
GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos
BARRAGEM GERMINAL E ADUTORA DE PALMÁCIA
Município de Palmácia - Ceará

FASE A - ESTUDOS DE VIABILIDADE
ETAPA A2 - Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto da Barragem
Germinal

VOLUME I - Estudos Básicos
Tomo 3 - Estudos Hidrológicos e Hidráulicos

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.
1	Dez./2012	Estudos Hidrológicos	LSVN	JTLR
2	Jun./2013	Estudos Hidrológicos e Hidráulicos	LSVN	JTLR



SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS	6
APRESENTAÇÃO.....	7
1 CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA.....	10
1.1 Principais Parâmetros.....	10
1.1.1 <i>Temperatura</i>	<i>10</i>
1.1.2 <i>Umidade Relativa</i>	<i>11</i>
1.1.3 <i>Insolação Média.....</i>	<i>12</i>
1.1.4 <i>Nebulosidade.....</i>	<i>13</i>
1.1.5 <i>Precipitação Total.....</i>	<i>14</i>
1.1.6 <i>Evaporação Total Média.....</i>	<i>15</i>
1.1.7 <i>Evapotranspiração.....</i>	<i>16</i>
1.2 Balanço Hídrico.....	17
1.3 Classificação do Clima.....	19
1.3.1 <i>Classificação segundo Köppen-Geiger.....</i>	<i>19</i>
1.4 Sinopse Climatológica	22
2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA	24
3 ESTUDO DE CHEIA E DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO	29
3.1 Introdução	29
3.2 Metodologia.....	29
3.3 Estudo de Chuvas Intensas.....	30
3.3.1 <i>Método das Isozonas (TORRICO, 1975).....</i>	<i>31</i>
3.3.2 <i>Valores Externos.....</i>	<i>33</i>
3.3.3 <i>Precipitação Efetiva.....</i>	<i>40</i>
3.3.4 <i>Hidrograma Unitário – SCS.....</i>	<i>42</i>
3.3.5 <i>Propagação da Cheia no Reservatório</i>	<i>45</i>
3.4 Resultados.....	46
4 ESTUDO DOS DEFLÚVIOS.....	51
5 CURVAS DE REGULARIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO.....	67
6 ESTUDOS HIDRÁULICOS DO VERTEDOURO.....	71
6.1 Dimensionamento do Vertedouro.....	71

6.1.1	<i>Dados do Projeto e Determinação da Largura do Vertedouro.....</i>	71
6.1.2	<i>Características do Vertedouro.....</i>	71
6.2	Dimensionamento da Bacia de Dissipação	72
6.2.1	<i>Dados do Projeto e Parâmetros de Cálculo.....</i>	75
6.2.2	<i>Cálculo do Comprimento da Bacia de Dissipação.....</i>	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Temperaturas Médias Máximas, Mínimas e Compensadas.....	11
Figura 1.2 - Umidade Relativa Média.....	12
Figura 1.3 - Insolação total média.....	13
Figura 1.4 - Nebulosidade.....	14
Figura 1.5 - Distribuição temporal da precipitação.....	15
Figura 1.6 - Evaporação total média.....	16
Figura 1.7 - Balanço Hídrico.....	16
Figura 1.8 - Extrato de Balanço Hídrico Mensal.....	18
Figura 1.9 - Deficiência, Excedente, Retirada e Reposição Hídrica ao longo do ano....	18
Figura 2.1 – Altimetria da Bacia.....	26
Figura 2.2 – Solos da Bacia.....	27
Figura 3.1 - Método das Isozonas de Taborga.....	32
Figura 3.2 - Variação da precipitação anual do posto Pacoti.....	33
Figura 3.3 - Ábaco de desagregação da chuva diária.....	37
Figura 3.4 - Hietograma para o Período de Retorno de 100 anos.....	39
Figura 3.5 - Hietograma para o Período de Retorno de 1.000 anos.....	39
Figura 3.6 - Hietograma para o Período de Retorno de 10.000 anos.....	40
Figura 3.7 - Hidrograma total afluente ao Açude Germinal (Tr = 100 anos).....	44
Figura 3.8 - Hidrograma total afluente ao Açude Germinal (Tr = 1.000 anos).....	44
Figura 3.9 - Hidrograma total afluente ao Açude Germinal (Tr = 10.000 anos).....	45
Figura 3.10 - Cota x Área x Volume.....	47
Figura 3.11 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Germinal (Tr = 100 anos). Perfil Creager. Cota 278,0 m.....	48
Figura 3.12 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Germinal (Tr = 1.000 anos). Perfil Creager. Cota 278,0 m.....	48
Figura 3.13 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Germinal (Tr = 10.000 anos). Perfil Creager. Cota 278,0 m.....	49
Figura 4.1 - Calibração do Modelo SMAP para o posto Cristais (35950000).....	52
Figura 4.2 - Esquema físico do modelo chuva-vazão SMAP (Lopes et al., 1981).....	53
Figura 4.3 – Postos Pluviométricos utilizados para cálculo da Precipitação Média.....	55
Figura 4.4 - Thiessen 01.....	56

Figura 4.5 - Thiessen 02.....	56
Figura 4.6 - Thiessen 03.....	57
Figura 4.7 - Thiessen 04.....	57
Figura 4.8 - Thiessen 05.....	58
Figura 4.9 - Thiessen 06.....	58
Figura 4.10 - Thiessen 07.....	59
Figura 4.11 - Thiessen 08.....	59
Figura 4.12 - Thiessen 09.....	60
Figura 4.13 - Thiessen 10.....	60
Figura 4.14 - Thiessen 11.....	61
Figura 5.1 - Curva de regularização do reservatório Germinal.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Temperaturas Médias Máximas, Mínimas e Compensadas (°C).....	11
Tabela 1.2 - Umidade Relativa Média.....	12
Tabela 1.3 - Insolação total média.....	12
Tabela 1.4 - Nebulosidade.....	13
Tabela 1.5 - Distribuição temporal da precipitação.....	14
Tabela 1.6 - Evaporação total média.....	15
Tabela 1.7 - Evapotranspiração potencial.....	16
Tabela 1.8 - Balanço Hídrico segundo Thornthwaite & Mather.....	17
Tabela 1.9 - Significado da primeira letra da classificação segundo Köppen-Geiger.	21
Tabela 1.10 - Significado da segunda letra da classificação segundo Köppen-Geiger.	21
Tabela 1.11 - Significado da terceira letra da classificação segundo Köppen-Geiger.	22
Tabela 1.12 - Sinopse Climatológica.....	22
Tabela 3.1 - Série pluviométrica mensal do posto Pacoti.....	34
Tabela 3.2 - Máximos anuais da série do posto Pacoti.....	35
Tabela 3.3 - Extremos de chuva (mm) obtidos da distribuição de probabilidade.....	36
Tabela 3.4 - Pluviometria desagregada pelo método de Taborga Torrico.....	38
Tabela 3.5 – CAV da Barragem Germinal.....	47
Tabela 3.6 - Resultados das simulações de cheia do presente projeto.....	49
Tabela 4.1 - Resultados obtidos para o modelo SMAP mensal.....	54
Tabela 4.2 – Postos utilizados no método de Thiessen para calcula da precipitação média.....	54
Tabela 4.3 - Série de precipitações médias sobre a bacia hidrográfica do Germinal em mm.....	62
Tabela 4.4 - Série fluviométrica pseudo-histórica afluente ao Reservatório em m ³ /s.....	63
Tabela 4.5 - Volume médio (hm ³) afluente ao Reservatório Germinal em hm ³	64
Tabela 5.1 - Vazão regularizável para diversas garantias - Reservatório Germinal.....	69

APRESENTAÇÃO

Os serviços executados pela empresa JM Engenheiros Consultores Ltda, no âmbito do Contrato nº 10/ SRH/CE/2010 , assinado em 30/04/2010 com a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), tem como objeto **a Elaboração dos Estudos Básicos e Concepção, Eia/Rima, Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento, Detalhamento do Projeto Executivo, Avaliação Econômica e Financeira Referentes a Barragem Germinal e a Adutora de Palmácia, no Estado do Ceará.**

Os estudos desenvolvidos, em atendimento aos Termos de Referência, são constituídos por atividades multidisciplinares que permitem a elaboração de relatórios específicos organizados em Fases, Etapas, Volumes e Tomos. As partes e tomos que compõem o acervo do contrato são os apresentados na seqüência:

FASE A - ESTUDOS DE VIABILIDADE

- ❖ **ETAPA A1** - Relatório de Identificação de Obras - RIO
 - **VOLUME I** - Relatório de Identificação de Obras - RIO
- ❖ **ETAPA A2** - Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto da Barragem Germinal
 - **VOLUME I** - Estudos Básicos
 - *Tomo 1 - Levantamentos Topográficos*
 - *Tomo 2 - Estudos Cartográficos*
 - *Tomo 3 - Estudos Hidrológicos*
 - *Tomo 4 - Estudos Geológicos e Geotécnicos*
 - **VOLUME II** - Concepção Geral do Projeto da Barragem Germinal
 - *Tomo 1 - Relatório de Concepção Geral*
 - *Tomo 1A - Desenhos*
 - *Tomo 1B - Memória de Cálculo*
- ❖ **ETAPA A3** - Estudos Básicos e a concepção da Adutora de Palmácia
 - **VOLUME I** - Estudos Básicos
 - *Tomo 1 - Relatório Geral*
 - *Tomo 2 - Estudos Topográficos*
 - *Tomo 3 - Estudos Geotécnicos*
 - **VOLUME II** - Relatório Técnico Preliminar (RTP) da Adutora
 - *Tomo 1 - Relatório de Concepção Geral*
 - *Tomo 1A - Desenhos*
 - *Tomo 1B - Memória de Cálculo*

FASE B - DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO

- ❖ **ETAPA B1** - Estudos dos Impactos no Meio Ambiente (EIA-RIMA)

- **VOLUME I** - Relatório do EIA/RIMA da Barragem Germinal e Adutora de Palmácia
 - *Tomo 1 - Estudos dos Impactos no Meio Ambiente (EIA) da Barragem Germinal e Adutora de Palmácia*
 - *Tomo 2 - Relatório dos Impactos no Meio Ambiente (RIMA) da Barragem Germinal e Adutora de Palmácia*
 - *Tomo 3 - Relatório de Desmatamento Racional da Bacia Hidráulica*
- ❖ **ETAPA B2** - Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento da Barragem Germinal e Adutora de Palmácia
 - **VOLUME I** - Levantamento Cadastral
 - *Tomo 1 - Relatório Geral*
 - *Tomo 2 - Laudos Individuais de Avaliação*
 - *Tomo 3 - Levantamentos Topográficos*
 - **VOLUME II** - Plano de Reassentamento da Barragem Germinal
 - *Tomo 1 - Diagnóstico*
 - *Tomo 2 - Detalhamento do Projeto de Reassentamento*
 - *Tomo 3 - Relatório Final de Reassentamento*
- ❖ **ETAPA B3** - Projeto Executivo da Barragem
 - **VOLUME I** - Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem Germinal
 - *Tomo 1 - Memorial Descritivo do Projeto*
 - *Tomo 2 - Desenhos*
 - *Tomo 3 - Memória de Cálculo*
 - *Tomo 4 - Especificações Técnicas e Normas de Medições e Pagamentos*
 - ✓ *Tomo 4.1 - Serviços Gerais*
 - ✓ *Tomo 4.2 - Concretos CCV e CCR*
 - ✓ *Tomo 4.3 - Equipamentos Hidromecânicos.*
 - *Tomo 5 - Quantitativos e Orçamentos*
 - *Tomo 6 - Relatório Síntese*
 - *Tomo 7 - Manual de Operação e Manutenção;*
- ❖ **ETAPA B4** - Projeto Executivo da Adutora de Palmácia
 - **VOLUME I** - Detalhamento do Projeto Executivo da Adutora
 - *Tomo 1 - Relatório Geral*
 - *Tomo 2 - Memória de Cálculo*
 - *Tomo 3 - Quantitativos e Orçamentos*
 - *Tomo 4 - Especificações Técnicas e Normas de Medições e Pagamentos*
 - *Tomo 5 - Desenhos*
- ❖ **ETAPA B5** - Avaliação Econômica e Financeira do Sistema (Barragem e Adutora)
 - **VOLUME I** - Avaliação Econômica e Financeira do Sistema - Barragem Germinal e Adutora de Palmácia.

A documentação ora apresentada compreende o Tomo 3 - Estudos Hidrológicos, VOLUME I da ETAPA A2 - Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto da Barragem Germinal.

1 – CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

1 CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

A abordagem da climatologia visa caracterizar a área de implantação da Barragem Germinal nos seus mais variados elementos hidrometeorológicos. Para caracterizar a hidroclimatologia da região foi considerada representativa a estação hidroclimatológica de Guaramiranga, situada no município homônimo, uma vez que este município possui características hidrometeorológicas semelhantes à região de interesse. A caracterização hidroclimatológica da zona será feita utilizando-se os dados fornecidos pelo INMET (1992)¹, os quais foram obtidos a partir do monitoramento das variáveis de interesse durante os anos de 1961 a 1990 em conjunto com os dados obtidos na plataforma de coleta de dados supracitada.

1.1 Principais Parâmetros

1.1.1 Temperatura

A distribuição temporal de temperaturas diárias mostra pequenas variações para três pontos discretos de monitoramento realizadas às 12:00; 18:00 e 24:00 do tempo do meridiano de Greenwich – TMG, sendo tais flutuações processadas, sob uma visão contínua no tempo, com pequenos gradientes.

A temperatura média compensada é obtida por ponderação entre as temperaturas observadas na estação meteorológica, fazendo-se uso da fórmula estabelecida pela Organização Meteorológica Mundial -OMM:

Em que:

T_{comp} = Temperatura média compensada;

T_{12} = Temperatura observada às 12:00 TMG;

T_{24} = Temperatura observada às 24h00min TMG;

$T_{MÁX}$ = Temperatura máxima do dia;

$T_{MÍN}$ = Temperatura mínima do dia.

A temperatura média compensada apresenta uma pequena variação de 2,6 °C, isso para os meses de agosto (19,2 °C) e janeiro (21,2 °C). As médias máximas e médias mínimas extremas ocorrem, respectivamente, nos meses de outubro (26,8 °C) e agosto (16,1 °C), conforme se observa na Tabela 1.1 e na Figura 1.1.

¹INMET, 1992. INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS.

Tabela 1.1 - Temperaturas Médias Máximas, Mínimas e Compensadas (°C).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Máxima	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
Comp.	21,2	20,9	20,9	20,9	20,6	20,0	19,7	19,2	20,4	20,8	20,8	21,0	20,5
Mínima	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

FONTE: INMET (1992)

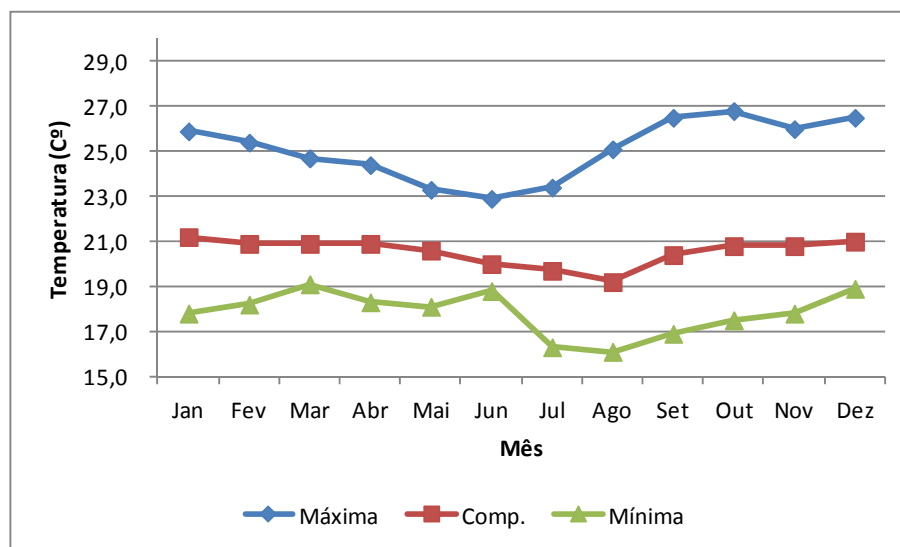


Figura 1.1 - Temperaturas Médias Máximas, Mínimas e Compensadas.

1.1.2 Umidade Relativa

A umidade relativa média possui uma variação máxima de 13% ocorrida entre os meses de março (90%) e dezembro (77%), como pode ser verificado na Tabela 1.2 e na Figura 1.2.



Tabela 1.2 - Umidade Relativa Média.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
(%)	82,0	88,0	90,0	89,0	81,0	87,0	85,0	80,0	78,0	83,0	79,0	77,0	83,3

FONTE: INMET (1992)

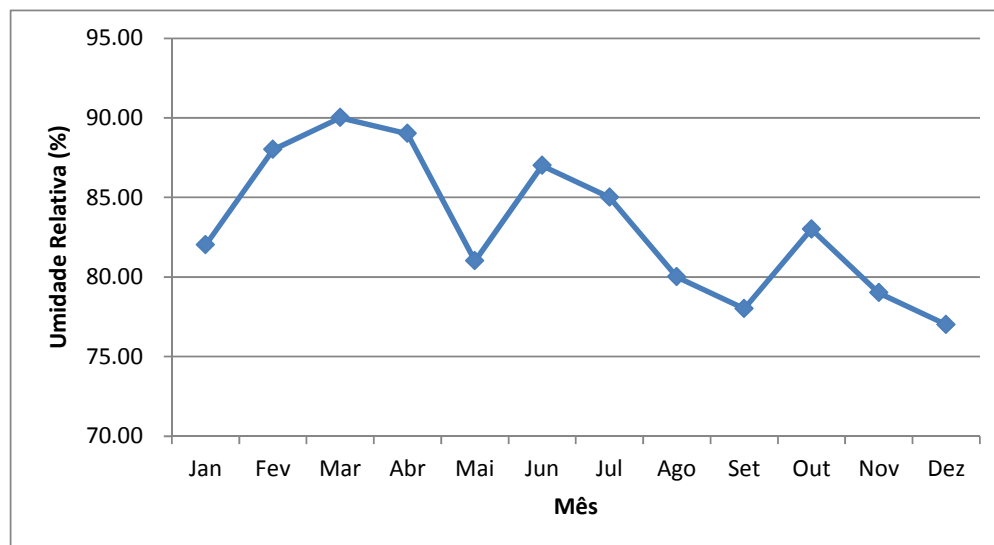


Figura 1.2 - Umidade Relativa Média.

Os índices de umidade relativa medidos resultam de uma composição de efeitos climatológicos, levando-se em consideração a pluviometria a qual é o principal componente do fenômeno.

1.1.3 Insolação Média

A Tabela 1.3 e a Figura 1.3 mostram, respectivamente, o número de horas médio de exposição solar e sua distribuição mensal. Em termos médios anuais têm-se 1903 horas de exposição. Durante o trimestre agosto/setembro/outubro ocorrem os maiores valores de horas de insolação, ao passo que os menores valores ocorrem no trimestre fevereiro/março/abril. O mês de agosto apresenta o maior índice de insolação (218 horas) e o mês de março o menor (90,3 horas).

Tabela 1.3 - Insolação total média.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Horas	149,7	108,3	90,3	102,1	133,8	154,9	174,7	218,1	209,2	187,8	187,8	186,7	1.903,4

FONTE: INMET (1992)



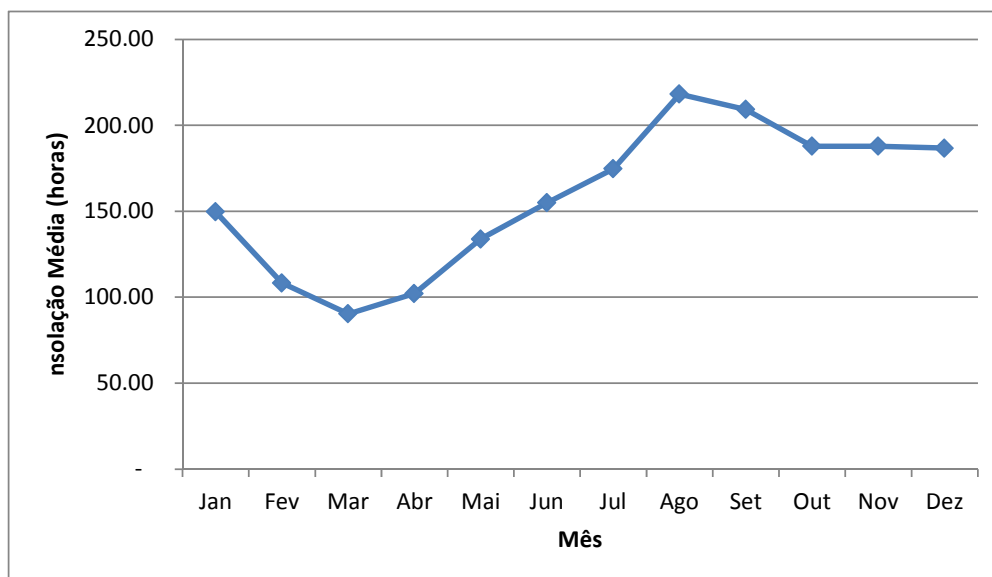


Figura 1.3 - Insolação total média.

1.1.4 Nebulosidade

Segundo os dados utilizados, a região apresenta uma variação máxima na nebulosidade de 8,0, sendo março e abril os meses de maior índice de nebulosidade (8,0) e agosto e agosto os de menor (5,0). Esta variável é avaliada por um fator adimensional que varia de 0 a 10. A Tabela 1.4 e a Figura 1.4 permitem observar a variação temporal desta variável.

Tabela 1.4 - Nebulosidade.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
0-10	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

FONTE: INMET (1992)



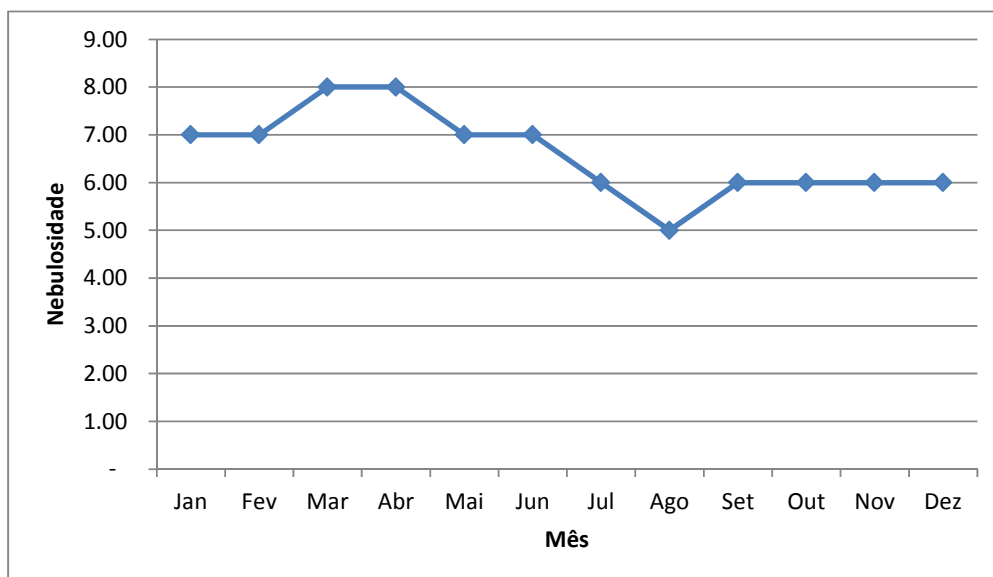


Figura 1.4 - Nebulosidade.

1.1.5 Precipitação Total

A precipitação total anual média observada na região é de 1674,2 mm, obtida a partir dos dados pluviométricos do posto Guaramiranga (nas coordenadas geográficas compreendem 4°16' Latitude Sul e 38°56' Longitude Oeste). Este posto dispõe de dados coletados mediante pluviômetro convencional no período de 1974 a 2011. As precipitações estão concentradas no primeiro semestre no qual ocorrem, aproximadamente, 77% do total anual. O trimestre mais chuvoso é março/abril/maio com 47% do total e o trimestre menos chuvoso é setembro/outubro/novembro em que precipita pouco mais de 7% do total anual. O mês mais chuvoso é março (288,3 mm) e no mês de novembro ocorre o menor índice de precipitação (34,5 mm). A distribuição temporal da precipitação é apresentada na Tabela 1.5 e na Figura 1.5.

