

0	Fevereiro/2023	Emissão inicial	
Emissão	Data	Descrição	
<div>  <div> ineia instituto estadual do ambiente </div> <div> Secretaria do Ambiente e Sustentabilidade </div>  <div> GOVERNO DO ESTADO RIO DE JANEIRO </div>  </div>			
GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE			
PROJETO BÁSICO DE MACRODRENAGEM E URBANIZAÇÃO MÃE D'ÁGUA – CACHOEIRAS DE MACACU			
RELATÓRIO DE ESTUDO HIDROLÓGICO			
DATA Fev./2023	AUTOR/IDENT. Erick Santana Amâncio 201338619 – CREA - RJ	NÚMERO DO DOCUMENTO DRM-BBGB-PCM-MMD-0-IEA-K001-RT	01/01

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. OBJETO E LOCALIDADE	3
3. DADOS E MÉTODOS.....	6
3.1. CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS E CLIMATOLÓGICAS DA BACIA.....	6
3.2. SÉRIES HISTÓRICAS E CHUVA DE PROJETO	8
3.3. MÉTODO SCS-CN.....	10
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	15
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21
REFERÊNCIAS	21

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório trata-se dos estudos hidrológicos preliminares da bacia urbana localizada no município de Cachoeiras de Macacu, no bairro Vilage, esta área de contribuição será denominada aqui como Bacia córrego Mãe d'Água.

O trabalho integral tem por objetivo obter informações necessárias para que seja possível determinar as contribuições para essa área de acumulação que coleta de alguns corpos hídricos, essas informações subsidiarão o projeto hidráulico que, por sua vez, definirá vazão máxima para os tempos de recorrência de 10, 25 e 50 anos. A partir desses valores será possível desenvolver um estudo hidráulico que redefinirá seções de escoamento capazes de comportar a vazão de projeto para TR 25 anos, não transbordamento para TR 50. Essas seções serão coerentes, quando possível, com a urbanização prevista para o local.

2. OBJETO E LOCALIDADE

O objeto deste trabalho é elaboração de projeto básico de macrodrenagem em trecho de, aproximadamente, 552 metros do córrego Mãe D'Água, afluente do Rio Macacu, que se estende ao longo da Rua 18, no bairro Vilage, em Cachoeiras de Macacu-RJ, conforme quadro de coordenadas abaixo e mapa da Figura 1.

Tabela 1: Coordenadas do trecho de interesse no córrego Mãe d'Água

INÍCIO	-22.570823°
	-42.697192°
FIM	-22.571710°
	-42.702111°

O município de Cachoeiras de Macacu (Figura 2) está inserido na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, com população estimada de cerca 60 mil habitantes e 954.749 km², segundo o IBGE, distrito único, após criação da Lei Complementar 0039/2015, que transformou seus três distritos (Cachoeiras, Japuíba e Subaio) em um único distrito-sede. O município dista, aproximadamente, 110 km da capital do Rio de Janeiro, com acesso principal pelas rodovias BR-101, BR-116, Rodovia Presidente João Goulart e Estrada Rio-Friburgo.

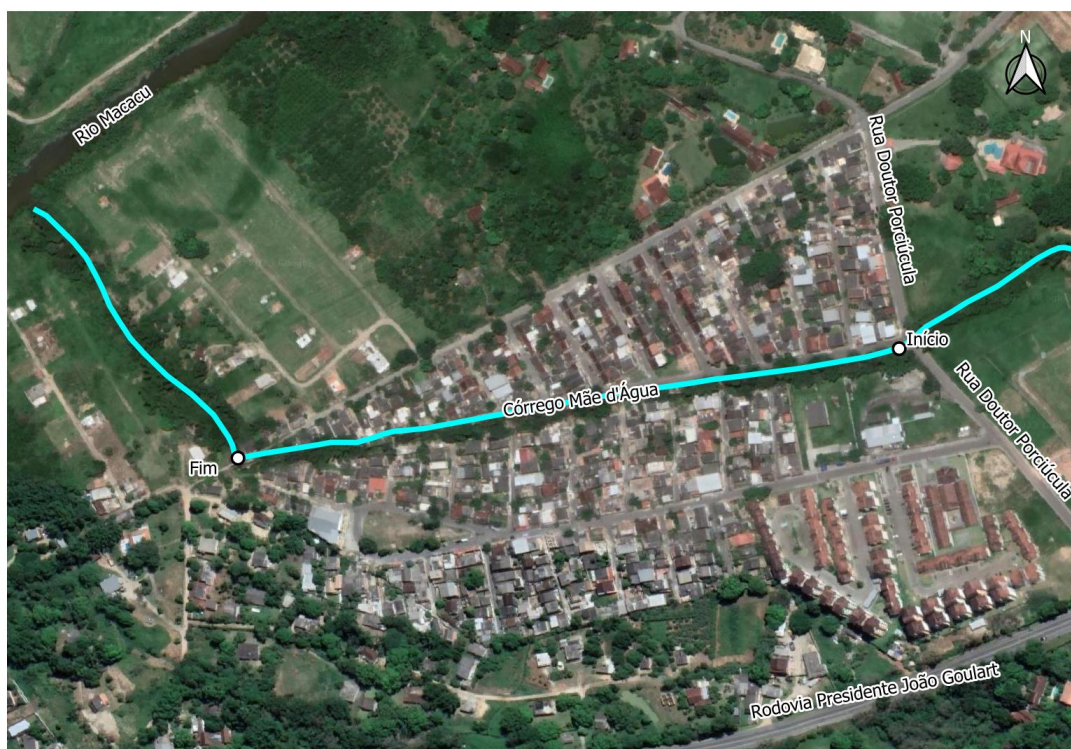


Figura 1: Localização do córrego Mãe d'Água

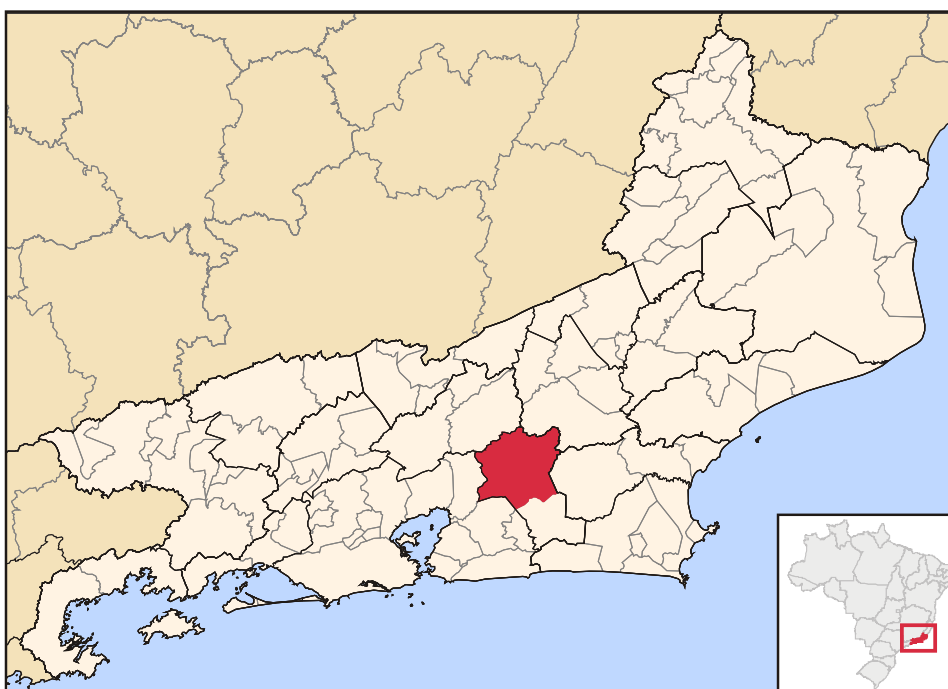


Figura 2: Localização do município de Cachoeira de Macacu no estado do Rio de Janeiro (Fonte: Wikimedia Commons, 2006)

