

TOMO V

ESTUDOS HIDROLÓGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM JABURU I

CONTRATO Nº: 004/SRH/CE/2010

Dezembro/2010
Fortaleza -- Ceará

APRESENTAÇÃO

Este relatório, parte integrante do Contrato 004/SRH/CE/2010, Projeto Executivo e das Obras para Recuperação da Barragem do Açude Jaburu I, apresenta estudo hidrológico realizado com o objetivo de se estimarem as vazões relativas aos períodos de retorno de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos no vertedouro da Barragem Jaburu I, além da realização do cálculo da vazão regularizada com garantia de 90%, de acordo com os dados obtidos em **Tomo IV – Levantamentos Topográficos da Barragem e Topobatimétrico do Reservatório Jaburu I.**

Ressalta-se que para este estudo foram utilizados dados remanescentes do projeto original da Barragem, dos estudos realizados pela COBA Engenharia e dos desenhos “*As built*” do Plano de Operação e Manutenção (P.O.M) do Sistema de Água Bruta do Estado do Ceará para serem comparados com os dados levantados em campo.

O Projeto e Acompanhamento dos trabalhos são de responsabilidade da COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, de acordo com o Primeiro Aditivo – Sub-rogação do Contrato Nº 04/SRH/CE/2010, firmado entre a Secretaria dos Recursos Hídricos e a COGERH, com a anuência da Empresa S & V Ltda.

Os trabalhos desenvolvidos no referido Contrato foram divididos em 7 (sete) Tomos conforme descritos a seguir:

Tomo I – Execução dos Serviços de Recuperação da Barragem Jaburu I – 2010;

Tomo II – Boletins das Sondagens - Volumes 1 e 2;

Tomo III – Registros Fotográficos;

Tomo IV – Levantamentos Topográficos da Barragem e Topobatimétrico do Reservatório;

Tomo V – Estudos Hidrológicos;

Tomo VI – Mapeamento das Zonas de Inundação pela Ruptura da barragem Jaburu I;

Tomo VII – Anteprojeto da Recuperação do Vertedouro.

Este documento integra o **Tomo V**.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	1
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS	6
1. INTRODUÇÃO	8
2. VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO ...	9
2.1. Bacia Hidrográfica	11
2.2. Estudo de Chuvas Intensas	13
2.2.1. <i>Método das Isozonas (TORRICO, 1975)</i>	13
2.2.2. <i>Valores Extremos</i>	14
2.2.3. <i>Hietogramas</i>	17
2.2.4. <i>Determinação da Precipitação Efetiva</i>	19
2.2.5. <i>Escoamento Superficial</i>	22
2.2.6. <i>Picos de Cheias Associadas aos Períodos de Retorno Considerados</i>	23
2.2.7. <i>Propagação da Cheia no Reservatório</i>	25
3. DETERMINAÇÃO DA VAZÃO REGULARIZADA	38
3.1. Estudo de Chuvas Intensas	38
3.2. Vazões Afluentes	41
4. CONCLUSÕES	43
ANEXO I	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Açude Jaburu I.	12
Figura 2 - Mapa de Isozonas de Precipitação em parte do Nordeste Brasileiro.	15
Figura 3 - Histograma de precipitações máximas observadas na estação pluviométrica Ibiapina.....	16
Figura 4 - Hietograma associado ao Período de Retorno de 100 anos.....	18
Figura 5 - Hietograma associado ao Período de Retorno de 100 anos.....	18
Figura 6 - Hietograma associado ao Período de Retorno de 1.000 anos.....	19
Figura 7 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica da Barragem Jaburu I.....	21
Figura 8 - Hidrograma associado ao Período de Retorno de 100 anos.	24
Figura 9 - Hidrograma associado ao Período de Retorno de 500 anos.	24
Figura 10 - Hidrograma associado ao Período de Retorno de 1.000 anos.	25
Figura 11 - Gráfico com as relações Cota x Área e Cota x Volume para a Barragem Jaburu I.....	29
Figura 12 - Hidrograma de Cheia amortecida para um Período de Retorno de 1.000 anos.....	30
Figura 13 - Modelo Digital de Elevações resultante de levantamento batimétrico realizado no Açude Jaburu I.....	32
Figura 14 – Gráfico com as relações Cota x Área x Volume segundo dados de levantamento batimétrico do Açude Jaburu I.	34

Figura 15 - Hidrograma de Cheia Amortecida para um Período de Retorno de 100 anos, calculado utilizando-se dos dados de cota x área x volume oriundos da batimetria.....	35
Figura 16 - Hidrograma de Cheia Amortecida para um Período de Retorno de 500 anos, calculado utilizando-se dos dados de cota x área x volume oriundos da batimetria.....	35
Figura 17 - Hidrograma de Cheia Amortecida para um Período de Retorno de 1.000 anos, calculado utilizando-se dos dados de cota x área x volume oriundos da batimetria.....	36
Figura 18 - Hidrograma de Cheia Amortecida para um Período de Retorno de 10.000 anos, calculado utilizando-se dos dados de cota x área x volume oriundos da batimetria.....	37
Figura 19 - Mapa hipsométrico das Bacias Hidrográficas do Açude Jaburu I e do Posto Fluviométrico Croatá (34730000).....	42
Figura A. 1 - Gráfico apresentando a Variação Média Anual da Precipitação sobre o Lago.	46
Figura A. 2 - Gráfico apresentando a Variação Média Anual da Evaporação ..	46
Figura A. 3 - Mapa de localização dos Postos Pluviométricos utilizados no Cálculo das Precipitações Médias na Bacia Hidrográfica do Açude Jaburu I... ..	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Série de precipitações máximas diárias observadas na estação pluviométrica Ibiapina.....	16
Tabela 2- Precipitações Associadas aos períodos de Retorno de 10 a 10.000 anos e Parâmetros relativos ao Ajuste de Distribuição.	17
Tabela 3 - Classes de Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica da Barragem Jaburu I.....	20
Tabela 4 - Parâmetros necessários ao Cálculo do Tempo de Concentração da Bacia Hidrográfica da Barragem Jaburu I.	23
Tabela 5 - Dados de Cota x Área x Volume para o Reservatório Jaburu I.....	29
Tabela 6 - Resultados do Amortecimento das Ondas de Cheias para diferentes Períodos de Retorno.	30
Tabela 7 - Dados de Cota x Área x Volume segundo levantamento batimétrico do Açude Jaburu I.	33
Tabela 8- Resultados do Amortecimento das Ondas de Cheias para diferentes Períodos de Retorno.	34
Tabela A. 1 - Dados de Precipitação sobre o Lago.	46
Tabela A. 2 - Dados de Evaporação.	46
Tabela A. 3 - Informações sobre os postos pluviométricos utilizados.	47
Tabela A. 4 - Série de Precipitações (mm) mensais calculadas para a Bacia Hidrográfica.....	49
Tabela A. 5 - Série de Precipitações (mm) mensais calculadas para a Bacia Hidrográfica (Cont.).....	50

Tabela A. 6 - Série de Precipitações (mm) mensais calculadas para a Bacia Hidrográfica (Cont.)	51
Tabela A. 7 - Série de vazões (m ³ /s) afluentes calculadas mediante utilização do SMAP.	52
Tabela A. 8 - Série de vazões (m ³ /s) afluentes calculadas mediante utilização do SMAP (Cont).	53
Tabela A. 9 - Série de vazões (m ³ /s) afluentes calculadas mediante utilização do SMAP (Cont).	54
Tabela A. 10 – Lâmina escoada superficialmente sobre a bacia hidrográfica..	55
Tabela A. 11 - Lâmina escoada superficialmente sobre a bacia hidrográfica (Cont.).	56
Tabela A. 12 - Lâmina escoada superficialmente sobre a bacia hidrográfica (Cont.).	57

1. INTRODUÇÃO

Dentre os trabalhos realizados no âmbito do contrato 004/SRH/CE/2010, Projeto Executivo e das Obras para Recuperação da Barragem do Açude Jaburu I, foi constatado inconsistência no Projeto da Construção do Açude Jaburu I, implicando na redução da real capacidade de armazenamento do reservatório, fator este importante tanto no dimensionamento do vertedouro, bem como na determinação de sua vazão regularizada.

Levantamentos planialtimétricos cadastrais em conjunto com levantamentos batimétricos, realizados durante os estudos atuais, constataram que a real altura da Barragem Jaburu I apresenta cerca de 6,0 m menos do que se tinha documentado nos desenhos “As Built” do P.O.M. Desta forma, o volume de acumulação máxima do reservatório Jaburu I foi reduzido a aproximadamente 138 hm³, 72 hm³ a menos que o valor outrora registrado (210 hm³).

Com este novo quadro, torna-se necessária a verificação do dimensionamento do vertedouro, haja vista a alteração na capacidade de atenuação da cheia pelo reservatório, implicando na diferença entre a vazão calculada de projeto e a real vazão escoada pelo vertedouro.

Além do problema do vertedouro, faz-se necessária a verificação de cálculo da vazão regularizada com garantia de 90% de atendimento, uma vez que, assim como no cálculo do vertedouro, foi utilizado um diagrama cota x área x volume o qual não corresponde à real situação do reservatório Jaburu I no que concerne a este aspecto.

Este trabalho, portanto, objetiva a realização de uma análise das condições de projeto do vertedouro do Açude Jaburu I e o cálculo de uma nova vazão regularizada com garantia de 90% de atendimento, mediante utilização dos novos dados obtidos em campo com a realização dos levantamentos topográficos e batimétricos.

2. VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO

A determinação da cheia de projeto para dimensionamento de um 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 =1000) etc.

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 hietograma 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-HMS¹.

As relações chuva-deflúvio para a bacia da barragem Jaburu I 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, 500 e 1.000 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 hidrográfica 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);

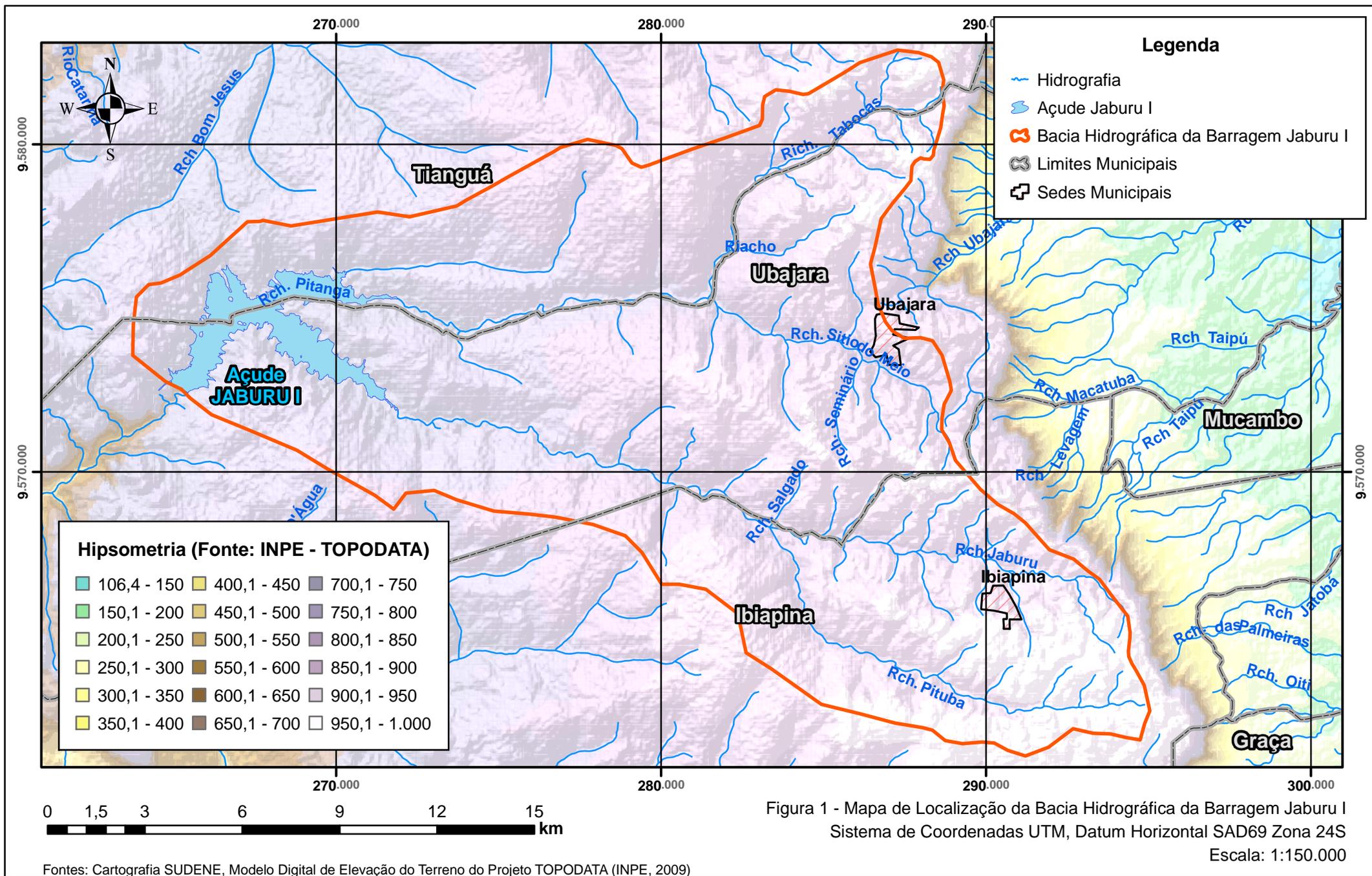
¹ US Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center, 2010- User's Manual

2.1. Bacia Hidrográfica

O traçado da bacia hidrográfica foi realizado com base nas informações altimétricas dos arquivos do tipo *raster* oriundos do projeto TOPODATA (INPE, 2009). O mapa da Figura 1 apresenta a bacia hidrográfica do Açude Jaburu I, além de hipsometria da região.

A partir do mapa da figura 1 pode-se observar que a bacia hidrográfica do Açude Jaburu I abrange parte dos municípios de Tianguá, Ubajara e Ibiapina, totalizando uma área de aproximadamente 315 km².

O Riacho Jaburu, principal desta bacia, tem suas nascentes localizadas na Costa da Ibiapaba, no Município de Ibiapina, a leste da sede municipal e percorre aproximadamente 37,0 km até o local de seu barramento.



2.2. 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-freqüência.

Na área em estudo não existem registros de pluviógrafos, sendo que o aparelho mais comum nas estações pluviométricas é o pluviômetro, o qual realiza o registro da “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-se uma equação que relaciona intensidade-duração-freqüência 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 a Metodologia das Isozonas desenvolvida por Torgora Torrico (1975).

2.2.1. Método das Isozonas (TORRICO, 1975)².

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

²TORRICO, J.T., 1975. Práticas Hidrológicas, 2a. Ed., TRANSCOM, Rio de Janeiro.

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 R_{1h} ;
- Plotar os valores P_{24h} e P_{1h} em papel probabilístico para obter as chuvas de durações intermediárias.

2.2.2. 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 Jaburu I foi escolhido o posto pluviométrico Ibiapina (código 07301), localizado no Muni por representar bem a pluviometria no local de estudo.

A série de máximas anuais do posto Ibiapina, obtidas com base em dados de precipitação diária dos postos do Ceará através da Funceme (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos), bem como seu histograma são apresentados respectivamente na Tabela 1 e na Figura 2.

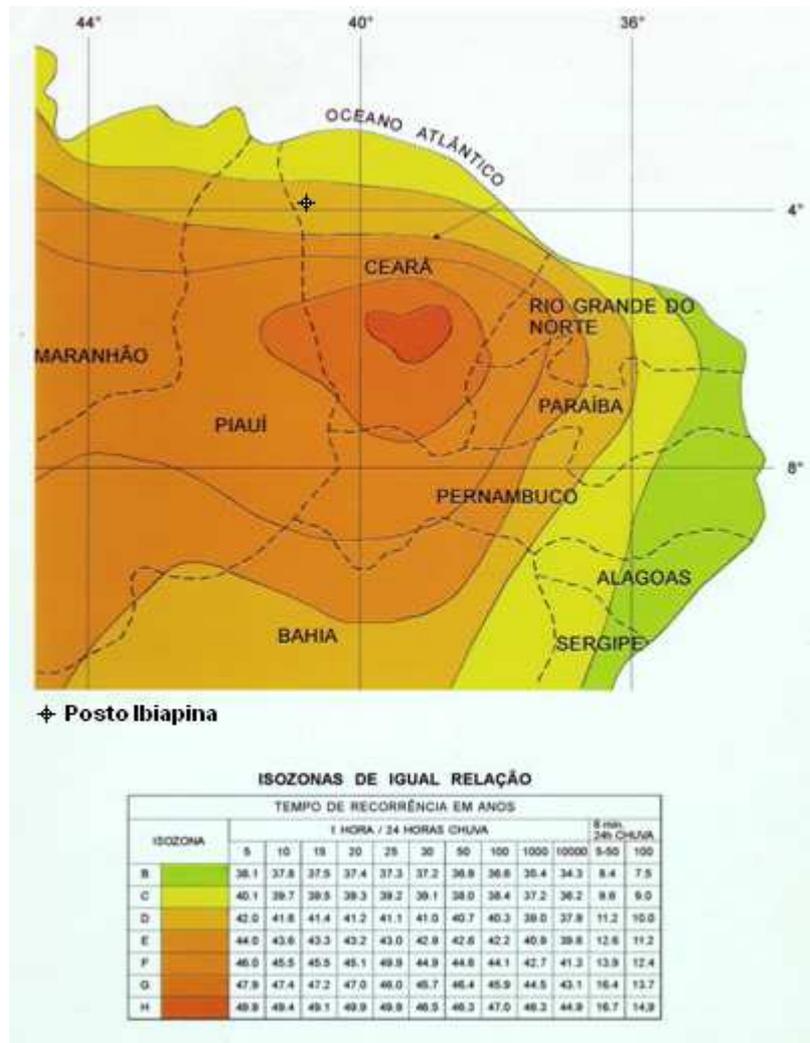


Figura 2 - Mapa de Isozonas de Precipitação em parte do Nordeste Brasileiro.