Tabela 1.5 - Distribuição temporal da precipitação.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
mm	127,2	180,0	288,3	270,1	236,2	192,5	132,8	61,6	42,5	43,0	34,5	65,5	1.674,2



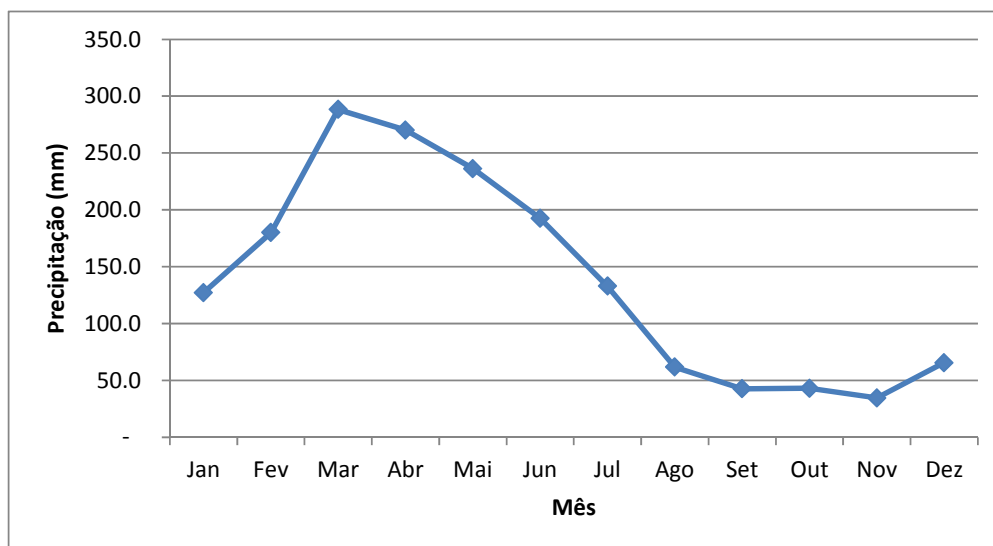


Figura 1.5 - Distribuição temporal da precipitação.

1.1.6 Evaporação Total Média

A evaporação média anual na estação de Guaramiranga - CE, medida em tanque-tipo classe “A” foi de 654,7 mm, distribuída ao longo dos meses conforme demonstra a Tabela 1.6 e a Figura 1.6.

Tabela 1.6 - Evaporação total média.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
mm	58,8	41,0	29,3	33,1	30,7	33,9	42,8	60,7	73,6	97,6	78,2	75,0	654,7

FONTE: INMET (1992)

O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro e novembro (97,6 mm). O trimestre março/abril/maio possui o menor índice de evaporação, ocorrendo o mínimo em março e março com 29,3 mm. Deve-se ressaltar, entretanto, que na adoção destes valores como representativos da evaporação em açudes, devem-se multiplicar estes valores por um coeficiente de correção que varia entre 0,70 e 0,80.



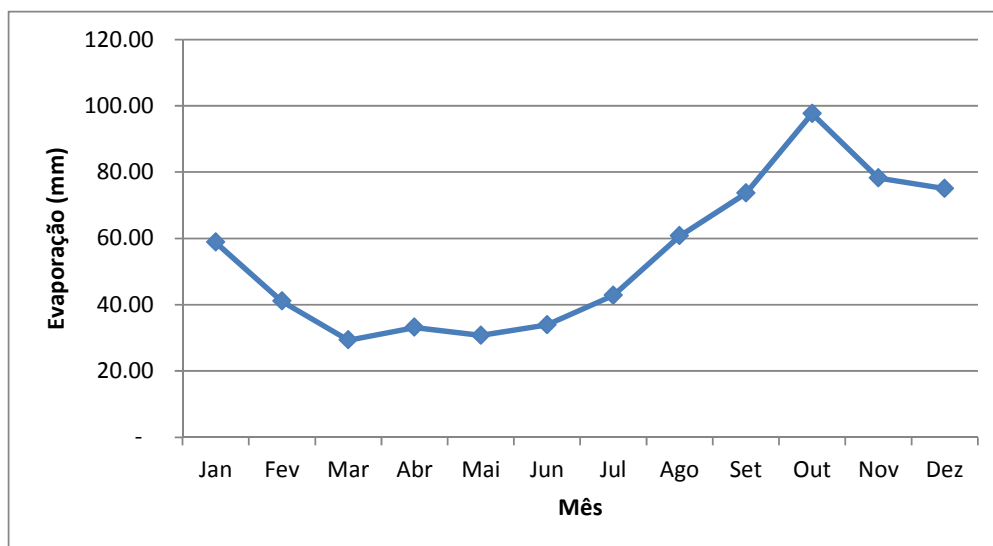


Figura 1.6 - Evaporação total média.

1.1.7 Evapotranspiração

A Tabela **Erro! Vínculo não válido.** representa a evapotranspiração potencial mensal, obtida através de Hargreaves, totalizando 1.128 mm. A Figura 1.7 confronta os valores da Tabela 1.7 com os valores da precipitação média tabelados na Tabela 1.5. Percebe-se, como característica, a ocorrência de déficit hídrico a partir do mês de agosto, estendendo-se até dezembro.

Tabela 1.7 - Evapotranspiração potencial.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
mm	100,8	82,0	81,8	79,2	87,4	78,3	85,6	93,9	111,6	107,9	108,3	111,3	1.128,1

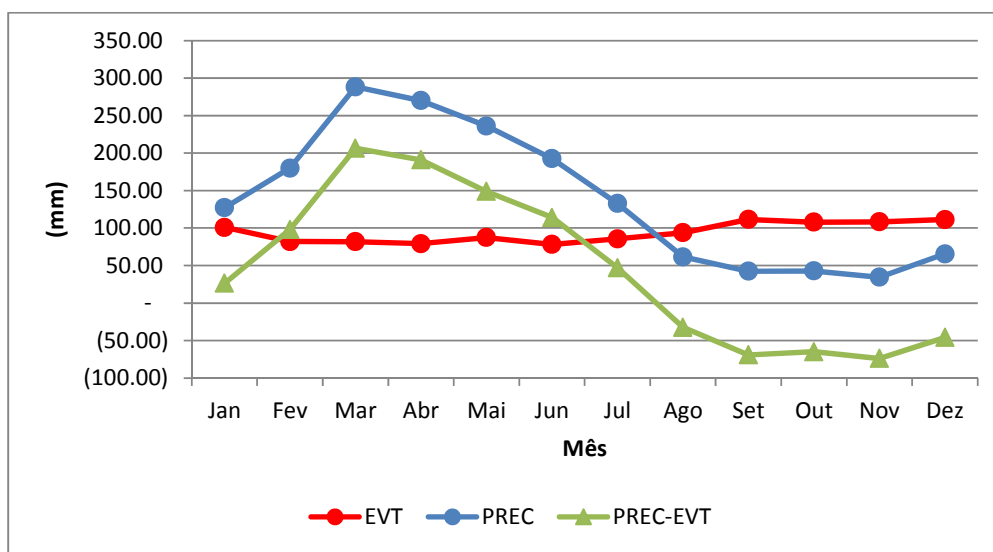


Figura 1.7 - Balanço Hídrico.



1.2 Balanço Hídrico

O balanço hídrico climático (BHC) permite estimar as disponibilidades de água no solo para as plantas. O BHC baseia-se na aplicação do princípio da conservação da massa através de um volume de controle com uma capacidade finita de armazenamento. A aplicação do BHC permite conhecer a magnitude dos volumes (ou lâminas) de água transferidos entre cada uma das variáveis que compõe esse balanço, essas variáveis são a precipitação pluvial, o déficit hídrico, a evapotranspiração potencial, a variação no armazenamento de água no solo e o excesso hídrico. Este princípio é a base do balanço hídrico, concebido por Thornthwaite & Mather (1955), e tem sido utilizado amplamente quando não se dispõe de muitos dados para realizar um estudo mais apurado.

Aplicando-se a metodologia do balanço hídrico para a região em questão e supondo-se uma capacidade de armazenamento de 100 mm, obtém-se a Tabela 1.8.

A Figura 1.8 ilustra o extrato de balanço hídrico mensal, enquanto a Figura 1.9 mostra a eficiência, Excedente, Retirada e Reposição Hídrica ao longo do ano.

Tabela 1.8 - Balanço Hídrico segundo Thornthwaite & Mather.

Meses	T (°C)	P (mm)	ETP	P-ETP mm	NEG-AC	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	21,20	127,20	84,26	42,94	-38,64	67,95	42,94	84,26	0,00	0,00
Fev	20,90	180,00	75,82	104,18	0,00	100,00	32,05	75,82	0,00	72,13
Mar	20,90	288,30	83,30	205,00	0,00	100,00	0,00	83,30	0,00	205,00
Abr	20,90	270,10	79,81	190,29	0,00	100,00	0,00	79,81	0,00	190,29
Mai	20,60	236,20	79,12	157,08	0,00	100,00	0,00	79,12	0,00	157,08
Jun	20,00	192,50	71,20	121,30	0,00	100,00	0,00	71,20	0,00	121,30
Jul	19,70	132,80	71,04	61,76	0,00	100,00	0,00	71,04	0,00	61,76
Ago	19,20	61,60	67,40	-5,80	-5,80	94,36	-5,64	67,24	0,17	0,00
Set	20,40	42,50	75,33	-32,83	-38,63	67,95	-26,41	68,91	6,42	0,00
Out	20,80	43,00	82,08	-39,08	-77,72	45,97	-21,98	64,98	17,10	0,00
Nov	20,80	34,50	80,18	-45,68	-123,39	29,11	-16,86	51,36	28,82	0,00
Dez	20,50	65,50	80,70	-15,20	-138,60	25,01	-4,11	69,61	11,10	0,00
Totais	245,90	1.674,20	930,23	743,97		930,36	0,00	866,63	63,60	807,57
Médias	20,49	139,52	77,52	62,00		77,53		72,22	5,30	67,30



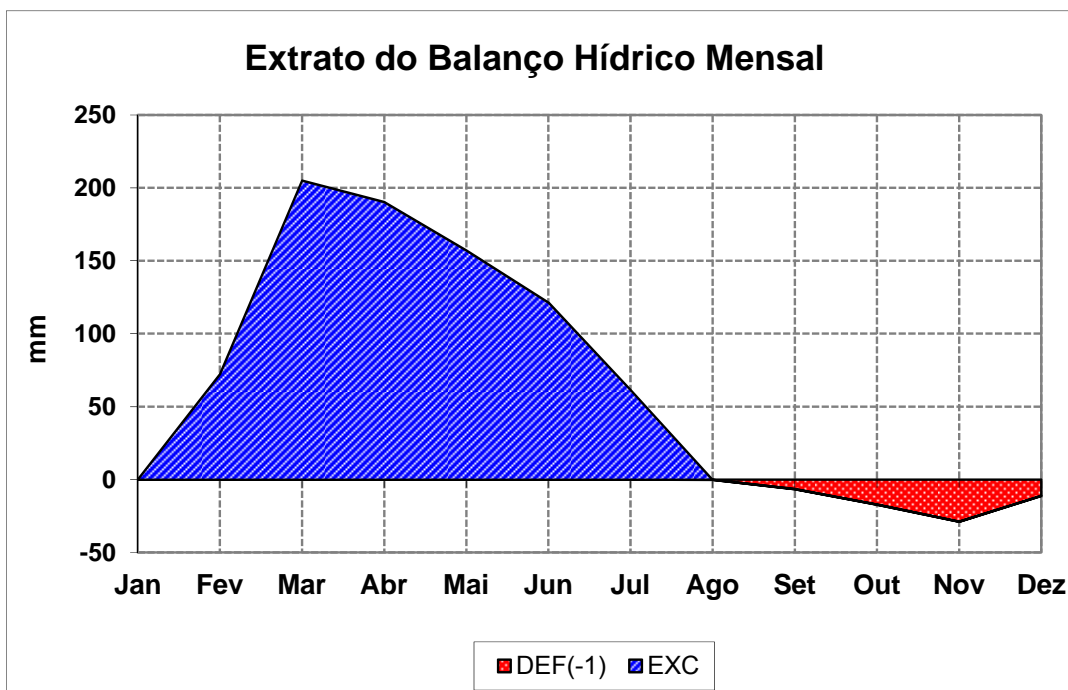


Figura 1.8 - Extrato de Balanço Hídrico Mensal.

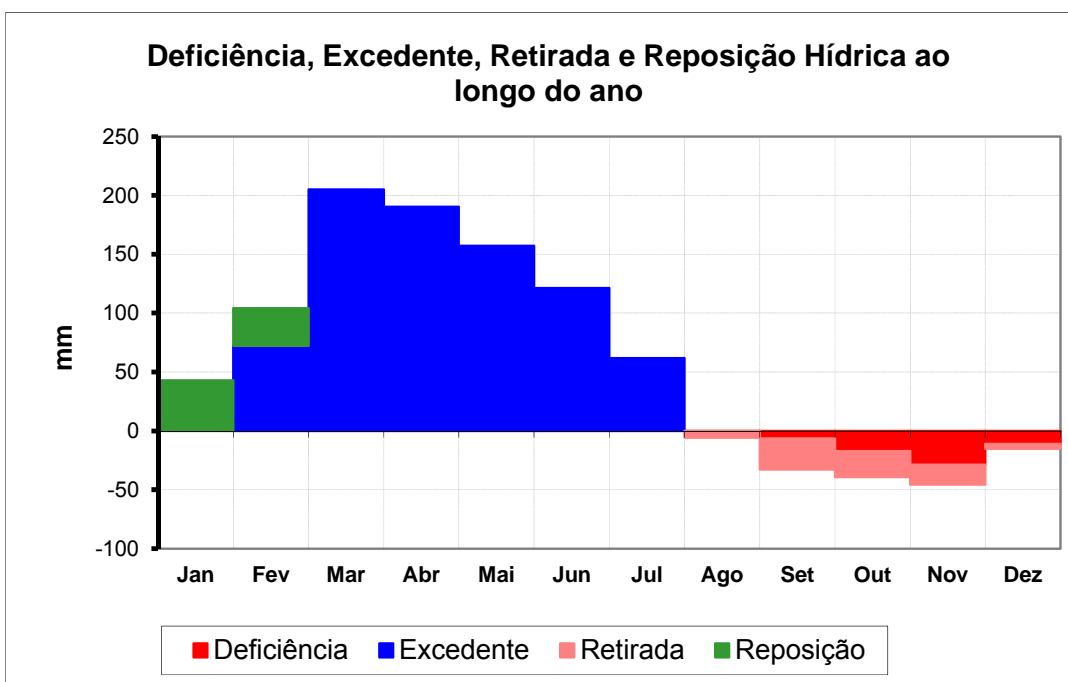


Figura 1.9 - Deficiência, Excedente, Retirada e Reposição Hídrica ao longo do ano.



1.3 Classificação do Clima

1.3.1 Classificação segundo Köppen-Geiger

Classificação climática de Köppen-Geiger, mais conhecida por classificação climática de Köppen, é o sistema de classificação global dos tipos climáticos mais utilizada em geografia, climatologia e ecologia. A classificação foi proposta em 1900 pelo climatologista alemão Wladimir Köppen, tendo sido por ele aperfeiçoada em 1918, 1927 e 1936 com a publicação de novas versões, preparadas em colaboração com Rudolf Geiger (daí o nome Köppen-Geiger). A classificação é baseada no pressuposto, com origem na fitossociologia e na ecologia, de que a vegetação natural de cada grande região da Terra é essencialmente uma expressão do clima nela prevalecente. Assim, as fronteiras entre regiões climáticas foram selecionadas para corresponder, tanto quanto possível, às áreas de predominância de cada tipo de vegetação, razão pela qual a distribuição global dos tipos climáticos e a distribuição dos biomas apresenta elevada correlação. Na determinação dos tipos climáticos de Köppen-Geiger são considerados a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação. Cada grande tipo climático é denotado por um código, constituído por letras maiúsculas e minúsculas, cuja combinação denota os tipos e subtipos considerados. Contudo, a classificação de Köppen-Geiger, em certos casos não distingue entre regiões com biomas muito distintos, pelo que têm surgido classificações dela derivadas, a mais conhecida das quais é a classificação climática de Trewartha.

A classificação climática de Köppen-Geiger divide os climas em 5 grandes grupos ("A", "B", "C", "D", "E") e diversos tipos e subtipos. Cada clima é representado por um conjunto variável de letras (com 2 ou 3 caracteres) com a seguinte significação:

- Primeira letra: uma maiúscula ("A", "B", "C", "D", "E") que denota a característica geral do clima de uma região, constituindo o indicador do grupo climático (em grandes linhas, os climas mundiais escalonam-se de "A" a "E", indo do equador aos pólos);
- Segunda letra: uma minúscula, que estabelece o tipo de clima dentro do grupo, e denota as particularidades do regime pluviométrico, isto é a quantidade e distribuição da precipitação (apenas utilizada caso a primeira letra seja "A", "C" ou "D"). Nos grupos cuja primeira letra seja "B" ou "E", a



segunda letra é também uma maiúscula, denotando a quantidade da precipitação total anual (no caso "B") ou a temperatura média anual do ar (no caso "E");

- Terceira letra: minúscula, denotando a temperatura média mensal do ar dos meses mais quentes (nos casos em que a primeira letra seja "C" ou "D") ou a temperatura média anual do ar (no caso da primeira letra ser "B").

As Tabelas 1.9 a 1.11 a seguir apresentam o significado das letras utilizadas para a classificação. De acordo com esta classificação, a região do estudo encontra-se classificada como Zona de Climas Tropical, tipo A. As chuvas são classificadas como do tipo As, uma vez que a distribuição temporal da precipitação da área abrange o inverno.



Tabela 1.9 - Significado da primeira letra da classificação segundo Köppen-Geiger.

Código	Tipo	Descrição
A	Clima tropical	Climas megatérmicos Temperatura média do mês mais frio do ano > 18 °C Estação invernal ausente Forte precipitação anual (superior à evapotranspiração potencial anual)
B	Clima árido	Climas secos (precipitação anual inferior a 500 mm) Evapotranspiração potencial anual superior à precipitação anual Não existem cursos de água permanentes
C	Clima temperado ou Clima temperado quente	Climas mesotérmicos Temperatura média do ar dos 3 meses mais frios compreendidas entre -3 °C e 18 °C Temperatura média do mês mais quente > 10 °C Estações de Verão e Inverno bem definidas
D	Clima continental ou Clima temperado frio	Climas microtérmicos Temperatura média do ar no mês mais frios < -3 °C Temperatura média do ar no mês mais quente > 10 °C Estações de Verão e Inverno bem definidas
E	Clima glacial	Climas polares e de alta montanha Temperatura média do ar no mês mais quente < 10 °C Estação do Verão pouco definida ou inexistente.

Tabela 1.10 - Significado da segunda letra da classificação segundo Köppen-Geiger.

Código	Descrição	Aplica-se ao grupo
S	Clima das estepes. Precipitação anual total média compreendida entre 380 e 760 mm	B
W	Clima desértico. Precipitação anual total média < 250 mm	B
f	Clima húmido. Ocorrência de precipitação em todos os meses do ano. Inexistência de estação seca definida	A-C-D
w	Chuvvas de Verão	A-C-D
s	Chuvvas de Inverno	A-C-D
w'	Chuvvas de Verão-outono	A-C-D
s'	Chuvvas de Inverno-outono	A-C-D
m	Clima de monção: Precipitação total anual média > 1500 mm Precipitação do mês mais seco < 60 mm	A
T	Temperatura média do ar no mês mais quente compreendida entre 0 e 10 °C	E
F	Temperatura média do mês mais quente < 0 °C	E
M	Precipitação abundante. Inverno pouco rigoroso	E

Tabela 1.11 - Significado da terceira letra da classificação segundo Köppen-Geiger.

Código	Descrição	Aplica-se aos grupos
a : Verão quente	Temperatura média do ar no mês mais quente $\geq 22\text{ }^{\circ}\text{C}$	C-D
b : Verão temperado	Temperatura média do ar no mês mais quente $< 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ Temperaturas médias do ar nos 4 meses mais quentes $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	C-D
c : Verão curto e fresco	Temperatura média do ar no mês mais quente $< 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ Temperaturas médias do ar $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante menos de 4 meses Temperatura média do ar no mês mais frio $> -38\text{ }^{\circ}\text{C}$	C-D
d : Inverno muito frio	Temperatura média do ar no mês mais frio $< -38\text{ }^{\circ}\text{C}$	D
h : seco e quente	Temperatura média anual do ar $> 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ Deserto ou semideserto quente (temperatura anual média do ar igual ou superior a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$)	B
k : seco e frio	Temperatura média anual do ar $< 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ Deserto ou semideserto frio (temperatura anual média do ar inferior a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$)	B

1.4 Sinopse Climatológica

A Tabela 1.12 apresenta uma sinopse das características climatológicas da região em que será inserida a Barragem Germinal.

Tabela 1.12 - Sinopse Climatológica.

Elementos Hidrometeorológicos	Barragem Germinal
Pluviometria média anual (Município de Guaramiranga)	1674,2 mm (1974–2011)
Evaporação média anual	654,7 mm
Evapotranspiração Potencial (Hargreaves)	1.128 mm
Insolação média anual	1.903 h
Umidade relativa média anual	83,3%
Temperatura média anual: média das máximas	25,1 $^{\circ}\text{C}$
Temperatura média anual: média das médias	20,5 $^{\circ}\text{C}$
Temperatura média anual: média das mínimas	17,8 $^{\circ}\text{C}$
Classificação climática segundo Köppen-Geiger	As

2 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia do Açude Germinal tem 94,0 km², um perímetro de 46,0 km, uma declividade média de 27,0 m/km e um comprimento do curso principal de 23,0 km. A forma desta bacia pode agora ser caracterizada utilizando estes dados. A forma de uma bacia hidrográfica é importante, pois afeta o tempo de concentração, ou seja, o tempo do início da precipitação para que toda a bacia contribua no seu exutório, podendo assim servir como um indicativo de tendência para enchentes de uma bacia. Bacias pequenas variam muito de formato, dependendo da estrutura geológica da região.

Vários índices podem ser utilizados para determinar a forma de bacias, procurando-a relacioná-la com formas geométricas conhecidas. O fator de compacidade a relaciona com o círculo, enquanto que o fator de forma com o retângulo.

Assim, a bacia do Açude Germinal pode ser caracterizada por estes índices calculados da seguinte forma.

$$k_c = \frac{P}{\frac{2\pi\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}}} \quad \text{Fator de compacidade}$$

$$k_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{Fator de forma}$$

Em que A é a área, P o perímetro e L o comprimento do curso principal da bacia de interesse. Para a bacia do Açude Germinal, tem-se que A = 94,0 km², P = 46,0 km e L = 23,0 km, o que resulta em um fator de forma (k_f) de 0,18 e um fator de compacidade (k_c) de 1,34.

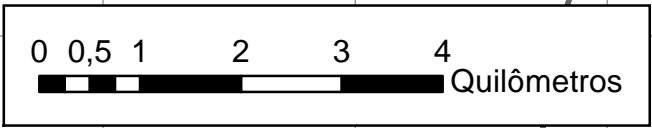
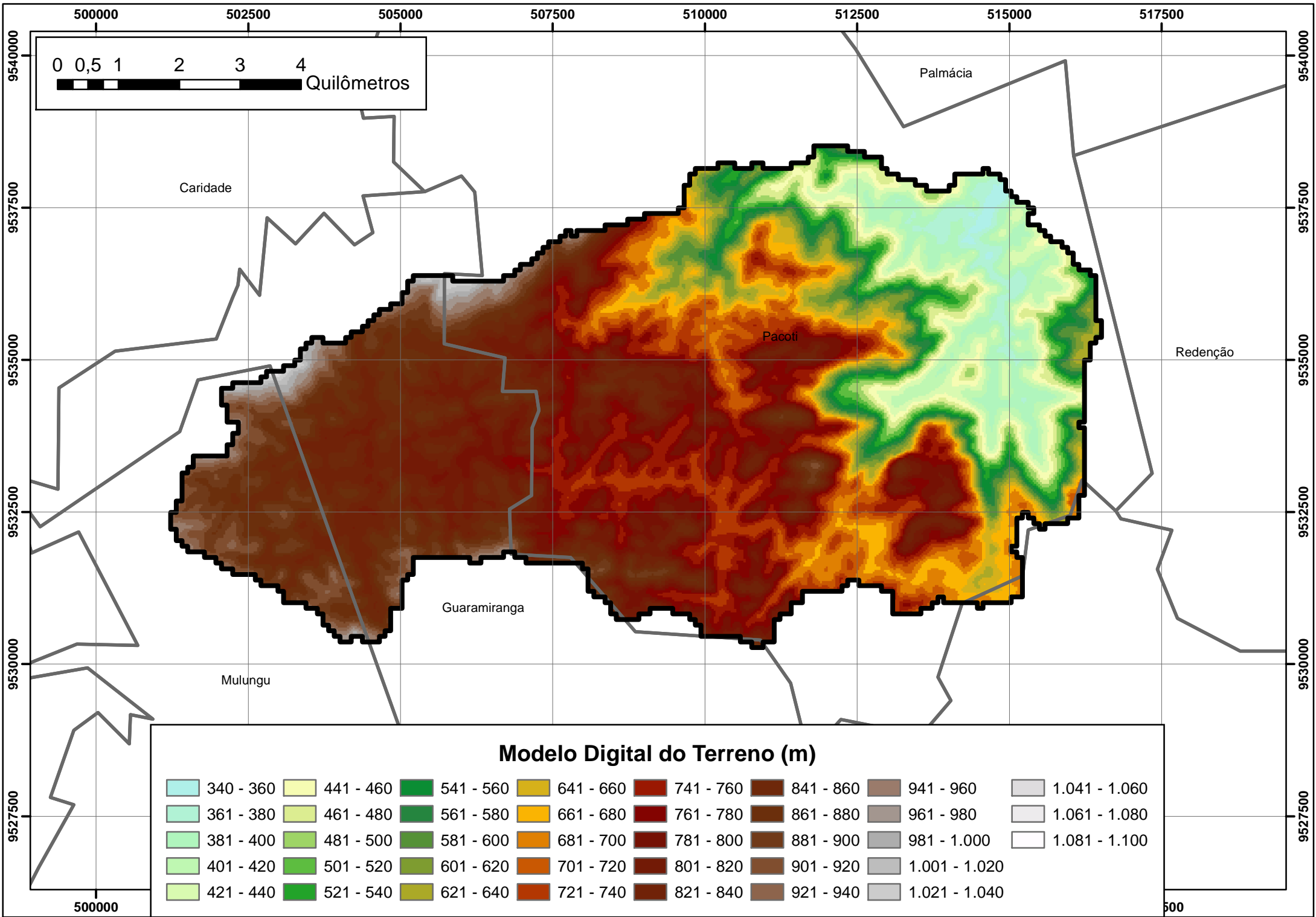
Um fator de compacidade próximo a 1 corresponderia a uma bacia circular, e, se outros fatores forem iguais, uma bacia com este índice próximo a 1 teria uma tendência mais acentuada a maiores enchentes. O fator de compacidade da Bacia do Germinal não é tão próximo de 1, o que indica uma bacia não está muito sujeita a enchentes.