Trata-se de um município muito procurado para prática de esportes radicais em montanhas e rapel além do ecoturismo. Parte de seu território encontra-se situado nos limites do Parque Estadual dos Três Picos, onde Cachoeiras de Macacu responde por 66% da área da unidade de conservação.

O município é atravessado pelo Rio Macacu, o maior rio que deságua na Baía de Guanabara, tanto em extensão quanto em volume d'água. É uma cidade dividida, a região sul tem características de baixada, e a parte norte, de serra e faz parte da Serra Verde Imperial.

O Córrego Mãe D'água está inserido na RH V - Baía de Guanabara (Figura 3), e pertence a bacia hidrográfica dos rios Guapi-Macacu, que possui uma área de drenagem de cerca de 1.640 km². É um afluente da margem esquerda do rio Macacu, principal corpo hídrico da cidade e contribuinte do rio Guapimirim, cujo desague se faz na Baía de Guanabara. A nascente se dá na Serra do Soarinho, a leste do vale por onde corre o Rio Macacu. No trecho inicial, atravessa áreas de mata, agricultura e pastos, respectivamente, até cruzar a rodovia BR-116.

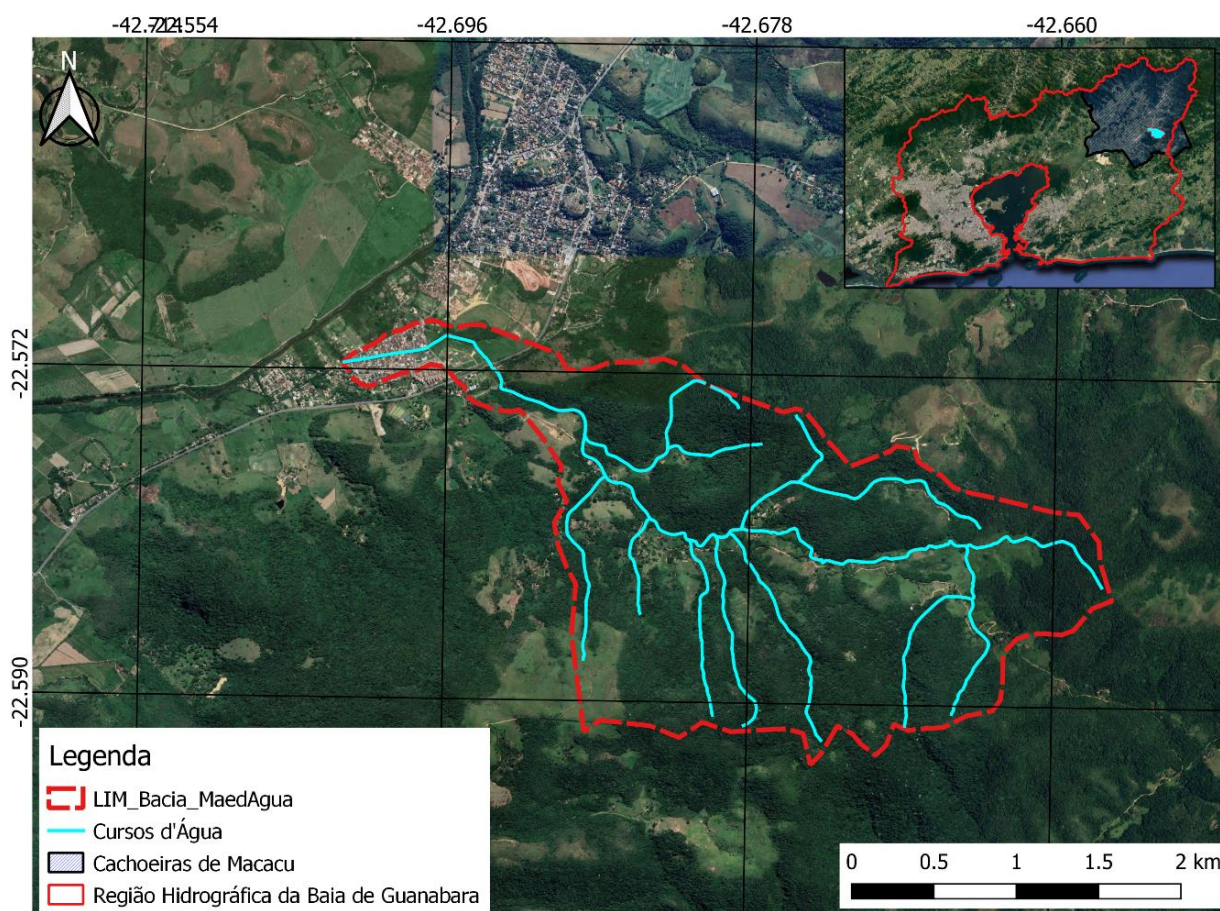


Figura 3: Bacia do córrego Mãe d'Água afluente do Rio Macacu

3. DADOS E MÉTODOS

Esta etapa buscou referenciar todos os dados e detalhar os métodos utilizados neste estudo, buscando atender o objetivo principal deste, que é determinar a chuva de projeto para aqui denominada Bacia do Córrego Mãe d'Água.

Para atender a esses objetivos foram realizadas seguintes atividades:

- a) caracterização fisiográfica;
- b) tipo, uso e ocupação do solo;
- c) determinação da chuva de projeto;
- d) estimativa do hidrograma de projeto.

3.1. CARACTERÍSTICAS FISIográfICAS E CLIMATOLÓGICAS DA BACIA

A Bacia do córrego Mãe d'Água abrange uma área aproximada de 5,9 km² (Erro! Fonte d e referência não encontrada.), encontra-se totalmente inserida na Bacia do Rio Macacu. O talvegue, perímetro da bacia e o desnível são, respectivamente, cerca de 4,8km, 13,2km e 215m, o que proporciona a declividade média de 4,44%. A partir desses valores é possível determinar o Fator de Forma (Equação 1) e o Índice de Compacidade da Bacia (Equação 2).

