

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**ALCENOR FERREIRA DE MELO JUNIOR**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO RIACHO BACURI POR MEIO  
DAS CURVAS COTA-VOLUME**

**Taubaté-SP  
2022**

**ALCENOR FERREIRA DE MELO JUNIOR**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO RIACHO BACURI POR  
MEIO DAS CURVAS COTA-VOLUME**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Ciências Ambientais

Orientador: Profº Dr. Marcelo dos Santos Targa

**Taubaté-SP  
2022**

**Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI  
Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBi  
Universidade de Taubaté - UNITAU**

M528a Melo Junior, Alcenor Ferreira de  
Análise do comportamento do Riacho Bacuri por meio das  
curvas cota-volume / Alcenor Ferreira de Melo Junior. -- 2022.  
98 f. : il.

Monografia (mestrado) - Universidade de Taubaté,  
Departamento de Ciências Agrárias, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa.  
Departamento de Ciências Agrárias.

1. escoamento superficial. 2. Imperatriz-MA. 3. inundação. I.  
Universidade de Taubaté. Departamento de Ciências  
Agrárias. Mestrado em Ciências Ambientais. II. Título.

CDD 631.7

# ALCENOR FERREIRA DE MELO JUNIOR

## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO RIACHO BACURI POR MEIO DAS CURVAS COTA-VOLUME

Dissertação apresentada para obtenção do  
Título de Mestre em do título de mestre em  
Ciências Ambientais do Programa de Pós-  
Graduação em Ciências Ambientais da  
Universidade de Taubaté

Área de Concentração: Ciências Ambientais

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Marcelo dos Santos  
Targa

Data: \_\_\_\_\_

Resultado: Aprovado

### BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa (Orientador)

UNITAU

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dra. Adriana Mascarette Labinas

UNITAU

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Celso de Souza Catelani

IPABHi

Assinatura \_\_\_\_\_

## RESUMO

Entre os impactos da urbanização desordenada está o aumento da frequência e magnitude das inundações, gerando consequências ambientais e econômicas às cidades, além de colocar em risco a vida da população. A determinação de cotas de inundação é uma das formas de antecipar a ocorrência de enchentes de minimizar seus impactos. O Riacho Bacuri é um dos riachos que cortam a cidade de Imperatriz (MA) que apresenta maior impacto ambiental, social e econômico nos períodos de chuvas intensas, ocasionando grande transtorno à população devido ao seu transbordamento, causando inundações em vários pontos da cidade. Diante disso, o presente estudo objetivou verificar o comportamento de cota e vazão do Riacho Bacuri, Imperatriz (MA) por meio do cálculo das curvas cota-volume, determinando a cota de enchente da bacia. Com isso, estimou-se o escoamento superficial por meio do método curva número do Nature Resources Conservation Service - USDA; analisou-se quais bacias mais contribuem para a ocorrência de enchentes em Imperatriz-MA. O método adotado para obtenção da capacidade de retenção e de vazão foi o I-PAI-WU. Para obtenção da curva cota-volume, adotou-se o procedimento do Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE-SP). Os resultados apontam que, as bacias que possuem maior coeficiente de escoamento superficial (C) são as bacias Central e a Bacuri, com  $C = 1$  e  $C = 0,830$ , respectivamente. Considerando que a bacia bacuri possui uma área de  $14,68 \text{ km}^2$ , ela é a que mais contribui para a ocorrência de enchentes e inundações no município. A bacia Bacuri é um afluente da bacia do Rio Tocantins, e sua área apresenta os solos do tipo Neossolo e Luvisolo, caracterizados por baixa capacidade de infiltração de água e ocupados, predominantemente, por infraestrutura urbana, o que corrobora o alto valor de coeficiente de escoamento superficial encontrado. A partir da curva cota-volume, e da precipitação para um período de retorno de 100 anos, que o volume de inundação da bacia Bacuri equivale a  $861.661,77 \text{ m}^3$ , atingindo a cota de inundação em 104,55 metros, ocasionando vários problemas a população e necessitando da ação da defesa civil. A partir desses resultados, recomenda-se a adoção de políticas para o de conservação e de congelamento de áreas, na bacia do Bacuri e nas demais bacias do município.

Palavras-chaves: Escoamento superficial; Imperatriz-MA; inundação.

## ABSTRACT

Among the impacts of disorderly urbanization is the increase in the frequency and magnitude of floods, generating environmental and economic consequences for cities, in addition to putting the lives of the population at risk. The determination of flood quotas is one of the ways of anticipating the occurrence of floods and minimizing their impacts. Bacuri Creek is one of the streams that cross the city of Imperatriz (MA) that has the greatest environmental, social and economic impact in periods of heavy rains, causing great inconvenience to the population due to its overflow, causing floods in several parts of the city. Therefore, the present study aimed to verify the behavior of water level and flow of Riacho Bacuri, Imperatriz (MA) through the calculation of level-volume curves, determining the flood level of the basin. With this, the surface runoff was estimated using the number curve method of the Nature Resources Conservation Service - USDA; it was analyzed which basins most contribute to the occurrence of floods in Imperatriz-MA. The method adopted to obtain the retention and flow capacity was the I-PAI-WU. To obtain the volume-level curve, the procedure of the Department of Water and Electric Energy of the State of São Paulo (DAEE-SP) was adopted. The results indicate that the basins that have the highest coefficient of surface runoff (C) are the Central and Bacuri basins, with  $C = 1$  and  $C = 0.830$ , respectively. Considering that the bacuri basin has an area of  $14.68 \text{ km}^2$ , it is the one that most contributes to the occurrence of floods in the municipality. The Bacuri basin is a tributary of the Tocantins River basin, and its area has Neosol and Luvisolo soils, characterized by low water infiltration capacity and predominantly occupied by urban infrastructure, which corroborates the high value of the coefficient of surface runoff found. From the level-volume curve, and the precipitation for a return period of 100 years, the flood volume of the Bacuri basin is equivalent to  $861,661.77 \text{ m}^3$ , reaching the flood level at 104.55 meters, causing several problems to population and requiring civil defense action. Based on these results, it is recommended the adoption of policies for the conservation and freezing of areas, in the Bacuri basin and in the other basins of the municipality.

Keywords: Surface flow; Empress-MA; inundation.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Equações para determinar a velocidade média na vertical.....	20
Tabela 2 - Exemplo de valores para determinação da curva cota-área-volume .....	28
Tabela 3 - Médias de temperatura e precipitação por mês em Imperatriz-MA.....	46
Tabela 4 - Balanço hídrico de Imperatriz-MA .....	46
Tabela 5 - Áreas das bacias hidrográficas de Imperatriz-MA .....	48
Tabela 6 - Dados morfométricos da Bacia Bacuri .....	53
Tabela 7 - Curva Número da bacia Bacuri .....	53
Tabela 8 - Cálculo do escoamento superficial e tempo de concentração da bacia Bacuri.....	54
Tabela 9 - Cálculo da precipitação efetiva e coeficiente de escoamento volumétrico da bacia Bacuri .....	54
Tabela 10 - Dados para cálculo da intensidade de chuva da bacia Bacuri .....	55
Tabela 11 – Parâmetros determinados para a Bacia Bacuri.....	55
Tabela 12 – Dados morfométricos da Bacia Cacau .....	56
Tabela 13 - Curva Número do Rio Cacau .....	57
Tabela 14 – Parâmetros determinados para a Bacia Cacau .....	58
Tabela 15 – Dados morfométricos da bacia Cacauzinho .....	59
Tabela 16 - Curva Número da bacia Cacauzinho.....	60
Tabela 17 – Parâmetros determinados para a Bacia Cacauzinho.....	60
Tabela 18 - Dados morfométricos da bacia Capivara.....	61
Tabela 19 - Curva Número da bacia Capivara .....	62
Tabela 20 – Parâmetros determinados para a Bacia Capivara .....	62
Tabela 21 - Dados morfométricos da bacia Central .....	63
Tabela 22 - Curva Número da bacia Central .....	64
Tabela 23 – Parâmetros determinados para a Bacia Central .....	64
Tabela 24 - Dados morfométricos da bacia Norte .....	65
Tabela 25 - Curva Número da bacia Norte.....	66
Tabela 26 – Parâmetros determinados para a Bacia Norte.....	66
Tabela 27 - Resumo de dados morfométricos das bacias.....	67
Tabela 28 - Resumo dos parâmetros determinados para as bacias.....	68
Tabela 29 - Cota, área inundada e volume acumulado .....	71

Tabela 30 - Dados para cálculo das vazões pelo método I-PAI-WU .....	71
Tabela 31 - Dados para cálculo das vazões pelo método Chézy-Manning.....	72
Tabela 32 - Volume e cota de inundação .....	72



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do medidor eletromagnético .....	20
Figura 2 - Esquema do medidor ultra-sônico .....	21
Figura 3 - Diagrama com os métodos de estimativa de vazão de cheia .....	22
Figura 4 - Representação gráfica do método Uehara .....	24
Figura 5 - Volume de amortecimento de cheia .....	28
Figura 6 - Localização de Imperatriz, MA .....	36
Figura 7 - Bueiro da Rod. BR-010 .....	42
Figura 8 - Planta baixa dos bueiros da rod. BR-010 .....	42
Figura 9 - Hidrograma unitário triangular .....	43
Figura 10 - Mapa hipsométrico de Imperatriz-MA .....	44
Figura 11 - Mapa de declividade de Imperatriz-MA .....	45
Figura 12 - Balanço hídrico de Imperatriz-MA .....	47
Figura 13 - Localização das bacias hidrográficas em Imperatriz-MA .....	48
Figura 14 - Famílias em área de risco e atingidas por alagamentos (2009-2014) em Imperatriz-MA .....	49
Figura 15 - Uso e ocupação do solo de Imperatriz-MA .....	50
Figura 16 - Registro de enchentes na bacia Bacuri .....	51
Figura 17 - Riacho Bacuri .....	52
Figura 18 – Rio Cacaú .....	56
Figura 19 - Córrego Cacaúzinho .....	59
Figura 20 - Bacia Capivara .....	61
Figura 21 - Bacia Central .....	63
Figura 22 - Bacia Norte .....	65
Figura 23 - Curvas de nível da bacia Bacuri .....	70
Figura 24 - Cota de inundação x volume de inundação .....	73
Figura 25 - Área de inundação .....	74

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Precipitação Efetiva .....	37
Equação 2 - escoamento Superficial .....	38
Equação 3 - Curva Número Ponderado .....	38
Equação 4 - Intensidade de chuva .....	38
Equação 5 - Intensidade de chuva em Imperatriz .....	39
Equação 6 - Coeficiente de escoamento volumétrico.....	39
Equação 7 - Tempo de concentração .....	39
Equação 8 - Vazão de entrada.....	40
Equação 9 - coeficiente de escoamento superficial “run-off” .....	40
Equação 10 - Coeficiente de forma .....	41
Equação 11 - Fator de forma .....	41
Equação 12 - Fórmula de Chézy-Manning .....	41
Equação 13 - Cálculo de Volume .....	43

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
2	OBJETIVOS .....	15
2.1	Objetivos geral.....	15
2.2	Objetivos específicos .....	15
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1	Conceito e medidas de vazão.....	16
3.1.1	Método volumétrico ou método direto .....	17
3.1.2	Uso de Dispositivos de Geometria Regular.....	18
3.1.3	Medição com flutuadores .....	18
3.1.4	Método químico .....	19
3.1.5	Medição e integração da distribuição de velocidade .....	19
3.1.6	Método acústico .....	21
3.2	Métodos estimativos da vazão de cheia .....	22
3.2.1	Método racional .....	23
3.2.2	Método I-PAI-WU.....	23
3.2.3	Método prof. Kokei Uehara .....	24
3.2.4	Método do hidrograma unitário sintético .....	25
3.2.5	Método Gradex.....	25
3.3	Curva Cota-Área-Volume.....	25
3.4	Quantificação das chuvas.....	28
3.5	Solos .....	31
3.6	Morfometria .....	32
3.7	Atividades antrópicas.....	32
4	MATERIAL E MÉTODOS .....	36
4.1	Área de estudo .....	36
4.2	Coleta de dados .....	37

4.3	Análise dos dados .....	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
5.1	Relevo e declividade de Imperatriz-MA.....	44
5.2	Dados climatológicos de Imperatriz-MA.....	45
5.3	Bacias hidrográficas de Imperatriz.....	47
5.4	Riacho Bacuri .....	52
5.5	Rio Cacau.....	55
5.6	Córrego Cacauzinho .....	58
5.7	Riacho Capivara .....	60
5.8	Bacia Central .....	62
5.9	Bacia Norte.....	64
5.10	Cota-volume da Bacia Bacuri .....	70
6	CONCLUSÃO.....	76
	REFERÊNCIAS .....	77
	APÊNDICES .....	89
	APÊNDICE I - Cálculos referentes à bacia do Bacuri.....	89
	APÊNDICE II - Cálculos referentes à bacia do Cacau.....	90
	APÊNDICE III - Cálculos referentes à bacia do Cacauzinho .....	92
	APÊNDICE IV - Cálculos referentes à bacia da Capivara .....	93
	APÊNDICE V - Cálculos referentes à bacia Central .....	94
	APÊNDICE VI - Cálculos referentes à bacia Norte.....	95
	APÊNDICE VII - Cálculo de vazão de cheia da bacia Bacuri .....	96
	APÊNDICE VIII – Cálculo de vazão de saída da bacia Bacuri .....	97

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização às margens de rios e riachos, contribui para intensas modificações nesses locais. A irrestrita captação de água e a liberação de rejeitos sólidos e líquidos, ocasionando a poluição e principalmente inundações. Essas ocorrências em sua maioria são provocadas por fatores antrópicos, porém, também podem ser decorrentes de falhas humanas como erro de cálculos capazes de ocasionar a ruptura de barragens e diques, de estradas e ainda o assoreamento dos cursos d'água.

Segundo Rezende (2012) a urbanização de forma desordenada, a falta de planejamento e ocupação de loteamentos irregulares, associados à falta de políticas ambientais adequadas, têm causado a degradação progressiva das áreas de mananciais, bem como o aumento de áreas urbanizadas e impermeabilizadas, provocando impactos negativos significativos, à população e ao ecossistema. Convém destacar que o principal impacto se refere ao aumento da frequência e magnitude das inundações, gerando consequências ambientais e econômicas às cidades, além de colocar em risco a vida da população.

Diante dessas situações foi necessário modificar os princípios de drenagem urbana, tornando-as mais sustentáveis, considerando o armazenamento e o retardamento do escoamento superficial, a fim de prevenir e melhorar a distribuição das vazões ao longo dos anos, considerando as características hidrológicas naturais da bacia hidrográfica. Uma das alternativas para evitar as inundações é a detenção do escoamento superficial, que pode ser realizado por meio de práticas conservacionistas, como repovoamento florestal das áreas. Por outro lado, tem-se a regulação da vazão de entrada na bacia e de saída na calha, e também a determinação de cotas de inundação, a fim de minimizar os impactos (BRASIL, 2012).

Conforme Rezende (2012) é possível prever as áreas de inundações com base nas curvas de nível do terreno, declividade, utilização e ocupação do solo, além de dados hidrológicos e hidráulicos. Com base nessas informações podem-se elaborar as previsões de inundações. Nesse contexto, é comum a utilização de métodos para a extrapolação da curva-chave, além de mecanismos para medir a velocidade média do fluxo escoado, e é com base nessas informações que se torna possível estabelecer uma relação com o nível da água.

É de fundamental importância a compreensão desses fenômenos, pois eles determinam o comportamento dos fluxos de águas em rios e riachos. Convém mencionar que é preciso, ainda, levar em consideração as características físicas das bacias. Atualmente existem mecanismos de medição, além da correlação da cota-vazão, que permitem avaliar o comportamento do nível da água ao passar pela seção, servindo como um recurso na elaboração de planos para casos de enchentes e inundações.

Infelizmente, muitos métodos convencionais apresentam limitações na capacidade de medição e, por isso, os métodos indiretos, funcionam como um recurso importante para simular e projetar diferentes situações de transbordamento e alteração geográfica. Diante disso, diversos modelos matemáticos foram desenvolvidos para avaliar o escoamento em rios, o que permite estabelecer relações entre a cota-vazão nos trechos de riachos, especialmente nas áreas em que há a extrapolação da curva.

O município de Imperatriz (MA) é banhado por diversos riachos, porém o riacho Bacuri é o mais extenso, passando por diversos bairros da cidade, como Vila Esmeralda, Vila João Castelo, Parque das Palmeiras, Amazonas, Vila Redenção I e II, Vila Lobão, Parque Sanharol, Parati, Jardim Planalto, Jardim Lopes, Vila Nova, Jardim Imperatriz, Jardim São Luís, Aeroporto, Bacuri, Caema e União, bairros amplamente povoados (RIBEIRO, 2018). Por essa razão, diversos pontos da cidade sofrem com inundações e alagamentos em períodos de intensas chuvas.

O Riacho Bacuri é um dos riachos que cortam a cidade de Imperatriz (MA) que apresenta maior impacto ambiental, social e econômico nos períodos de chuvas intensas, ocasionando grande transtorno à população devido ao seu transbordamento, causando inundações em vários pontos da cidade.

Infelizmente, as inundações são decorrentes das modificações no escoamento. As ocupações das margens por habitações contribuíram para acelerar o processo erosivo, e conseqüentemente o assoreamento do leito do riacho, resultando nas inundações, cujos efeitos devem ser minimizados por meio de práticas de conservação da água e do solo, o que inclui o monitoramento de trechos dos riachos.

Tendo em vista que o método da curva cota-volume, permite calcular os volumes de entrada e de saída, obtendo assim, a cota de inundação, é uma importante ferramenta para estimar a vazão com um grau de precisão maior, e obter um controle do escoamento superficial, e das inundações em grande escala.

O presente estudo tem sua estrutura desenvolvida da seguinte forma: A primeira seção apresenta a introdução, contemplando a questão norteadora da pesquisa, relevância e justificativa do trabalho. Na segunda seção são apresentados os objetivos geral e específicos. A terceira seção traz o referencial teórico usado nesse estudo, ou seja, as bases teóricas destacando os conceitos e argumentações que nortearão a pesquisa no processo de levantamento e análise dos dados.

Na quarta seção desenvolve-se a metodologia, que apresenta o estudo dos meios ou métodos de investigação utilizados pelo pesquisador, visando delinear o tema e o assunto abordado com o propósito de apresentar análises, observações e interpretações. Na quinta seção, apresentam-se os resultados. Finalmente, a sexta seção apresenta a conclusão do estudo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos geral**

Verificar o comportamento de cota e vazão do Riacho Bacuri, Imperatriz (MA) por meio do cálculo das curvas cota-volume, determinando a cota de enchente da bacia.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Estimar o escoamento superficial por meio do método curva número;
- b) Estabelecer quais bacias mais contribuem para a ocorrência de enchentes em Imperatriz-MA;
- c) Desenvolver o cálculo da vazão por meio de modelagens matemáticas; e
- d) Calcular a curva cota-volume para o Riacho Bacuri.



### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Conceito e medidas de vazão

A medição de vazão de fluidos sempre esteve presente, e é aplicada em diversas áreas, como no hidrômetro de uma residência, o marcador de uma bomba de combustível, nas estações de tratamento de água, nos processos industriais, ou ainda o fluxo do sangue no sistema circulatório, são exemplos comuns no dia-a-dia, cuja medição é baseada nos padrões de volume e tempo.

Vazão é uma grandeza que se refere a quantidade volumétrica ou gravimétrica de água que passa numa determinada seção do rio ou de um conduto que pode ser livre ou forçada e dada por unidade de tempo, ao mesmo tempo que se determina a profundidade, a largura e a velocidade do fluxo, isto é, a intensidade com que o líquido flui, cuja unidade de medida é o metro cúbico/segundo (CARVALHO, 2006; CARVALHO, 2007).

A vazão volumétrica refere-se à quantidade de volume do fluido que escoar por um duto em unidade de tempo e dada pela equação:

$$Q = \frac{V}{t}$$

E a vazão Gravimétrica refere-se à quantidade de massa que escoar por um duto em unidade de tempo considerada, dada pela equação:

$$Q_M = \frac{M}{t}$$

Convém mencionar que o estabelecimento da relação entre o escoamento de um rio e a cota linimétrica é um processo complexo, pois dependem de características hidráulicas e também geométricas. Por isso, existem diversos meios para a mediação, principalmente em áreas da jusante apresenta valores inferiores de vazão que a montante. Nesse sentido, conforme Siqueira (2018), o medidor de vazante refere-se

ao instrumento capaz de medir a massa (medidor de vazão mássica) ou o volume (medidor de vazão volumétrica) de um fluido que escoar em uma tubulação ou canal.

Ao longo da história, houve grandes contribuições para a medição de vazão, uma delas foi dada por Leonardo da Vinci, em 1502, em que observou que a quantidade de água por unidade de tempo era a mesma em qualquer parte do rio, independentemente da largura, profundidade ou inclinação. A partir disso, houve-se o desenvolvimento de diversos dispositivos que auxiliam nessa medição.

Atualmente, os métodos utilizados para determinar o escoamento podem ser de duas formas: direta, como o método volumétrico ou de pesagem, hidrômetro e fluxímetro; ou indireta ou automática, desde um simples objeto lançado na água estimando a velocidade, até métodos mais precisos, que utilizam a relação velocidade/área como flutuador, molinete, coordenadas em tubo com descarga livre, tubo de Pitot e processo colorimétrico, e os que utilizam constrição na seção transversal de escoamento como venturímetro, diafragma, vertedores, calha Parshall e calha WSC, além de doppler acústicos, entre outros (CARVALHO, 2008).

Os métodos indiretos possibilitam a realização de simulações e projeções para diversas situações, além do mais, com o aumento da complexidade e eficiência de métodos computacionais, foram desenvolvidos diversos modelos matemáticos que permitem avaliar o escoamento em rios mesmo quando é submetido a eventos de cheias, o que permite o estabelecimento da relação entre cota-razão de forma mais precisa, principalmente em trechos em que há a extrapolação da curva (PARRA; TEIXEIRA, 2016).

De acordo com Santos et al., (2001) existem seis categorias de métodos para determinar a vazão: o método volumétrico, o uso de dispositivo de geometria regular, como vertedores e Calhas Parshall; a medição com flutuadores, a medição por processos químicos, a medição e integração da distribuição de velocidade e o método acústico.

### 3.1.1 Método volumétrico ou método direto

O método volumétrico é simples de mensurar a vazão, em que se utiliza a interceptação do fluxo de água por um recipiente calibrado.

Este método é bastante limitado, pois o volume armazenado é manipulado pelo operador. Já a utilização de dispositivos de geometria simples permite a verificação direta da descarga, em que com base na geometria ou método numéricos é possível estabelecer uma relação de cota-vazão, cujos dispositivos comumente utilizados são os vertedores e as calhas Parshall (SANTOS et al., 2001; TUCCI et al., 2012).

### 3.1.2 Uso de Dispositivos de Geometria Regular

Esses dispositivos de geometria simples permite a verificação direta da descarga utilizando apenas o valor da altura da lâmina, e com base na geometria é estabelecido a relação cota-vazão.

Entre os dispositivos mais utilizados para a medição, incluem-se os vertedores, que devidamente calibrados, a altura da lâmina tem uma relação direta com a vazão, e que conforme o escoamento atinge a parede, o nível se eleva até uma cota suficiente capaz de verter a estrutura; e as calhas Parshall, que são estruturadas padronizadas, que dependendo da faixa de escoamento que se deseja medir, permite a correlação direta com a cota (SANTOS et al., 2001; DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Entre as vantagens das calhas Parshall destacam-se a facilidade de construção, um baixo custo, apresenta um processo simplificado de medição de vazão, baixa influência das condições do fluxo do rio, visto que permite a passagem de sedimentos, além de possibilitar medir vazões em uma ampla faixa de valores (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

### 3.1.3 Medição com flutuadores

Outra categoria de medição é por meio de flutuadores e que consiste em estimar a velocidade do objeto flutuante, entre dois pontos de um trecho de rio. Normalmente é utilizado quando não se tem outros equipamentos como molinetes, e suas medições são sujeitas a erros, em razão da velocidade da corrente do rio e do tipo de flutuador (SANTOS et al., 2001).

### 3.1.4 Método químico

O método químico é empregado para a medição em rios de declividade elevada e de grande turbulência, sendo utilizado para medir a vazão quando não é possível o uso do molinete, como nos casos de velocidade de fluxo elevada, leito irregular, entre outros fatores. Esse método se baseia na injeção de um traçador químico na água, porém, para a escolha dessa solução é preciso seguir alguns requisitos importantes como o baixo custo, ser bastante hidrossolúvel, não ser tóxica e ser conservativo (TUCCI et al., 2012).