Um fator de forma baixo indica que uma bacia é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com maior fator de forma. Isso se deve ao fator de que uma bacia estreita e longa, com baixo k_c, há menos possibilidade de ocorrência de



chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão, além de se afastar da condição de bacia circular onde os tributário do curso principal contribuem em um único ponto. O fator de forma para a Bacia do Açude Germinal é baixo, o que ratifica a tendência do fator de compacidade, bacia não muito sujeita a enchentes. A Figura 2.1 mostra a bacia do Açude Germinal e sua altimetria.

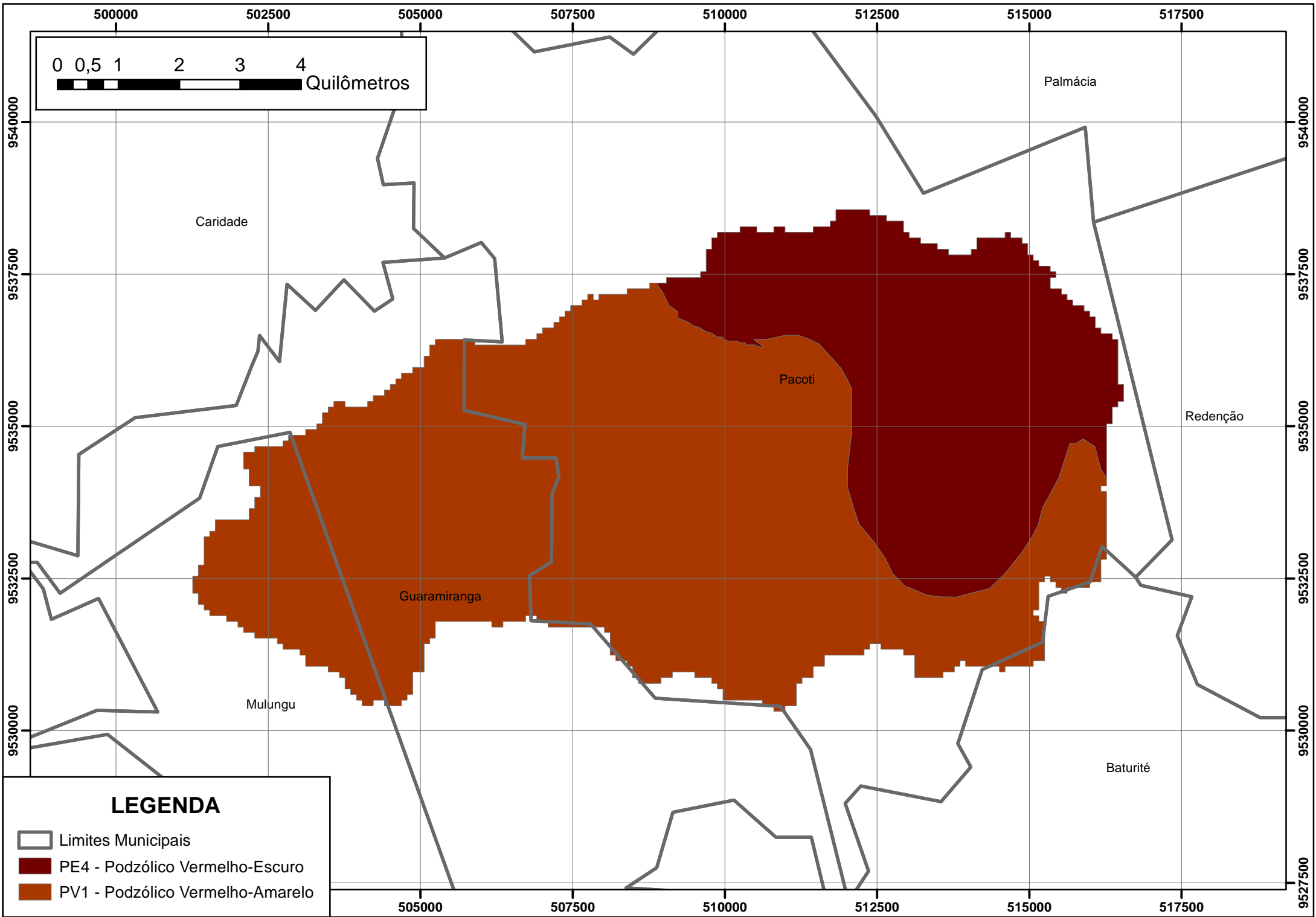
A bacia do Açude Germinal tem, predominantemente, solos dos tipos PE4 (Podzólico Vermelho Escuro) e PV1 (Podzólico Vermelho Escuro), conforme apresentado na Figura 2.2, o que associado com o relevo da bacia resulta em solos com a elevada capacidade de drenagem. A vegetação que cobre toda a bacia é a Floresta Subperenifólica Tropical Pluvio-Nebular (Matas Úmidas). O principal uso é a Agricultura (Horticultura) e Remanescentes Florestais.



Modelo Digital do Terreno (m)

340 - 360	441 - 460	541 - 560	641 - 660	741 - 760	841 - 860	941 - 960	1.041 - 1.060
361 - 380	461 - 480	561 - 580	661 - 680	761 - 780	861 - 880	961 - 980	1.061 - 1.080
381 - 400	481 - 500	581 - 600	681 - 700	781 - 800	881 - 900	981 - 1.000	1.081 - 1.100
401 - 420	501 - 520	601 - 620	701 - 720	801 - 820	901 - 920	1.001 - 1.020	
421 - 440	521 - 540	621 - 640	721 - 740	821 - 840	921 - 940	1.021 - 1.040	

500



3 – ESTUDO DE CHEIA E DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO



3 ESTUDO DE CHEIA E DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO

3.1 Introdução

A determinação da cheia de projeto para dimensionamento do vertedouro pode ser realizada com base em dados históricos de vazão (métodos diretos) e com base na precipitação (métodos indiretos), estando em ambos os casos associados a um risco previamente escolhido. Diante da escassez de registros históricos de vazões, é mais usual a determinação do hidrograma de projeto com base na precipitação.

O estudo da cheia de projeto é de fundamental importância para a segurança e economia da barragem, podendo o hidrograma de projeto estar baseado em:

- PMP (precipitação máxima provável) para projetos de importantes obras hidráulicas;
- Cheia padrão para obras hidráulicas de risco intermediário;
- Precipitações associadas a um risco ou probabilidade de ocorrência.

Deve-se deixar claro que o hidrograma de projeto resultante não terá vazão e volume com o mesmo risco, sendo que o risco associado está relacionado com a precipitação escolhida, o que não necessariamente é o mesmo risco da vazão ou do volume resultante. Assim, **não é correto** referir-se à cheia associada ao hidrograma de projeto com T anos de período de retorno como sendo a cheia centenária (T =100), milenar (T =1.000) etc.

3.2 Metodologia

Os métodos estatísticos de obtenção de vazões máximas que utilizam séries históricas de vazões observadas, procedimento comum para bacias naturais, não podem ser aplicados pela escassez de dados ou, ainda, pela sua inexistência. Esta falta de dados dos eventos nas bacias a serem estudadas indicou a escolha de métodos de transformação chuva-deflúvio como metodologia a ser adotada.

A metodologia procura descrever as diversas hipóteses de cálculo da cheia de projeto: a escolha da chuva de projeto, o hidrograma utilizado, a definição da precipitação efetiva, o hidrograma da cheia na bacia e, por fim, o seu amortecimento no



sangradouro. A ferramenta a ser utilizada para a implementação desta metodologia será o programa HEC-HMS².

As relações chuva-deflúvio para a bacia da barragem Germinal serão estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-HMS, um modelo projetado para simular o escoamento superficial em uma bacia, sendo esta representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para as bacias serão estudadas as suas respostas aos hietogramas de projeto correspondentes a 100, 1.000 e 10.000 anos (T_r = tempo de retorno).

O modelo HEC-HMS permite o uso de várias metodologias para determinação da chuva efetiva, simulação do escoamento superficial em bacia (*overland flow*) e propagação do escoamento em canais e reservatórios. No caso da bacia em estudo, diante dos dados disponíveis, serão adotados os seguintes:

- Método Curva-Número (*Soil Conservation Service*) na determinação da chuva efetiva;
- Método do *Soil Conservation Service* na determinação do hidrograma unitário sintético - Escoamento Superficial na bacia (*overland flow*);
- Método de Puls para propagação do escoamento em reservatórios.

3.3 Estudo de Chuvas Intensas

Na análise hidrológica de prováveis obras hidráulicas, os eventos de baixa frequência assumem uma importância maior com relação aos de alta. Aqui foram utilizadas séries anuais de máximos diários escolhidos entre os “n” maiores valores disponíveis na série histórica.

Para projetos de obras hidráulicas, em geral, é importante a caracterização do regime pluviométrico em intervalos de tempo inferiores a 24 horas. A definição da vazão de projeto, por exemplo, de canais integrantes da rede de drenagem, obras d’arte, está vinculada à determinação da relação precipitação-duração-frequência.

Na área em estudo não existem registros de pluviógrafos, sendo que o aparelho mais comum nas estações pluviométricas é o pluviômetro, que é capaz de registrar a “precipitação de 1 dia”. Isto impossibilita o uso da metodologia convencional, na qual, a partir de chuvas intensas de várias durações registradas em pluviogramas, estabelece-

² US ARMY CORPS OF ENGINEERS - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER.



se uma equação que relaciona intensidade-duração-frequência para a área de representatividade do aparelho.

Como alternativa ao método tradicional (através de pluviógrafos), têm-se o Método das Relações das Durações e o Método das Isozonas. O estudo realizado considerou o Método das Isozonas.

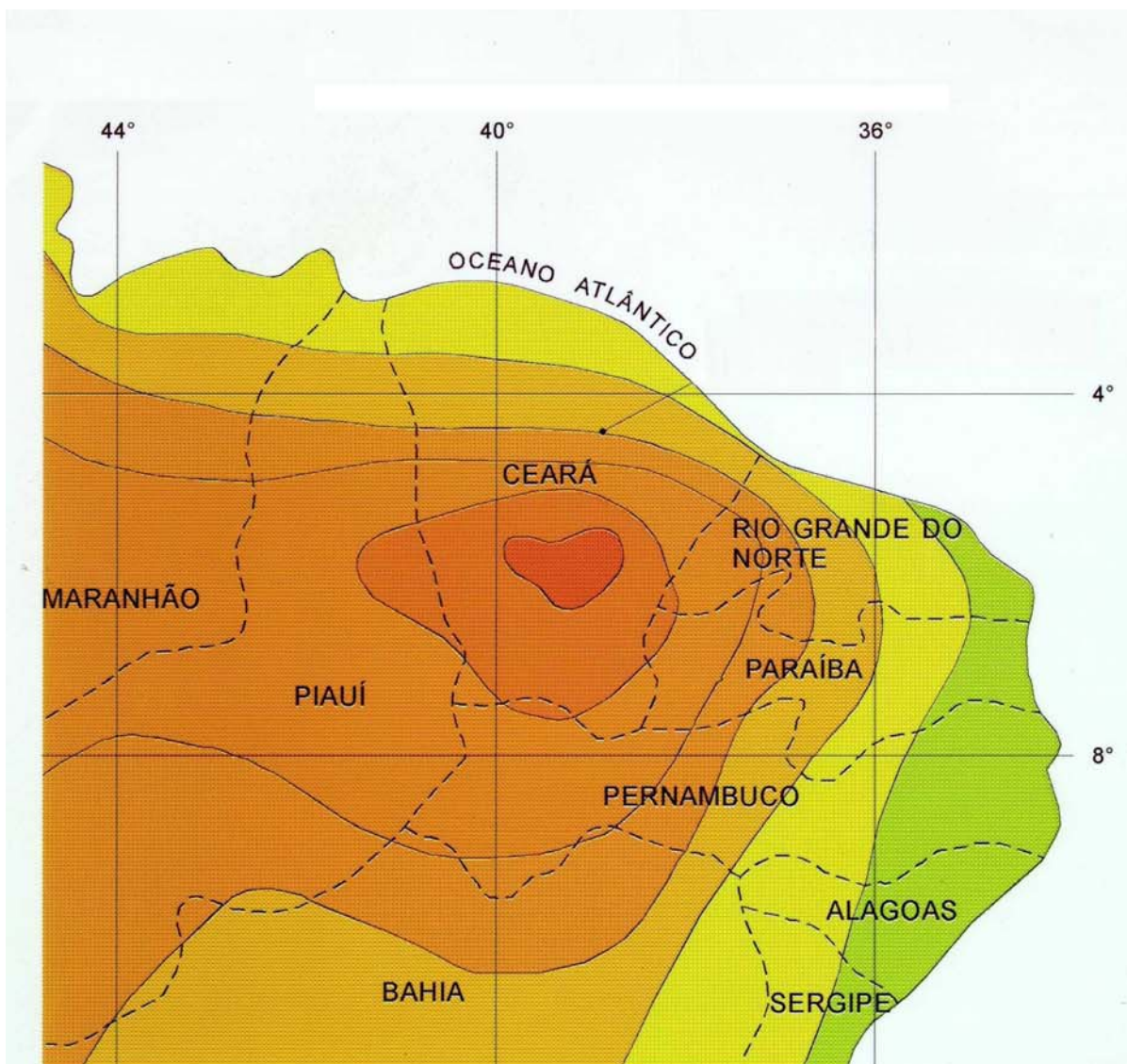
3.3.1 Método das Isozonas (TORRICO, 1975)³

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

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

- Multiplicar a chuva de um dia de duração por 1,10 para obter-se a chuva pontual de 24 horas;
- Determinar a isozona onde está localizado o centro de gravidade da bacia hidrográfica;
- Estimar, para os diferentes períodos de retorno, a chuva de 1 hora de duração a partir da chuva de 24 horas, através da multiplicação pelo fator R1h;
- Plotar os valores P24h e P1h em papel probabilístico para obter as chuvas de durações intermediárias.

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



ISOZONAS DE IGUAL RELAÇÃO

ISOZONA	TEMPO DE RECORRÊNCIA EM ANOS											
	1 HORA / 24 HORAS CHUVA										6 min. 24h CHUVA	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10000	5-50	100
B	38.1	37.8	37.5	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	38.4	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	37.9	11.2	10.0
E	44.0	43.6	43.3	43.2	43.0	42.9	42.6	42.2	40.9	39.6	12.6	11.2
F	46.0	45.5	45.5	45.1	49.9	44.9	44.6	44.1	42.7	41.3	13.9	12.4
G	47.9	47.4	47.2	47.0	46.0	45.7	46.4	45.9	44.5	43.1	16.4	13.7
H	49.9	49.4	49.1	49.9	49.9	46.5	46.3	47.0	46.3	44.9	16.7	14.9

Figura 3.1 - Método das Isozonas de Taborga.



3.3.2 Valores Extremos

A determinação dos eventos extremos de precipitação, correspondentes a um determinado tempo de recorrência, baseia-se no ajuste de uma distribuição de frequência (probabilidade) adequada aos dados extremos observados.

Para o estudo de chuvas extremas na bacia hidrográfica da barragem Germinal foi escolhido o posto pluviométrico Pacoti por representar bem a pluviometria no local de estudo.

A série pluviométrica do posto Pacoti, obtidas com base em dados de precipitação diária dos postos do Ceará através da FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos), bem como os parâmetros estatísticos desta, podem ser vistos na Tabela 3.1. A Figura 3.2 mostra a variação da precipitação anual do posto Pacoti.

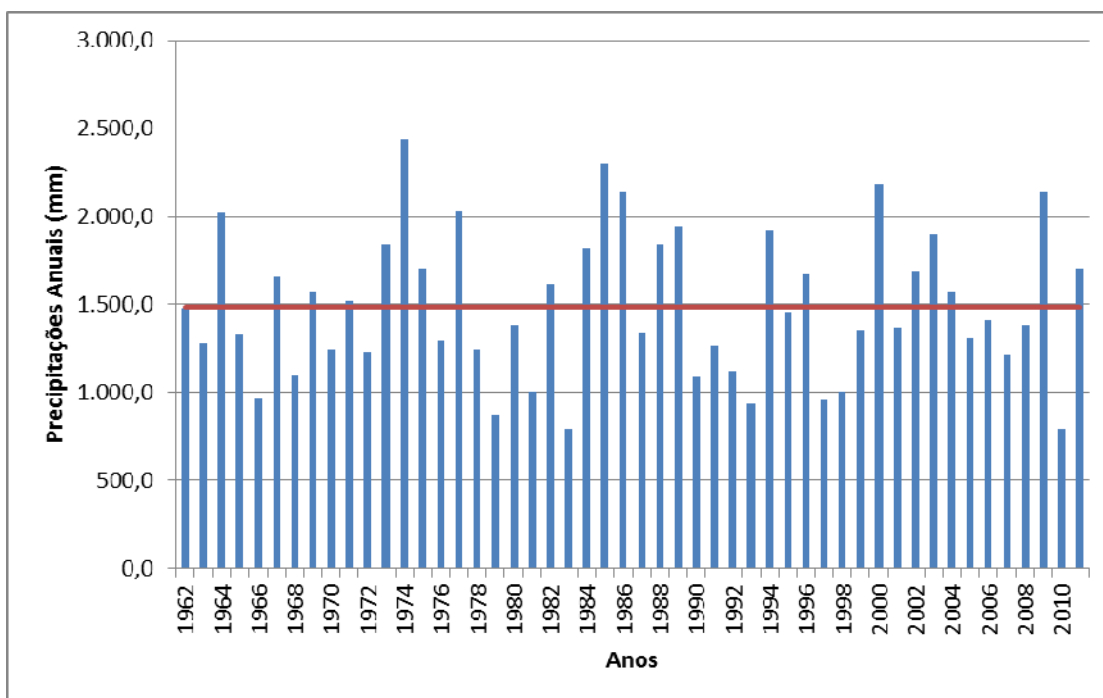


Figura 3.2 - Variação da precipitação anual do posto Pacoti.



Tabela 3.1 - Série pluviométrica mensal do posto Pacoti.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
1962	48,0	107,0	509,9	258,2	182,2	52,5	56,0	36,9	41,3	7,7	124,1	56,7	1.480,5
1963	214,9	180,1	385,6	209,9	180,2	12,4	34,9	0,0	0,0	0,0	47,4	12,3	1.277,7
1964	284,2	356,2	343,2	469,3	206,6	95,8	113,5	69,4	82,8	0,0	0,0	0,0	2.021,0
1965	51,8	37,6	293,7	439,0	234,2	211,4	38,3	0,0	0,0	0,0	0,0	24,8	1.330,8
1966	14,6	129,0	109,0	196,9	170,7	159,8	130,6	0,0	0,0	0,0	28,0	27,3	965,9
1967	145,6	292,4	303,7	359,9	327,8	133,2	47,4	0,0	0,0	0,0	0,0	46,2	1.656,2
1968	96,7	49,0	198,8	192,0	266,9	31,9	129,4	23,3	0,0	31,1	8,4	67,8	1.095,3
1969	63,2	91,4	345,6	308,0	222,6	202,4	219,0	12,6	0,0	34,2	10,0	56,4	1.565,4
1970	179,0	41,8	328,7	292,5	95,4	106,2	43,0	55,8	0,0	6,4	50,6	45,4	1.244,8
1971	124,8	104,0	308,4	288,2	207,0	172,2	174,0	34,0	0,0	11,6	39,1	54,9	1.518,2
1972	52,6	80,6	199,2	164,7	275,5	140,2	58,6	103,4	0,0	72,7	16,6	65,6	1.229,7
1973	179,9	275,0	276,8	258,3	218,3	206,8	148,4	41,6	78,8	63,7	29,1	65,6	1.842,3
1974	380,6	330,2	395,4	533,5	377,2	190,3	67,2	31,4	55,4	5,8	8,8	66,3	2.442,1
1975	77,7	232,7	289,1	160,6	284,7	178,8	100,2	47,3	94,9	22,0	20,3	197,7	1.706,0
1976	131,2	220,2	312,9	247,0	44,9	74,6	10,4	94,0	6,0	82,8	46,7	22,0	1.292,7
1977	200,0	229,9	341,3	182,6	389,8	332,3	231,2	47,3	13,8	16,3	31,7	16,5	2.032,7
1978	41,8	161,1	199,2	47,4	231,3	133,7	158,3	69,5	65,3	67,1	35,7	38,2	1.248,6
1979	28,1	151,0	77,9	129,0	230,4	65,7	17,7	66,9	47,1	15,0	35,3	3,0	867,1
1980	154,6	438,6	324,0	143,8	43,0	108,2	1,1	0,0	27,9	72,4	18,7	49,9	1.382,2
1981	78,7	49,9	372,6	178,8	135,3	95,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	94,2	1.005,0
1982	163,4	153,0	303,3	230,7	224,4	111,5	87,5	76,9	43,6	91,3	61,8	71,8	1.619,2
1983	36,2	153,4	157,5	198,6	140,8	26,2	14,4	21,6	5,0	28,5	0,0	9,3	791,5
1984	86,5	88,6	336,3	276,8	390,2	208,2	139,5	38,8	144,1	49,2	23,7	41,9	1.823,8
1985	197,1	407,7	628,9	208,5	300,8	150,7	165,4	56,8	38,6	17,1	50,1	76,9	2.298,6
1986	122,1	235,5	374,3	432,8	244,2	242,1	80,9	96,2	37,2	78,1	86,4	109,6	2.139,4
1987	96,3	140,4	279,0	272,9	79,2	319,9	67,1	11,7	22,0	20,3	22,0	9,7	1.340,5
1988	202,8	126,5	168,8	555,1	225,1	141,1	167,9	0,0	51,4	35,5	98,8	70,6	1.843,6
1989	96,4	81,7	275,7	323,0	304,8	232,8	382,7	11,7	0,0	22,1	34,0	180,4	1.945,3
1990	55,9	135,6	139,9	245,7	150,2	125,9	110,8	0,0	62,2	0,0	39,4	24,4	1.090,0
1991	86,8	123,8	393,6	118,8	226,3	135,6	29,5	35,3	15,5	54,3	7,3	37,7	1.264,5
1992	126,9	330,0	190,7	232,6	59,8	132,2	0,0	0,0	0,0	33,9	19,8	0,0	1.125,9
1993	53,5	87,2	153,2	192,9	62,8	67,2	157,0	29,6	24,8	33,5	15,4	59,9	937,0
1994	116,8	252,8	407,3	271,6	327,5	369,7	148,5	0,0	25,4	0,0	0,0	0,0	1.919,6
1995	103,9	248,4	116,6	383,7	253,9	169,0	148,6	0,0	0,0	3,8	30,2	0,0	1.458,1
1996	220,1	124,7	445,4	401,7	132,7	56,6	56,2	54,9	39,8	53,3	66,6	17,6	1.669,6
1997	62,5	114,3	201,0	222,6	185,5	17,0	28,4	13,7	4,0	10,5	15,3	83,1	957,9
1998	245,4	78,5	250,4	139,1	64,1	53,2	6,0	90,6	0,0	29,0	0,0	47,2	1.003,5
1999	104,5	74,5	260,5	224,7	317,8	175,3	42,1	3,0	54,3	17,8	16,0	63,0	1.353,5
2000	227,1	285,7	329,7	436,3	210,8	196,6	176,0	191,6	83,2	3,6	25,5	20,0	2.186,1
2001	178,7	69,7	207,8	475,4	85,8	86,7	101,0	8,4	16,6	16,8	65,2	54,0	1.366,1
2002	408,5	66,8	320,7	347,2	158,0	153,7	125,3	20,7	16,0	12,4	58,8	0,0	1.688,1
2003	155,9	297,2	402,4	502,2	204,0	147,4	53,8	58,1	2,0	2,0	13,6	61,2	1.899,8
2004	415,1	247,6	249,8	168,7	82,4	320,5	29,0	24,5	19,0	14,8	0,5	0,0	1.571,9
2005	10,3	115,8	139,0	315,2	357,2	315,0	15,2	5,0	3,0	1,1	0,0	31,3	1.308,1
2006	75,5	72,6	249,4	335,2	234,0	228,7	66,6	67,9	23,3	0,8	19,0	36,6	1.409,6
2007	101,5	172,4	201,2	326,6	122,4	165,4	34,7	5,4	3,0	4,0	14,9	62,1	1.213,6
2008	150,2	54,8	375,8	340,0	154,5	104,0	93,5	56,7	0,0	0,0	9,7	43,2	1.382,4
2009	116,8	199,7	390,0	390,1	471,4	238,2	209,6	40,4	12,1	11,0	32,2	23,4	2.134,9
2010	95,2	34,2	114,6	259,5	32,8	50,9	94,1	36,9	0,0	8,0	18,8	46,2	791,2



Tabela 3.1 - Série pluviométrica mensal do posto Pacoti.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
2011	378,0	188,0	255,2	221,9	204,6	91,6	156,4	53,2	8,2	71,0	60,7	18,5	1.707,3
Média	140,8	166,4	284,7	282,2	206,6	150,7	95,3	36,9	25,4	24,7	29,1	46,2	1488,9
DVP	98,7	101,7	109,8	115,7	101,9	85,8	75,6	37,3	31,8	26,5	27,1	40,0	411,4
CV	0,7	0,6	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,1	0,9	0,9	0,3
Máx.	415,1	438,6	628,9	555,1	471,4	369,7	382,7	191,6	144,1	91,3	124,1	197,7	2442,1
Min.	10,3	34,2	77,9	47,4	32,8	12,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	791,2

Tomaram-se da série de pluviometria do posto Pacoti os valores anuais extremos diários apresentados na Tabela 3.2 procedendo-se, então, ao ajuste das distribuições de probabilidades susceptíveis de representação desse processo.