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (\text{Equação 1})$$

$$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{A^{\frac{1}{2}}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde, K_f é o coeficiente de forma da bacia, quando mais próximo de 1 maior a sujeição à cheia da bacia hidrográfica (

Tabela 2); A é a área da bacia e L é o comprimento do talvegue principal; K_c é o coeficiente de forma ou Índice de Gravelius e quanto mais próximo de 1 mais radial é a bacia e maior a sua tendência a enchentes (

Tabela 3), por fim, P é o perímetro da bacia hidrográfica.

Tabela 2 – Fator de Forma de uma bacia hidrográfica

K_f	Características da Bacia
1 – 0,75	Bacia Sujeita à enchentes
0,75 – 0,50	Bacia com tendência mediana a enchentes
< 0,50	Bacia não sujeita à enchentes

Tabela 3 – Coeficiente de Compacidade de uma bacia hidrográfica

K_c	Características da Bacia
1 – 1,25	Bacia com alta propensão a grandes enchentes
1,25 – 1,50	Bacia com tendência mediana a grandes enchentes
>1,50	Bacia não sujeita a grandes enchentes

A Bacia córrego Mãe d'Água possui fator de forma igual a 0,3 e Coeficiente de Compacidade equivalente a 1,5, ou seja, esta é uma bacia que não é sujeita a enchente, possui declividade acentuada, isto faz com que o curso hídrico acumule energia cinética ao longo do curso o que proporciona velocidades altas, sujeitando a bacia a um escoamento supercrítico e ressaltos hidráulicos.

Para verificação da chuva média mensal utilizou-se a série histórica do Posto Jaupuíba (Código da Estação: 2242014), cujos dados são disponibilizados pela Agência Nacional de Águas no banco dados HydroWeb. Esta série possui 39 anos de dados consistidos (1967 a 2005). A temporada chuvosa da Bacia córrego Mãe D'Água está entre os meses de dezembro e janeiro, onde a precipitação média 271,5 mm/mês, enquanto a temporada mais seca está entre os meses de junho e agosto, onde a precipitação acumulada média equivale à 59,1 mm/mês. A partir da Figura 4 possível observar a distribuição das séries de precipitações acumuladas mensais para o Posto Pluviométrico Japuiba.

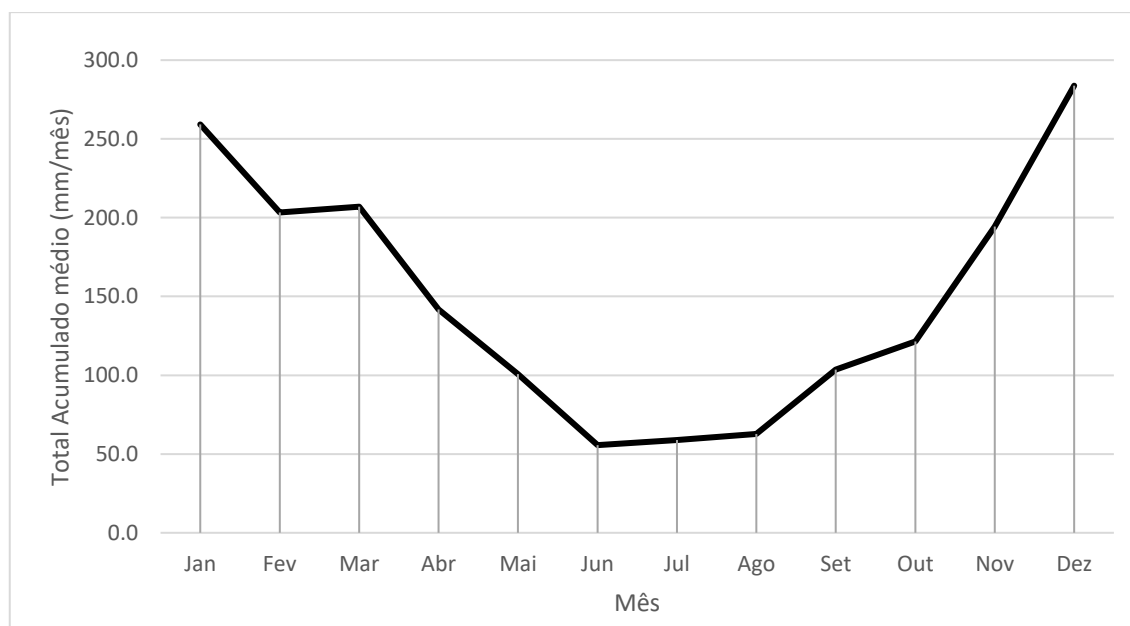


Figura 4: Precipitação acumulada total média mensal para o posto pluviométrico Japuiba.

Segundo IBGE (2001) tipo de solo predominante na região é argiloso ou muito argiloso caracterizado como Cambissolo Háplico, segundo Sartori, Lombardini Neto e Genovez (2005) é um solo com alta capacidade de geração de escoamento.

Quanto ao uso e ocupação do solo, a partir do mapeamento das Regiões Hidrográficas na escala 1:25.000 disponibilizado na Base de Dados Geoespaciais Geolnea (INEA, 2019) há seis classes de uso e ocupação de solo: Área Antrópicas Indiscriminadas (0,21%) , Florestas (65,41%), Pasto (29,76%), Solo Exposto (0,30%), Área Urbana de Média Densidade (2,19%) e Vegetação Arbórea-Arbustiva (2,13%).

3.2. SÉRIES HISTÓRICAS E CHUVA DE PROJETO

Para o dimensionamento de dispositivos de drenagem se faz necessário avaliar o comportamento de uma bacia hidrológica mediante a um evento extremo ou de chuvas intensas, pois pode-se determinar uma vazão de projeto, sendo essa essencial para o dimensionamento desses dispositivos hidráulicos (CALDEIRA et al., 2015).

Os eventos extremos de precipitação foram estimados a partir de séries históricas pluviométricas disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>) e Sistema Alerta Rio (<http://alertario.rio.rj.gov.br/>). Dessas séries foram obtidos os valores máximos de precipitação de diárias de cada ano, foram calculadas as médias (Equação 3), desvio-padrão amostral (Equação 4) e assimetria (Equação 5).

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{Equação 3})$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (\text{Equação 4})$$

$$A = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad (\text{Equação 4})$$

Para estimar as precipitações máximas por tempo de recorrência a Eletrobras (1987) recomenda o uso de Gumbel para coeficiente de assimetria positiva e inferior a 1,5, caso contrário, recomenda-se o uso da Distribuição Exponencial de Dois Parâmetros. Para o estudo de precipitações máximas serão utilizadas as séries de postos pluviométricos que estão próximos à Bacia Zona dos Canais, a escolha da chuva de projeto será àquela que resultar no melhor modelo chuva-vazão que será elaborado nos estudos hidráulicos.