### 3.1.5 Medição e integração da distribuição de velocidade

O método de Medição e Integração da Distribuição de Velocidade é o mais utilizado para medir a vazão em rio, pois tem como base o princípio da descarga líquida. O instrumento mais comum é o uso do molinete, que consistem em pequenas hélices que giram ao serem impulsionados com a passagem da água, porém existem outros instrumentos que permitem medir a velocidade, mas com base em outros princípios. No entanto, os molinetes hidráulicos são mais comuns devido à facilidade de utilização e o seu custo benefício. O método eletromagnético também é utilizado para medir a velocidade de fluxo, porém baseia-se na Lei de Faraday e tem como princípio de que a água, conforme a região produz a indução de corrente elétrica (SANTOS et al., 2001; TURNIPSEED; SAUER, 2010; TUCCI et al., 2012).

Um dos métodos amplamente utilizados consiste na integração por vertical, em que compõe-se na construção do perfil de velocidade conforme a profundidade da seção, com a interpolação das curvas e determinação das áreas, para então a vazão ser definida (TUCCI et al., 2012). Os métodos analíticos também são utilizados e fornecem os cálculos da velocidade média, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Equações para determinar a velocidade média na vertical

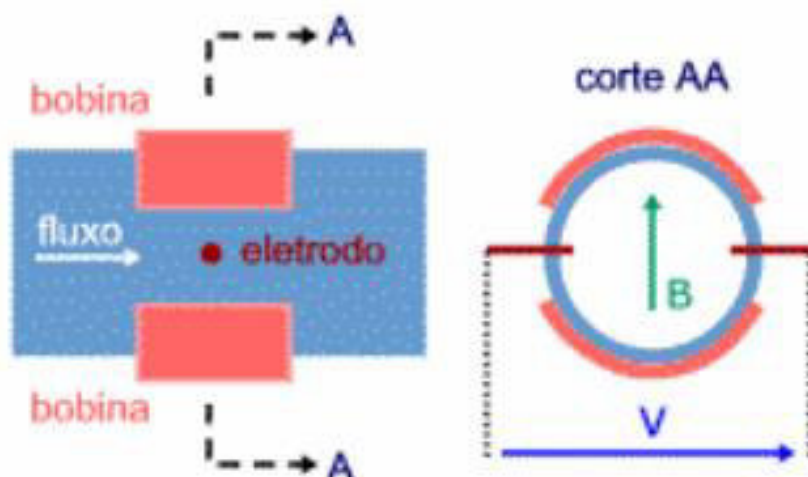
Nº de pontos	Posição na vertical (*) em relação a profundidade (p)	Cálculo da velocidade média ( $\bar{V}$ ) na vertical	Profund. (m)
1	0,6 p	$\bar{V} = V_{0,6}$	0,15–0,6
2	0,2 e 0,8 p	$\bar{V} = (V_{0,2}+V_{0,8})/2$	0,6 – 1,2
3	0,2; 0,6 e 0,8 p	$\bar{V} = (V_{0,2}+V_{0,6}+V_{0,8})/4$	1,2 – 2,0
4	0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 p	$\bar{V} = (V_{0,2}+V_{0,4}+V_{0,6}+V_{0,8})/6$	2,0 – 4,0
6	S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p e F	$\bar{V} = [V_S+2(V_{0,2}+V_{0,4}+V_{0,6}+V_{0,8})+V_F]/10$	> 4,0

(\*) Observações: S – superfície; F – fundo do rio;  $V_n$  – à n% da profundidade (ex.:  $V_{20}$  – Velocidade à 20% da profundidade)

Fonte: Tucci et al., (2012)

O método eletromagnético de medição de velocidade de fluxo baseia-se na Lei de Faraday, partindo do princípio de que a água à medida que percorre, produz a indução de uma corrente elétrica. Dessa forma, é possível associar a intensidade do fluxo com a corrente que foi induzida e a alteração no campo magnético, com a vantagem da virtual ausência de perda de pressão, porém só podem ser usados com líquidos condutores de eletricidade (MALDONADO; WENDLAND; PORTO, 2015). A Figura 1 mostra o esquema desse medidor, em que dois eletrodos são colocados em lados opostos a fim de gerar um campo magnético no interior.

Figura 1 - Esquema do medidor eletromagnético



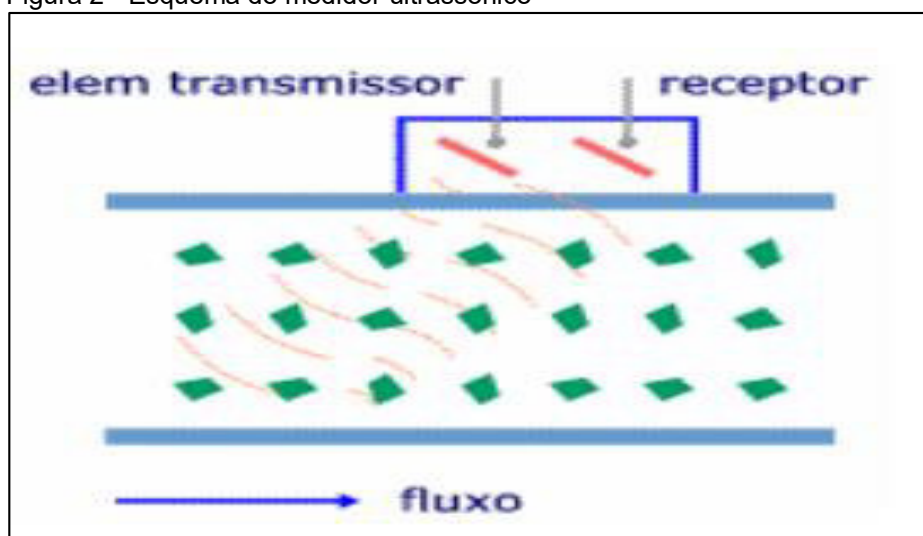
Fonte: Silva (2020)

Nesse sistema de medição, Silva (2007) aponta que o fluido condutor elétrico passa pelo interior do tubo não magnético e não condutor, e induz uma força eletromotriz, que é proporcional a velocidade. Essas bobinas acabam sendo

energizadas por uma tensão alternada senoidal ou por meio de tensão contínua pulsada, cuja tensão representa a vazão volumétrica.

Além desse método, ainda existem os equipamentos que se utilizam do princípio do Doppler para medir a velocidade do fluxo (Figura 2), os medidores ultrassônicos, como por exemplo, o Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) produzido pela SonTek (TURNIPSEED; SAUER, 2010).

Figura 2 - Esquema do medidor ultrassônico



Fonte: Silva (2007)

Esses medidores que estão na categoria dos ultrassônicos utilizam ondas nessa faixa de frequência, e por isso, são utilizados com fluidos que apresentam partículas em suspensão, uma vez que essas partículas refletem parte das ondas que são emitidas.

### 3.1.6 Método acústico

Em relação aos métodos que utilizam à acústica, tem como princípio a medição e integração de áreas e velocidades, assim como na medição com os molinetes, porém, neste caso, utiliza-se de métodos mais precisos como o doppler acústico (ADCP – Automatic Doppler Current Profiler), muito utilizado em áreas que é impossível a utilização de molinetes devido as variações das correntes e profundidades. Outro método mais audacioso é a medição por meio de satélites (SANTOS et al., 2001; CARVALHO, 2008).

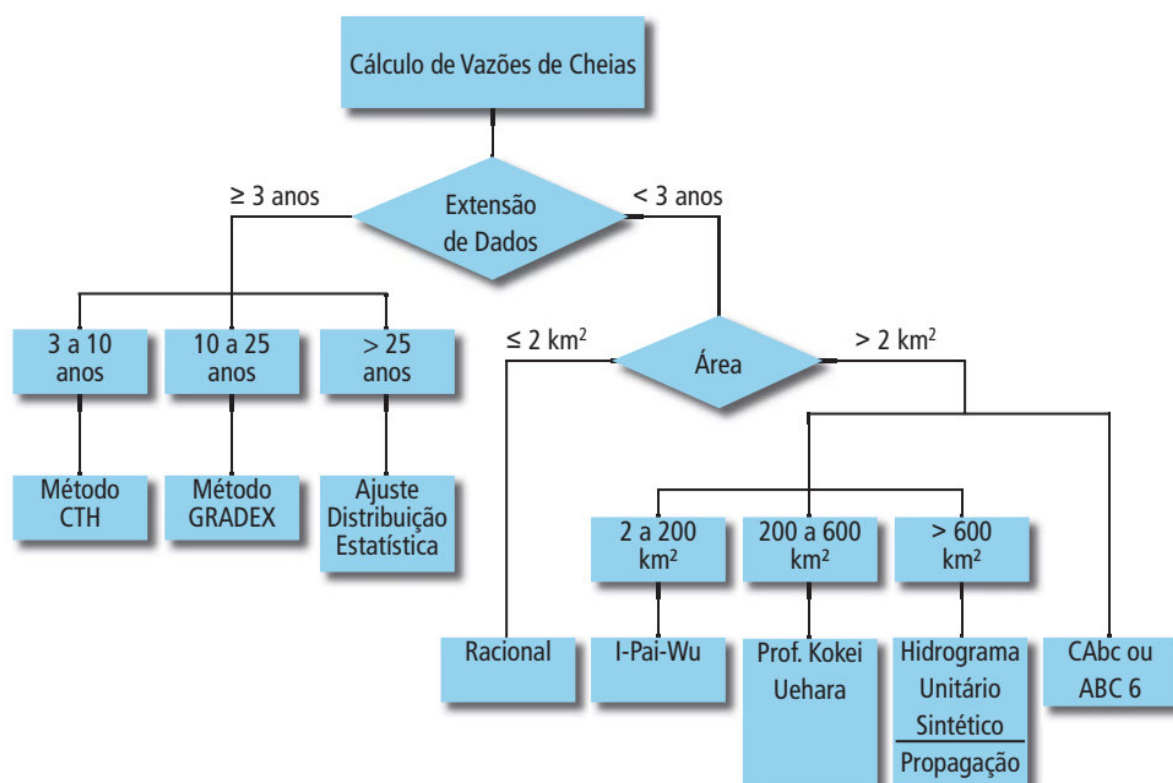
### 3.2 Métodos estimativos da vazão de cheia

Os métodos utilizados para estimar a vazão de cheia são diversificados, e os critérios para adoção de um deles incluem a extensão da série histórica dos dados fluviométricos e o tamanho da área da bacia hidrográfica.

Seguindo o critério da extensão da série histórica de dados fluviométricos, os métodos de estimativa se dividem em dois grupos, para séries inferiores a três anos, são recomendados o método racional, o método I-PAI-WU, o método prof. Kokei Uehara e o método do hidrograma unitário. Para séries superiores a três anos, são recomendados o método CTH, o método Gradex e o método estatístico (DAEE, 2008).

A Figura 3 apresenta o diagrama com os métodos indicados para cada caso.

Figura 3 - Diagrama com os métodos de estimativa de vazão de cheia



Fonte: DAEE (2008)

Cada método é detalhado a seguir.

### 3.2.1 Método racional

O método racional apresenta como principal vantagem a facilidade para cálculos. Contudo, se utilizado em grandes áreas, tende a superestimar o resultado (PATRICIO; CADORIN; BACK, 2021).

Por isso, de acordo com o DAEE (2008), deve ser utilizado para bacias com área de até 2 km<sup>2</sup>. No caso de aplicação do método em bacias maiores, é comum a utilização de coeficientes de redução do valor da vazão de pico (PATRICIO; CADORIN; BACK, 2021).

Este método baseia-se na determinação da relação entre a chuva e o escoamento superficial (ELIAS, 2021). Neste método, considera-se a duração da precipitação intensa igual ao tempo de concentração, por isso, adequa-se às bacias menores (DAEE, 2008).

O coeficiente de escoamento superficial neste método é direto, assim, adota-se um valor único conforme o grau de impermeabilização e urbanização, independentemente do tipo de solo (DAEE, 2008).

De acordo com Godoy (2019), o método racional se dá através da seguinte equação:

$$Q = 0,1667 C i AD$$

Em que:

Q = vazão de projeto (m<sup>3</sup>/s);

0,1667 = constante (ad);

AD = área de drenagem (ha);

C = coeficiente de escoamento superficial (*runnoff*);

i = intensidade de precipitação (mm/min).

Entre as limitações desse método, está o fato de que ele não se aplica ao cálculo do volume de cheia, nem calcula a distribuição temporal das vazões (GODOY, 2019).

### 3.2.2 Método I-PAI-WU

Trata-se de um aprimoramento do método racional, indicado para bacias com área de até 200 km<sup>2</sup> (PATRICIO; CADORIN; BACK, 2021).



O aprimoramento desse método em relação ao método racional se dá em razão dele considerar fatores como as características físicas da bacia, intensidade e distribuição da chuva, uso e ocupação do solo, dentre outros (ELIAS, 2021). Assim, diferentemente do método racional, o coeficiente de escoamento superficial será diferente para cada tipo de uso e ocupação de solo.

Segundo Godoy (2019), o método I-PAI-WU dá o valor de vazão por meio da seguinte equação:

$$Q = 0,278 * C * I * A^{0,9} K$$

Em que:

Q = vazão de cheia ( $m^3 s^{-1}$ );

C = coeficiente de escoamento superficial;

i = intensidade da chuva crítica ( $mm h^{-1}$ );

A = área da bacia de contribuição ( $km^2$ );

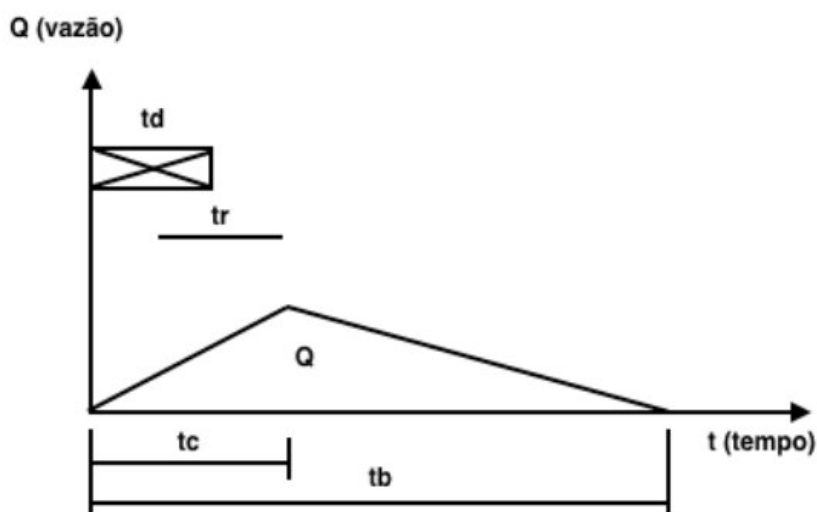
K = coeficiente de distribuição espacial da chuva.

### 3.2.3 Método prof. Kokei Uehara

O método Uehara é recomendado para bacias com área de drenagem de 200 a 600  $km^2$ . Esse método parte da obtenção dos valores de centro de gravidade projetado no talvegue, duração da precipitação, coeficiente de escoamento superficial com valor de 0 a 1, e tempo de base (SILVA, 2015).

A Figura 4 traz a representação gráfica desse método.

Figura 4 - Representação gráfica do método Uehara



Fonte: Silva (2015)

### 3.2.4 Método do hidrograma unitário sintético

O método do hidrograma unitário sintético baseia-se nas relações geométricas dos hidrogramas com as características da bacia. Existem diversos métodos para obtenção do hidrograma unitário de uma bacia, pois é um método que foi aperfeiçoado ao longo do tempo. As principais características de um hidrograma são a vazão de pico, o tempo de pico, o tempo de base e a duração da chuva efetiva (PEDROSO et al., 2017).

Este método está condicionado a três proposições básicas: a chuva é distribuída de forma uniforme, chuvas de durações iguais e intensidades diferentes geram hidrograma com ordenadas proporcionais ao volume total escoado, e as precipitações são independente das anteriores (PEDROSO et al., 2017).

### 3.2.5 Método Gradex

Trata-se de um método probabilístico, que determina valores extremos de vazão. O método Gradex busca extrapolar a curva de frequência dos volumes de cheia, assim, os registros pluviométricos precisam ser mais abundantes que os fluviométricos. Este método utiliza como parâmetros a área de drenagem, tempo de concentração, extensão de séries de vazões de no mínimo 10 anos e das séries de precipitações de no mínimo 30 anos (MOTA, 2016).

## 3.3 Curva Cota-Área-Volume

A curva cota-volume tem como princípio básico compreender o amortecimento de ondas de cheias em reservatórios, o que permite avaliar os riscos de enchentes e de secas, a partir dos volumes acumulados por meio de cada nível em determinado momento, exercendo influencia no escoamento superficial em uma bacia, sendo determinada convencionalmente por meio de batimento manancial, em que se leva em consideração a profundidade em vários pontos da área inundada (SANTOS et al., 2001).

A determinação da curva Cota x Área x Volume (CAV) tem sido apontada como uma das principais ferramentas para o monitoramento de reservatórios, uma vez que fornecem a área e o volume do reservatório, e o nível em que o mesmo se encontra. Vale ressaltar que a determinação da CAV geralmente é feita por meio de levantamentos batimétricos, que se refere à medida de profundidade dos reservatórios por meio de aparelhos chamados ecobatímetros, que emitem sons acústicos que refletem na água e atingem a superfície de fundo, e com base no tempo e a velocidade dessa propagação até o fundo, é possível calcular a coluna d'água (SÁ, 2018).

Segundo Matos et al., (2009), os reservatórios funcionam como filtros de sedimentos, e por isso, com o passar do tempo ocorre o assoreamento, e por essa razão, o acúmulo de sedimentos modifica o relevo de fundo e levantamento da curva cota – área – volume estimada não condiz com a realidade, sendo necessária sua atualização de tempos em tempos.

Convém mencionar que a curva cota-volume serve como ponto de partida para a elaboração dos planos de gestão dos recursos hídricos. Infelizmente, no Brasil, esses planos, em sua maioria, não são baseados nos levantamentos topográficos adequados, além da utilização apenas do volume útil, sem observar que os reservatórios perdem volume com o tempo, decorrente da deposição de sedimentos, necessitando de um novo levantamento de dados (CORREA FILHO; ALBERTIN; MAUAD, 2003).

Segundo Yang et al., (2006), a determinação da frequência desse levantamento depende de outros dados como a taxa de sedimentos e do aporte de sedimento, obtidos em levantamentos anteriores, e com base neles é determinado o intervalo para a realização de um novo levantamento de dados batimétricos. Existem dois métodos utilizados para a realização desse levantamento: por meio de levantamento de linhas topobatimétricas e por meio do levantamento de contornos do reservatório, que consiste no levantamento do espelho d'água em diferentes níveis (CARVALHO, 1994).

O levantamento de dados batimétricos através de linhas topobatimétricas apresentou inúmeras mudanças com o avanço da tecnologia. Os métodos mais tradicionais utilizam os guinchos hidrométricos, que é fixado no marco de referência, cujos dados são analisados de forma analógica, tendo a necessidade de serem digitalizados, e por isso, se tornam bem mais demorados. Já os métodos mais modernos são utilizados um DGPS, o que facilita a coleta de dados, sendo realizado

de forma precisa, rápida e de fácil tratamento, uma vez que os dados são coletados já no formato digital (YANG et al., 2006).

Conforme Abilelah, Vignudelli e Scozzari (2011) o custo da realização de uma batimetria depende de vários fatores, como o planejamento de seções batimétricas, do levantamento de campo, geração dos mapas digitais, curvas de nível e polinômios de cota-área-volume. Nesse aspecto, sabe-se que são poucos os reservatórios que apresentam a batimetria, o que se têm são informações acerca das curvas cota-área-volume, que foram estimadas na década 50 e 70. Sabe-se que, com o tempo o reservatório diminui a sua capacidade de armazenamento, devido ao processo de assoreamento (ALSODORF; RODRIGUES; LETTENMAIER, 2007).

Outro fator que influencia na batimetria refere-se a localização e acessos ao reservatório, que afetam o custo de mobilização de equipes e também o volume total, e a relação entre o volume armazenado e o volume total, visto que se torna mais barato realizar em área seca do que molhada do reservatório. Um exemplo disso, foram batimetrias realizadas em reservatórios da região semiárida, contratadas pela Agência Nacional de Águas, que tiveram um custo entre R\$ 1200 e R\$ 4.400 por hectômetro cúbico ( $\text{hm}^3$ ) (COLLISCHONN; CLARKE, 2016).

Por outro lado, devido ao custo expressivo para a atualização das curvas cota-área-volume para o grande número de reservatórios existentes, tem-se como alternativa o sensoriamento remoto, sendo uma fonte rápida e barata de informação, uma vez que estima a precipitação, evaporação por meio de satélite, além da variação do armazenamento na superfície e nível d'água em rios e reservatórios (TANG et al., 2009; GEBREMICHAEL; HOSSAIN, 2010; CASTLE et al., 2014).

Segundo Bonnet, Ferreira e Lobo (2008), a evolução do Sensoriamento Remoto só foi possível em função em razão do surgimento dos sensores orbitais de micro-ondas, dos sensores de resolução espacial submétrica, dos sensores hiperespectrais e dos sensores de alta resolução temporal, e um exemplo de estudo por meio desses sensores, é a missão SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission).

Neste sentido, o DAEE dispõe sobre o método para obtenção da curva cota-área-volume por meio do levantamento das curvas de nível da bacia hidrográfica. O método baseia-se no conceito de volume de amortecimento, ou volume de reservação, da bacia hidrográfica, que consiste na diferença do volume acumulado entre o nível normal e o nível máximo da água, e tem a função de amortecer o pico de cheia, conforme representado na Figura 5.

Figura 5 - Volume de amortecimento de cheia



Fonte: DAEE (2008)

A cada nível atingido, tem-se um volume de água acumulado, que pode ser obtido a partir do cálculo da área delimitada a cada cota, como no exemplo apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Exemplo de valores para determinação da curva cota-área-volume

Cota (m)	Área inundada (m <sup>2</sup> )	Área média (m <sup>2</sup> )	Desnível h (m)	Volume parcial (m <sup>3</sup> )	Volume acumulado (m <sup>3</sup> )
* 137,5	0	-	-	0	0
139,5	1.500	-	2,0	** 1.000	1.000
140,0	8.300	4.900	0,5	2.450	3.450
141,0	41.800	25.050	1,0	25.050	28.500
142,0	62.700	52.250	1,0	52.250	80.750
143,0	84.600	73.650	1,0	73.650	154.400

\* 137,5 = cota do talvegue na seção do barramento.

\*\* Volume entre as cotas 137,5 e 139,5 = volume de um tetraedro =  $\frac{1}{3} \times 2,0 \text{ m} \times 1.500 \text{ m}^2 = 1.000 \text{ m}^3$ .

Fonte: DAEE (2008)

A partir desses dados, determina-se a curva cota-área-volume da bacia, possibilitando a estimativa da cota de inundação da bacia hidrográfica.

### 3.4 Quantificação das chuvas

O conhecimento sobre a dinâmica de lagos, rios e riachos é muito importante para o monitoramento sistemático desses mananciais, já que perdem a capacidade de armazenamento com o tempo, em razão do assoreamento. Um dos fatores naturais

para o assoreamento são as chuvas, que nos últimos anos tem se intensificado, contribuindo para a ocorrência de enchentes e alagamentos. Por essa razão, o conhecimento do comportamento dos picos de chuvas na região é fundamental no projeto e planejamento de sistema de drenagem urbana (ALSDORF; RODRIGUEZ; LETTENMAIER, 2007; GAO, 2015; COLLISCHONN; CLARKE, 2016).

As chuvas intensas são aquelas que apresentam precipitação elevada em um intervalo pequeno de tempo, causando grandes escoamentos superficiais, e conseqüentemente, provocando prejuízos tanto nas áreas urbanas como rurais, e por isso, a necessidade e a importância da sua quantificação (ARAÚJO et al., 2008; CECÍLIO et al., 2009). Conforme Gonçalves (2011, p. 23) é importante avaliar a precipitação pluvial máxima, uma vez que ela permite:

Identificar as condições de risco e impacto sobre a drenagem da referida área. A partir da distribuição temporal e espacial da precipitação máxima, bem como das características da bacia hidrográfica, é possível determinar o hidrograma correspondente, característico do escoamento ao longo do tempo em uma determinada seção do rio, através do ajuste dos parâmetros de modelos hidrológicos do escoamento superficial, que permitem obter o hidrograma de projeto. Com base nesse hidrograma é possível conhecer o risco de vazões máximas e volumes (GONÇALVES, 2011, p. 23).

