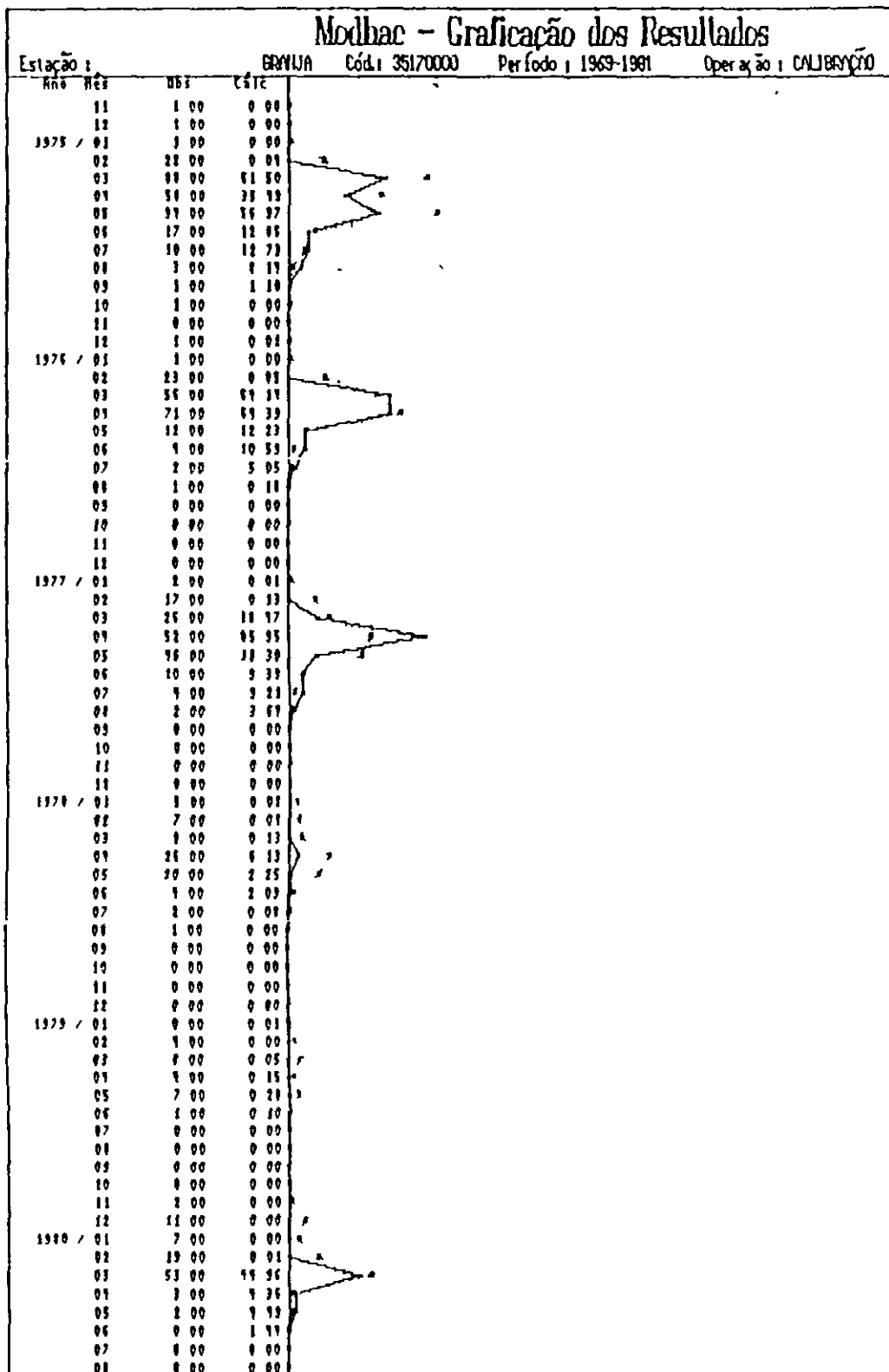
Então de (4 4),  $V_a = 184 610 655 \text{ m}^3$

