

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

PROJETO EXECUTIVO DE AMPLIAÇÃO
DO AÇUDE CHILE

ESTUDOS HIDROLÓGICOS

PIVOT

projeto de Irrigação consultoria eAssessoria LTDA

FORTALEZA- CE
SETEMBRO DE 1999

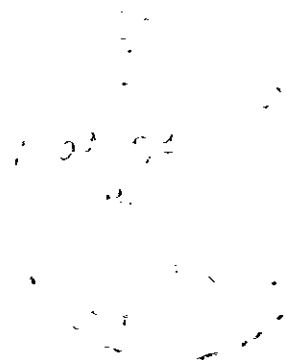
GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

AÇUDE PÚBLICO CHILE

ESTUDOS HIDROLÓGICOS

DEZEMBRO/1999



APRESENTAÇÃO

O presente documento refere-se aos estudos hidrologicos para elaboração dos estudos de Ampliação do Açude Chile, objeto do contrato No 50/98 celebrado entre PIVOT – Projetos de Irrigação, Consultoria e Assessoria Ltda e a Secretaria dos Recursos Hídricos do estado do Ceara

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	2
1.0 – INTRODUÇÃO.....	6
2.0 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	9
2.1 – ÁREA DE DRENAGEM.....	10
2.2 – FORMA DA BACIA	10
2.2.1 – Coeficiente de Compacidade (Kc)	10
2.2.2 – Fator de forma (K _f).....	12
2.3 – SISTEMA DE DRENAGEM.....	12
2.3.1 – Ordem dos Cursos D’água.....	12
2.3.2 – Densidade de Drenagem (D _d).....	12
2.3.3 – Extensão Média do Escoamento Superficial.....	13
2.4 – CARACTERIZAÇÃO DO RELEVO.....	13
2.5 – SOLO E VEGETAÇÃO.....	13
3.0 - CLIMATOLOGIA.....	15
3.1 – PLUVIOMETRIA	16
3.2 – TEMPERATURA.....	16
3.3 – UMIDADE RELATIVA E INSOLAÇÃO	17
3.4 – EVAPORAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	18
3.5 - VENTOS.....	18
3.6 – RESUMO DOS ÍNDICES CLIMÁTICOS.....	19
4.0 – ESTUDOS DAS CHUVAS INTENSAS.....	20
4.1– OBJETIVOS	21
4.2– METODOLOGIA.....	21
4.2.1 - Seleção do Posto Pluviométrico.....	21
4.2.2 - Estudos Probabilísticos das Precipitações Diárias.....	21
4.2.3 - Precipitações Associadas aos Diversos Períodos de Retorno	23
4.2.3.1 O Método Gumbel	23
4.2.4 - Cálculo da Chuva Virtual de 24 horas de duração ($P_{24h} = 1,1P_{1 da}$)	26
4.2.5 - Determinação do ISOZONA a qual Pertence a Bacia	26
4.2.6 - Cálculo da Chuva de 1 hora de Duração.....	26
4.2.7 - Conversão da Chuva Pontual para a Chuva em Toda a Área da Bacia	28
4.2.8 - Determinação Das Chuvas Intensas para Durações entre 1 Hora E 24 Horas.....	28
5.0 – ESTUDOS DAS CHEIAS DE PROJETO	30
6.0 – ESTUDO DO VOLUME REGULARIZADO.....	39
6.1 - METODOLOGIA.....	40
6.2 – MEMÓRIA DE CÁLCULO	40

6.2.1 - Cálculo do fator adimensional de evaporação (f_e):.....	40
6.2.2 - Cálculo do fator de forma (α) do reservatório.....	41
6.2.3 - Deflúvio médio anual (μ).....	42
6.2.4 - Lâmina Evaporada na estação seca (E_1):.....	42
6.2.5 - Coeficiente de variação (C_v).....	43
6.2.6 - Fator adimensional de capacidade (f_k).....	43
6.2.7 - Regulação do Açude Chile.....	43
7.0 – ESTUDO DA INTERFERÊNCIA DO AÇUDE CHILE NA REGULARIZAÇÃO DO AÇUDE SANTO ANTÔNIO DE RUSSAS.....	46
7.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	47
7.2 - REGULARIZAÇÃO DO AÇUDE SANTO ANTÔNIO DE RUSSAS.....	47
CONCLUSÕES.....	53

1.0 – INTRODUÇÃO

1.0 - INTRODUÇÃO

O Açude Chile, que barra o Rio Palhano, localiza-se no município de Ibicuitinga, na micro-região de Quixadá, sertão central do estado do Ceará (Figura 1.1)

O acesso é feito, partindo de Fortaleza, pela BR-116 até Russas, onde encontra a CE 138 em direção a Morada Nova. Há 20 km de Morada Nova, através de estrada carroçável, e após percorrer cerca de 10 km, chega-se ao povoado Chile, local do barramento

O Rio Palhano nasce na Serra do Palhano e após percorrer cerca de 27 km encontra a barragem do Chile

A região onde está situada a barragem, apresenta manchas de solos agricultáveis e tem como principal centro urbano o povoado Chile que não dispõe de água potável

O objetivo deste trabalho é descrever de forma detalhada os aspectos hidroclimatológicos do açude Chile, de forma a fornecer informações necessárias ao planejamento governamental na região

O segundo capítulo apresenta as principais características físicas da bacia hidrográfica, enquanto o terceiro descreve os aspectos climatológicos da região

No capítulo quatro encontram-se os estudos das chuvas intensas e no quinto descreve-se os estudos das cheias de projeto

No capítulo seis estão contemplados os estudos do volume regularizado enquanto no sétimo é feita uma simulação da interferência do açude Chile na regularização do açude Santo Antônio de Russas

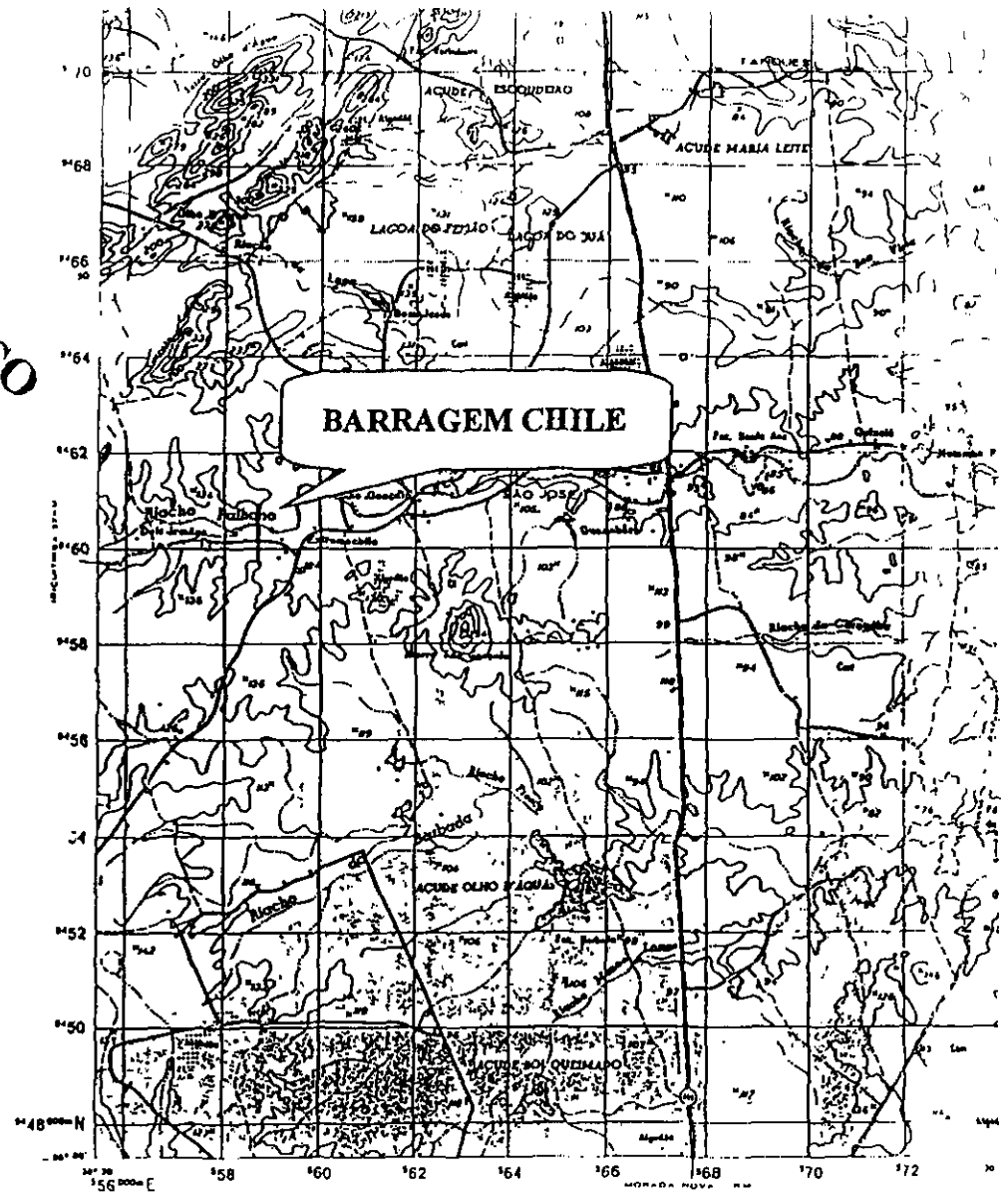
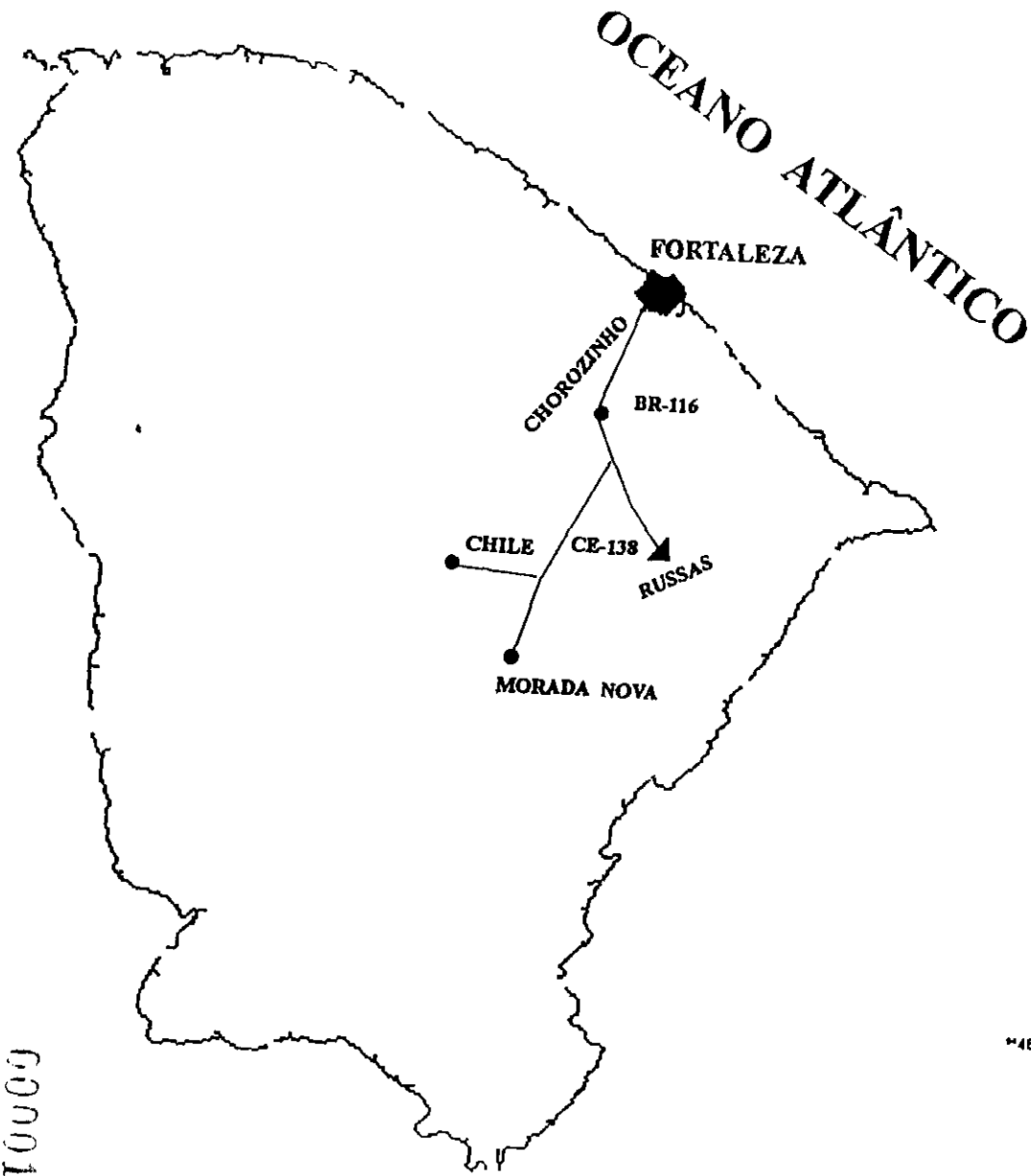


FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

010010

2.0 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

2.0 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

As características físicas de uma bacia são elementos de grande importância, pois dentre outros fatores, influenciam fortemente em seu regime hidrológico. Os principais elementos que caracterizam uma bacia são área e sistema de drenagem, forma e relevo. A seguir será calculado e descrito detalhadamente cada um destes elementos.

2.1 – ÁREA DE DRENAGEM

A área de drenagem é o elemento básico para se calcular as outras características físicas. A bacia hidrográfica do Açude Chile, que pode ser visualizada na Figura 2, encerra uma área de 140,45 km².

2.2 – FORMA DA BACIA

A forma superficial de uma bacia hidrográfica é uma importante característica, pois influencia no tempo de concentração da mesma.

Dentre os vários índices utilizados para se determinar a forma de uma bacia, dois merecem destaques: o coeficiente de compactidade e o fator de forma.

2.2.1 – Coeficiente de Compactidade (Kc)

Também conhecido com índice de Gravelius – Kc é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a da bacia.

O Kc é um dos coeficientes que indica a tendência de enchente na bacia. Quanto mais próximo da unidade for o valor de Kc, maior a tendência de enchente na bacia.

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{onde}$$

P Perímetro da bacia em km (P = 55,65)

A Área da bacia (A = 140,45 km²)

Kc = 1,31

2.0 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

As características físicas de uma bacia são elementos de grande importância, pois dentre outros fatores, influenciam fortemente em seu regime hidrológico. Os principais elementos que caracterizam uma bacia são área e sistema de drenagem, forma e relevo. A seguir será calculado e descrito detalhadamente cada um destes elementos.

2.1 – ÁREA DE DRENAGEM

A área de drenagem é o elemento básico para se calcular as outras características físicas. A bacia hidrográfica do Açude Chile, que pode ser visualizada na Figura 2, encerra uma área de 140,45 km².

2.2 – FORMA DA BACIA

A forma superficial de uma bacia hidrográfica é uma importante característica, pois influencia no tempo de concentração da mesma.

Dentre os vários índices utilizados para se determinar a forma de uma bacia, dois merecem destaques: o coeficiente de compactidade e o fator de forma.

2.2.1 – Coeficiente de Compactidade (Kc)

Também conhecido com índice de Gravelius – Kc é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a da bacia.

O Kc é um dos coeficientes que indica a tendência de enchente na bacia. Quanto mais próximo da unidade for o valor de Kc, maior a tendência de enchente na bacia.

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{onde}$$

P Perímetro da bacia em km (P = 55,65)

A Área da bacia (A = 140,45 km²)

Kc = 1,31

2.2.2 – Fator de forma (K_f)

E a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia

O fator de forma também é outro índice indicativo da maior ou menor tendência para enchentes de uma bacia

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{onde}$$

A área da bacia = 140,45 km²

L extensão do maior curso d'água = 26,71 km

$$K_f = \frac{140,45}{(26,71)^2} \Rightarrow K_f = 0,20$$

2.3 – SISTEMA DE DRENAGEM

2.3.1 – Ordem dos Cursos D'água

A ordem dos cursos d'água reflete o grau de ramificação dentro da bacia e é determinado segundo o método de Horton

A bacia do Rio Palhano no açude Chile é classificada como de ordem 3

2.3.2 – Densidade de Drenagem (D_d)

A densidade de drenagem (D_d) é expressa pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia e a sua área total. Para a bacia hidrográfica do Açude Chile a D_d será

$$D_d = L / A \quad \text{onde}$$

D_d = Densidade de Drenagem em km / km²

L – Somatória dos comprimentos dos cursos d'água em km – 77,29 km

A = Área da bacia hidrográfica em km²

$$D_d = 0,55 \text{ km} / \text{km}^2$$

2.3.3 – Extensão Média do Escoamento Superficial

Este índice é definido como sendo a distância média em que a água da chuva teria que escoar sobre os terrenos de uma bacia, caso o escoamento se desse em linha reta desde onde a chuva caiu até o ponto mais próximo no leito de um curso d'água qualquer da bacia

$$I = \frac{A}{4L_t} = \frac{140,45}{4 \times 26,71} \quad \text{Onde}$$

I = extensão média do escoamento superficial em km,

A = área da bacia em km².

L_t = extensão total do curso d'água principal em km,

$$I = 1,31 \text{ km}$$

2.4 – CARACTERIZAÇÃO DO RELEVO

A caracterização do relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre a meteorologia da mesma, visto que a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto a temperatura, a precipitação e a evaporação são funções da altitude

A bacia do Açude Chile apresenta características predominante do semi-árido nordestino, com relevo do tipo R-5 (forte), segundo a classificação de NOUVELOT

As altitudes variam de cota 425 na serra do Palhano até a cota 80 no talvegue do açude Chile

2.5 – SOLO E VEGETAÇÃO

Os solos predominante na região em estudo, são o Podzólico Vermelho Eutrófico e Distrofíco e o solo Litólicos Eutrófico e Distrofíco. Os primeiros incluem solos profundos a moderadamente profundos, sendo raro os solos rasos, com textura variando de média a argilosa, geralmente bem drenados, exceto os de caráter plíntico que são moderadamente a

imperfeitamente drenados. Os solos Litólicos Eutrófico e Distrófico são rasos ou muito rasos, não hidromórfico, pouco desenvolvidos, normalmente pedregosos e rochosos, possuindo apenas horizonte A diretamente assentado sobre a rocha ou sobre o horizonte C, de pequena espessura e geralmente com muitos minerais primários.

A vegetação predominante na região é a caatinga arbustiva densa.

3.0 - CLIMATOLOGIA

3.0 – CLIMATOLOGIA

A região da bacia do açude Chile, encontra-se sob clima de alto poder de evaporação, provocando um regime de escoamento de superfície de alta variabilidade, com cursos d'água intermitentes, apresentando vazões nulas por longos períodos, coincidido com épocas em que mais pronunciado é o "deficit" hídrico

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BWx', ou seja, clima muito quente ou megatermico, seco com irregularidades de chuvas de verão ou outono

Utilizando a metodologia de Thomthwaite, que introduz a evapotranspiração potencial como elemento determinante do clima, este é do tipo C1dA'a', classificado como seco, sub-úmido e megatermico com pequeno ou nenhum excesso de água

Analisando os dados observados no posto pluviométrico de Ibicuitinga e na estação meteorológica de Morada Nova detalhou-se as características climáticas da área, descritos a seguir

3.1 – PLUVIOMETRIA

A análise destes postos, mostra que a região é caracterizada por acentuada irregularidade pluviométrica, tanto a nível mensal como anual, podendo-se observar que os maiores índices de precipitação ocorrem no primeiro semestre, particularmente nos meses de março e abril, havendo ainda valores elevados, em alguns anos, no mês de dezembro. O período que apresenta ausência de chuvas concentra-se nos meses de agosto a novembro

Para o cálculo da precipitação média anual na bacia utilizou-se dados do posto pluviométrico de Morada Nova, cuja características estão detalhadas no item 4.0 – ESTUDOS DAS CHUVAS INTENSAS

3.2 – TEMPERATURA

O regime térmico da área tem como característica básica os elevados valores de temperatura, em contraste com baixas amplitudes durante o ano

As maiores temperaturas foram observadas no período de setembro a dezembro enquanto as menores ocorreram nos meses de junho a agosto.

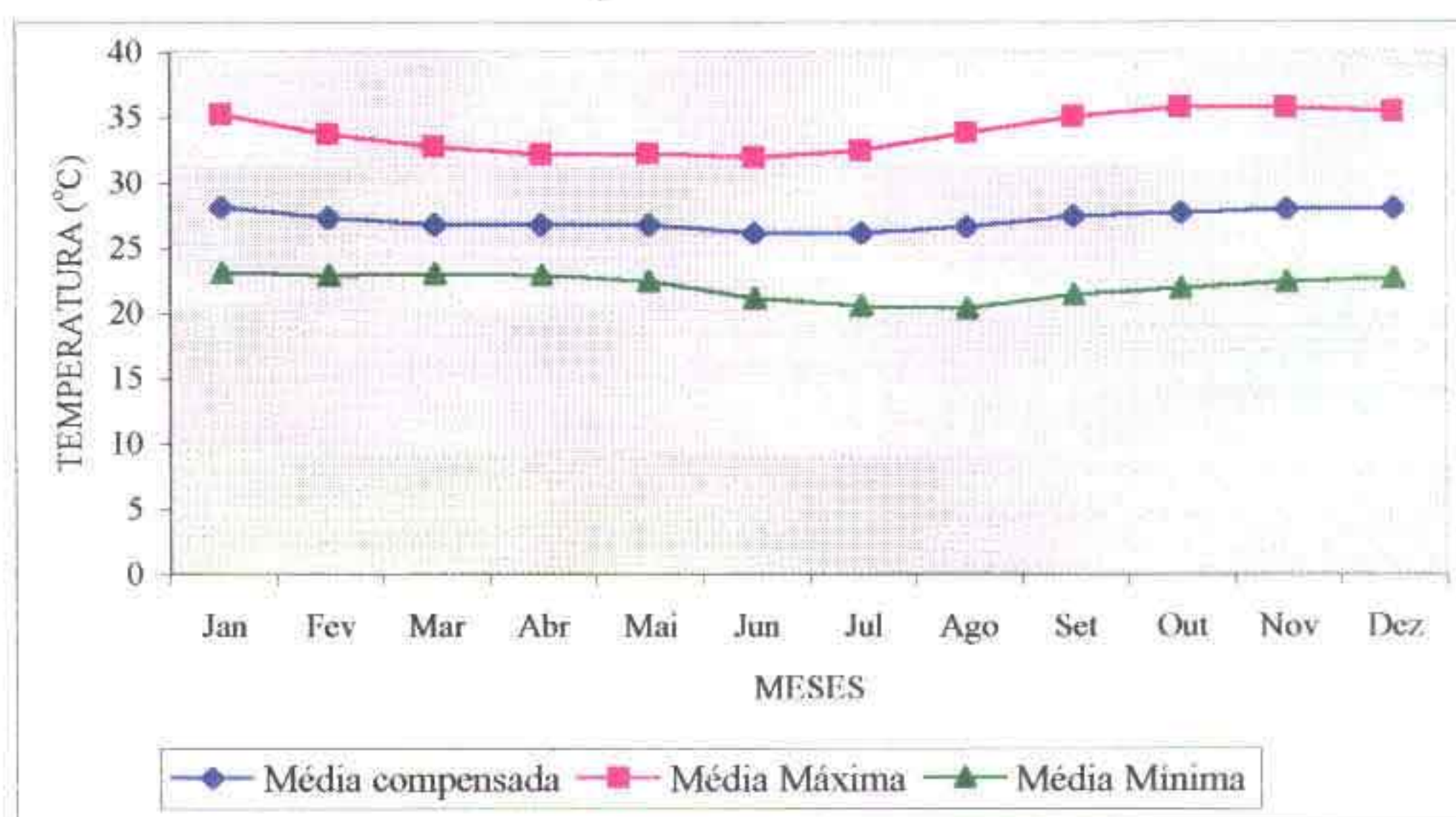
A temperatura média compensada da região registra uma máxima de 28,1°C nos meses de dezembro e janeiro com mínima de 26,1°C em julho.