Nesse contexto, a quantificação das chuvas se torna essencial, visto que ela auxilia no dimensionamento dos projetos hidráulicos, bem como de irrigação, disponibilidade de água, além de obter o controle de inundação e erosão do solo, podendo ser realizado por meio das equações de chuvas intensas, denominada também de curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF). No entanto, a grande dificuldade tem sido determinar a precipitação intensa máxima, devido à pequena quantidade de equações de chuvas existentes e a dispersão das mesmas, uma vez que foram desenvolvidas por diversos autores e períodos diferentes (DAMÉ; TEIXEIRA TERRA, 2008; RODRIGUES et al., 2008; CECÍLIO et al., 2009; SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010).

Por outro lado, há também a escassez de dados de chuvas disponíveis. Conforme destacam Bertoni e Tucci, (1993), a relação Intensidade–Duração–Frequência é obtida a partir da análise estatística de séries de dados, que pode ser por meio de dois enfoques: o primeiro é por meio de séries de duração parcial, quando a extensão da série apresenta poucos anos, isto é, menor que 12 anos, e o segundo

é por meio de séries anuais, que se baseiam na seleção das maiores precipitações anuais.

De acordo com Aragão et al., (2013) as curvas Intensidade-Duração-Frequência podem ser ajustadas por meio da regressão linear ou não linear, baseando-se nos dados pluviométricos. No Brasil, os primeiros estudos foram desenvolvidos por Pfafstetter (1957) e Denardin e Freitas (1982), que ajustaram as equações IDF para 80 estações em todo o país. Os estudos mais recentes de ajustes encontrados foram Oliveira et al., (2005) que ajustaram a equação de Goiás e Distrito Federal, Cecílio et al., (2009) em que ajustaram a equação para o Estado do Espírito Santo, Santos et al., (2009) do Estado do Mato Grosso do Sul, Aragão et al., (2013) que ajustaram para o estado de Sergipe, e Campos et al., (2014) para o Piauí.

Até o ano de 2014, apenas três municípios do Estado do Maranhão (São Luís, Barra do Corda e Turiaçu) tiveram a curva de Intesidade-Duração-Frequência ajustadas por meio do estudo realizado por Dernadin e Freitas em 1982. Porém, Campos et al., (2015) realizaram um estudo para ajustar os parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência de 163 estações pluviométricas, inclusive no município de Imperatriz, por meio da regressão linear.

No estado do Maranhão, infelizmente, ainda tem poucas informações relacionadas às curvas de Intensidade-Duração-frequência das chuvas, fundamental para caracterização dessa variável hidrológica, uma vez que a precipitação aumenta da direção sudoeste para noroeste do Estado, e também porque há uma diversidade climática no estado, principalmente entre a parte litorânea e a porção dentro do bioma amazônico (PINTO et al., 2011).

Segundo Pinto et al., (2011), o bioma Cerrado, localizado na região sudoeste do Estado, tem uma precipitação em torno dos 1.100 mm anuais, já no bioma Amazônico, localizado na região mais nordeste do Estado, a precipitação é em torno dos 2.000 mm anuais, o que revela uma variabilidade na distribuição das chuvas no Estado, o que reforça a importância de se conhecer a relação intensidade-duração-frequência de cada localidade específica.

A microrregião de Imperatriz apresenta clima tropical superúmido, com temperaturas médias entre 24 °C e 29 °C. A média pluviométrica anual é de 1500 mm. Essa região é banhada pelo Rio Tocantins, além de diversos riachos que cortam a região, como o riacho Cacau, Bacuri, Santa Teresa, Capivara, Barra Grande, Cinzeiro, Angical, Grotão do Basílio e Saranzal (Menezes, 2009).

### 3.5 Solos

Os solos correspondem a misturas complexas de materiais inorgânicos e resíduos orgânicos, que de maneira geral, possuem origem na decomposição das rochas, que sofrem atuação de processos físicos, químicos e biológicos até a formação do solo, denominado de intemperismo. Em suma, o solo é a camada entre as rochas e a atmosfera (CURI et al., 1993).

Entre os processos físicos tem-se a temperatura, vento, pressão; nos processos químicos tem-se a atuação da água, ácidos, bases, sais entre outros, e nos processos biológicos, a ação dos micro-organismos, de materiais orgânicos, além das plantas, que em conjunto transformam as rochas em partículas cada vez menores, resultando em granulometria variável, responsável pela formação de vários tipos de solos, em espessura e qualidade (LEPSCH, 2002).

De todos os processos envolvidos na formação do solo, existem quatro fatores principais: a ação de organismos vivos e vegetação, uma vez que exerce influência na quantidade de ácidos orgânicos; o clima, por meio da temperatura e das chuvas, determinando o tipo e a extensão do intemperismo; a inclinação do terreno, isto é, as condições topográficas, já que a topografia controla a percolação, infiltração e velocidade da água e da erosão, e por fim, o tempo de atuação do intemperismo, determinando a profundidade e consequência da degradação (ROLOFF, 2008; SOUZA, 2015).

Os solos são constituídos por uma sequência vertical de várias camadas horizontais, decorrentes dos inúmeros fatores que resultaram na sua formação. Essa sequência é denominada de perfil do solo, em que se busca uma descrição e análise dessas camadas, quanto aos aspectos físicos, químicos e mineralógicos, e com base nessas informações é possível identificar e classificar o solo, bem como a qualidade e a limitação do mesmo para agricultura e construção (LIMA; MELO, 2007).

Os solos são classificados em quatro grupos principais: solos residuais, provenientes da decomposição e transformação das rochas; os solos sedimentares, constituídos por grãos de tamanhos variáveis, incluindo blocos de rochas; os solos transportados, isto é, são aqueles que sofrem algum tipo de transporte, como água, vento, entre outros, podendo ser classificado conforme o agente em: solos aluviais



(água), solos eólicos (vento) e coluvionares (ação da gravidade) e solos orgânicos, decorrente da impregnação de matéria orgânica (VARGAS, 1978; SOUZA, 2015).

### **3.6 Morfometria**

A morfometria de bacias hidrográficas consiste em metodologia destinada a estabelecer comparações matemáticas e caracterizar os aspectos geométricos úteis em casos em que não se tem dados hidrológicos. Para se ter uma morfometria confiável é preciso obter dados e analisar em conjuntos com os métodos geomorfológicos. Um dado a ser mencionado é que a morfometria também é utilizada para identificar o comportamento hidrológico, sendo útil para os casos de inundações (FRANCO; SANTOS, 2015).

A análise das características morfométricas é muito importante, pois as características físicas da bacia hidrográfica exercem influência em infiltração, evapotranspiração e no escoamento superficial e subsuperficial. Atualmente a caracterização morfométrica é feita por meio da integração de informações de relevo em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), podendo ser feita de modo manual ou automático (TONELLO et al., 2006; CARDOSO et al., 2006).

Uma das formas de obter informações do relevo é por meio de uma estrutura numérica de dados denominada de modelo digital de elevação (MDE), pois apresenta dados da altitude e da superfície do terreno. Além disso, tem inúmeras vantagens, como a redução de intervenções manuais, além de obter informações como mais rapidez, por ser um recurso digital (VALERIANO et al., 2006).

Segundo Machado et al., (2011) as informações oriundas dos parâmetros morfométricos são de grande importância para a gestão ambiental, visto que proporciona subsídios para o planejamento de ações e na elaboração de Indicadores ambientais, além de ter um baixo custo.

### **3.7 Atividades antrópicas**

Ao longo do tempo as alterações ambientais físicas, químicas e biológicas modificam e comprometem os ecossistemas. Dentre as alterações ambientais, podem

ocorrer por inúmeros fatores, denominados de naturais e não naturais, oriundas de intervenções antropogênicas (FERNANDES, 2004).

Essas ações antrópicas ocorrem desde o surgimento do homem na Terra, e que tem acentuando-se cada vez mais com o aumento acelerado das cidades, o desenvolvimento tecnológico contemporâneo e as culturas das comunidades ao longo dos anos, que têm contribuído com a degradação dos recursos Naturais. Infelizmente, os seres humanos são os principais modificadores e destruidores do meio ambiente (MUCELIN; BELLINI, 2008; GIACOMETTI; DOMINSCHEK, 2018).

A grande demanda por matéria prima para produção de bens tem-se tornado cada vez maior, e o retorno disso para o sistema produtivo também, resultando na devolução ao meio ambiente de rejeitos e efluentes (COSTA; CHAVES; OLIVEIRA, 2006). Nesse sentido, a bacia hidrográfica é a que mais sofre com todas essas alterações ambientais, passando a ter grande importância no contexto atual. Segundo Brigante e Espíndola (2003) a bacia hidrográfica é o resultado da interação da água com outros recursos naturais, como o material de origem, a topografia, a vegetação e o clima, portanto, uma fonte fundamental para o planejamento de uso e conservação ambiental.

Entretanto, existem diversos elementos antrópicos que causam um impacto negativo ao ambiente e que são introduzidos na bacia hidrográfica. Entre esses elementos têm-se alterações físicas e químicas decorrentes de mineração, construção de barragens e represas, desvio do curso natural de rios; dejetos e efluentes domésticos e industriais não tratados; desmatamento da mata as margens de rios e riachos, pois eles funcionam como zona tampão; aumento de partículas orgânicas e inorgânicas, entre outros (TUCCI, 1997).

Infelizmente, o resultado desse processo de utilização e ocupação do solo, sem nenhuma preocupação sobre o planejamento urbanístico, configura-se um problema público, trazendo consequências negativas para a população.

A bacia hidrográfica do Riacho Bacuri, um afluente da margem direita do rio Tocantins. Ele é um dos mais antigos do município, e atravessa vários bairros importantes e povoados da cidade até chegar ao destino final, com início no bairro Vila Esmeralda, prosseguindo para os bairros Vila João Castelo, Parque das Palmeiras, Amazonas, Vila Redenção I e II, Vila Lobão, Parque Sanharol, Parati, Jardim Planalto, Jardim Lopes, Vila Nova, Jardim Imperatriz, Jardim São Luís,

Aeroporto, Bacuri, Caema e União (OLIVEIRA, 2005; MENDES NETO; SOARES; LUCENA, 2018).

Segundo Lucena et al. (2013), este riacho localiza-se no meio da área urbana da cidade de Imperatriz, cuja urbanização em seu entorno ocorreu sem observar os aspectos econômicos, sociais e ambientais. Seu nome deriva-se da fruta Bacuri, que tem origem do Tupi Guarani. Esse riacho é resultado da incidência de precipitações pluviais e das minações provindas do lençol freático da bacia, e possui cerca de 18km de extensão, banhando as regiões norte, leste e sul da cidade (ANA, 2016).

Na década de 1950, quando Imperatriz começou a passar por um processo de crescimento e urbanização, o riacho ainda mantinha-se intacto. No entanto, à medida que aumentava a população, as áreas naturais passaram a sofrer impactos significativos, intensificando-se as ocupações das regiões ribeirinhas e ao longo de sua extensão recebe, de forma descontrolada, efluente residencial e em alguns pontos já foram encobertos pelas construções, servindo como depósito de resíduos (RIBEIRO, 2018).

Segundo Castro (2012) as margens do riacho foram sendo ocupadas por vários bairros sem nenhum tipo de planejamento urbano ou preservação, o que resultou em habitações com péssimas condições de moradia, insalubres, sem rede de esgoto, sem pavimentação e em muitos casos, sem água potável. Todos esses fatores favorecem a presença de efluentes domésticos no leito do riacho com possibilidade de eutrofização, contaminando o solo, e posteriormente o lençol freático.

Durante todo o percurso do riacho é possível observar a canalização de esgoto doméstico, transformando-se em um grande esgoto a céu aberto. Convém mencionar ainda, que alguns pontos já encontram aterrados e sem nenhum tipo de vegetação ciliar, contribuindo para acelerar o processo de degradação da bacia e assoreamento do leito do riacho, provocando alagamentos e transtornos aos moradores, no período de fevereiro a abril, em que as chuvas se intensificam na região (MENDES NETO; SOARES; LUCENA, 2018).

Infelizmente, o extermínio da vegetação nativa próxima às margens para construção de casas e a deposição de resíduos sólidos tem levado ao assoreamento do leito do riacho. O Riacho Bacuri, atualmente transporta pelo seu leito uma vazão composta por lixos, desejos e poluentes que acabam assoreando-o, reduzindo assim, a velocidade do fluxo da água, e como consequência disso, tem-se as enchentes, principalmente no período de chuvas todos os anos, um dos maiores problemas

sociais, econômicos e ambientais a serem enfrentados pelo município, uma vez que nesse período muitas famílias são desabrigadas (OLIVEIRA, 2005; RIBEIRO, 2018).

Entre as principais fontes de degradação ambiental, tem-se o lixo, produto final do desenvolvimento do homem, e isso, tem causado grandes danos não somente ao meio ambiente, mas também a saúde da população (SANTOS, 2008). Castro (2012) ainda destaca como atividades antrópicas no riacho bacuri a urbanização, a disposição de efluentes líquidos e sólidos em áreas marginais e diretamente sobre o riacho, esgotos a céu aberto com os dejetos sendo lançados diretamente no riacho e a ocupação de áreas marginais ao riacho.

Em se tratando da bacia hidrográfica, Crestana et al., (2006) apontam como principais consequências das ações antrópicas a redução da qualidade da água, o escoamento superficial elevado, o risco de poluição de aquíferos; a degradação de mata ciliar; a compactação, Erosão do solo com sedimentação e poluição de afluentes; além de processos erosivos e de assoreamento dos afluentes. Em suma tem a falta de infraestrutura na bacia do riacho Bacuri e a falta de conscientização quanto aos danos causados pela deposição de rejeitos e efluentes no leito do riacho, gerando impactos negativos, dentre eles as inundações, além de doenças contagiosas.

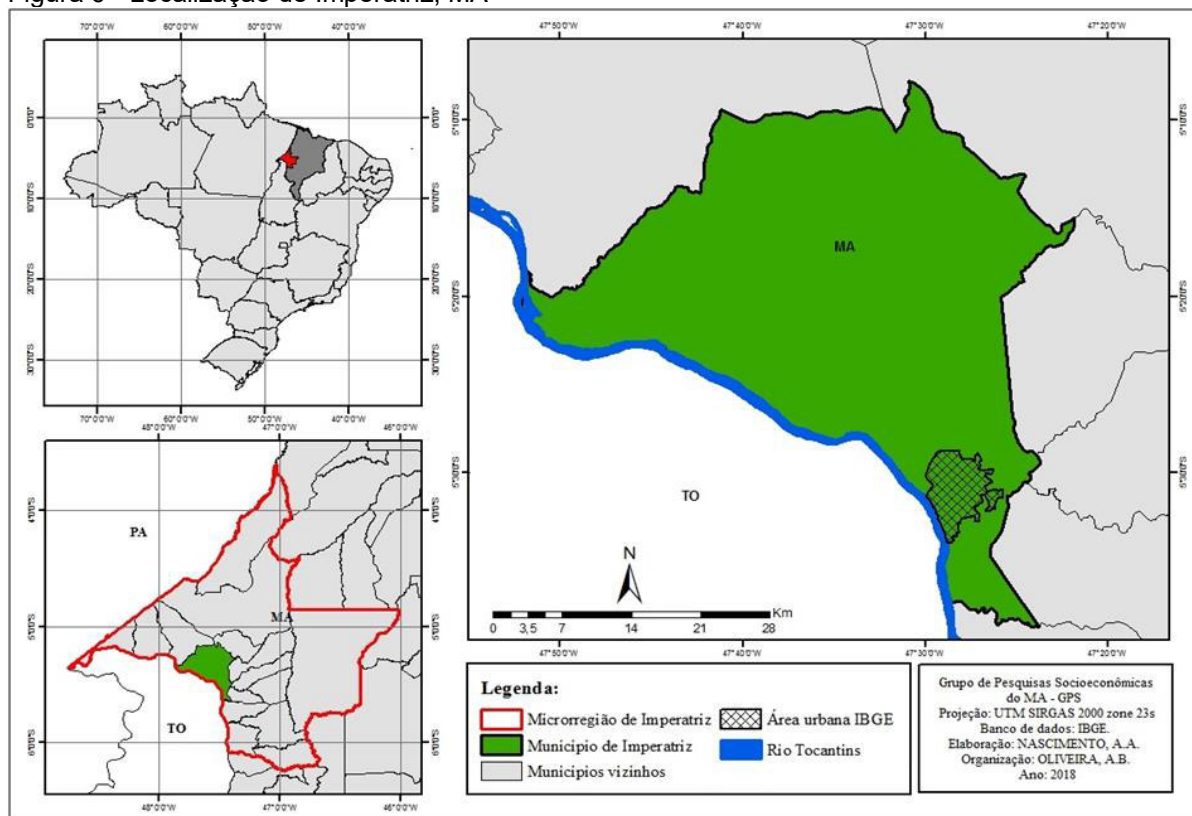
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho primeiramente se iniciaram com embasamento teórico-metodológico em leituras bibliográficas, com levantamento de dados morfométricos da área de estudo. E, posteriormente de campo, no sentido de obter dados sobre as características do Riacho Bacuri nos principais pontos de alagamentos e inundações.

### 4.1 Área de estudo

A pesquisa foi realizada no município de Imperatriz-MA, na Bacia Hidrográfica do Riacho Bacuri, um afluente da margem direita do rio Tocantins. A Figura 6 apresenta o mapa com a localização de Imperatriz-MA.

Figura 6 - Localização de Imperatriz, MA



Fonte: Adaptado de Oliveira e Nascimento (2018)

A Bacia Bacuri possui aproximadamente 14.979,61 m de extensão, ocupando uma área de 1785,7 ha, que vai desde sua nascente, no Bairro Bebedouro nas coordenadas 5° 29' 43,7''S e 47° 27' 5''W, um quilometro a esquerda da Av. Pedro Neiva de Santana, até seu desague, no rio Tocantins nas coordenadas 05° 32' 29,9''S e 47° 29' 22,3''W (OLIVEIRA, 2005).

Imperatriz-MA possui histórico de enchentes e alagamentos. E, dentre os vários riachos em sua área urbana, o Bacuri pode ser considerado o que tem mais impacto nas enchentes do município, porque atravessa 18 bairros de Imperatriz, cortando uma área densamente povoada (RIBEIRO, 2018). Com isso, a bacia do Bacuri possui histórico de alagamento em todos os bairros que ultrapassa, sendo que em 37% de sua área o risco de inundação é classificada como alto (ARAÚJO; SANTOS, OLIVEIRA, 2019).

Um dos pontos de alagamentos em Imperatriz-MA corresponde a passagem do Riacho Bacuri passa pela Rodovia BR-010, uma importante via que corta o centro da cidade de Imperatriz-MA. Assim, a área da Bacia Bacuri será considerada desde sua nascente até alcanças a BR-010, equivalente a uma área de 1468,45 ha.

## 4.2 Coleta de dados

A caracterização morfométrica do riacho Bacuri foi obtida a partir das imagens de radar ALOS-PALSAR, por meio de um sistema de geoprocessamento, para obter os dados pertinentes a área da bacia, declividade, comprimento do curso d'água, curvas de nível, e uso e ocupação do solo. As curvas de nível são derivadas de modelo digital de superfície ALOS-PALSAR.

Para estimar a vazão de cheia foi adotado o método I-PAI-WU, adotando o critério da área de drenagem da bacia, que no caso se aplica às bacias que possuem entre 2 e 200 km<sup>2</sup> (ELIAS, 2021). Para estimar o escoamento superficial da água, utiliza-se as Equações 1 e 2 do Método Curva Número (USDA-NRCS, 2004a).

Equação 1 - Precipitação Efetiva

$$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad (1)$$

Fonte: Maria Filho *et al.* (2016)

Equação 2 - escoamento Superficial

(2)

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

Fonte: Maria Filho *et al.* (2016)

Em que:

Pe = Precipitação efetiva (mm)

P = precipitação máxima em dado período de retorno (mm)

S = Infiltração Potencial (mm)

CN = Curva Número, adimensional

O valor da Curva Número deve ser ponderado conforme o tipo de uso e ocupação do solo, pois, essas características vão determinar diferentes índices de escoamento superficial. O valor da Curva Número Ponderado é dado pela Equação 3.

Equação 3 - Curva Número Ponderado

(3)

$$CN_{pond} = \frac{\sum(CN_c (A_c))}{Área_t}$$

Fonte: Maria Filho *et al.* (2016)

Em que:

CN<sub>pond</sub> = Valor do Curva Número ponderado, adimensional.

CN<sub>c</sub> = Valor do curva número de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia, adimensional.

A<sub>c</sub> = Área de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia em ha.

A<sub>t</sub> = Área total da bacia, em ha.

Na Curva Número serão coletados dados da precipitação, baseando-se na intensidade-duração e frequência, pois segundo Tassi *et al.*, (2006) esse método permite transformar dos dados de precipitação em dados de vazão. Assim, A intensidade da chuva foi calculada pelo método Intensidade-Duração-Frequência, utilizando a Equação 4.

Equação 4 - Intensidade de chuva

(4)

$$I = \frac{(k*TR^a)}{(tc+b)^c}$$

Fonte: Campos *et al.* (2015)

Em que:

I – intensidade da chuva

TR – período de retorno, anos;

t – duração da precipitação, min.; e

k, a, b e c – parâmetros ajustados com base nos dados pluviométricos da localidade

Segundo Campos et al., (2015) os parâmetros K, a, b e c para o município de Imperatriz-MA são:  $k = 1130,320$ ;  $a = 0,150$ ;  $b = 10,0$  e  $c = 0,742$ . Portanto, o valor de **I** será:

Equação 5 - Intensidade de chuva em Imperatriz (5)

$$I = \frac{(1130 (TR)^{0,150})}{(0,742t + 10)^{0,742}}$$

Fonte: Adaptado de Campos et al. (2015)

Com esses dados, foi possível determinar o Coeficiente de escoamento volumétrico  $C_2$ , dado pela razão entre a precipitação total e a precipitação efetiva, conforme Equação 6.

Equação 6 - Coeficiente de escoamento volumétrico (6)

$$C_2(adm) = \frac{Pe}{p}$$

Fonte: Maria Filho et al. (2016)

Além disso, calculou-se o Tempo de Concentração, que pode ser definido com o período em que a precipitação contribui para o escoamento (MARIA FILHO et al., 2016).

Equação 7 - Tempo de concentração (7)

$$Tc = 57 * \left(\frac{L^2}{S}\right)^{0,385}$$

Fonte: Maria Filho et al. (2016)

Em que:

Tc: Tempo de concentração em minutos

L: comprimento do talvegue em KM

S: Declive equivalente (m/km)



Na obtenção dos dados foi utilizado Tempo de Retorno (TR) igual a 100 anos, conforme método DAEE (2008).

### 4.3 Análise dos dados

A partir das informações coletadas, serão calculados as vazões e os volumes. Com a obtenção das curvas de nível, será determinada a relação cota-área-volume, para a posterior obtenção da curva cota-volume.

Em relação à área de inundação será utilizada a metodologia da curva cota-volume (DAEE, 2008). Assim, a vazão de entrada será baseada na chuva-vazão, utilizando a Equação 8, que se refere à equação básica do método I-PAI-WU.

Equação 8 - Vazão de entrada (8)

$$Q = 0,278 * C * I * A^{0,9} K$$

Fonte: Maria Filho *et al.* (2016)

Em que:

Q = vazão em (m<sup>3</sup>/s)

C = coeficiente de escoamento superficial "run-off"

i = intensidade da chuva em mm/h

A = área da bacia hidrográfica em km<sup>2</sup>

K = coeficiente de distribuição espacial da chuva

O coeficiente de escoamento superficial "run-off" C será calculado com base nas Equações 9.

Equação 9 - coeficiente de escoamento superficial "run-off"

$$C = \frac{2}{1+F} * \frac{C_2}{C_1} \quad (9)$$

Fonte: Maria Filho *et al.* (2016)

Em que:

C = coeficiente de escoamento superficial "run-off"

C<sub>2</sub>= coeficiente volumétrico de escoamento

C<sub>1</sub>= coeficiente de forma.

O coeficiente de forma será obtido por meio das Equações 10 e 11.

Equação 10 - Coeficiente de forma

$$C_1 = \frac{4}{2 + F} \quad (10)$$

Fonte: Maria Filho *et al.* (2016)

Equação 11 - Fator de forma

$$F = \frac{L}{2 \left( \frac{A}{\pi} \right)^{0,5}} \quad (11)$$

Fonte: Maria Filho *et al.* (2016)

Em que:

C<sub>1</sub>= coeficiente de forma  
 F= Fator de forma da bacia  
 L= talvegue do rio em km  
 A= área da bacia em km

A vazão de saída estimada pelo método Chézy-Manning, conforme Equação 12.