A distribuição de Gumbel tem sido bastante utilizada e recomendada para modelagem probabilística de valores extremos, Caldeira et al. (2015) e Mello e Silva (2005) recomendam diversos artigos que realizam análise de séries pluviométricas e fluviométricas que utilizam essa distribuição. Neste estudo será utilizada a distribuição de Gumbel (Equações 5), cujos parâmetros de escala e forma serão definidos pelo método dos momentos, que é descrito por Naghetti e Pinto (2007).

$$x = \bar{x} - 0,45 \cdot s - 0,7797 \cdot s \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_r} \right) \right] \quad (\text{Equação 5})$$

Para o dimensionamento dos dispositivos de drenagem se faz necessária a utilização de dados de chuva com duração uma hora, contudo não há pluviômetros dentro da bacia estudada, por isso achou-se preferível utilizar o método sugerido por Torga-Torrico que a partir das estações pluviográficas brasileiras analisadas por Pfafstetter determinou oito regiões (isozonas) de comportamento de chuvas intensas (Tabela 4 e

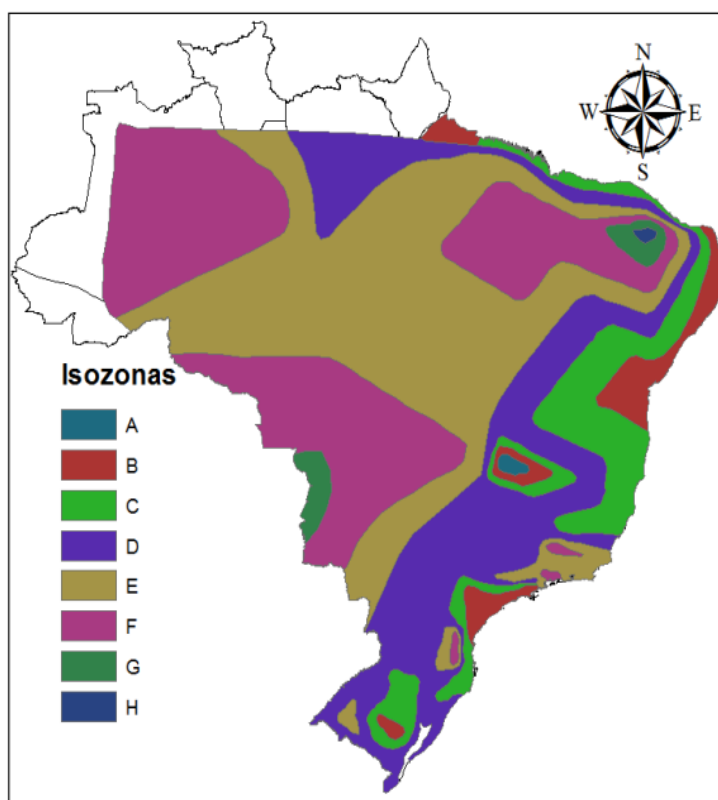


Figura 5). Para determinar a chuva de projeto se faz necessário determinar para cada tempo de recorrência:

- a) a precipitação de 24 horas multiplicando por um fator de correção, considerado igual a 1,1;
- b) a precipitação de 1 hora, a partir relação chuva de 1 hora e 24 horas (Tabela 4);

- c) e, por fim, determinar uma equação logarítmica no formato $y = a \cdot \ln x + b$, onde y é o total de precipitação e x é a duração da chuva. Esta equação será definida a partir de dois pontos, para duração e intensidade da chuva de 1 hora e 24 horas.

A partir da equação logarítmica é possível determinar a precipitação horária, que, por sua vez, será utilizada para determinar o hietograma e hidrograma de projeto.

Tabela 4 – Coeficientes de desagregação das chuvas associadas às isozonas

Isozonas	Relação 1 hora/24 horas de Chuva										6min/24h	
	TR (anos)										TR (anos)	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10000	5-50	100
A	0,362	0,358	0,356	0,355	0,354	0,353	0,350	0,347	0,336	0,325	0,070	0,063
B	0,381	0,378	0,375	0,374	0,373	0,372	0,369	0,366	0,354	0,343	0,084	0,075
C	0,401	0,397	0,395	0,393	0,392	0,391	0,388	0,384	0,372	0,360	0,098	0,088
D	0,420	0,416	0,414	0,412	0,411	0,410	0,407	0,403	0,390	0,378	0,112	0,100
E	0,440	0,436	0,433	0,432	0,430	0,429	0,426	0,422	0,409	0,396	0,126	0,112
F	0,460	0,455	0,453	0,451	0,449	0,448	0,445	0,441	0,427	0,413	0,139	0,124
G	0,479	0,474	0,472	0,470	0,468	0,467	0,464	0,459	0,445	0,431	0,154	0,137
H	0,499	0,494	0,491	0,489	0,488	0,486	0,483	0,478	0,463	0,448	0,167	0,149

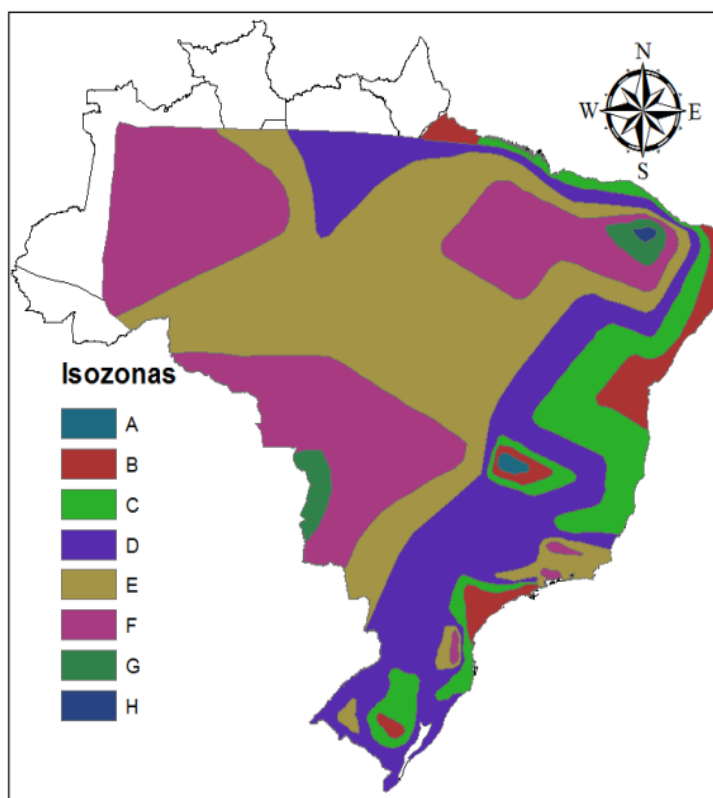


Figura 5 – Isozonas propostas por Taborga-Torríco (1974)

3.3. MÉTODO SCS-CN

O método SCS-CN foi desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solo (SCS - *Soil Conservation Service*), atualmente chamado de Serviço de Conservação de Recursos Naturais (NRCS - *Nature Resource Conservation Service*) na década de 1950, sendo ele resultado de pesquisa de campo em bacias rurais não monitoradas, que visavam estimar o escoamento superficial a partir de dados pluviométricos de diversas bacias (CHIMENE, 2019). Posteriormente seu uso foi expandido e difundido, sendo muito utilizado no Brasil, por exemplo, sendo indicado para bacias que possuem áreas entre 2km² e 5.000km².