O Quadro 3.1 e a Figura 3.1 mostram as médias mensais das temperaturas.

QUADRO 3.1 - TEMPERATURAS

Temperatura	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média compensada	28,1	27,3	26,8	26,8	26,8	26,1	26,1	26,6	27,4	27,7	28,0	28,1
Média Máxima	35,2	33,7	32,7	32,1	32,2	31,9	32,4	33,8	35,1	35,8	35,8	35,5
Média Mínima	23,1	22,9	23,0	22,9	22,4	21,1	10,5	20,4	21,4	21,9	22,4	22,7

**FIGURA 3.1 – TEMPERATURA MÁXIMA, MÍNIMA E COMPENSADA
ESTAÇÃO MORADA NOVA**



3.3 – UMIDADE RELATIVA E INSOLAÇÃO

Na região do açude Chile, os maiores índices de umidade relativa do ar, concentram-se no primeiro semestre, principalmente no mês de abril, quando atinge o valor máximo de 79%, decrescendo na época de estiagem, para 60% em setembro e outubro. A umidade relativa média anual na área é de 67,7%.

A insolação, que expressa o tempo em que o sol esteve exposto na estação, sem o impedimento da nebulosidade, possui uma configuração inversa a da umidade relativa, ou seja, no primeiro semestre do ano, período em que a umidade relativa do ar se eleva, a insolação diminui. Já no segundo semestre, a insolação aumenta consideravelmente, enquanto a umidade relativa decresce

O trimestre com maior taxa de evaporação é agosto/outubro, enquanto os menores índices acontecem nos meses de fevereiro a abril. A insolação média anual é da ordem de 2 920 h

O Quadro 3.2 mostra os valores médios mensais de umidade relativa e insolação

QUADRO 3.2 – UMIDADE RELATIVA DE AR E INSOLAÇÃO

Parâmetro	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Umidade (%)	64	71	77	79	76	73	67	63	60	60	60	62
Insolação (h)	243	192	194	206	233	142	164	264	270	286	267	259

3.4 – EVAPORAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evaporação média anual observada no tanque Classe A, é de 2 476 mm. Os índices mais acentuados ocorrem no segundo semestre, particularmente nos meses de setembro e outubro, enquanto os menores ocorrem no bimestre março/abril

3.5 - VENTOS

A estação meteorológica de Morada Nova registra ventos fracos, com velocidade média em torno de 3,00 m/s, dirigindo-se predominantemente no sentido este-nordeste o ano todo

3.6 – RESUMO DOS ÍNDICES CLIMÁTICOS

Pluviometria média anual-----	832,60 mm
Semestre chuvoso-----	Jan/Jun
Trimestre umido-----	Fev/Abr
Trimestre seco-----	Ago/Out
Mês de maior pluviosidade-----	Mar
Temperatura media anual-----	26,2°C
Media das temperaturas mínimas-----	20,0°C
Média das temperaturas máximas -----	33,8°C
Amplitude das médias extremas-----	11,7°C
Umidade relativa media anual-----	67,7%
Período de maior umidade relativa-----	Mar/Abr
Período de menor umidade relativa-----	Set/Out
Insolação anual-----	2 900 horas
Período de menor insolação-----	Fev/Abr
Ventos predominante-----	SeE
Velocidade media dos ventos-----	3,00 m/s
Evaporação media anual em tanque classe A-----	2 476 mm
Periodo de menor evaporação-----	Fev/Abr
Periodo de maior evaporação-----	Ago/Out
Classificação climática de Koppen-----	BWx'

4.0 – ESTUDOS DAS CHUVAS INTENSAS

4.0 - ESTUDO DAS CHUVAS INTENSAS

4.1- OBJETIVOS

Considerando a inexistência de uma série de observações fluviométrica na bacia, a determinação da cheia de projeto foi feita a partir da transformação de chuva em deflúvio. Em consequência, faz-se necessário os estudos das chuvas intensas da região que visam fornecer elementos aos estudos subsequentes para cálculo da cheia de projeto.

4.2- METODOLOGIA

Para determinação das chuvas intensas, lançou-se mão do método do Prof. Taborga Torrico explicitado em sua publicação "Práticas Hidrológicas". A justificativa desta metodologia, deve-se ao fato da mesma ser indicada para bacias com áreas de drenagem inferior a 2.500 Km², além de já ter sido utilizada em grande escala na região nordeste do Brasil, obtendo-se resultados satisfatórios na avaliação do escoamento superficial para dimensionamento de barragens, obras de drenagem, vertedouros, permitindo a obtenção de chuvas intensas de curta duração em locais onde não há dados pluviográficos, caso em que se enquadra a área em estudo.

A aplicação desta metodologia consiste basicamente das etapas seguintes:

4.2.1 - Seleção do Posto Pluviométrico

Escolheu-se o posto de Morada Nova por ser este o mais próximo da área em estudo com maior dados na série histórica de chuvas máximas diárias (1912 a 1976). O posto de Ibicuitinga, embora sendo mais próximo da área que o de Morada Nova, foi excluído por dispor apenas de 20 anos de dados (1962 a 1982). O código do posto escolhido é 3803224 com coordenadas geográficas 4°58' de latitude e 38°38' de longitude.

4.2.2 - Estudos Probabilísticos das Precipitações Diárias

Os estudos probabilísticos foram efetuados objetivando conhecer as precipitações máximas diárias associadas aos diversos períodos de retornos.

Os valores das precipitações máximas diárias encontram-se na Tabela 4.1 e foram obtidas diretamente da home page da SUDENE na internet.

Tabela 4.1 – Precipitações Máxima Diária de Morada Nova em mm

ANO	CHUVA	Pi - Pmedia	(Pi - Pmed)^2	(Pi - Pmed)^3	ANO	CHUVA	Pi - Pmedia	(Pi - Pmed)^2	(Pi - Pmed)^3
1912	55.00	-17.56	308.36	-5414.98	1944	60.80	-11.76	138.31	-1626.51
1913	78.00	5.44	29.59	160.96	1945	91.00	18.44	340.02	6269.90
1914	95.00	22.44	503.54	11299.26	1946	80.00	7.44	55.35	411.78
1915	63.00	-9.56	91.40	-873.81	1948	55.80	-16.76	280.91	-4708.11
1916	83.00	10.44	108.99	1137.79	1949	140.00	67.44	4548.11	306723.15
1917	78.00	5.44	29.59	160.96	1950	141.70	69.14	4780.30	330508.13
1918	51.00	-21.56	464.85	-10022.26	1951	41.00	-31.56	996.05	-31435.77
1919	62.00	-10.56	111.52	-1177.69	1952	79.00	6.44	41.47	267.05
1920	49.00	-23.56	555.09	-13078.06	1953	46.00	-26.56	705.45	-18736.99
1921	105.80	33.24	1104.88	36725.74	1954	33.00	-39.56	1565.02	-61912.64
1922	99.00	26.44	699.06	18482.84	1955	62.00	-10.56	111.52	-1177.69
1923	52.00	-20.56	422.73	-8691.39	1956	62.20	-10.36	107.34	-1112.04
1924	120.00	47.44	2250.52	106764.12	1957	69.50	-3.06	9.37	-28.66
1925	64.30	-8.26	68.23	-563.62	1958	52.50	-20.06	402.42	-8072.60
1926	92.00	19.44	377.90	7346.28	1959	73.00	0.44	0.19	0.08
1927	71.00	1.56	2.43	-3.80	1960	133.00	60.44	3652.96	220783.45
1928	80.00	7.44	55.35	411.78	1961	72.50	-0.06	0.00	0.00
1929	68.00	-4.56	20.80	-94.84	1962	56.20	-16.36	267.66	-4379.00
1930	40.00	-32.56	1060.17	-34519.61	1963	56.00	-16.56	274.24	-4541.57
1931	82.00	9.44	89.11	841.15	1964	62.30	-10.26	105.27	-1080.15
1932	51.00	-21.56	464.85	-10022.26	1965	73.50	0.94	0.88	0.83
1933	85.00	12.44	154.75	1924.99	1966	49.30	-23.26	541.04	-12584.82
1934	85.00	12.44	154.75	1924.99	1967	60.60	-11.96	143.05	-1710.91
1935	140.00	67.44	4548.11	306723.15	1968	59.00	-13.56	183.88	-2493.50
1936	92.00	19.44	377.90	7346.28	1969	73.30	0.74	0.55	0.40
1937	71.00	-1.56	2.43	-3.80	1970	31.30	-41.26	1702.41	-70242.13
1938	95.00	22.44	503.54	11299.26	1971	0.20	-72.36	5236.02	-378879.75
1939	37.00	-35.56	1264.54	-44967.31	1972	77.20	4.64	21.53	99.88
1940	106.00	33.44	1118.21	37392.67	1973	113.00	40.44	1635.37	66133.76
1941	43.50	-29.06	844.50	-24541.50	1974	74.00	1.44	2.07	2.98
1942	23.60	-48.96	2397.11	-117363.40	1975	50.40	-22.16	491.08	-10882.48
1943	57.00	-15.56	242.12	-3767.52	1976	67.80	-4.76	22.66	-107.87

4.2.3 - Precipitações Associadas aos Diversos Períodos de Retorno

Para se obter as precipitações associadas aos diversos período de retorno, utilizou-se o método de Gumbel

4.2.3.1 - O Método Gumbel

Segundo Gumbel, a probabilidade (P) de um valor extremo dado (x) ser atingido, isto é, de acontecer um valor menor ou igual a (x), é

$$P = e^{-e^{-y}}$$

Sendo y (variável reduzida) dada por

$$y = (x - x_f) \frac{S_x}{S_y}$$

Onde x_f (moda dos valores extremos) dada por

$$x_f = x - S_x \left(\frac{\bar{y}_n}{S_n} \right)$$

- \bar{x} e a média da variável x
- \bar{y}_n e S_n a média e o desvio-padrão da variável reduzida
- S_x desvio-padrão da variável x

A Tabela 4.2 mostra os valores da variável reduzida y associados as probabilidades e período de retorno enquanto a Tabela 4.3 apresenta os valores esperados da média (\bar{y}_n) e desvio padrão (S_n) da variável reduzida (y) em função do número de dados (n)