FIGURA 4 2 Estudo dos Deflúvios, Ajustamento do MODHAC, Período 1969 - 1981



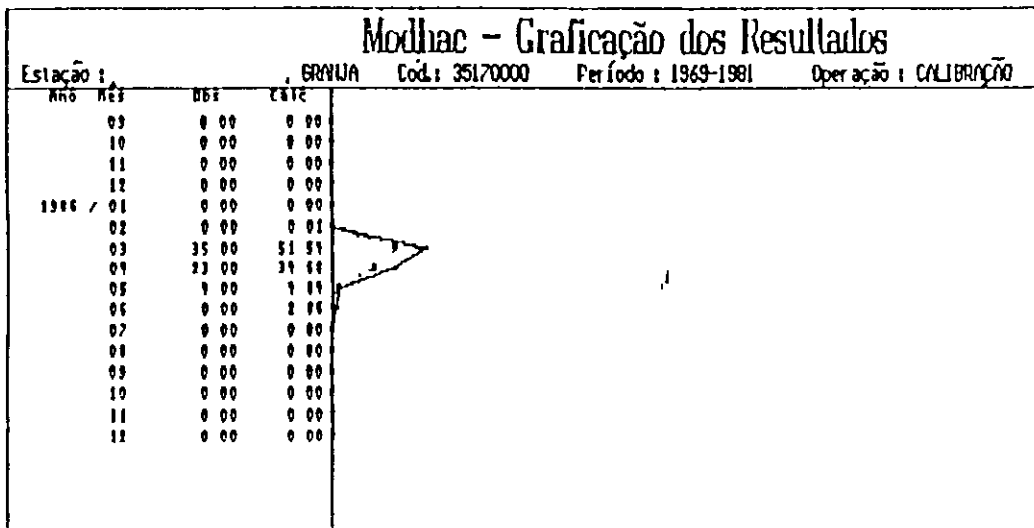
Forte: PERH, Estudos de Base I, 1992

FIGURA 4.3 Estudo dos Deflúvios, Ajustamento do MODHAC, Período 1969 - 1981



Fonte: PERH, Estudos de Base I, 1992

FIGURA 4 4 Estudo dos Deflúvios, Ajustamento do MODHAC, Período 1969 - 1981



Fonte: PERH, Estudos de Base I, 1992



FIGURA 4 5 Estudo dos Deflúvios, Ajustamento do MODHAC, Período 1978 - 1988

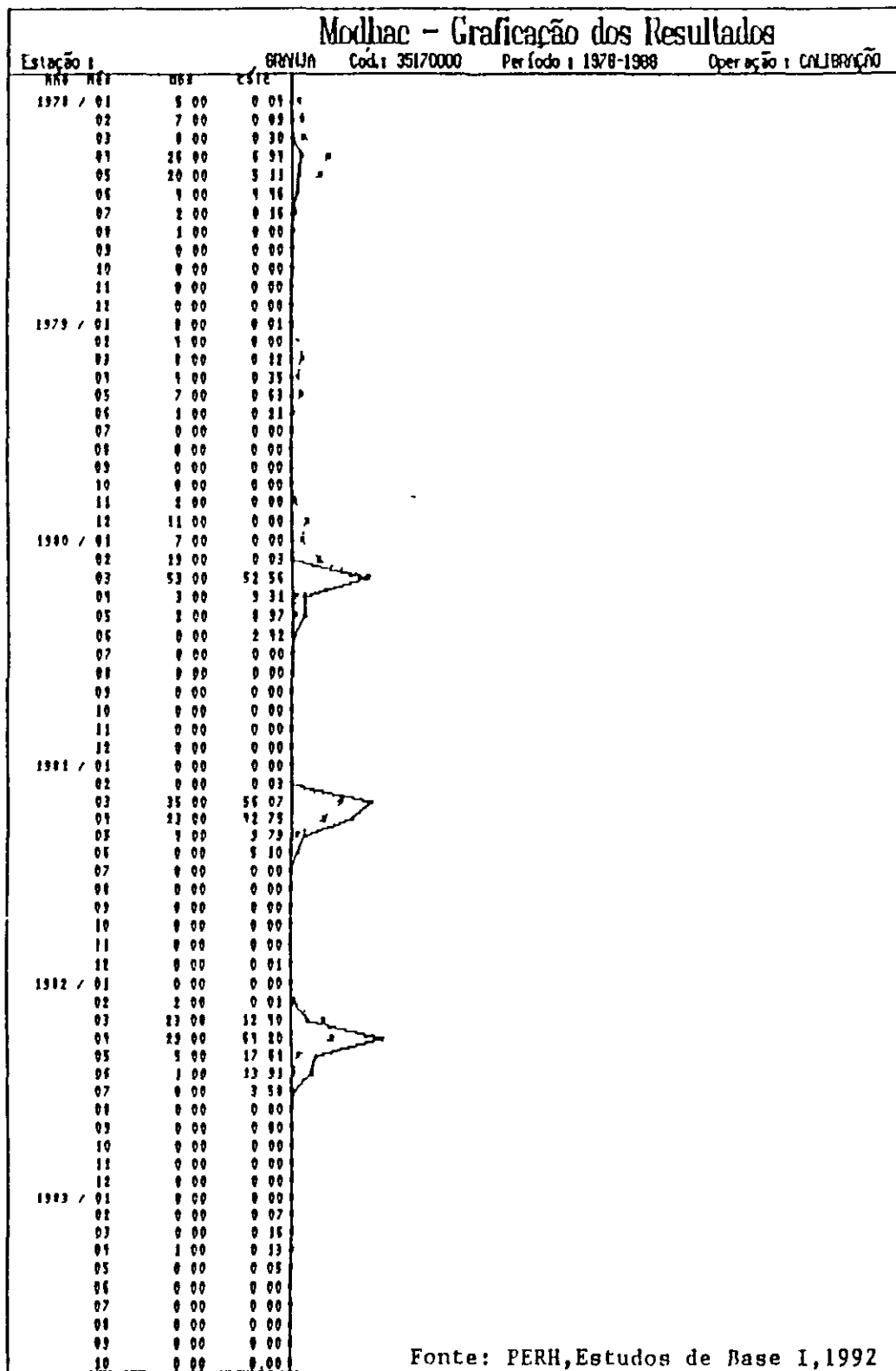


FIGURA 4.6 Estudo dos Deflúvios, Ajustamento do MODHAC, Período 1978 - 1988

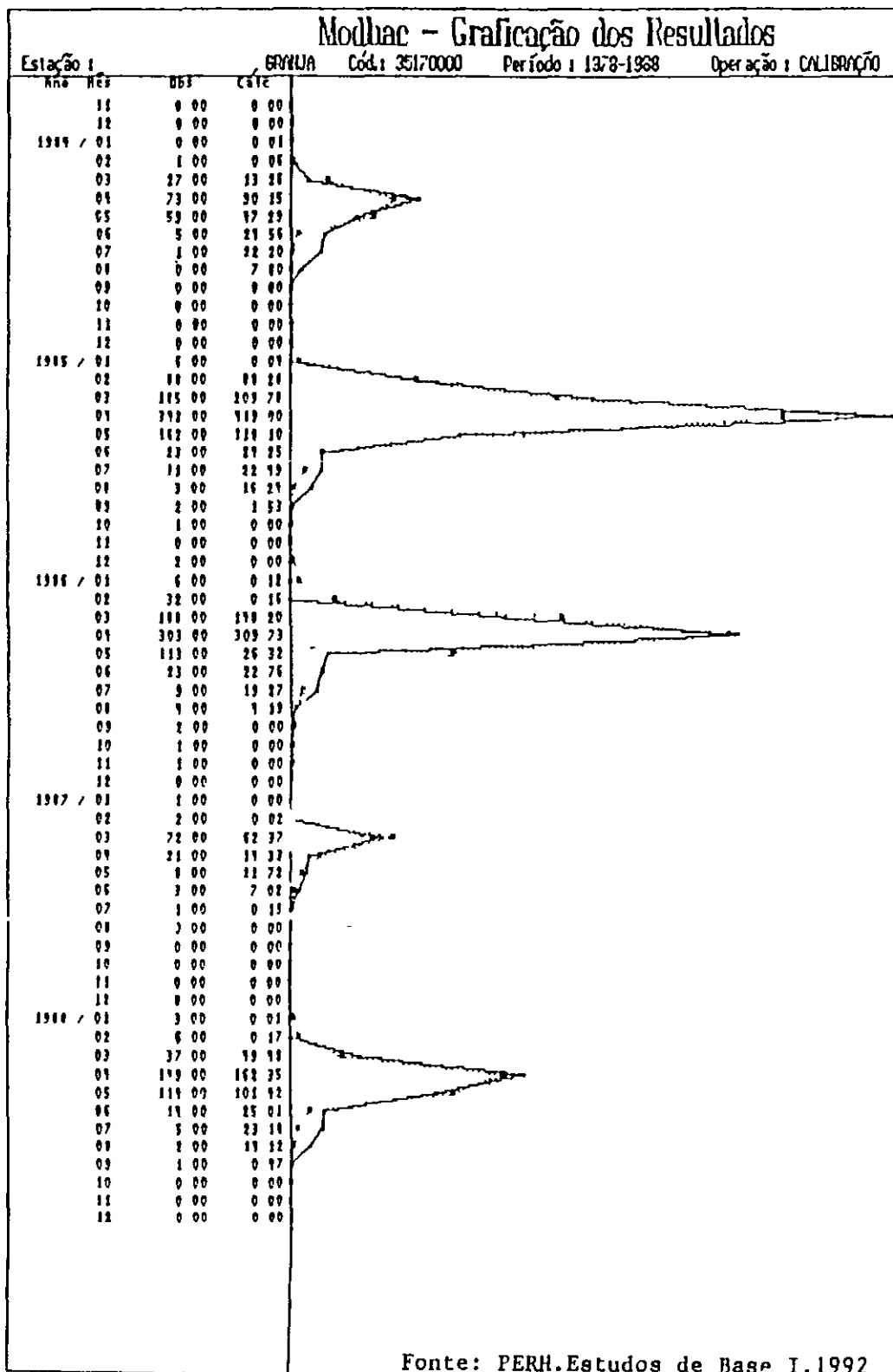
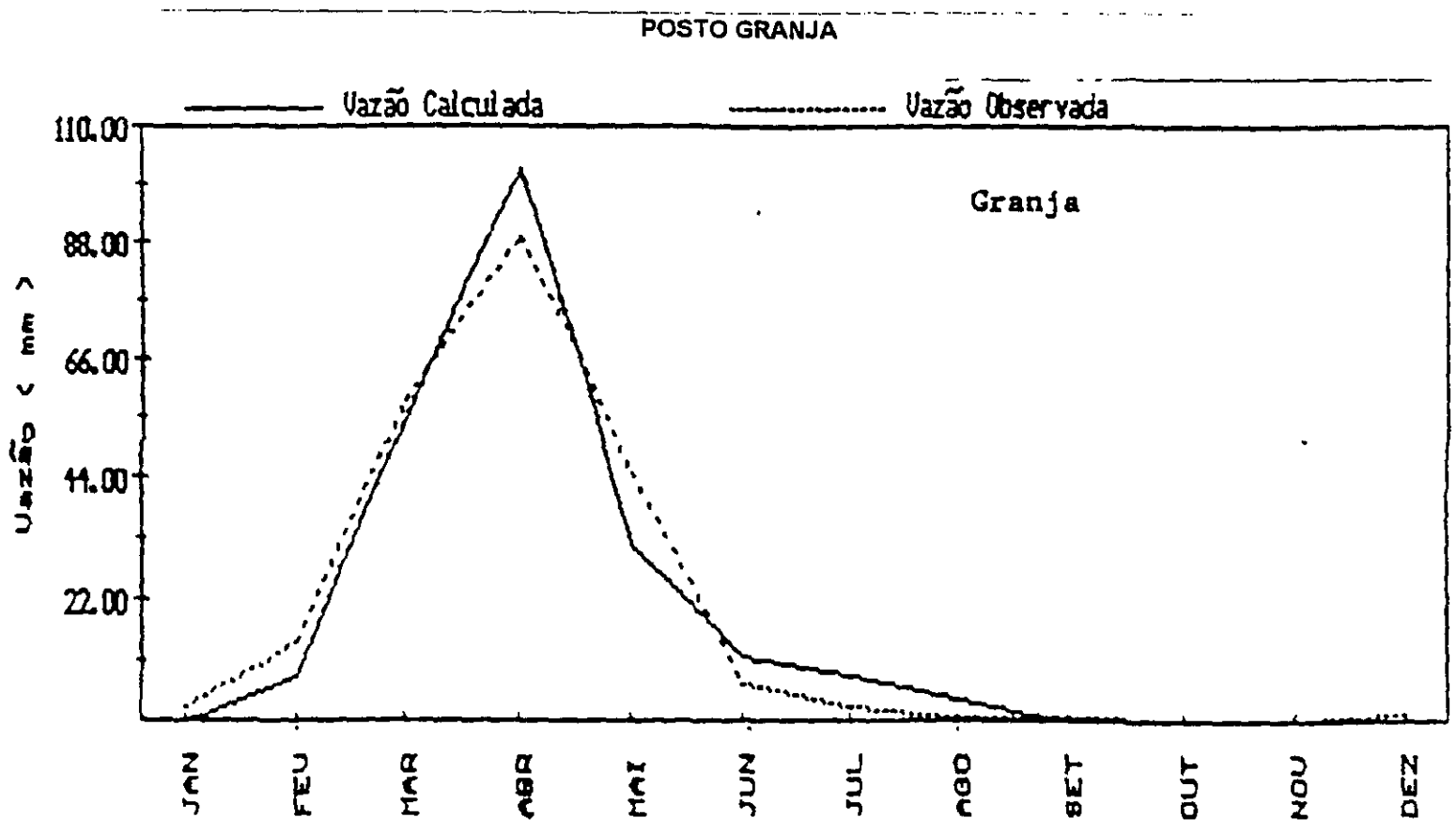