Este método é um procedimento que gerará como resultado um hidrograma sintético curvilíneo adimensional, que por sua forma pode ser entendido como hidrograma unitário triangular (GRIBBIN, 2014; CHIMENE, 2019). A vazão estará em função do parâmetro CN (*curve number*) que consiste na relação entre um dado de evento extremo e as condições pedológicas da bacia hidrográfica no cálculo do escoamento superficial (Tabela 5), ou seja, a quantidade excedente de água que não ficou retida na bacia hidrográfica resultando em um curso d'água (CHIMENE, 2019). O SCS-CN descreve quatro tipos hidrológicos de solo (

Tabela 6), são eles:

Tabela 5: Diferentes tipos de solo classificados quanto a capacidade infiltração

Tipos de Solo	Descrição
Grupo A	Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a uns 8% não havendo rocha nem camadas argilosas, e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%
Grupo B	Solos franco arenosos (franco) menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, 1,2 a 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até

	1,5 m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superior.
Grupo C	Solos barrentos (franco siltoso ou franco argiloso arenoso) com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2 m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5 m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade.
Grupo D	Solos argilosos (30 a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável, ou horizonte de seixos rolado

Adaptado de (PORTELA, 2006; CHIMENE, 2019)

Tabela 6: Diferentes tipos de solo classificados quanto a capacidade infiltração

Tipos de Uso de Solo/Tratamento/Condições Hidrológicas		Grupo Hidrológico			
		A	B	C	D
Uso Residencial					
Tamanho médio do lote	% Impermeável				
Até 500m ²	65	77	85	90	92
1000m ²	38	61	75	83	87
1500m ²	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados		98	98	98	98
Ruas e estradas:					
pavimentadas, com guias e drenagem		98	98	98	98
com cascalho		76	85	89	91
de terra		72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Distritos industriais (70% de impermeabilização)		81	88	91	93
Espaços abertos, parques, jardins:					
Boas condições, cobertura de grama>75%		39	61	74	80
Condições médias, cobertura de grama>50%		49	69	79	84

Pastos condições:				
Ruins	68	79	86	89
Médias	49	69	79	84
Boas	39	61	74	80
Curvas de nível condições:				
Ruins	47	67	81	88
Médias	49	25	75	83
Boas	6	35	70	79
Campos em condições boas	30	58	71	78
Florestas em condições:				
Ruins	45	66	77	83
Médias	36	60	73	79
Boas	25	55	70	77

Adaptado de (RIO ÁGUAS, 2019)

A vazão de pico do hidrograma unitário Q_p , cuja unidade é m^3/s , pode ser definida pela Equação 6.

$$Q_p = \frac{c \cdot A}{t_p} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde, A é a área da bacia hidrográfica em km^2 , t_p é o tempo de pico do hidrograma unitário dado em horas e c é uma constante que calculada pela Equação 7. Essa constante representa o volume de precipitação efetiva P_e (mm) que também está associada ao hidrograma unitário sintético.

$$c = \frac{P_e}{4,8} \quad (\text{Equação 7})$$

Para precipitação unitária, ou seja, para chuva efetiva unitária de 1mm a Equação 6 converte-se em:

$$Q_p = \frac{0,2083 \cdot A}{t_p} \quad (\text{Equação 8})$$

O tempo de pico (Equação 9) será função da duração da chuva D dada em mm (sendo calculada e do tempo de retardo da chuva (Equação 10), dada em mm.

$$t_p = \frac{D}{2} + t_R \quad (\text{Equação 9})$$

$$t_R = 0,6 \cdot t_c \quad (\text{Equação 10})$$

A duração D da chuva efetiva unitária recomendada para definição do hidrograma unitário sintético (HUS) é 20% do tempo de pico, não devendo exceder 25% do tempo de pico

(PORTELA, 2006). Viessman e Lewis (1996, *apud* ibidem) propõem que o tempo de duração deve ser próximo a 13,3% do tempo de concentração, não excedendo 17,1%, estando em conformidade às recomendações para HUS.

Para determinação do tempo de concentração é recomendado utilizar as fórmulas de Carter, Schaake, Kirpich ou Desbordes para bacias urbanas (SILVEIRA, 2005), essas estão descritas na Tabela 7.

Tabela 7 – Fórmulas de Tempo de Concentração (t_c) recomendadas para bacias urbanas

Fórmula	t_c (h)	Área (ha)
Carter	$0,0977 \cdot L^{0,6} \cdot S^{-0,3}$	0,2 à 1070
Schaake	$0,0828 \cdot L^{0,24} \cdot S^{-0,16} \cdot A_{imp}^{-0,26}$	0,1 à 62
Kirpich	$0,0633 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$	4 à 2620
Desbordes	$0,0869 \cdot A^{0,3039} \cdot S^{-0,3832} \cdot A_{imp}^{-0,4523}$	0,2 à 5100

Onde, L é o comprimento do talvegue em quilômetros, S é a declividade em m/m, A_{imp} é a relação entre área impermeável e a área da bacia, A é a área da bacia em km².

A precipitação foi ajustada a partir das Isozonas propostas por Taborga-Torrico (1974) foram discretizadas a partir da duração da chuva unitária, que tem que estar entre os limites de máximo ou mínimo determinado por Viessman e Lewis (1996, *apud* PORTELA, 2006). As nomenclaturas utilizadas neste trabalho discriminar a chuva foi:

- precipitação pontual – chuva obtida a partir da equação de chuva de projeto para o tempo de recorrência almejado;
- precipitação pontual desacomulada;
- precipitação pontual reordenada – a precipitação é reordenada utilizado o método de blocos alternados;
- precipitação reordenada acumulada – chuva reordenada acumulada (P_a);
- precipitação efetiva – total de chuva acumulada que não infiltra ou fica retida e gera escoamento superficial (P_e), que pode ser calculado pela Equação 11 e Equação 12:

$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde, S é a retenção potencial do solo e quando $P_a < 0,20 \cdot S$ a precipitação efetiva

equivale a zero, quando esta desigualdade não for verdade, ou seja, $S \geq 0,20 \cdot P_a$:

$$P_e = \frac{(P_a - 0,20 \cdot S)^2}{P_a + 0,8 \cdot S} \quad (\text{Equação 12})$$

f) precipitação efetiva desaccumulada.