Tabela 4.2 – Variável Reduzida, Probabilidades e Período de Retorno

Variável Reduzida (y)	Período de Retorno (T _r)	Probabilidade (1 - P)	Probabilidade (P)
0,000	1,58	0,632	0,368
0,367	2,00	0,500	0,500
0,579	2,33	0,429	0,571
1,500	5,00	0,200	0,800
2,250	10,0	0,100	0,900
2,970	20,0	0,050	0,950
3,395	30,0	0,033	0,967
3,902	50,0	0,020	0,980
4,600	100	0,010	0,990
5,296	200	0,005	0,995
5,808	300	0,003	0,997
6,214	500	0,002	0,998
6,907	1000	0,001	0,999
8,805	10 000	0,0001	0,9999

Tabela 4.3 – Valores esperados da média (\bar{y}_n) e desvio-padrão (S_n) da variável reduzida (y) em função do número de dados (n)

n	\bar{y}_n	S _n	n	\bar{y}_n	S _n
20	0 52	1 06	80	0 56	1 19
30	0 54	1 11	90	0 56	1 20
40	0 54	1 14	100	0 56	1 21
50	0 55	1 16	150	0 56	1 23
60	0 55	1 17	200	0 57	1 24
70	0 55	1 19		0 57	1 28

Com os dados da Tabela 4 1 calculou-se a média e o desvio padrão bem como as precipitações máximas esperadas associadas ao período de retorno (TR) de 100, 500, 1000 e 10 000 anos. Os cálculos encontram-se a seguir e os resultados estão resumidos na Tabela 4 4

- Media das precipitações máximas diárias = 72,56
- Desvio padrão $\sigma = 28,05$
- Numero de anos de observação (n) = 63
- Como valor de n = 63 encontra-se na Tabela 4.3 os valores de y_n e S_n
- Media esperada (y_n) da variável reduzida (y) $y_n = 0,55$
- Desvio padrão esperado (S_n) da variável reduzida (y) $S_n = 1,17$
- Moda dos valores extremos x_f

$$x_f = \bar{x} - \sigma \left(\frac{y_n}{S_n} \right) \rightarrow x_f = 72,56 - 28,05 \left(\frac{0,55}{1,17} \right) \rightarrow x_f = 59,37$$

- Valores da variavel reduzida para os diversos periodos de retorno

$$TR = 100 \text{ anos} \rightarrow y = 4,600$$

$$TR = 500 \text{ anos} \rightarrow y = 6,214$$

$$TR = 1000 \text{ anos} \rightarrow y = 6,907$$

$$TR = 10000 \text{ anos} \rightarrow y = 8,805$$

- Cálculo das Precipitações Esperadas Associados aos Diversos TR

Com os valores de y, calcula-se x na equação abaixo que vem a ser o valor da precipitação máxima esperada

$$y = (x - x_f) \frac{S_n}{\sigma} \rightarrow x = \frac{y \sigma + x_f S_n}{S_n} \rightarrow x = \frac{y \cdot 28,05 + 59,37 \cdot 1,17}{1,17}$$

$$x = \frac{28,05y + 69,46}{1,17}$$

$$TR = 100 \text{ anos} \rightarrow y = 4,600 \rightarrow x = 169,65 \text{ mm}$$

$$TR = 500 \text{ anos} \rightarrow y = 6,214 \rightarrow x = 208,34 \text{ mm}$$

$$TR = 1000 \text{ anos} \rightarrow y = 6,907 \rightarrow x = 224,96 \text{ mm}$$

$$TR = 10000 \text{ anos} \rightarrow y = 8,805 \rightarrow x = 270,46 \text{ mm}$$

Tabela 4.4 – Precipitações Máximas Diárias

Período de Retorno (TR em Anos)	Frequência (%)	Precipitações Máximas (mm)
100	1	169,65
500	0,20	208,34
1 000	0,10	224,96
10 000	0,01	270,46

4.2.4 - Cálculo da Chuva Virtual de 24 horas de duração ($P_{24h} = 1,1P_{1 dia}$)

Para o calculo da chuva virtual de 24 horas de duração, multiplica-se os valores da chuvas de duração de um dia pelo fator 1,10 Os resultados encontram-se na Tabela 4 5

Tabela 4.5 – Chuvas virtuais de 24 horas de duração

Período de Retorno (TR em Anos)	Precipitações Diárias (mm)	P_{24h} (mm)
100	169,65	186,62
500	208,34	229,17
1 000	224,96	247,46
10 000	270,46	297,51

4.2.5 - Determinação do ISOZONA a qual Pertence a Bacia

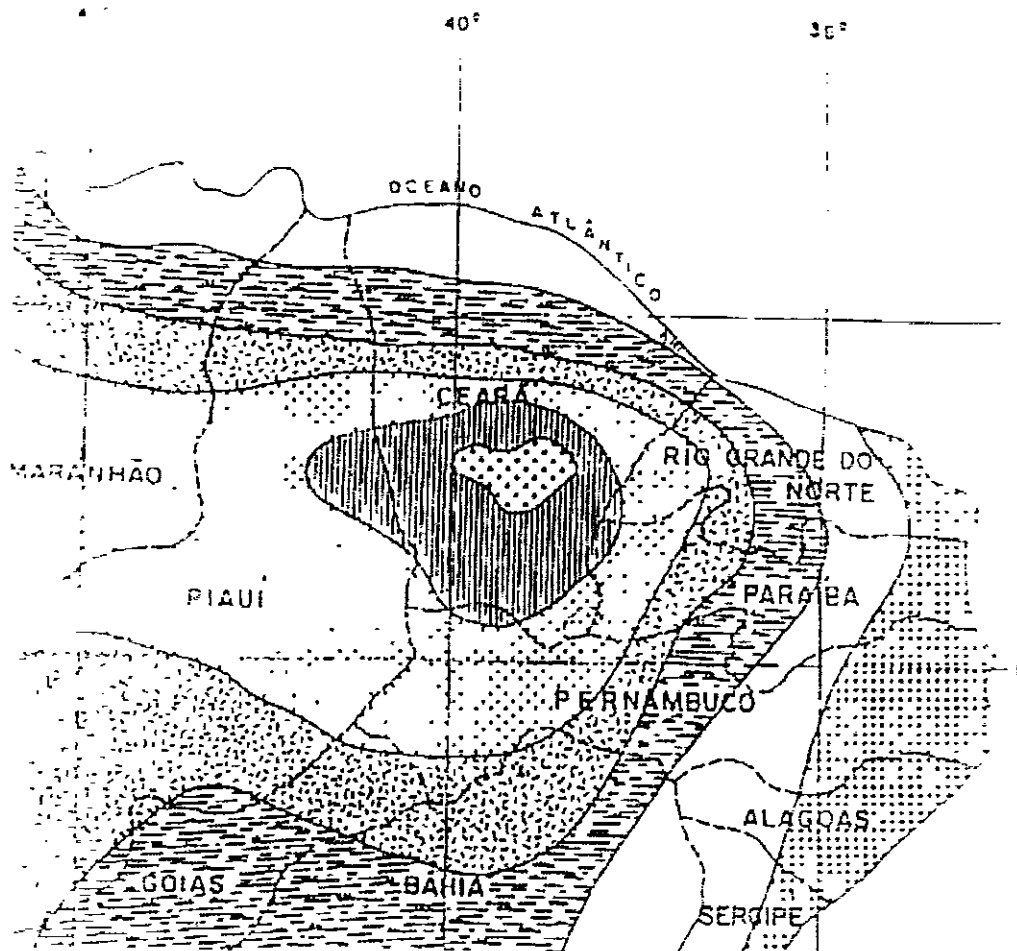
Localizou-se o posto de Morada Nova na Figura 4 1, determinando-se a ISOZONA “E” como sendo a sua correspondente

4.2.6 - Cálculo da Chuva de 1 hora de Duração

Na tabela da Figura 4 1 fixou-se a ISOZONA escolhida - “E”, e para os tempos de recorrência previstos (100, 1 000 e 10 000 anos) as percentagens “R” para 1 hora de duração Os resultados encontram-se na tabela 4 6

TABELA 4.6 – Valores das precipitações intensas pontuais

TR (ANOS)	P 24 horas (mm)	R	P 1 hora (mm)
100	186,62	0,422	78,75
1 000	247,46	0,409	101,21
10 000	297,51	0,396	117,81



ISOZONAS DE IGUAL RELAÇÃO

ISOZONA		TEMPO DE RECORRÊNCIA EM ANOS										6 min / 24h CHUVA	
		1 HORA / 24 HORAS CHUVA										5-50	100
		5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10000		
9	[Dotted pattern]	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	[Horizontal lines]	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	[Vertical lines]	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	[Cross-hatch]	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,2	42,6	42,2	40,9	39,6	12,8	11,2
F	[Diagonal lines /]	48,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,8	44,5	44,1	42,7	41,3	13,5	12,4
G	[Diagonal lines \]	47,9	47,4	47,2	47,0	46,0	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	13,7
	[Stippled pattern]	49,9	49,4	49,1	48,9	48,8	48,6	48,3	47,0	46,3	44,8	16,7	14,9

FIGURA 4.1 – Mapa das Isozonas

4.2.7 - Conversão da Chuva Pontual para a Chuva em Toda a Área da Bacia.

Esta conversão é feita através da equação

$$\frac{P_a}{P_o} = (1 - W \log \frac{A}{A_o}), \quad \text{onde:}$$

P_a = precipitação média sobre a bacia,

P_o = precipitação no centro de gravidade da bacia, tomada igual a precipitação em Ibicuitinga

W = constante que depende do local (0,22 para a região Nordeste do Brasil),

A = área da bacia hidrográfica (140,45 km²),

A_o = área base na qual $P_a = P_o$ (25 km²)

$$\frac{P_a}{P_o} = 0,84$$

P_o

Multiplica-se o fator 0,84 pelos valores das chuvas de 1 hora e 24 horas (Tabela 4.6), obtendo as precipitações intensas espaciais de 1h e 24h de duração para os diversos períodos de retornos distribuídos na bacia hidrográfica do Açude Chile. Os resultados encontram-se na Tabela 4.7 abaixo

TABELA 4.7 – Valores das Chuvas Intensas Espaciais Distribuídas na Bacia do Açude Chile

TR (ANOS)	P 24 horas (mm)	P 1 hora (mm)
100	156,76	66,15
1 000	207,87	85,02
10 000	249,91	98,96

4.2.8 - Determinação Das Chuvas Intensas para Durações entre 1 Hora E 24 Horas.