FIGURA 4 7 Vazão Calculada x Vazão Observada



Fonte: PERH, Estudos de Base I, 1992

060027



**5 - ESTUDO DAS CHEIAS**



## 5.1 - DETERMINAÇÃO DAS CHUVAS PARA OS PERÍODOS DE RETORNO CONSIDERADOS

Nesta fase foram determinados os elementos necessários para o projeto e dimensionamento do vertedouro, com a avaliação dos níveis de água na soleira do sangradouro para cheias com período de retorno de 100, 500 e 1 000 anos

Para determinação das precipitações intensas foi utilizado o método das isozonas desenvolvido pelo prof. Taborga Torrico. Esta metodologia consiste em elaborar estudos estatísticos de uma série de chuvas diárias para, através de um processo de desagregação e regionalização, estimar as precipitações de menores durações (1h, 6 min, etc.)

Os cálculos foram feitos obedecendo a sequência descrita a seguir:

- a Seleção do posto pluviométrico,
- b Compilação dos dados de máximas chuvas diárias,
- c Estudo probabilístico das precipitações diárias,
- d Cálculo da chuva virtual de 24 hs (P24h),
- e Determinação de isozona correspondente a região do projeto,
- f Determinação da chuva pontual de 1 hora de duração para os períodos de recorrência de 100, 500 e 1 000 anos,
- g Conversão da chuva pontual para chuva em toda a bacia

A seguir são apresentados os dados e os resultados

- a O posto selecionado foi o de Granja (2768235), por ser o mais próximo do local e por apresentar o maior número de dados. Instalado em 1911 pelo DNOCS, o posto Granja fica localizado no município de Granja, nas coordenadas 3°07'S e 40°50'W. Este posto possui observações diárias de precipitação de 1911 a 1988, com algumas falhas. Foram extraídas as observações de precipitação máxima diária anual entre 1913 e 1977, com falhas nos anos 1951, 1955 - 1961 e 1973 - 1975.

**QUADRO 5.1**  
**PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL NO POSTO GRANJA**

Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)
1913	66,7	1931	57,0	1949	41,3
1914	55,6	1932	49,0	1950	48,2
1915	74,2	1933	55,0	1952	57,4
1916	75,4	1934	58,0	1953	43,2
1917	68,1	1935	70,6	1954	102,8
1918	62,7	1936	55,8	1962	91,4
1919	45,9	1937	55,5	1963	54,0
1920	96,0	1938	49,5	1964	82,2
1921	65,0	1939	58,5	1965	98,0

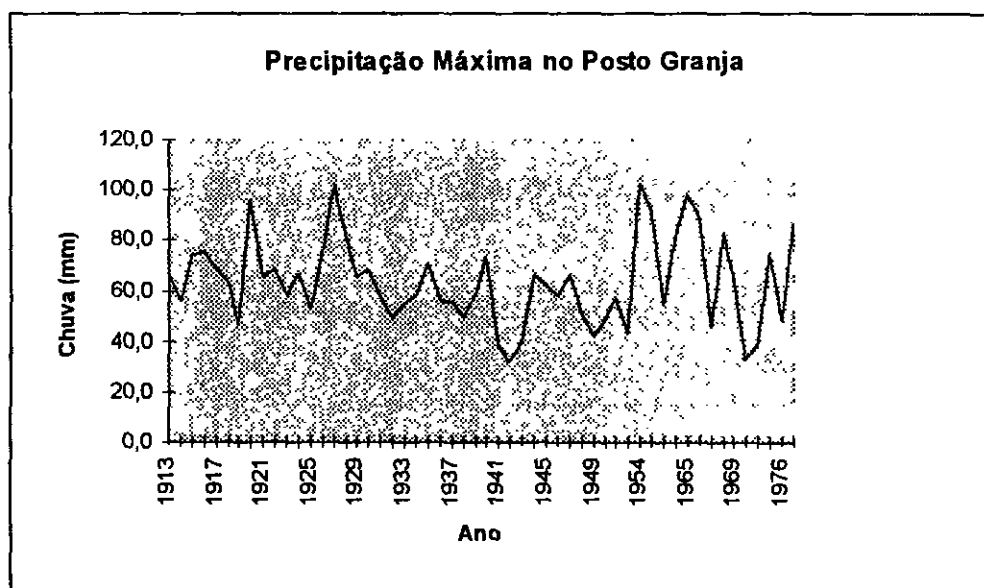


Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)
1922	68,5	1940	73,0	1966	89,4
1923	58,0	1941	38,0	1967	45,4
1924	67,0	1942	31,4	1968	82,6
1925	52,7	1943	40,0	1969	65,0
1926	75,0	1944	65,8	1970	32,6
1927	102,0	1945	62,2	1971	39,3
1928	81,0	1946	58,0	1972	75,0
1929	65,0	1947	65,7	1976	47,4
1930	68,0	1948	50,7	1977	87,0

- b Os dados de chuva máxima diária anual que compõem a série para o estudo das cheias são apresentados na Tabela 5 1, e a série temporal é graficamente representada na Figura 5 1

FIGURA 5.1

## SÉRIE TEMPORAL DE PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL NA ESTAÇÃO GRANJA



- c A série observada foi ajustada à Lei de Distribuição de Pearson III. Esta distribuição normalmente se ajusta bem à dados hidrológicos como precipitação e vazão. Ela é assimétrica e não admite valores negativos. Os seus parâmetros são

$$- \text{Média aritmética } \bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}, \quad (5.1)$$

Onde  $X_i$  é a observação  $i$  e  $n$  é o número de observações

$$- \text{Desvio padrão } \hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (5.2)$$

$$- \text{Coeficiente de obliquidade de Pearson } C_o = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^3}{2\sigma \sum (X_i - \bar{X})^2} \quad (5.3)$$



- Que com o ajustamento feito for Hazen é igual a  $C_o = \left(1 + \frac{8,5}{n}\right) C_o$  (5.4)

Obtivemos então os seguintes parâmetros Média igual a 63,4 mm, desvio padrão igual a 17,4 mm e coeficiente de obliquidade igual a 0,06 De acordo com estes dados, foram obtidos os valores de precipitação diária para os períodos de retorno de 100, 500 e 1 000 anos (Quadro 5.2)

- d As chuvas de 24 horas (P24h) foram obtidas multiplicando-se as precipitações diárias pelo fator 1,095, valor este obtido pelo Prof. Taborga Torrico para correlacionar as precipitações nas estações pluviométricas com as isozonas. As precipitações diárias e chuvas de 24 hs estimadas para o período de retorno de 100, 500 e 1 000 anos são mostradas na Quadro 5.2

**QUADRO 5.2**  
**PRECIPITAÇÃO DIÁRIA EM (mm) PARA PERÍODOS DE RETORNO DE 100, 500 E 1.000 ANOS**

Período de Retorno (anos)	Precipitação Diária (mm)	Chuva 24 hs (mm)
100	117,2	128,3
500	136,8	149,8
1 000	145,2	159,0

- e A Figura 5.2 mostra que o posto Granja está localizado na isozona C
- f As precipitações intensas pontuais de 1 hora de duração (Quadro 5.3), para os períodos de retorno de 100, 500 e 1 000 anos, foram obtidas multiplicando-se a chuva de 24 horas pela relação R. Os valores de R foram extraídos da tabela da Figura 5.2

**QUADRO 5.3**  
**PRECIPITAÇÕES INTENSAS PONTUAIS DE 24 HORAS E DE 1 HORA PARA OS PERÍODOS DE RETORNO DE 100, 500 E 1.000 ANOS EM GRANJA**

Período de Retorno (anos)	Chuva 24 horas (mm)	Relação R (%)	Chuva 1 hora (mm)
100	128,3	38,4	49,3
500	149,8	37,5	56,2
1 000	159,0	37,2	59,1