Após a definição da chuva efetiva desaccumulada é possível determinar as ordenadas de um hidrograma a partir da convolução de hidrograma unitários. Abaixo descreve-se a relação entre precipitação acumulada efetiva e escoamento superficial:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_1 = p_{e_1} \cdot Q_{P_1} \\ Q_2 = p_{e_2} \cdot Q_{P_1} + p_{e_2} \cdot Q_{P_2} \\ Q_3 = p_{e_3} \cdot Q_{P_1} + p_{e_2} \cdot Q_{P_2} + p_{e_1} \cdot Q_{P_3} \\ Q_4 = p_{e_4} \cdot Q_{P_1} + p_{e_3} \cdot Q_{P_2} + p_{e_2} \cdot Q_{P_3} + p_{e_1} \cdot Q_{P_4} \\ \vdots \\ Q_n = p_{e_n} \cdot Q_{P_1} + p_{e_{n-1}} \cdot Q_{P_2} + p_{e_{n-2}} \cdot Q_{P_3} \dots p_{e_1} \cdot Q_{P_n} \\ Q_{n+1} = p_{e_{n+1}} \cdot Q_{P_1} + p_{e_n} \cdot Q_{P_2} + p_{e_{n-1}} \cdot Q_{P_3} \dots p_{e_1} \cdot Q_{P_{n+1}} \\ Q_{n+2} = p_{e_{n+2}} \cdot Q_{P_1} + p_{e_{n+1}} \cdot Q_{P_2} + p_{e_n} \cdot Q_{P_3} \dots p_{e_1} \cdot Q_{P_{n+2}} \\ \vdots \\ Q_m = \dots p_{e_i} \cdot Q_{m-n+i+2} \dots p_{e_4} \cdot Q_{P_{m-n-2}} + p_{e_3} \cdot Q_{P_{m-n-1}} + p_{e_2} \cdot Q_{P_{m-n}} + p_{e_1} \cdot Q_{P_{m-n+1}} \end{array} \right. \quad (\text{Equação 13})$$

Pode-se representar a equação da convolução de forma discreta (Equação 14):

$$Q_j = \sum_{i=1}^{j \leq n} p_{e_i} \cdot Q_{P_{(j-i+1)}} \quad (\text{Equação 14})$$

Sendo, $j = 1, \dots, m$; $Q_{P_{j-i+1}} = 0$ para $j - i + 1 > m - n + 1$ e, por fim, $P_i = 0$ quando $i > n$.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Para determinação da chuva de projeto utilizou-se os dados posto pluviométrico Japuíba, que entre dados consistidos e não consistidos possui uma série histórica de 54 anos, sendo assim possível determinar a precipitação máxima por dia a partir da Equação 5 e determinar os valores para TR 10, 25 e 50 anos.

Tabela 8: Tempo de concentração estimados para Bacia córrego Mãe d'Água

Tempo de Concentração (anos)	Intensidade de Precipitação (mm/dia)
10	120
25	135
50	147

Para determinação da chuva de projeto utilizou-se o método das isozonas de Taborga-Torrigo, dado o tempo de concentração e as características físicas da bacia, achou-se preferível determina a relação 6min/24horas. A Bacia córrego Mãe d'Água está localizada na isozona E, cujo coeficiente que representa esta área é 0,126. Desta forma, foi possível determinar uma equação logarítmica que define a intensidade da chuva em mm/hora para TR 10, 25 e 50 anos.

Para definição da área total de contribuição da bacia foram utilizadas curvas nível disponibilizadas pelo INEA. Essas isolinhas têm resolução de 1 metro, como o talvegue principal está inserido em uma região de declividade acentuada, os cursos hídricos que contribuem para formação do Córrego Mãe d'Água são bem definidos, como pode-se observar na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Na Tabela 9 resume as características físicas da Bacia córrego Mãe d'Água.

Tabela 9: Resumo das características físicas da Bacia córrego Mãe d'Água

Área de drenagem	5,9 km ²
Comprimento do Talvegue Principal	13,2km
Desnível	215m

Para determinar a capacidade do solo para gerar escoamento superficial o Rio-Águas (2019) recomenda o CN para quatro grupos hidrológicos. Aquele que é compatível com tipo de solo da bacia hidrográfica em questão é o Grupo C, que é utilizado para solos argilosos que estão longe das condições de impermeabilidade. A condição de umidade do solo utilizada foi para um solo medianamente úmido, com precipitação acumulada em cinco dias entre 15 e 40mm. A Tabela 10 correlaciona as CN com o uso e ocupação do solo e pode-se calcular o CN a partir da média ponderada cujo valor para esta bacia equivale à 71,5.

Tabela 10: Correlação entre uso e ocupação do solo e o Curva-Número (CN) e a área ocupada na Bacia córrego Mãe d'Água

Uso do Solo	Área (km ²)	Área (%)	CN
Florestas	3,861	65,41%	70,0
Pasto	1,757	29,76%	74,0
Vegetação Arbustiva	0,126	2,13%	70,0
Urbana de Média Densidade	0,129	2,19%	83,0
Antro. Indiscriminadas	0,012	0,21%	90,0
Solo Exposto	0,018	0,30%	74,0
Média Ponderada			71,5

Esses valores são suficientes para definir o tempo de concentração da bacia hidrográfica. Para Schaake e Debordes é necessário determinar a área impermeável da bacia (Área Urbana e Antropológicas Indiscriminadas) a Tabela 11 resume os valores calculados para bacia em questão. A equação de Debordes em outros levantamentos para bacia com características semelhantes quanto a forma e declividade vem fornecendo valores adequados para bacia, por isso, neste estudo adotou-se Debordes e o tempo de concentração para bacia será 2,66 horas.

Tabela 11: Tempos de concentração para bacia Córrego Mãe d'Água

Tempo de Concentração	
Método	hora
Carter	0,64
Schaake	0,53
Kirpich	0,74
Debordes	2,66

Os limites para duração de chuva unitária serão definidos a partir do tempo de concentração, sendo o tempo mínimo e máximo, respectivamente, 13,3% e 17,1% do tempo de concentração. Os valores de mínimo e máximo são 0,35 h e 0,46h, nesta ordem. Esses valores são suficientes para determinar os dados de entrada do hidrograma unitário, que foram agrupados na Tabela 12.

Tabela 12: Dados de entrada para definição do hidrograma unitário

Tempo de Concentração (h)	2,66
Duração da Chuva Unitária (h)	0,35
Duração de chuva adotada (h)	0,37
<i>Lag Time</i> (h)	0,89
Tempo de pico (h)	1,78
Tempo de Base (h)	4,75
Vazão de Pico Unitária ($m^3/(s \cdot mm)$)	0,69
Retenção potencial do solo	101,10

A partir dos valores supracitados foi possível determinar o hietograma e hidrograma de projeto para os TR 10, 25 e 50 anos (Figuras 6 a 8).