Tabela 1 - Série de precipitações máximas diárias observadas na estação pluviométrica Ibiapina.

Ano	Pmax (mm)						
1974	120,0	1984	89,0	1994	102,0	2004	110,0
1975	88,0	1985	125,0	1995	102,0	2005	100,0
1976	86,0	1986	125,0	1996	78,0	2006	125,0
1977	86,0	1987	86,0	1997	73,0	2007	80,0
1978	69,0	1988	75,0	1998	44,0	2008	115,0
1979	84,0	1989	90,0	1999	66,0	2009	150,0
1980	103,0	1990	115,0	2000	140,0	2010	80,0
1981	88,0	1991	93,0	2001	125,0		
1982	98,0	1992	51,0	2002	108,0		
1983	121,0	1993	70,0	2003	85,0		

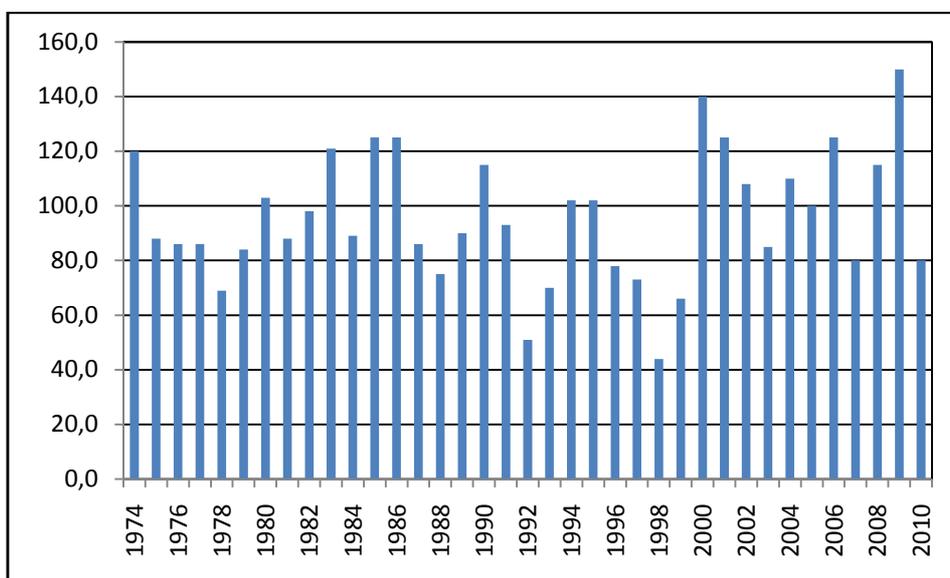


Figura 3 - Histograma de precipitações máximas observadas na estação pluviométrica Ibiapina.

Com base na série anual de máximos diários, ajustaram-se as 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 2, na qual se encontram ilustrados tais valores de chuvas máximas,

assim como a distribuição de probabilidade adotada e o valor do teste de aderência χ^2 .

Tabela 2- Precipitações Associadas aos períodos de Retorno de 10 a 10.000 anos e Parâmetros relativos ao Ajuste de Distribuição.

Posto	56 - Ibiapina
Distribuição	Extremos Tipo 1
χ^2	2,081
Tr (anos)	P (mm)
10	131,54
20	146,60
25	149,85
50	166,08
100	180,69
500	195,23
1.000	214,43
10.000	228,94

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 2, na qual se encontram ilustrados tais valores de chuvas máximas, assim como a distribuição de probabilidade adotada e o valor do teste de aderência χ^2 .

2.2.3. Hietogramas

Para a determinação dos Hietogramas para períodos de retorno de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos, a duração da chuva considerada foi de 24 horas, superior ao tempo de concentração da bacia (7,10 h), sendo que a discretização temporal dos dados pluviométricos foi realizada tomando um intervalo de tempo de 5 minutos, conforme ilustram os hietogramas das Figuras 3, 4 e 5.

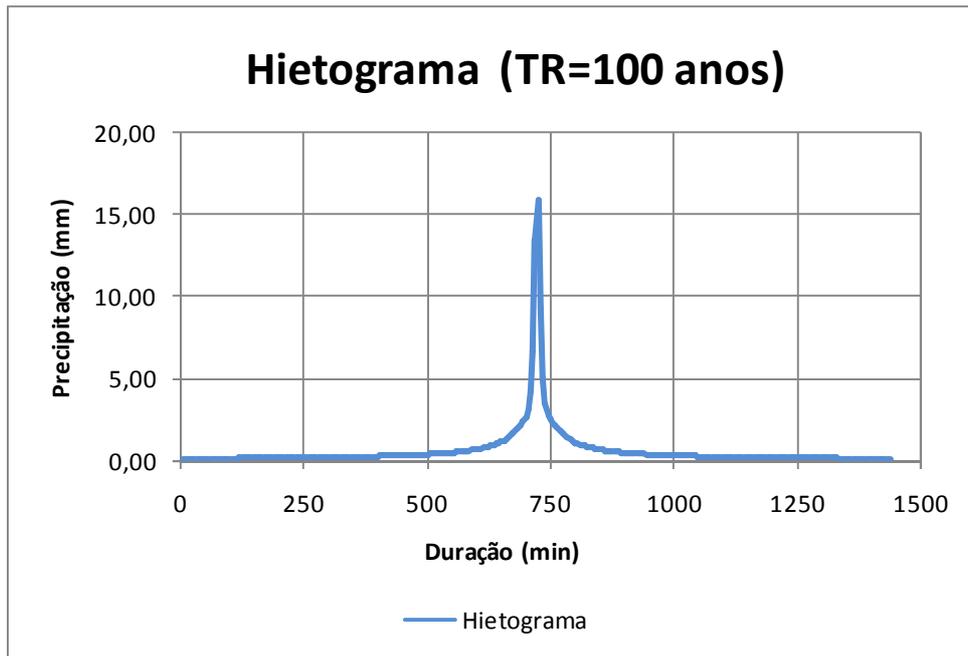


Figura 4 - Hietograma associado ao Período de Retorno de 100 anos.

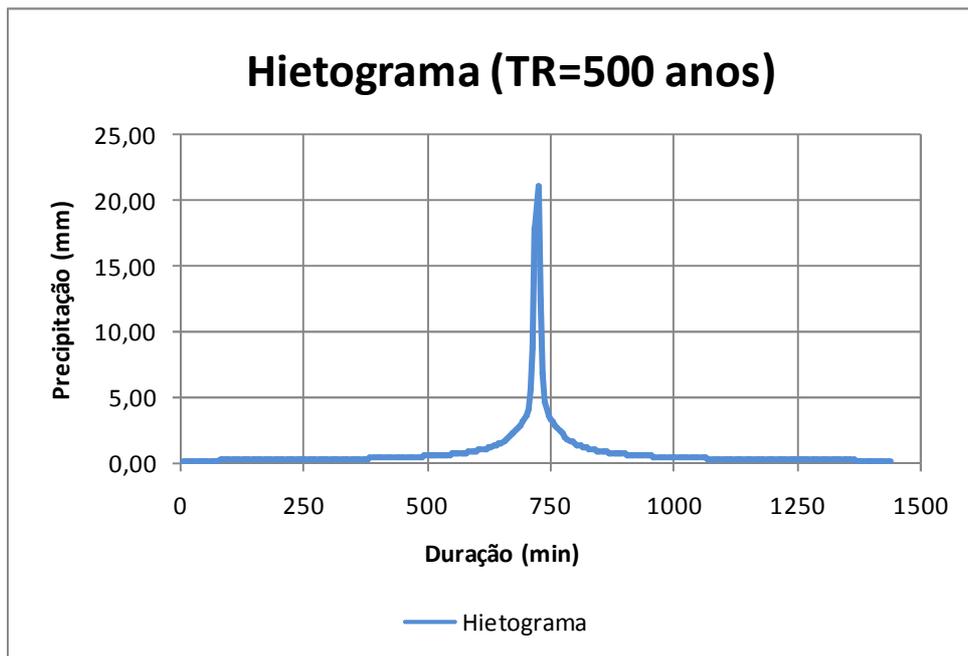


Figura 5 - Hietograma associado ao Período de Retorno de 100 anos.

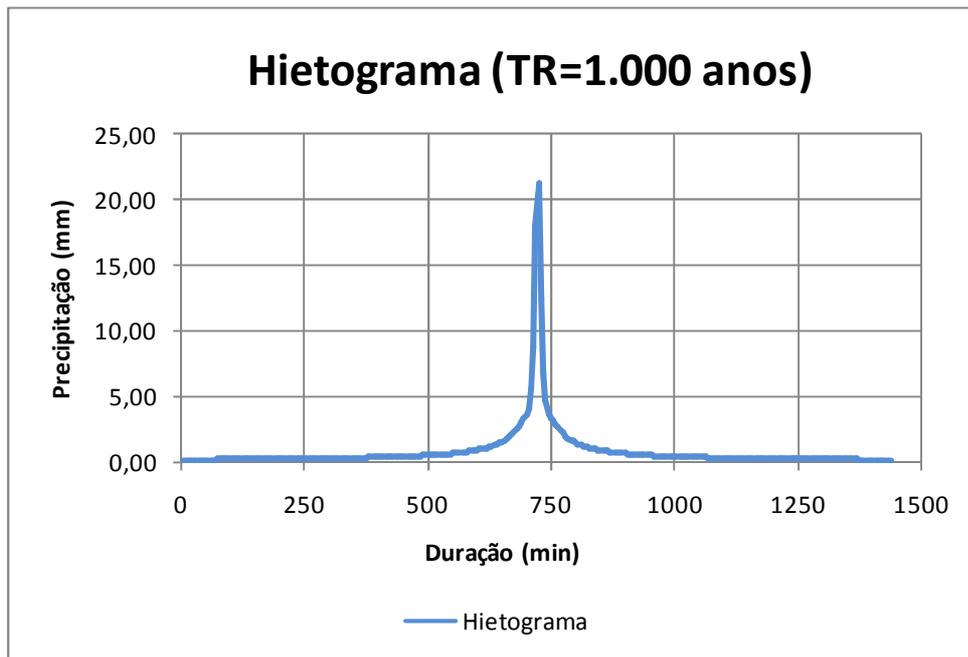


Figura 6 - Hietograma associado ao Período de Retorno de 1.000 anos.

2.2.4. Determinação da Precipitação Efetiva

A precipitação efetiva é a parcela do total precipitado que gera escoamento superficial. Para obter a precipitação efetiva é necessário retirar os volumes evaporados, infiltrados e retidos nas depressões.

Para este fim utilizou-se a metodologia conhecida como “Método da Curva Número”, desenvolvido pelo Soil Conservation Service – SCS, que se baseia na expressão apresentada a seguir:

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

Em que:

- P_e = precipitação efetiva (mm);
- P = precipitação total (mm);
- I_a = perdas iniciais;
- S = retenção máxima potencial.

Os autores da metodologia verificaram a partir de experimentos em pequenas bacias que:

$$I_a = 0,2 \times S$$

Para determinar a retenção máxima potencial S, os autores relacionaram esse parâmetro da bacia com um fator CN dado pela seguinte expressão:

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN}$$

Valores do fator CN variam de 100 para superfícies totalmente impermeáveis até aproximadamente 30 para solos permeáveis com altas taxas de infiltração.

Para uma bacia hidrográfica o fator CN pode ser estimado a partir de informações do uso e ocupação do solo, tipo de solos e umidade antecedente da bacia, usando tabelas publicadas pelo SCS.

No caso da Bacia Hidrográfica da Barragem Jaburu I, a estimativa do valor de CN foi realizada com base em estudo da Funceme para estimativa de valores de CN no Estado do Ceará em função do uso e ocupação do solo. O mapa da Figura 6 apresenta as classes de uso e ocupação do solo e a Tabela 3 apresenta os valores de CN associadas a cada classe de solo. Desta forma, chegou-se ao valor de 62 para o CN

Tabela 3 - Classes de Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica da Barragem Jaburu I.

Classes de Uso e Ocupação do Solo	CN Médio	Área Total (km ²)
Agricultura (Culturas Anuais, Temporárias e Permanentes)	80,25	193,33
Vegetação Natural (Matas e Capoeiras)	45,20	104,02
Água	0,00	16,75

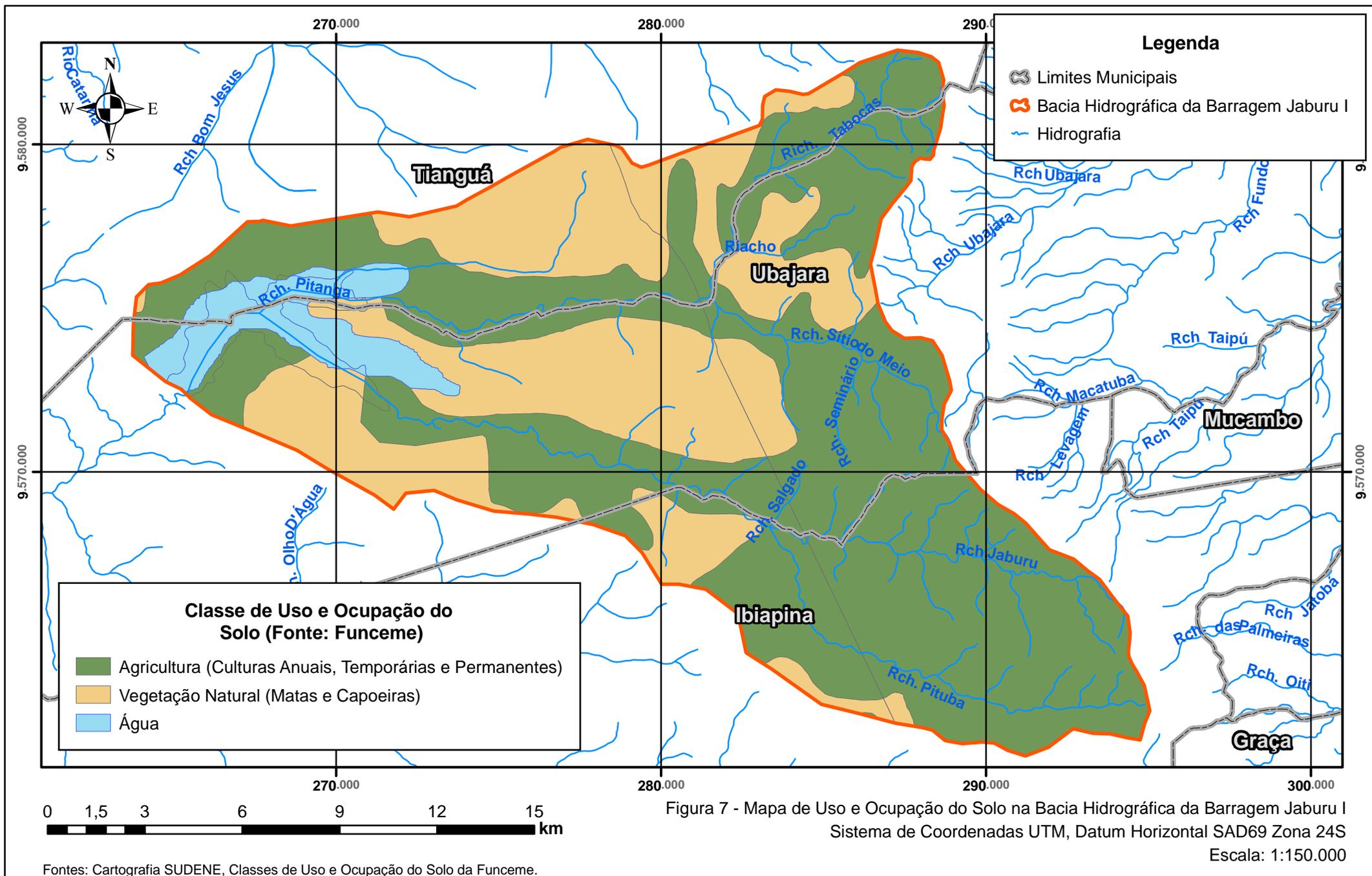


Figura 7 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica da Barragem Jaburu I
 Sistema de Coordenadas UTM, Datum Horizontal SAD69 Zona 24S
 Escala: 1:150.000

Fontes: Cartografia SUDENE, Classes de Uso e Ocupação do Solo da Funceme.