- g Os valores das chuvas intensas pontuais da tabela acima referem-se a uma área base de 25 km<sup>2</sup>, a conversão desta chuva pontual para a chuva em toda a área da bacia de interesse é feita através da equação a seguir

$$P_A = P_o \left(1 - \omega \log \frac{A}{A_o}\right) \quad (5.5)$$



Onde,  $P_A$  é a precipitação média sobre a bacia,  $P_o$  é a precipitação no centro de gravidade da bacia, tomada igual a do posto de Granja,  $\omega$  é uma constante que depende do local (igual a 0,22 para a Região Nordeste),  $A$  é a área da bacia hidrográfica, para  $25 \text{ km}^2 < A < 2500 \text{ km}^2$ ,  $A_o$  é a área base ( $25 \text{ km}^2$ ) Sendo a área da bacia igual a  $771,3 \text{ km}^2$ , a equação acima fica

$$\frac{P_A}{P_o} = \left(1 - 0,22 \log \frac{771,3}{25}\right) = 0,67$$

O Quadro 5.3 apresenta os valores obtidos para as chuvas intensas distribuídas ao longo da bacia hidrográfica da Barragem Itaúna

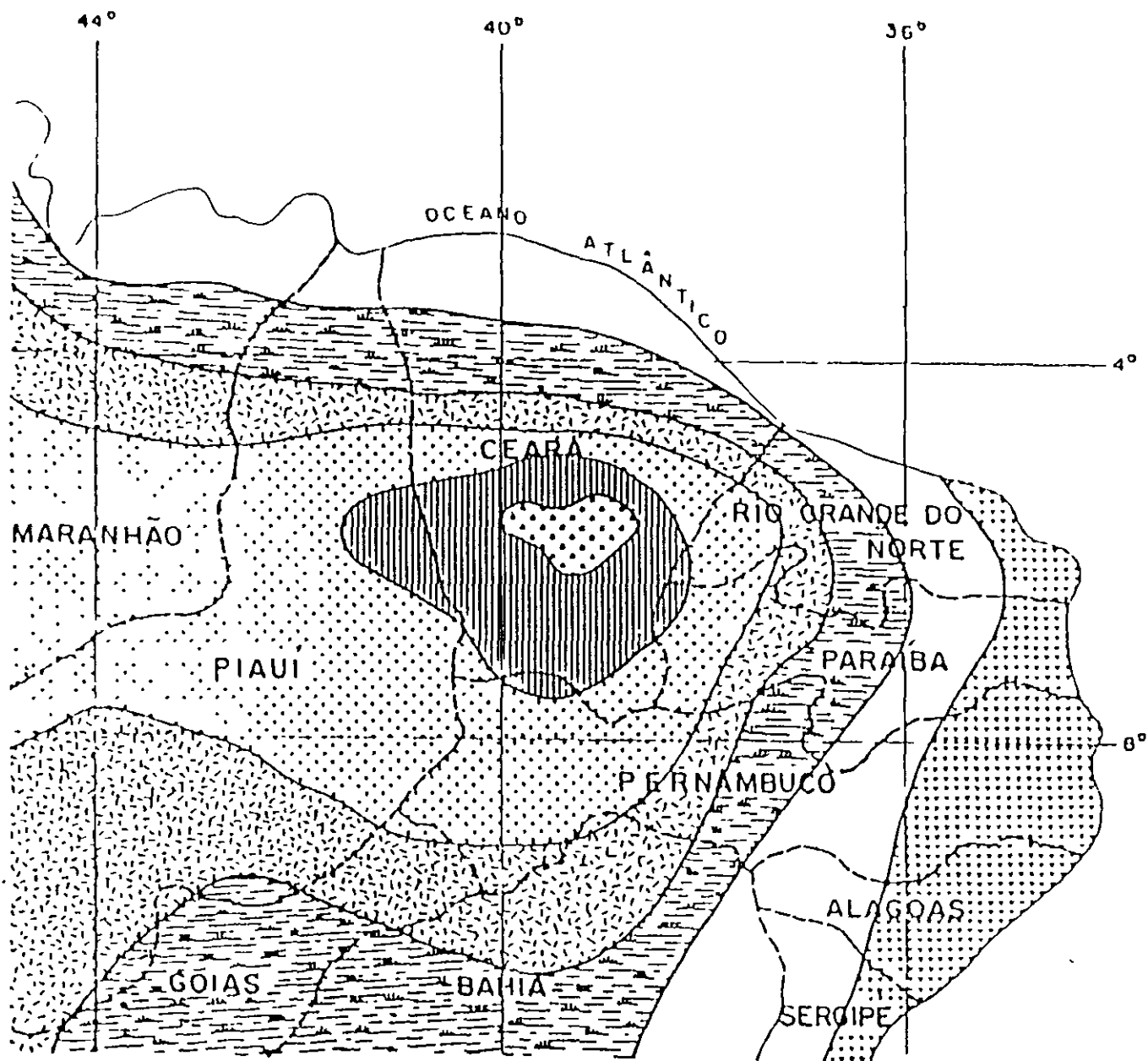
**QUADRO 5.3**  
**CHUVAS INTENSAS DE 24 HORAS E DE 1 HORA DE DURAÇÃO PARA OS PERÍODOS DE**  
**RETORNO DE 100, 500 E 1.000 ANOS, DISTRIBUÍDAS NA BACIA DA BARRAGEM ITAÚNA**

Período de Retorno (anos)	Chuva Distribuída 24 horas (mm)	Chuva Distribuída 1 hora (mm)
100	86,0	33,0
500	100,4	37,7
1 000	106,5	39,6





FIGURA 5.2  
ISOZONAS DO BRASIL



Isozonas de Igual Relação												
Isozona	Tempo de Recorrência em Anos											
	1 Hora / 24 Horas Chuva										6 min 24 h Chuva	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1 000	10 000	5 - 50	100
B	38,1	37,8	37,4	37,4	37,3	37,2	36,9	36,6	35,4	34,3	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,0	39,4	37,2	36,2	9,6	9,0
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,8	11,2	10,0
E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,2	42,6	42,2	40,9	39,6	12,6	11,2
F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,8	44,5	44,1	42,7	41,3	13,8	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,0	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,8	48,6	48,3	47,0	46,3	44,8	16,7	14,9



## 5.2 - DETERMINAÇÃO DAS CHEIAS DE PROJETO

A fórmula para o cálculo do tempo de concentração da bacia ( $t_c$ ) é dada por

$$t_c = 0,95 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (5.6)$$

Onde L é o comprimento do talvegue (km) e H é o máximo desnível do talvegue (m)

Neste caso L = 71,75 km, e H = 560 m, então  $t_c = 11,56$  horas

Adota-se assim  $t_c = 12$  horas

Com o valor do tempo de concentração da bacia, em horas, entramos na curva "altura x duração x frequência" (Figura 5.3) e encontramos as chuvas de projeto para os períodos de retorno de 50, 100 e 1.000 anos (Quadro 5.4)

**QUADRO 5.4**

**CHUVAS DE PROJETO (mm) PARA OS PERÍODOS DE RETORNO DE 100, 500 E 1.000 ANOS**

Período de Retorno (anos)	Chuva de Projeto (mm)
100	72,3
500	83,5
1 000	88,5

O cálculo das cheias de projeto foi feito a partir das chuvas intensas, pelo método indireto, utilizando o critério do Hidrograma Unitário Triangular do *Soil Conservation Service* (S C S), sendo o excesso de precipitação determinado a partir de um parâmetro (N) que define o complexo solo, vegetação

O cálculo é feito como se segue

A vazão de pico do hidrograma unitário, em  $m^3/s/cm$ , é assim definida para uma chuva efetiva igual a 1 cm de altura e para um tempo unitário