Equação 12 - Fórmula de Chézy-Manning (12)

$$Q = \frac{1}{n} * A_m * R_h^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

Fonte: DAEE (2008)

O ponto crítico adotado para medida da vazão de saída é o bueiro localizado entre na BR-010, onde o Riacho Bacuri atravessa para o Bairro Bacuri, área com histórico de inundação (NABHAN, 2016).

Os bueiros do local são revestidos em concreto, possuem formato circular, e totalizam 9 bueiros, sendo que 4 estão completamente submersos, conforme apresentam as imagens da Figura 7.

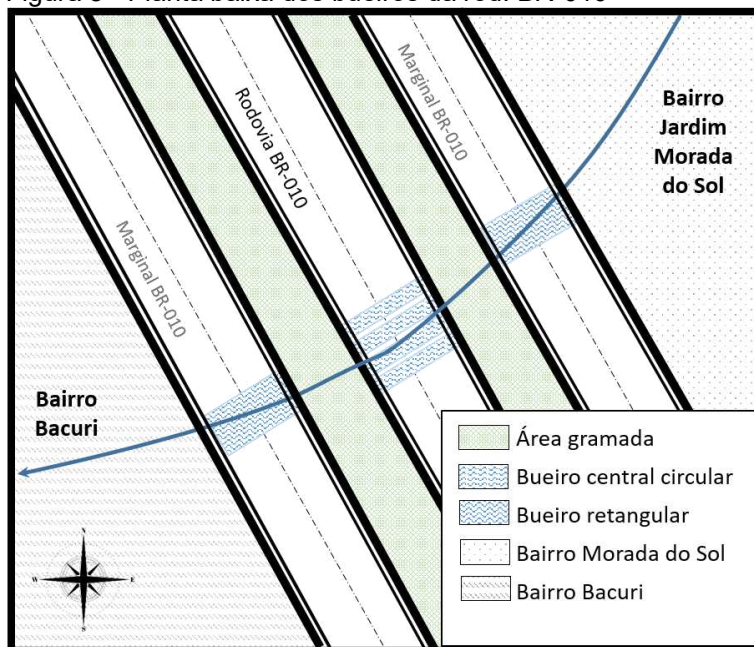
Figura 7, a e b - Bueiro da Rod. BR-010



Fonte: Autor (2022)

A área de drenagem da Bacia Bacuri é subdividida em duas, a primeira compreende desde a nascente no Bairro Bebedouro até a BR-010, e a segunda é compreendida da BR-010 até sua foz no Rio Tocantins, passando pelo Bairro Bacuri (IMPERATRIZ, 2004). Assim, os bueiros conectam essas duas áreas, como representado na Figura 8.

Figura 8 - Planta baixa dos bueiros da rod. BR-010



Fonte: Autor (2022)

A partir da obtenção das vazões, são calculados os Volumes de entrada ( $V_e$ ) e de saída ( $V_s$ ), por meio da Equação 13.

Equação 13 - Cálculo de Volume

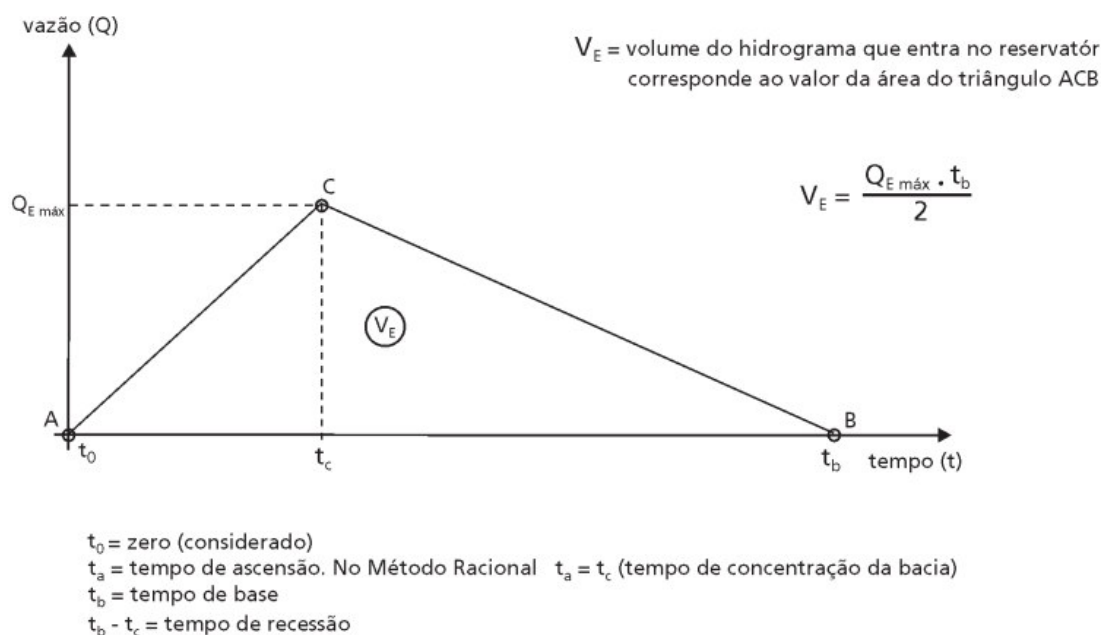
(13)

$$V = \frac{Q * T b}{2}$$

Fonte: Maria Filho et al., (2016)

O volume efluente pode ser representado por meio de um hidrograma, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Hidrograma unitário triangular



Fonte: DAEE (2008)

A diferença entre os Volumes de entrada e saída é o Volume resultante ( $V_r$ ) a partir, do qual se determina a cota de inundação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

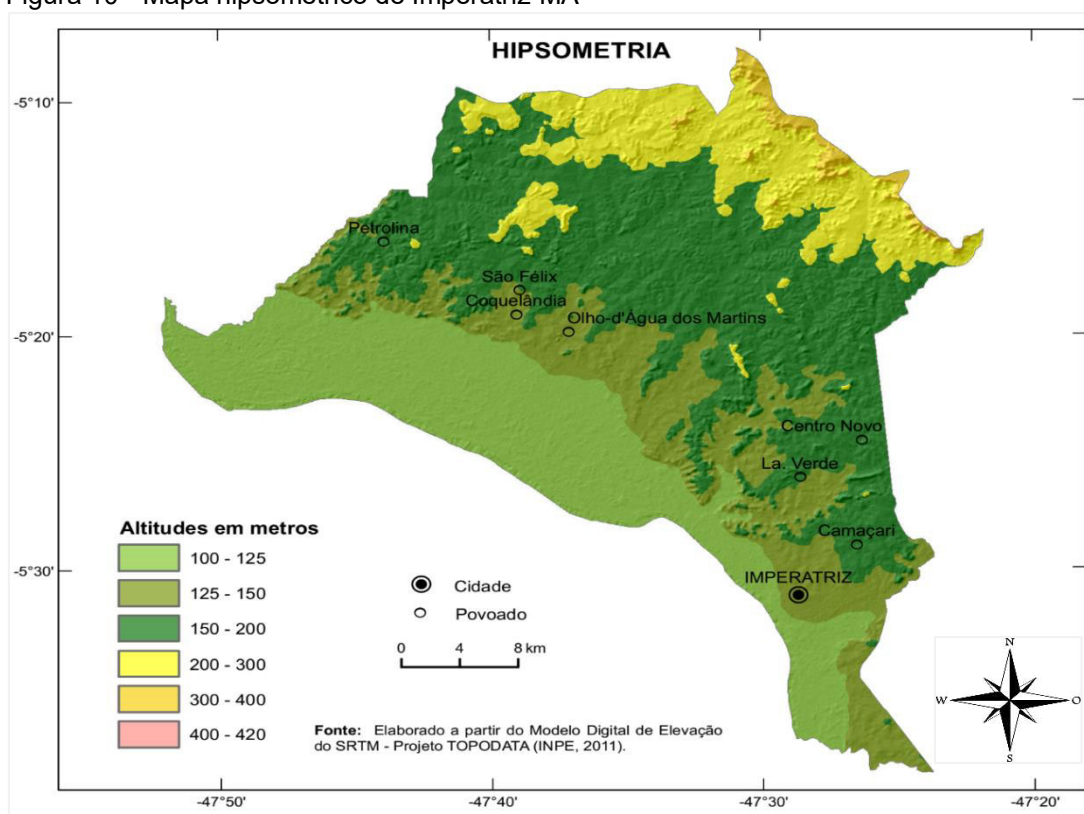
Este tópico apresenta os resultados da pesquisa e sua respectiva discussão. Inicialmente são apresentados alguns dados morfométricos de Imperatriz-MA, seguidos da descrição das bacias hidrográficas de Imperatriz.

Na sequência, são apresentados os dados das bacias individualmente. E, por fim, será analisada a cota-volume da Bacia Bacuri.

### 5.1 Relevo e declividade de Imperatriz-MA

Imperatriz-MA fica localizado em áreas de pouco relevo. A hipsometria do município mostra que a altitude predominante é de até 200 m, e as maiores altitudes na área do município são de 400 m. A Figura 10 apresenta o mapa hipsométrico de Imperatriz-MA.

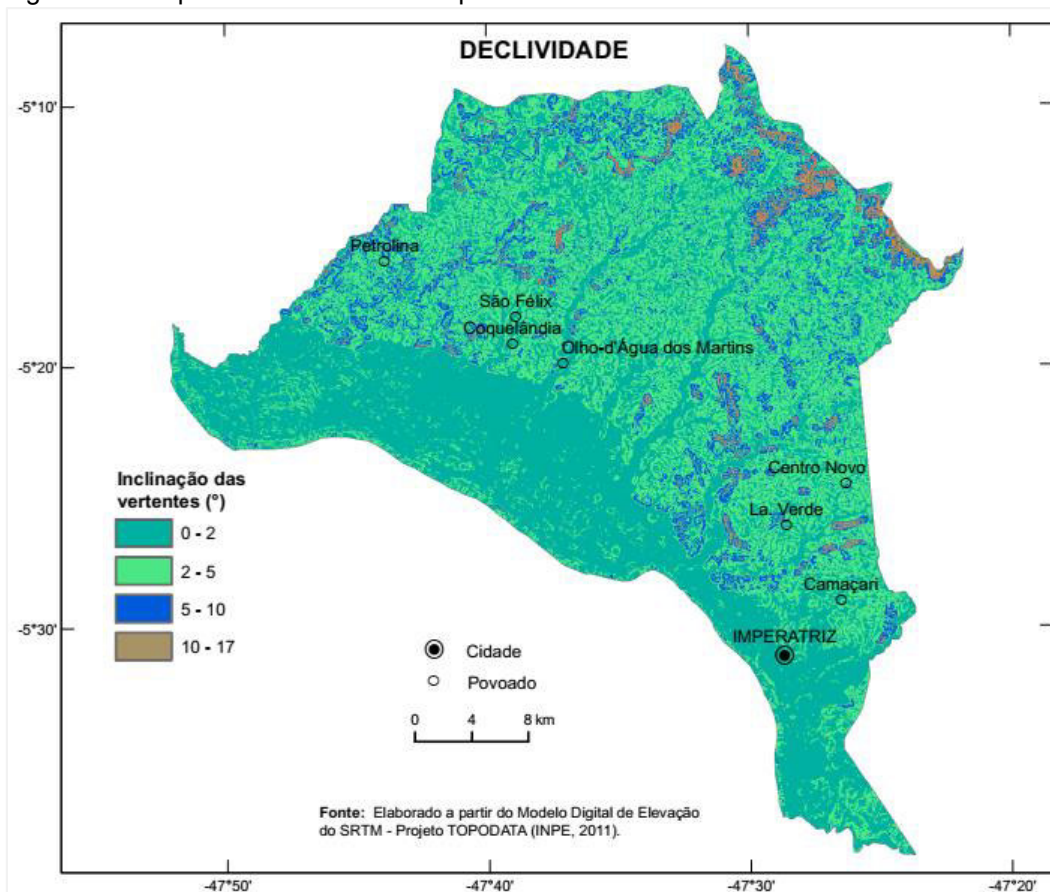
Figura 10 - Mapa hipsométrico de Imperatriz-MA



Fonte: RIGeo (2015)

Quanto a declividade do município de Imperatriz-MA, são identificados baixos valores, que variam de 0 a 17°, incluindo a área urbana e as áreas rurais, conforme apresentado no mapa da Figura 11.

Figura 11 - Mapa de declividade de Imperatriz-MA



Fonte: RIGeo (2015)

Os dados de relevo e declividade de Imperatriz-MA demonstram que as áreas urbanas do município se encontram em áreas de planície das bacias, e que isso pode propiciar inundações e colocar a população em risco, com necessidade de acionamento da defesa civil.

## 5.2 Dados climatológicos de Imperatriz-MA

Embora esteja na região Nordeste do Brasil, Imperatriz-MA possui um clima tropical superúmido, com 1500mm de média anual de precipitação (NASCIMENTO et

al., 2015a). É possível identificar as épocas mais chuvosas/secas e quentes/frias da região de Imperatriz a partir das médias mensais.

Foram obtidos dados climatológicos (Tabela 3) que apresentam o comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano, com base no cálculo a partir de uma séries de dados de 30 anos observados.

Tabela 3 - Médias mensais de temperaturas mínimas e máximas e de precipitação em Imperatriz-MA

<b>Mês</b>	<b>Mínima (°C)</b>	<b>Máxima (°C)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>
Janeiro	23°	30°	220
Fevereiro	23°	30°	205
Março	23°	30°	227
Abril	23°	30°	172
Mai	23°	31°	78
Junho	22°	32°	14
Julho	22°	33°	7
Agosto	22°	34°	6
Setembro	23°	34°	17
Outubro	24°	33°	58
Novembro	23°	32°	107
Dezembro	23°	31°	177

Fonte: Adaptado de INMET (2022).

Também foi calculado o balanço hídrico de Imperatriz-MA. Os dados estão na Tabela 4.

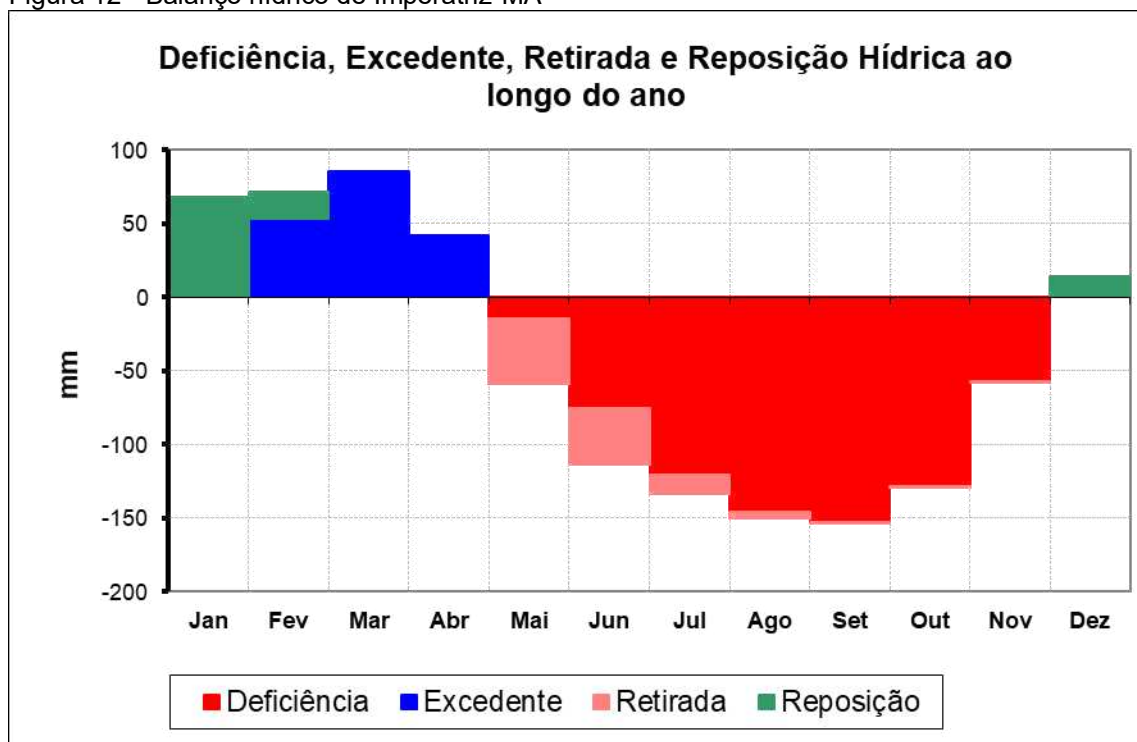
Tabela 4 - Balanço hídrico de Imperatriz-MA

<b>Mês</b>	<b>P mm</b>	<b>ETP Thorntwaite 1948</b>	<b>P-ETP mm</b>	<b>NEG-AC</b>	<b>ARM mm</b>	<b>ALT mm</b>	<b>ETR mm</b>	<b>DEF mm</b>	<b>EXC mm</b>
Jan	220,0	151,90	68,1	-19,7	82,16	68,10	151,9	0,0	0,0
Fev	205,0	133,62	71,4	0,0	100,00	17,84	133,6	0,0	53,5
Mar	227,0	141,80	85,2	0,0	100,00	0,00	141,8	0,0	85,2
Abr	172,0	129,72	42,3	0,0	100,00	0,00	129,7	0,0	42,3
Mai	78,0	136,85	-58,9	-58,9	55,51	-44,49	122,5	14,4	0,0
Jun	14,0	127,19	-113,2	-172,0	17,90	-37,62	51,6	75,6	0,0
Jul	7,0	140,51	-133,5	-305,6	4,71	-13,19	20,2	120,3	0,0
Ago	6,0	155,72	-149,7	-455,3	1,05	-3,66	9,7	146,1	0,0
Set	17,0	170,54	-153,5	-608,8	0,23	-0,83	17,8	152,7	0,0
Out	58,0	186,29	-128,3	-737,1	0,06	-0,16	58,2	128,1	0,0
Nov	107,0	164,39	-57,4	-794,5	0,04	-0,03	107,0	57,4	0,0
Dez	177,0	162,98	14,0	-196,2	14,06	14,02	163,0	0,0	0,0
TOTAIS	1288,0	1801,51	-513,5		476	0,00	1107,0	694,5	181,0

Fonte: Adaptado de Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998) com dados de INMET (2022)

A Figura 12 mostra a representação gráfica do balanço hídrico.

Figura 12 - Balanço hídrico de Imperatriz-MA



Fonte: Adaptado de Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998) com dados de INMET (2022)

Observa-se que o período mais chuvoso ocorre de dezembro a março, e os períodos de seca ocorrem de junho a setembro. Nos meses de precipitação mais intensa devem ser observados os riscos de enchentes das bacias hidrográficas do município, em especial as que se localizam no perímetro urbano, como se apresenta a seguir.

### 5.3 Bacias hidrográficas de Imperatriz

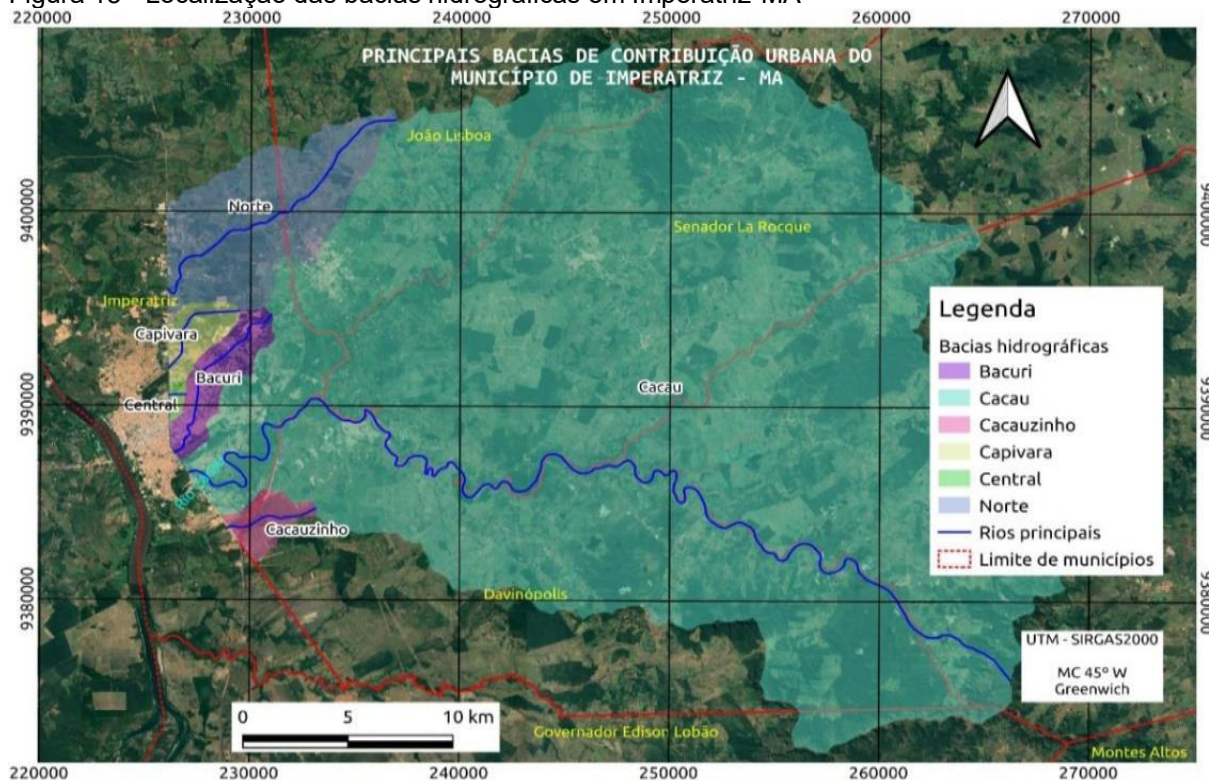
O município de Imperatriz é composto por diversas bacias hidrográficas, como a bacia Bacuri, Cacau, Cacauzinho, Capivara, Central e Norte. As bacias destacadas, são corpos hídricos que cortam a área urbana do município, e desembocam na bacia do Rio Tocantins (SOUSA, 2016).

De acordo com Oliveira (2005), a área dessas bacias foi gradualmente ocupada, de forma irregular, provocando degradação ambiental, e afetando a



qualidade da água. A Figura 13 apresenta mapa com a localização dessas bacias, com a área limitada até a BR-010.

Figura 13 - Localização das bacias hidrográficas em Imperatriz-MA



Fonte: Autor (2022)

A BR-010 é um importante via que cruza a região central de Imperatriz-MA, a qual comporta 47,7% da região urbana do município, considerada periférica (SANTOS; NUNES, 2020). Assim, as bacias que limitadas até essa via, apresentadas na Figura 12, demarcam a área de interesse do estudo.

A maior dessas bacias é a do Rio Cacau, que possui 915,76 km<sup>2</sup>, enquanto as demais possuem menos 100 km<sup>2</sup> cada. Os valores de área de cada bacia encontra-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Áreas das bacias hidrográficas de Imperatriz-MA

Bacia	Área (Km <sup>2</sup> )
Cacau	915,76
Norte	60,22
Bacuri	14,68
Capivara	8,74
Cacauzinho	7,83
Central	1,25

Fonte: Autor

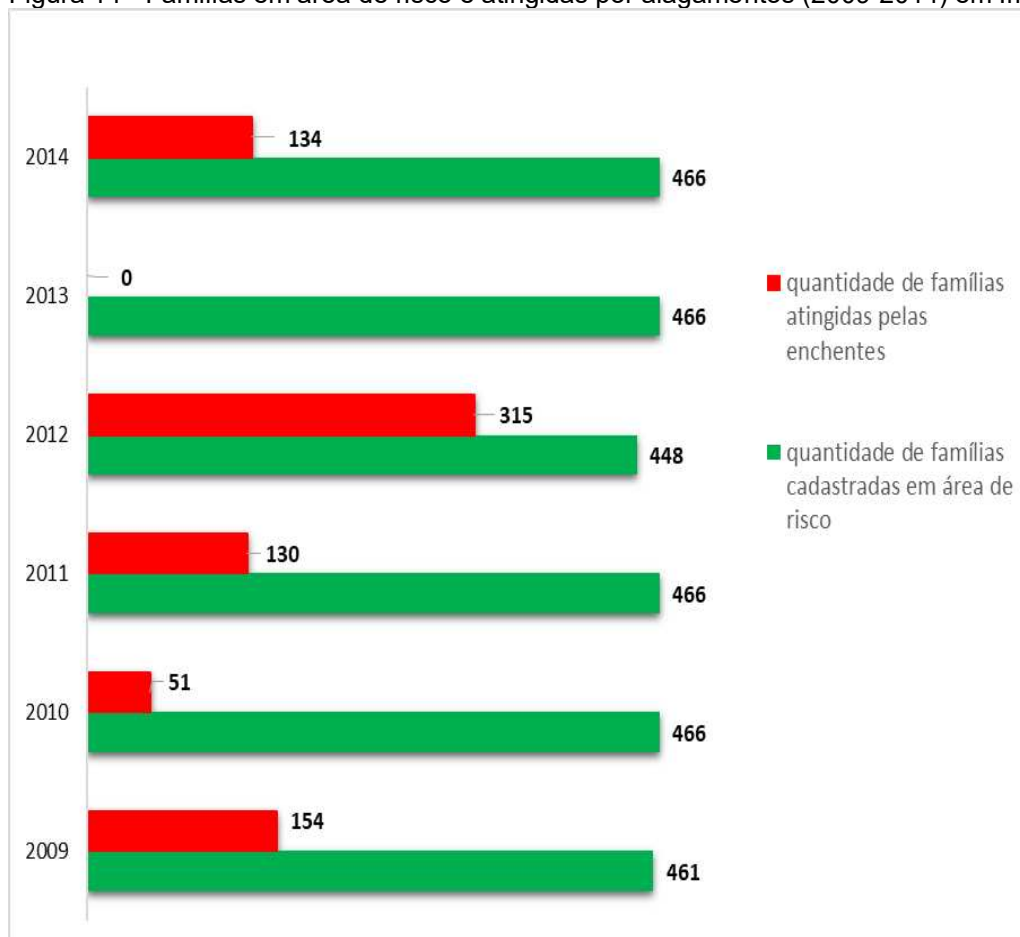
A Bacia Bacuri, apesar de não ser a maior do município, possui relevância para o estudo do comportamento hídrico de Imperatriz-MA, visto que sua extensão dentro da área urbana contribui para ocorrência de enchentes (SOUSA, 2016).