2.2.5. Escoamento Superficial

O escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma calha definida. A resposta da bacia a um determinado evento chuvoso que resulta em escoamento é representada através de um hidrograma.

No presente estudo utilizou-se a metodologia conhecida como Hidrograma Unitário Triangular, desenvolvida pelo Soil Conservation Service – SCS, em que o hidrograma unitário é considerado um triângulo.

Para aplicação do método é necessário determinar o valor do T_{lag} , tempo de retardo, que pode ser obtido em função do T_c , tempo de concentração, este último estimado pela equação de Kirpich. O tempo de retardo pode ser determinado conforme expressão a seguir:

$$T_{lag} = 0,6 \times T_c$$

Em que:

- T_{lag} = tempo de retardo (min);
- T_c = tempo de concentração (min).

Sendo que T_c segundo a equação de Kirpich é:

Em que:

- T_c = tempo de concentração em minutos;
- L = comprimento do rio principal (Estirão) em km;
- H = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e a seção principal em metros.

No caso da Bacia Hidrográfica da Barragem Jaburu I, calculou-se um tempo de concentração de 425,41 min e um tempo de retardo de 255,24 min. A

Tabela 4 apresenta os parâmetros necessários para o cálculo do tempo de concentração.

Tabela 4 - Parâmetros necessários ao Cálculo do Tempo de Concentração da Bacia Hidrográfica da Barragem Jaburu I.

Parâmetros para o cálculo do Tc	
Area da Bacia (km ²)	314,10
Cota mais alta (m)	961,27
Cota mais baixa (m)	701,28
ΔH (m)	259,99
L rio principal (m)	36.372,00
Tc (min)	425,41
Tc (h)	7,09
Time Lag (min)	255,24
Time Lag (h)	4,25

2.2.6. Picos de Cheias Associadas aos Períodos de Retorno Considerados

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 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 (m³/s);

t_p = tempo de pico do hidrograma (h);

A = área da bacia em km²;

Δt = o intervalo de cálculo.

O presente estudo de cheias da área da bacia hidrográfica da Barragem Jaburu I foi desenvolvido considerando os eventos chuvosos determinados nos itens 2.1.2 e 2.1.3 deste relatório para os períodos de retorno de 100, 500 e 1.000 anos. As Figuras 7, 8 e 9 apresentam os hidrogramas de chegada da cheia para os períodos de retorno de 100, 500, e 1.000 anos respectivamente.

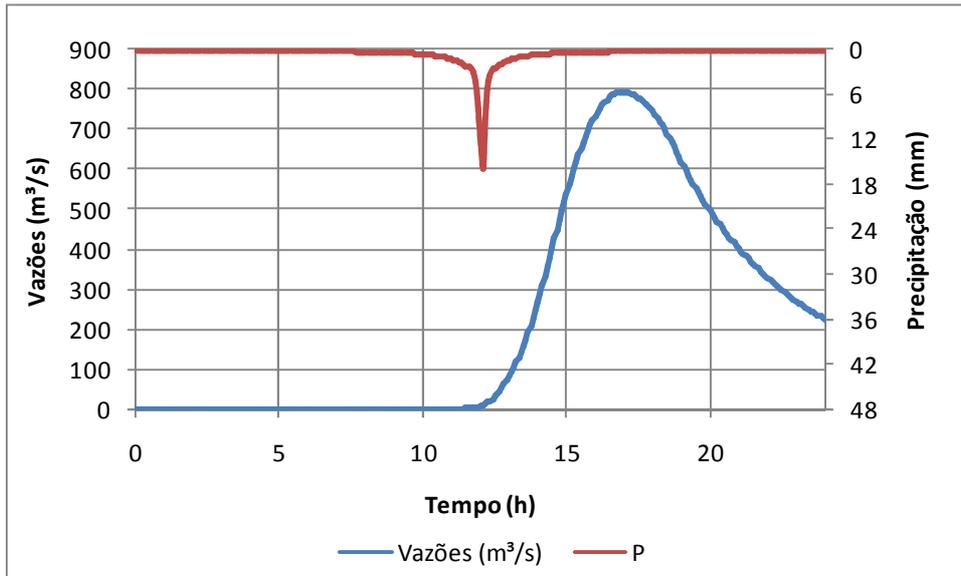


Figura 8 - Hidrograma associado ao Período de Retorno de 100 anos.

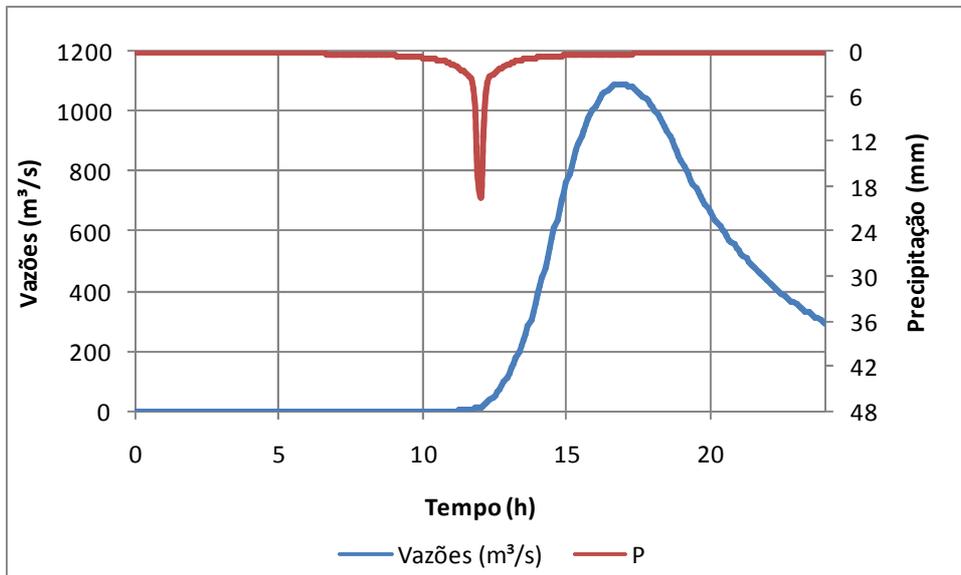


Figura 9 - Hidrograma associado ao Período de Retorno de 500 anos.

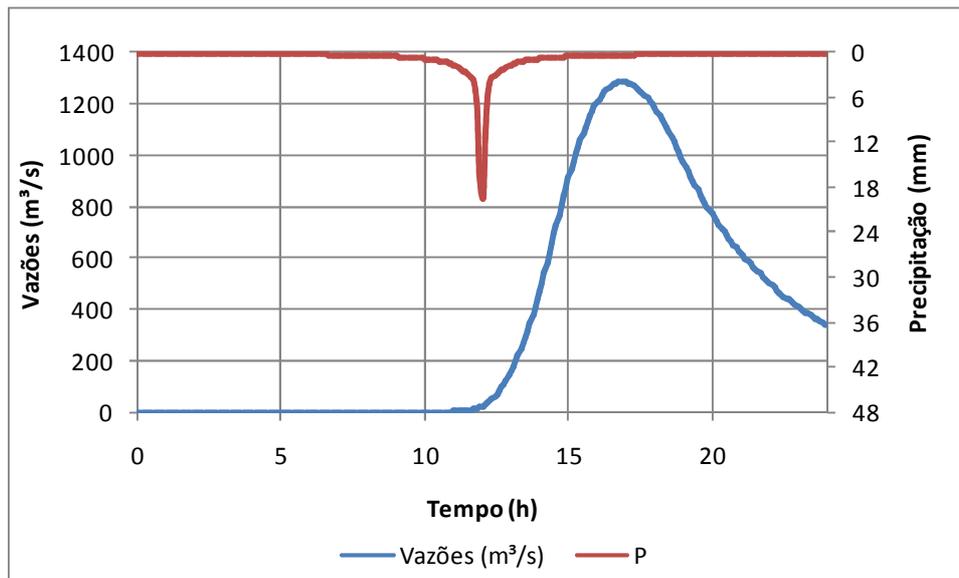


Figura 10 - Hidrograma associado ao Período de Retorno de 1.000 anos.

2.2.7. 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.

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.

Características do Vertedouro

O Vertedouro segundo o Projeto Executivo de Recuperação da Barragem do Jaburu I (COBA, 2000) localiza-se na ombreira direita, separado do corpo da barragem, e integra um canal de aproximação escavado no terreno natural, uma soleira de controle em concreto e um canal de restituição escavado também nas formações rochosas ocorrentes.

O canal de aproximação, com cerca de 450 m de extensão, situado na cota 722,00, consta de uma camada superficial de arenito compactado com estratificação sub-horizontal e relaxado. Sob esta camada ocorre um estrato de

siltitos e argilitos inconsolidados de baixa resistência a erosão. O fundo do canal encontra-se preenchido por uma camada depositada de detritos finos, provavelmente oriundos da rocha inconsistente do talude.

A soleira de controle em concreto é constituída por uma soleira vertente, na cota 723,08, e uma laje de fundo a jusante contidas lateralmente por 2 muros de gravidade. A estrutura em questão tem cerca de 30 m de desenvolvimento.

O canal de restituição integra um trecho inicial com cerca de 150 m de desenvolvimento. O arenito que serve de substrato ao canal de restituição do sangradouro tem uma estratificação sub-horizontal com caimento suave em direção ao Piauí. Neste pacote rochoso comumente são encontradas camadas de um arenito friável, pouco consolidado susceptível a erosões internas. Após este trecho inicial do canal a restituição faz-se de forma não regradada ao longo de trechos com quedas abruptas separados por trechos suaves. Efetivamente, é verificado um processo de erosão regressiva que culminou com o colapso de uma grande massa de arenito são, o que determinou a modificação do traçado imposto ao fluxo durante a construção.

Segundo COBA (1999)³, a equação utilizada para a determinação da curva de vazões no vertedouro corresponde à equação do vertedouro do tipo soleira espessa, como apresentado na expressão a seguir.

$$Q = C.L.H^{3/2}$$

Em que,

Q: Vazão (m³/s);

L: comprimento da crista do vertedouro (m);

³ COBA – Consultores de Engenharia e Ambiente. Projeto Executivo de Recuperação da Barragem Jaburu I – Intervenções de Estabilização e Drenagem – TOMO II – Sangradouro, Novembro de 1999.

C : coeficiente que depende da geometria do vertedouro, das condições de chegada e nível d'água de jusante, considerado igual a 2,0 neste estudo ($m^{1/2}.s^{-1}$);

H : carga específica (m).

Resultados dos Amortecimentos de Cheia

Para a aplicação do método foi necessária a utilização da curva Cota x Área x Volume do reservatório. A Tabela 5 apresenta os dados relativos à bacia hidráulica do reservatório Jaburu I, conforme o P.O.M (2008). A Figura 10 apresenta o diagrama Cota x Área x Volume utilizado como entrada para a determinação do amortecimento das cheias máximas associadas aos períodos de retorno então considerados.

Tabela 5 - Dados de Cota x Área x Volume para o Reservatório Jaburu I.

COTA (m)	AREA (km²)	Area (x 1000 m²)	VOLUME (m³)
675	0	0	0
680	0,07	70	170.000
685	0,2	200	830.000
690	0,99	990	3.800.000
695	1,65	1.650	10.400.000
700	3,19	3.190	22.500.000
705	5,29	5.290	43.700.000
710	7,39	7.390	75.400.000
715	9,43	9.430	117.460.000
720	11,54	11.540	169.900.000
723,08	14,5	14.500	210.000.000
724	14,8	14.800	223.000.000
725	15,35	15.350	238.000.000

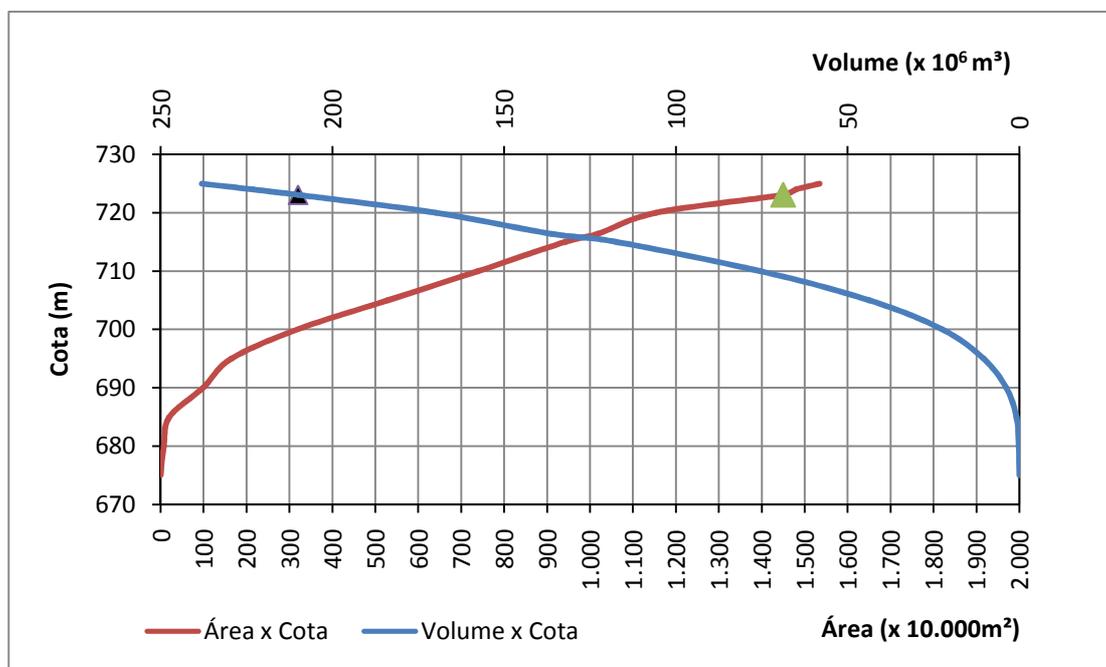


Figura 11 - Gráfico com as relações Cota x Área e Cota x Volume para a Barragem Jaburu I.

Com base nas informações então apresentadas e seguindo as metodologias então explanadas, foram determinados os amortecimentos de cheias máximas, bem como as lâminas escoadas no vertedouro da Barragem Jaburu I. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos. A Figura 11 apresenta os hidrogramas afluente e amortecido para um período de retorno de 1.000 e 10.000 anos

Tabela 6 - Resultados do Amortecimento das Ondas de Cheias para diferentes Períodos de Retorno.

Período de Retorno (anos)	Vazão Máxima Afluente (m ³ /s)	Vazão Máxima Efluente (m ³ /s)	Volume Afluente (hm ³)	Volume Efluente (hm ³)	Lâmina Escoada (m)
100	763,7	75,1	18,73	1,41	1,22
500	1091,7	123,2	26,62	2,39	1,62
1.000	1285,3	154,5	31,29	3,04	1,82

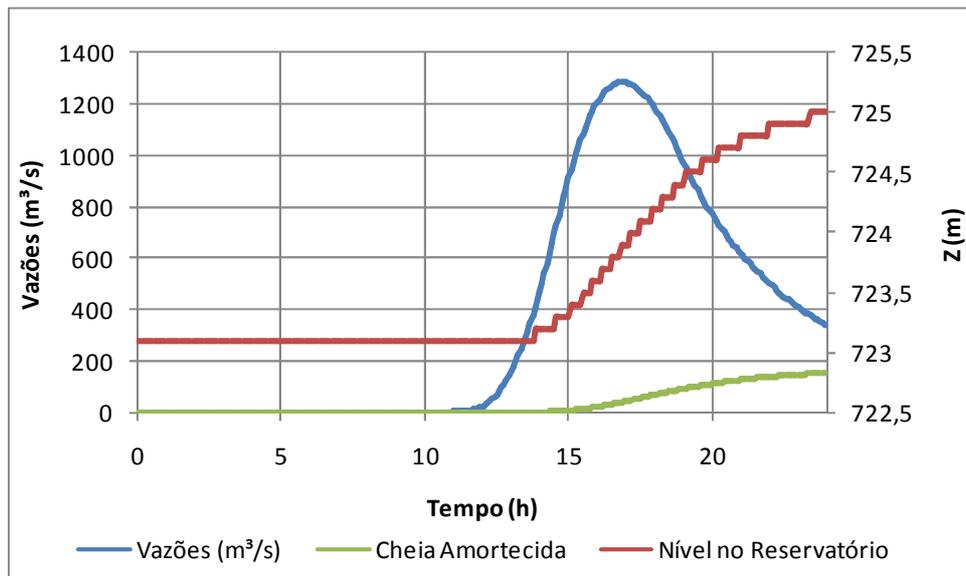


Figura 12 - Hidrograma de Cheia amortecida para um Período de Retorno de 1.000 anos.