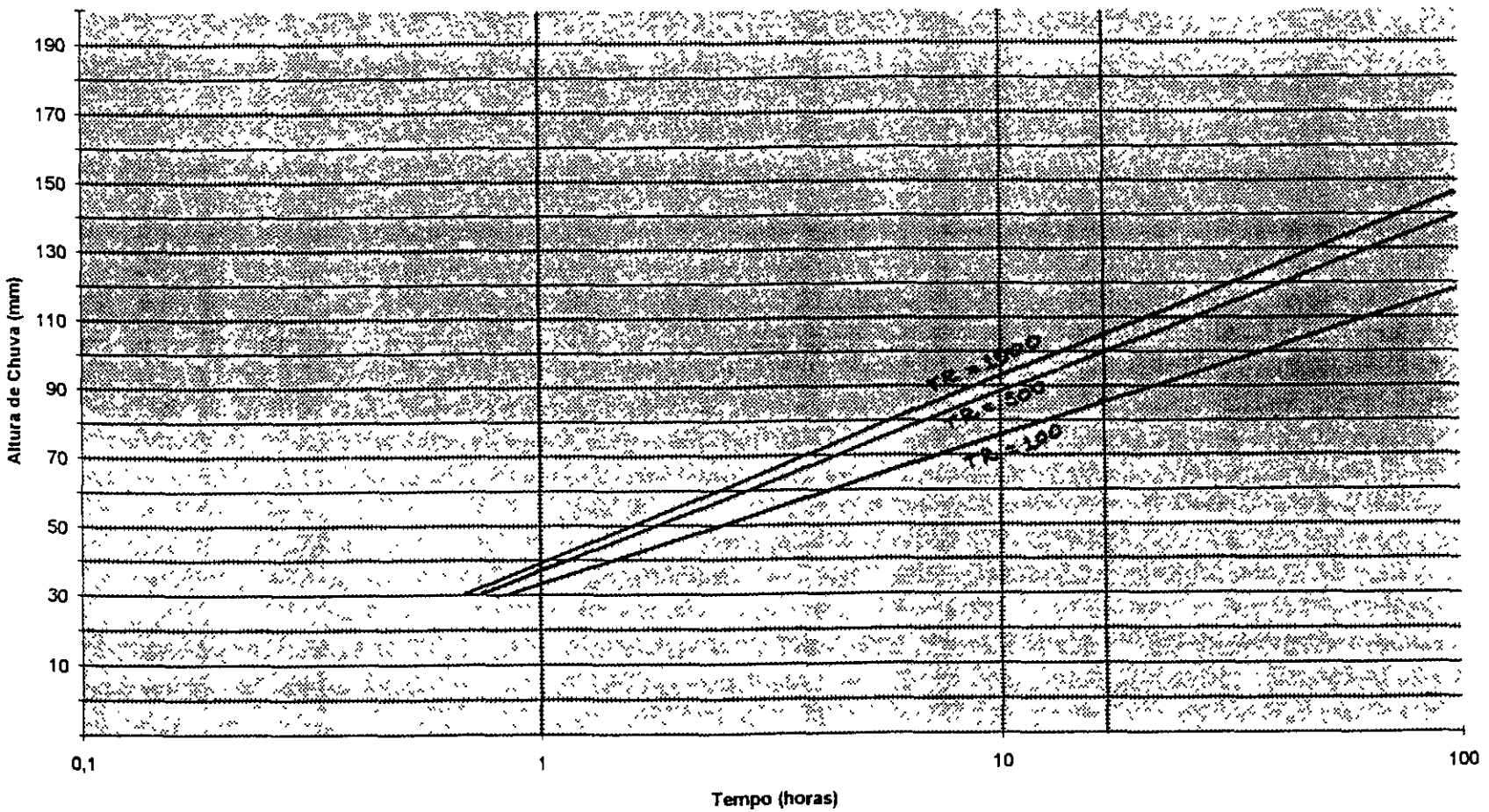
$$q_p = \frac{2,08A}{t_p}, \quad (5.7)$$

Onde  $t_p$  é o tempo de pico, em horas, dado por

$$t_p = \frac{\delta_t}{2} + 0,6t_c, \quad (5.8)$$

$$\delta_t = \frac{t_c}{5} \text{ é o tempo unitário, em horas,} \quad (5.9)$$

FIGURA 5.3 Curva Altura (mm) x Duração (horas) x Freqüência (anos) de Chuva



003035



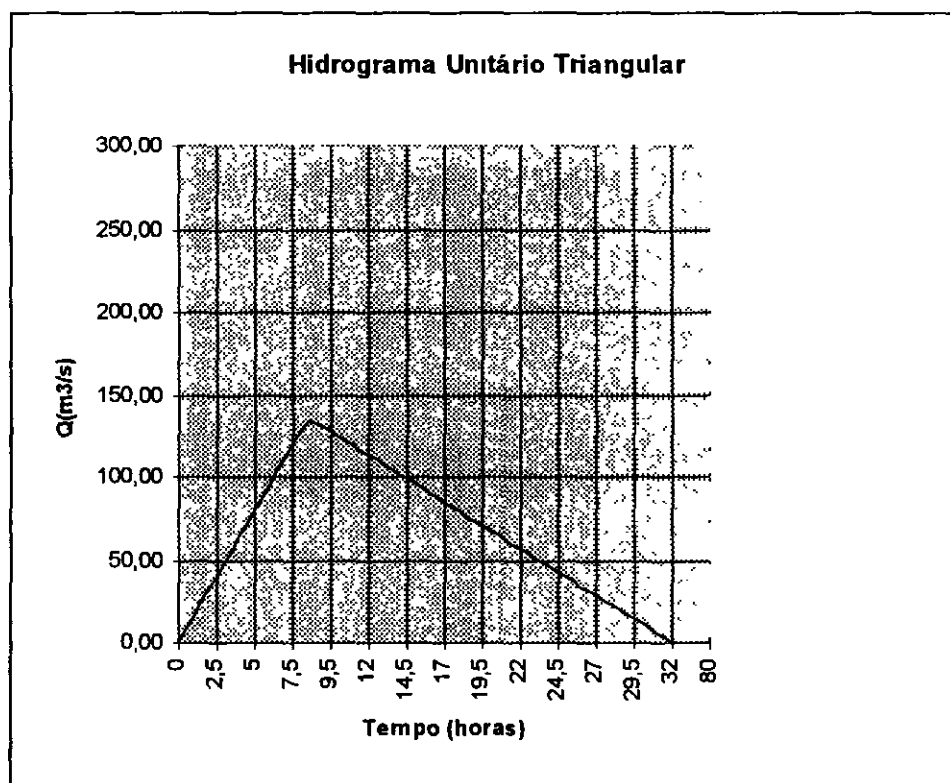
Onde  $t_c$  é o tempo de concentração, em horas. O tempo de base do hidrograma, em horas, é dado por

$$t_b = 2,67t_p \quad (5.10)$$

Neste caso,  $t_c=12$  horas, então  $t_b=32,04$  horas,  $\delta_t=2,4$  horas,  $t_p=8,4$  horas e,  $q_p=133,69 \text{ m}^3/\text{s}/\text{cm}$

Então, já podemos traçar o Hidrograma Unitário Triangular (Figura 5.4)

**FIGURA 5.4**  
**HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR NA BACIA DO RIO TIMONHAS PARA UMA CHUVA DE 1 cm E 2,4 HORAS DE DURAÇÃO**



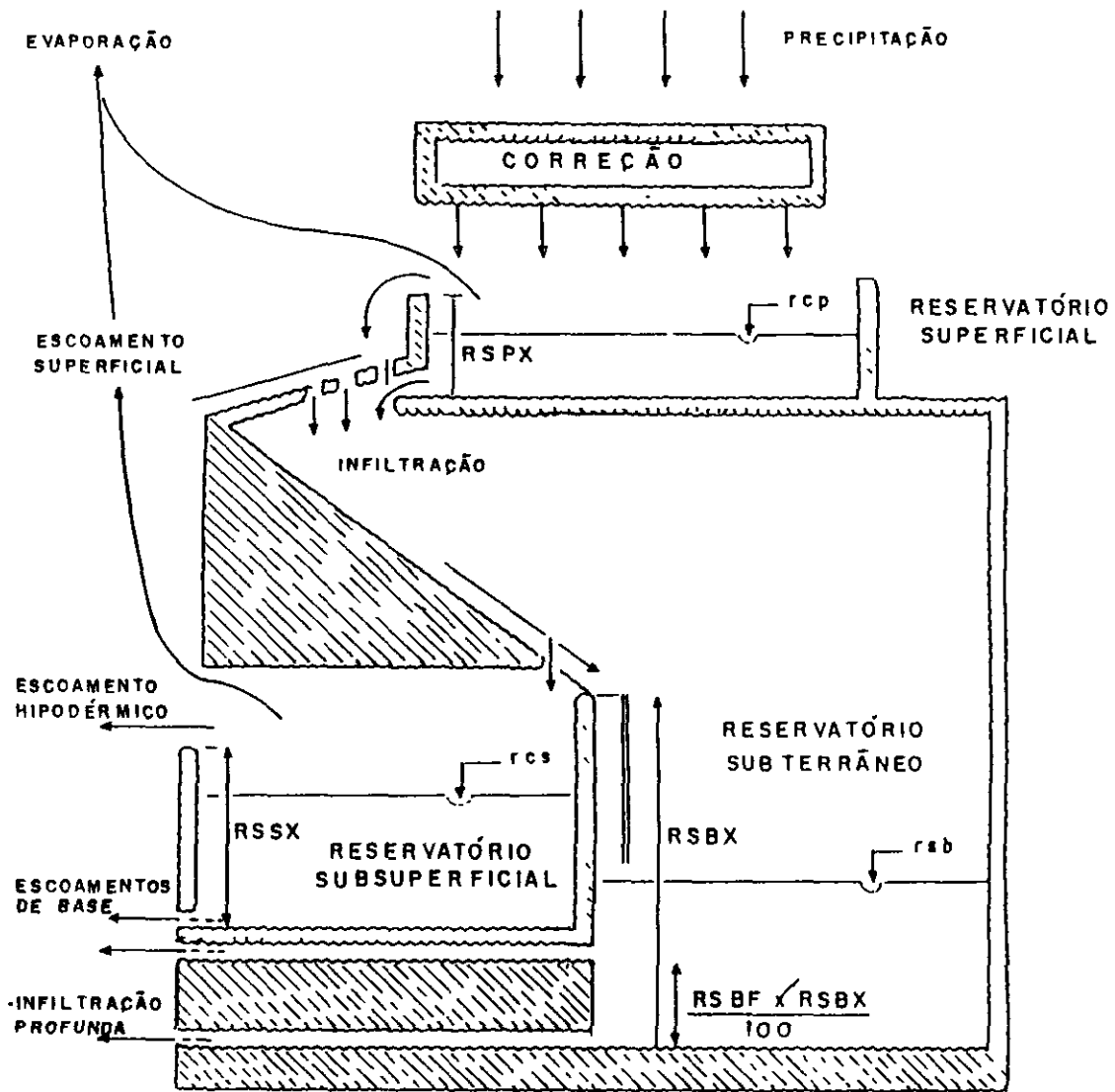
### 5.3 - CÁLCULO DA PRECIPITAÇÃO EFETIVA