Plotando-se em papel de probabilidade os valores de 1 hora e 24 horas encontrados na tabela 4.7 e ligando-se estes pontos por uma reta, pode-se, a partir daí, determinar os valores das precipitações intensas para qualquer duração entre 1 hora e 24 horas

O resultado encontra-se na Figura 4.2

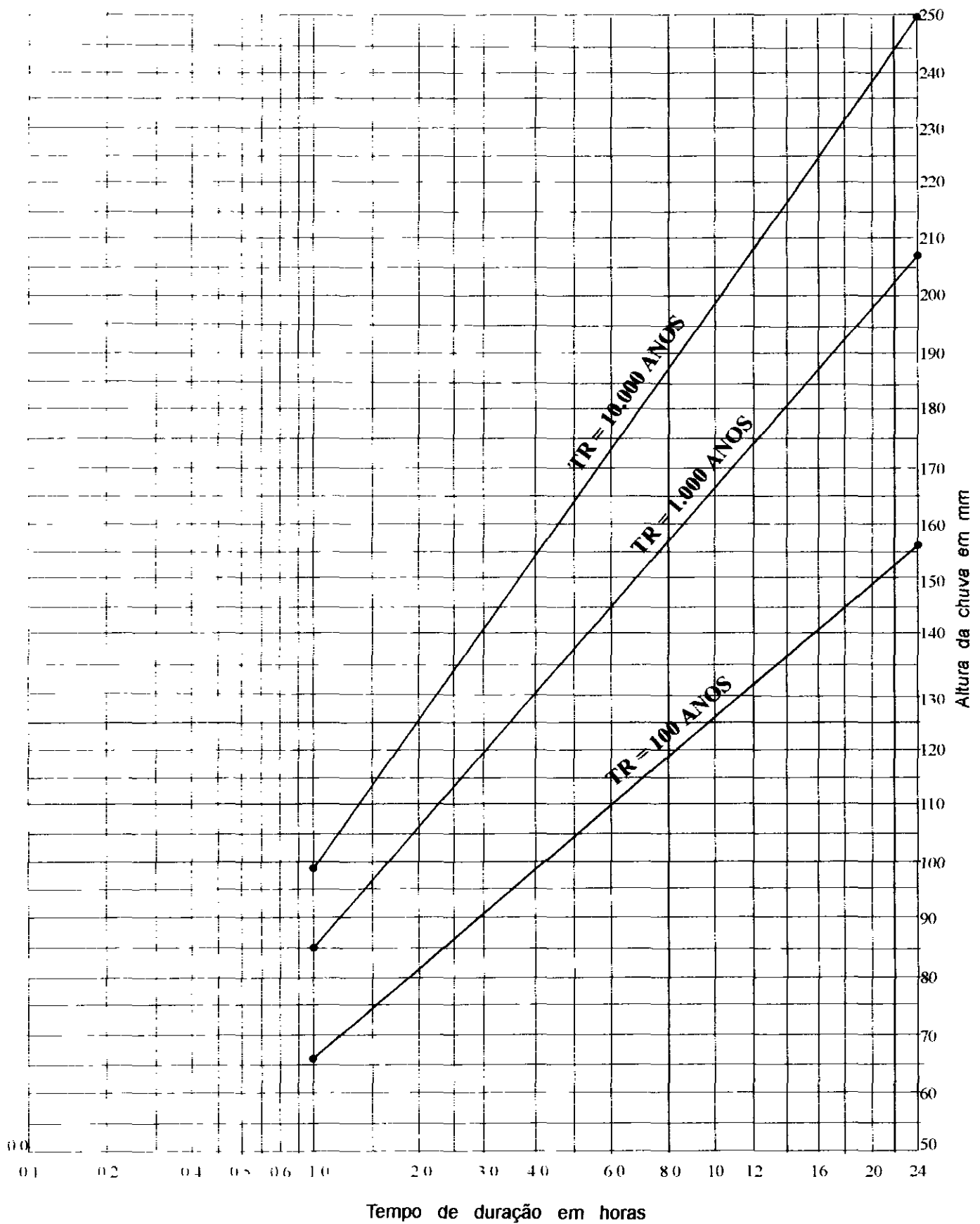


FIGURA 4.2
ALTURA DE CHUVA E TEMPO DE DURAÇÃO
BACIA DO AÇUDE CHILE
POSTO: MORADA NOVA

5.0 – ESTUDOS DAS CHEIAS DE PROJETO

5.0 ESTUDO DAS CHEIAS DE PROJETO

O estudo das cheias de projeto tem como objetivo calcular as vazões de pico na bacia do açude Chile desde sua foz até o exutório para os diversos períodos de retorno

A metodologia usada foi a do Hidrograma Unitário Curvilíneo do Soil Conservation Service (SCS)

Considerou-se para a determinação deste hidrograma uma precipitação unitária de 1 cm, ocorrendo sobre toda a bacia, com uma duração igual a um quinto do tempo de concentração da bacia

As etapas de cálculo foram as seguintes

a) Cálculo do Tempo de Concentração (Tc)

O tempo de Concentração da bacia será calculado através da fórmula do “California Highways and Public Road”

$$T_c = 57 \times (L^3/H)^{0,385} \quad \text{onde}$$

Tc = Tempo de Concentração em minutos

L = Extensão do maior Talvegue em Km (L = 26,71 Km)

H = Máximo desnível da bacia medido ao longo de L em metros (H = 122m)

Para os valores acima tem-se

$$T_c = 57 \times [(26,71)^3 / 122]^{0,385} = 398,51 \text{ min}$$

$$T_c = 6,64 \text{ horas}$$

b) Cálculo da Precipitação Total de Duração Igual ao Tempo de Concentração da Bacia.

Os valores de precipitação total de uma duração de 6,64 horas, foram retirados diretamente da Figura 4.2 e são apresentados na Tabela 5.1

TABELA 5.1 – Precipitação Total para TR = Tc

TR (ANOS)	Precipitação Total (mm)
100	113,00
1 000	151,00
10 000	178,00

c) Cálculo do Hidrograma Unitário Triangular (HUT) para precipitação de 1 cm (10 mm) e uma chuva de duração igual a um quinto do tempo de concentração da bacia.

c.1) Duração do excesso de chuvas (Tr)

$$Tr = \frac{1 \times T_c}{5} \Rightarrow Tr = \frac{1 \times 6,64}{5} \Rightarrow Tr = 1,33 \text{ horas}$$

c.2) Tempo até a vazão de pico (Tp)

$$Tp = 0,6T_c + 0,5Tr \Rightarrow Tp = 0,6 \times 6,64 + 0,5 \times 1,33$$

$$Tp = 4,65 \text{ horas}$$

c.3) Tempo de base do hidrograma (Tb)

$$Tb = 2,67 \times Tp \Rightarrow Tb = 2,67 \times 4,65 \Rightarrow Tb = 12,42 \text{ horas}$$

c.4) Vazão de pico do HUT (qp)

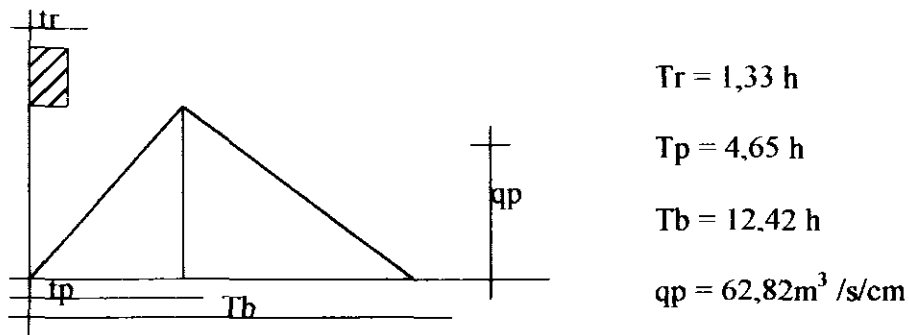
$$q_p = \frac{2,08 \times A}{t_p} = \frac{2,08 \times 140,45}{4,65} \Rightarrow q_p = 62,82 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{cm}$$

$$A = 140,45 \text{ Km}^2$$

$$q_p = 62,82 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{cm}$$

Esse hidrograma tem a forma mostrado na Figura 5 1

FIGURA 5.1
HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR DO SCS



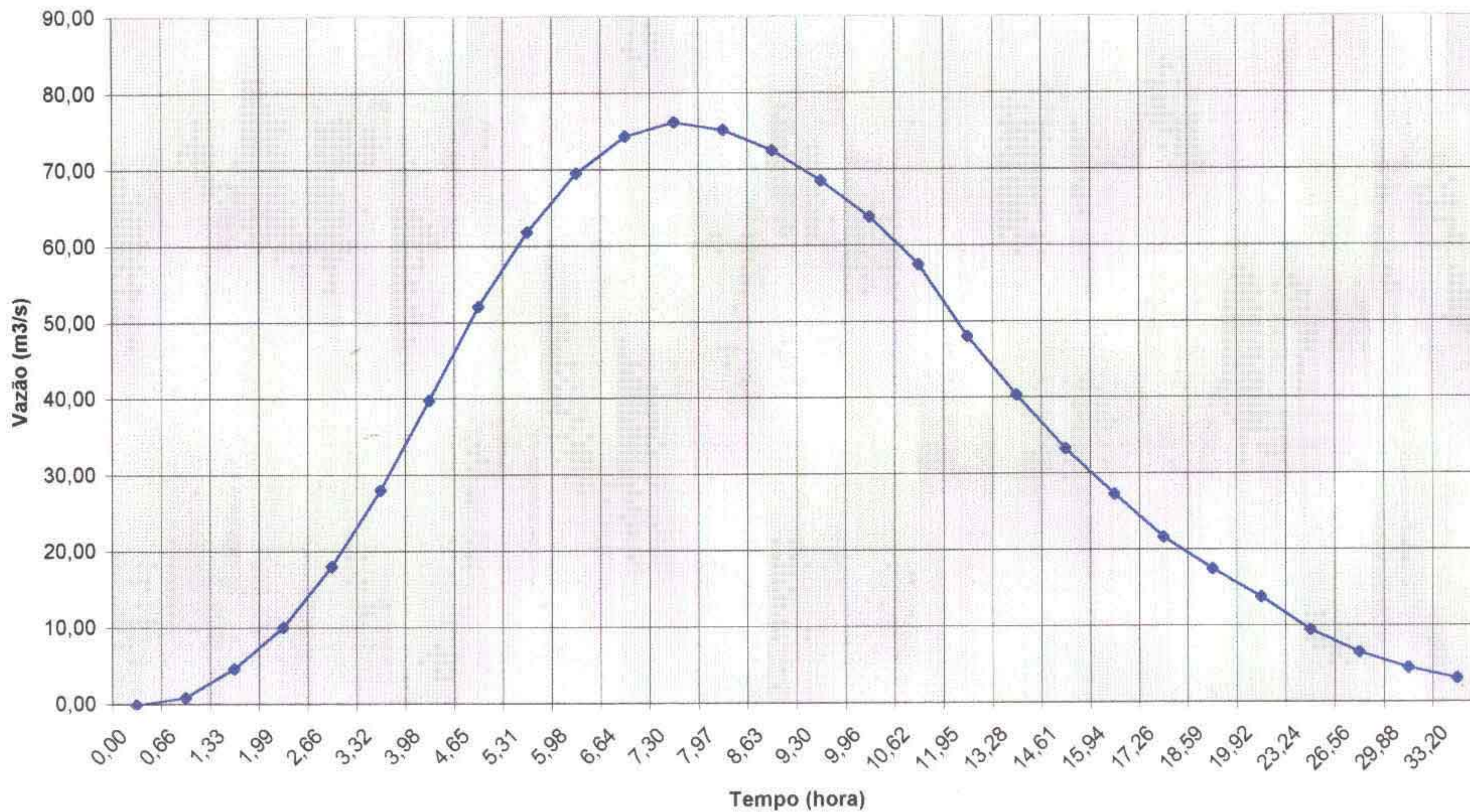
d) Cálculo do HU para uma Chuva de 10 mm igual ao Tempo de Concentração da Bacia

Partindo-se da relação do tempo e vazão de picos e das ordenadas do HUT adimensional do SCS, determinou-se o hidrograma curvilíneo para uma chuva de duração igual a $(1/5)T_c$. Desse hidrograma unitário, determinou-se o HU para uma chuva de duração igual ao tempo de concentração da bacia. Os resultados foram obtidos de programa computacional desenvolvido em linguagem de planilha eletrônica e podem ser observados na **Tabela 5.2** que gerou a **Figura 5.2**