Tabela 3.2 - Máximos anuais da série do posto Pacoti.

Ano	Máx. Anual (mm)	Ano	Máx. Anual (mm)	Ano	Máx. Anual (mm)	Ano	Máx. Anual (mm)
1914	43,50	1940	89,00	1977	98,20	1996	69,00
1915	30,60	1941	85,10	1978	68,20	1997	46,70
1916	80,20	1942	78,00	1979	49,10	1998	71,80
1917	72,60	1943	68,00	1980	133,10	1999	142,30
1918	79,10	1944	80,20	1981	65,00	2000	89,00
1919	43,70	1946	129,00	1982	56,50	2001	98,00
1920	92,30	1963	41,60	1983	61,20	2002	75,40
1921	75,30	1965	67,20	1984	75,00	2003	75,50
1922	48,50	1966	69,80	1985	81,00	2004	60,00
1923	59,00	1968	64,80	1986	76,20	2005	72,00
1924	87,40	1969	75,60	1987	91,30	2006	71,00
1925	65,80	1970	66,40	1988	213,00	2007	53,00
1926	62,80	1971	58,60	1989	148,10	2008	61,00
1927	72,00	1972	37,00	1990	41,90	2009	82,50
1928	56,50	1973	85,30	1991	65,50	2010	100,00
1929	79,10	1974	90,40	1992	50,30	2011	98,00
1930	51,00	1975	69,00	1993	81,00		
1939	84,00	1976	62,80	1995	81,70		

Com base na série anual de máximos diários, ajustou-se distribuições de probabilidade (Normal Truncada, LogNormal 2P, LogNormal 3P, Extremo Tipo I, LogExtremo Tipo I, Pearson Tipo III e LogPearson Tipo III), verificando-se os ajustes através do teste de aderência χ^2 .

Com este procedimento, estimaram-se as precipitações diárias para os tempos de retorno de 10, 25, 50, 100 e 1.000 anos, conforme pode ser visto na Tabela 3.3, na qual se encontram ilustrados tais valores de chuvas máximas, assim como a distribuição de probabilidade adotada.



Tabela 3.3 - Extremos de chuva (mm) obtidos da distribuição de probabilidade.

Tr (anos)	Precipitação Máxima Diária (mm)	Distribuição de Probabilidade Adotada	Valor do χ^2 da Distribuição	Limite Estatística χ^2 (95% de Confiança)
10	109,2	LogNormal 2P	8,40	14,07
25	126,3			
50	141,5			
100	155,3			
1.000	203,4			
10.000	256,6			

Para se conhecer a precipitação sobre a área a partir de um valor pontual, utilizou-se a expressão abaixo. No caso em estudo, o fator de conversão encontrado foi 0,87.

$$\frac{P_a}{P_o} = \left(1 - W \times \log \frac{A}{A_o} \right)$$

Em que:

P_a = precipitação média sobre a bacia;

P_o = precipitação no centro de gravidade da bacia, tomada igual a precipitação no posto Pacoti;

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

A = área da bacia hidrográfica (94 km²);

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

A aplicação de métodos de transformação de chuva em deflúvio para estudo de cheias exige como dados de entrada o comportamento da chuva ao longo do tempo de duração da mesma, em oposição aos valores obtidos no estudo de extremos de precipitação, correspondentes à acumulação ao longo de um dia de medida. Para contornar esse problema, utilizou-se a Metodologia das Isozonas desenvolvida pelo Professor Taborga Torrico, a qual define coeficientes a serem aplicados para desagregação de chuva diária em todo o Brasil. O posto Pacoti, como pode ser verificado na Figura 3.1, encontra-se na isozona D. Assim, com os coeficientes e o ábaco de desagregação (Figura 3.3) foram obtidos os valores de precipitação para os intervalos de 0.1, 0.25, 1, 2, 3, 6, 12 e 24 horas para períodos de retorno de 10, 25, 50, 100, 1.000 e 10.000 anos (Tabela 3.4).



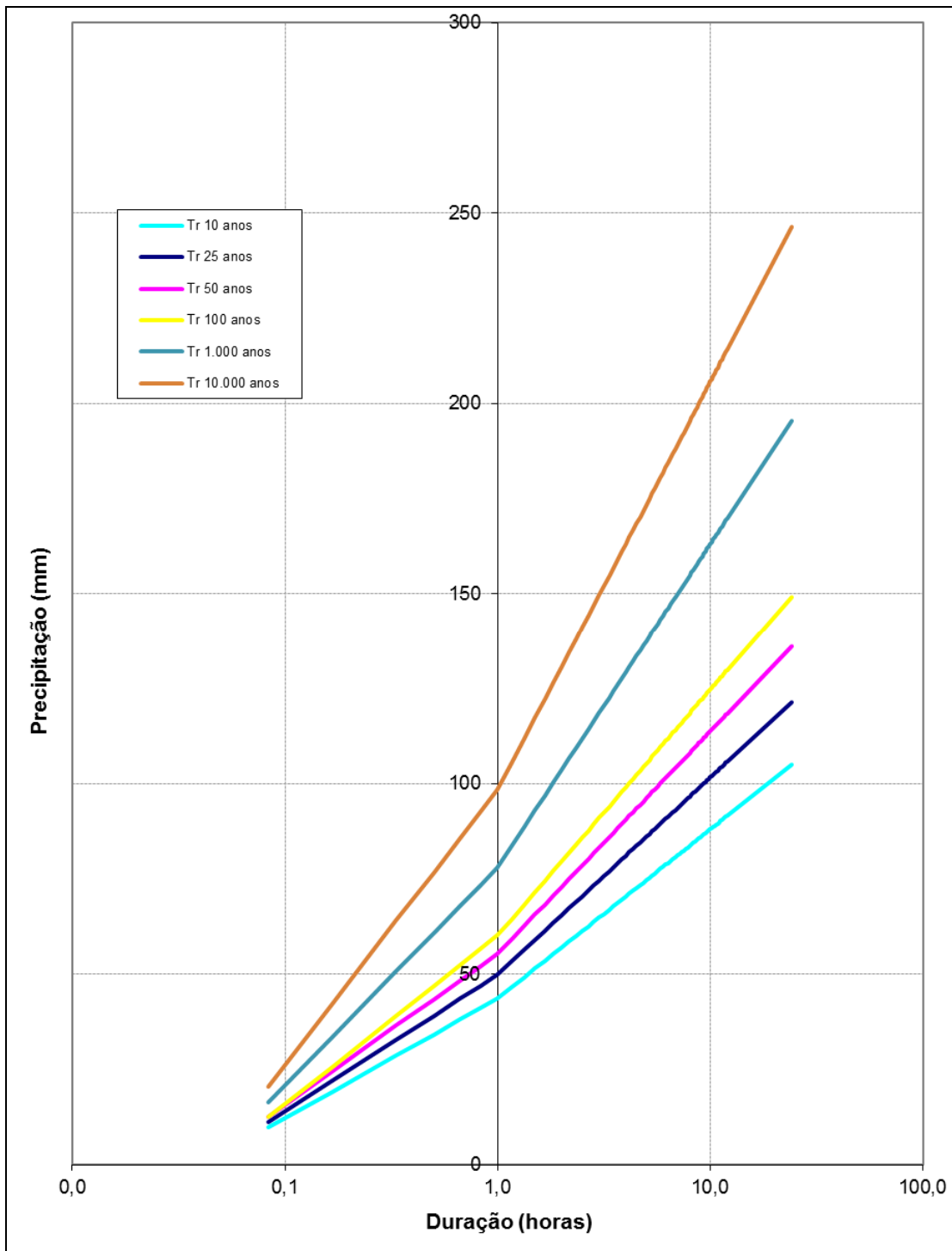


Figura 3.3 - Ábaco de desagregação da chuva diária.

Tabela 3.4 - Pluviometria desagregada pelo método de Torga Torrico.

Tr	Chuvras em mm para distintas durações horárias							
	0.10	1.00	2.00	3.00	6.00	9.00	12.00	24.00
10	19,2	43,6	57,0	64,8	78,2	86,0	91,5	104,9
25	22,1	49,9	65,4	74,6	90,1	99,3	105,7	121,3
50	24,6	55,3	72,9	83,2	100,8	111,0	118,3	135,9
100	25,7	60,1	79,6	91,0	110,4	121,8	129,8	149,3
1.000	33,5	78,0	103,6	118,6	144,2	159,2	169,8	195,4
10.000	42,3	98,4	130,7	149,6	181,9	200,8	214,2	246,6

O hietograma de projeto tem uma duração igual ao tempo de concentração da bacia, estimado aqui pela fórmula do Califórnia Highways, também conhecida como fórmula de Kirpich:

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

Em que T_c = tempo de concentração em minutos; L = comprimento do maior talvegue em km; ΔH = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório. O tempo de concentração da bacia do Germinal é de 3,0 horas.

Para determinação da distribuição temporal da chuva de projeto utilizou-se o método dos blocos alternados e uma chuva com duração de 9 horas (aproximadamente três vezes o tempo de concentração da bacia).

O método dos blocos alternados para definir a distribuição temporal das chuvas de projeto está baseado no uso de uma curva IDF para diferentes durações de chuva, menores que a duração total da chuva de projeto. No presente trabalho utilizou-se uma duração incremental de 10 minutos.

A altura total de chuva para cada duração é obtida multiplicando a intensidade pela duração, e a altura incremental para cada intervalo é dada pela subtração entre a altura total para uma dada duração total menos o total da duração anterior.

No método dos blocos alternados, os valores incrementais são reorganizados de forma que o máximo incremento ocorra, aproximadamente, no meio da duração da chuva total. Os incrementos (ou blocos de chuva) seguintes são organizados alternadamente, até preencher toda a duração. As Figuras 3.4 a 3.6 apresentam os hietogramas obtidos para os períodos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos, respectivamente.



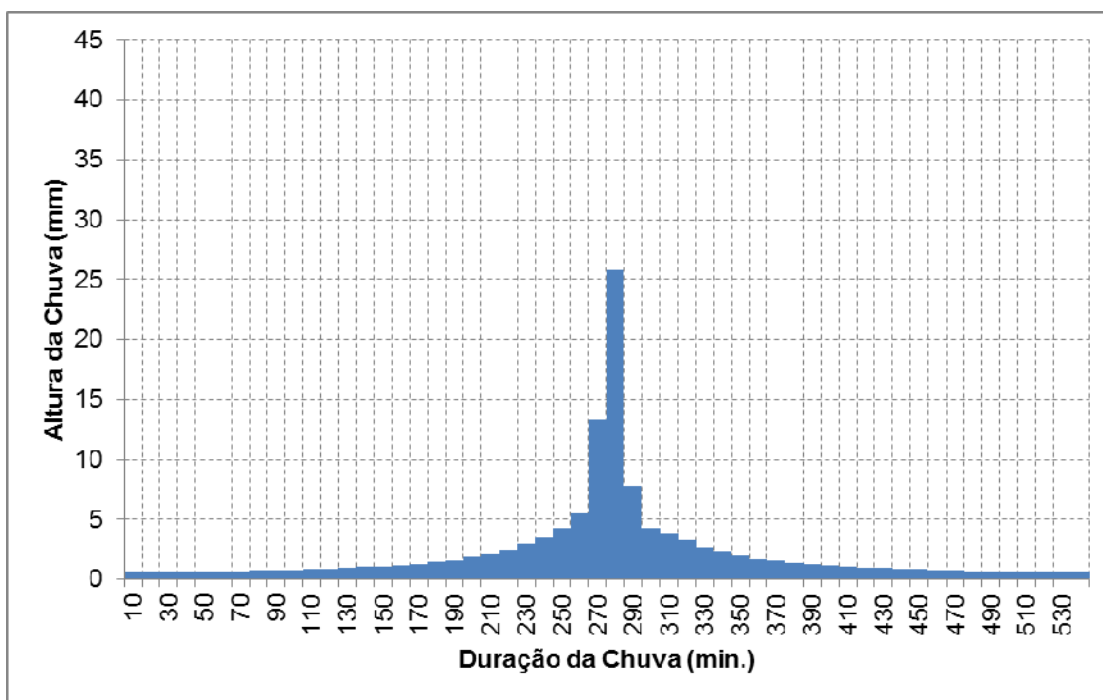


Figura 3.4 - Hietograma para o Período de Retorno de 100 anos.

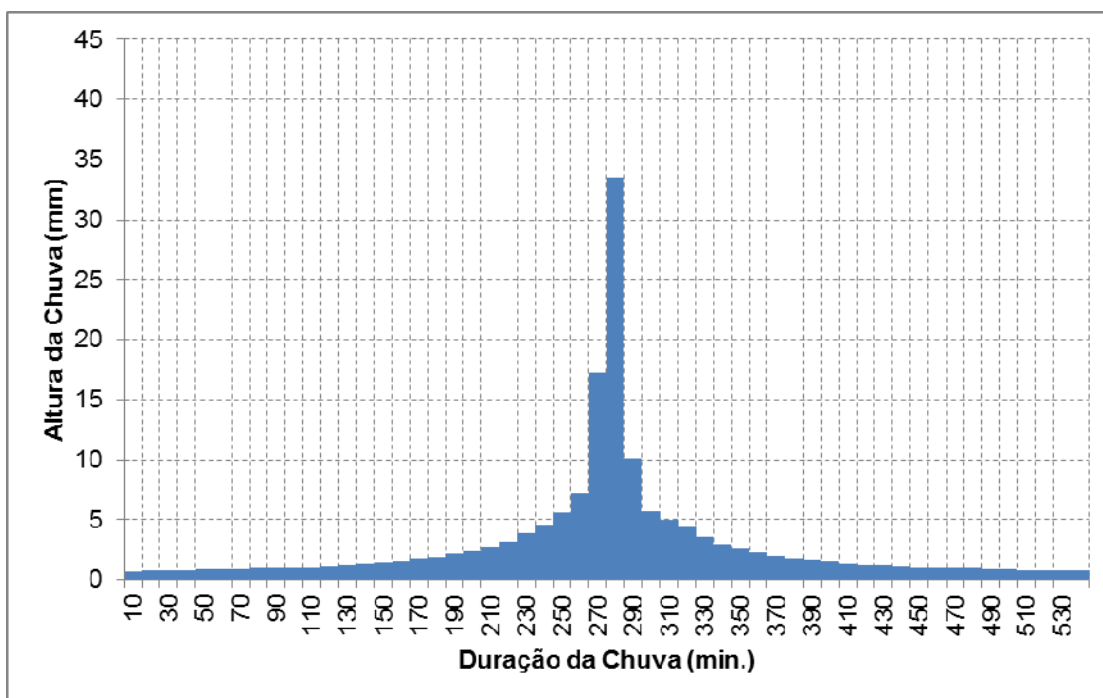


Figura 3.5 - Hietograma para o Período de Retorno de 1.000 anos.



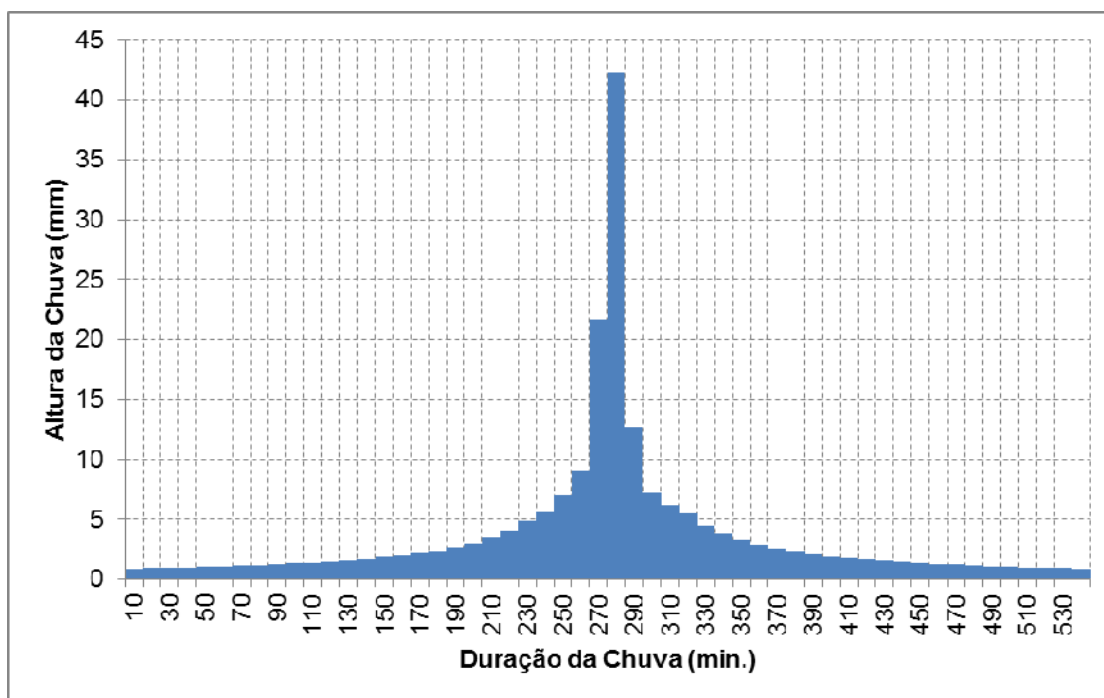


Figura 3.6 - Hietograma para o Período de Retorno de 10.000 anos.

3.3.3 Precipitação Efetiva

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

O cálculo das perdas de precipitação pode ser usado nos outros componentes do modelo HEC-HMS, em especial, hidrograma unitário. No caso do hidrograma unitário, estas perdas são consideradas uniformemente distribuídas sobre a bacia (ou sub-bacia).

De maneira geral, existem três metodologias utilizadas para determinação da chuva efetiva: equações de infiltração, índices e relações funcionais. Especificamente, o HEC-HMS possibilita o uso de 5 métodos: 1) Taxa de perda inicial e uniforme; 2) Taxa de perda exponencial; 3) Curva-Número; 4) Holtan; 5) Função de Infiltração Green e Ampt. Foi considerado mais adequado, diante dos dados disponíveis, o método Curva-Número do *Soil Conservation Service*.

O método Curva- Número é um procedimento desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo USDA, no qual a lâmina escoada (isto é, a altura de chuva



efetiva) é uma função da altura total de chuva e um parâmetro de abstração denominado Curva-Número, *CN*. Este coeficiente varia de 1 a 100, sendo uma função das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia: (1) tipo de solo hidrológico; (2) uso do solo e tratamento; (3) condição da superfície subterrânea e (4) condição de umidade antecedente.

A equação de escoamento do SCS é dada por

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

Em que Q = escoamento, P = precipitação, S = capacidade máxima de armazenamento do solo e I_a = perdas antes do início do escoamento.

As perdas antes do início do escoamento (I_a) incluem água retida em depressões superficiais, água interceptada pela vegetação, evaporação e infiltração. I_a é altamente variado, mas a partir de dados de pequenas bacias I_a é aproximado pela seguinte relação empírica:

$$I_a = 0,20.S$$

Substituindo a equação das perdas no início do escoamento na equação do escoamento elimina-se I_a , resultando em:

$$Q = \frac{(P - 0,20.S)^2}{P + 0,80.S}$$

Em que S está relacionado às condições de solo e cobertura através do parâmetro CN por:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{unidades métricas})$$

Em que CN varia de 0 a 100. CN foi tabelado para diferentes tipos de solos e cobertura, sendo estes valores tabelados apresentados para condições de umidade antecedente normal (AMC II). Para condições secas (AMC I) e úmidas (AMC III), CNs equivalentes podem ser calculados pelas seguintes fórmulas:

CONDIÇÕES SECAS

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

CONDIÇÕES ÚMIDAS

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



Alternativamente, os CNs para estas condições podem ser obtidos, a partir da condição normal (AMC II), utilizando-se tabelas⁴.

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

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

Uma vez que o método do SCS dá o excesso total para uma tormenta, o excesso incremental de precipitação para um período de tempo é calculado como a diferença entre o excesso acumulado no fim do presente período e o acumulado do período anterior. Para a bacia do reservatório Germinal, conforme apresentado no capítulo 2, tem seus solos enquadrados no Grupo de Solos “D”, com elevada capacidade de escoamento superficial. Desta forma, foi adotado um CN = 85, com base nos mapas de solo (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevos apresentados no presente estudo.

3.3.4 Hidrograma Unitário – SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. Este método foi escolhido por ter sido idealizado para bacias de áreas entre 2,5 e 1.000 km² e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas. Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro: o T_{LAG} . Este parâmetro, T_{LAG} , é igual à distância (*lag*) entre o

⁴ PONCE, V.M., 1989. ENGINEERING HYDROLOGY: PRINCIPLES AND PRACTICES. PRENTICE HALL, NEW JERSEY, 640 p.



centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário. A vazão de pico e o tempo de pico são calculados por:

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

Em que Q_p = é a vazão de pico (m^3/s), t_p = tempo de pico do hidrograma (h), A = área da bacia em km^2 e Δt = o intervalo de cálculo.

Uma vez determinados estes parâmetros e o intervalo de cálculo (duração do hidrograma unitário), o HEC-HMS utiliza estes para interpolar um hidrograma unitário a partir de um hidrograma unitário adimensional do SCS. A seleção do intervalo de cálculo é baseada na relação $\Delta t = 0,20 \cdot t_p$, não devendo exceder $0,25 \cdot t_p$. Estas relações baseiam-se nas seguintes relações empíricas

$$t_{lag} = 0,60 \cdot T_c \text{ e } 1,7 \cdot t_p = \Delta t + T_c$$

Em que T_c = é o tempo de concentração da bacia. O HEC-HMS sugere que $\Delta t \leq 0,29 \cdot T_{LAG}$. Para cálculo do hidrograma de projeto por esta metodologia, é necessária uma estimativa do tempo de concentração da bacia. O tempo de concentração foi avaliado através da aplicação da fórmula de Kirpich.

As Figuras 3.7 a 3.9 apresentam os hietogramas de projeto (precipitação total) e os hidrogramas afluentes a barragem Germinal obtidos através do uso do modelo HEC-HMS correspondentes aos tempos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos, conforme metodologia acima. As vazões de pico do hidrograma foram $604,6 m^3/s$ para o período de retorno de 100 anos, $863,1 m^3/s$ para o período de retorno de 1.000 anos e $1.156,0 m^3/s$ para o período de retorno de 10.000 anos.



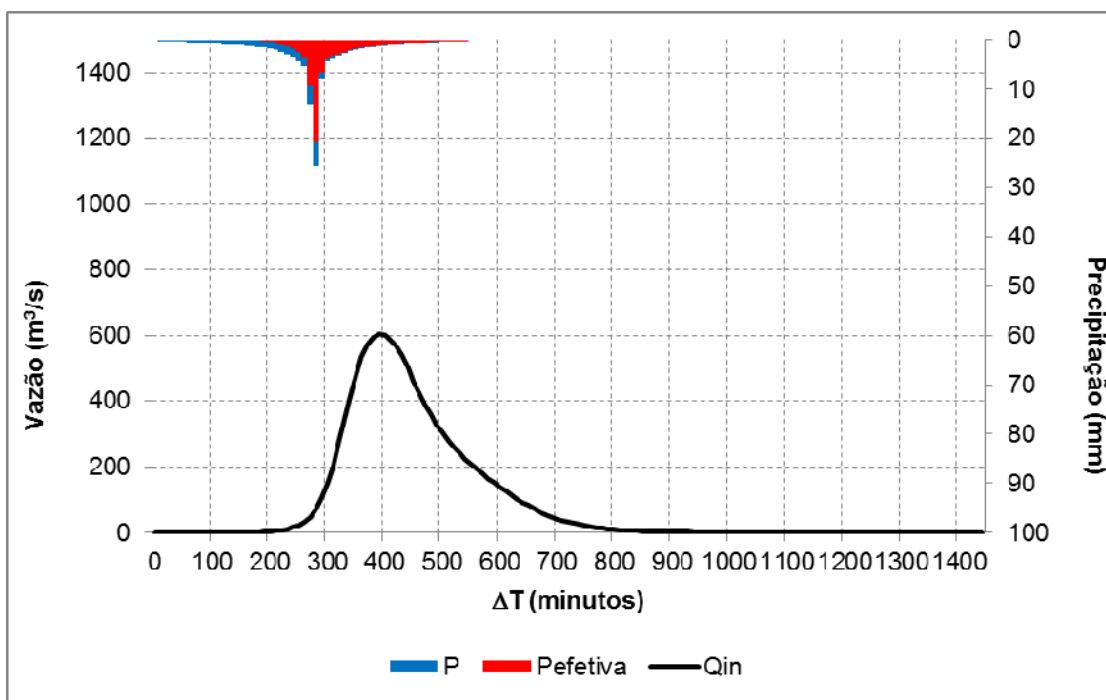


Figura 3.7 - Hidrograma total afluyente ao Açude Germinal ($Tr = 100$ anos).