De acordo com levantamento topográfico contratado pela COGERH e realizado entre os meses de julho e agosto de 2010, foi constatado que as informações do P.O.M (2008) referentes às cotas de coroamento e da soleira do vertedouro não se encontravam corretas, divergindo do levantamento de campo. Desta forma, foi realizado levantamento batimétrico objetivando, em conjunto com o levantamento topográfico, aferir a real altura da barragem e sua verdadeira capacidade de armazenamento.

Outra divergência entre os dados do P.O.M e os dados de levantamento topográfico importante para a verificação do vertedouro, trata da largura do mesmo. Pois vem sendo adotado desde a construção um vertedouro com 29,0 m de desenvolvimento, no entanto, foi verificado no atual levantamento que o vertedouro tem uma largura de 25,0 m.

A Figura 13 apresenta o Modelo Digital de Elevações do Terreno resultante do levantamento batimétrico realizado nos dias 01/02/2011 e 02/02/2011 pela COGERH através Gerência de Desenvolvimento Operacional (GEDOP). A Tabela 7 e a Figura 14 apresentam o diagrama Cota x Área x Volume do Açude Jaburu I após correção de cotas.

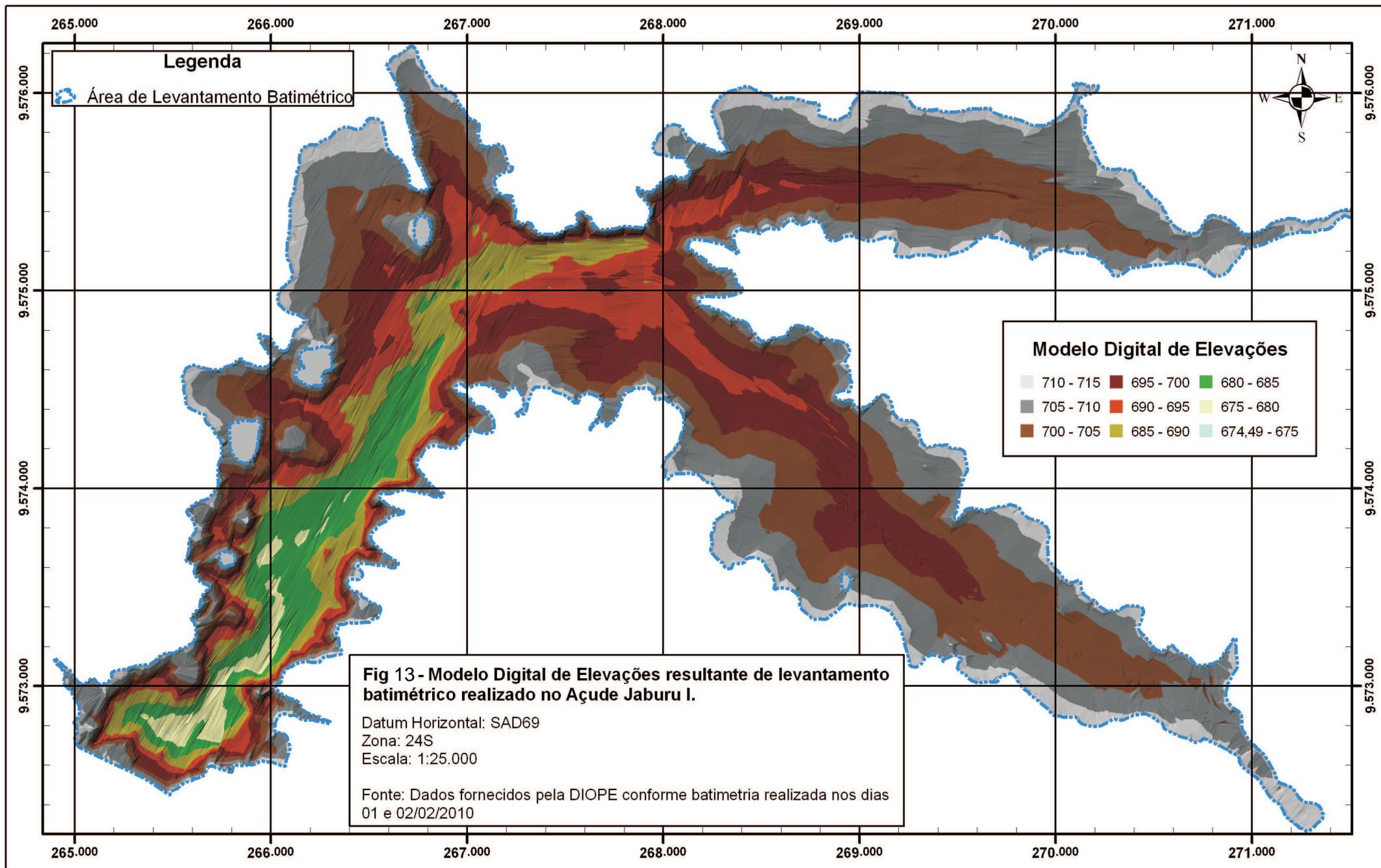


Tabela 7 - Dados de Cota x Área x Volume segundo levantamento batimétrico do Açude Jaburu I.

Cota	Area (m ²)	Area (x 1.000 m ²)	Volume (m ³)
674,5	-	0,00	-
675,0	281,33	0,28	51,07
676,0	2.053,88	2,05	1.029,23
677,0	10.496,28	10,50	6.438,87
678,0	29.884,34	29,88	25.199,38
679,0	64.002,03	64,00	70.942,03
680,0	120.769,35	120,77	160.843,56
681,0	201.023,91	201,02	319.865,92
682,0	299.256,62	299,26	568.369,00
683,0	408.148,19	408,15	923.865,85
684,0	508.010,48	508,01	1.381.441,73
685,0	598.649,17	598,65	1.936.236,30
686,0	692.304,57	692,30	2.579.031,08
687,0	810.891,06	810,89	3.330.946,77
688,0	922.710,39	922,71	4.196.113,17
689,0	1.034.051,31	1034,05	5.175.573,56
690,0	1.138.659,72	1138,66	6.261.904,35
691,0	1.247.333,03	1247,33	7.454.387,25
692,0	1.364.350,70	1364,35	8.757.940,67
693,0	1.506.443,94	1506,44	10.192.256,86
694,0	1.695.113,67	1695,11	11.788.694,03
695,0	1.926.738,61	1926,74	13.594.741,44
696,0	2.199.910,43	2199,91	15.656.028,81
697,0	2.468.950,13	2468,95	17.990.201,35
698,0	2.749.559,11	2749,56	20.595.810,65
699,0	3.069.327,41	3069,33	23.498.207,05
700,0	3.434.785,48	3434,79	26.744.808,84
701,0	3.834.170,59	3834,17	30.379.385,77
702,0	4.241.995,12	4242,00	34.414.927,22
703,0	4.691.109,98	4691,11	38.876.038,37
704,0	5.141.154,38	5141,15	43.795.581,32
705,0	5.581.522,80	5581,52	49.157.628,72
706,0	6.027.945,91	6027,95	54.963.768,53
707,0	6.470.478,89	6470,48	61.210.014,72
708,0	6.934.151,17	6934,15	67.913.873,17
709,0	7.373.684,20	7373,68	75.069.056,81
710,0	7.788.400,84	7788,40	82.656.282,84
711,0	8.158.455,97	8158,46	90.633.930,45
712,0	8.469.986,48	8469,99	98.951.713,24
713,0	8.698.895,58	8698,90	107.542.594,73
714,0	8.901.561,32	8901,56	116.342.833,38
715,0	9.110.653,51	9110,65	125.348.203,07
716,0	9.328.317,78	9328,32	134.566.973,50
716,4	9.413.696,04	9413,70	138.127.743,94
717,0	9.679.104,00	9679,10	144.046.321,32
718,0	10.301.440,00	10301,44	154.034.977,60
719,0	11.401.472,00	11401,47	164.881.784,27
720,0	13.254.400,00	13254,40	177.198.099,63

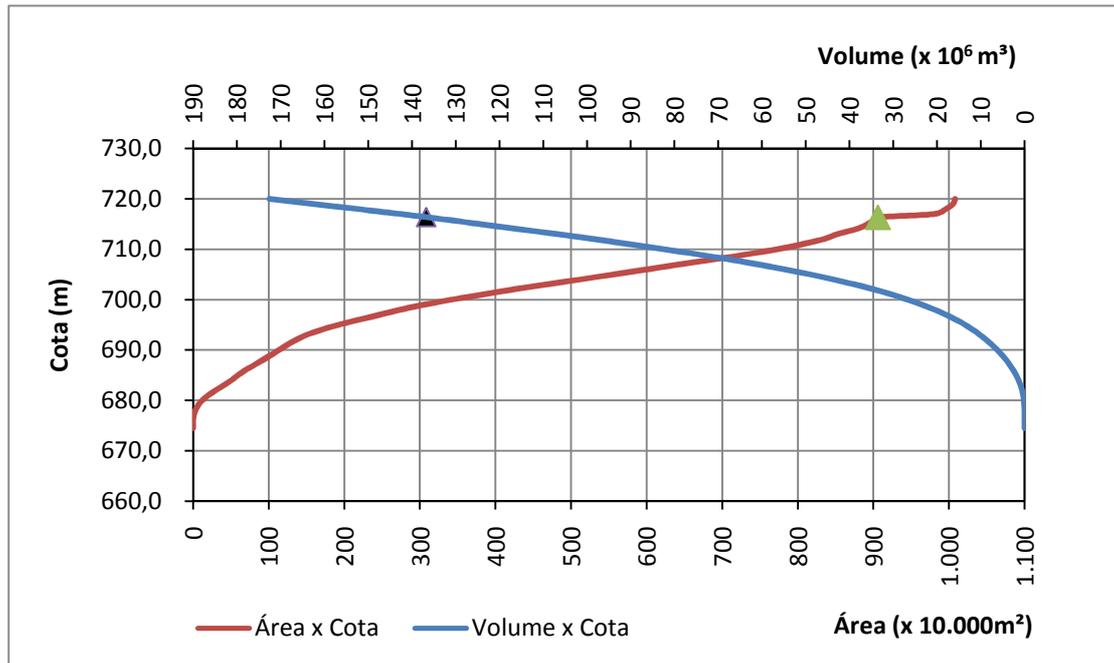


Figura 14 – Gráfico com as relações Cota x Área x Volume segundo dados de levantamento batimétrico do Açude Jaburu I.

De acordo com o gráfico apresentado na Figura 15 e na Tabela 8, pode-se observar que a vazão de pico associada ao período de retorno de 100 anos (682,4 m³/s) é amortecida em aproximadamente 85%, passando a escoar pelo seu vertedouro uma vazão de 98,3 m³/s com uma altura de lâmina d'água de 1,52 m, na cota 717,9 m.

Tabela 8- Resultados do Amortecimento das Ondas de Cheias para diferentes Períodos de Retorno.

Período de Retorno (anos)	Vazão Máxima Afluente (m ³ /s)	Vazão Máxima Efluente (m ³ /s)	Volume Afluente (hm ³)	Volume Efluente (hm ³)	Lâmina Escoada (m)	Cota de Nível Máximo (m)
100	682,4	98,3	17,204	1,832	1,52	717,9
500	988,5	158,4	24,775	3,044	2,12	718,5
1.000	1170,3	197,4	29,281	3,852	2,52	718,9
10.000	1295,4	239,7	32,652	4,467	2,72	719,1

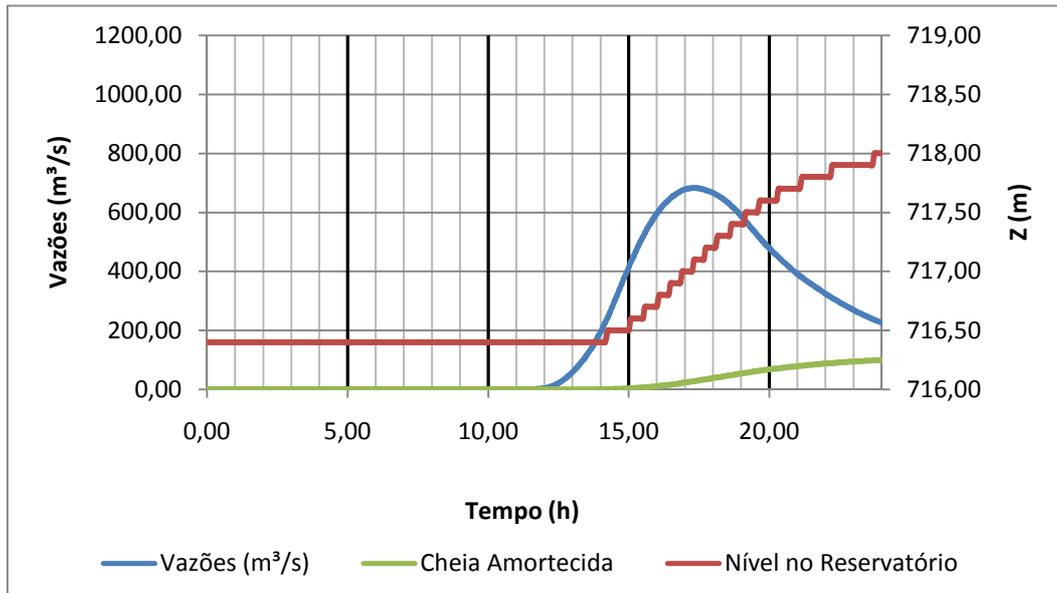


Figura 15 - Hidrograma de Cheia Amortecida para um Período de Retorno de 100 anos, calculado utilizando-se dos dados de cota x área x volume oriundos da batimetria.

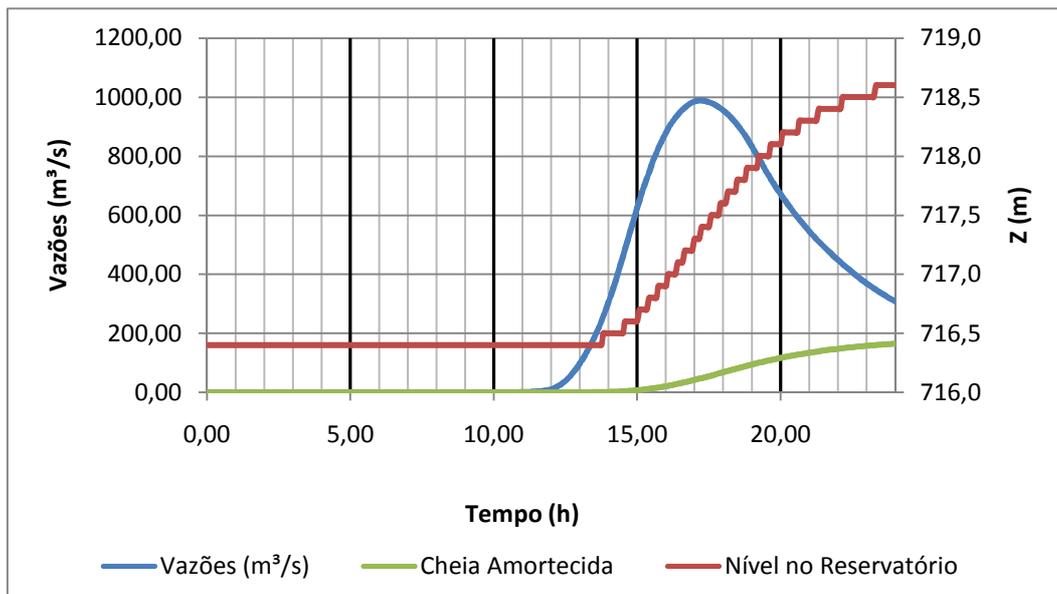


Figura 16 - Hidrograma de Cheia Amortecida para um Período de Retorno de 500 anos, calculado utilizando-se dos dados de cota x área x volume oriundos da batimetria.