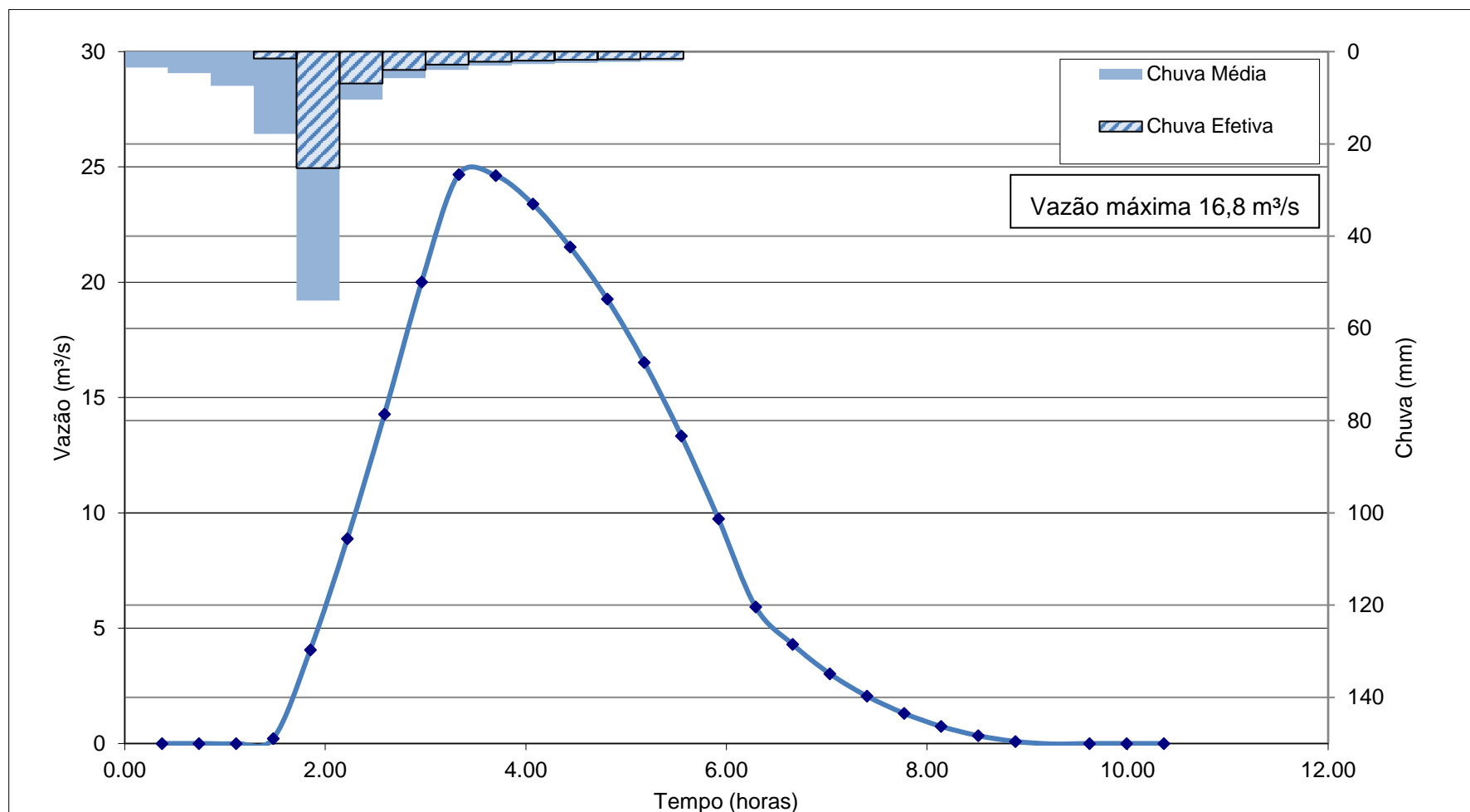


Figura 6: Hidrograma e hietograma de projeto para Tempo de Recorrência 10 anos

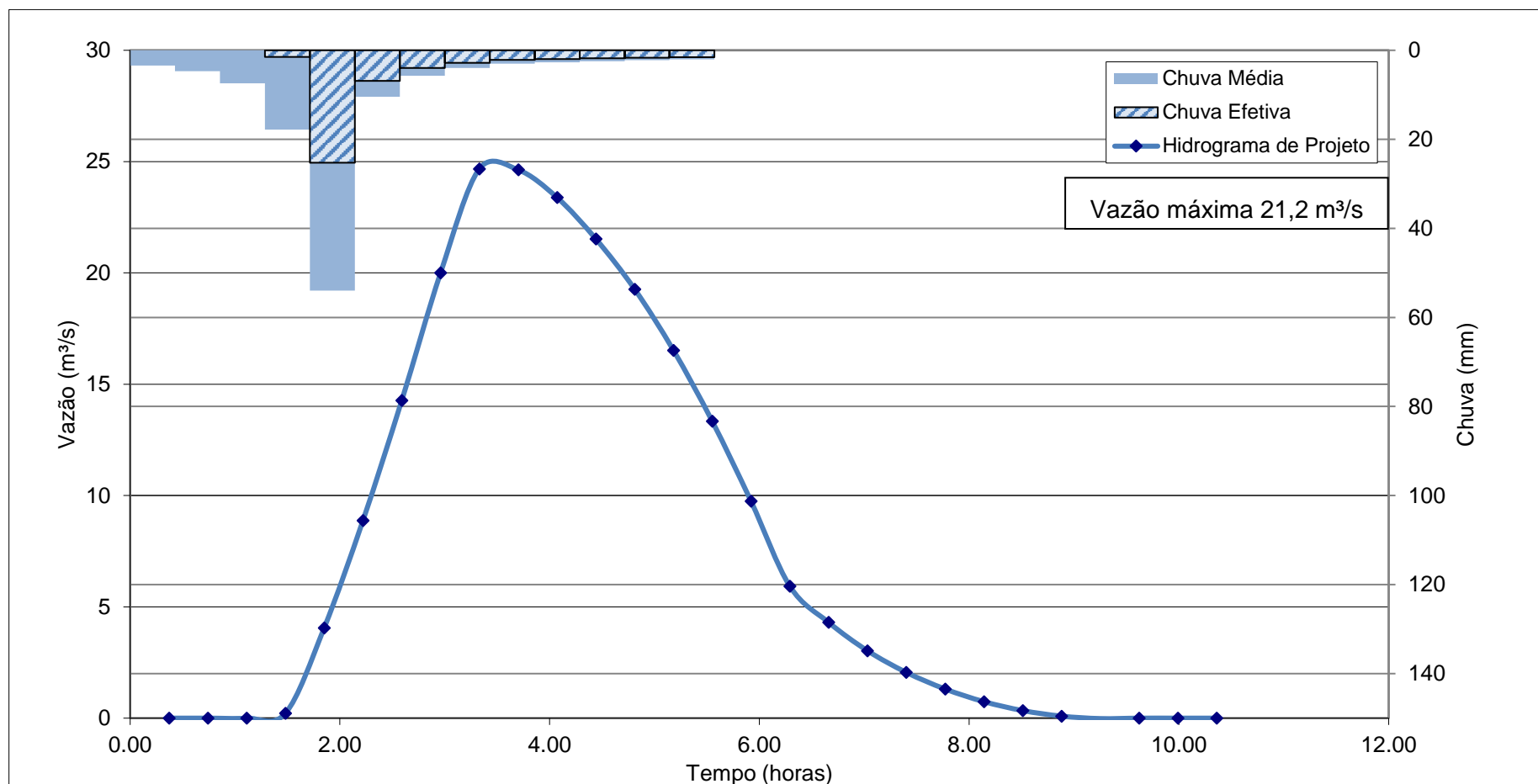


Figura 7: Hidrograma e hietograma de projeto para Tempo de Recorrência 25 anos

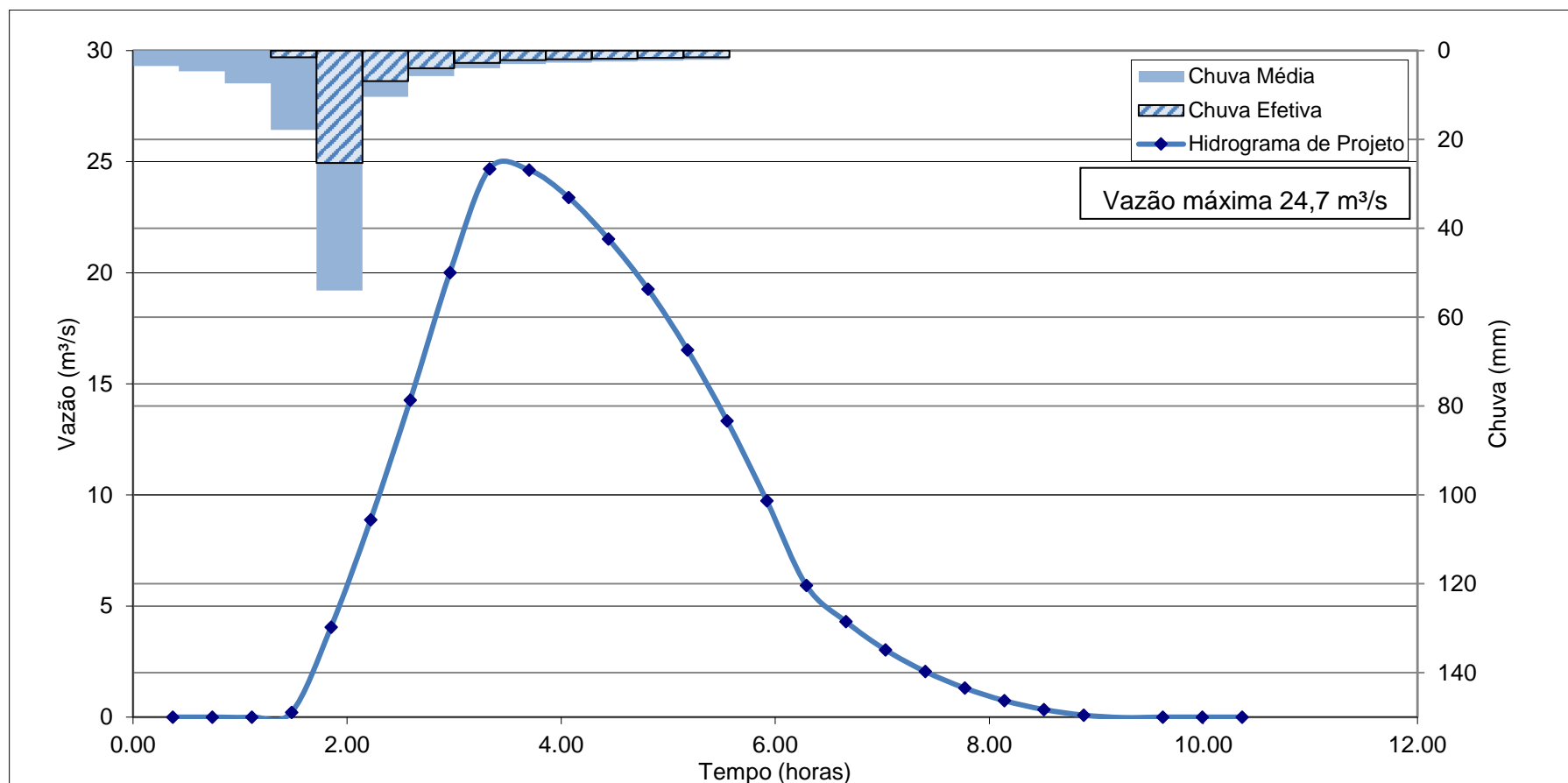


Figura 8: Hidrograma e hietograma de projeto para Tempo de Recorrência 50 anos

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo apresentou as metodologias utilizadas para definição da vazão de projeto, que servirá para dimensionar os dispositivos de macrodrenagem. A Bacia córrego Mãe d'Água não apresenta conformação típica daquelas que apresentam riscos de inundação tanto o Fator de Forma quanto o Índice de Conformação confirmam esta hipótese.

Em uma visita realizada no dia 15 de fevereiro de 2023, abordou-se alguns residentes, esses relataram que em momentos muito chuvosos o córrego Mãe d'Água não transborda. Contudo, a declividade neste córrego é acentuada e os efeitos da colisão do corpo hídrico com os elementos estruturas da travessia são evidentes, a travessia mais a montante do córrego dentro da área de interesse de projeto, encontra-se com pilares trincados e verifica-se uma estrutura anterior a essa foi solapada. Mais a jusante em outra travessia há uma singularidade, o canal faz uma curva e as margens são protegidas por enrocamento, o que permite que o curso hídrico colida com a margem sem erodi-la.

Para o projeto hidráulico, recomenda-se que as estruturas de drenagem sejam mais eficientes em reduzir a energia cinética do corpo hídrico em pontos mais a montante, de forma que em eventos de cheia o canal seja capaz de transportar TR 25 e 50 anos sem causar danos a infraestrutura das travessias e do futuro canal.

REFERÊNCIAS