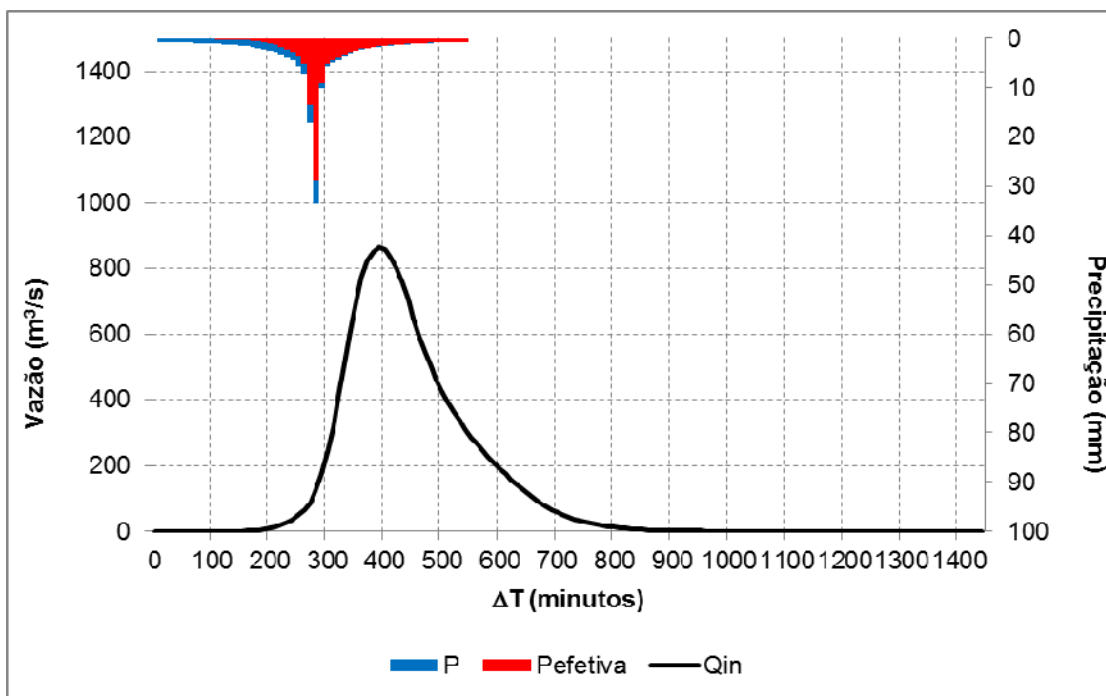


Figura 3.8 - Hidrograma total afluyente ao Açude Germinal ($Tr = 1.000$ anos).



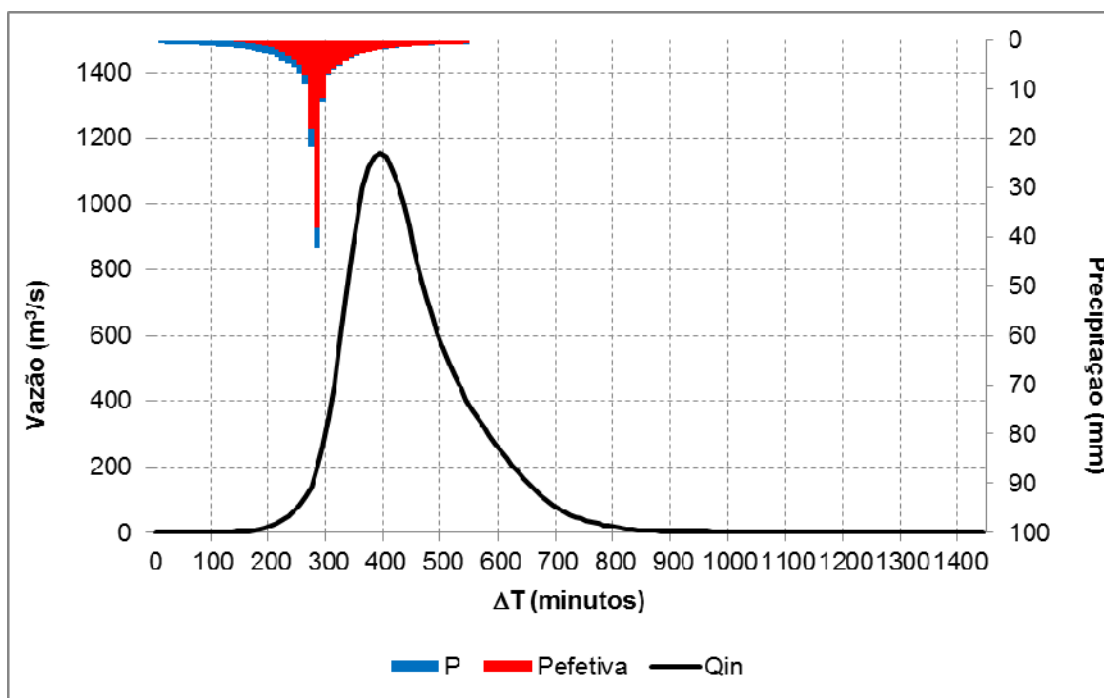


Figura 3.9 - Hidrograma total afluente ao Açude Germinal (Tr = 10.000 anos).

3.3.5 Propagação da Cheia no Reservatório

Técnicas de propagação em reservatórios são baseadas no conceito de armazenamento, sendo o método de Puls um dos mais conhecidos para propagação em reservatórios. Este método consiste em uma expressão discretizada da equação de continuidade concentrada e na relação entre vazão e armazenamento.

A equação discretizada da continuidade é dada por

$$\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} = \frac{I_t + I_{t+1}}{2} - \frac{Q_t + Q_{t+1}}{2}$$

Em que I_t e I_{t+1} = vazões afluentes ao reservatório em t e $t+1$; Q_t e Q_{t+1} = vazões de saída ao reservatório em t e $t+1$; S_t e S_{t+1} = armazenamento em t e $t+1$; Δt = intervalo de tempo. As incógnitas Q_{t+1} e S_{t+1} podem ser colocadas em um mesmo lado, resultando em

$$Q_{t+1} + 2 \cdot \frac{S_{t+1}}{\Delta t} = I_t + I_{t+1} - Q_t + 2 \cdot \frac{S_t}{\Delta t}$$



Conhecendo-se a função $Q=f(S)$, constrói-se uma função $Q=h(Q+2S/\Delta t)$, resultando no seguinte processo de cálculo:

- Determinação do volume inicial S_0 (conforme objetivo do estudo) e a partir deste, determina-se Q_0 ;
- Calcular $I_t + I_{t+1} - Q_t + 2 \cdot \frac{S_t}{\Delta t}$, uma vez que o hidrograma de entrada foi determinado pelo método do hidrograma unitário do SCS;
- Com este valor ($Q_{t+1} + 2 \cdot S_{t+1}/\Delta t$) é possível obter Q_{t+1} através de $Q=h(Q+2S/\Delta t)$ e S_{t+1} através de $S_{t+1} = f^{-1}(Q_{t+1})$;
- Repete-se o segundo e o terceiro passo para todos os intervalos de cálculo.

O vertedouro projetado no “Projeto Executivo da Barragem Germinal” é do tipo Perfil Creager, sendo o seu coeficiente de descarga adotado 2,1, ficando sua equação característica:

$$Q = 2,1 L (Z - Z_w)^{1,5}.$$

A Tabela 3.5 e a Figura 3.10 apresentam a curva cota x área x volume da Barragem Germinal, obtida através dos estudos topográficos apresentados no “Projeto Executivo da Barragem Germinal”.

3.4 Resultados

A adoção de cheias de projeto da magnitude da cheia máxima provável não se justifica para o reservatório em estudo, por suas localizações, capacidades e finalidades. Assim, dentro desta perspectiva, optou-se por utilizar a cheia associada ao hietograma de 1.000 anos e verificar para o hietograma de 10.000 anos. Serão apresentados ainda os resultados para o hietograma de 100 anos.

Para as simulações das cheias de projeto utilizaram-se as características do vertedouro apresentadas no “Projeto Executivo da Barragem Germinal” (tipo Creager e cota da soleira na 354,0 m), com opções de largura do vertedouro de 80, 100, 120 e 140 m. Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida para os períodos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos encontram-se nas Figuras Tabelas 3.11 a 3.13 e na Tabela 3.6.



Tabela 3.5 – CAV da Barragem Germinal.

Cota (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
329	0	0,00
330	155,77	77,89
331	678,76	495,15
332	1.850,65	1.759,86
333	3.809,34	4.589,85
334	7.180,79	10.084,92
335	13.046,84	20.198,73
336	22.819,61	38.131,96
337	30.601,90	64.842,71
338	37.981,14	99.134,23
339	44.543,80	140.396,70
340	51.840,65	188.588,93
341	60.038,13	244.528,32
342	67.899,81	308.497,29
343	75.681,95	380.288,17
344	84.112,27	460.185,28
345	95.979,42	550.231,12
346	100.989,55	648.715,61
347	122.745,05	760.582,91
348	138.219,95	891.065,41
349	154.730,79	1.037.540,78
350	166.332,13	1.198.072,24
351	186.043,03	1.374.259,82
352	203.086,07	1.568.824,37
353	221.836,14	1.781.285,47
354	244.447,37	2.014.427,23
355	269.211,11	2.271.256,47
356	297.341,77	2.554.532,91
357	332.142,25	2.869.274,92

Município: Palmácia
 Curso Barrado: Rio Pacoti
 Área da Bacia Hidrográfica (km²): 94,0
 Capacidade do Reservatório (hm³): 2,01
 Comprimento do Rio Principal (km): 23,0

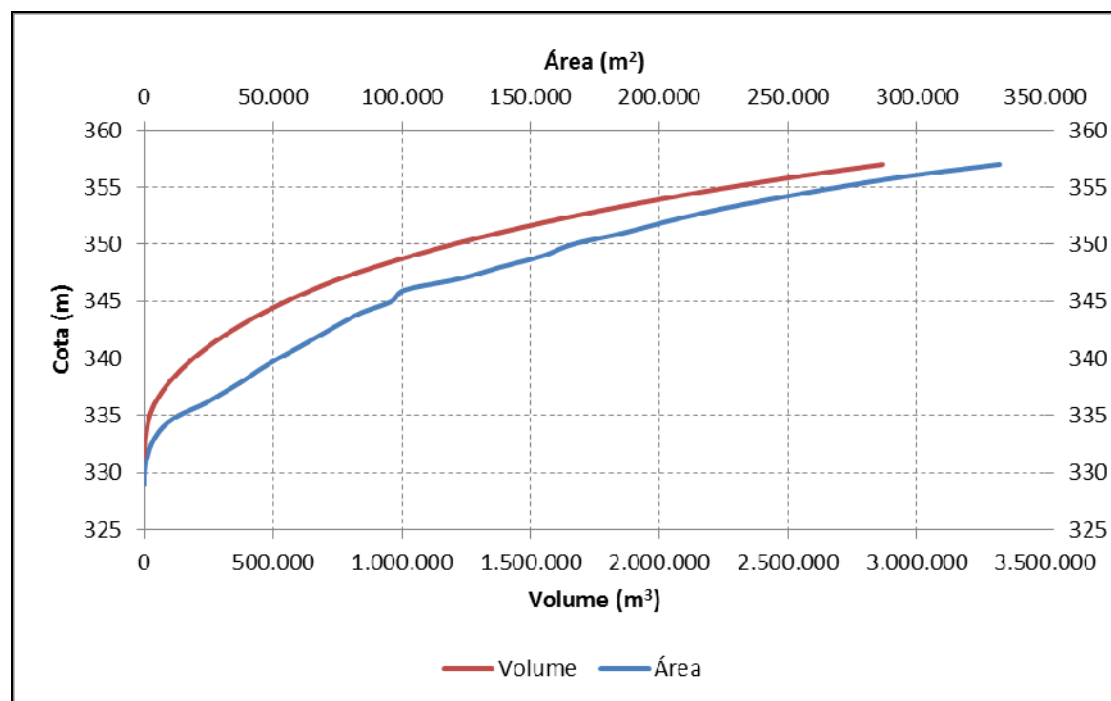


Figura 3.10 - Cota x Área x Volume.

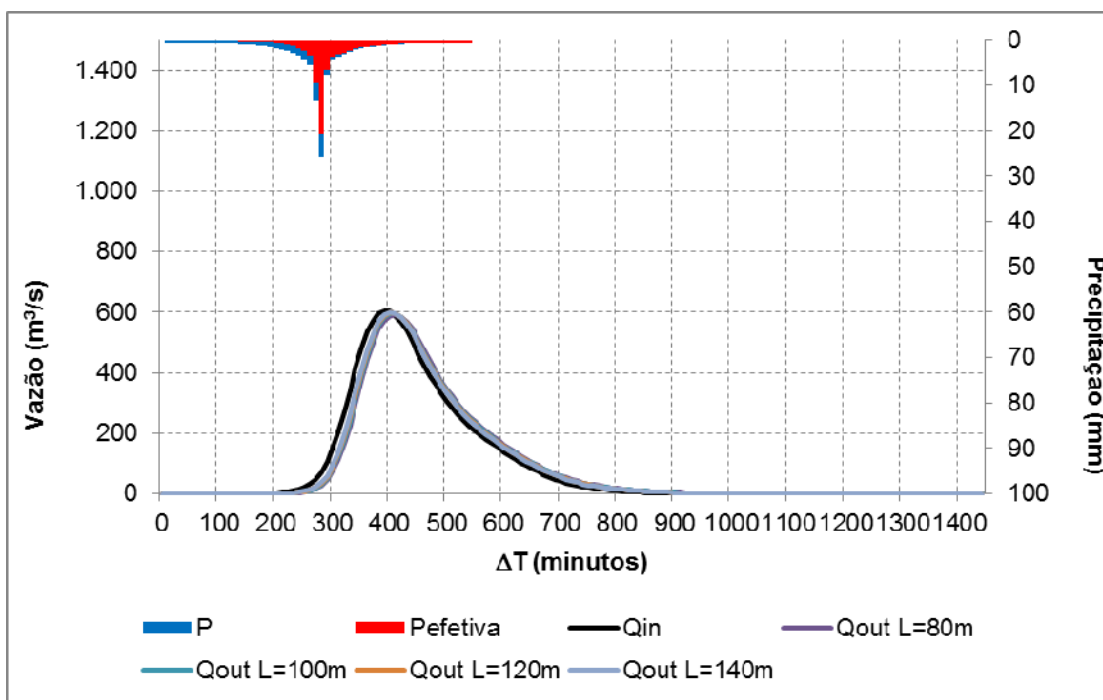


Figura 3.11 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Germinal (Tr = 100 anos). Perfil Creager. Cota 354,0 m.

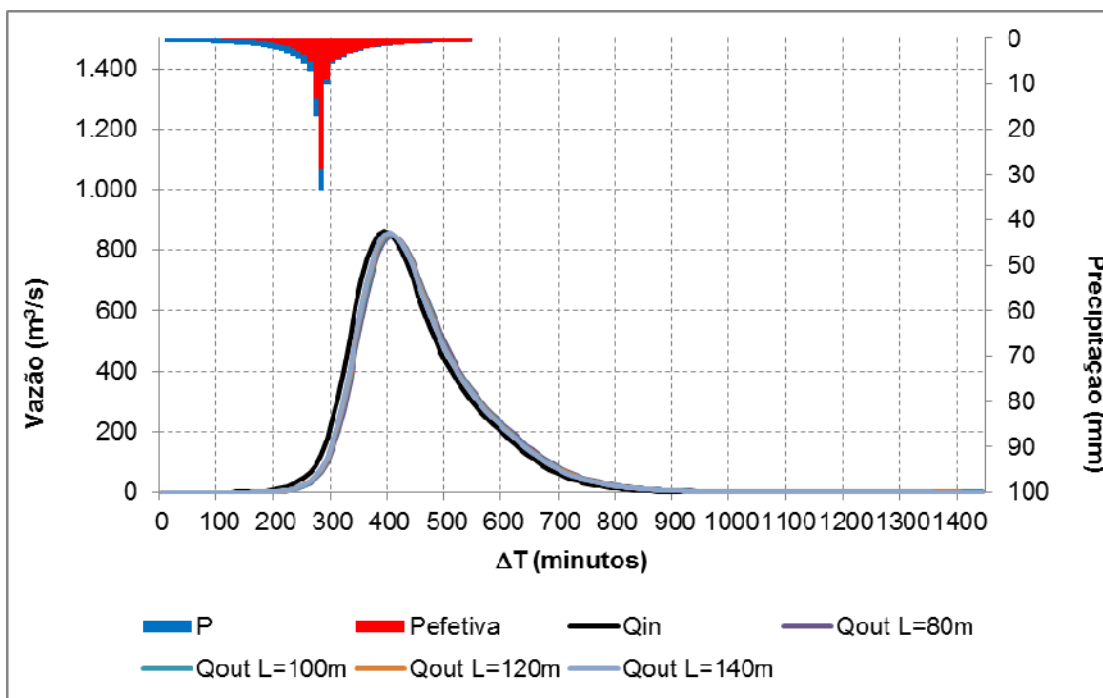


Figura 3.12 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Germinal (Tr = 1.000 anos). Perfil Creager. Cota 354,0 m.



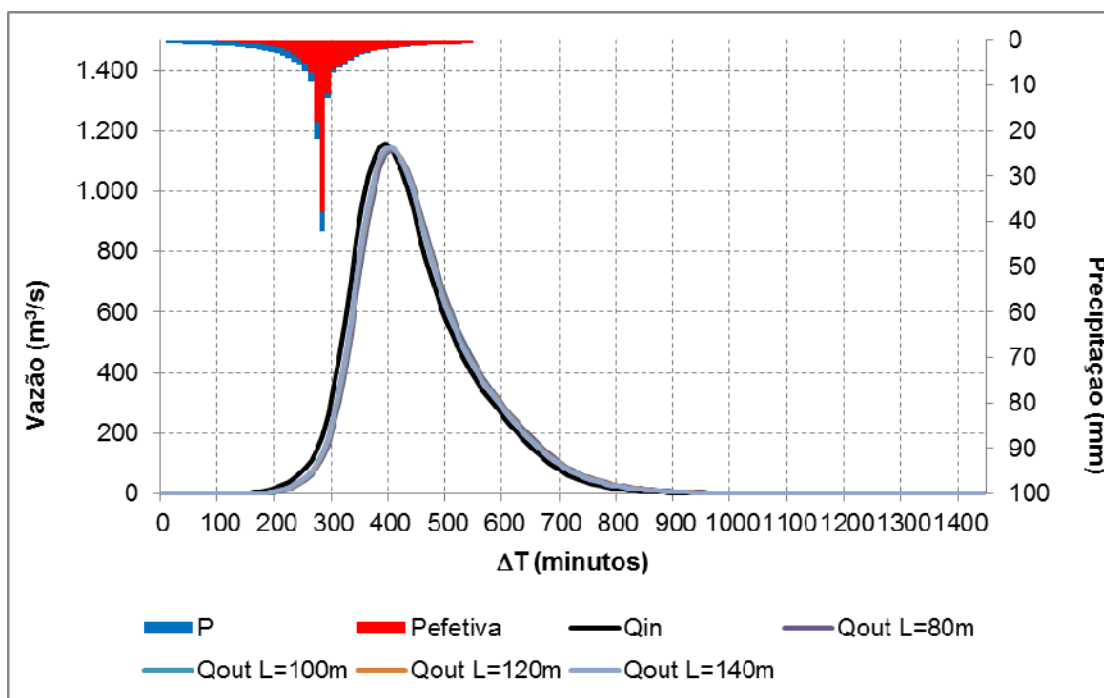


Figura 3.13 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Germinal ($Tr = 10.000$ anos). Perfil Creager. Cota 354,0 m.

Tabela 3.6 - Resultados das simulações de cheia do presente projeto.

Vertedouro				Qout (m^3/s)	Z (m)	Lâmina (m)	Percentual de Amortecimento
Tr (Anos)	Qin (m^3/s)	Zw (m)	L (m)				
100	604,6	354	80	591,9	356,3	2,30	2,10%
			100	595,9	356,0	2,00	1,44%
			120	598,6	355,8	1,80	0,99%
			140	600,0	355,6	1,60	0,76%
1.000	863,1		80	846,9	356,9	2,90	1,88%
			100	851,9	356,5	2,50	1,30%
			120	855,0	356,3	2,30	0,94%
			140	857,0	356,0	2,00	0,71%
10.000	1.156,0		80	1.137,4	357,6	3,60	1,61%
			100	1.143,1	357,1	3,10	1,12%
			120	1.146,6	356,7	2,70	0,81%
			140	1.148,1	356,5	2,50	0,68%

L = Largura do Sangradouro
Qin = Vazão afluente ao reservatório

Zw = cota da soleira do sangradouro
Qout = Vazão de saída (sangradouro)

É importante ressaltar que a Barragem Germinal possui um amortecimento extremamente baixo, decorrente de um vale bem encaixado acima do vertedouro, acarretando uma variação incremental pequena na acumulação do reservatório em função da lâmina de sangria, mesmo para lâminas de sangria elevadas.



4 – ESTUDO DOS DEFLÚVIOS



4 ESTUDO DOS DEFLÚVIOS

Os estudos hidrológicos são fundamentais para elaboração de projetos e para um adequado gerenciamento dos recursos hídricos. Infelizmente, na maioria dos casos, a informação hidrológica não está disponível para a região objeto destes estudos. Nestes casos, a regionalização hidrológica é uma das formas encontradas de transferir informações para locais onde não existem dados com base em registros existentes em outras regiões.

A escassez de dados tem dois parâmetros básicos, a disponibilidade temporal e espacial da informação. Muitos postos com poucos anos, não retratam necessariamente uma amostra representativa de muitos anos (postos correlacionáveis).

No local da Barragem Germinal não há registro de vazão. Assim, existem duas alternativas para obtenção das séries fluviométricas.

1. Através de estudos de regionalização é possível a transferência de informações de outras bacias (no caso o posto Cristais (35950000), uma bacia com características físicas similares);
2. Aplicação de modelo Chuva-Vazão.

Foi selecionado o posto fluviométrico Cristais para empregar uma abordagem mista, isto é, calibrar o modelo chuva-vazão e utilizar os resultados de acordo com os dados locais de pluviometria e evaporação para simular o escoamento superficial na bacia hidrográfica do Rio Pacoti. A série de deflúvio afluente a seção Cristais já havia sido simulado utilizando o modelo SMAP. Os resultados, em estudos de regionalização realizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), demonstraram uma boa adequação aos dados observados na bacia hidrográfica em questão. A Figura 4.1 apresenta os resultados dos dados calibrados e observados no período de 1970 a 1987.