Os dados apresentados no gráfico da Figura 16 e na Tabela 8 mostram que a vazão de pico associada ao período de retorno de 500 anos (988,5 m^3/s) é amortecida em aproximadamente 83%, passando a escoar pelo seu vertedouro uma vazão de 158,4 m^3/s com uma altura de lâmina d'água de 2,12 m, na cota 718,5 m.

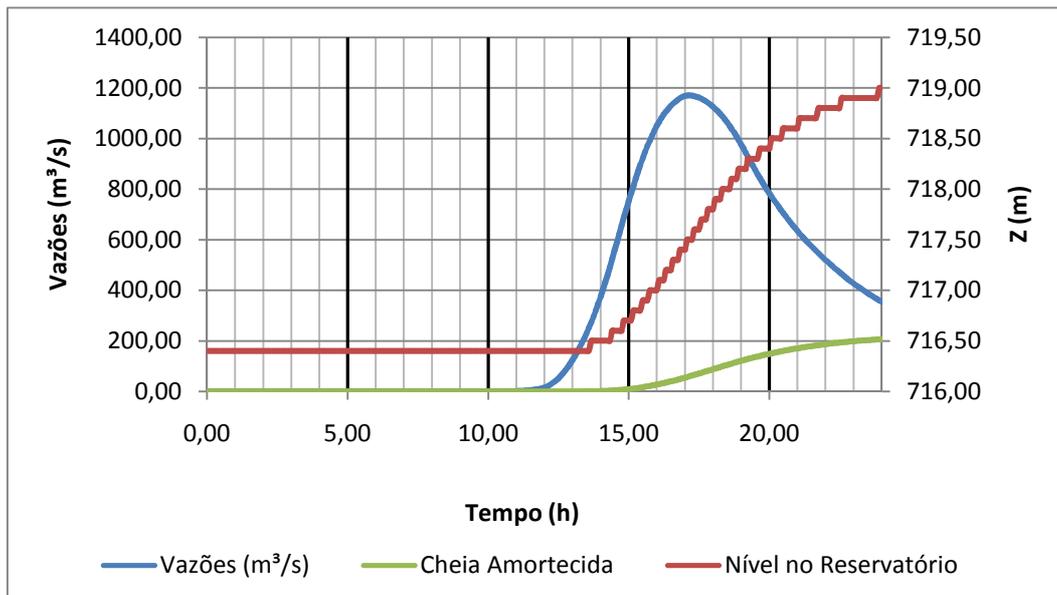


Figura 17 - Hidrograma de Cheia Amortecida para um Período de Retorno de 1.000 anos, calculado utilizando-se dos dados de cota x área x volume oriundos da batimetria.

Os dados apresentados no gráfico da Figura 17 e na Tabela 8 mostram que a vazão de pico associada ao período de retorno de 1.000 anos (1.170,3 m³/s) é amortecida em aproximadamente 82%, passando a escoar pelo seu vertedouro uma vazão de 197,4 m³/s com uma altura de lâmina d'água de 2,52 m, na cota 718,9 m.

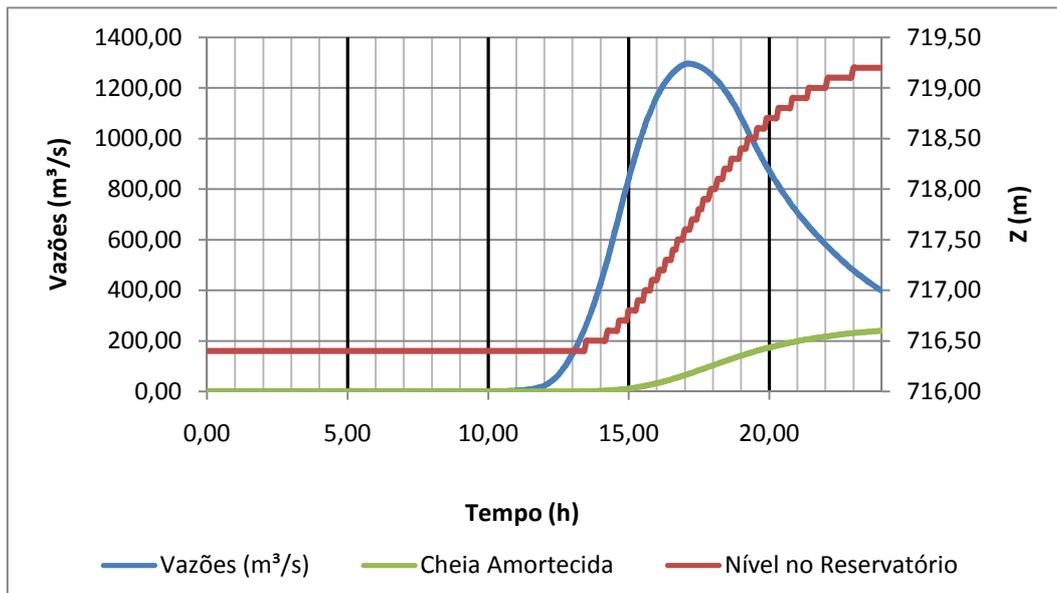


Figura 18 - Hidrograma de Cheia Amortecida para um Período de Retorno de 10.000 anos, calculado utilizando-se dos dados de cota x área x volume oriundos da batimetria.

Os dados apresentados no gráfico da Figura 18 e na Tabela 8 mostram que a vazão de pico associada ao período de retorno de 10.000 anos (1.295,4 m³/s) é amortecida em aproximadamente 81%, passando a escoar pelo seu vertedouro uma vazão de 239,7 m³/s com uma altura de lâmina d'água de 2,72 m, na cota 719,1 m.

3. DETERMINAÇÃO DA VAZÃO REGULARIZADA

3.1. Simulação da Operação de Reservatórios

A avaliação da disponibilidade hídrica de um dado reservatório pode ser realizada mediante a resolução da chamada equação do balanço hídrico, a qual contabiliza todas as afluições ou aportes aos reservatórios, bem como todas as retiradas ou eventuais vertimentos / evaporações. Essa equação tem, em geral, a seguinte formulação:

$$V_{r_i} = V_{r_{i-1}} + V_{a_i} + V_{p_i} - V_{e_i} - V_{v_i} - Q_{ab_i}$$

Em que:

V_{r_i} = volume armazenado no mês i ;

$V_{r_{i-1}}$ = volume armazenado no mês $i-1$;

V_{a_i} = volume afluyente ao reservatório no mês i ;

V_{p_i} = volume precipitado diretamente sobre o espelho d'água no mês i ;

V_{e_i} = volume evaporado no reservatório no mês i ;

V_{v_i} = volume vertido no mês i ;

Q_{ab_i} = volume regularizado ou retirado no mês i .

No caso de simulação integrada do sistema, onde a topologia dos reservatórios é considerada, os eventuais volumes vertidos por um dado reservatório geralmente se constituem em volumes afluentes aos reservatórios localizados a jusante. Nesse caso, a equação do balanço hídrico adquire a seguinte forma:

$$V_{r_i} = V_{r_{i-1}} + V_{a_i} + V_{p_i} + V_{vm_i} - V_{e_i} - V_{v_i} - Q_{ab_i}$$

Em que:

Vvm_i = volume vertido a montante no mês i .

O procedimento de simulação da operação de um reservatório consiste, portanto, na solução da equação apresentada acima para cada um dos períodos (meses) da simulação. Durante a solução das referidas equações podem ser consideradas, ainda, as seguintes hipóteses:

Quando ultrapassa a capacidade máxima do reservatório:

$$Vv_i > Qab_i, \text{ tem-se que } Qab_i = 0;$$

$$Vv_i < Qab_i, \text{ tem-se que } Qab_i = Qab_i - Vv_i.$$

Quando o reservatório em um dado mês não conseguir suprir a vazão retirada, vale então para esses meses:

$$Qab_i' < Qab_i$$

Em que:

Qab_i' = vazão retirada nos meses secos extremos

Quando ocorre o segundo caso, denomina-se falha do reservatório no suprimento. A garantia de abastecimento (g) para certa vazão regularizada pré-fixada é dada pela relação entre o número de falhas anotadas no período de simulação (nv) e o número de períodos simulados (n):

$$g = \left(1 - \frac{nv}{n}\right) * 100$$

A solução da equação do balanço hídrico e o correspondente cálculo de “ g ” para uma faixa de valores de vazão regularizada, permitem o estabelecimento da

chamada curva de garantia, curva esta que relaciona vazão regularizada com níveis de garantia.

O nível de garantia adotado usualmente em estudos hidrológicos para fins hidroagrícolas no Brasil é de 90%, sendo de 95% para fins energéticos, e de 99 a 100% para fins de abastecimento humano e industrial.

Deve-se ficar claro que o conceito de vazão regularizada com garantia de 100% é controverso, uma vez que o cálculo da vazão regularizada está diretamente associado a uma série cronológica de eventos (no caso, vazões afluentes). Assim, um simples incremento temporal nas séries, como por exemplo, a inclusão ou exclusão de mais uma década de dados, ou até mesmo de um ano atípico, provavelmente modificará o valor de vazão regularizada dita como de garantia de 100%.

Neste sentido, recomenda-se utilizar o conceito de vazão regularizada firme, como aquela associada a uma garantia de 99% que, para um passo de tempo de simulação mensal, significaria assumir um risco de que em dez anos de operação do reservatório, ou sistema integrado de reservatórios, aproximadamente em apenas 1,2 meses não se conseguiria ofertar toda a vazão regularizada, previamente determinada. Ainda assim, dado ao curto período de tempo que o sistema falharia, seria bem possível ajustar-se uma regra de operação momentânea, por parte dos órgãos gestores do sistema, a fim de se evitar o colapso no abastecimento.

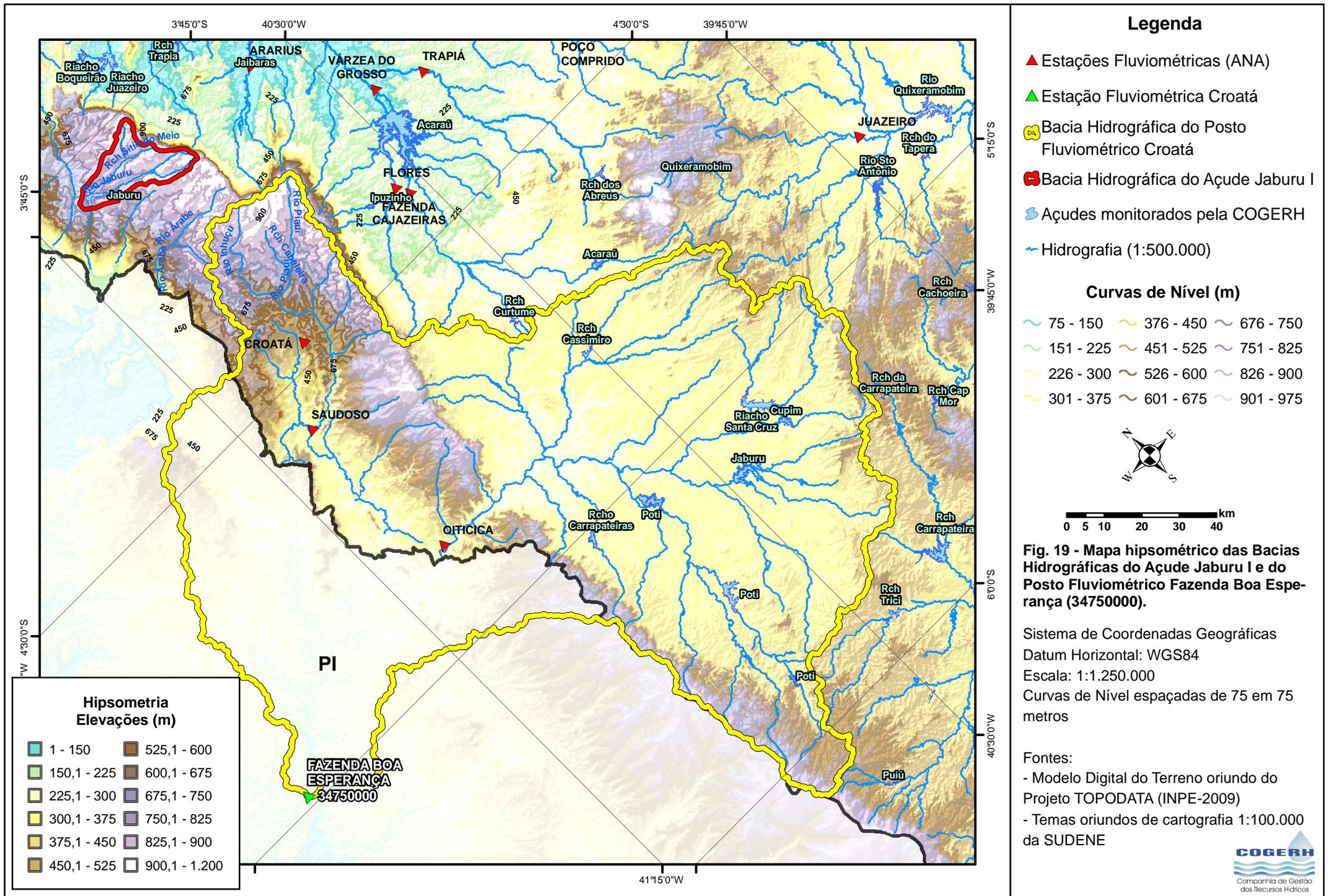
Esta recomendação decorre de observações empíricas de que as vazões regularizadas com 100% de garantia podem ser, em alguns casos, sensivelmente inferiores aos valores das vazões regularizadas, calculadas para garantias de 99%. Estes resultados são fortemente influenciados pelo fato de que as vazões regularizadas com garantia de 100% são pontos atípicos da curva Vazão versus Garantia.

No presente trabalho, será utilizado o conceito de volume de alerta para a determinação de vazão regularizada associada aos reservatórios de forma que

essa vazão possa ser garantida em 90% dos meses simulados, sendo aos 10% restantes, fornecida 50% dessa vazão com, praticamente, nenhuma falha.

3.2. Vazões Afluentes

A série temporal de afluências, para a determinação dos volumes aportados ao Açude Januru I, foi obtida mediante correção de área utilizando-se os dados do posto fluviométrico de código 34750000, operado pela CPRM, situado à Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba. A Bacia Hidrográfica do Posto Croatá apresenta características hidrológicas similares às da Bacia Hidrográfica do Jaburu I. O mapa da Figura 19 apresenta a localização do Posto Fluviométrico 34750000, permitindo a comparação entre ambas as bacias supracitadas.



Os dados utilizados para o cálculo da vazão com garantia de 90%, bem como resumo da metodologia utilizada para a geração das vazões através da aplicação do modelo *Soil Moisture Accounting Procedure* –SMAP (Lopes *et al*, 1981)⁴ se encontram disponíveis no Anexo I deste relatório.

4. CONCLUSÕES

A constatação de que o volume reservado pelo Açude Jaburu apresenta 72 hm³ a menos que o volume anteriormente documentado motivou a realização deste trabalho para que se analisasse o comportamento do vertedouro em relação às cheias e se verificasse a garantia de atendimento da vazão regularizada anteriormente calculada.

Com as condições atuais de que se tem conhecimento, tanto do vertedouro quanto da estrutura de barramento, e baseado nos cálculos então realizados pode-se aferir que:

- A lâmina d'água escoada pelo vertedouro para uma vazão decamilenar (cota 719,1) apresenta 1,1 m de folga com relação ao coroamento, ou seja, 60 cm superior ao recomendado pelo Painel de Segurança de Barragens;
- A vazão regularizada com garantia de 90% de atendimento, antes calculada em 4,0 m³/s foi determinada em 2,39 m³/s, calculada segundo série de vazões observadas no posto fluviométrico (34750000).

⁴ Lopes, J.E.G.; Braga, B. P. F.; Conejo, J. G. L. (1981). Simulação hidrológica: aplicações de um modelo simplificado. IV Simpósio brasileiro de hidrologia e recursos hídricos, anais 1, p. 42-62

ANEXO I

Dados utilizados para a determinação da vazão regularizada com garantia de 90%.

As Tabelas A.1 a A.12 apresentam os dados utilizados na determinação da vazão regularizada no Reservatório do Açude Jaburu I, sendo eles, respectivamente, precipitação sobre o lago, evaporação, precipitações mensais sobre a bacia hidrográfica, vazões afluentes calculadas pelo SMAP, lâmina escoada, e volume afluente.

Os gráficos das Figuras A.1 e A.2 apresentam respectivamente a variação média anual da precipitação sobre o lago e a variação média anual da evaporação. Estes dados são oriundos do histórico de normais climatológicas do INPE para a estação de Sobral.

Estes dados são utilizados para a geração de vazões utilizando o modelo chuva-vazão SMAP (Lopes *et. al.*, 1981) em escala mensal.