O município de Imperatriz possui um longo histórico de enchentes e alagamentos. Assim, as famílias localizadas nas áreas de risco são acompanhadas pela Defesa Civil do município. E, durante as cheias, muitas dessas famílias ficam desalojadas ou desabrigadas.

Um estudo sobre os períodos de seca e chuva em Imperatriz identificou que o ano de 2013 foi um período de seca severa (NASCIMENTO et al., 2015a), o que explica a não ocorrência de enchentes e alagamentos no período. No mesmo sentido, fica evidenciado a relação direta das precipitações com os transbordamentos dessas bacias.

A Figura 14 apresenta o número de famílias morando nessas áreas de risco e famílias atingidas por alagamentos entre 2009 e 2014.

Figura 14 - Famílias em área de risco e atingidas por alagamentos (2009-2014) em Imperatriz-MA

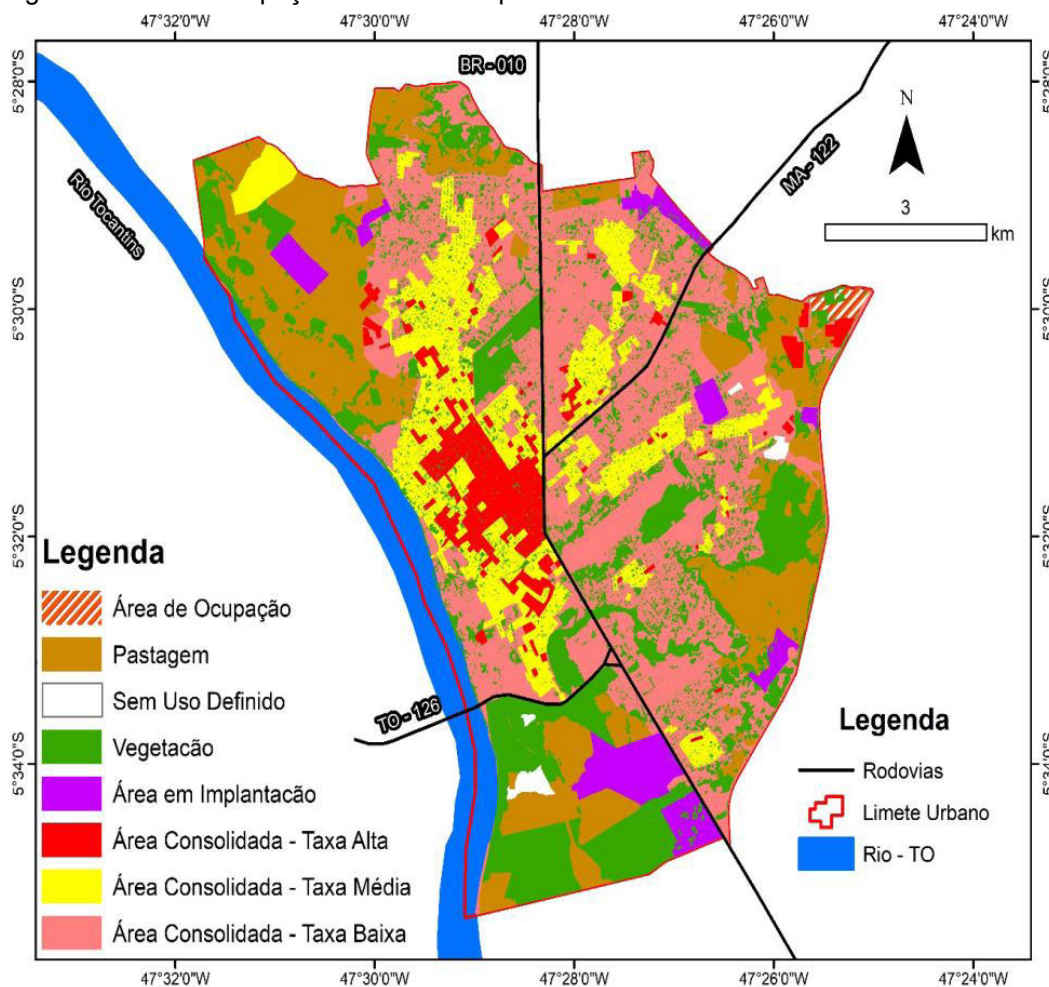


Fonte: Adaptado de NABHAN (2016)

O município de Imperatriz-MA passou por um processo de ocupação irregular, durante a primeira metade do século XX teve sua população aumentada de 7.889 para 14.064 habitantes, e a partir da década de 1950 até os anos 2000, sua população aumentou para 230.566 habitantes (SANTOS; NUNES, 2020). Esse aumento expressivo na segunda metade do século XX demonstra como seu crescimento populacional ocorreu de forma exponencial, implicando na sua ocupação desordenada.

A ocorrência de inundações está relacionada a ocupação indevida das margens de rios e riachos, em que a urbanização reduz a infiltração do solo e provoca sobrecarga no sistema de drenagem (SILVA, 2021). Assim, é possível relacionar a expansão das áreas urbanizadas com o registro de eventos de inundações em Imperatriz-MA. A Figura 15 apresenta o uso e ocupação do solo de Imperatriz-MA no ano de 2016, com destaque para as áreas urbanas.

Figura 15 - Uso e ocupação do solo de Imperatriz-MA

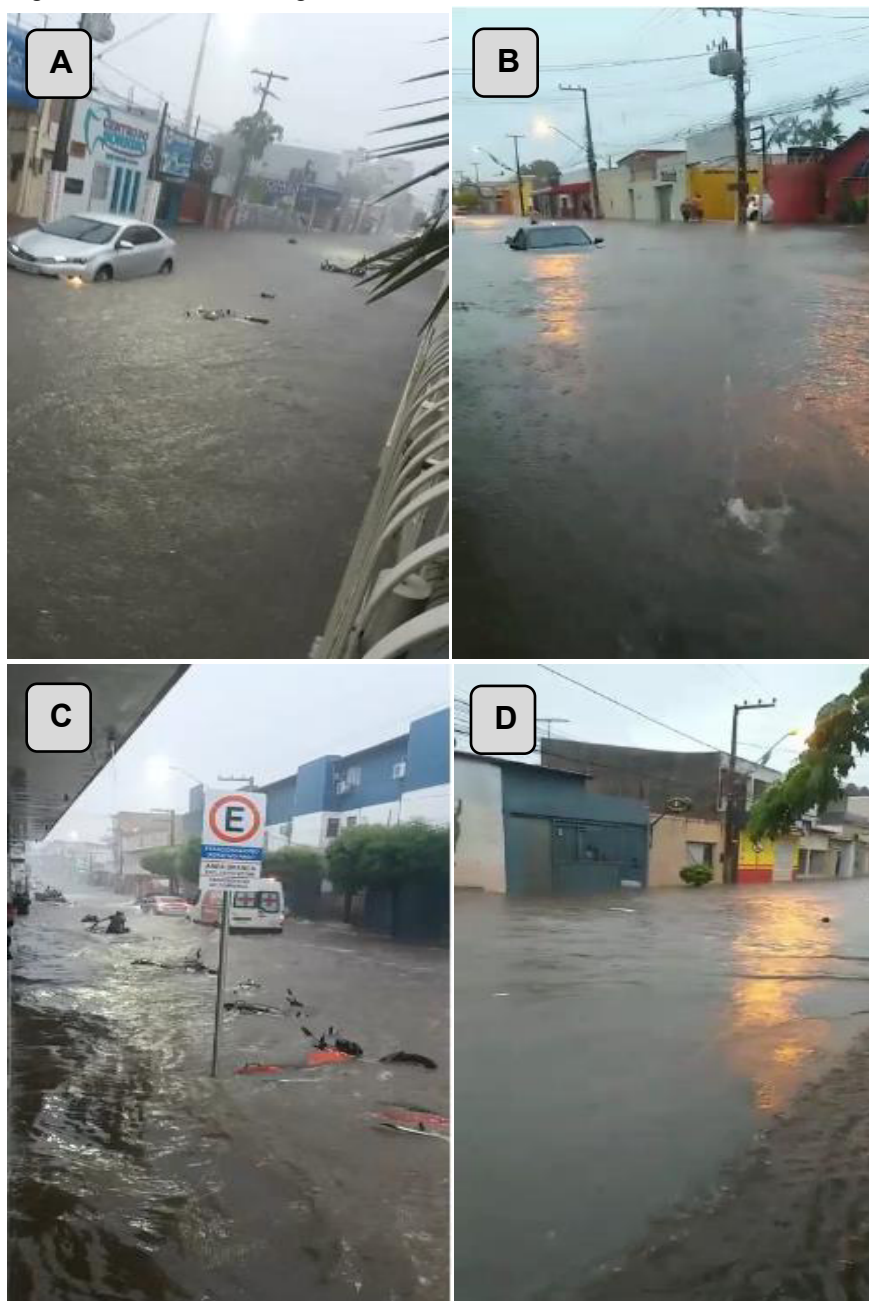


Fonte: SANTOS; NUNES, 2020

O código florestal determina que construções próximas a cursos d'água devem respeitar uma distância mínima, estabelecida de acordo com a largura do curso d'água. No caso do Riacho Bacuri, que possui até 10 metros de largura, a distância mínima é de 30 m, porém, ao longo da margem do canal são verificadas áreas em que foi desrespeitada essa limitação (BRASL, 2012).

A Figura 16 apresenta o registro da enchente de 2021 na área da bacia Bacuri.

Figura 16 a,b,c e d – Registro de enchentes na bacia Bacuri



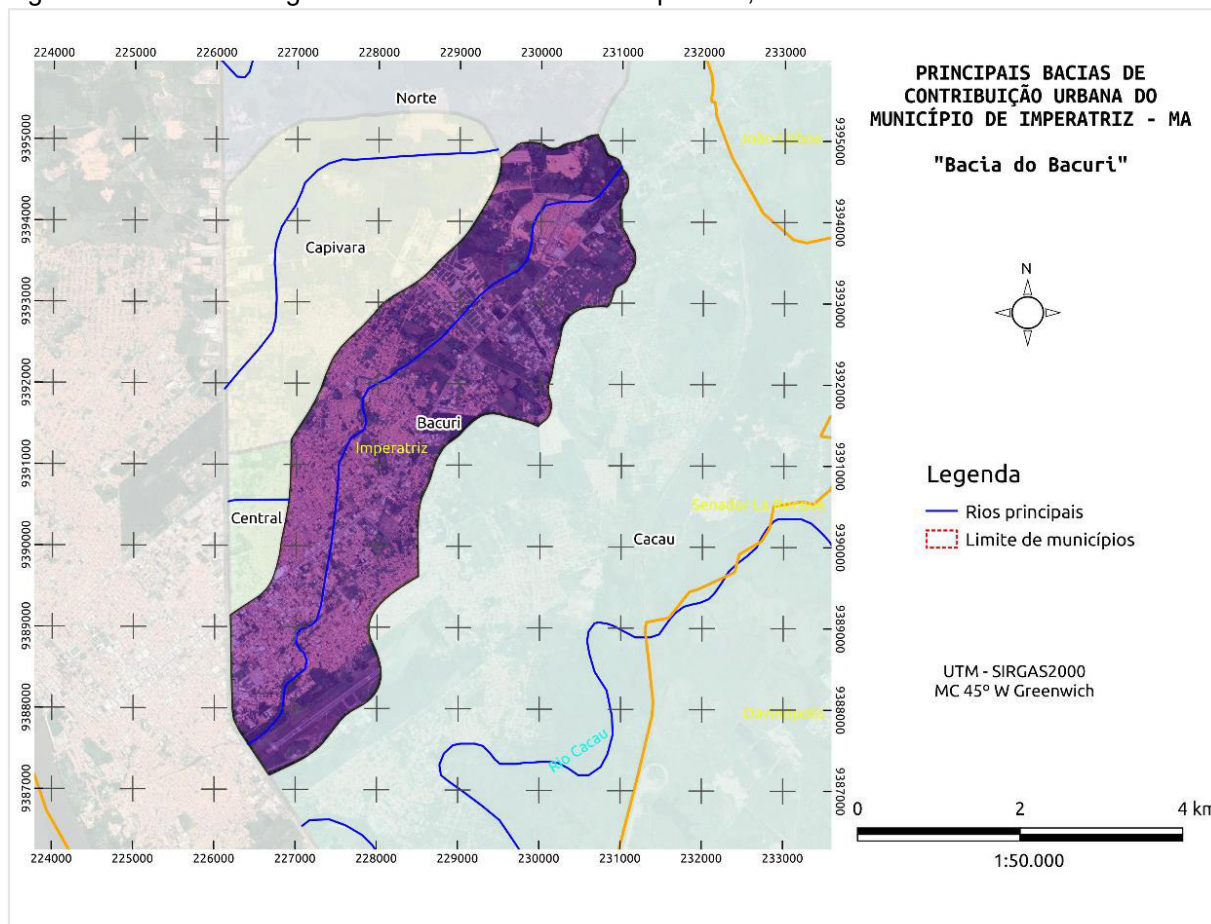
Fonte: Autor (2021)

A retirada da cobertura vegetal, obstrução do escoamento e aumento da impermeabilização do solo são fatores que reduzem a infiltração e consequentemente aumentam o escoamento pluvial (COSTA; SILVA, 2020). Dessa forma, a identificação de obras e edificações na margem do riacho contribuem para aumento do volume escoado, e pode ser um dos fatores que provocam as inundações registradas.

#### 5.4 Riacho Bacuri

O Riacho Bacuri é um afluente da margem direita do rio Tocantins (MENDES NETO; SOARES; LUCENA, 2018). A Figura 17 apresenta a área abrangida pela bacia hidrográfica do Riacho Bacuri.

Figura 17 – Bacia Hidrográfica do Riacho Bacuri em Imperatriz, MA



Fonte: Autor (2022)

Sua nascente é na área urbana de Imperatriz-MA, e possui 170 metros de altitude no ponto mais alto, e 100 m no ponto mais baixo, com 70 m de desnível

(SOUSA, 2016; ARAÚJO; SANTOS; OLIVEIRA, 2019). Os dados da bacia são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Dados morfométricos da Bacia Bacuri

Nome da bacia	Bacuri
Área da Bacia (ha)	1468,4503
Perímetro da Bacia (m)	21122,206
Cota Exutório (m)	105
Cota divisor (m)	149
Talvegue (m)	9439,2
Declividade m/km	4,66

Fonte: Autor

A área da Bacia do Bacuri possui basicamente dois tipos de solos, o Neossolo Flúvico Ta Eutrófico e Luvisolo Háplico Órtico. Os dados para a classificação hidrológica dos solos com base nas classes de uso e ocupação do solo, grupo de solo e o correspondente Curva Número são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Curva Número da bacia Bacuri

Classe de uso do solo	Bacuri				
	Área (ha)	Grupo-SOLO	CN	Área %	CN Ponderado
Tipo de solo: RYve - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico					
Infraestrutura Urbana	62,1864	C	94	0,04234832	3,98074215
Pastagem	3,5242	C	81	0,00239995	0,19439556
Tipo de solo: TXo - Luvisolo Háplico Órtico					
Água	1,3486	D	98	0,00091838	0,09000155
Formação Campestre	1,1688	D	71	0,00079594	0,05651182
Formação Florestal	29,7518	D	69	0,02026068	1,39798694
Formação Savânica	16,7242	D	77	0,01138901	0,87695408
Infraestrutura Urbana	1043,9381	D	94	0,71091148	66,8256788
Outras Áreas não Vegetadas	5,5315	D	94	0,0037669	0,35408828
Pastagem	304,2766	D	88	0,20720934	18,2344221
	<b>1468,4502</b>				<b>92,0108</b>

Fonte: Autor (2022)

De acordo com a Tabela 7, o uso e ocupação do solo da bacia é predominantemente de infraestrutura urbana, que possui um CN alto, constata-se que a bacia possui solos pouco permeáveis, dificultando a infiltração do volume de precipitação no solo.

A partir do CN ponderado obtido, no valor de 92,0108, foi possível a obtenção do valor de escoamento superficial S, utilizando a equação 2, que resultou em 22,05. Quanto ao tempo de concentração, considerando o comprimento de 9,44 km do talvegue e declividade de 4,66 m/km, obteve-se o valor de 177,52 min, usando a equação 7. Os dados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Cálculo do escoamento superficial e tempo de concentração da bacia Bacuri

CN ponderado	Talvegue L (km)	Declividade S (m/km)	$T_c = 57 * \left( \frac{L^2}{S} \right)^{0,385}$	$S = \frac{25400}{CN} - 254$
92,0108	9,44	4,66	177,52	22,05

Fonte: Autor

Com os dados de S e Tc, determinou-se a precipitação efetiva e o coeficiente de escoamento volumétrico para a bacia Bacuri, utilizando as equações 2 e 6, conforme os dados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Cálculo da precipitação efetiva e coeficiente de escoamento volumétrico da bacia Bacuri

TR	$P(\text{mm}) = \frac{T_c (k * TR^a)}{(T_c + b)^{\frac{c}{60}}}$	$P_e (\text{mm}) = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}$	$C_2(\text{adm}) = \frac{P_e}{p}$
2,00	76,36	55,07	0,72
5,00	87,61	65,76	0,75
10,00	97,21	74,98	0,77
15,00	103,30	80,86	0,78
20,00	107,86	85,27	0,79
25,00	111,53	88,83	0,80
50,00	123,75	100,72	0,81
<b>100,00</b>	<b>137,31</b>	<b>113,98</b>	<b>0,83</b>
200,00	152,35	128,75	0,85

Fonte: Autor (2022)

Além disso, com uso da Equação 5, obteve-se o valor da intensidade de chuva. Os dados utilizados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Dados para cálculo da intensidade de chuva da bacia Bacuri

TR (ano)	K (adm)	a (adm)	b (adm)	c (adm)	TC (min)	I (mm/h)
100,00	1.130,32	0,15	10,00	0,74	177,52	46,41

Fonte: Autor (2022)

Seguindo o procedimento apresentado, foram definidos os parâmetros para a Bacia Bacuri, e são apresentados de forma resumida na Tabela 11.

Tabela 11 – Parâmetros determinados para a Bacia Bacuri

Nome da bacia	Bacuri
Precipitação efetiva (mm)	113,98
Coeficiente de escoamento volumétrico (adm)	0,830
Tempo de concentração (min)	177,5
Intensidade da chuva (mm/h)	46,41

Fonte: Autor (2022)

## 5.5 Rio Cacau

O Rio Cacau localiza-se na Mesorregião Oeste do Maranhão, e alcança seis municípios da Microrregião de Imperatriz: Senador La Roque, Buritirana, João Lisboa, Davinópolis, Governador Edson Lobão e Imperatriz (SOUSA, 2016).

Tem sua nascente em Davinópolis-MA, e a foz na Praia do Cacau em Imperatriz-MA, no Rio Tocantins (OLIVEIRA, 2005).

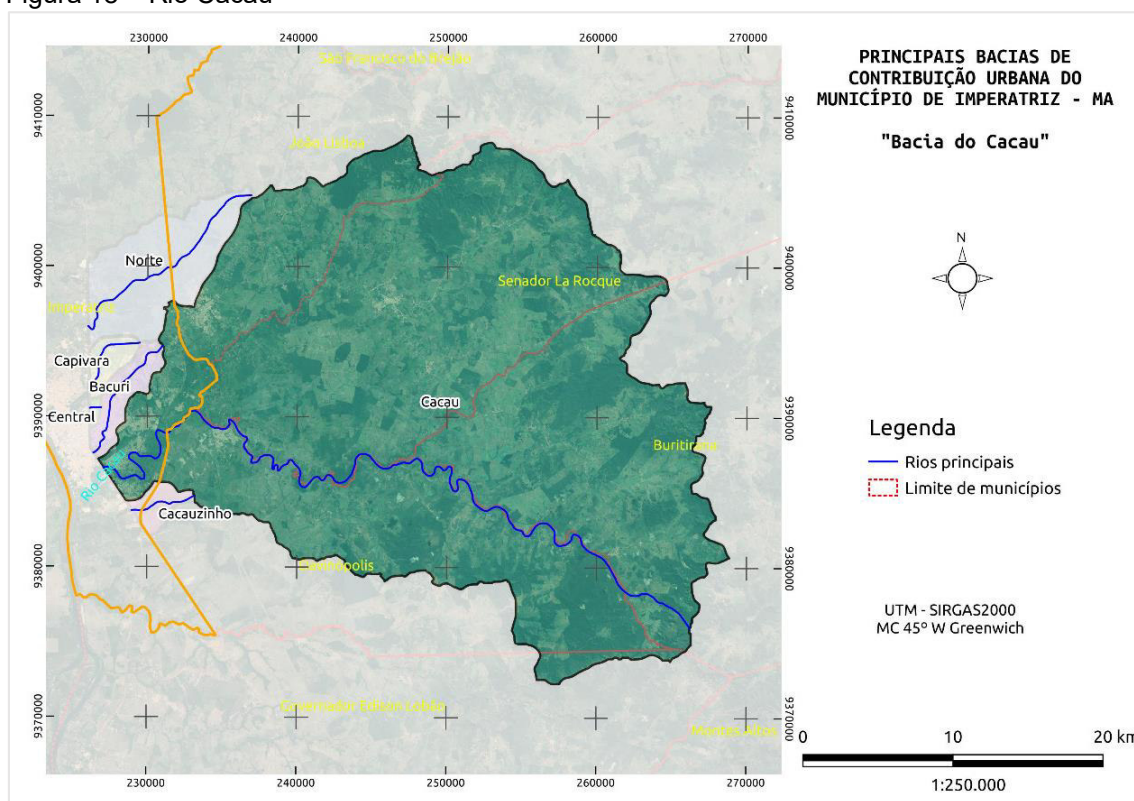
De acordo com Oliveira (2005), a Bacia do Cacau possui pequenos braços e ramificações durante seu percurso, com parte alagadiça, que formam pequenas lagoas e ilhas. Ainda de acordo com o autor, a maior parte de sua área tem cobertura verde, pois dentre as bacias estudadas, é a menos afetada pela urbanização de Imperatriz-MA.

A bacia possui altitudes médias de 250 m, e relevo de planície com poucas elevações. O solo predominante na bacia do Rio Cacau é o Argissolo, que favorece o escoamento superficial, pois possui baixa capacidade de infiltração. (SANTOS; LEAL, 2009).

A Figura 18 apresenta o mapa da área do Rio Cacau.



Figura 18 – Rio Cacau



Fonte: Autor (2022)

As características físicas da Bacia do Cacau são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Dados morfométricos da Bacia Cacau

Nome da bacia	Cacau
Área da Bacia (ha)	91576,76
Perímetro da Bacia (m)	156266,707
Cota Exutório (m)	90
Cota divisor (m)	460
Talvegue (m)	65393,9
Declividade m/km	0,57

Fonte: Autor

A área da Bacia do Cacau possui seis tipos de solos: FXd - Plintossolo Háplico Distrófico; LAd - Latossolo Amarelo Distrófico; LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico; PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico; RYve - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico; e, TXo - Luvisolo Háplico Órtico.