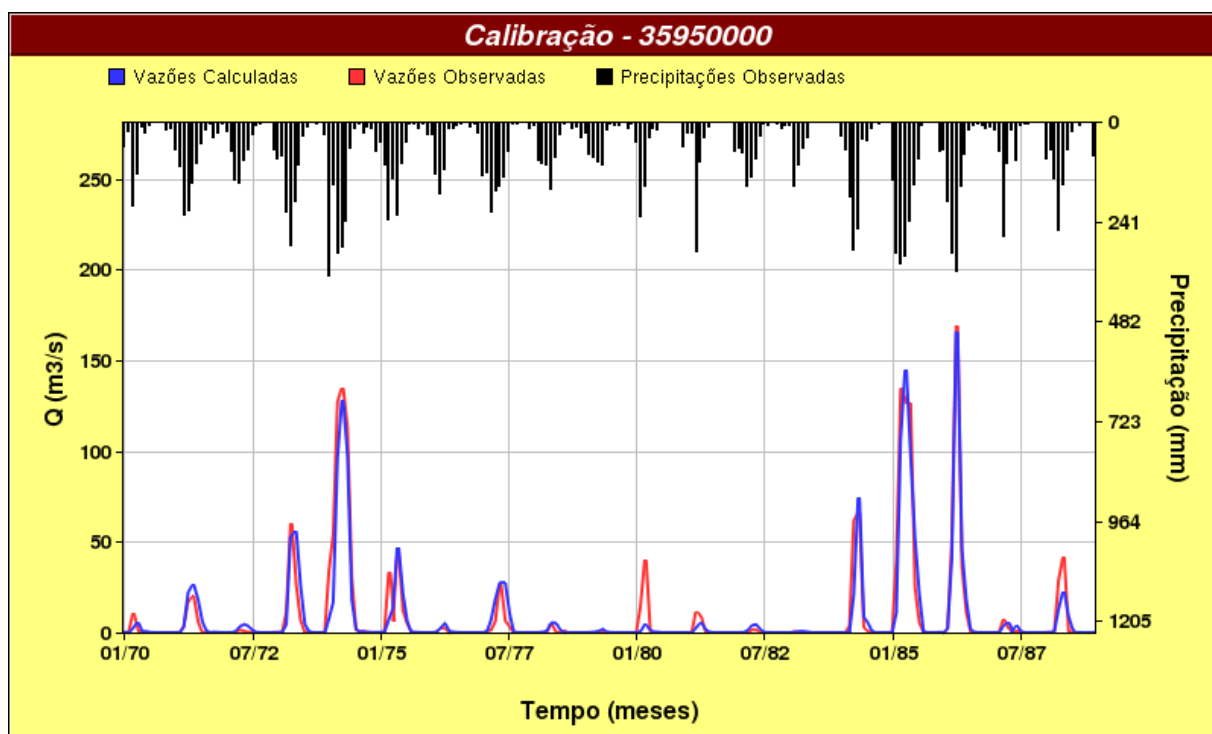


Figura 4.1 - Calibração do Modelo SMAP para o posto Cristais (35950000).

O modelo chuva-vazão SMAP (Lopes *et al.*,1981) tem uma estrutura relativamente simples, cujos parâmetros são relacionados com parâmetros físicos da bacia. Neste modelo, o número de parâmetros que dependem de calibração é reduzido ao máximo, o que permite a determinação dos valores ótimos globais com maior facilidade, permitindo a regionalização destes.

O SMAP utiliza em seu esquema físico três reservatórios lineares representando a superfície, o solo (camada superior) e o aquífero, como pode ser visualizado na Figura 4.2. A cada evento de precipitação (P) é realizado um balanço de massa. Uma parcela de (P) é transferida como escoamento superficial (ES) para um reservatório linear que representa o armazenamento de superfície. Este cálculo é feito através da equação do “*Soil Conservation Service*” (SCS) para escoamento superficial. Assim, o nível de água existente neste primeiro reservatório (RES) é deplecionado a uma taxa constante resultando em um escoamento direto (ED).

A lâmina restante da precipitação subtraída do escoamento superficial (P-ES) sofre perda por evaporação a nível evaporação potencial (EP), logo a lâmina remanescente (P-ESEP) é adicionada a um segundo reservatório que representa a camada superior do solo. Neste, a umidade é atualizada ao longo do tempo através

das perdas por evapotranspiração real (ER) que dependem do nível do reservatório (RSOLO) e da capacidade de saturação do solo (SAT).

Outra saída deste reservatório é a recarga no reservatório subterrâneo (REC) onde é utilizado o conceito de capacidade de campo (CAPC) para determiná-la. Este terceiro reservatório também é linear e o nível água existente (RSUB) é deplecionado a uma taxa constante de recessão do escoamento básico (K), resultando em escoamento básico (EB). A soma do escoamento direto e básico fornece a vazão no ponto de controle da bacia. A Figura 4.2 apresenta o diagrama do modelo SMAP.

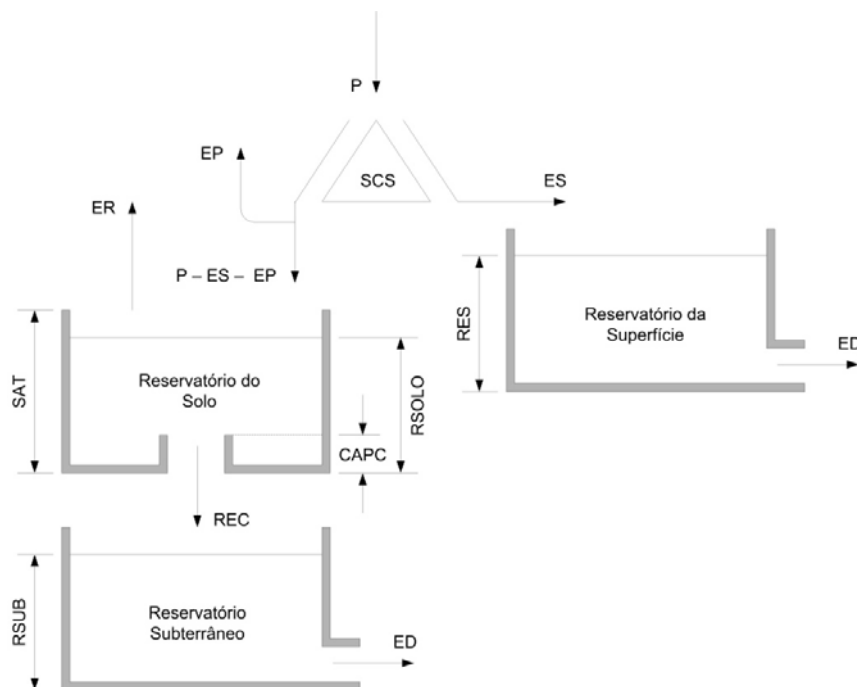


Figura 4.2 - Esquema físico do modelo chuva-vazão SMAP (Lopes et al., 1981).

Foi realizada uma nova calibração, de acordo com as características da bacia do açude Germinal, e simulado o escoamento utilizando o modelo citado, modificando a evapotranspiração e a precipitação de entrada, substituindo-a pelos valores calculados neste estudo.

Tendo por base as observações do hidrograma da estação fluviométrica, verificou-se que apenas os parâmetros SAT e Kes possuem sensibilidade para as bacias localizadas no Estado do Ceará. Desta forma, o problema de calibração resume-se em estimar apenas estes dois parâmetros, enquanto que os demais são considerados constantes com os seguintes valores: CREC = 0; K = 3; TUin = 30 e EBin = 0. A faixa de variação dos dois parâmetros utilizada no processo de calibração foi de 400 a 5000 e 0,1 a 10 respectivamente.



As considerações acima citadas traduzem-se em desconsiderar do modelo sua representação do escoamento subterrâneo, argumento com fundamentação, visto que a maior parte do subsolo cearense é composta por rocha cristalina. Os resultados da calibração do modelo SMAP para o posto cristais (35950000) são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Resultados obtidos para o modelo SMAP mensal.

Código	Calibração		Parâmetros	
	Período	NASH	Sat	Kes
35950000	1981 - 1988	84,5%	779,4	5,54

Então após processo de regionalização, considerando as características da bacia, foram utilizados os parâmetros calibrados para o Posto Cristas para calcular as vazões e volumes médios mensais para a bacia do Açude Germinal.

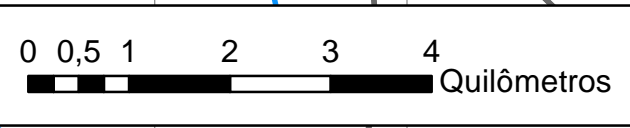
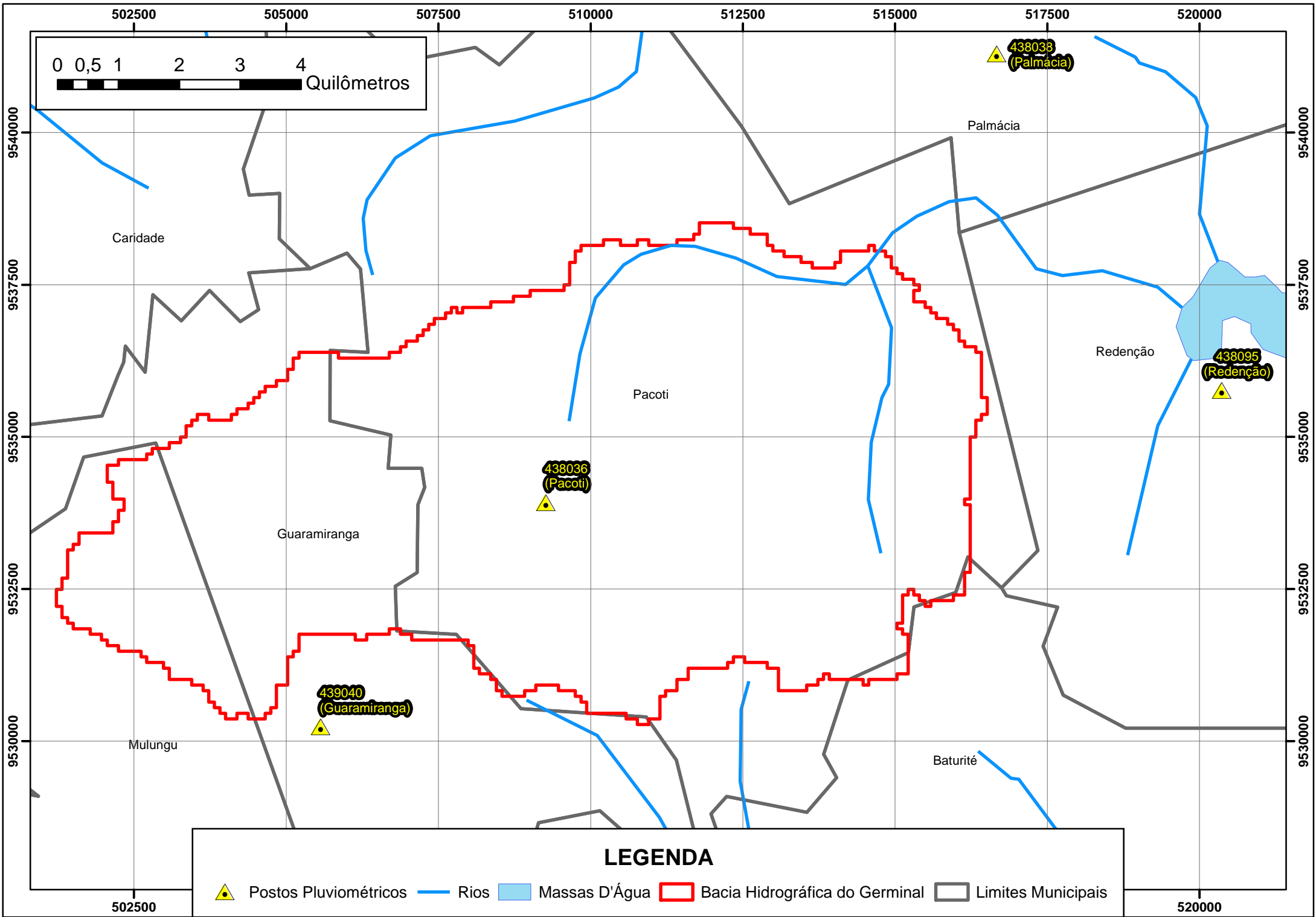
A série mensal de chuvas médias sobre a bacia do reservatório Germinal foi obtida através do método de Thiessen. Foram utilizados os principais postos localizados na bacia hidrográfica do açude Germinal e suas proximidades. A Tabela 4.2 apresenta as principais características dos postos utilizados, enquanto a Figura 4.3 localiza espacialmente os poços em relação à Bacia Hidrográfica do açude Germinal.

Tabela 4.2 – Postos utilizados no método de Thiessen para calcula da precipitação média.

Posto	Município	Código	Período	Latitude	Longitude	Operadora
Pacoti	Pacoti	00438036	1913 - 2010	4° 13'	38° 55'	Funceme
Sítio Bica	Palmácia	00438038	1922 - 2009	4° 09'	38° 51'	Funceme
Redenção	Redenção	00438095	1978 - 2010	4° 12'	38° 49'	Funceme
Guaramiranga	Guaramiranga	00439040	1961 - 1985	4° 15'	38° 57'	INMET

Foi determinada, inicialmente, a precipitação média diária sobre a bacia. Como os postos não dispuseram de dados, simultaneamente, em toda a série estudada, foram calculadas 11 diferentes configurações de polígonos de Thiessen, conforme apresentadas nas Figuras 4.4 a 4.14. Foi determinada a precipitação média mensal para o maior período contínuo disponível, ou seja, 1961 a 2010. A Tabela 4.3 apresenta a série pluviométrica média que precipita sobre a bacia hidrográfica da barragem Germinal. A Tabela 4.4 apresenta a série fluviométrica pseudo-históricas do reservatório Germinal, enquanto a Tabela 4.5 apresenta os volumes mensais afluentes ao mesmo.





LEGENDA

▲	Postos Pluviométricos	—	Rios	■	Massas D'Água	□	Bacia Hidrográfica do Germinal	□	Limites Municipais
---	-----------------------	---	------	---	---------------	---	--------------------------------	---	--------------------

502500

520000

9540000
9537500
9535000
9532500
9530000

9540000
9537500
9535000
9532500
9530000

502500

505000

507500

510000

512500

515000

517500

520000

Caridade

Guaramiranga

Pacoti

Palmácia

Redenção

Baturité

439040
(Guaramiranga)

438036
(Pacoti)

438033
(Palmácia)

438095
(Redenção)

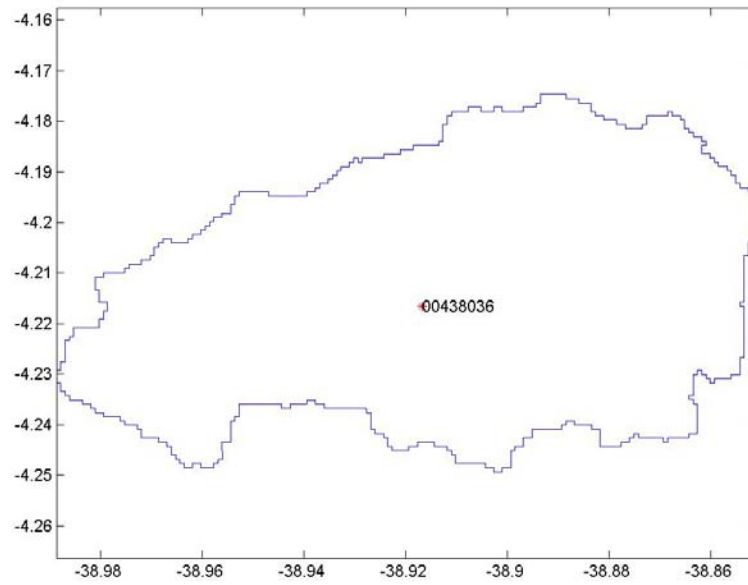


Figura 4.4 - Thiessen 01.

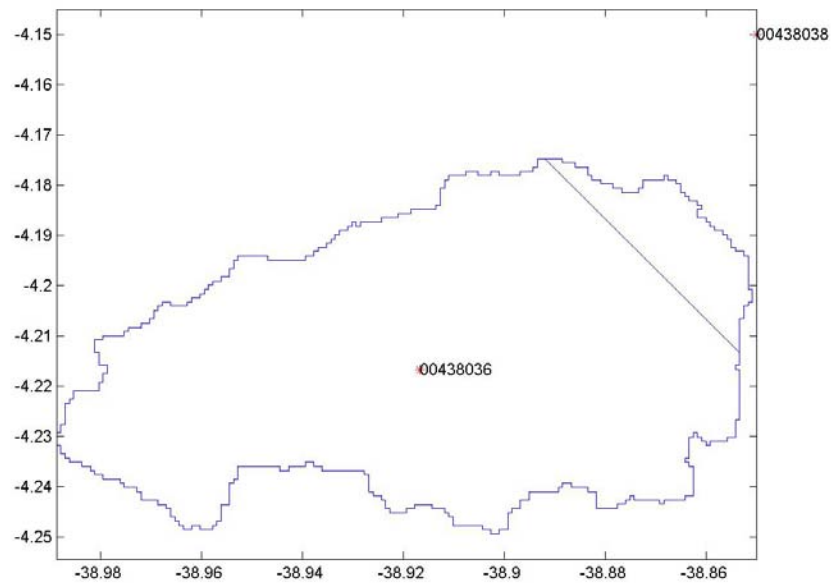


Figura 4.5 - Thiessen 02.

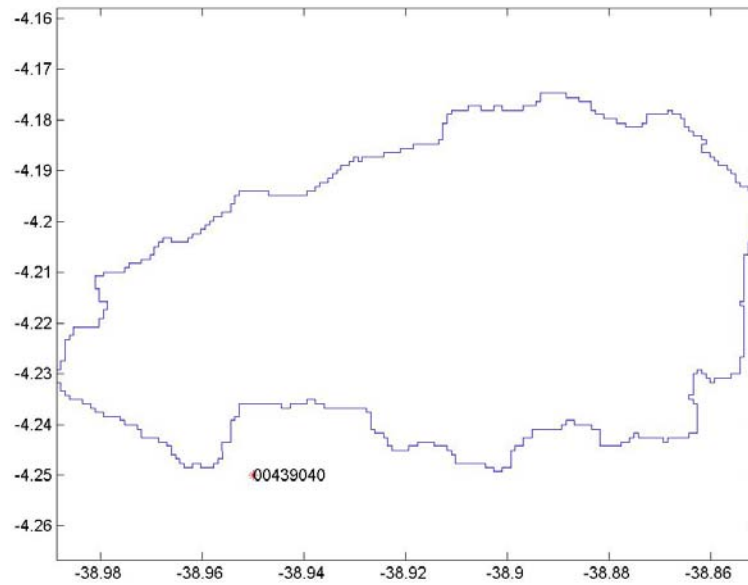


Figura 4.6 - Thiessen 03.

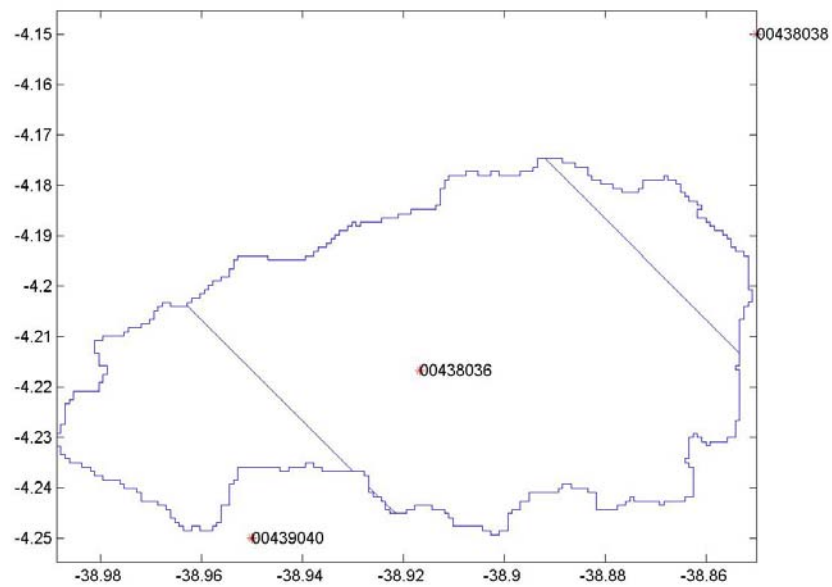


Figura 4.7 - Thiessen 04.



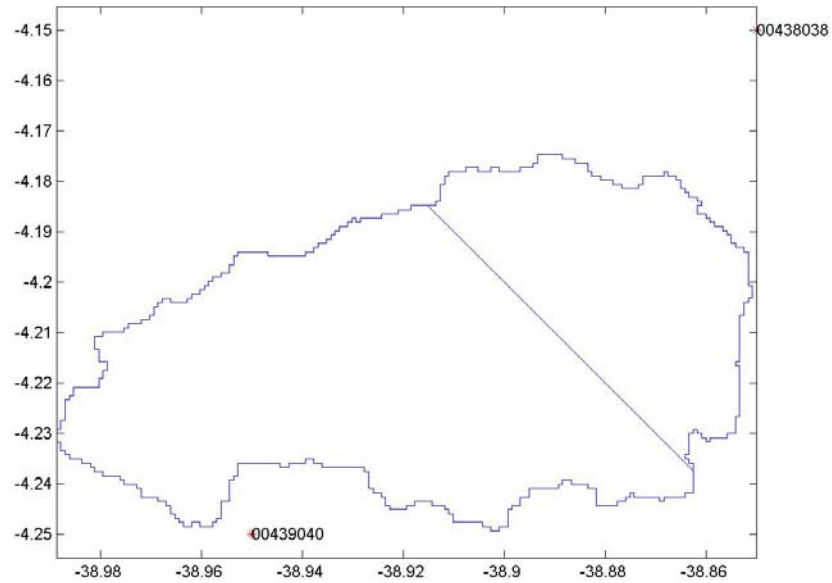


Figura 4.8 - Thiessen 05.

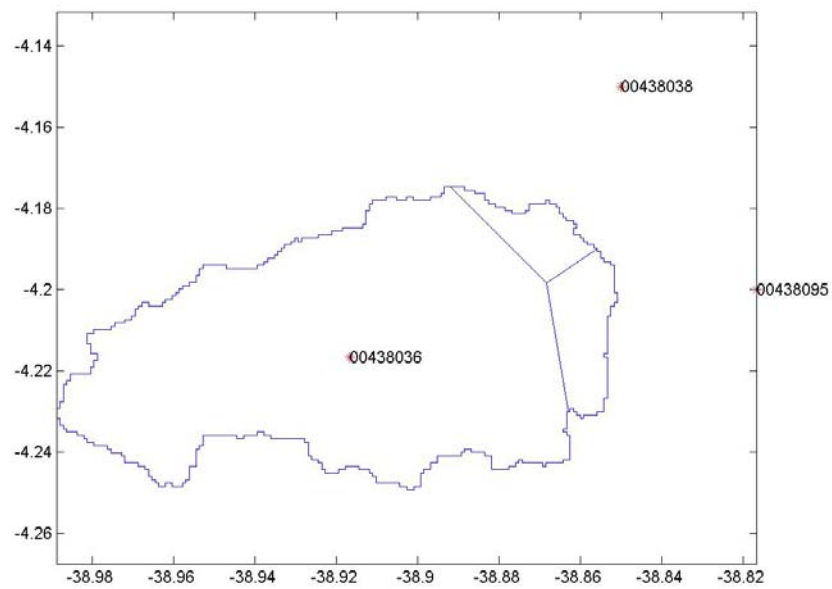


Figura 4.9 - Thiessen 06.

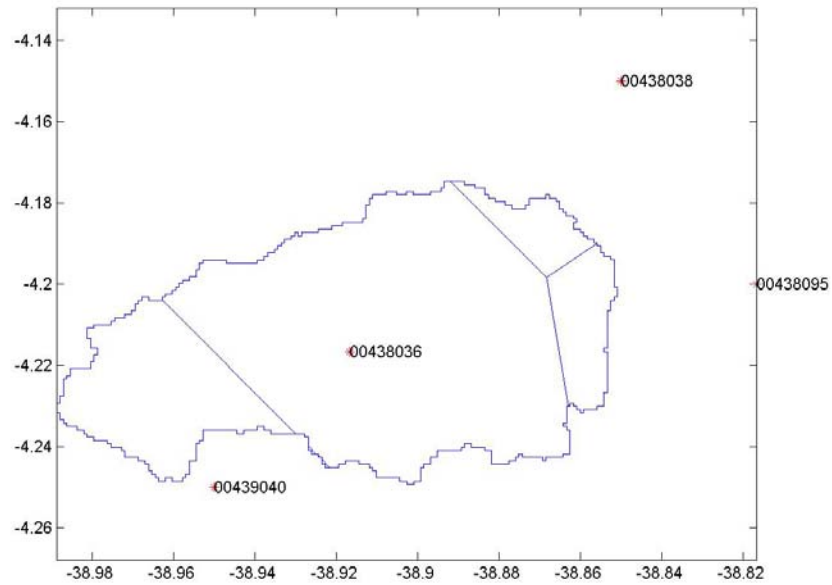


Figura 4.10 - Thiessen 07.

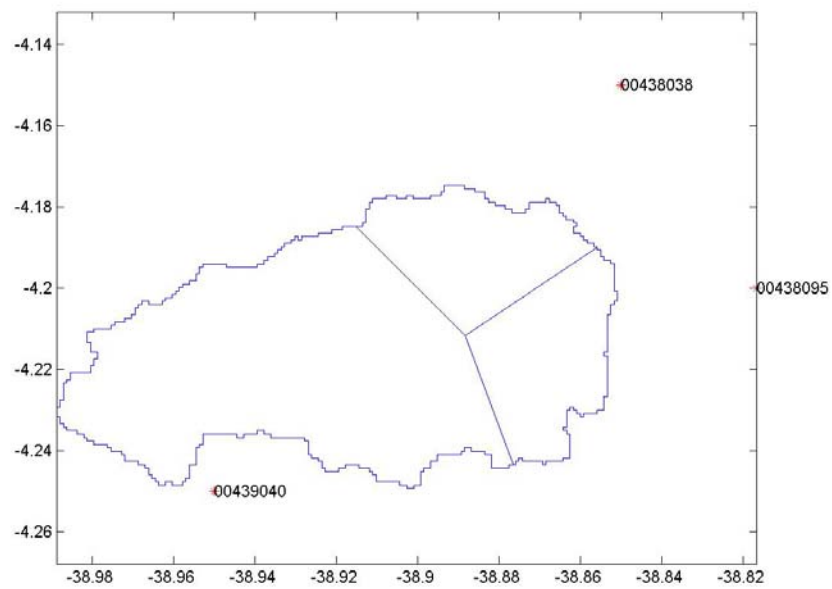


Figura 4.11 - Thiessen 08.