Os dados de chuva foram determinados mediante cálculo das precipitações médias sobre a bacia mediante aplicação dos 'Thiessen' dinâmico dos postos pluviométricos da SUDENE (2777987, 2778406, 2778714, 2778825) e da FUNCEME (143, 145, 608). A Tabela A.3 apresenta dados de latitude, longitude, total de anos com dados disponíveis e operadoras para cada posto pluviométrico utilizado na determinação das precipitações.

O mapa da Figura A.3 apresenta a localização dos postos pluviométricos utilizados, bem como as áreas de influência de cada posto segundo traçado dos polígonos de Thiessen numa situação em que todos os postos são utilizados no cálculo da precipitação média sobre a bacia hidrográfica.

Tabela A. 1 - Dados de Precipitação sobre o Lago.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
mm	101,6	129,1	231,2	218,5	149,5	59,0	24,8	5,1	1,7	6,2	8,8	24,9

Fonte: Normais Climatológicas – INPE – Estação Sobral

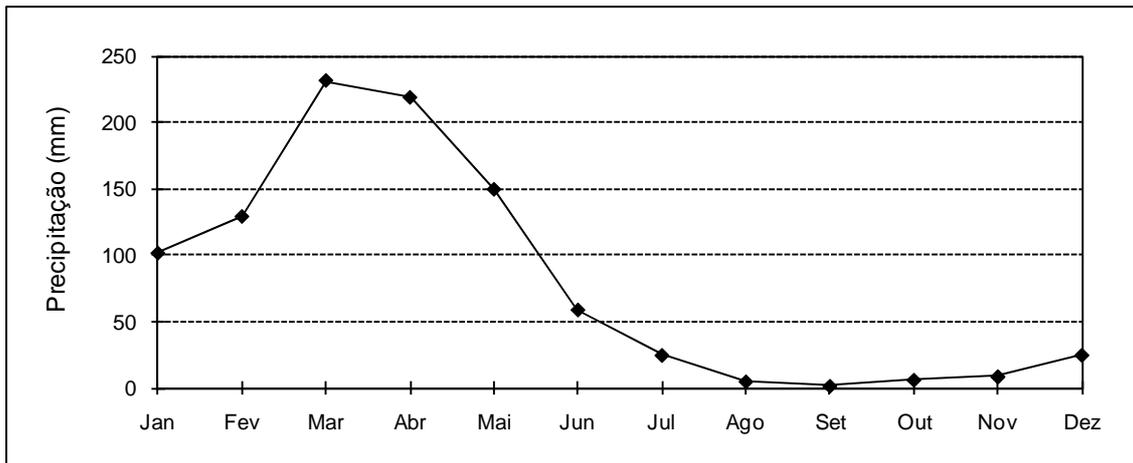


Figura A. 1 - Gráfico apresentando a Variação Média Anual da Precipitação sobre o Lago.

Tabela A. 2 - Dados de Evaporação.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
mm	156,0	125,0	94,6	101,0	99,7	116,0	157,0	191,0	221,0	224,0	220,0	205,0

Fonte: Normais Climatológicas – INPE – Estação Sobral

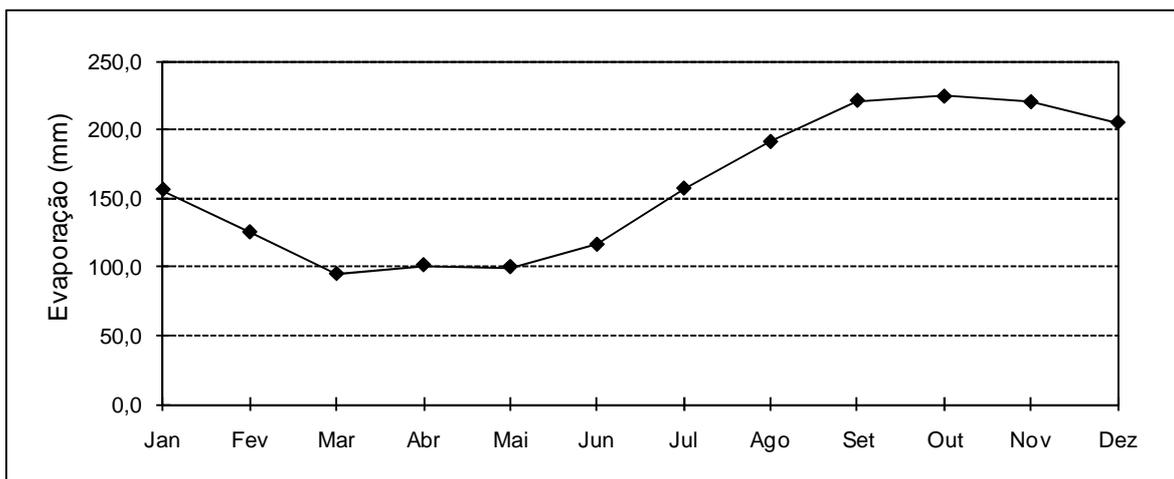


Figura A. 2 - Gráfico apresentando a Variação Média Anual da Evaporação

Tabela A. 3 - Informações sobre os postos pluviométricos utilizados.

Codigo	Latitude	Longitude	Total de anos com dados	Operadora
143	-3,73	-40,98	37	FUNCEME
145	-3,85	-40,92	37	FUNCEME
608	-3,83	-41,03	10	FUNCEME
2777987	-3,95	-41,07	23	SUDENE
2778406	-3,73	-40,98	72	SUDENE
2778714	-3,85	-40,93	74	SUDENE
2778825	-3,92	-40,88	72	SUDENE

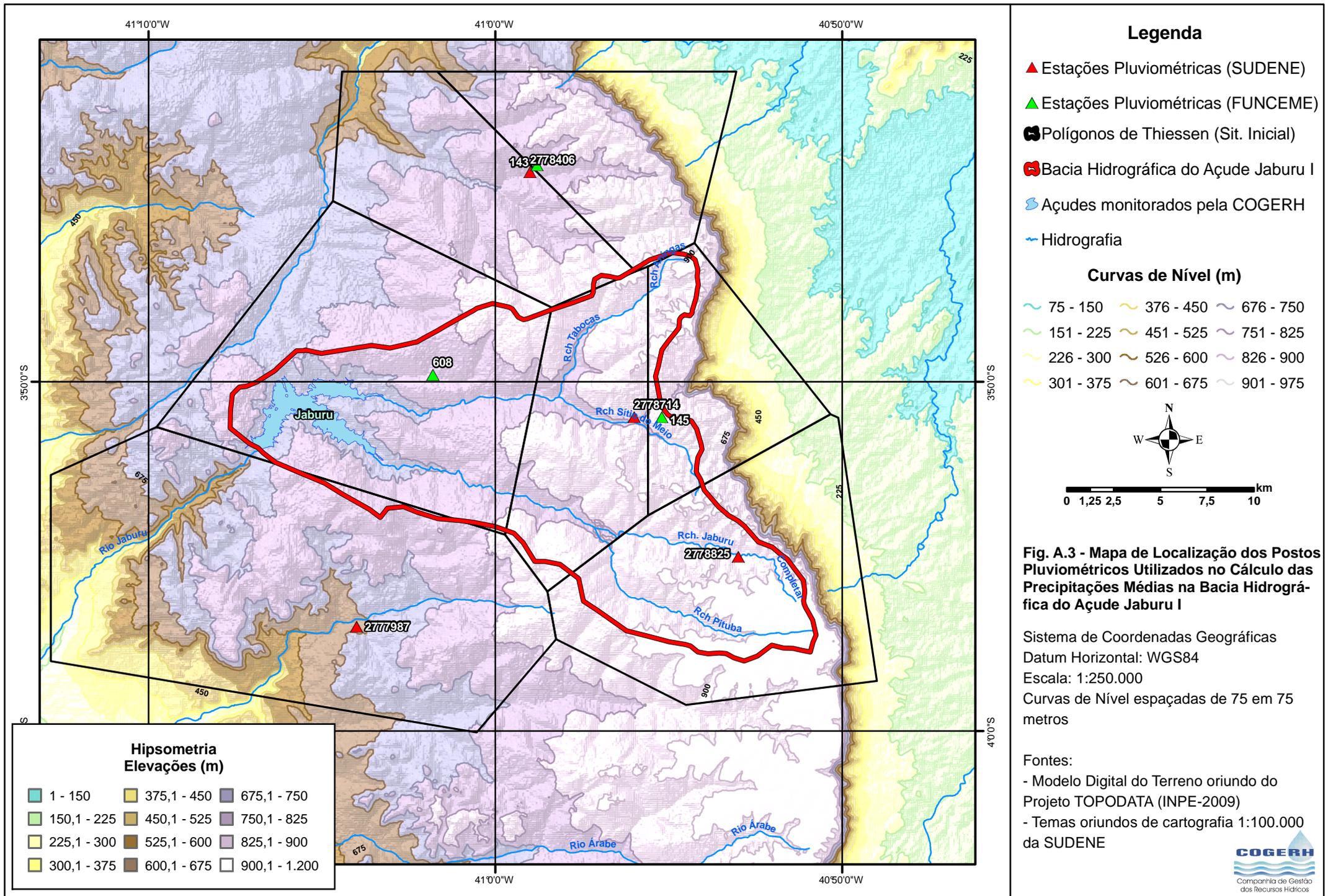


Tabela A. 4 - Série de Precipitações (mm) mensais calculadas para a Bacia Hidrográfica.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1912	91,1	426,7	413,2	574,1	790,2	51,2	44,3	52,8	29,1	0,0	6,1	13,2	2491,9
1913	56,3	288,1	665,6	335,1	334,4	105,5	49,6	39,8	6,9	19,6	0,4	91,2	1992,6
1914	201,9	369,9	286,8	299,5	111,3	162,9	62,2	75,9	5,1	21,0	3,1	0,0	1599,7
1915	64,6	93,4	80,0	161,1	55,3	35,8	2,4	8,5	0,7	0,5	0,0	134,2	636,2
1916	201,0	209,8	344,2	315,8	140,0	104,8	10,0	0,0	0,0	0,8	43,4	56,4	1426,3
1917	293,3	356,7	527,8	352,1	403,4	50,4	27,5	4,4	0,5	5,5	121,5	81,0	2223,9
1918	259,1	175,8	357,5	169,8	446,0	99,5	6,9	55,2	2,5	0,0	0,0	1,2	1573,4
1919	38,4	145,8	118,9	41,6	84,9	20,2	7,1	1,2	18,8	0,0	0,3	4,3	481,4
1920	28,9	78,6	422,8	335,5	158,7	95,2	41,5	8,5	0,0	0,9	23,2	146,7	1340,4
1921	144,7	337,0	432,0	374,1	356,2	132,7	111,2	0,3	4,5	18,0	49,3	10,1	1970,2
1922	96,5	183,2	344,8	472,8	244,5	117,0	38,8	12,1	2,0	0,0	25,3	9,1	1546,0
1923	167,1	451,6	299,5	347,9	54,1	67,1	28,5	1,8	0,5	1,0	31,6	7,5	1458,2
1924	185,5	321,9	426,5	508,8	382,2	178,3	9,3	1,7	1,9	21,2	6,5	186,8	2230,5
1925	157,6	231,6	511,4	580,8	214,7	33,0	40,0	1,1	1,7	43,9	18,3	22,4	1856,6
1926	193,2	393,7	467,3	536,5	196,6	17,8	4,5	0,0	3,7	0,0	0,1	0,7	1814,1
1927	120,8	217,9	272,0	582,9	72,1	40,3	27,0	3,5	1,8	2,5	5,4	18,4	1364,5
1928	164,2	63,9	254,5	315,0	58,4	28,5	14,9	1,9	1,9	1,4	8,2	80,6	993,3
1929	196,1	430,0	689,2	472,7	312,9	138,3	11,4	10,5	3,5	15,0	2,1	40,1	2321,9
1930	213,9	238,9	238,3	227,2	23,1	212,9	2,8	0,7	1,9	22,3	8,9	6,1	1196,9
1931	83,4	236,1	321,4	294,0	77,1	7,3	9,0	10,7	0,0	0,0	0,0	2,8	1041,8
1932	88,7	240,7	103,8	89,6	22,9	39,2	8,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	593,2
1933	102,7	180,8	337,6	548,8	72,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	24,9	1269,6
1934	197,3	509,0	588,3	350,0	474,4	67,6	0,0	0,0	0,0	0,0	65,7	122,2	2374,5
1935	306,8	419,1	358,0	595,9	301,4	52,7	8,3	5,5	10,1	1,4	0,0	87,1	2146,3
1936	87,1	394,8	128,3	306,6	160,5	70,3	0,2	0,0	0,0	0,0	3,1	1,2	1152,1
1937	39,7	422,4	208,2	395,6	270,1	71,1	47,4	1,6	18,0	1,6	8,5	30,3	1514,5
1938	168,7	119,5	382,2	476,8	76,0	31,8	21,7	0,0	5,1	0,5	0,1	68,5	1351,0
1939	93,5	445,7	383,8	273,7	113,3	50,7	68,9	6,2	34,2	45,7	4,4	20,6	1540,8
1940	133,8	294,3	376,0	600,5	260,2	203,9	31,2	4,7	0,5	2,7	0,0	29,4	1937,1
1941	24,9	220,9	267,1	364,0	123,7	39,7	19,6	18,9	3,7	0,0	16,1	39,6	1138,0
1942	8,0	104,6	299,4	164,9	74,7	8,8	0,5	0,1	0,0	3,2	5,9	55,2	725,0
1943	158,9	97,1	324,0	278,0	165,7	42,0	52,6	1,4	4,3	0,0	16,9	76,1	1217,0
1944	102,5	131,2	398,4	225,8	284,1	33,8	25,3	1,6	1,4	0,5	0,0	279,2	1483,7
1945	232,8	497,0	329,4	327,2	229,9	75,5	28,6	13,0	20,0	15,1	5,0	31,9	1805,4

Tabela A. 5 - Série de Precipitações (mm) mensais calculadas para a Bacia Hidrográfica (Cont.).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1946	492,0	289,4	366,3	331,0	80,3	117,9	4,7	1,2	0,0	0,8	7,1	96,8	1787,5
1947	191,5	257,3	453,3	487,0	227,5	23,3	32,2	16,1	1,9	0,9	130,8	209,6	2031,4
1948	122,2	220,8	296,6	182,2	147,5	53,6	62,3	6,2	15,4	2,1	0,0	56,2	1165,0
1949	79,3	314,8	270,9	228,6	115,1	63,7	43,2	29,0	3,1	0,6	78,9	38,9	1266,1
1950	199,1	220,5	468,5	437,4	117,7	18,8	16,0	1,0	1,9	0,0	8,5	103,5	1593,0
1951	64,3	104,0	199,4	230,8	136,9	138,3	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	65,8	956,1
1952	67,3	163,2	257,1	260,0	115,5	9,3	5,8	1,7	0,0	0,0	8,4	25,2	913,5
1953	55,7	100,4	212,6	323,5	39,7	19,3	4,0	1,1	0,0	0,0	3,5	65,7	825,4
1954	15,6	324,4	371,2	143,3	230,7	40,9	1,9	1,4	1,0	0,0	39,5	0,0	1170,0
1955	219,3	204,1	428,6	582,7	154,3	24,7	3,8	4,3	0,0	9,5	6,4	36,7	1674,3
1956	52,2	364,4	606,0	341,9	65,5	24,9	18,9	25,4	6,0	0,0	2,7	44,9	1552,8
1957	268,3	84,1	285,1	447,8	181,4	36,8	27,2	1,2	0,0	6,2	3,3	74,4	1415,6
1958	146,7	88,1	84,1	110,0	154,7	27,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,3	632,6
1959	137,0	357,0	379,2	211,8	234,2	60,8	21,3	45,4	3,3	0,0	17,8	0,0	1467,8
1960	52,5	144,9	443,2	208,3	57,7	78,4	40,3	1,6	0,0	2,9	0,5	50,8	1081,2
1961	253,6	655,2	406,5	406,5	151,4	58,6	6,9	3,5	0,0	0,0	20,2	72,1	2034,6
1962	200,1	240,7	349,9	181,6	152,4	50,5	12,2	2,7	0,0	0,0	32,1	66,9	1289,4
1963	227,4	206,3	601,8	386,1	41,6	13,0	35,2	3,9	1,8	0,0	26,5	138,1	1681,7
1964	265,2	522,8	270,0	527,3	373,8	31,0	8,7	31,2	17,7	1,8	1,3	0,6	2051,4
1965	113,0	94,8	444,4	585,4	272,1	167,5	7,7	2,3	21,8	51,6	0,0	16,4	1777,1
1966	21,7	192,0	180,6	205,6	90,6	56,2	32,7	10,4	7,3	0,4	8,3	28,0	833,8
1967	44,6	223,2	450,8	358,5	378,9	43,0	24,4	15,6	42,4	3,5	0,6	36,3	1621,7
1968	112,8	126,7	328,1	268,4	311,6	16,8	21,4	7,9	0,0	3,1	0,4	99,7	1296,7
1969	98,3	147,4	234,6	326,5	69,5	92,0	106,9	10,8	0,0	2,0	2,6	5,6	1096,2
1970	88,6	94,0	272,2	187,4	61,4	33,7	44,9	4,2	12,9	1,5	31,5	6,1	838,4
1971	145,4	200,4	330,1	312,3	309,5	93,8	55,4	13,0	2,2	35,2	1,6	0,2	1499,0
1972	39,2	103,4	199,9	231,7	147,5	79,0	33,2	14,0	0,0	1,6	0,0	35,5	885,1
1973	344,4	184,0	405,3	579,8	305,0	186,6	115,9	10,6	23,7	19,9	3,3	58,7	2237,0
1974	319,7	355,1	448,3	798,6	422,6	96,8	7,4	1,9	54,1	48,7	0,1	77,9	2631,2
1975	89,8	259,9	409,3	224,8	364,5	137,9	55,5	25,5	21,8	0,8	0,7	152,2	1742,7
1976	108,7	322,8	258,6	271,6	79,2	38,7	18,7	2,7	14,3	30,6	13,7	12,3	1172,0
1977	194,2	164,7	274,9	276,1	165,2	80,6	39,1	9,3	2,6	0,6	0,2	70,6	1277,9
1978	203,7	89,7	120,9	326,7	143,3	13,5	112,4	2,4	12,9	2,2	60,8	45,2	1133,6
1979	100,1	106,4	169,0	119,8	177,5	55,8	13,9	4,2	7,8	3,9	17,0	3,9	779,3
1980	63,9	355,1	229,3	106,1	44,6	45,6	3,5	1,1	22,2	4,0	24,1	30,7	930,1