Os dados de uso e ocupação e o correspondente Curva Número são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Curva Número do Rio Cacau

<b>Cacau</b>					
<b>Classe do uso de solo</b>	<b>Área ha</b>	<b>Grupo-SOLO</b>	<b>CN</b>	<b>Área %</b>	<b>CN Ponderado</b>
Tipo de solo: FXd - Plintossolo Háplico Distrófico					
Formação Campestre	18,3401	D	71	0,00020033	0,01422356
Formação Florestal	3688,3647	D	69	0,04028859	2,77991275
Formação Savânica	397,2983	D	77	0,00433975	0,33416091
Infraestrutura Urbana	29,5853	D	94	0,00032316	0,0303775
Outras Áreas não Vegetadas	25,2411	D	94	0,00027571	0,02591698
Outras Lavouras Temporárias	2,6078	D	88	0,00002848	0,00250672
Pastagem	10948,6664	D	88	0,11959403	10,5242732
Tipo de solo: LAd - Latossolo Amarelo Distrófico					
Água	27,6666	B	98	0,00030221	0,02961625
Formação Campestre	30,7026	B	55	0,00033537	0,01844531
Formação Florestal	2629,8385	B	52	0,02872614	1,49375936
Formação Savânica	634,1671	B	55	0,00692711	0,38099091
Infraestrutura Urbana	467,4770	B	85	0,00510633	0,43403764
Outras Áreas não Vegetadas	61,7978	B	85	0,00067503	0,05737731
Outras Lavouras Temporárias	4,8555	B	67	0,00005303	0,00355351
Pastagem	11690,5689	B	67	0,12769793	8,55576142
Tipo de solo: LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico					
Formação Campestre	0,5691	B	55	0,00000622	0,0003419
Formação Florestal	278,1521	B	52	0,00303830	0,15799157
Formação Savânica	77,2216	B	55	0,00084350	0,04639271
Infraestrutura Urbana	208,9720	B	85	0,00228263	0,19402391
Outras Áreas não Vegetadas	6,4148	B	85	0,00007006	0,00595594
Outras Lavouras Temporárias	0,8095	B	67	0,00000884	0,00059243
Pastagem	375,4981	B	67	0,00410162	0,27480888
Tipo de solo: PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico					
Água	18,5255	C	98	0,00020235	0,01983098
Floresta Plantada	4,4070	C	70	0,00004814	0,00336969
Formação Campestre	9,7129	C	70	0,00010609	0,00742669
Formação Florestal	24016,9723	C	70	0,26234122	18,3638829
Formação Savânica	1605,2100	C	70	0,01753397	1,22737738
Infraestrutura Urbana	85,5834	C	94	0,00093484	0,08787505
Outras Áreas não Vegetadas	84,8214	C	94	0,00092651	0,08709265
Outras Lavouras Temporárias	4,0361	C	81	0,00004409	0,00357104
Pastagem	28787,5380	C	81	0,31445088	25,470517
Tipo de solo: RYve - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico					
Infraestrutura Urbana	0,2313	C	94	0,00000252	0,00023749
Tipo de solo: TXo - Luvisso Háplico Órtico					
Água	4,3445	D	98	0,00004745	0,00465065
Formação Campestre	2,6604	D	71	0,00002906	0,00206326
Formação Florestal	977,4127	D	69	0,01067643	0,7366739
Formação Savânica	149,7433	D	77	0,00163567	0,12594657
Infraestrutura Urbana	1169,9278	D	94	0,01277930	1,20125479
Outras Áreas não Vegetadas	35,7870	D	94	0,00039091	0,03674526
Outras Lavouras Temporárias	1,8881	D	88	0,00002062	0,00181491
Pastagem	2984,9993	D	88	0,03260562	2,86929448
<b>Total</b>	<b>91548,6159</b>				<b>75,6146453</b>

Fonte: Autor (2022)

A Tabela 13 indica que o uso e ocupação do solo da bacia é predominantemente de formação florestal e pastagens, confirmando o estudo de Oliveira (2005), de que mesmo com o processo de ocupação desordenada, sua área é menos afetada pela urbanização do que a das demais bacias de contribuição urbana de Imperatriz-MA.

Por meio das Equações 1, 2, 7 e 6 foram definidos os parâmetros para a Bacia Cacau, de forma análoga ao procedimento apresentado para a bacia Bacuri. Os dados estão na Tabela 14.

Tabela 14 – Parâmetros determinados para a Bacia Cacau

Nome da bacia	Cacau
Precipitação efetiva (mm)	180,37
Coefficiente de escoamento volumétrico (adm)	0,699
Tempo de concentração (min)	1774,44
Intensidade da chuva (mm/h)	8,72

Fonte: Autor (2022)

## 5.6 Córrego Cacauzinho

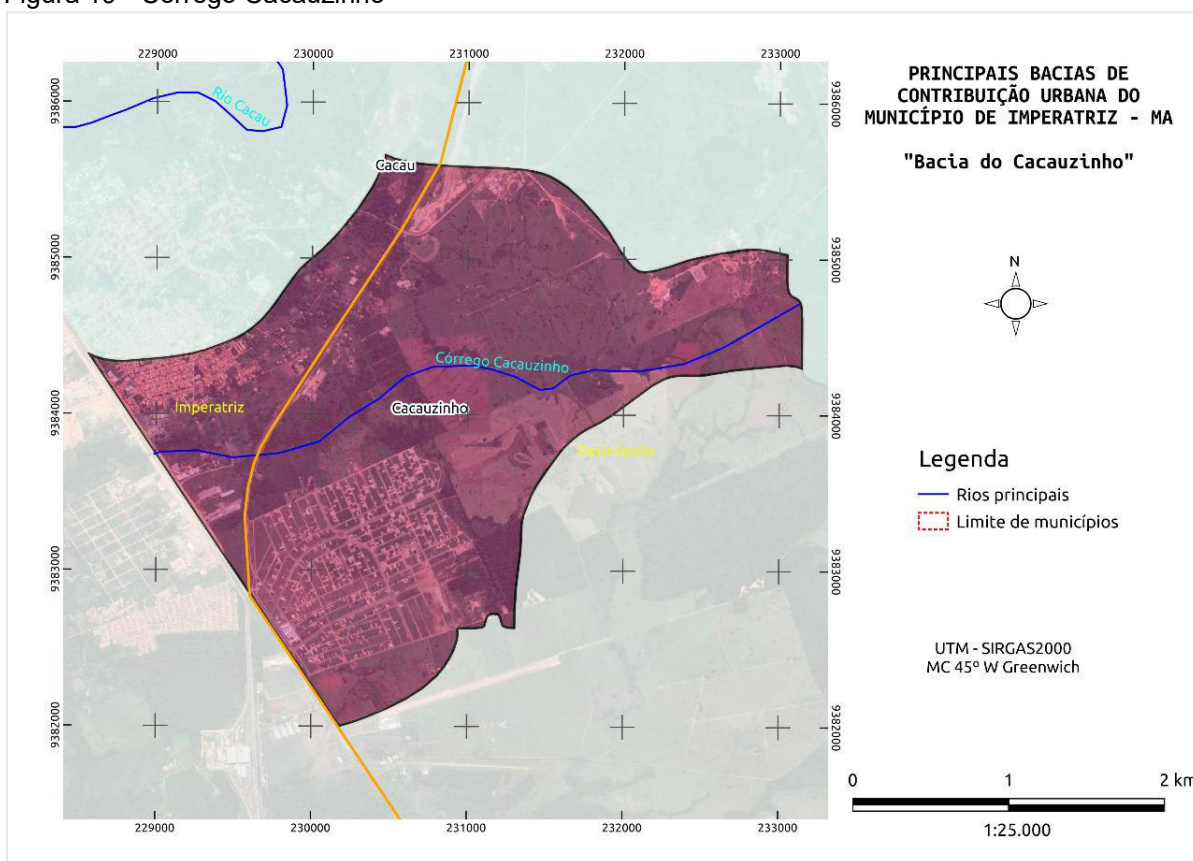
O Córrego Cacauzinho possui 4,2 km de extensão, e é uma das sub-bacias do Rio Cacau, compreendendo cerca de 3,52% de sua área (SANTOS, 2016; SANTOS, 2017).

O uso de seus recursos hídricos é destinado especialmente à pecuária e piscicultura. Seu solo é pouco suscetível à erosão, contudo, está sujeito a perda de biomassa em razão do desmatamento para abertura de pastos (SANTOS, 2016).

Diante disso, o Córrego Cacauzinho possui histórico de transbordamento, que provoca inundações em bairros da área urbana e povoados da zona rural (NASCIMENTO, 2019). Já foram registrados diversos eventos de cheia no local, em que ocorreu enchentes e alagamentos, deixando os moradores locais desabrigados ou desalojados, além de dificultar a realização das atividades econômicas na área, como a pesca e a pecuária.

A Figura 19 apresenta o mapa da área da sub-bacia do Cacauzinho.

Figura 19 - Córrego Cacauzinho



Fonte: Autor (2022)

As características físicas da sub-bacia do Cacauzinho são apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Dados morfométricos da bacia Cacauzinho

Nome da bacia	Cacauzinho
Área da Bacia (ha)	783,94
Perímetro da Bacia (m)	13522,90
Cota Exutório (m)	100
Cota divisor (m)	143
Talvegue (m)	447,48
Declividade m/km	9,61

Fonte: Autor (2022)

A área do Córrego Cacauzinho é constituída por dois tipos de solo: Latossolo Amarelo Distrófico e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Os dados de uso e ocupação e a correspondente Curva Número são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Curva Número da bacia Cacauzinho

<b>Cacauzinho</b>					
<b>Classe do uso de solo</b>	<b>Área ha</b>	<b>Grupo-SOLO</b>	<b>CN</b>	<b>Área %</b>	<b>CN Ponderado</b>
Tipo de solo: LAd - Latossolo Amarelo Distrófico					
Formação Florestal	1,2587	B	55	0,00160559	0,08830761
Formação Savânica	1,9819	B	52	0,0025281	0,1314614
Infraestrutura Urbana	4,9510	B	55	0,00631548	0,3473512
Outras Áreas não Vegetadas	0,1895	B	55	0,00024173	0,0132949
Pastagem	34,7153	B	67	0,0442827	2,96694101
Tipo de solo: LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico					
Formação Campestre	1,2350	B	55	0,00157536	0,08664487
Formação Florestal	6,0238	B	52	0,00768394	0,39956466
Formação Savânica	19,9730	B	55	0,02547748	1,40126146
Infraestrutura Urbana	139,7502	B	85	0,17826481	15,152509
Outras Áreas não Vegetadas	12,3979	B	85	0,01581471	1,34425061
Outras Lavouras Temporárias	6,9229	B	67	0,00883082	0,59166523
Pastagem	554,5480	B	67	0,70737927	47,3944113
	<b>783,9472</b>				<b>69,9176632</b>

Fonte: Autor (2022)

A Tabela 16 indica que a maior parte da ocupação do solo é por área de pastagem, e outras áreas verdes. Assim, verifica-se que a sub-bacia do Cacauzinho possui baixo valor de Curva Número, favorecendo a infiltração no solo.

Por meio das Equações 1, 2, 7 e 6 foram definidos os parâmetros para a Bacia Cacauzinho, de forma análoga ao procedimento apresentado para a bacia Bacuri. Os dados estão na Tabela 17.

Tabela 17 – Parâmetros determinados para a Bacia Cacauzinho

<b>Nome da bacia</b>	<b>Cacauzinho</b>
Precipitação efetiva (mm)	4,829
Coefficiente de escoamento volumétrico (adm)	0,102
Tempo de concentração (min)	12,84
Intensidade da chuva (mm/h)	221,33

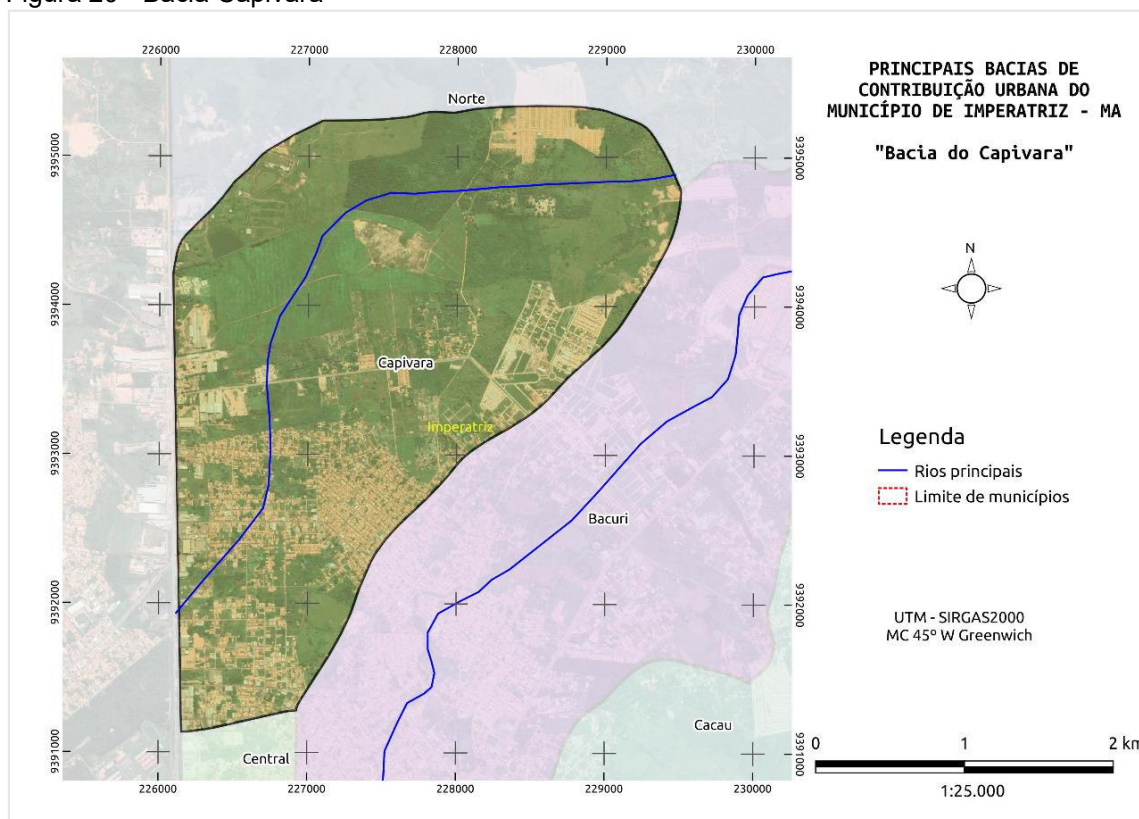
Fonte: Autor (2022)

## 5.7 Riacho Capivara

O Riacho Capivara nasce dentro do perímetro urbano de Imperatriz-MA, e tem sua foz no Rio Tocantins. A Bacia da Capivara possui um total de 11 canais, divididos entre a primeira a terceira ordem (SOUSA, 2016).

A Figura 20 apresenta o mapa da Bacia Capivara.

Figura 20 - Bacia Capivara



Fonte: Autor (2022)

A Bacia Capivara possui 180 metros de altitude no alto do curso e 120 na parte mais baixa, tendo seu desnível de apenas 60 m (RODRIGUES et al., 2019).

O riacho possui um total de 15,08 km de extensão, com quase todo o percurso na área urbana. Em razão disso, a Bacia Capivara recebe grande quantidade de resíduos sem tratamento adequado, tanto de origem doméstica, quanto de atividades econômicas instaladas no entorno do riacho (NASCIMENTO et al., 2015b).

As características da Bacia Capivara são apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18 - Dados morfométricos da bacia Capivara

Nome da bacia	Capivara
Área da Bacia (ha)	874,54
Perímetro da Bacia (m)	12523,3
Cota Exutório (m)	108
Cota divisor (m)	153
Talvegue (m)	5306,46
Declividade m/km	0,85

Fonte: Autor (2022)

O solo da bacia Capivara é do tipo Luvisolo Háplico Órtico. A Tabela 19 apresenta a Curva Número para essa bacia, conforme o uso e ocupação do solo.

Tabela 19 - Curva Número da bacia Capivara

<b>Capivara</b>					
Classe do uso de solo	Área (ha)	Grupo-SOLO	CN	Área %	CN Ponderado
TXo - Luvisolo Háplico Órtico					
Água	1,7081	D	98	0,00195313	0,19140682
Formação Florestal	88,7830	D	71	0,10151912	7,20785767
Formação Savânica	19,8674	D	69	0,02271742	1,56750222
Infraestrutura Urbana	395,2507	D	77	0,45195031	34,8001736
Outras Áreas não Vegetadas	5,5694	D	94	0,00636834	0,59862424
Outras Lavouras Temporárias	0,3596	D	88	0,00041119	0,03618432
Pastagem	363,0064	D	88	0,41508049	36,527083
	<b>874,5446</b>				<b>80,9288319</b>

Fonte: Autor (2022)

De acordo com a Tabela 19, o uso e ocupação do solo é dividida entre infraestrutura urbana e pastagens.

Por meio das Equações 1, 2, 7 e 6 foram definidos os parâmetros para a Bacia Capivara, de forma análoga ao procedimento apresentado para a bacia Bacuri. Os dados estão na Tabela 20.

Tabela 20 – Parâmetros determinados para a Bacia Capivara

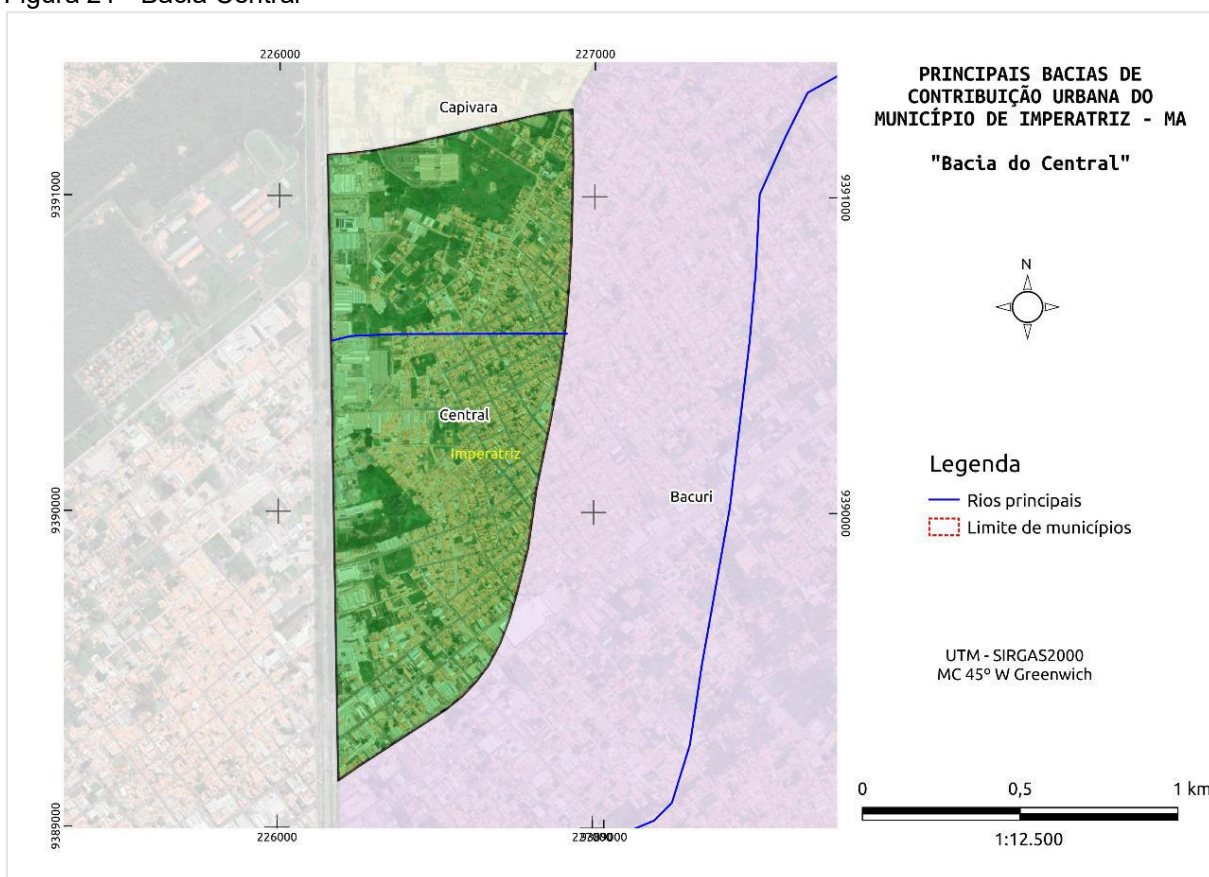
Nome da bacia	Capivara
Precipitação efetiva (mm)	92,709
Coeficiente de escoamento volumétrico (adm)	0,634
Tempo de concentração (min)	219,55
Intensidade da chuva (mm/h)	39,95

Fonte: Autor (2022)

## 5.8 Bacia Central

A bacia Central possui apenas 1 canal. A Figura 21 apresenta mapa da Bacia Central.

Figura 21 - Bacia Central



Fonte: Autor (2022)

As características físicas da Bacia Central são apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21 - Dados morfométricos da bacia Central

Nome da bacia	Central
Área da Bacia (ha)	125,75
Perímetro da Bacia (m)	5182,16
Cota Exutório (m)	112
Cota divisor (m)	123
Talvegue (m)	745,54
Declividade m/km	1,48

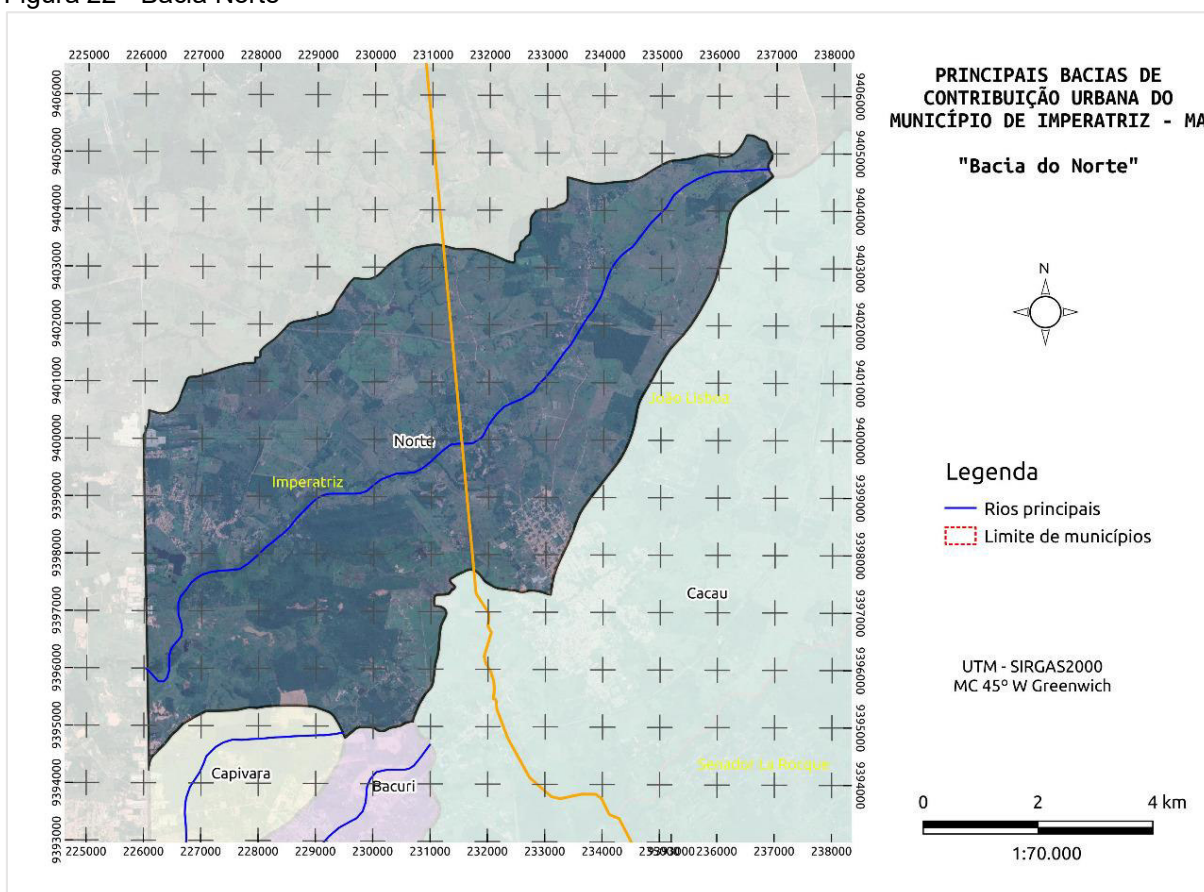
Fonte: Autor (2022)

O solo da bacia Central é constituído por dois tipos, o Neossolo Flúvico Ta Eutrófico e o Luvissoilo Háplico Órtico. A Tabela 22 apresenta a Curva Número da bacia Central.