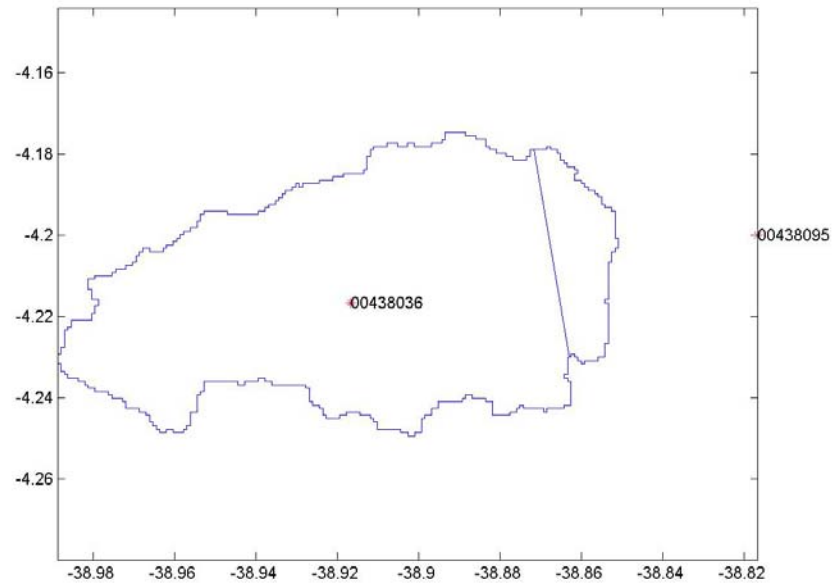


Figura 4.12 - Thiessen 09.

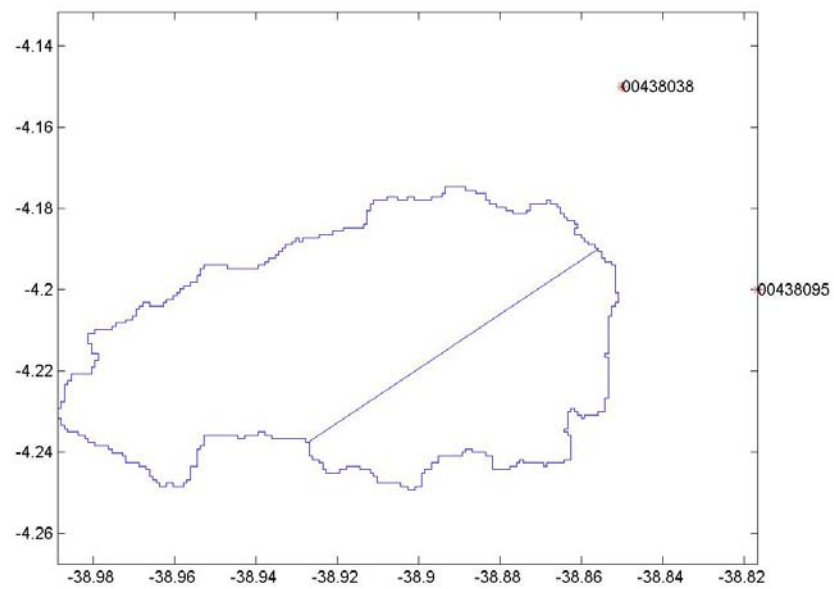


Figura 4.13 - Thiessen 10.

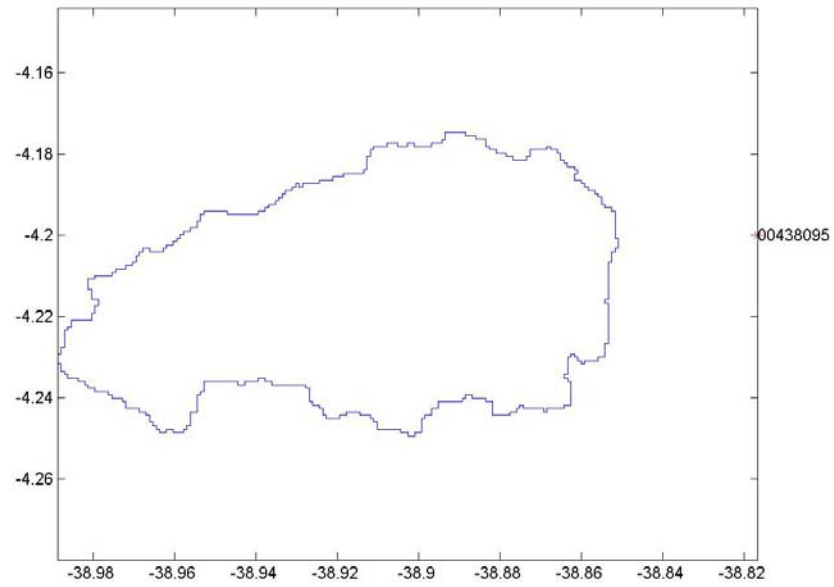


Figura 4.14 - Thiessen 11.



Tabela 4.3 - Série de precipitações médias sobre a bacia hidrográfica do Germinal em mm.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1961	165,2	543,4	315,4	338,6	274,4	225,5	132,0	10,6	21,0	40,4	16,9	119,1	2.202,5
1962	57,9	119,3	510,0	277,7	174,9	60,0	63,1	26,1	45,2	10,5	116,1	69,3	1.530,0
1963	238,5	190,0	403,5	225,9	156,0	16,8	37,7	5,9	2,1	2,5	60,2	57,4	1.396,4
1964	289,6	378,5	368,1	475,8	398,1	105,2	117,7	72,6	99,1	9,5	1,8	11,0	2.327,0
1965	74,0	44,4	281,0	403,6	242,5	240,8	49,8	5,0	1,9	13,7	3,4	30,5	1.390,5
1966	23,6	134,3	126,4	199,0	216,1	162,5	161,6	13,4	17,1	6,9	31,6	36,0	1.128,6
1967	128,2	312,7	310,8	333,9	323,3	146,6	60,3	22,4	5,4	4,0	2,4	18,8	1.668,9
1968	102,0	66,8	246,0	212,0	263,4	39,9	130,8	22,0	0,0	24,3	8,5	71,6	1.187,3
1969	74,9	88,3	317,6	321,8	224,7	199,7	221,7	36,2	10,4	33,8	15,1	52,2	1.596,3
1970	169,0	53,8	316,1	307,4	99,3	106,2	51,0	55,0	2,5	8,0	47,5	46,6	1.262,4
1971	125,2	104,6	305,4	281,8	211,6	167,4	172,0	33,0	1,0	16,2	37,8	54,6	1.510,6
1972	53,1	80,6	196,7	163,4	266,1	139,1	60,2	97,5	0,0	67,8	15,7	63,6	1.203,7
1973	174,0	273,7	276,9	263,4	218,4	205,4	142,2	39,3	74,4	59,2	28,3	63,3	1.818,6
1974	373,5	324,1	392,4	536,5	344,7	191,0	64,3	27,3	55,2	6,3	9,2	80,2	2.404,5
1975	74,0	229,0	296,4	166,2	280,9	177,3	100,5	46,2	89,6	22,0	19,9	193,9	1.695,7
1976	124,8	218,4	314,0	247,3	48,4	73,0	9,6	87,3	6,4	81,3	46,6	20,9	1.278,0
1977	203,3	230,4	352,9	193,2	372,6	329,0	222,9	45,8	13,2	16,5	30,1	18,3	2.028,1
1978	40,5	166,0	201,6	79,5	253,3	125,0	146,8	56,3	56,2	63,0	32,4	39,3	1.260,0
1979	50,5	161,1	109,6	144,6	225,0	82,4	21,6	62,4	49,1	15,6	34,3	5,5	961,7
1980	144,9	432,6	316,9	143,5	51,1	113,1	9,6	3,5	29,4	68,6	17,3	51,2	1.381,7
1981	79,9	54,3	361,9	171,0	142,7	90,8	1,3	2,6	0,4	1,4	3,8	99,5	1.009,7
1982	149,9	146,6	305,9	230,3	229,3	106,4	81,1	68,7	38,9	69,3	50,2	58,8	1.535,5
1983	34,8	167,2	178,6	179,9	136,0	28,2	14,2	18,6	5,6	29,1	1,6	11,7	805,4
1984	80,4	109,1	341,8	278,3	360,9	202,8	130,0	44,6	110,5	52,2	24,3	43,0	1.777,9
1985	207,4	376,5	561,5	245,5	295,0	194,0	173,3	54,0	36,3	16,1	38,6	95,5	2.293,6
1986	123,7	238,6	384,6	433,4	238,5	234,4	76,0	86,5	33,9	71,0	81,1	101,7	2.103,3
1987	90,8	140,4	288,2	260,8	76,9	315,2	61,6	10,3	20,5	18,4	21,5	8,8	1.313,4
1988	199,0	134,1	174,8	533,7	229,9	138,5	156,5	0,3	48,2	32,8	89,1	78,6	1.815,3
1989	100,8	81,7	263,0	329,4	299,6	233,1	356,5	12,8	2,4	21,0	31,3	176,2	1.907,9
1990	51,5	127,6	136,8	243,0	147,7	116,7	105,4	1,4	58,9	1,1	35,7	22,9	1.048,7
1991	86,8	127,8	385,3	137,4	224,8	126,4	27,7	31,5	13,9	49,7	6,7	33,4	1.251,4
1992	121,9	327,1	194,6	225,4	60,2	123,7	1,2	0,8	1,2	30,3	19,6	0,0	1.106,0
1993	51,3	79,9	152,0	178,1	58,9	61,3	145,3	26,8	22,3	31,8	14,1	54,7	876,3
1994	117,5	246,9	396,2	280,3	330,4	360,8	135,0	0,4	1,6	0,2	1,3	15,2	1.885,9
1995	111,7	242,2	126,0	383,7	268,4	159,5	139,6	0,0	0,0	3,6	28,1	0,7	1.463,5
1996	217,8	135,3	436,3	393,6	133,0	50,4	51,2	50,4	35,4	48,0	61,7	16,9	1.629,9
1997	60,9	110,3	188,0	225,5	176,3	15,0	25,9	12,1	3,5	9,3	13,8	79,6	920,1
1998	245,8	78,6	238,1	142,4	61,5	48,5	8,3	83,8	0,2	26,6	1,0	44,0	978,9
1999	102,5	85,8	260,5	225,0	306,7	164,4	38,5	2,7	49,3	15,7	16,2	64,2	1.331,4
2000	233,8	270,4	328,5	435,1	201,7	184,0	172,9	180,2	81,3	3,2	23,0	19,4	2.133,5
2001	173,4	74,8	215,5	473,4	86,7	93,8	90,7	7,4	15,1	15,1	57,7	48,9	1.352,5
2002	400,5	71,4	314,8	355,2	168,8	150,0	116,9	19,1	14,6	11,4	53,7	4,7	1.681,2
2003	157,6	293,5	392,9	479,9	200,2	148,5	48,8	53,8	1,9	1,8	12,8	58,9	1.850,5
2004	416,9	259,1	241,9	161,3	78,3	304,5	34,0	22,9	17,2	13,3	0,4	0,6	1.550,3
2005	11,3	109,9	142,3	309,7	353,9	294,1	15,4	4,4	3,1	1,2	0,1	29,0	1.274,6
2006	69,0	77,6	250,8	336,4	234,3	215,6	60,9	62,2	21,2	0,7	17,3	33,3	1.379,2
2007	97,6	175,8	209,0	322,2	121,8	159,3	33,4	5,4	2,7	3,6	13,6	57,8	1.202,1
2008	145,1	55,2	362,0	345,1	149,4	99,8	86,7	53,1	0,2	0,0	8,8	42,0	1.347,2
2009	113,0	200,1	399,6	392,7	457,9	231,5	206,8	39,6	11,0	10,0	29,2	21,4	2.112,6



Tabela 4.3 - Série de precipitações médias sobre a bacia hidrográfica do Germinal em mm (cont).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
2010	90,0	33,5	111,7	260,3	34,6	50,1	17,1	3,4	0,3	7,3	17,0	46,2	671,5
Média	136,6	175,7	286,0	285,7	210,2	152,1	91,7	34,6	24,6	23,3	27,0	49,4	1.496,8
DVP	91,5	112,3	102,4	110,4	102,2	83,4	72,5	34,3	28,7	22,8	24,4	40,0	423,7
CV	0,7	0,6	0,4	0,4	0,5	0,5	0,8	1,0	1,2	1,0	0,9	0,8	0,3
Máx.	416,9	543,4	561,5	536,5	457,9	360,8	356,5	180,2	110,5	81,3	116,1	193,9	2.404,5
Min.	11,3	33,5	109,6	79,5	34,6	15,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	671,5

Tabela 4.4 - Série fluviométrica pseudo-histórica afluente ao Reservatório em m³/s.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1961	0,013	0,217	0,541	1,295	1,837	2,094	1,414	0,107	0,178	0,294	0,106	0,701	0,733
1962	0,337	0,711	5,055	4,131	2,881	0,960	0,929	0,342	0,512	0,100	1,013	0,580	1,463
1963	2,189	2,105	6,015	4,042	2,869	0,287	0,566	0,077	0,022	0,022	0,448	0,389	1,586
1964	2,311	4,591	6,218	10,354	9,655	2,484	2,564	1,435	1,745	0,144	0,022	0,110	3,469
1965	0,653	0,366	2,711	5,763	4,232	4,579	0,920	0,080	0,025	0,147	0,030	0,223	1,644
1966	0,149	0,845	0,894	1,671	2,244	1,944	2,097	0,165	0,176	0,059	0,226	0,223	0,891
1967	0,776	2,547	3,717	5,321	6,195	2,922	1,125	0,366	0,073	0,044	0,022	0,139	1,937
1968	0,697	0,456	1,986	2,214	3,409	0,538	1,701	0,268	0,000	0,203	0,059	0,440	0,998
1969	0,440	0,522	2,494	3,807	3,295	3,237	3,885	0,607	0,147	0,397	0,149	0,443	1,619
1970	1,449	0,473	3,351	4,438	1,548	1,602	0,725	0,706	0,027	0,071	0,362	0,315	1,256
1971	0,830	0,739	2,786	3,564	3,167	2,686	2,865	0,517	0,013	0,173	0,343	0,437	1,510
1972	0,385	0,562	1,558	1,548	3,099	1,847	0,783	1,197	0,000	0,628	0,127	0,450	1,015
1973	1,286	2,620	3,535	4,124	3,809	3,800	2,653	0,674	1,117	0,784	0,324	0,631	2,113
1974	4,461	5,188	7,828	13,102	8,747	4,740	1,469	0,542	0,935	0,089	0,107	0,809	4,001
1975	0,695	2,373	3,967	2,551	4,809	3,261	1,808	0,755	1,303	0,279	0,211	2,002	2,001
1976	1,361	2,639	4,739	4,381	0,843	1,160	0,137	1,118	0,072	0,795	0,413	0,159	1,485
1977	1,591	2,270	4,761	3,110	7,039	7,121	4,990	0,949	0,230	0,236	0,360	0,184	2,737
1978	0,349	1,461	2,102	0,887	3,149	1,719	2,072	0,763	0,676	0,673	0,304	0,318	1,206
1979	0,364	1,211	0,914	1,310	2,407	0,954	0,231	0,603	0,429	0,117	0,219	0,030	0,732
1980	0,760	3,619	4,176	2,166	0,740	1,561	0,123	0,038	0,268	0,554	0,123	0,316	1,204
1981	0,464	0,307	2,784	1,803	1,647	1,069	0,014	0,024	0,003	0,008	0,019	0,446	0,716
1982	0,741	0,856	2,479	2,557	3,064	1,512	1,114	0,880	0,442	0,696	0,454	0,475	1,272
1983	0,251	1,247	1,589	1,880	1,559	0,313	0,139	0,157	0,040	0,172	0,008	0,048	0,617
1984	0,300	0,436	2,035	2,634	4,882	3,290	2,167	0,690	1,548	0,661	0,264	0,400	1,609
1985	1,982	4,925	11,172	5,424	6,746	4,445	3,853	1,099	0,631	0,233	0,470	1,045	3,502
1986	1,322	2,879	6,154	8,998	5,299	5,274	1,626	1,667	0,568	1,025	1,053	1,222	3,090
1987	1,032	1,611	3,928	4,292	1,287	5,663	1,121	0,163	0,271	0,202	0,198	0,067	1,653
1988	1,536	1,189	1,748	8,145	4,302	2,626	2,923	0,005	0,688	0,400	0,970	0,795	2,110
1989	0,971	0,774	2,890	4,820	5,353	4,572	7,728	0,264	0,041	0,291	0,365	1,971	2,503
1990	0,560	1,353	1,537	3,147	2,114	1,691	1,507	0,018	0,650	0,010	0,280	0,154	1,085
1991	0,535	0,834	3,641	1,670	3,043	1,835	0,379	0,377	0,141	0,431	0,050	0,208	1,095
1992	0,736	2,683	2,140	2,935	0,808	1,615	0,015	0,008	0,010	0,211	0,116	0,000	0,940
1993	0,218	0,335	0,726	1,068	0,386	0,389	0,985	0,182	0,130	0,160	0,061	0,207	0,404
1994	0,454	1,265	3,477	3,637	5,443	7,219	2,784	0,007	0,024	0,002	0,013	0,122	2,037
1995	0,831	2,149	1,310	5,191	4,560	2,876	2,503	0,000	0,000	0,038	0,250	0,005	1,643
1996	1,647	1,199	5,493	7,078	2,554	0,900	0,825	0,726	0,442	0,517	0,591	0,140	1,843
1997	0,444	0,804	1,577	2,354	2,149	0,179	0,272	0,110	0,026	0,057	0,071	0,369	0,701
1998	1,375	0,521	1,881	1,364	0,597	0,442	0,068	0,631	0,001	0,148	0,005	0,175	0,601
1999	0,401	0,357	1,419	1,760	3,330	2,155	0,495	0,030	0,469	0,128	0,110	0,385	0,920



Tabela 4.4 - Série fluviométrica pseudo-histórica afluente ao Reservatório em m³/s (cont.).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
2000	1,591	2,535	4,295	7,900	4,058	3,732	3,490	3,574	1,487	0,049	0,293	0,206	2,767
2001	1,775	0,787	2,471	7,725	1,552	1,577	1,446	0,105	0,178	0,147	0,488	0,370	1,552
2002	3,887	0,833	4,251	6,230	3,208	2,831	2,143	0,315	0,201	0,129	0,521	0,039	2,049
2003	1,245	2,981	5,786	9,778	4,355	3,151	0,957	0,932	0,028	0,021	0,124	0,492	2,488
2004	4,486	3,775	4,067	2,869	1,341	5,539	0,614	0,358	0,226	0,144	0,004	0,004	1,952
2005	0,067	0,623	0,911	2,713	4,596	4,900	0,256	0,062	0,036	0,011	0,001	0,183	1,197
2006	0,395	0,439	1,750	3,528	3,197	3,356	0,948	0,879	0,260	0,007	0,143	0,234	1,261
2007	0,641	1,292	1,905	3,959	1,713	2,306	0,466	0,065	0,027	0,029	0,090	0,334	1,069
2008	0,859	0,340	2,992	4,438	2,238	1,489	1,244	0,703	0,002	0,000	0,065	0,265	1,220
2009	0,688	1,434	4,354	6,383	9,665	5,221	4,642	0,816	0,190	0,141	0,343	0,211	2,841
2010	0,800	0,280	0,916	2,596	0,371	0,491	0,152	0,026	0,002	0,037	0,072	0,171	0,493
Média	1,067	1,531	3,220	4,173	3,428	2,643	1,599	0,524	0,334	0,238	0,249	0,393	1,617
DVP	0,992	1,275	2,044	2,675	2,228	1,793	1,521	0,606	0,442	0,251	0,252	0,417	0,832
CV	0,930	0,832	0,635	0,641	0,650	0,679	0,952	1,157	1,323	1,053	1,011	1,061	0,514
Máx.	4,486	5,188	11,172	13,102	9,665	7,219	7,728	3,574	1,745	1,025	1,053	2,002	4,001
Min.	0,013	0,217	0,541	0,887	0,371	0,179	0,014	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,404

Tabela 4.5 - Volume médio (hm³) afluente ao Reservatório Germinal em hm³.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1961	0,033	0,525	1,450	3,356	4,919	5,428	3,788	0,287	0,462	0,788	0,274	1,878	23,187
1962	0,903	1,719	13,540	10,707	7,716	2,490	2,488	0,917	1,326	0,269	2,625	1,553	46,252
1963	5,863	5,093	16,112	10,477	7,684	0,743	1,517	0,205	0,058	0,058	1,161	1,042	50,012
1964	6,190	11,106	16,653	26,838	25,859	6,438	6,866	3,844	4,523	0,384	0,057	0,296	109,054
1965	1,748	0,886	7,261	14,937	11,335	11,869	2,464	0,214	0,065	0,392	0,077	0,598	51,847
1966	0,398	2,043	2,393	4,331	6,011	5,038	5,617	0,442	0,457	0,157	0,585	0,597	28,069
1967	2,079	6,161	9,957	13,792	16,593	7,575	3,014	0,981	0,190	0,118	0,056	0,372	60,890
1968	1,867	1,102	5,320	5,738	9,131	1,393	4,557	0,717	0,000	0,543	0,154	1,178	31,700
1969	1,179	1,262	6,680	9,868	8,826	8,390	10,404	1,626	0,380	1,064	0,387	1,188	51,255
1970	3,881	1,145	8,976	11,504	4,145	4,153	1,941	1,891	0,071	0,191	0,938	0,845	39,680
1971	2,223	1,787	7,462	9,238	8,482	6,962	7,674	1,385	0,034	0,464	0,890	1,170	47,772
1972	1,030	1,359	4,172	4,012	8,301	4,788	2,096	3,205	0,000	1,681	0,329	1,205	32,181
1973	3,444	6,338	9,467	10,688	10,203	9,850	7,104	1,805	2,894	2,101	0,840	1,691	66,426
1974	11,947	12,550	20,965	33,960	23,428	12,286	3,933	1,452	2,423	0,239	0,277	2,168	125,630
1975	1,863	5,741	10,624	6,613	12,881	8,451	4,841	2,021	3,378	0,746	0,546	5,362	63,068
1976	3,646	6,383	12,692	11,355	2,257	3,007	0,366	2,996	0,186	2,128	1,071	0,427	46,514
1977	4,262	5,491	12,751	8,061	18,854	18,457	13,366	2,541	0,596	0,632	0,934	0,492	86,437
1978	0,934	3,533	5,629	2,299	8,435	4,455	5,550	2,044	1,753	1,803	0,788	0,852	38,074
1979	0,974	2,929	2,447	3,396	6,448	2,472	0,619	1,614	1,111	0,313	0,568	0,079	22,971
1980	2,036	8,755	11,184	5,614	1,982	4,045	0,329	0,101	0,694	1,483	0,319	0,847	37,389
1981	1,244	0,743	7,456	4,673	4,412	2,770	0,037	0,063	0,008	0,022	0,048	1,193	22,670
1982	1,985	2,070	6,640	6,628	8,207	3,919	2,984	2,357	1,145	1,863	1,175	1,273	40,248
1983	0,672	3,017	4,257	4,873	4,176	0,810	0,372	0,421	0,103	0,462	0,021	0,127	19,310
1984	0,804	1,055	5,451	6,826	13,075	8,529	5,804	1,847	4,013	1,770	0,685	1,071	50,930
1985	5,309	11,913	29,923	14,060	18,067	11,520	10,320	2,944	1,635	0,624	1,218	2,799	110,333
1986	3,540	6,964	16,482	23,322	14,193	13,669	4,354	4,464	1,471	2,744	2,730	3,274	97,206
1987	2,764	3,896	10,519	11,126	3,447	14,679	3,002	0,438	0,703	0,542	0,513	0,180	51,810
1988	4,115	2,877	4,683	21,111	11,521	6,806	7,828	0,014	1,782	1,071	2,515	2,129	66,450
1989	2,600	1,873	7,741	12,493	14,337	11,851	20,697	0,706	0,105	0,780	0,947	5,280	79,411



Tabela 4.5 - Volume médio (hm³) afluyente ao Reservatório Germinal em hm³ (cont.).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1990	1,501	3,273	4,116	8,156	5,662	4,384	4,036	0,048	1,686	0,028	0,726	0,412	34,026
1991	1,432	2,017	9,752	4,327	8,150	4,756	1,014	1,010	0,366	1,155	0,129	0,558	34,667
1992	1,972	6,491	5,732	7,608	2,163	4,185	0,039	0,022	0,026	0,564	0,302	0,000	29,105
1993	0,583	0,810	1,944	2,769	1,035	1,009	2,638	0,487	0,338	0,428	0,157	0,555	12,752
1994	1,216	3,059	9,314	9,428	14,579	18,712	7,456	0,020	0,062	0,006	0,033	0,327	64,213
1995	2,227	5,199	3,508	13,456	12,213	7,456	6,703	0,000	0,000	0,103	0,648	0,014	51,527
1996	4,412	2,901	14,713	18,345	6,840	2,334	2,209	1,944	1,147	1,385	1,533	0,376	58,136
1997	1,190	1,945	4,223	6,101	5,755	0,463	0,728	0,295	0,068	0,154	0,183	0,987	22,092
1998	3,682	1,261	5,039	3,536	1,600	1,146	0,182	1,690	0,003	0,397	0,012	0,468	19,016
1999	1,073	0,863	3,801	4,563	8,919	5,586	1,326	0,080	1,215	0,342	0,286	1,031	29,084
2000	4,262	6,132	11,505	20,476	10,868	9,674	9,348	9,572	3,854	0,132	0,759	0,552	87,132
2001	4,754	1,904	6,618	20,024	4,156	4,088	3,873	0,281	0,462	0,395	1,264	0,990	48,808
2002	10,410	2,015	11,387	16,148	8,591	7,338	5,740	0,844	0,521	0,346	1,349	0,104	64,794
2003	3,335	7,212	15,497	25,343	11,664	8,166	2,564	2,497	0,072	0,057	0,321	1,318	78,048
2004	12,015	9,133	10,893	7,437	3,593	14,358	1,646	0,960	0,585	0,386	0,009	0,012	61,027
2005	0,178	1,508	2,441	7,033	12,309	12,701	0,685	0,166	0,093	0,030	0,002	0,490	37,637
2006	1,059	1,063	4,687	9,146	8,563	8,698	2,539	2,355	0,673	0,019	0,371	0,626	39,798
2007	1,716	3,126	5,101	10,262	4,587	5,978	1,248	0,174	0,069	0,077	0,233	0,893	33,466
2008	2,300	0,823	8,014	11,503	5,995	3,859	3,332	1,882	0,006	0,000	0,169	0,709	38,592
2009	1,844	3,469	11,661	16,544	25,886	13,532	12,432	2,187	0,492	0,378	0,889	0,566	89,879
2010	2,144	0,676	2,453	6,728	0,994	1,274	0,406	0,069	0,005	0,099	0,186	0,457	15,491
Média	2,857	3,704	8,626	10,817	9,181	6,851	4,282	1,403	0,866	0,638	0,646	1,052	50,921
DVP	2,656	3,083	5,475	6,933	5,967	4,649	4,074	1,623	1,146	0,672	0,653	1,117	26,179
CV	0,930	0,832	0,635	0,641	0,650	0,679	0,952	1,157	1,323	1,053	1,011	1,061	0,514
Máx.	12,015	12,550	29,923	33,960	25,886	18,712	20,697	9,572	4,523	2,744	2,730	5,362	125,630
Min.	0,033	0,525	1,450	2,299	0,994	0,463	0,037	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	12,752



5 – CURVAS DE REGULARIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO

5 CURVAS DE REGULARIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO

A importância do estudo da capacidade de regularização de um reservatório está ligada ao conhecimento das mudanças temporais e espaciais dos deflúvios naturais, visando o atendimento das demandas da sociedade. Busca-se aqui avaliar a capacidade de regularização do reservatório para a capacidade determinada.