Tabela A. 6 - Série de Precipitações (mm) mensais calculadas para a Bacia Hidrográfica (Cont.)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1981	115,2	106,1	380,3	103,4	125,7	12,1	0,0	16,7	0,3	0,0	0,6	106,1	966,6
1982	84,9	214,2	194,6	185,7	89,4	35,9	17,3	5,5	4,3	3,9	45,8	26,7	908,1
1983	20,3	181,6	170,1	123,0	25,1	10,5	2,2	4,8	0,0	1,4	0,0	4,5	543,6
1984	122,5	176,3	402,6	415,7	385,3	89,5	13,6	10,7	3,8	14,6	3,9	35,9	1674,5
1985	285,2	424,1	428,2	488,2	362,3	165,7	64,2	13,4	29,0	0,3	0,6	141,5	2402,7
1986	153,3	277,8	482,4	540,1	271,2	119,3	41,5	16,6	14,8	10,8	77,0	23,3	2028,1
1987	83,0	69,5	542,4	92,7	40,2	99,2	29,6	0,0	0,5	1,1	0,0	3,4	961,6
1988	124,1	218,8	428,0	454,7	236,3	102,2	1,4	4,2	2,6	0,0	3,2	141,0	1716,5
1989	192,4	106,2	353,6	462,8	314,0	48,6	77,1	34,6	2,3	0,0	0,0	204,8	1796,3
1990	53,0	262,6	209,1	207,7	206,0	45,1	28,6	3,6	2,2	0,0	87,1	1,8	1106,7
1991	161,5	192,7	426,5	234,0	191,6	37,7	31,2	3,9	0,0	3,5	0,8	0,0	1283,3
1992	118,8	202,8	279,7	239,8	22,5	29,4	4,8	1,5	0,0	2,3	0,0	22,8	924,3
1993	110,0	134,8	201,0	205,2	94,9	30,8	74,2	2,3	3,9	4,1	1,5	40,1	902,7
1994	441,8	296,5	345,7	504,6	213,1	309,1	14,2	9,4	0,3	0,0	0,0	161,6	2296,4
1995	137,2	321,3	333,6	432,7	315,8	105,1	53,7	5,2	0,0	10,0	25,2	31,7	1771,5
1996	271,0	154,3	384,2	514,3	62,2	43,5	23,1	49,6	0,0	8,5	84,8	16,6	1612,2
1997	84,5	108,2	253,2	239,4	169,3	0,0	8,3	1,6	0,0	0,0	0,0	29,0	893,4
1998	298,6	66,1	318,5	110,5	128,3	34,4	13,8	2,3	0,0	0,1	0,0	38,0	1010,6
1999	174,9	239,6	295,3	179,5	177,1	29,3	8,4	0,0	0,3	0,0	29,9	46,2	1180,4
2000	202,5	242,1	262,2	385,8	30,7	66,2	57,5	29,7	13,0	0,5	0,0	34,4	1324,5
2001	99,8	117,2	188,9	389,2	49,1	35,1	3,2	0,0	0,0	0,0	14,8	33,4	930,7
2002	185,0	54,1	272,3	214,6	75,6	73,4	9,1	0,0	0,0	0,0	7,1	48,0	939,2
2003	101,8	232,4	293,8	270,0	76,9	55,1	3,4	4,6	0,0	23,3	0,0	52,9	1114,1
2004	405,1	416,1	199,0	135,1	112,4	101,3	72,4	11,9	0,0	0,0	0,0	23,7	1477,0
2005	98,7	92,4	287,4	182,1	150,6	66,9	5,7	0,0	0,0	0,0	4,3	60,7	948,8
2006	17,5	124,6	324,1	243,1	193,2	85,1	2,5	2,3	0,0	0,0	0,0	42,3	1034,6
2007	57,7	285,6	109,3	329,0	45,8	69,9	4,3	2,3	0,0	8,9	0,0	15,7	928,4
2008	189,2	149,9	340,3	466,3	184,7	30,8	11,4	22,9	8,6	0,0	1,8	12,5	1418,4
2009	189,1	224,9	360,5	524,2	431,1	164,2	49,4	13,2	0,0	0,0	0,0	10,0	1966,7
2010	85,7	32,9	84,9	213,6	163,5	52,8	2,1	0,0	0,0	112,8	3,9	154,3	906,5
Média	147,1	231,7	329,5	329,2	183,9	68,3	26,7	9,4	5,7	6,9	14,4	52,4	1405,2
D. Padrão	94,3	125,7	126,1	152,3	131,2	53,6	26,7	13,9	9,9	15,5	25,7	54,4	493,2
CV	0,6	0,5	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,5	1,7	2,2	1,8	1,0	0,4

Tabela A. 7 - Série de vazões (m³/s) afluentes calculadas mediante utilização do SMAP.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1912	0,00	0,42	5,60	29,08	71,58	2,96	2,02	1,79	0,71	0,00	0,06	0,09	9,53
1913	0,29	2,76	29,84	20,98	22,99	6,78	2,51	1,47	0,17	0,32	0,00	0,75	7,41
1914	2,28	9,22	12,24	16,08	6,02	8,17	2,75	2,59	0,13	0,33	0,03	0,00	4,99
1915	0,32	0,52	0,53	1,53	0,65	0,37	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	0,23	0,35
1916	0,84	1,96	7,63	13,20	6,43	4,47	0,34	0,00	0,00	0,01	0,27	0,30	2,95
1917	2,79	9,12	30,07	23,41	31,12	3,36	1,37	0,15	0,01	0,07	1,38	0,93	8,65
1918	4,04	4,13	13,32	7,99	27,63	6,11	0,32	1,82	0,06	0,00	0,00	0,01	5,45
1919	0,15	0,74	0,94	0,36	0,75	0,17	0,04	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,27
1920	0,02	0,06	2,22	8,02	5,27	3,13	1,15	0,17	0,00	0,01	0,12	0,84	1,75
1921	1,21	5,89	18,66	22,93	25,11	8,76	6,12	0,01	0,12	0,30	0,59	0,09	7,48
1922	0,70	1,92	7,98	25,00	14,54	6,56	1,75	0,38	0,04	0,00	0,21	0,05	4,93
1923	1,05	9,08	12,72	19,26	2,91	2,92	0,98	0,04	0,01	0,01	0,20	0,03	4,10
1924	1,01	4,64	16,19	34,38	27,52	12,68	0,52	0,06	0,05	0,32	0,07	1,93	8,28
1925	2,30	4,81	23,98	46,08	14,36	1,98	1,78	0,03	0,03	0,59	0,18	0,15	8,02
1926	1,53	8,36	24,11	39,66	13,74	1,04	0,19	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	7,39
1927	0,51	1,78	4,94	29,76	3,71	1,67	0,86	0,08	0,03	0,02	0,03	0,07	3,62
1928	0,75	0,40	2,69	8,01	1,76	0,70	0,28	0,02	0,02	0,01	0,03	0,23	1,24
1929	0,98	7,56	45,87	30,92	25,83	9,38	0,62	0,38	0,08	0,23	0,02	0,27	10,18
1930	1,91	4,11	6,60	8,59	0,84	7,60	0,09	0,02	0,03	0,20	0,05	0,02	2,50
1931	0,29	1,63	6,07	10,60	2,97	0,22	0,20	0,16	0,00	0,00	0,00	0,01	1,85
1932	0,20	1,26	1,00	0,99	0,24	0,35	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34
1933	0,09	0,43	3,19	21,74	3,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,07	2,40
1934	0,81	9,67	37,77	21,56	39,80	4,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61	1,17	9,66
1935	5,10	15,99	20,31	47,97	22,62	3,57	0,41	0,18	0,22	0,02	0,00	0,59	9,75
1936	0,62	6,40	3,58	11,32	7,37	2,90	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	2,69
1937	0,09	3,47	4,80	15,82	15,09	3,60	1,89	0,05	0,33	0,02	0,06	0,16	3,78
1938	1,06	1,12	7,87	25,32	3,83	1,29	0,67	0,00	0,07	0,00	0,00	0,28	3,46
1939	0,43	6,30	15,95	14,24	5,92	2,24	2,45	0,16	0,61	0,60	0,04	0,12	4,09
1940	0,82	3,86	12,23	41,84	16,77	13,54	1,68	0,17	0,01	0,04	0,00	0,18	7,60
1941	0,12	1,52	4,41	12,78	5,24	1,44	0,54	0,37	0,05	0,00	0,08	0,15	2,22
1942	0,02	0,32	2,50	2,88	1,45	0,14	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,09	0,62
1943	0,43	0,44	3,53	7,42	5,75	1,35	1,35	0,03	0,05	0,00	0,08	0,32	1,73
1944	0,50	0,87	7,11	7,93	12,90	1,48	0,83	0,04	0,02	0,00	0,00	2,27	2,83
1945	4,02	19,28	19,40	21,29	15,75	4,52	1,31	0,42	0,43	0,21	0,05	0,20	7,24

Tabela A. 8 - Série de vazões (m³/s) afluentes calculadas mediante utilização do SMAP (Cont).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1946	7,96	11,21	18,94	21,78	4,82	6,07	0,20	0,03	0,00	0,01	0,05	0,56	5,97
1947	1,65	4,25	17,79	33,41	14,85	1,33	1,35	0,48	0,04	0,01	1,35	3,04	6,63
1948	2,13	4,83	10,50	7,97	6,61	2,16	2,03	0,15	0,24	0,02	0,00	0,26	3,08
1949	0,37	3,19	6,62	8,10	4,43	2,20	1,21	0,61	0,04	0,01	0,53	0,23	2,30
1950	1,52	3,21	16,78	28,23	6,88	0,90	0,56	0,02	0,03	0,00	0,05	0,55	4,89
1951	0,36	0,65	2,06	4,46	3,56	3,92	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	1,30
1952	0,23	0,82	3,01	6,26	3,47	0,24	0,11	0,02	0,00	0,00	0,03	0,06	1,19
1953	0,11	0,26	1,21	5,36	0,88	0,34	0,05	0,01	0,00	0,00	0,01	0,12	0,70
1954	0,03	1,46	7,34	4,35	8,42	1,49	0,05	0,02	0,01	0,00	0,19	0,00	1,95
1955	1,07	2,23	11,99	40,15	8,94	1,24	0,14	0,11	0,00	0,09	0,04	0,17	5,51
1956	0,20	3,52	27,45	20,90	3,71	1,11	0,62	0,59	0,09	0,00	0,02	0,20	4,87
1957	2,06	1,02	5,36	20,05	9,54	1,67	0,93	0,03	0,00	0,06	0,02	0,36	3,42
1958	0,91	0,70	0,74	1,16	2,22	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,52
1959	0,24	2,60	10,04	8,39	10,89	2,71	0,73	1,13	0,06	0,00	0,12	0,00	3,07
1960	0,18	0,68	7,39	7,21	1,92	2,29	0,99	0,03	0,00	0,02	0,00	0,16	1,74
1961	1,52	21,58	26,02	27,91	10,66	3,39	0,30	0,10	0,00	0,00	0,15	0,44	7,67
1962	1,72	3,92	11,33	7,79	6,72	2,01	0,37	0,06	0,00	0,00	0,18	0,32	2,87
1963	1,71	3,01	25,95	25,95	2,38	0,57	1,15	0,09	0,03	0,00	0,16	0,88	5,16
1964	3,19	18,93	14,40	38,00	29,38	2,09	0,42	1,05	0,41	0,03	0,01	0,00	8,99
1965	0,59	0,63	8,16	36,48	16,15	10,37	0,38	0,08	0,47	0,79	0,00	0,11	6,18
1966	0,11	1,25	2,24	4,08	2,16	1,23	0,59	0,13	0,06	0,00	0,03	0,07	1,00
1967	0,09	0,92	8,31	16,13	22,81	2,39	1,01	0,45	0,86	0,05	0,01	0,21	4,44
1968	0,67	1,01	5,59	9,06	14,91	0,75	0,70	0,18	0,00	0,03	0,00	0,49	2,78
1969	0,57	1,17	3,39	9,73	2,42	2,84	3,11	0,25	0,00	0,02	0,01	0,02	1,96
1970	0,29	0,40	2,52	3,51	1,27	0,60	0,66	0,05	0,09	0,01	0,10	0,01	0,79
1971	0,40	1,25	5,53	11,06	15,62	4,67	2,23	0,38	0,04	0,44	0,01	0,00	3,47
1972	0,15	0,44	1,58	3,76	3,45	1,90	0,67	0,21	0,00	0,01	0,00	0,09	1,02
1973	2,27	2,95	12,89	41,22	19,87	12,77	6,67	0,46	0,67	0,37	0,04	0,52	8,39
1974	4,65	11,78	25,57	75,33	28,78	7,79	0,42	0,07	1,42	0,95	0,00	0,77	13,13
1975	0,86	3,87	14,52	10,94	21,95	8,36	2,72	0,91	0,53	0,01	0,01	1,37	5,50
1976	1,20	6,13	8,94	12,39	3,65	1,46	0,54	0,05	0,19	0,27	0,09	0,05	2,91
1977	1,04	1,64	5,13	9,27	6,72	3,10	1,22	0,21	0,04	0,01	0,00	0,31	2,39
1978	1,38	0,88	1,38	7,13	4,65	0,38	2,70	0,05	0,16	0,02	0,36	0,23	1,61
1979	0,52	0,70	1,67	1,68	3,35	1,15	0,22	0,05	0,06	0,02	0,05	0,01	0,79
1980	0,12	2,16	4,15	2,39	0,94	0,83	0,05	0,01	0,14	0,02	0,07	0,07	0,91