TABELA 5.2 - HIDROGRAMA UNITARIO PARA UMA CHUVA DE DURAÇÃO = Tc

Adimensional do SCS		Tempo (hora)	HIDROG-1	HIDROG-2	HIDROG-3	HIDROG-4	HIDROG-5	H U C
v/tp	q/qp		vazões em m ³ /s/mm					
0.0	0.000	0.00	0.000					0.00
0.1	0.015	0.66	0.942					0.94
0.2	0.075	1.33	4.712	0.000				4.71
0.3	0.160	1.99	10.051	0.094				10.15
0.4	0.280	2.66	17.590	0.472	0.000			18.06
0.5	0.430	3.32	27.013	1.006	0.094			28.11
0.6	0.600	3.98	37.692	1.761	0.472	0.000		39.92
0.7	0.770	4.65	48.371	2.705	1.006	0.094		52.18
0.8	0.890	5.31	55.910	3.774	1.761	0.472	0.000	61.92
0.9	0.970	5.98	60.935	4.843	2.705	1.006	0.094	69.58
1.0	1.000	6.64	62.820	5.598	3.774	1.761	0.472	74.43
1.1	0.980	7.30	61.564	6.101	4.843	2.705	1.006	76.22
1.2	0.920	7.97	57.794	6.290	5.598	3.774	1.761	75.22
1.3	0.840	8.63	52.769	6.164	6.101	4.843	2.705	72.58
1.4	0.750	9.30	47.115	5.787	6.290	5.598	3.774	68.56
1.5	0.660	9.96	41.461	5.284	6.164	6.101	4.843	63.85
1.6	0.560	10.62	35.179	4.718	5.787	6.290	5.598	57.57
1.8	0.420	11.95	26.384	4.151	5.284	6.164	6.101	48.08
2.0	0.320	13.28	20.102	3.522	4.718	5.787	6.290	40.42
2.2	0.240	14.61	15.077	2.642	4.151	5.284	6.164	33.32
2.4	0.180	15.94	11.308	2.013	3.522	4.718	5.787	27.35
2.6	0.130	17.26	8.167	1.510	2.642	4.151	5.284	21.75
2.8	0.098	18.59	6.156	1.132	2.013	3.522	4.718	17.54
3.0	0.075	19.92	4.712	0.818	1.510	2.642	4.151	13.83
3.5	0.036	23.24	2.262	0.616	1.132	2.013	3.522	9.55
4.0	0.018	26.56	1.131	0.472	0.818	1.510	2.642	6.57
4.5	0.009	29.88	0.565	0.226	0.616	1.132	2.013	4.55
5.0	0.004	33.20	0.251	0.113	0.472	0.818	1.510	3.16

FIGURA 5.2 - HIDROGRAMA UNITÁRIO PARA UMA CHUVA DE DURAÇÃO = T_c



000037

e) Cálculo da Precipitação Excedente (Pe)

Para a determinação da precipitação efetiva, utilizou-se o método do “Curve Number” desenvolvido pelo SCS através da seguinte fórmula

$$Pe = [P - (5.080/N) + 50,8]^2 / [P + (20.320/N) - 203,2] \quad \text{onde,}$$

Pe = excesso de chuva em mm,

P = precipitação em mm,

N = número de defluvio definido pelo complexo solo-vegetação Adotou-se o valor 73 para a bacia do açude Chile

Aplicando-se a fórmula anterior as precipitações totais da Tabela 5.1, obtém-se o excesso de chuva para os diversos períodos de retornos conforme Tabela 5.3 a seguir

TABELA 5.3 – VALORES DAS PRECIPITAÇÕES EXCEDENTE

TR (anos)	Precipitação Efetiva (Pe)
100	47,17
1 000	77,29
10 000	100,13

f) Cálculo dos Hidrogramas Totais

Partindo do HU da Tabela 5.2, gerou-se os hidrogramas para os períodos de retorno de 100, 1 000 e 10 000 anos utilizando-se a seguinte relação

$$\frac{Qt}{Qtr} = \frac{PeTc}{PeTr} \quad \text{onde}$$

Qt – vazão no tempo i, obtido do somatório dos hidrogramas unitários,

Qtr – vazão no tempo t, para o período de retorno desejado,

PeTc – Precipitação efetiva calculada para os diversos TR

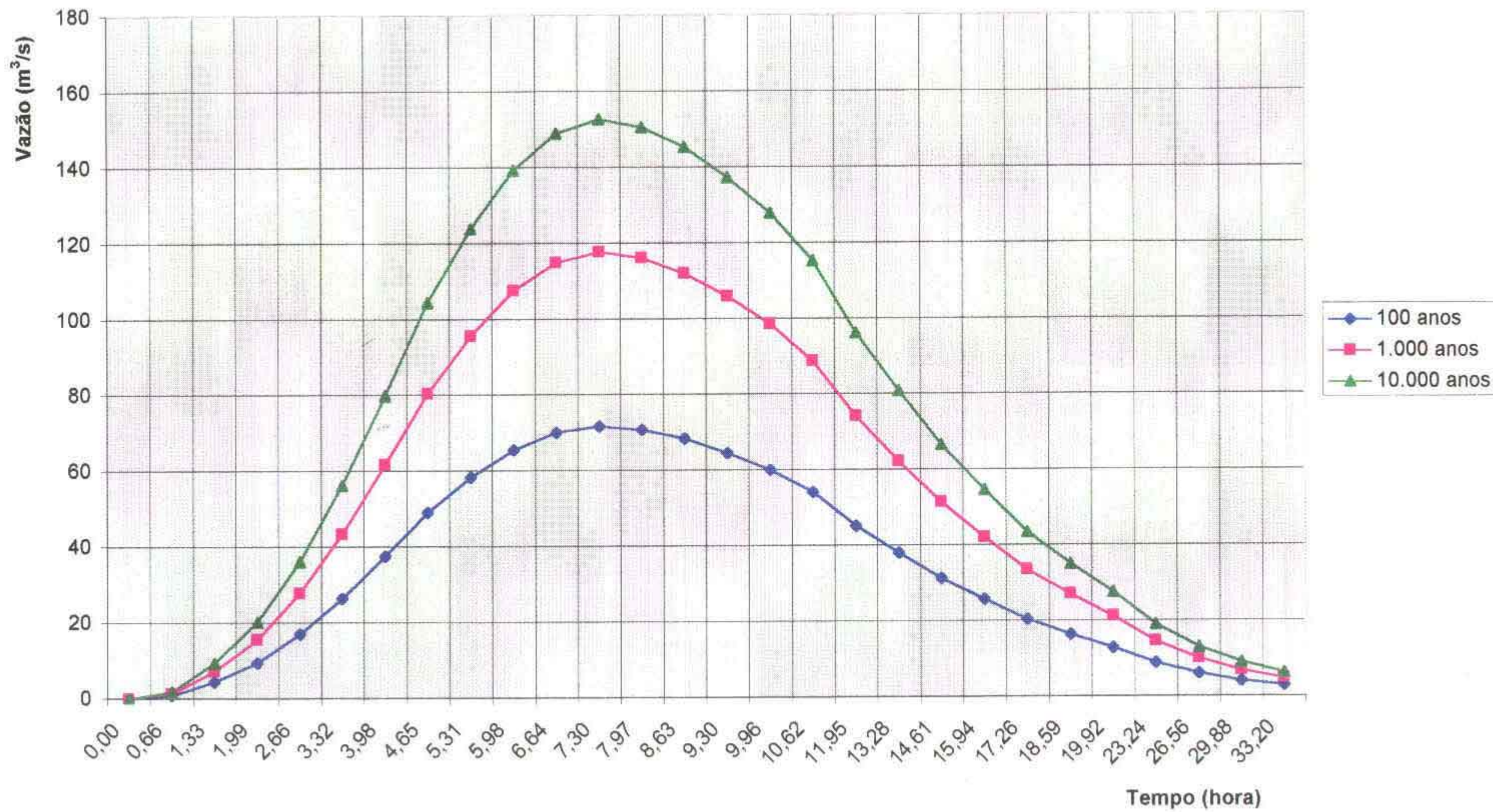
PeTr – precipitação efetiva medida para uma chuva unitária com tempo de duração igual ao tempo de concentração (PeTc = 5 x 10 mm = 50 mm)

Os resultados encontram-se na Tabela 5.4 e Figura 5.3

TABELA 5.4 - HIDROGRAMAS TOTAIS PARA OS DIVERSOS TR

Tempo (hora)	Vazão m ³ /s/mm	Períodos de Retornos (TR)		
		100 anos	1 000 anos	10 000 anos
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,66	0,94	0,89	1,46	1,89
1,33	4,71	4,44	7,28	9,44
1,99	10,15	9,57	15,68	20,32
2,66	18,06	17,04	27,92	36,17
3,32	28,11	26,52	43,46	56,30
3,98	39,92	37,67	61,72	79,95
4,65	52,18	49,22	80,65	104,49
5,31	61,92	58,41	95,71	123,99
5,98	69,58	65,65	107,56	139,35
6,64	74,43	70,21	115,05	149,04
7,30	76,22	71,91	117,82	152,64
7,97	75,22	70,96	116,27	150,63
8,63	72,58	68,47	112,20	145,35
9,30	68,56	64,68	105,99	137,31
9,96	63,85	60,24	98,70	127,87
10,62	57,57	54,31	88,99	115,29
11,95	48,08	45,36	74,33	96,29
13,28	40,42	38,13	62,48	80,94
14,61	33,32	31,43	51,50	66,72
15,94	27,35	25,80	42,27	54,77
17,26	21,75	20,52	33,63	43,56
18,59	17,54	16,55	27,12	35,13
19,92	13,83	13,05	21,38	27,70
23,24	9,55	9,01	14,76	19,12
26,56	6,57	6,20	10,16	13,16
29,88	4,55	4,30	7,04	9,12
33,20	3,16	2,98	4,89	6,34

FIGURA 5.3 -
HIDROGRAMA DE CHEIAS - AÇUDE CHILE



000040

6.0 – ESTUDO DO VOLUME REGULARIZADO

6.0 – ESTUDO DO VOLUME REGULARIZADO

Define-se regularização de um reservatório com sendo a retirada de um certo volume d'água constante, associada a um determinado nível de garantia ou frequência de falha

6.1 - METODOLOGIA

Para calcular o volume regularizado do açude Chile, utilizou-se como ferramenta o método do Diagrama Triangular de Regulação – DRT (Campos, 1990) Semelhante ao diagrama de classificação dos solos, o DTR divide percentualmente em três partes o volume afluente ao açude. Estas partes são a evaporação, a sangria e a liberada

O percentual liberado representa a parcela do deflúvio que efetivamente será regularizado

O nível de garantia para fornecimento da água é de 90% (noventa por cento)

As etapas de cálculo são

- 1) determina-se através de série históricas de vazões ou de regionalização, os parâmetros estatísticos que caracterizam os deflúvios anuais, quais sejam média, desvio padrão e coeficiente de variação
- 2) Com dados da tabela cota x volume, determina-se o coeficiente de forma do reservatório (α) através da reta dos mínimos quadrados $y = \alpha x$, onde y representa o volume acumulado e x o cubo da altura d'água correspondente
- 3) Determina-se os valores do coeficiente adimensional de capacidade f_k
- 4) Seleciona-se o diagrama correspondente ao C_v determinado na etapa 1 e, a partir do ponto de encontro das isolinhas de f_e e f_k , determina-se a percentagem de sangria, evaporação e regularização