Para a determinação das curvas de regularização do reservatório foi utilizada a solução direta da equação do balanço hídrico. A equação do balanço hídrico de um reservatório pode ser dada por:

$$Z_{t+1} = Z_t + I_t - \frac{A_{t+1} + A_t}{2} E - M - S_t$$

Com

$$S_t = \max(B - K; 0)$$

$$B = Z_t + I_t - \frac{A_{t+1} + A_t}{2} E - M$$

$$Z_t \geq Z_m$$

Em que

Z_t = volume armazenado no início do mês t ;

I_t = volume afluente ao reservatório durante o mês t ;

A_t = área do espelho d'água no início do mês t ;

E = lâmina evaporada durante o mês t , suposta sazonal ao longo dos meses e constante ao longo dos anos;

K = capacidade do reservatório;

S_t = volume perdido por vertimento durante o mês t ;

M = volume regularizado ou retirado no mês t ;

Z_m = Volume "morto" do reservatório.

A capacidade do reservatório Germinal foi definida no "Projeto Executivo da Barragem Germinal" como sendo o volume de acumulação da cota 354 m, com valor aproximado de 2,01 hm³. Como forma de representar a área em função do volume armazenado no passo t , utilizou-se a seguinte representação:

$$A(S) = \alpha \cdot V^\beta$$

Com α e β obtidos por regressão entre S e A .



O procedimento de simulação do reservatório consiste na solução da equação do balanço hídrico apresentada para cada passo de simulação (no presente trabalho adotado como mensal).

Caso o reservatório não tenha capacidade de regularizar o volume M em um período qualquer, é retirado o máximo possível e contabilizada uma falha para o período de simulação.

A garantia (G) de regularização para certa vazão regularizada é dada pela seguinte expressão:

$$G(\%) = \left(1 - \frac{n_f}{n_t}\right) \times 100$$

Em que n_f é o número de períodos falhos e n_t o número de períodos total simulado. Foi adotado um processo iterativo da solução do balanço hídrico para a determinação da curva de garantia do reservatório, obtendo um valor de 271,0 L/s para uma garantia de 95%. A Figura 5.1 apresenta a curva de regularização do reservatório Germinal. A Tabela 5.1 apresenta as vazões regularizáveis obtidas no presente estudo para as garantias de 80, 90, 95 e 99%.

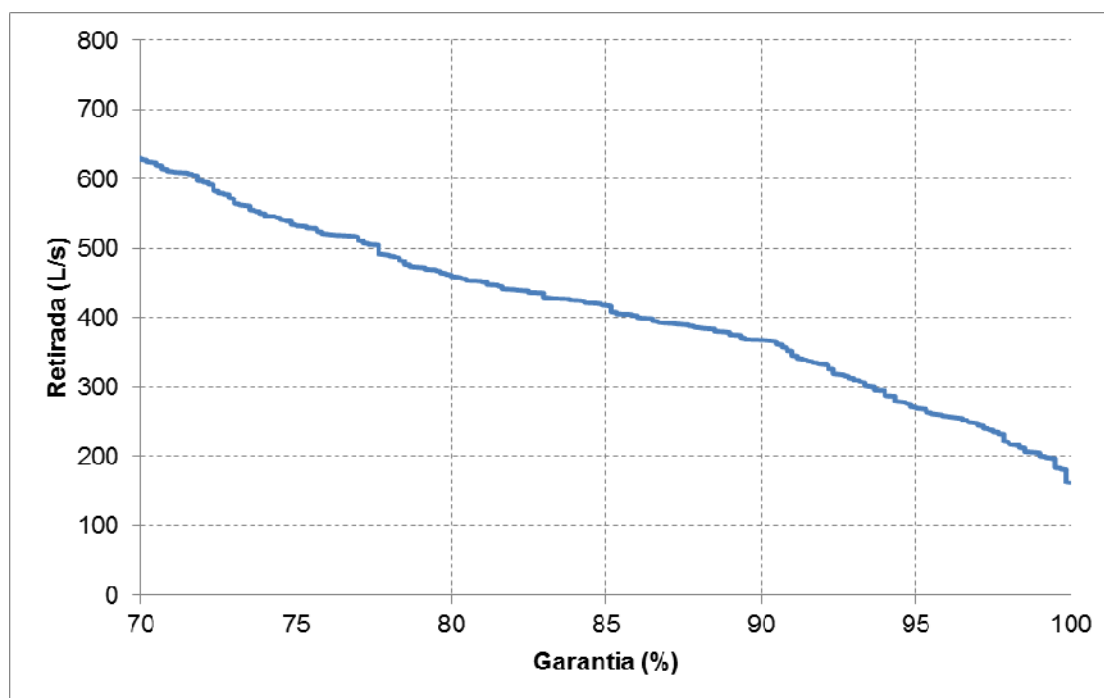


Figura 5.1 - Curva de regularização do reservatório Germinal.



Tabela 5.1 - Vazão regularizável para diversas garantias - Reservatório Germinal.

Garantia (%)	Vazão Regularizável (L/s)
80,0	462,0
90,0	368,0
95,0	271,0
99,0	205,0



6 – ESTUDOS HIDRÁULICOS DO VERTEDOURO

6 ESTUDOS HIDRÁULICOS DO VERTEDOIRO

O vertedouro adotado para a Barragem Germinal será um vertedouro em perfil Creager com degraus no paramento de jusante do vertedouro. Para a determinação da crista vertente e o projeto dos degraus no parâmetro de jusante, será seguida a mesma metodologia apresentada no “Projeto Executivo da Barragem Germinal”, seguindo as recomendações do *United States Bureau of Reclamation* (USBR).

No presente trabalho, será estudada a eficiência hidráulica da utilização de uma bacia de dissipação USBR I para a dissipação de energia a jusante do vertedouro da Barragem Germinal.

6.1 Dimensionamento do Vertedouro

6.1.1 Dados do Projeto e Determinação da Largura do Vertedouro

Conforme exposto no capítulo 03, o vertedouro projetado no “Projeto Executivo da Barragem Germinal” é do tipo Perfil Creager, sendo o seu coeficiente de descarga adotado 2,1, ficando sua equação característica:

$$Q = 2,1 L (Z - Z_w)^{1,5}$$

Desta forma, após análise das lâminas vertentes em diferentes períodos de retorno e larguras de vertedouro, apresentadas na Tabela 3.6, optou-se por adotar uma **largura de 80 metros** para o vertedouro, com elevação da cota de coroamento da barragem para a **cota 358,00 m**.

6.1.2 Características do Vertedouro

Após a revisão dos Estudos Hidrológicos do “Projeto Executivo da Barragem Germinal”, fez-se necessária a alteração das características geométricas do vertedouro da Barragem Germinal, conforme exposto anteriormente.

Para a verificação hidráulica e dimensionamento da bacia de dissipação do vertedouro da Barragem Germinal serão considerados os seguintes dados:

- Descarga Total de Projeto (decamilênar): Q = 1.156,00m³/s
- Lâmina Máxima calculada (H₀) 3,60m
- Coeficiente descarga para sangradouro (parede delgada): C₀ = 2,1m^{1/2}/s
- Cota do coroamento da barragem: C_c = 358,00



- Cota do leito do rio na seção do sangradouro: $C_{TW} = 329,55$
- Folga adotada (decamilenar): 0,40m

6.2 Dimensionamento da Bacia de Dissipação

Assim, tomando por base os valores de vazões efluentes resultantes do estudo de cheias e dimensionamento hidráulico do vertedouro, bem como tomando por base o tipo de estrutura de vertimento selecionada, faz-se necessário dimensionar estruturas que promovam a redução da velocidade e a dissipação de energia à jusante do vertedouro como forma a evitar a erosão e degradação do canal receptor (leito e margens). A dissipação de energia passa pela criação de mecanismos de absorção do impacto do escoamento e redução da velocidade para níveis aceitáveis, ou seja, não erosivos e degradantes para o meio.

Desta forma, para manter a energia do escoamento dentro dos limites compatíveis com a estabilidade do leito, deve-se transformar a energia cinética em turbulência e finalmente em calor, por ação da viscosidade, com o objetivo de dissipá-la. Por definição, um dissipador de energia econômico é aquele que tem um efeito impactante dentro de uma região relativamente pequena. Os dissipadores de energia podem ser divididos em três grupos, a saber:

- Estruturas com finalidade de conter a zona de dissipação de energia hidráulica do escoamento supercrítico;
- Estruturas que lançam o escoamento supercrítico para longe da obra através de um jato;
- Estruturas que não dissipam a energia de forma concentrada, mas sim de forma distribuída ao longo da própria estrutura de condução.

No presente estudo optou-se por adotar uma estrutura que dissipasse a energia de forma distribuída, através do vertedouro em degraus, em conjunto com o primeiro dos tipos de estruturas apresentados anteriormente, no qual se enquadram as Bacias de Dissipação. Este tipo de estrutura associado a outras com função distribuída ao longo da própria estrutura de condução possibilita uma redução no tamanho da bacia.

As bacias horizontais com formação de ressalto são possivelmente as estruturas de dissipação mais pesquisadas pelos hidráulicos devido a sua grande aplicação, com sucesso, na prática da construção de estruturas hidráulicas. Esta estrutura consiste na



construção de uma bacia a jusante do vertedouro em que parte da energia é dissipada devido à mudança de regime do escoamento. Uma bacia de dissipação deve ser projetada para confinar o comprimento total do ressalto hidráulico sobre a sua estrutura.

O *Bureau of Reclamation*⁵, reconhecido pela excelência em suas pesquisas na área de hidráulica, classificou 10 tipos de bacias de dissipação, entretanto, as mais difundidas foram *United States Bureau of Reclamation (USBR) I*, *USBR II* e *USBR III*.

A bacia *USBR I* é a bacia que envolve o ressalto clássico. Desenvolvida inicialmente para números de Froude entre 1,7 e 2,5, atualmente ela é utilizada para números de Froude até 10. Esta estrutura não possui nenhum dispositivo anexo, exceto um degrau ascendente em forma de parede vertical ou inclinado na extremidade de jusante. Nestas obras deve-se assegurar a horizontalidade da estrutura, conforme a Figura 6.1.

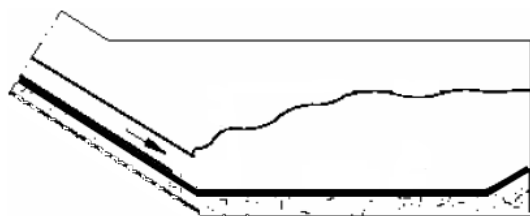


Figura 6.1 - Bacia de dissipação USBR I.

A bacia *USBR II* (Figura 6.2) é utilizada para número de Froude a montante superior a 4,0. Esta estrutura possui blocos de queda no início e uma soleira terminal dentada, que interfere no ressalto possibilitando uma redução no comprimento da bacia.

⁵ UNITED STATES OF AMERICA. Department of Interior. Bureau of Reclamation. Model Studies of Imperial Dam, Desilting Works, All-American Canal Structures, Boulder Canyon Project – Final Report, Hydraulic Investigations, Washington, Bulletin 4, Part VI, 1948.



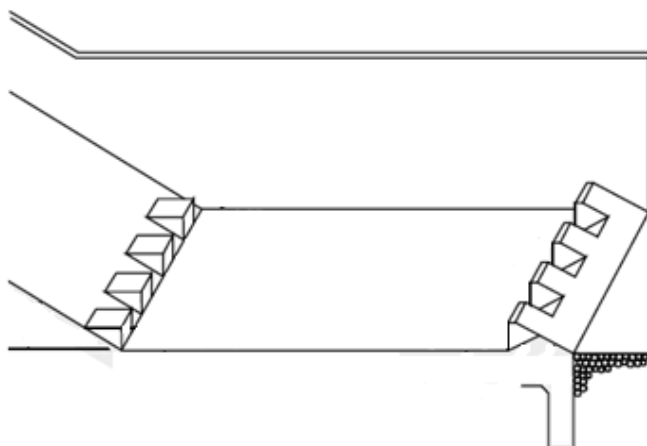


Figura 6.2 - Bacia de dissipação USBR II.

A bacia USBR III (Figura 6.3) é utilizada para condições com número de Froude superior a 4,5 e esta estrutura contém uma linha de blocos integrantes. Seu comprimento é inferior ao da bacia USBR II sendo, portanto, bastante compacta.

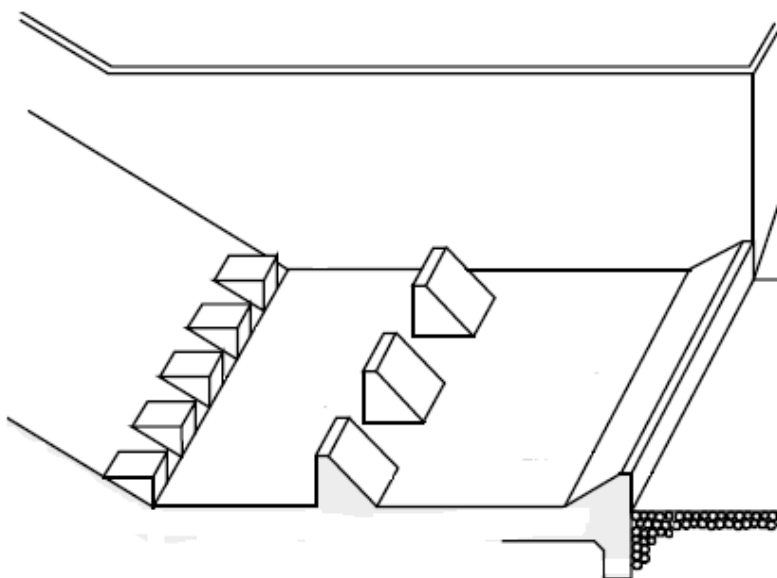


Figura 6.3 - Bacia de dissipação USBR III.

Atualmente a solução mais utilizada é o tipo I, ficando os tipos II e III restritos a pequenas quedas, inferiores a 15,00 m. Mesmo assim, estas estruturas necessitam de cuidados especiais, principalmente devido a problemas de cavitação, que podem ocorrer junto aos blocos anexos.



No presente trabalho, será estudada a eficiência hidráulica da utilização de uma bacia de dissipação USBR I para a dissipação de energia a jusante do vertedouro em degrau da Barragem Germinal.

6.2.1 Dados do Projeto e Parâmetros de Cálculo

Conforme apresentado no “Projeto Executivo da Barragem Germinal”, Tomo III, na solução hidráulica dos vertedoures em degraus, ficou comprovado, em laboratório, que a velocidade a partir do topo do vertedouro cresce até um determinado ponto e daí em diante permanece constante até a bacia de dissipação. Esta velocidade é chamada velocidade terminal.

O cálculo desta velocidade, baseia-se nos estudos efetuados por Sorensen(1985), desenvolvidos por Rajaratman e Cristodoulou nas Universidades de Alberta no Canadá e Atenas, na Grécia, que desenvolveram fórmulas empíricas com as quais determinaram também a espessura da lâmina, dada pela expressão:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2gy_0 \text{sen } \alpha}{C_f}}, \text{ onde:}$$

y_0 = tirante que se estabiliza ao longo do paramento, dado por:

$$y_0 = \sqrt[3]{\frac{C_f q^2}{2g \text{sen } \alpha}} \text{ (m)}$$

C_f = coeficiente de atrito dos fluidos, adotado como 0,18 para a água;

$$q = \text{descarga específica na seção (m}^3\text{/s/m)} = q = \frac{Q}{L} = \frac{863,10}{80,00} = 10,79;$$

α = ângulo da geratriz do paramento de jusante com a horizontal;

$$\alpha = \arctan \left(\frac{1}{0,80} \right) = \arctan 1,25 \quad \Rightarrow \quad \alpha = 51,34^\circ$$

Então:

$$y_0 = \sqrt[3]{\frac{0,18 \times 14,45^2}{2 \times 9,81 \times 0,78}}$$

$$y_0 = 1,35\text{m}$$



A velocidade terminal é dada por:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2gy_0 \sin \alpha}{c_f}}$$

Então:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \times 9,81 \times 1,35 \times 0,78}{0,18}}$$

$$v_0 = 10,71 \text{ m/s}$$

Desta forma, os dados para o projeto serão os calculados para o sangradouro em degraus:

$$y_0 = 1,34 \text{ m}$$

$$v_0 = 10,71 \text{ m/s}$$

Largura da bacia: 80,00m

Declividade da rampa: 0,60(V) : 0,48(H)

$$\text{Então } \alpha = \arctg\left(\frac{0,60}{0,48}\right) = \arctg(1,25) = 51,34^\circ$$

6.2.2 Cálculo do Comprimento da Bacia de Dissipação

Os parâmetros para o dimensionamento da bacia serão:

y_1 = tirante no pé do muro (m)

$$y_1 = y_0 \cos \alpha = 1,35 \times 0,62 = 0,84 \text{ m}$$

y_r = tirante na saída (escoamento fluvial)

$$\frac{y_1}{y_r} = 0,5 \times \sqrt{1 + 8 \times F^2} - 1$$

$$\text{sendo } F = \frac{v_0}{\sqrt{gy_0}} = \frac{10,71}{\sqrt{9,81 \times 1,35}} = 2,94$$

$$y_1 = \left(0,5 \times \sqrt{1 + 8 \times 2,94^2} - 1\right) \times 0,84 \Rightarrow y_1 = 3,11 \text{ m}$$

Para a determinação do comprimento teórico da bacia (L_b) de dissipação, utilizou-se a equação proposta por Riegel & Beed (1917) e Bakhmeteff-Matke (1933):

$$L_b = 5 \times (y_1 - y_r) \Rightarrow L_b = 5 \times (3,09 - 0,84) = 11,26 \text{ m}$$



Adotou-se, no projeto, a bacia de dissipação com um comprimento, no sentido do fluxo igual a 12,00m. Será adotado ainda um degrau de 0,50 m na soleira terminal da bacia de dissipação, compatível com os resultados experimentais apresentados por Sanagiotto (2003).

Para determinação da altura dos muros laterais, utilizaram-se as seguintes expressões:

$$f = 0,1 \times (y_l + y_r)$$

$$H_L = f + y_l$$

Em que:

f = Folga calculada;

H_L = Altura do muro lateral.

$$H_L = 0,1 \times (3,09 + 0,84) + 3,09 = 3,48m$$

Adotou-se, no projeto, a altura dos muros laterais de 3,50 m. Desta forma, recomenda-se que seja escavado um canal de restituição com os muros laterais citados anteriormente até as imediações da Estação de Tratamento de Água Existente, como forma de proteger a plataforma da mesma contra possíveis inundações advindas das cheias vertidas pela Barragem Germinal.

É importante ressaltar que as equações utilizadas no presente estudo para o comportamento hidráulico em vertedoures em degraus refletem resultados experimentais. Desta forma, recomenda-se a verificação dos resultados apresentados em um modelo físico em escala reduzida.

A figura 6.4 apresenta a curva chave do canal de restituição na seção imediatamente após a bacia de dissipação.



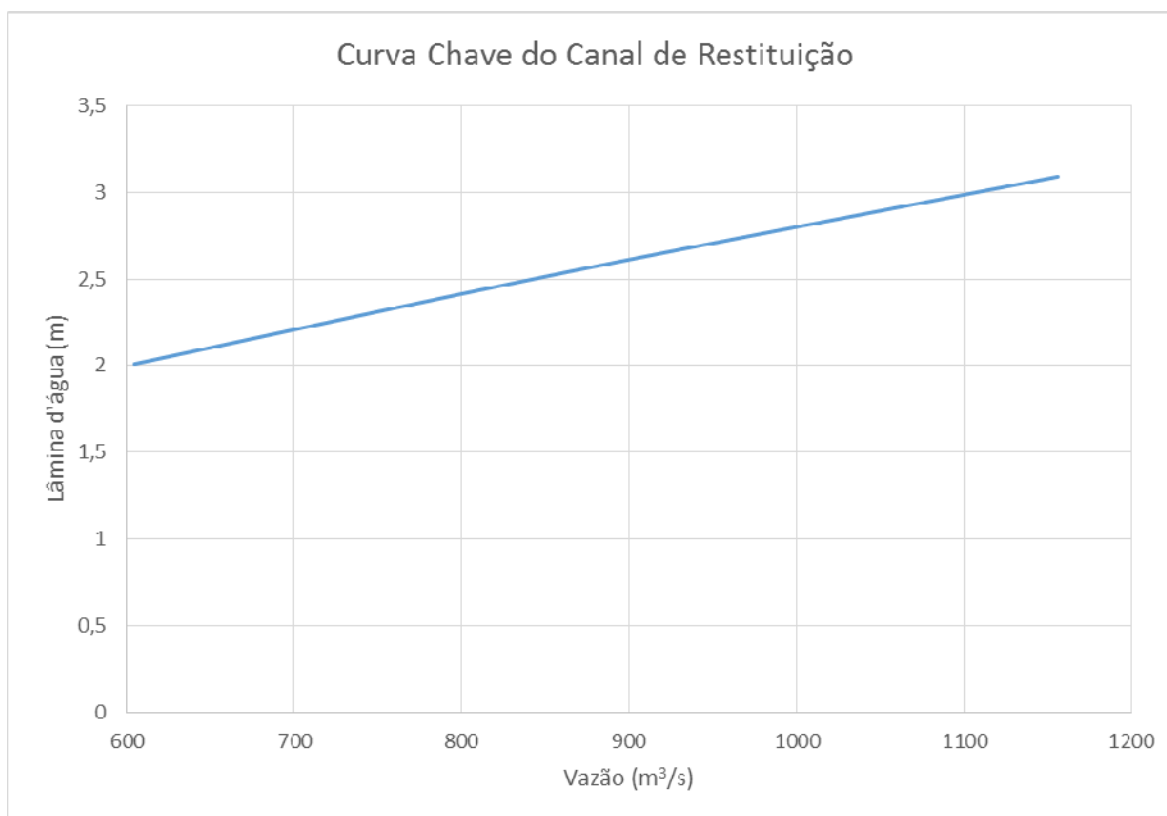



Figura 6.4 – Curva chave do canal de restituição.


Luiz Sérgio Vasconcelos do Nascimento
Engenheiro Civil – RNP: 2606310420
Mestre em Hidráulica e Saneamento