Tabela A. 9 - Série de vazões (m³/s) afluentes calculadas mediante utilização do SMAP (Cont).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1981	0,30	0,43	4,58	2,31	2,94	0,26	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,28	0,94
1982	0,29	1,34	2,51	3,72	2,08	0,74	0,28	0,06	0,03	0,02	0,15	0,07	0,94
1983	0,04	0,59	1,25	1,38	0,29	0,09	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31
1984	0,12	0,47	4,74	16,01	22,61	4,95	0,58	0,31	0,07	0,18	0,03	0,20	4,19
1985	2,59	11,86	23,49	35,43	28,13	11,93	3,75	0,56	0,81	0,01	0,01	1,41	10,00
1986	1,98	5,81	22,89	40,70	19,04	7,92	2,16	0,61	0,36	0,17	0,91	0,22	8,56
1987	0,65	0,56	12,89	3,63	1,30	2,87	0,74	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	1,89
1988	0,35	1,38	9,21	24,36	13,68	5,58	0,06	0,12	0,05	0,00	0,02	0,94	4,65
1989	2,03	1,44	8,56	25,31	19,86	2,79	3,45	1,18	0,05	0,00	0,00	1,94	5,55
1990	0,59	3,99	5,47	7,07	8,57	1,76	0,85	0,07	0,03	0,00	0,57	0,01	2,42
1991	0,91	2,00	11,44	10,38	9,15	1,63	1,02	0,09	0,00	0,03	0,00	0,00	3,06
1992	0,42	1,40	4,52	6,95	0,66	0,67	0,08	0,02	0,00	0,01	0,00	0,04	1,23
1993	0,25	0,52	1,58	3,13	1,86	0,54	1,13	0,03	0,03	0,02	0,00	0,09	0,77
1994	3,54	7,79	14,58	34,89	14,13	21,41	0,83	0,37	0,01	0,00	0,00	1,50	8,25
1995	1,68	6,84	13,62	26,72	21,92	6,67	2,70	0,19	0,00	0,14	0,24	0,22	6,74
1996	2,78	2,71	12,13	33,72	3,47	1,96	0,79	1,25	0,00	0,09	0,73	0,12	4,98
1997	0,50	0,77	3,28	5,93	5,49	0,00	0,17	0,02	0,00	0,00	0,00	0,07	1,35
1998	1,56	0,63	5,19	2,81	3,40	0,86	0,26	0,03	0,00	0,00	0,00	0,09	1,24
1999	0,60	2,06	5,97	5,49	6,31	0,97	0,21	0,00	0,00	0,00	0,13	0,17	1,83
2000	1,09	2,96	6,16	16,81	1,36	2,36	1,71	0,67	0,20	0,01	0,00	0,15	2,79
2001	0,43	0,68	1,84	9,66	1,58	0,90	0,06	0,00	0,00	0,00	0,05	0,08	1,27
2002	0,69	0,29	2,67	4,44	1,80	1,61	0,16	0,00	0,00	0,00	0,02	0,11	0,98
2003	0,28	1,39	4,77	8,35	2,62	1,61	0,08	0,07	0,00	0,15	0,00	0,17	1,62
2004	3,73	13,65	8,52	5,88	4,73	3,97	2,47	0,30	0,00	0,00	0,00	0,10	3,61
2005	0,40	0,48	3,14	3,85	3,95	1,76	0,12	0,00	0,00	0,00	0,01	0,16	1,16
2006	0,04	0,35	2,89	5,39	5,98	2,73	0,06	0,04	0,00	0,00	0,00	0,13	1,47
2007	0,16	1,81	1,35	7,25	1,30	1,69	0,08	0,03	0,00	0,05	0,00	0,03	1,15
2008	0,62	1,01	5,52	20,94	9,67	1,39	0,38	0,53	0,13	0,00	0,01	0,05	3,35
2009	0,96	2,49	9,33	31,14	30,57	11,32	2,74	0,52	0,00	0,00	0,00	0,06	7,43
2010	0,45	0,17	0,45	2,00	2,67	0,92	0,03	0,00	0,00	0,58	0,02	0,74	0,67
Média	1,10	3,57	9,77	16,43	10,32	3,34	0,99	0,26	0,11	0,08	0,11	0,33	4,50
D. Padrão	1,3	4,4	8,8	13,9	11,1	3,7	1,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,5	3,0
CV	1,2	1,2	0,9	0,8	1,1	1,1	1,2	1,7	2,1	2,2	2,2	1,6	0,7

Tabela A. 10 – Lâmina escoada superficialmente sobre a bacia hidrográfica.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1912	0,00	3,32	47,79	240,00	610,41	24,40	17,26	15,27	5,85	0,00	0,49	0,72	965,51
1913	2,44	21,28	254,49	173,12	196,04	55,98	21,37	12,53	1,43	2,70	0,03	6,42	747,81
1914	19,48	70,98	104,39	132,68	51,36	67,39	23,43	22,11	1,04	2,81	0,26	0,00	495,93
1915	2,74	4,02	4,55	12,60	5,51	3,07	0,16	0,39	0,02	0,01	0,00	1,92	34,99
1916	7,15	15,63	65,09	108,92	54,85	36,90	2,90	0,00	0,00	0,06	2,25	2,57	296,34
1917	23,82	70,25	256,46	193,20	265,34	27,75	11,64	1,27	0,08	0,64	11,38	7,93	869,74
1918	34,46	31,79	113,55	65,97	235,62	50,39	2,73	15,50	0,47	0,00	0,00	0,06	550,54
1919	1,29	5,67	8,00	2,97	6,43	1,41	0,38	0,04	0,46	0,00	0,00	0,03	26,69
1920	0,15	0,50	18,90	66,18	44,98	25,83	9,81	1,43	0,00	0,06	1,00	7,12	175,96
1921	10,34	45,37	159,15	189,26	214,16	72,28	52,23	0,11	0,97	2,56	4,85	0,74	752,01
1922	5,98	14,77	68,02	206,28	123,96	54,12	14,90	3,28	0,33	0,00	1,74	0,44	493,81
1923	8,99	69,93	108,47	158,93	24,78	24,14	8,36	0,36	0,07	0,08	1,65	0,29	406,06
1924	8,58	37,04	138,06	283,72	234,69	104,64	4,40	0,53	0,37	2,76	0,54	16,44	831,78
1925	19,59	37,02	204,52	380,24	122,44	16,32	15,17	0,28	0,28	5,02	1,45	1,27	803,60
1926	13,05	64,39	205,61	327,26	117,15	8,61	1,59	0,00	0,55	0,00	0,01	0,02	738,24
1927	4,31	13,69	42,09	245,55	31,62	13,78	7,30	0,65	0,21	0,19	0,25	0,59	360,22
1928	6,40	3,18	22,97	66,10	15,04	5,77	2,37	0,20	0,13	0,06	0,22	1,97	124,40
1929	8,37	58,24	391,11	255,12	220,28	77,38	5,25	3,26	0,68	1,93	0,17	2,31	1024,11
1930	16,27	31,62	56,29	70,88	7,14	62,75	0,78	0,13	0,22	1,73	0,44	0,21	248,46
1931	2,49	12,52	51,74	87,47	25,30	1,86	1,70	1,38	0,00	0,00	0,00	0,06	184,50
1932	1,69	10,06	8,56	8,15	2,07	2,90	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,92
1933	0,76	3,31	27,21	179,40	27,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,58	239,21
1934	6,88	74,49	322,08	177,96	339,37	37,06	0,00	0,00	0,00	0,00	5,06	9,97	972,87
1935	43,47	123,14	173,18	395,83	192,93	29,50	3,52	1,58	1,81	0,16	0,00	5,03	970,13
1936	5,29	51,09	30,57	93,41	62,81	23,95	0,04	0,00	0,00	0,00	0,13	0,03	267,32
1937	0,81	26,73	40,90	130,55	128,71	29,67	16,12	0,39	2,74	0,16	0,53	1,36	378,67
1938	9,05	8,61	67,12	208,97	32,65	10,68	5,67	0,00	0,57	0,03	0,00	2,40	345,76
1939	3,63	48,50	135,97	117,50	50,48	18,47	20,93	1,38	5,03	5,08	0,33	1,05	408,35
1940	7,00	30,79	104,28	345,27	143,04	111,77	14,36	1,47	0,09	0,33	0,00	1,54	759,94
1941	0,98	11,68	37,63	105,50	44,69	11,86	4,59	3,13	0,39	0,00	0,69	1,32	222,45
1942	0,20	2,47	21,30	23,80	12,33	1,18	0,05	0,00	0,00	0,08	0,10	0,77	62,27
1943	3,63	3,37	30,10	61,24	49,06	11,15	11,54	0,23	0,42	0,00	0,68	2,71	174,12
1944	4,23	6,95	60,61	65,42	110,04	12,23	7,04	0,31	0,16	0,03	0,00	19,33	286,36
1945	34,31	148,48	165,42	175,66	134,33	37,30	11,20	3,55	3,53	1,82	0,37	1,71	717,69

Tabela A. 11 - Lâmina escoada superficialmente sobre a bacia hidrográfica (Cont.).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1946	67,86	86,32	161,48	179,75	41,09	50,06	1,66	0,27	0,00	0,07	0,39	4,80	593,76
1947	14,05	32,77	151,72	275,69	126,62	10,97	11,53	4,08	0,31	0,09	11,11	25,93	664,87
1948	18,15	38,55	89,55	65,73	56,38	17,84	17,29	1,26	2,00	0,18	0,00	2,23	309,16
1949	3,16	24,59	56,48	66,86	37,81	18,17	10,35	5,17	0,36	0,04	4,39	1,98	229,35
1950	12,95	24,69	143,08	232,92	58,69	7,45	4,78	0,20	0,24	0,00	0,42	4,70	490,11
1951	3,11	5,02	17,59	36,84	30,37	32,37	3,53	0,00	0,00	0,00	0,00	1,81	130,64
1952	1,94	6,58	25,70	51,64	29,56	1,97	0,90	0,18	0,00	0,00	0,21	0,47	119,15
1953	0,95	2,02	10,33	44,20	7,52	2,80	0,44	0,08	0,00	0,00	0,06	1,02	69,42
1954	0,22	11,23	62,59	35,93	71,80	12,27	0,44	0,21	0,09	0,00	1,60	0,00	196,38
1955	9,08	17,19	102,21	331,33	76,23	10,25	1,16	0,90	0,00	0,79	0,34	1,41	550,90
1956	1,73	28,08	234,05	172,45	31,61	9,17	5,33	5,07	0,78	0,00	0,13	1,70	490,10
1957	17,59	7,89	45,67	165,45	81,38	13,81	7,92	0,23	0,00	0,49	0,16	3,03	343,63
1958	7,73	5,41	6,33	9,59	18,97	3,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	51,69
1959	2,02	20,01	85,63	69,22	92,88	22,35	6,19	9,62	0,47	0,00	1,01	0,00	309,41
1960	1,55	5,46	63,05	59,46	16,35	18,86	8,46	0,24	0,00	0,17	0,02	1,40	175,02
1961	12,96	166,18	221,86	230,34	90,89	28,00	2,56	0,86	0,00	0,00	1,24	3,76	758,64
1962	14,63	30,19	96,63	64,30	57,28	16,62	3,14	0,48	0,00	0,00	1,44	2,69	287,40
1963	14,57	23,19	221,28	214,17	20,34	4,71	9,83	0,76	0,22	0,00	1,33	7,48	517,87
1964	27,19	151,04	122,83	313,59	250,50	17,26	3,61	8,98	3,38	0,22	0,10	0,03	898,73
1965	5,06	4,88	69,62	301,02	137,69	85,54	3,20	0,65	3,86	6,74	0,00	0,95	619,22
1966	0,90	9,63	19,08	33,66	18,41	10,12	5,01	1,15	0,51	0,02	0,23	0,59	99,32
1967	0,80	7,10	70,84	133,10	194,50	19,74	8,57	3,83	7,06	0,41	0,04	1,81	447,81
1968	5,70	8,05	47,65	74,74	127,17	6,21	5,94	1,52	0,00	0,24	0,02	4,16	281,40
1969	4,89	8,98	28,92	80,28	20,62	23,47	26,54	2,12	0,00	0,15	0,12	0,17	196,27
1970	2,49	3,10	21,49	28,97	10,85	4,94	5,59	0,39	0,76	0,06	0,82	0,12	79,58
1971	3,41	9,59	47,15	91,26	133,21	38,55	18,99	3,22	0,35	3,78	0,11	0,01	349,64
1972	1,28	3,55	13,44	30,99	29,45	15,69	5,74	1,75	0,00	0,08	0,00	0,79	102,76
1973	19,33	22,70	109,93	340,12	169,42	105,36	56,87	3,88	5,54	3,19	0,33	4,42	841,09
1974	39,62	90,69	218,02	621,69	245,39	64,28	3,59	0,64	11,75	8,09	0,01	6,53	1310,31
1975	7,35	29,78	123,81	90,28	187,14	68,98	23,22	7,74	4,36	0,10	0,06	11,68	554,50
1976	10,21	48,91	76,26	102,26	31,14	12,07	4,57	0,46	1,53	2,33	0,70	0,44	290,87
1977	8,90	12,67	43,77	76,54	57,32	25,54	10,40	1,76	0,31	0,05	0,01	2,63	239,90
1978	11,74	6,75	11,73	58,81	39,63	3,13	22,98	0,39	1,34	0,15	2,99	2,00	161,66
1979	4,43	5,38	14,25	13,88	28,52	9,50	1,92	0,39	0,47	0,16	0,43	0,07	79,41
1980	0,98	17,27	35,38	19,74	8,05	6,83	0,41	0,09	1,16	0,14	0,58	0,59	91,21

Tabela A. 12 - Lâmina escoada superficialmente sobre a bacia hidrográfica (Cont.).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1981	2,60	3,31	39,06	19,04	25,05	2,13	0,00	1,49	0,02	0,00	0,01	2,35	95,06
1982	2,48	10,29	21,38	30,66	17,71	6,11	2,36	0,52	0,26	0,15	1,27	0,63	93,83
1983	0,36	4,57	10,68	11,36	2,44	0,77	0,12	0,18	0,00	0,02	0,00	0,03	30,54
1984	1,01	3,78	40,45	132,09	192,81	40,89	4,91	2,64	0,60	1,51	0,25	1,67	422,61
1985	22,11	91,36	200,28	292,40	239,89	98,42	32,01	4,78	6,69	0,04	0,05	12,05	1000,08
1986	16,90	44,75	195,15	335,88	162,38	65,34	18,41	5,20	2,98	1,45	7,50	1,86	857,82
1987	5,53	4,28	109,91	29,97	11,11	23,72	6,28	0,00	0,05	0,06	0,00	0,08	190,98
1988	3,00	11,04	78,57	201,04	116,62	46,07	0,50	0,99	0,38	0,00	0,18	8,02	466,40
1989	17,30	11,13	73,02	208,83	169,33	23,02	29,43	10,08	0,43	0,00	0,00	16,54	559,10
1990	5,05	30,72	46,61	58,38	73,10	14,54	7,29	0,63	0,24	0,00	4,73	0,08	241,37
1991	7,79	15,39	97,59	85,68	78,00	13,47	8,69	0,75	0,00	0,27	0,04	0,00	307,67
1992	3,57	11,17	38,55	57,35	5,62	5,54	0,70	0,15	0,00	0,09	0,00	0,38	123,11
1993	2,10	4,04	13,51	25,83	15,83	4,48	9,65	0,23	0,24	0,17	0,04	0,76	76,89
1994	30,23	59,99	124,36	287,91	120,47	176,64	7,07	3,15	0,06	0,00	0,00	12,75	822,64
1995	14,35	52,68	116,10	220,47	186,96	55,04	23,03	1,59	0,00	1,22	1,99	1,88	675,30
1996	23,74	21,58	103,46	278,26	29,55	16,16	6,75	10,68	0,00	0,79	6,02	1,00	498,00
1997	4,29	5,94	27,96	48,94	46,84	0,00	1,43	0,19	0,00	0,00	0,00	0,58	136,17
1998	13,28	4,85	44,29	23,21	29,03	7,06	2,21	0,25	0,00	0,01	0,00	0,74	124,91
1999	5,13	15,87	50,91	45,30	53,80	8,03	1,75	0,00	0,02	0,00	1,08	1,41	183,30
2000	9,30	23,63	52,53	138,74	11,56	19,45	14,60	5,72	1,65	0,04	0,00	1,24	278,47
2001	3,65	5,25	15,72	79,68	13,43	7,43	0,52	0,00	0,00	0,00	0,40	0,70	126,79
2002	5,88	2,27	22,73	36,62	15,33	13,31	1,38	0,00	0,00	0,00	0,17	0,95	98,63
2003	2,38	10,74	40,71	68,90	22,32	13,31	0,65	0,58	0,00	1,27	0,00	1,44	162,30
2004	31,81	108,86	72,62	48,51	40,32	32,75	21,03	2,58	0,00	0,00	0,00	0,85	359,31
2005	3,45	3,70	26,76	31,76	33,68	14,51	1,00	0,00	0,00	0,00	0,12	1,41	116,37
2006	0,35	2,71	24,62	44,44	50,99	22,50	0,53	0,32	0,00	0,00	0,00	1,07	147,53
2007	1,37	13,92	11,54	59,84	11,07	13,93	0,71	0,25	0,00	0,40	0,00	0,29	113,33
2008	5,29	8,06	47,05	172,79	82,45	11,47	3,21	4,52	1,11	0,00	0,09	0,42	336,46
2009	8,22	19,20	79,55	256,97	260,65	93,43	23,33	4,40	0,00	0,00	0,00	0,52	746,28
2010	3,86	1,31	3,86	16,50	22,75	7,63	0,24	0,00	0,00	4,91	0,15	6,28	67,49
Média	9,4	27,7	83,3	135,5	88,0	27,6	8,4	2,2	0,9	0,7	0,9	2,8	387,5
D. Padrão	11,0	34,2	75,4	114,3	94,4	30,5	10,2	3,8	1,9	1,5	2,0	4,5	295,5
CV	1,2	1,2	0,9	0,8	1,1	1,1	1,2	1,7	2,1	2,2	2,2	1,6	0,8