A precipitação efetiva (PE), em mm, foi determinada através do método "Curve Number" do SCS e a fórmula utilizada é a seguinte

$$PE = \frac{(P - 5080 / N + 50,80)^2}{(P + 20320 / N - 203,20)} \quad (5.11)$$

Onde P é a precipitação com duração igual ao tempo de concentração da bacia, em mm e N é um número de deflúvio que define o complexo hidrológico "solo x vegetação" (PERH). De acordo com o complexo solo x vegetação existente na bacia hidrográfica, tomamos N igual a 65

FIGURA 4.1 - ESQUEMA DO MODHAC



Fonte: PERH, Estudos de Base I, 1992

Aplicando-se a fórmula acima obteve-se o excesso de chuva para os diversos períodos de retorno em estudo e os resultados estão abaixo no Quadro 5.5

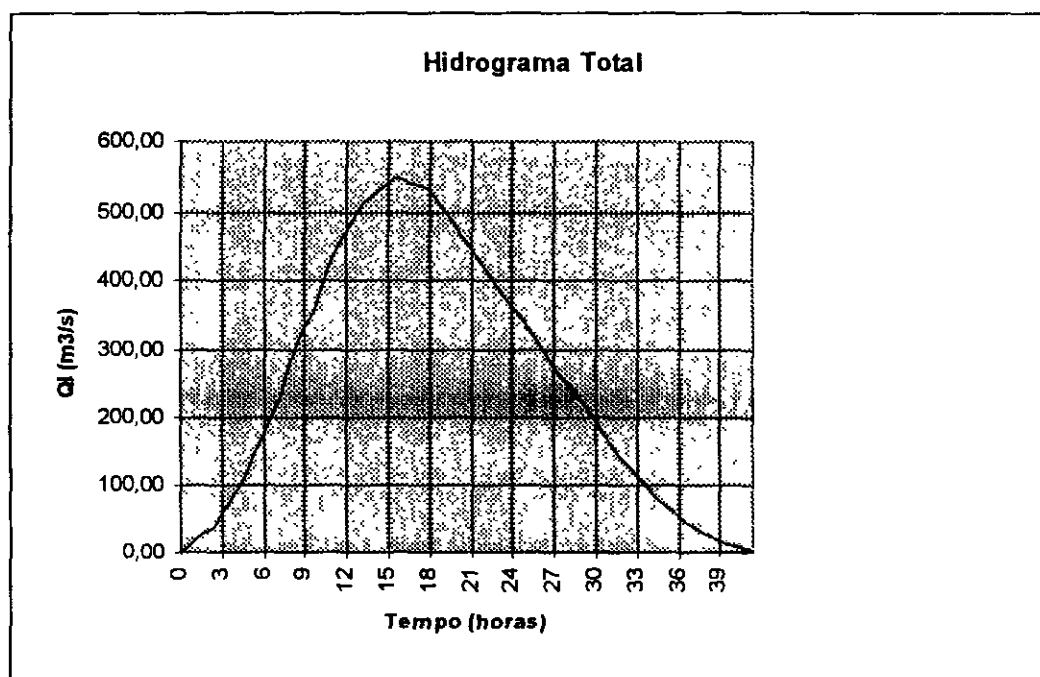
**QUADRO 5.5**  
**PRECIPITAÇÃO EFETIVA E DE PROJETO PARA OS PERÍODOS DE RETORNO DE 100, 500**  
**E 1.000 ANOS**

Período de Retorno (anos)	Precipitação de Projeto (mm)	Precipitação Efetiva (mm)
100	72,3	11,1
500	83,5	16,3
1 000	88,5	18,9

#### 5.4 - DETERMINAÇÃO DO HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE

De posse do Hidrograma Unitário Triangular e do excesso de precipitação, calculou-se o hidrograma total (Figura 5.5) por convolução do hidrograma unitário para uma chuva crítica de 2,4 horas e precipitação efetiva de 50 mm

**FIGURA 5.5**  
**HIDROGRAMA TOTAL OBTIDO ATRAVÉS DO HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR**  
**(CHUVA CRÍTICA DE 2,4 HORAS E PRECIPITAÇÃO EFETIVA = 50 mm)**



Sabendo-se que as vazões são proporcionais às chuvas, as vazões para os períodos de retorno de 100, 500 e 1 000 anos foram calculadas (Quadro 5.6) a partir das vazões da Figura 5.4 e das precipitações efetivas do Quadro 5.5



**QUADRO 5.6**  
**HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE DA BACIA PARA OS PERÍODOS DE RETORNO DE**  
**100, 500 E 1.000 ANOS**

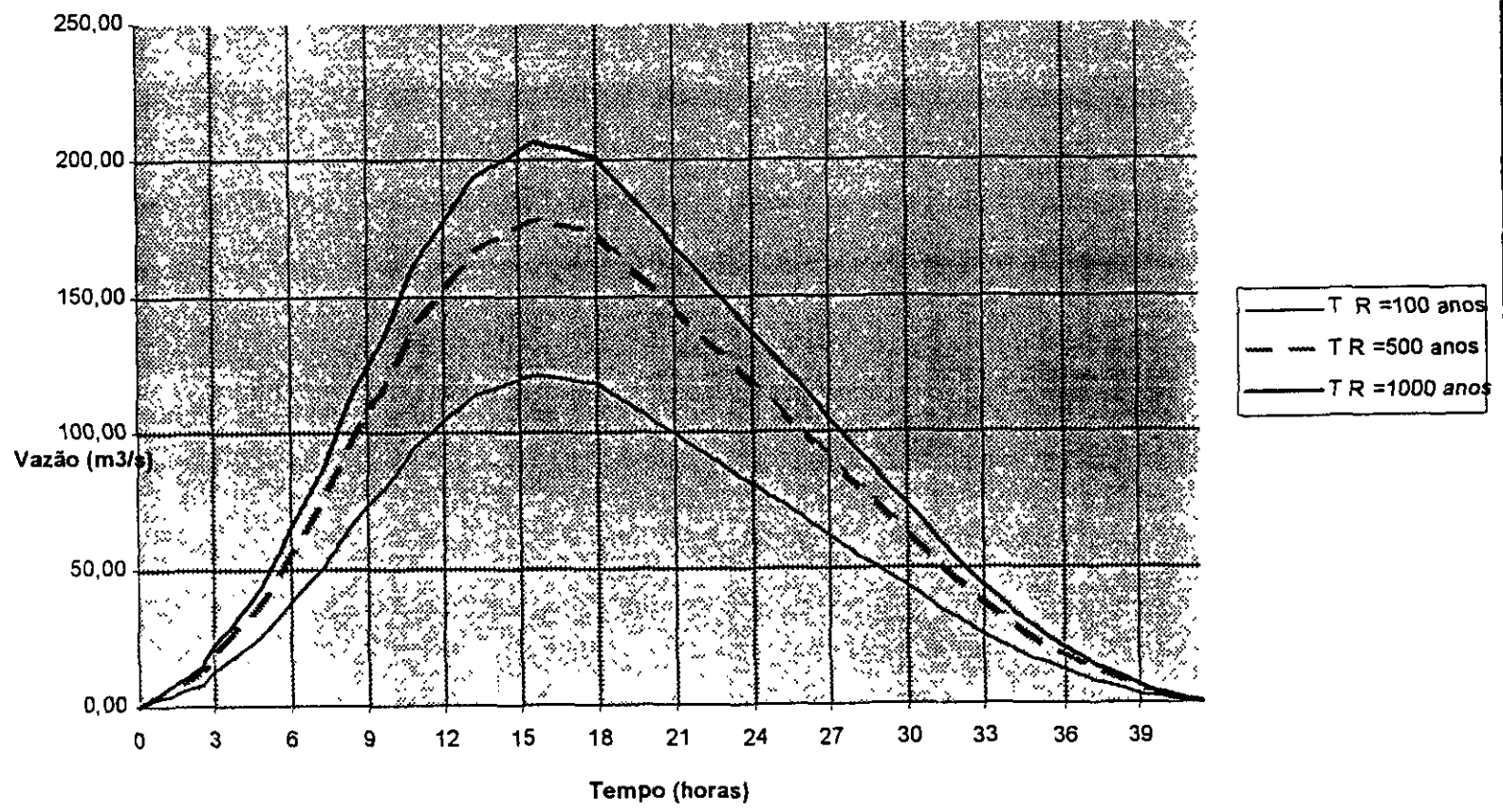
Tempo (horas)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)		
	T R =100	T R =500	T R =1 000
0	0,00	0,00	0,00
0,6	2,12	3,11	3,61
1,2	4,24	6,23	7,22
1,8	6,36	9,34	10,83
2,4	8,48	12,45	14,44
3	12,72	18,68	21,66
3,6	16,96	24,90	28,88
4,2	21,20	31,13	36,10
4,8	25,44	37,36	43,32
5,4	31,80	46,70	54,14
6	38,16	56,04	64,97
6,6	44,52	65,37	75,80
7,2	50,88	74,71	86,63
7,8	59,36	87,17	101,07
8,4	67,84	99,62	115,51
9	73,38	107,76	124,95
9,6	78,99	116,00	134,50
10,2	86,72	127,35	147,66
10,8	94,45	138,69	160,82
11,4	99,24	145,73	168,98
12	104,10	152,86	177,25
12,6	108,95	160,00	185,52
13,2	113,81	167,13	193,79
13,8	115,73	169,95	197,06
14,4	117,72	172,87	200,44
15	119,70	175,78	203,82
15,6	121,69	178,69	207,20
16,2	120,74	177,30	205,58
16,8	119,85	176,00	204,07
17,4	118,96	174,70	202,56
18	118,08	173,39	201,05
18,6	114,26	167,78	194,55
19,2	110,50	162,26	188,15
19,8	106,74	156,74	181,75
20,4	102,98	151,22	175,35
21	99,22	145,71	168,95
21,6	95,46	140,19	162,55
22,2	91,71	134,67	156,15
22,8	87,95	129,15	149,75
23,4	84,19	123,63	143,35
24	80,43	118,11	136,95
24,6	76,67	112,59	130,55
25,2	72,91	107,07	124,15
25,8	69,16	101,55	117,75
26,4	65,40	96,03	111,35
27	61,64	90,51	104,95
27,6	57,88	85,00	98,55
28,2	54,12	79,48	92,15
28,8	50,36	73,96	85,75
29,4	46,60	68,44	79,35
30	42,85	62,92	72,95
30,6	39,09	57,40	66,55
31,2	35,33	51,88	60,16
31,8	31,57	46,36	53,76
32,4	28,26	41,50	48,12
33	25,26	37,09	43,00
33,6	22,25	32,67	37,89
34,2	19,24	28,26	32,77
34,8	16,69	24,51	28,41
35,4	14,43	21,19	24,57
36	12,18	17,88	20,73