6.2 – MEMÓRIA DE CÁLCULO

6.2.1 - Cálculo do fator adimensional de evaporação (f_e):

$$f_e = \frac{3 \alpha^{1/3} E_1}{\mu^{1/2}} \quad \text{onde}$$

f_e fator adimensional de evaporação

α fator de forma do reservatório

E_1 Lâmina evaporada na estação seca

μ Deflúvio médio anual em m^3

6.2.2 - Cálculo do fator de forma (α) do reservatório

O fator de forma do reservatório estima o formato da bacia hidráulica na suposição que a equação da forma do lago pode ser representado por $V = \alpha h^3$, onde V é o volume do reservatório, h é a altura d'água e α é o adimensional calculado a partir da regressão linear de V versus h^3 , sendo portanto a tangente da reta de regressão linear passando pela origem. Tem-se então

$$\alpha = \frac{\sum V_i}{\sum (h_i)^3}$$

com os dados da tabela cota volume da Tabela 6.1 obtém-se $\alpha = 2.944,95$

TABELA 6.1 – CÁLCULO DO VALOR DE ALFA

COTAS(m)	ALTURA AO (h^3)	VOLUME (m^3)
81.00	1.00	1 033.63
82.00	8.00	19 677.00
83.00	27.00	138 727.13
84.00	64.00	415 903.63
85.00	125.00	906 121.50
86.00	216.00	1 689 799.75
87.00	343.00	2 816 239.25
88.00	512.00	4 358 385.25
89.00	729.00	6 466 521.88
90.00	1 000.00	9 278 781.75
91.00	1 331.00	13 080 290.88
92.00	1 728.00	18 041 747.50
93.00	2 197.00	24 350 408.63
94.00	2 744.00	32 149 662.75
95.00	3 375.00	41 799 055.38
96.00	4 096.00	53 700 386.50
97.00	4 913.00	68 094 848.63
98.00	5 832.00	85 329 517.25
99.00	6 859.00	105 784 551.38
100.00	8 000.00	129 872 334.00
TOTAIS	44 100.00	

$$\alpha = \frac{129\,872\,334}{44\,100} = 2\,944,95$$

6.2.3 - Deflúvio médio anual (μ)

O deflúvio médio anual (μ) foi calculado multiplicando-se a área da bacia hidrográfica pela lâmina média anual escoada em Ibicuitinga, cujo valor foi obtido diretamente do atlas do Plano Estadual dos Recursos Hídricos

$$M = A \times d \quad \text{onde}$$

μ deflúvio médio anual ao açude Chile

A área da bacia hidrográfica 140,45 km²

d deflúvio médio anual em Ibicuitinga 65 mm

$$\mu = 14\,045 \text{ hm}^2 \times 0,00065 \text{ hm} \Rightarrow \mu = 9,13 \text{ hm}^3 \text{ (9\,129\,250 m}^3\text{)}$$

6.2.4 - Lâmina Evaporada na estação seca (E_L):

Para o cálculo da lâmina evaporada na estação seca, utilizou-se os dados da estação meteorológica de Morada Nova – Quadro 6.1 - referente aos meses de junho a dezembro multiplicados pelo fator de correção 0,80, visto que os valores correspondem a evaporação do tanque classe “A”

Quadro 6.1
EVAPORAÇÃO DO TANQUE “A”

MÊS	EVAPORAÇÃO (mm)	MÊS	EVAPORAÇÃO (mm)
Janeiro	224	Julho	194
Fevereiro	177	Agosto	261
Março	122	Setembro	305
Abril	105	Outubro	281
Maior	122	Novembro	272
Junho	150	Dezembro	263
TOTAL			1.576

$$E_L = 1\,576 \text{ mm} \times 0,80 \Rightarrow E_L = 1\,260,80 \text{ mm}$$

Com os dados acima calcula-se o fe

$$fe = \frac{3 \alpha^{1,3} E_L}{\mu^{1,3}} \rightarrow fe = \frac{3 (2\,944,95)^{1,3} \cdot 1,26}{(9\,129\,250)^{1,3}}$$

$$fe = 0,26$$

6.2.5 - Coeficiente de variação (Cv)

Por falta de dados para o cálculo do coeficiente de variação, por recomendação do autor, prof Nilson Campos, adotou-se o valor médio regional de 1,10

6.2.6 - Fator adimensional de capacidade (fk)

$$fk = \frac{k}{\mu} \quad \text{onde}$$

k Capacidade do reservatório

μ volume afluente médio anual = 9,13 hm³

6.2.7 – Regulação do Açude Chile

Com os valores de $f_e = 0,26$, $C_v = 1,10$ (Figura 6 1) e variando a capacidade do açude a partir da cota 90,00, nível atual do sangradouro, obteve-se os resultados do quadro 6 2 que gerou as curvas da Figura 6 2

QUADRO 6.2 - Regulação do Açude Chile

DEFLUVIO MEDIO ANUAL = 9 1293 hm³

COTA (m)	CAP. (K) (hm ³)	fk	Fe	EVAP. (%)	EVAP. (hm ³)	SANG. (%)	SANG. (hm ³)	REGUL. (%)	REGUL. (hm ³)
90.00	9 279	1.02	0,26	18,00	1.643	55,00	5.021	27,00	2.465
91.00	13 080	1.43	0,26	22,00	2.008	46,00	4.199	32,00	2.921
92.00	18 042	1.98	0,26	26,00	2.374	37,00	3.378	37,00	3.378
93.00	24 350	2.67	0,26	32,00	2.921	26,00	2.374	42,00	3.834
94.00	32 150	3.52	0,26	36,00	3.287	19,00	1.735	45,00	4.108
95.00	41 799	4.58	0,26	40,00	3.652	12,00	1.096	48,00	4.382
96.00	53 700	5.88	0,26	44,00	4.017	7,00	0.639	49,00	4.473
97.00	68 095	7.46	0,26	49,00	4.473	1,00	0.091	50,00	4.565

600046

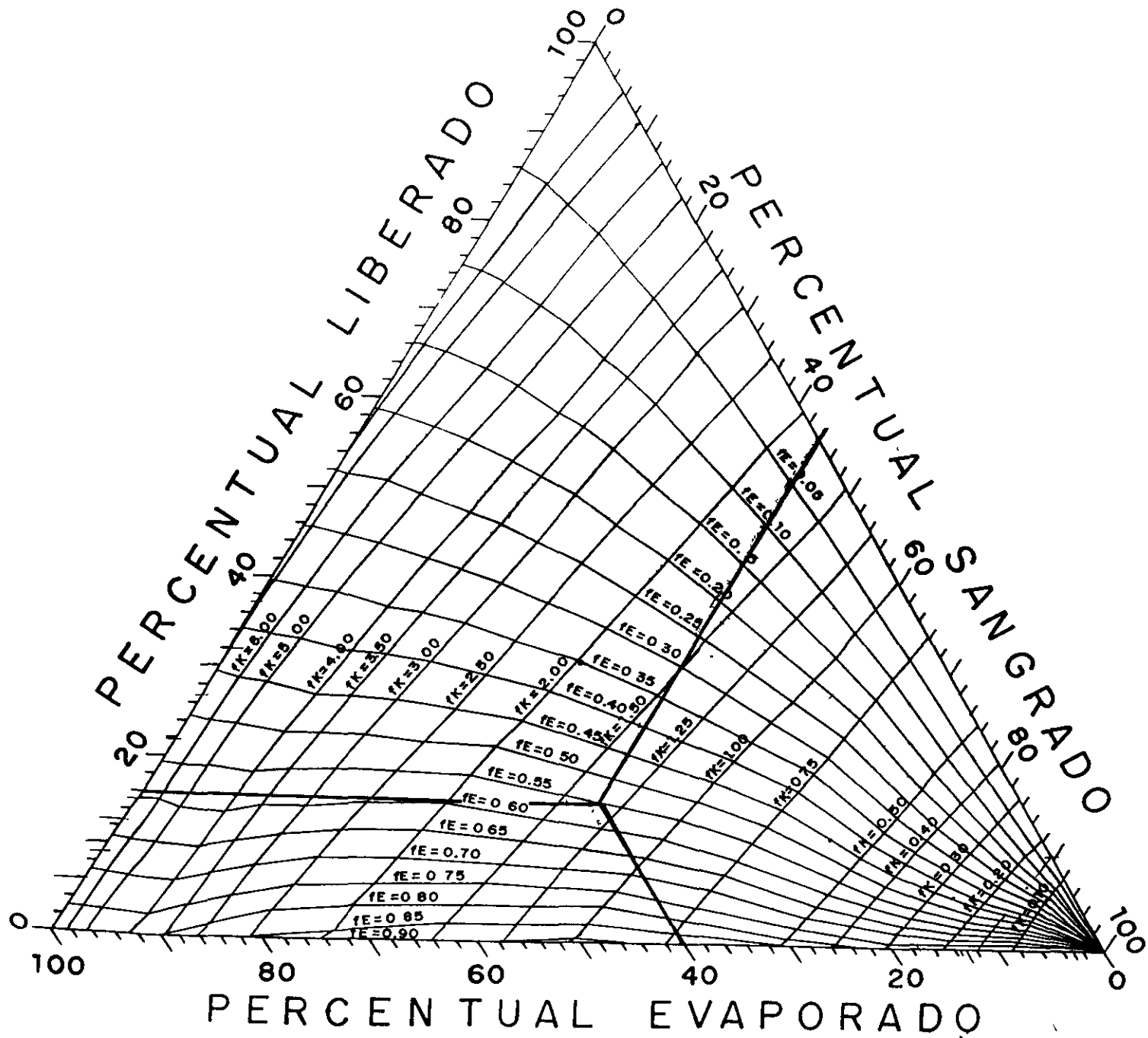
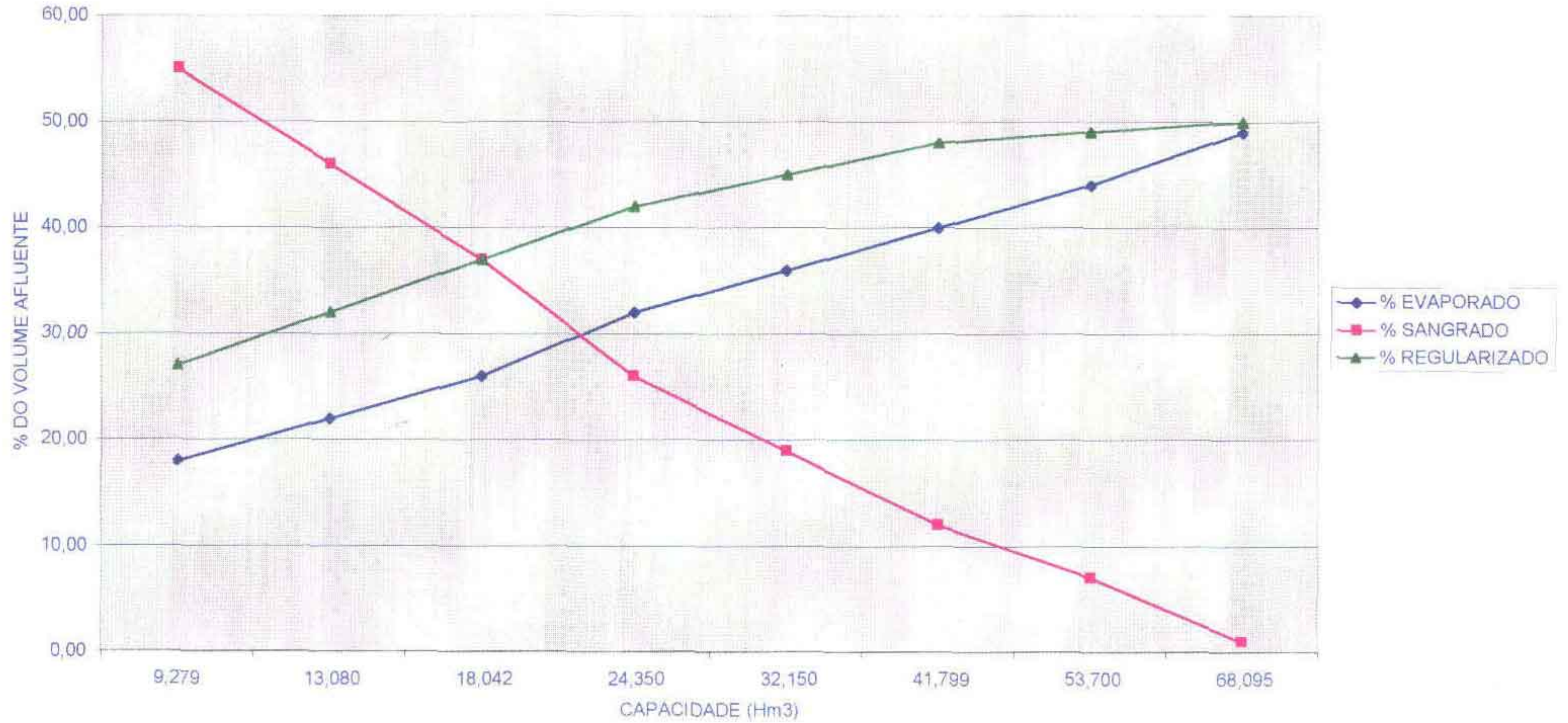