Figura 22 - Bacia Norte



Fonte: Autor (2022)

As características físicas da Bacia Norte são apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24 - Dados morfométricos da bacia Norte

Nome da bacia	Norte
Área da Bacia (ha)	6022,67
Perímetro da Bacia (m)	39465
Cota Exutório (m)	103
Cota divisor (m)	173
Talvegue (m)	15480,01
Declividade m/km	0,45

Fonte: Autor (2022)

O solo da bacia Central é constituído por dois tipos, o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico e o Luvisolo Háplico Órtico. A Tabela 25 apresenta a Curva Número da bacia Central.

Tabela 25 - Curva Número da bacia Norte

<b>Norte</b>				
<b>Classe do uso de solo</b>	<b>Área ha</b>	<b>Grupo-SOLO CN</b>	<b>Área %</b>	<b>CN Ponderado</b>
Tipo de solo: PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico				
Formação Campestre	1,7083	C	70 0,00028364	0,01985514
Formação Florestal	74,8598	C	70 0,01242967	0,87007666
Formação Savânica	0,2460	C	70 0,000000040	0,0028592
Outras Áreas não Vegetadas	0,4934	C	94 0,000000081	0,00770083
Outras Lavouras Temporárias	2,4133	C	81 0,0004007	0,03245691
Pastagem	365,9063	C	81 0,06075482	4,92114003
Tipo de solo: TXo - Luvisolo Háplico Órtico				
Água	24,9936	D	98 0,00414992	0,40669207
Formação Campestre	3,1468	D	71 0,00052249	0,03709696
Formação Florestal	956,5612	D	69 0,15882672	10,959044
Formação Savânica	66,0446	D	77 0,010966	0,84438179
Infraestrutura Urbana	207,7574	D	94 0,03449589	3,24261339
Outras Áreas não Vegetadas	21,2735	D	94 0,00353224	0,33203022
Outras Lavouras Temporárias	0,6660	D	88 0,00011058	0,00973123
Pastagem	4296,6014	D	88 0,71340456	62,7796015
	<b>6022,6716</b>			<b>84,4652799</b>

Fonte: Autor (2022)

De acordo com a Tabela 25, a maior parte de seu uso e ocupação de solo é de áreas verdes, com pastagem e cobertura florestal.

Por meio das Equações 1, 2, 7 e 6 foram definidos os parâmetros para a Bacia Norte, de forma análoga ao procedimento apresentado para a bacia Bacuri. Os dados estão na Tabela 26.

Tabela 26 – Parâmetros determinados para a Bacia Norte

<b>Nome da bacia</b>	<b>Norte</b>
Precipitação efetiva (mm)	149,89
Coefficiente de escoamento volumétrico (adm)	0,762
Tempo de concentração (min)	637,81
Intensidade da chuva (mm/h)	18,50

Fonte: Autor (2022)

Diante dos dados levantados para cada uma das bacias que afetam a área de interesse do estudo, a Tabela 27 apresenta um resumo dos dados.

Tabela 27 - Resumo de dados morfométricos das bacias

<b>Nome da bacia</b>	<b>Bacuri</b>	<b>Cacau</b>	<b>Cacauzinho</b>	<b>Capivara</b>	<b>Central</b>	<b>Norte</b>
Área da Bacia (ha)	1468,45	91576,76	783,94	874,54	125,75	6022,67
Perímetro da Bacia (m)	21122,20	156266,70	13522,90	12523,3	5182,16	39465
Cota Exutório (m)	105	90	100	108	112	103
Cota divisor (m)	149	460	143	153	123	173
Talvegue (m)	9439,2	65393,9	447,48	5306,46	745,54	15480,01
Declividade m/km	4,66	0,57	9,61	0,85	1,48	0,45

Fonte: Autor (2022)

Quanto a área de drenagem das bacias estudadas, a Tabela 27 indica que as maiores são as bacias Cacau, Norte e Bacuri, respectivamente. Mas, o Rio Cacau alcança outros seis municípios, e a Bacia Norte afeta também a cidade de João Lisboa-MA, enquanto a bacia Bacuri tem toda sua área limitada ao perímetro urbano de Imperatriz (NASCIMENTO, 2019; SOUSA, 2016). Diante desses resultados, observa-se que bacia Bacuri possui grande relevância na análise dos eventos de inundação e alagamentos registrados na cidade.

A Tabela 27 ainda destaca que as bacias Bacuri e Cacauzinho são as que apresentam maior declividade, enquanto as bacias Cacau, Capivara e Norte possuem declividade menor que 1. De acordo com Santos (2017), a área urbana de Imperatriz-MA é predominada por planícies, que representam mais de 50% da ocupação total, justificando assim os baixos valores de declividade encontrados para as bacias estudadas.

A declividade é um fator importante a ser considerado, pois influencia na velocidade de escoamento da água, tempo de concentração e, conseqüentemente, capacidade de infiltração do solo (FRANÇA; RIBEIRO, 2019). Assim, as bacias Bacuri e Cacauzinho tendem a ter um escoamento mais veloz, enquanto as bacias mais planas tendem a ter um escoamento mais lento. Sendo o escoamento mais lento, maiores serão as possibilidades de infiltração no solo.

A Tabela 28 apresenta resumo com dados das bacias, em relação aos parâmetros obtidos para precipitação, coeficiente de escoamento volumétrico, tempo de concentração e intensidade de chuva.

Tabela 28 - Resumo dos parâmetros determinados para as bacias

Nome da bacia	Bacuri	Cacau	Cacauzinho	Capivara	Central	Norte
Precipitação efetiva (mm)	113,98	180,37	4,829	92,709	81,778	149,89
Coefficiente de forma $C_1$	0,96	1,02	1,17	1,87	1,54	1,06
Coefficiente de escoamento volumétrico $C_2$ (adm)	0,830	0,699	0,102	0,634	1	0,762
Coefficiente de escoamento $C$	0,5455	0,4694	0,0721	0,5947	0,8144	0,5187
Tempo de concentração (min)	177,5	1774,44	12,84	219,55	39,142	637,81
Intensidade da chuva (mm/h)	46,41	8,72	221,33	39,95	125,35	18,50
Coefficiente de distribuição da chuva $k$	0,98	0,97	0,98	0,97	0,95	0,95

Fonte: Autor (2022)

Na Tabela 28 destacam-se os coeficientes de escoamento volumétrico. O maior valor é o da bacia Central, que equivale a 1. Essa bacia possui 81% de sua área constituída por Luvissole Háplico Órtico, que é um solo classe D, de baixa capacidade de infiltração (TARGA et al., 2012). Além disso, é totalmente ocupada por infraestrutura urbana (Tabela 22), e o resultado denota o impacto que a urbanização sem planejamento provoca no ecossistema.

O processo de urbanização cria um novo ecossistema ao modificar elementos como o solo, a topografia e a cobertura vegetal, assim, a ocupação de áreas urbanas sem planejamento interfere nos processos naturais e pode ser relacionado ao aumento do escoamento superficial (COSTA; SILVA, 2020). Para reduzir o escoamento superficial são necessárias medidas para maximizar a infiltração no solo, com a adoção de técnicas mais sustentáveis na urbanização das cidades.

Em seguida, encontra-se a bacia Bacuri, cujo coeficiente de escoamento é de 0,830. Essa bacia possui cerca de 75% (Tabela 7) de sua área de drenagem com infraestrutura urbana, e considerando sua área cerca de 11 vezes maior que a da Bacia Central, seu volume escoado tende a ser maior do que esta.

As inundações de áreas ribeirinhas ocorrem pela dinâmica natural dos rios durante seu ciclo hidrológico, mas, esses eventos podem ocorrer de forma combinada

com inundações provocadas pelo escoamento pluvial, cuja a principal causa é o uso e ocupação irregular das margens dos rios e riachos (SILVA, 2021)

A Lei de Zoneamento, Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo de Imperatriz estabelece uma zona de proteção ambiental na faixa de 25 metros a partir da margem do Riacho Bacuri, além disso, as edificações são limitadas as dois pavimentos, e são proibidos os loteamentos, condomínios e conjuntos habitacionais nessas zonas, e pelo menos 50% da cobertura vegetal natural deve ser preservada na execução de qualquer obra ou edificação (IMPERATRIZ, 2004).

Apesar disso, a partir de 2012 foi construído um empreendimento residencial que retirou 100% da cobertura vegetal da margem do Riacho Bacuri e ainda canalizou seus rejeitos domésticos para dentro do canal (LEITE, 2020). Ademais, é autorizado o uso e ocupação da área da Bacia Bacuri para diversas atividades de comércio e serviços (IMPERATRIZ, 2004).

Essa flexibilização é duramente criticada por Leite (2020) que entende que mesmo que a ocupação da área tenha ocorrido de forma irregular, o poder público não poderia ter avalizado por meio de lei, que uma área considerada de proteção ambiental pudesse sofrer tantas intervenções.

As bacias Norte, Cacau e Capivara possuem coeficiente de escoamento volumétrico igual a 0,762, 0,699 e 0,634 respectivamente (Tabela 28). Estas são bacias que possuem menor grau de urbanização, justificando seus coeficientes menores.

No caso da bacia Norte, somente 3,44% de sua área é ocupada por infraestrutura urbana, sendo predominada por área de pastagem, 71% (Tabela 25). Em contrapartida, é constituída por 71% de Luvissole Háplico Órtico, que tem alta capacidade de escoamento.

A bacia Cacau possui somente 2,14% de infraestrutura urbana, dividindo sua ocupação entre pastagens e formação florestal (Tabela 13). Por outro lado, a bacia Capivara divide sua ocupação entre 45% de infraestrutura urbana e 41% de pastagem (Tabela 16).

Por fim, a bacia Cacauzinho é a que possui o menor coeficiente de escoamento volumétrico, de 0,102, em razão de ter apenas 18,4% de ocupação urbana, associado as suas características naturais, como 0,57 de declividade, e 70% solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, que é um solo arenoso com permeabilidade acima da média (TARGA et al., 2012).

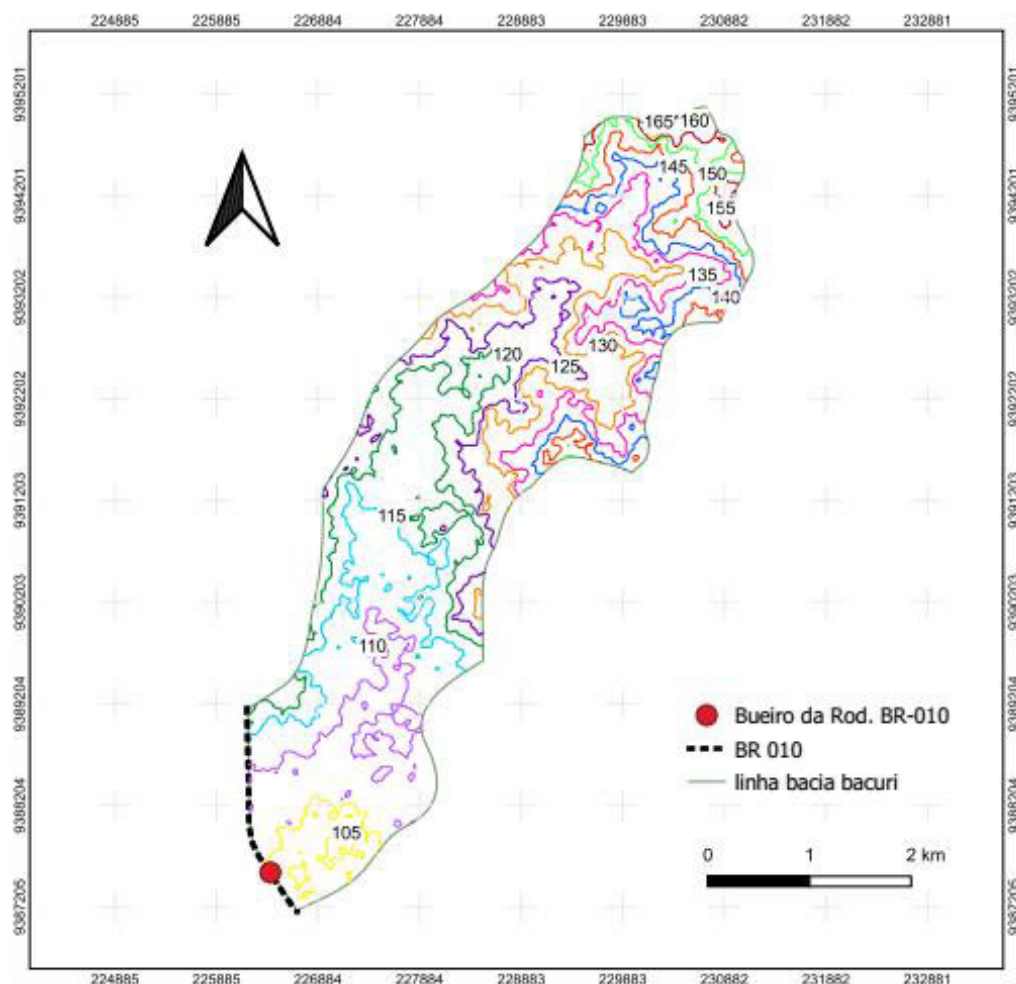
A comparação entre as bacias estudadas permite concluir que a Bacia Bacuri é a que possui maior risco de inundações em Imperatriz-MA, e que o processo de urbanização às margens do seu canal pode ser a principal causa.

### 5.10 Cota-volume da Bacia Bacuri

A definição da curva cota-volume depende da definição das cotas e volumes de água acumulado, além da determinação dos volumes de entrada, saída e reservação da bacia.

A Figura 23 apresenta as curvas de nível da bacia Bacuri, limitada até a BR-010, com intervalos de 5 m cada.

Figura 23 - Curvas de nível da bacia Bacuri



Fonte: Autor (2022)

A partir de dados de curvas de nível da Bacia Bacuri, foi possível determinar a área entre as cotas, e conseqüentemente os volumes de água acumulado entre as cotas.

Os dados estão na Tabela 29, e abrangem a área da bacia limitada à BR-010, como definido anteriormente.

Tabela 29 - Cota, área inundada e volume acumulado

Cota (m)	Área inundada (m <sup>2</sup> )	Área média (m <sup>2</sup> )	Desnível (m)	Volume parcial (m <sup>3</sup> )	Volume acumulado (m <sup>3</sup> )
100	0,00	-	-	0,00	0,00
105	728.248,68	-	5,00	1.213.747,80	1.213.747,80
110	2.652.295,73	1.690.272,21	5,00	8.451.361,03	9.665.108,83
115	4.514.662,72	3.583.479,22	5,00	17.917.396,12	27.582.504,95
120	6.645.478,48	5.580.070,60	5,00	27.900.352,99	55.482.857,94
125	8.320.180,51	7.482.829,50	5,00	37.414.147,48	92.897.005,42
130	9.926.642,93	9.123.411,72	5,00	45.617.058,61	138.514.064,03
135	11.447.551,93	10.687.097,43	5,00	53.435.487,15	191.949.551,17
140	12.445.932,52	11.946.742,22	5,00	59.733.711,12	251.683.262,30
145	13.198.681,63	12.822.307,07	5,00	64.111.535,37	315.794.797,66

Fonte: Autor (2022)

a - o volume parcial na segunda linha equivale ao volume de um tetraedro

b - a partir da terceira linha, o volume é dado pelo produto entre a área média e o desnível, conforme método do DAEE (2008)

Por meio da equação básica de I-PAI-WU (Equação 8) foi possível determinar as vazões de entrada no valor de 77,42 m<sup>3</sup>/s, utilizando os dados Tabela 30.

Tabela 30 - Dados para cálculo das vazões pelo método I-PAI-WU

Parâmetro	Valor
Coefficiente de escoamento superficial C (adm)	0,5455
Intensidade da chuva <i>i</i> (mm/h)	46,41
Área da bacia (Km <sup>2</sup> )	14,68
Coefficiente de distribuição espacial da chuva k	0,98

Fonte: Autor (2022)



A vazão de saída foi estimada em 26,10 m<sup>3</sup>/s, por meio da fórmula Chézy-Manning (Equação 12), utilizando os dados da Tabela 31.

Tabela 31 - Dados para cálculo das vazões pelo método Chézy-Manning

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Número de bueiros de concreto	9
Diâmetro $D$ (m)	0,80
Declividade média $I$ (m/m)	0,07955
Perímetro molhado $P_m$ (m)	2,117
Área molhada $A_m$ (m <sup>2</sup> )	0,490
Raio hidráulico $R_h$ (m)	0,2316
Coefficiente de rugosidade $n$	0,018

Fonte: Autor (2022)

Com uso da Equação 13 foram determinados os volumes de entrada e saída. Os resultados são apresentados na Tabela 32.

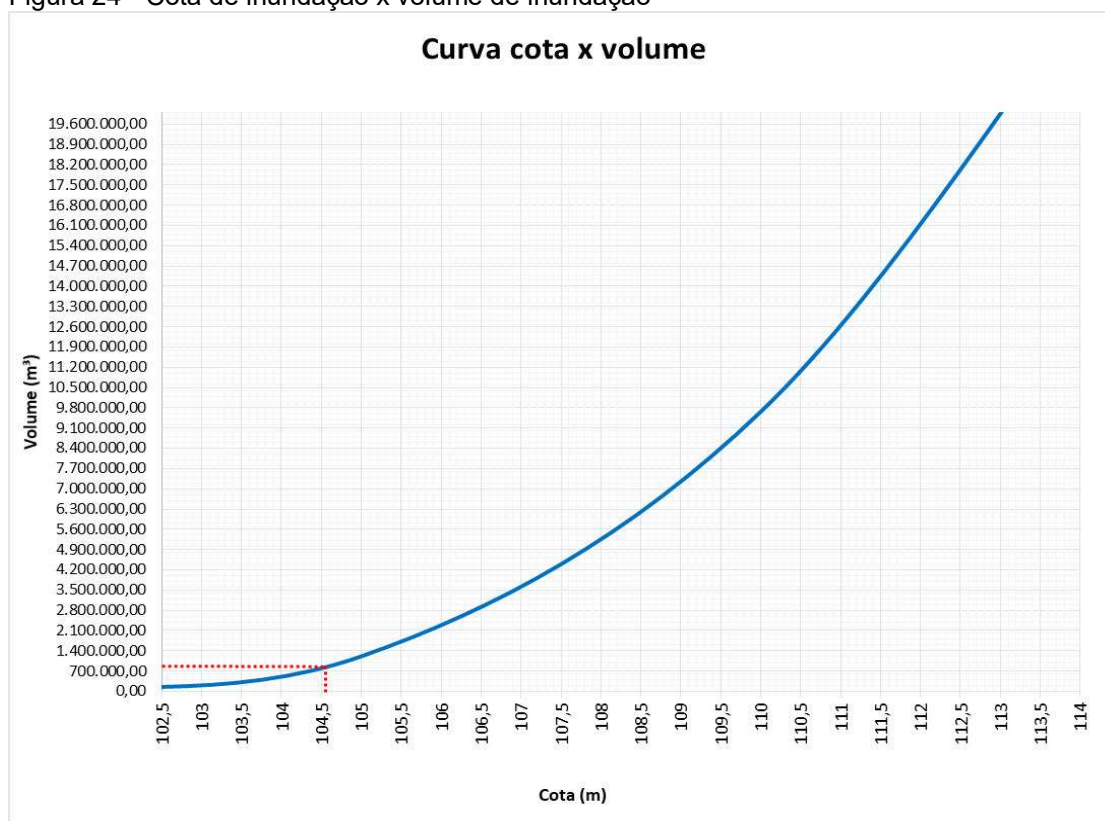
Tabela 32 - Volume e cota de inundação

<b>Vazão de entrada</b> <b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Vazão de saída</b> <b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Volume de entrada</b> <b>(m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume de</b> <b>saída (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume</b> <b>Reserva (m<sup>3</sup>)</b>
77,42	26,1	1.236.949,89	375.288,12	861.661,77

Fonte: Autor (2022)

Assim, foi elaborado a curva cota-volume da bacia Bacuri, para um período de retorno de 100 anos. Considerando os volumes calculados, o volume de inundação equivale a 861.661,77 m<sup>3</sup>, e atingiria a cota de inundação em 104,55 metros (Figura 24), situação em que a água não passaria por cima da rodovia BR-010, que fica na cota 105, resultando numa folga de apenas 0,45 m.

Figura 24 - Cota de inundação x volume de inundação



Fonte: Autor (2022)

O resultado considera um coeficiente de escoamento calculado em 0,5455 (Equação 9). Assim, o volume de inundação atingiria a cota 105 caso o valor do coeficiente chegasse a 0,7009, situação em que a água passaria pela BR-010.

Estudos semelhantes, como a pesquisa de Maria Filho (2016), referente a Bacia de Itaim, em Taubaté-SP, que possui um coeficiente de escoamento de 0,24, determinou que em um período de retorno de 100 anos o volume de inundação alcançaria a ponte por cima do ribeirão Itaim.

Um outro estudo, sobre o risco de inundação da bacia do Rio Una, determinou que para um período de retorno de 100 anos, somente com um coeficiente de escoamento de 0,50 o volume de inundação alcançaria a ponte na BR-116 (SANTOS et al., 2020).

A partir dos estudos citados pode-se inferir que o dimensionamento da estrutura hidráulica da bacia Bacuri seria adequado para dar vazão as cheias, especialmente quando comparado a outras bacias, em que se verifica que eventos semelhantes pode ocasionar o alagamento de vias. Contudo, deve-se considerar toda a área atingida pela cota de inundação, como apresentado na Figura 25.

Figura 25 - Área de inundação



Fonte: Autor (2022)

A área de inundação apresentada na Figura 25 refere-se a cota de inundação para uma chuva de tempo de retorno de 100 anos. Consta-se que apesar de se ter uma folga de 0,45 m até a BR-010, a cota de inundação em 104,55 já afeta áreas residenciais. Além disso, havendo uma cheia desse tipo, haverá extrapolação da área da bacia Bacuri, afetando também a área da bacia Cacau. Portanto, a inundação dessa área no caso de uma precipitação máxima com tempo de retorno de 100 anos deve ser evitada.

Entre as medidas preventivas que podem ser adotadas, cita-se a construção de bacias de retenção, ações de preservação ambiental, proibição do uso e ocupação do solo, dentre outros (SANTOS et al., 2020; MARIA FILHO et al., 2016).

No caso da bacia Bacuri, os resultados indicaram que a causa das inundações já registradas está ligada ao uso e ocupação desordenada. Embora a Lei municipal nº 003/2004 (Lei de Zoneamento) estabeleça uma área de preservação ambiental na

faixa de 25 metros da margem do Riacho Bacuri, alguns trechos são totalmente ocupados por residências, eliminando a margem existente (OLIVEIRA et al., 2021).

Observa-se que a ocupação irregular de Imperatriz esteve presente no processo de formação do espaço urbano, e permanece nos dias atuais. Este cenário indica que a modificação desse espaço pode elevar o risco de inundações.

Corroborando, um estudo de caso realizado em Santa Catarina, em que a área da bacia teve um acréscimo de 15% em sua ocupação por edificações e infraestrutura urbana, de 1998 a 2007, constatou que a capacidade de escoamento existente no início do período não permitia o transbordamento, agora para eventos com período de retorno de 25, 50 e 100 anos, a bacia não possui mais essa capacidade, podendo causar inundação de uma área de até 65126,1 m<sup>2</sup> (MULUNGO, 2012).

No mesmo sentido, um estudo realizado em Belém-PA observou que um acréscimo de 215% na área urbanizada da bacia do Tucunduba provocou um aumento de 127% no escoamento superficial (TARGA et al., 2012).

Dessa forma, infere-se que ainda que os resultados apontam que a rodovia ainda não é alcançada por eventos de precipitação máxima com tempo de retorno de 100 anos, a continuidade desse processo de urbanização desordenada pode mudar esse cenário nos próximos anos, visto que o ritmo de crescimento de Imperatriz vem aumentando.

Além disso, a área de inundação obtida por meio da curva cota-volume já afeta áreas residenciais, demandando ações imediatas para conter as cheias e evitar prejuízos a economia, meio ambiente e saúde.

## 6 CONCLUSÃO

A Bacia Bacuri no município de Imperatriz – MA a partir de precipitação máxima com 100 anos de tempo de retorno, e do coeficiente de escoamento superficial (  $C = 0,54$ ), em função de do uso e ocupação do solo na bacia, apresentou vazão de entrada de  $77,42 \text{ m}^3/\text{s}$ , e de saída ( $26,10 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ao chegar na Rodovia BR-010, o que resulta um volume de inundação de  $861.661,77 \text{ m}^3$ , ao atingir a cota de inundação em  $104,55 \text{ m}$ , que embora não alcance a cota máxima da BR-010, causa inundação em áreas residenciais.