Tempo (horas)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)		
	T R =100	T R =500	T R =1 000
36,6	9,92	14,57	16,89
37,2	8,12	11,92	13,82
37,8	6,61	9,71	11,26
38,4	5,11	7,51	8,70
39	3,61	5,30	6,14
39,6	2,56	3,75	4,35
40,2	1,80	2,65	3,07
40,8	1,05	1,55	1,79
41,4	0,30	0,44	0,51



**FIGURA 5.6: Hidrograma de Cheias**  
para os Períodos de Retorno de 100, 500 e 1000 Anos



060041



## 6 - ESTUDO DE REGULARIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO



No Nordeste Brasileiro e especialmente no Ceará, o objetivo dos açudes é acumular as águas dos períodos chuvosos para uso nos períodos secos, regularizando em maior ou menor escala o regime do rio barrado. Ao hidrólogo cabe a tarefa de dimensionar os reservatórios, de modo que os ganhos em regularização justifique os investimentos feitos.

Considerando que as águas acumuladas poderão seguir três caminhos, quais sejam o atendimento de demandas, a evaporação e a sangria, a otimização no dimensionamento do açude consiste em definir o seu tamanho de tal modo que os incrementos de volume resultem em ganhos de regularização. Tem-se assim, que manipular dados de evaporação e do potencial de regularização da bacia para fazer uma análise incremental dos ganhos em função do tamanho do reservatório.

Para esta análise será usado aqui, o método do Diagrama Triangular de Regularização (Campos, 1990) devido a vantagens como a sua simplicidade de aplicação, sensibilidade na análise de parâmetros estatísticos que caracterizam o regime de médio de escoamento e, por ser muito adequado à região, permitindo o uso de valores regionais.

O uso do Diagrama Triangular de Regularização (DRT) como ferramenta auxiliar ao dimensionamento de reservatórios é restrito aos casos em que o projetista deseja uma garantia de 90% no fornecimento da água. As etapas do dimensionamento são:

- 1 Determinar através de séries históricas de vazões, ou de regionalização, os parâmetros estatísticos que caracterizam os deflúvios anuais, quais sejam média, desvio padrão e coeficiente de variação.

Com base nos estudos de deflúvio mostrados no item 4, foram estimados os seguintes valores dos parâmetros da série:

- Deflúvio médio anual ( $\mu$ ) 184 610 655 m<sup>3</sup>
- Coeficiente de variação dos deflúvios ( $C_v$ ) 1,1

- 2 Com os dados da tabela cota x volume determinar o coeficiente de forma do reservatório ( $\alpha$ ) através da reta dos mínimos quadrados,

$$y = \alpha x \quad (6.1)$$

onde y representa o volume acumulado e x o cubo da altura d'água correspondente.

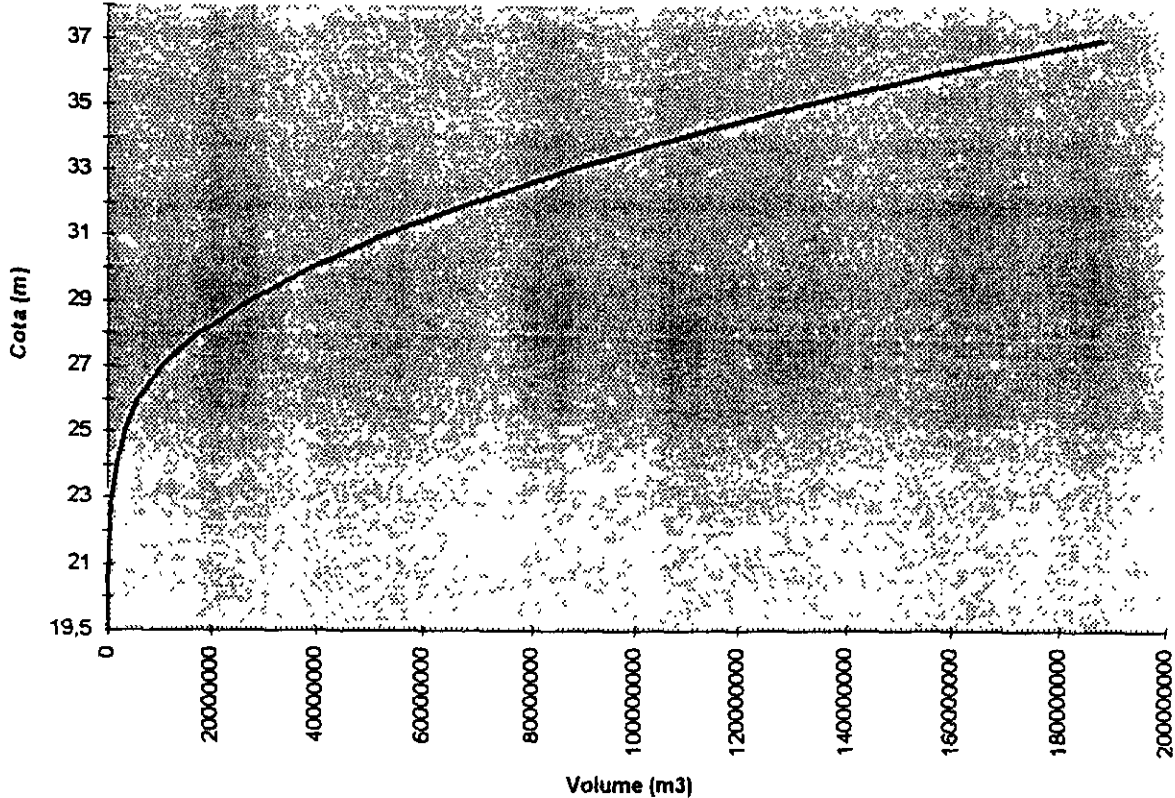
De acordo com o gráfico do diagrama cota x volume (Figura 6.1) se obtém o seguinte valor para o coeficiente de forma:

$$\alpha = 38 974,38$$

- 3 Determinar os valores do coeficiente adimensional de evaporação,

$$f_e = 3\alpha^{1/3} E_1 / \mu^{1/3} \quad (6.2)$$

FIGURA 6.1: Curva Cota x Volume



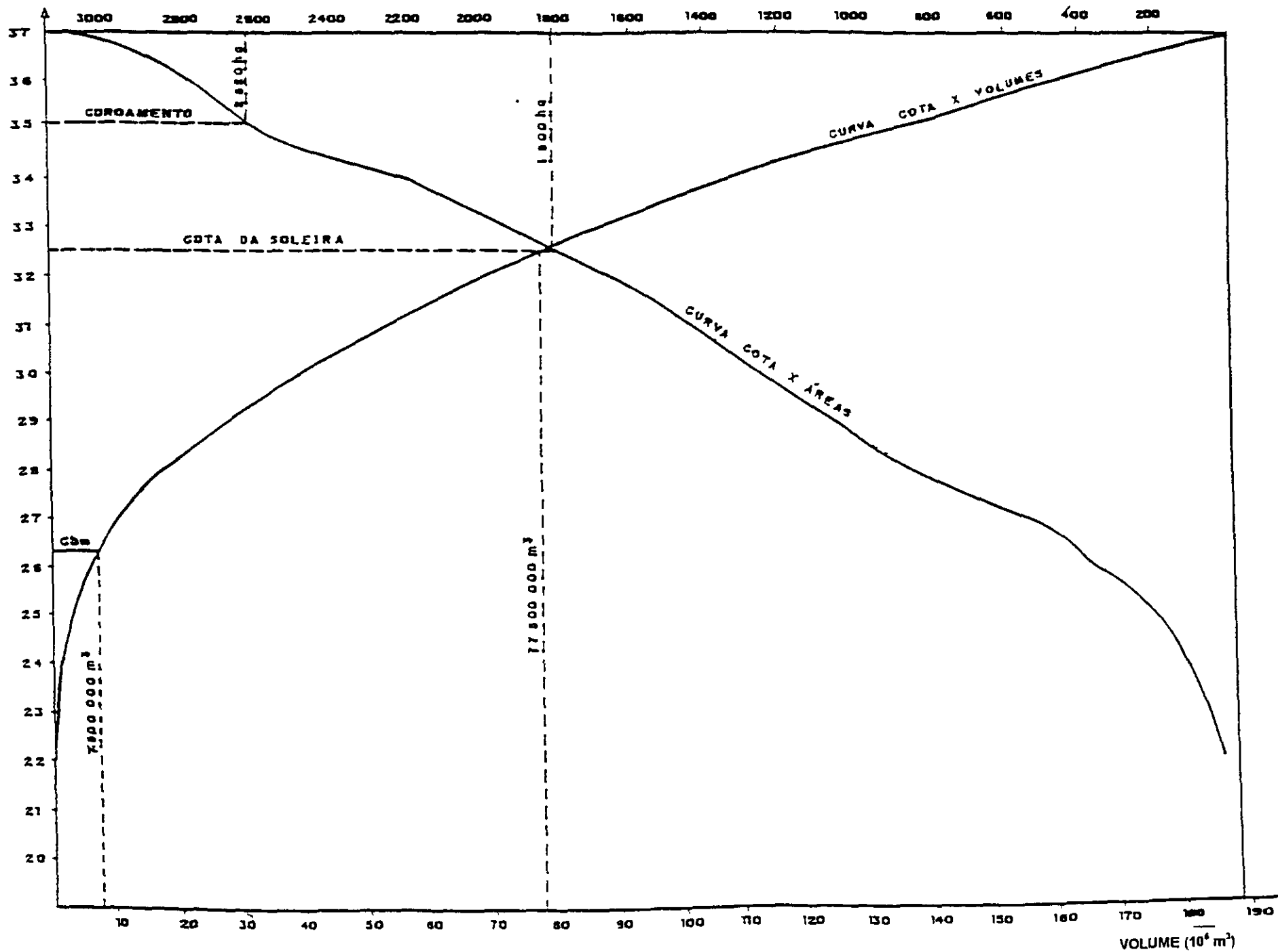


Figura 6.1  
Diagrama Cota x Área x Volume

000045



Onde  $E_1$  é a evapotranspiração. Calcular o fator adimensional de capacidade do reservatório,

$$f_k = K / \mu \quad (6.3)$$

A evaporação do reservatório na estação seca, que é a soma dos valores de junho a dezembro no tanque "A", multiplicado por 0,8 resulta em  $E_1 = 1\,150$  mm. Assim,

$$f_e = 3 \times (38\,974,38)^{1/3} \times 1,15 / 184\,610\,655^{1/3} \quad f_e = 0,20$$

4. Selecionar o diagrama, conforme modelo mostrado na Figura 6.2, correspondente ao  $C_v$  determinado na etapa 1 e, a partir do ponto de encontro das isolinhas de  $f_e$  e  $f_k$ , determinar os percentuais de sangria, evaporação e utilização.

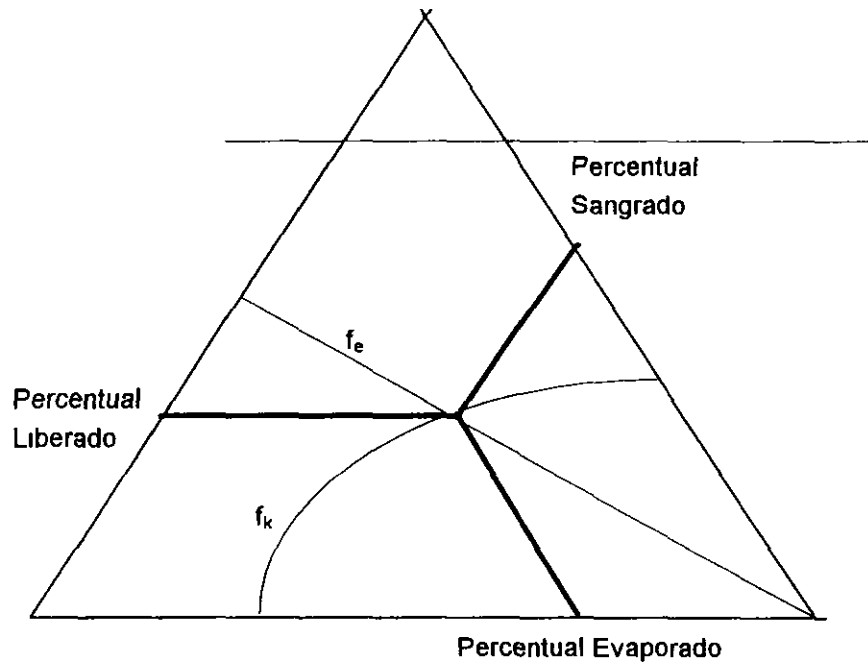
Analisando as condições de fundação do local do vertedouro, verifica-se que o potencial de acumulação da bacia não pode ser de todo aproveitado, uma vez que para cotas de soleira acima de 31 o custo do vertedouro pode não compensar o incremento de acumulação. Para que se possa avaliar com mais eficiência a relação custo x benefício, foram tomados três valores do coeficiente de acumulação,  $f_k$ . O Quadro 6.1 mostra as alternativas de regularização do reservatório em função do fator de acumulação. Na fase de projeto, deverá ser selecionada a alternativa mais atraente.

**QUADRO 6.1**  
**REGULARIZAÇÃO EM FUNÇÃO DO COEFICIENTE DE ACUMULAÇÃO**

	Coeficiente de Acumulação ( $f_k$ )		
	0,3	0,5	1
Acumulação ( $m^3$ )	55 383 196,5	92 305 327,5	184 610 655,0
Sangria (%)	78	74	57
Regularização (%)	15	18	30
Evaporação (%)	7	8	13
Vazão Regularizada ( $m^3/s$ )	0,89	1,07	1,78
Estrutura do Vertedouro	Revestimento simples	Muro de concreto com 2 m de altura	Muro de concreto com 5 m de altura



**FIGURA 6.2:**  
**ESQUEMA DE UTILIZAÇÃO DO DIAGRAMA TRIANGULAR DE**  
**REGULARIZAÇÃO.**





## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS





- 01 Campos, J N B 1990 Regularização de Vazões em Rios Intermitentes Tese apresentada como requerimento do concurso para Prof Titular em Recursos Hídricos U F C Fortaleza, CE
- 02 Secretaria dos Recursos Hídricos, 1992 Plano Estadual dos Recursos Hídricos Fortaleza, CE
- 03 Taborga, J T 1975 Práticas Hidrológicas 2nd ed Rio de Janeiro, R J