FIGURA 6.1 - DIR PARA CV 1.10

FIGURA 6.2 - REGULAÇÃO DO AÇUDE CHILE



**7.0 – ESTUDO DA INTERFERÊNCIA DO AÇUDE
CHILE NA REGULARIZAÇÃO DO AÇUDE
SANTO ANTÔNIO DE RUSSAS**

7.0 – ESTUDO DA INTERFERÊNCIA DO AÇUDE CHILE NA REGULARIZAÇÃO DO AÇUDE SANTO ANTÔNIO DE RUSSAS

7.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A bacia hidrográfica do açude Chile na realidade é uma sub-bacia do açude Santo Antônio de Russas, visto que o maciço do açude Chile barra o Rio Palhano em um sítio localizado cerca de 50 km a montante do açude Santo Antônio de Russas que também barra o Rio Palhano

A ampliação da barragem Chile com área de drenagem de 140,45 km², pode significar interferência negativa na regularização do açude Santo Antônio de Russas posto que sua bacia hidrográfica representa cerca de 22% (vinte e dois por cento) da área da bacia do Santo Antônio de Russas que é de 635 km²

O presente capítulo visa estudar qual o grau de interferência do açude Chile na regularização do açude Santo Antônio de Russas

7.2 - REGULARIZAÇÃO DO AÇUDE SANTO ANTÔNIO DE RUSSAS

Para o estudo do volume regularizado do açude Santo Antônio de Russas foi adotado a mesma metodologia descrita no item 6.0, ou seja, utilizou-se o Diagrama Triangular de Regularização

Serão consideradas duas hipóteses neste estudo

- a) Regularização do Açude Santo Antônio de Russas **sem** o açude Chile, e
- b) Regularização do Açude Santo Antônio de Russas, **considerando a ampliação** do açude Chile a partir da cota 90,00 que é a cota de sangria atual e variando a altura até a cota 97,00 m, limite máximo permitido pela topografia do boqueirão

a) Açude Santo Antônio de Russas sem Ampliação do Açude Chile

Para os calculos serão utilizados os seguintes dados

- *Lâmina Evaporada*

Como açude Santo Antônio de Russas encontra-se na mesma região do açude Chile, sera usado o valor da lâmina evaporada da estação meteorológica de Morada Nova conforme item 6.2.4, ou seja. $E_l = 1260,80$ mm

- *Lâmina Média Escorada na Bacia Hidrográfica*

Este dado foi obtido diretamente do atlas do Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH, que para a bacia de Drenagem do açude Santo Antônio de Russas é de 80,88 mm

- *Area da Bacia Hidrográfica*

Obtida através das cartas da SUDENE na escala 1:100.000 com valor confirmado no PERH, a area da bacia hidrográfica do açude Santo Antônio de Russas é 635 km²

- *Curva Cota x Area x Volume*

A curva x área x volume foi obtida do Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH e e mostrado no Quadro 7.1

**QUADRO 7.1 – CURVA COTA X ÁREA X VOLUME
AÇUDE SANTO ANTÔNIO DE RUSSAS**

COTA	AREA (ha)	VOLUME(Hm3)
87,00	0,00	0,00
88,00	1,00	0,40
89,00	40,00	0,80
90,00	85,00	1,80
91,00	150,00	2,80
92,00	240,00	4,90
93,00	350,00	7,80
94,00	460,00	12,40
95,00	580,00	17,80
96,00	740,00	23,60
97,00	860,00	30,40

- *Fator de Forma do Reservatório (α)*

Calculando conforme item 6.2.2 com valores do Quadro 7.2

QUADRO 7.2 – CÁLCULO DO ALFA

COTA	ALTURA (h)	ALTURA (h ³)	VOLUME (m ³)
87,00	0,00	0,00	-
88,00	1,00	1,00	400 000,00
89,00	2,00	8,00	800 000,00
90,00	3,00	27,00	1 800 000,00
91,00	4,00	64,00	2 800 000,00
92,00	5,00	125,00	4 900 000,00
93,00	6,00	216,00	7 800 000,00
94,00	7,00	343,00	12 400 000,00
95,00	8,00	512,00	17 800 000,00
96,00	9,00	729,00	23 600 000,00
97,00	10,00	1000,00	30 400 000,00

SOMA ==> 3025,00
ALFA – 10 049,59

- *Deflúvio Médio Anual (μ)*

O deflúvio médio anual (μ) foi calculado multiplicando-se a lâmina média escoada na bacia hidrográfica do açude Santo Antônio de Russas pela área da mesma

$$\mu = 635\,000\,000\text{ m}^2 \times 0,08088\text{ m} = 51\,358\,800\text{ m}^3$$

- *Fator Adimensional de Evaporação (f_e)*

$$f_e = \frac{3 \alpha^{1,3} F_i}{\mu^{1,3}} = \frac{3 (10\,049,59)^{1,3} 1,26}{(51\,358\,880)^{1,3}} \Rightarrow f_e = 0,22$$

Com os valores acima, calculou-se os volumes evaporados, sangrados e regularizados resumidos no Quadro 7.3

QUADRO 7.3 - AÇUDE SANTO ANTÔNIO DE RUSSAS SEM O CHILE

**REGULARIZAÇÃO DO AÇUDE SANTO ANTÔNIO DE RUSSAS NÃO
CONSIDERANDO O AÇUDE CHILE**

DEFLUVIO MEDIO ANUAL DO AÇUDE SANTO ANT DE RUSSAS = 51,36 hm³

COTA (m)	VOL. (hm³)	fk	fe	Cv	EVAP. (%)	EVAP. (hm³)	SANG. (%)	SANG. (hm³)	REG. (%)	REG. (hm³)
92,00	4,90	0,10	0,22	1,2	3,00	1,54	91,00	46,74	6,00	3,08
93,00	7,80	0,15	0,22	1,2	4,00	2,05	89,00	45,71	7,00	3,60
94,00	12,40	0,24	0,22	1,2	6,00	3,08	84,00	43,14	10,00	5,14
95,00	17,80	0,35	0,22	1,2	8,00	4,11	79,80	40,99	12,20	6,27
96,00	23,60	0,46	0,22	1,2	9,00	4,62	75,00	38,52	16,00	8,22
97,00	30,40	0,59	0,22	1,2	11,00	5,65	70,00	35,95	19,00	9,76

b) Açude Santo Antônio de Russas com Ampliação do Açude Chile

Para efeito de cálculo, considerou-se os valores da lâmina evaporada (E_L) e fator de forma (α) iguais ao do item "a", ou seja $E_L = 1,26$ e $\alpha = 10\,049,59$

- Área da Bacia Hidrográfica

Neste item, exclui-se a área da bacia hidrográfica do açude Chile, visto que o objetivo é saber o comportamento do açude Santo Antônio de Russas sem o Chile

$$A = 635 \text{ km}^2 - 140,45 \text{ km}^2 = 494,55 \text{ km}^2$$

- Deflúvio Médio Anual

No cálculo do volume médio anual, considerou-se o volume sangrado do açude Chile mais o deflúvio médio, que foi calculado multiplicando-se a área ($494,55 \text{ km}^2$) pela lâmina média escoada ($80,88 \text{ mm}$)

- Fator Adimensional de Evaporação f_e

Calculado pela fórmula citada anteriormente, fazendo o deflúvio médio anual variar conforme Quadro 7.4 (coluna VOL ESC)

- Volume Regularizado

Com os valores acima, calculou-se os volumes evaporados, sangrados e regularizados no DTR para um coeficiente de variação $C_v = 1,20$. Os resultados encontram-se no Quadro 7.4

QUADRO 7.4 - ACUDE SANTO ANTONIO DE RUSSAS COM O CHILE

REGULARIZAÇÃO DO AÇUDE SANTO ANTONIO DE RUSSAS CONSIDERANDO O AÇUDE CHILE

DEFLUVIO MÉDIO ANUAL DO AÇUDE SANTO ANT DE RUSSAS = 40,00 hm³

AÇUDE CHILE			AÇUDE SANTO ANTONIO DE RUSSAS										
COTA	CAP.	SANG.	VOL. ESC.	K	fk	Cv	fe	EVAP.	EVAP.	SANG.	SANG.	REG.	REG.
(m)	(Hm ³)	(Hm ³)	(Hm ³)	(Hm ³)				(%)	(Hm ³)	(%)	(Hm ³)	(%)	(Hm ³)
90,00	9,28	5,02	45,021	30,4	0,68	1,20	0,229	12,09	5,44	66,21	29,81	21,70	9,77
91,00	13,08	4,20	44,199	30,4	0,69	1,20	0,231	12,10	5,35	66,20	29,26	21,70	9,59
92,00	18,04	3,38	43,378	30,4	0,70	1,20	0,232	12,19	5,29	66,11	28,68	21,70	9,41
93,00	24,35	2,37	42,374	30,4	0,72	1,20	0,234	12,20	5,17	66,10	28,01	21,70	9,19
94,00	32,15	1,73	41,735	30,4	0,73	1,20	0,235	12,21	5,10	66,10	27,58	21,70	9,05
95,00	41,80	1,10	41,096	30,4	0,74	1,20	0,236	12,22	5,02	66,09	27,16	21,69	8,92
96,00	53,70	0,64	40,639	30,4	0,75	1,20	0,237	12,30	5,00	66,01	26,82	21,69	8,82
97,00	68,09	0,09	40,091	30,4	0,76	1,20	0,238	12,40	4,97	65,91	26,42	21,69	8,70

CONCLUSÕES

CONCLUSÕES

Considerando os resultados mostrados no Quadro 7.3, observa-se que o sistema (Chile + S. A. Russas) ganha em regularização quando não se considera o açude Chile, ou seja, o Santo Antônio de Russas regularizaria cerca de 9,76 hm³/ano se o Chile não existisse.

Quando se faz a simulação do Santo Antônio de Russas considerando o açude Chile (Quadro 7.4) observa-se um decréscimo irrelevante no percentual de regularização, pois o mesmo varia negativamente de 21,70% para 21,69%. Ou seja, a ampliação do açude Chile interferiria de forma insignificante nos volumes regularizados do sistema. Contudo, quando se observa o Quadro 6.2 – Regulação do açude Chile, conclui-se que a ampliação significará um acréscimo de 2,10 hm³/ano, passando de um volume regularizado de 2,465 hm³/ano na cota 90,00 para 4,565 hm³/ano na cota 97,00, significando pois um aumento de 85% no volume regularizado.

Estudos econômicos posteriores auxiliarão na tomada de decisão quanto ao acréscimo do volume de acumulação do açude Chile.