Caldeira, Tamara L.; Beskow, Samuel; Mello, Carlos R.; Faria, Lessandro C.; Souza, Mayara R. e Guedes, Hugo A. S. Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 197-203, 2015.

CHIMENE, Antônio Catine. Cheia de projeto: equacionando os períodos de retorno obtidos de cheia de projeto com hietogramas sintéticos a cheia de projeto obtido de chuvas observadas, 2019

GRIBBIN, John E. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. Cengage Learning, 2014.

IBGE. **IBGE - EMBRAPA - Mapa de Solos do Brasil**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/amb_data/Shapefiles/soloEmbrapa.zip>. Acesso em: 12 março 2023.

INEA – Base de Dados Geoespaciais. Disponível em: <https://inea.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=00cc256c620a4393b3d04d2c34acd9ed>. Acesso em: 12 março 2023.

MELLO, Carlos Rogério de; SILVA, Antônio Marciano da. Métodos estimadores dos parâmetros da distribuição de Gumbel e sua influência em estudos hidrológicos de projeto. **Irriga**, v. 10, n. 4, p. 334-350, 2005.

NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber José de Andrade. **Hidrologia estatística**. CPRM, 2007.

Rio Águas. Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana. **Subsecretaria de gestão de bacias hidrográficas–Rio Águas, Secretaria Municipal de Obras, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, 2010.**

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 2 : Aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 19–29, 2005.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **RBRH: revista brasileira de recursos hídricos. Porto Alegre, RS: ABRH. Vol. 10, n. 1 (jan./mar. 2005), p. 5-23, 2005.**

USACE. **HEC-HMS**: User's Guide. Davis - CA: US Army Corps of Engineering, HEC, v. 4.10, 2021

WIKIMEDIA – Rio de Janeiro – Município de Cachoeiras de Macacu. Disponível em: File:RiodeJaneiro Municip CachoeirasdeMacacu.svg - Wikimedia Commons. Acesso em: 13 março 2023.