A capacidade de amortecimento de cheia neste ponto é baixa, em relação ao volume de cheia da bacia Bacuri. Este cenário explica as recorrentes inundações no bairro Bacuri, e aponta a necessidade de mudanças estruturais para aumentar a vazão nos bueiros do local, bem como ações de implantação de políticas de conservação e de congelamento de áreas, nesta e em outras bacias do município.

## REFERÊNCIAS

ABILEAH, R.; VIGNUDELLI, S.; SCOZZARI, A. A completely remote sensing approach to monitoring reservoirs water volume. **International Water Technology Journal**, v. 1, n. 1, p. 59-72, 2011. Disponível em: <http://www.jomegak.com/Publications/2011%20IWTC%20Paper.pdf>. Acesso em 09 set. 2020

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Brasil. **Orientações para atualização das curvas cota x área x volume** / Agência Nacional de Águas (ANA); Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. Brasília: ANA, SGH, 2013.

ALSDORF, D. E.; RODRIGUEZ, E.; LETTENMAIER, D. P. Measuring surface water from space. **Reviews of Geophysics**, v. 45, n. 2, p. 1-24, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/2006RG000197>. Acesso em 13 set. 2020

ANA – Agência Nacional de Águas. **Estado das Águas no Brasil 2016**: em busca do equilíbrio. Brasília: ANA, 2016.

ARAGÃO, R. et al. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 243-252, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/BhXZtxVXDqwJJjwLD9X6GXS/abstract/?lang=pt>. Acesso em 10 out. 2020

ARAÚJO, L. E. et al. Análise estatística de chuvas intensas da bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 162-169, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/FSVpjkvPkkKcXhYKmgzz3kC/?lang=pt&format=html>. Acesso em 09 set. 2021

ARAÚJO, Rafael de Oliveira; SANTOS, Luiz Carlos Araújo dos; OLIVEIRA, Allison Bezerra. Problemas Ambientais Em Bacias Hidrográficas Urbanas: O caso da bacia hidrográfica do riacho bacuri em Imperatriz - MA. In: BURNETT, Frederico Lago; VASCONCELOS P. JUNIOR, Magno (Orgs.). I Congresso Internacional de Desenvolvimento Regional e o IV Seminário do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Socioespacial e Regional da Universidade Estadual do Maranhão: metropolização do espaço e direito à cidade. São Luís: EDUEMA, 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Nobre/publication/338344570\\_As\\_Regioes\\_Metropolitanas\\_Pos-Constituicao\\_de\\_1988\\_e\\_o\\_problema\\_da\\_articulacao\\_federativa\\_os\\_consorcios\\_intermunicipais\\_na\\_RMSP/links/5e0e29cf299bf10bc38c15f3/As-Regioes-Metropolitanas-Pos-Constituicao-de-1988-e-o-problema-da-articulacao-federativa-os-consorcios-intermunicipais-na-RMSP.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Nobre/publication/338344570_As_Regioes_Metropolitanas_Pos-Constituicao_de_1988_e_o_problema_da_articulacao_federativa_os_consorcios_intermunicipais_na_RMSP/links/5e0e29cf299bf10bc38c15f3/As-Regioes-Metropolitanas-Pos-Constituicao-de-1988-e-o-problema-da-articulacao-federativa-os-consorcios-intermunicipais-na-RMSP.pdf). Acesso em 20 dez. 2021

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 1993. p.177-242.

BONNET, B. R. P.; FERREIRA, L. G.; LOBO, F. C. Relações entre qualidade da água e uso do solo em Goiás: uma análise à escala da bacia hidrográfica. **Revista Árvore**, v. 32, p. 311-322, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rarv/a/JQyBqLtr46bMCBkyVDkc7Ny/?format=pdf&lang=pt>> Acesso em 20 dez 2021.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Portaria GM/ MS nº 1.823, de 23 de agosto de 2012.** Instituiu a Política Nacional de Saúde do Trabalhador e da Trabalhadora. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 ago. 2012.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Código Florestal.** 2012. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm). Acesso em 11 fev. 2022

BRIGANTE, J. & ESPÍNDOLA, E. L. G. **Limnologia Fluvial: Um Estudo no Rio MogiGuaçu.** São Carlos: Editora RiMa. 278p. 2003.

CAMPOS *et al.*, Alcinei Ribeiro. Equações de intensidade de chuvas para o Estado do Maranhão. **Engenharia na agricultura**, Viçosa – MG, v. 23, n. 5, p. 435-447, set/out 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/541>. Acesso em 11 ago. 2021.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/cXmkNxxTThc8ksdjWwFM6vNt/abstract/?lang=pt&forma t=html>. Acesso em 18 set. 2020

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia Prática**, CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais. Rio de Janeiro-RJ, 1994.

CARVALHO, T. M. de. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. **RBGF – Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, v. 01, n.01, p. 73-85, maio/ago 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/viewFile/232608/26626>. Acesso em 09 set. 2020

CARVALHO, T.M. Quantificação de sedimentos em suspensão e de fundo no médio rio Araguaia. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 1, n.,1, p. 55-64, 2007. Disponível em: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA178534727&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=16787226&p=IFME&sw=w>. Acesso em 09 set. 2020

CARVALHO, T.M. Transporte de Carga Sedimentar no médio rio Araguaia entre os rios Crixás-Açú e Javaés. **Dissertação de mestrado (Geografia)**. Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2006. 87p.

CASTLE, S.; THOMAS, B.; REAGER, J.; RODELL, M.; SWENSON, S.; FAMIGLIETTI, J. S. Groundwater depletion during drought threatens future water security of the Colorado river basin. **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 16, p. 5904-5911,

2014. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2014GL061055>. Acesso em 09 set. 2020

CASTRO, M. P. de. Ações antrópicas na Bacia Hidrográfica do Riacho Bacuri em Imperatriz-MA. 2012, 67f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade de Taubaté. Programa de pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté. Taubaté, São Paulo, 2012.

CECÍLIO, R.A.; XAVIER, A.C.; PRUSKI, F.F.; HOLLANDA, M.P.; PEZZOPANE, J.E.M. Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensa no Espírito Santo. **Ambi-Água**, v.4, n.3 p.82-92, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92812346006.pdf>. Acesso em 09 set. 2020

COLLISCHONN, B.; CLARKE, R. T. Estimativa e incerteza de curvas cota-volume por meio de sensoriamento remoto. **RBRH**, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/CpxPnCVws8vkLRpgszPJqWC/?lang=pt>. Acesso em 09 abr. 2021

CORREA FILHO, C. R.; ALBERTIN, L. L.; MAUAD, F. F. Determinação dos polinômios cota x área x volume utilizando a Sonda Acoustic Doppler Profiler (ADP) no reservatório de Barra Bonita – SP. **Minerva**, v. 2, n. 1, p. 79-90, 2003. Disponível em: [http://fipai.org.br/Minerva%2002\(01\)%2009.pdf](http://fipai.org.br/Minerva%2002(01)%2009.pdf). Acesso em 11 jun. 2021

COSTA, M.V.; CHAVES, P.S.V. & OLIVEIRA, F.C. Uso das Técnicas de Avaliação de Impacto Ambiental em Estudos Realizados no Ceará. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação, **Anais INTERCON**, Rio de Janeiro, 2005.

COSTA, Ana Márcia Moura da; SILVA, Osvaldo Girão da. Considerações teóricas sobre bacias hidrográficas urbanizadas e o processo de inundação. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 22, n. 2, p. 219-238, 2020. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/txgxi3gjrjbybk5ngnqrv5v5ku/access/wayback/https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/download/672/564>. Acesso em 11 fev. 2022.

CRESTANA, Marcelo de Souza Machado et al. Florestas-Sistemas de recuperação com essências nativas, produção de mudas e legislações. 2 ed. Campinas: Cati, 2006.

CURI, N. et al. **Vocabulário de Ciência do Solo**. Campinas, SP, 1993.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A; TERRA, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para pelotas - RS. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 245-255, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/HZnRj8GgjrjXtGpzWb3GRdB/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 09 abr. 2021

DENARDIN, J.; FREITAS, P.L. Características fundamentais da chuva no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n.1, p.1409-1416, 1982.

DEPARTAMENTO DE AGUA E ENERGIA ELETRICA – DAEE. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo, DAEE, 2008. 116p.



DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro: Abes, 1993.

ELIAS, Beatriz de Souza et al. SISTEMA DE MICRODRENAGEM. In: COELHO, Filipe Alves et al. **Engenharia moderna: soluções para problemas da sociedade e da indústria 2**. Ponta Grossa - PR: Atena. 2021. pp.174-186. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/post-artigo/48426>. Acesso em 25 jan. 2021.

FERNANDES, B. M. Questão agrária: conflitualidade e desenvolvimento territorial. **Biblioteca Digital do Planejamento**: 2004. Disponível em: <[https://bibliotecadigital.seplan.planejamento.gov.br/bitstream/handle/iditem/564/Quest%C3%A3o%20agr%C3%A1ria\\_conflitualidade%20e%20desenvolvimento%20territorial.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bibliotecadigital.seplan.planejamento.gov.br/bitstream/handle/iditem/564/Quest%C3%A3o%20agr%C3%A1ria_conflitualidade%20e%20desenvolvimento%20territorial.pdf?sequence=1&isAllowed=y)> Acesso em 20 dez 2021.

FERNANDEZ, F. A. dos S. **O poema imperfeito**: crônicas de Biologia, conservação da natureza, e seus heróis. 2. ed. Curitiba: UFPR, 2004.

FRANÇA, Fernando Henrique Vidal; RIBEIRO, Danilo. Contribuições do processamento digital de imagens para a análise ambiental da bacia hidrográfica do rio pardo/sp. In: **Colloquium Exactarum**. ISSN: 2178-8332. 2019. p. 75-83. Disponível em: <http://revistas.unoeste.br/index.php/ce/article/view/3256>. Acesso em 21 fev. 2022.

FLORENZANO, T.G. Introdução a geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G (Org.). **Geomorfologia conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. p. 11-30.

FRANCO, A. C. V.; SANTOS, M. A. D. Contribuição da morfometria para o estudo das inundações na sub-bacia do Rio Luís Alves. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 3, p. 151-167, set./dez. 2015. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1984-22012015000300151&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1984-22012015000300151&script=sci_arttext&tlng=pt). Acesso em 15 ago. 2021.

FRANCO, Edu José; FILL, H. Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional. 155 f. **Dissertação**. Universidade Federal do Paraná, 2004. Disponível em: [https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/085-Edu\\_Jose\\_Franco.pdf](https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/085-Edu_Jose_Franco.pdf). Acesso em 20 dez. 2021

GAO, H. Satellite remote sensing of large lakes and reservoirs: from elevation and area to storage. **WIRES Water**, v. 2, n. 2, p. 147-157, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/wat2.1065>. Acesso em 09 abr. 2021.

GEBREMICHAEL, M.; HOSSAIN, F. **Satellite rainfall applications for surface hydrology**. Netherlands: Springer, 2010.

GIACOMETTI, K. de; DOMINSCHEK, D. L. Ações antrópicas e impactos ambientais: industrialização e globalização. **Caderno Intersaberes**, v. 7, n. 10, p. 140-156, 2018. Disponível em: <https://www.cadernosuninter.com/index.php/intersaberes/article/view/1078>. Acesso em 09 abr. 2021

GODOY, Erivelton Roberto de. Qprojeto-ferramenta de dimensionamento hidráulico para travessias e canais pelos métodos racional e I-PAI-WU. **Inter@ s ArqEng**, v. 2, n. 2, 2019. Disponível em: <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ArqEng/article/download/8363/67649512>. Acesso em 25 jan. 2021

GONÇALVES, L. S. Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite. 2011, 135f. **Dissertação** (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/49152>. Acesso em 20 abr. 2021

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos do INMET. [recurso online]**. 2022. Disponível Em: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/bdmep-dados-hist%C3%B3ricos>. Acesso em 25 jan. 2022.

IMPERATRIZ. Lei nº 003/2004. **Lei de zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo de Imperatriz**. 2004. Disponível em: [http://novo.imperatriz.ma.gov.br/media/site/download/commam/leis-municipais-e-ambientais/Lei\\_de\\_Zoneamento\\_de\\_Imperatriz\\_Altera%C3%A7%C3%A3o1.pdf](http://novo.imperatriz.ma.gov.br/media/site/download/commam/leis-municipais-e-ambientais/Lei_de_Zoneamento_de_Imperatriz_Altera%C3%A7%C3%A3o1.pdf). Acesso em: 11 fev. 2022

LEITE, Gustavo Carvalho. **A mortificação do riacho Bacuri em Imperatriz-MA**. Editora Dialética, 2020.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficinas de Textos, 2002.

LIMA, V. C.; MELO, V. de F. Perfil do solo e seus horizontes. IN: LIMA; V. C.; LIMA, M. R. de; MELO, V. de F. **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio**. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2007. Disponível em: [https://www.academia.edu/download/54666294/gestao\\_de\\_solo\\_completo.pdf#page=21](https://www.academia.edu/download/54666294/gestao_de_solo_completo.pdf#page=21). Acesso em 09 abr. 2021

MACHADO, R. A. S.; LOBÃO, J. S. B.; VALE, R. de M. C. Do; SOUSA, A. P. M. J. de. Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1441

MALDONADO, L. H.; WENDLAND, E. C.; PORTO, R. M. Avaliação de métodos de baixo custo para medição de vazão em córregos. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, p. 402-412, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/9NsjghVjk7XqYnVbRWxptYR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 20 dez 2021.

MARIA FILHO et al., Paulo José. Barragens de retenção em bacia hidrográfica com o uso de curvas cota - volume e hidrogramas triangulares sintéticos. **Ambiente & Água** - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, vol. 11, 2016, pp. 1119-1135. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92852596009> Acesso em 20 dez. 2021

MARTINEZ, M. **Aplicação de parâmetros morfométricos de drenagem na bacia do Rio Pirapó: o perfil longitudinal**. 2005. 96f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Depto. de Geografia, Centro de Ci. Humanas, Letras e Artes, Univ. Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

MATOS, A.; ESTIGONI, M.; MIRANDA, R.; MAUAD, F. Levantamento batimétrico em reservatório de grande porte destinado à usos múltiplos, estudo de caso: Uhe Nova Avanhandava (São Paulo, Brasil). In: **IX SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Planificación, Proyecto y Operación de Sistemas de Abastecimiento de Agua**. Janeiro 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Marcus-Estigoni/publication/51998296\\_LEVANTAMENTO\\_BATIMETRICO\\_EM\\_RESERVATORIO\\_DE\\_GRANDE\\_PORTE\\_DESTINADO\\_A\\_USOS\\_MULTIPLOS\\_ESTUDO\\_DE\\_CASO\\_UHE\\_NOVA\\_AVANHANDAVA\\_SAO\\_PAULO\\_BRASIL/links/0922b4f2968e33085a000000/LEVANTAMENTO-BATIMETRICO-EM-RESERVATORIO-DE-GRANDE-PORTE-DESTINADO-A-USOS-MULTIPLOS-ESTUDO-DE-CASO-UHE-NOVA-AVANHANDAVA-SAO-PAULO-BRASIL.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marcus-Estigoni/publication/51998296_LEVANTAMENTO_BATIMETRICO_EM_RESERVATORIO_DE_GRANDE_PORTE_DESTINADO_A_USOS_MULTIPLOS_ESTUDO_DE_CASO_UHE_NOVA_AVANHANDAVA_SAO_PAULO_BRASIL/links/0922b4f2968e33085a000000/LEVANTAMENTO-BATIMETRICO-EM-RESERVATORIO-DE-GRANDE-PORTE-DESTINADO-A-USOS-MULTIPLOS-ESTUDO-DE-CASO-UHE-NOVA-AVANHANDAVA-SAO-PAULO-BRASIL.pdf). Acesso em 09 abr. 2021

MENDES NETO, J. A.; SOARES, Z. T.; LUCENA, V. B. Identificação de pontos de degradação na trajetória do riacho Bacuri na cidade de Imperatriz-Maranhão. **Revista Educação Ambiental em ação**, v. 12, v. 45, set-nov 2013. Disponível em: <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1609>, 2013. Acesso em 07 out. 2020

MENEZES, R. H. N. de. **Caracterização agroclimática e análise do rendimento agrícola do Estado do Maranhão, Brasil**. 2009. 188f. (Tese de Doutorado em Meteorologia), Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba – Brasil, 2009. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/2084>. Acesso em 09 set. 2021

MOTA, Taina Ulhoa et al. Associação entre os métodos SCS-CN e GRADEX para cálculo de vazões máximas. **Dissertação**. 2016. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-AVRJPM>. Acesso em 25 jan. 2021

MUCELIN, C. A.; BELLINI, Ma. Lixo e Impactos Ambientais Perceptíveis no Ecosistema Urbano. **Soc. Nat.** (Online), Uberlândia, v. 20, n. 01 de junho de 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/q3QftHsxztCjbWxKmGBcmSy/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 09 abr. 2021

MULUNGO, Hermínio Elias. Estudo de inundação na bacia do campus da UFSC, Florianópolis-SC. **Dissertação**. 2012. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/100556>. Acesso em 21 fev. 2022.

NABHAN, Francine Adilia Rodante Ferrari. REGULAÇÃO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL: uma análise das margens do rio Tocantins no município de Imperatriz (MA). 132 f. Dissertação. UNITAU: 2016. Disponível em: <http://186.236.83.17/jspui/handle/20.500.11874/1038>. Acesso em 20 dez. 2021

NASCIMENTO, Angra. Desabrigados do povoado Cacauzinho recebem assistência. **Imirante.com**, Imperatriz, 08 de abr. de 2019. Disponível em: <https://imirante.com/imperatriz/noticias/2019/04/08/desabrigados-do-povoado-cacauzinho-recebem-assistencia.shtml>. Acesso em 18 dez. 2021.

NASCIMENTO, Bruno Lucio Meneses et al. Comportamento e avaliação de metais potencialmente tóxicos (Cu (II), Cr (III), Pb (II) e Fe (III)) em águas superficiais dos Riachos Capivara e Bacuri Imperatriz-MA, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, p. 369-378, 2015b. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/VgZJSgr5hpNBr6nspDhYT4b/?lang=pt>. Acesso em 20 dez. 2021

NASCIMENTO, Francisco das Chagas Araújo et al. Caracterização de eventos secos e chuvosos na microrregião de Imperatriz-MA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 02, p. 325-333, 2015a. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/233393/27126>. Acesso em 20 dez. 2021

OLIVEIRA, Allison Bezerra; NASCIMENTO, Amanda Araújo. Atores e impactos na reestruturação do espaço urbano de Imperatriz-MA: observações a partir da implantação da Suzano Papel e Celulose (2008-2015). Espaço e Economia. **Revista brasileira de geografia econômica**, n. 13, 2018. Disponível em: <https://journals.openedition.org/espacoeconomia/4281>. Acesso em 25 jan. 2022

OLIVEIRA, Antonio Neres. Os custos socioeconômicos e ambientais dos impactos da urbanização de Imperatriz nos mananciais urbanos – um estudo de caso na micro-bacia do riacho Bacuri. 146 f. **Dissertação** - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Belém, 2005. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido. Disponível em: <http://www.repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/1958> Acesso em 20 dez. 2021

OLIVEIRA, L.F.C.; CORTÊS, F.C.; WEHR, T.R.; BORGES, L.B.; SARMENTO, P.H.P.; GRIEBELER, N.P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para algumas localidades no estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.1, p.1318, 2005.

OLIVEIRA, Fabíola Santos Lima; TARGA, Marcelo dos Santos; BALDUÍNO, Ricardo; CATELANI, Celso de Souza; CASTRO, Mercedes Pereira de. Análise das ações antrópicas na bacia hidrográfica do Riacho Bacuri no município de Imperatriz-MA. **Revista Técnica Ciências Ambientais**, v. 5, n. 2, p. 1-9, 2021. Disponível em: <http://agro.unitau.br/repositorio/index.php/rca/article/view/77>. Acesso em 22 fev. 2022.

PARRA, G. G; TEIXEIRA, B. A. Análise dos espaços de circulação e permanência de pedestres (ECPP) em relação ao escoamento superficial das águas pluviais: Estudo

de caso de uma área residencial localizada em São José do Rio Preto/SP. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 4, n. 24, 2016. Disponível em: <https://www.eventoanap.org.br/data/inscricoes/998/form5963376.pdf>. Acesso em 20 dez 2021.

PATRICIO, Karoláine Fátima; CADORIN, Sabrina Baesso; BACK, Álvaro José. Métodos de estimativa de vazão máxima para projetos de macrodrenagem urbana. **Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil Unesc-CIVILTEC**, v. 4, n. 1, p. 54-72, 2021. Disponível em: <http://periodicos.unesc.net/engcivil/article/view/6171>. Acesso em 25 jan. 2021

PEDROSO, Andréia; MÄNNICH, Michael; MARANGON, Fernando Helmuth Syring. HIDROGRAMA UNITÁRIO SINTÉTICO: UM PANORAMA DOS PRINCIPAIS MÉTODOS E ALGUNS RESULTADOS. **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Florianópolis, 2017. Disponível em: <http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/60/PAP022362.pdf>. Acesso em 25 jan. 2021

PFAFSTETTER, O. **Chuvas Intensas no Brasil: Relação entre Precipitação, Duração e Freqüência de Chuvas Registradas com Pluviógrafos em 98 Postos Meteorológicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNOS, 1982. 426p.

PINTO, E.J.A.; AZAMBUJA, A.M.S. de; FARIAS, J.A.M.; SALGUEIRO, J.P.B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos**. Brasília: CPRM, 1 DVD, 2011.

REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DE GEOCIENCIAS – RIGeo. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação. Revisão 01**. 2015. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/14907/1/CS-Imperatriz.pdf>. Acesso em 16 dez. 2021.

REZENDE, G. B. de M. **Modelo hidrológico e hidráulico para estimativa e delimitação de áreas inundadas: uma ferramenta de auxílio à elaboração de Planos Diretores de Drenagem Urbana**. 2012, 134f. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de Engenharia Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Uberlândia, 2012.

RIBEIRO, Regina da Conceição. **ÁGUA VAI, ÁGUA VAI, ÁGUA VAI: os transbordamentos dos Riachos na cidade de Imperatriz- MA**. 61 f. **TCC**. Universidade Federal do Maranhão. Centro de Ciências Sociais, Saúde e Tecnologia. Imperatriz, 2018. Disponível em: <https://rosario.ufma.br/jspui/handle/123456789/4004>. Acesso em 20 dez. 2021

RODRIGUES et al., Mayron Luis Guimarães Brito. Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Riacho Capivara na Cidade de Imperatriz–Maranhão. **Rev. FSA, Teresina**, v. 16, n. 6, art. 9, p. 174-189, nov./dez. 2019. Disponível em: [https://www.academia.edu/download/61680428/Artigo\\_Capivara20200104-15464-1cjw5qr.pdf](https://www.academia.edu/download/61680428/Artigo_Capivara20200104-15464-1cjw5qr.pdf). Acesso em 20 dez. 2021

RODRIGUES, J. O. et al. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 4, p. 511-519, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/12505>. Acesso em 09 abr. 2020

ROLIM, Glauco de Souza, SENTELHAS, Paulo Cesar, BARBIERI, Valter. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 6, n. 1, p133-137,1998. Disponível em: [http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/ftp/bh\\_aula\\_sentelhas.xls](http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/ftp/bh_aula_sentelhas.xls). Acesso em 25 jan. 2022

ROLOFF, G. **Apostila da Disciplina de Erosão e Conservação dos Solos**, Curso de Agronomia, UFPR, 2008.

SÁ, L. A. de. **Utilização de imagens de satélite para determinação das curvas cota x área x volume do açude itans, localizado no município de Caicó, Rio Grande Do Norte, Brasil**. Universidade de Brasília – UnB. Especialização em Geoprocessamento Ambiental, 2018. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/22153>. Acesso em 09 abr. 2021.

SANTOS, Rodrigo Lima. Dinâmica e qualidade ambiental urbana da paisagem no município de imperatriz (MA). **Dissertação**. Programa de PósGraduação em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais. Universidade Federal de Goiás, 2017. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/8074>. Acesso em 20 dez. 2021

SANTOS, G. G. et al. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 899-905, 2009. Suplemento. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/bpWzDG7K6ysskvVTrxmmv4G/abstract/?lang=pt&format=html>. Acesso em 09 abr. 2021

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/HLxGt8xsqhhh5YnZrTbCgmh/abstract/?lang=pt>. Acesso em 09 abr. 2021

SANTOS, I. dos et al. **Hidrometria aplicada**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, Brasil, 2001, 372p.

SANTOS, Luiz Carlos Araújo dos; LEAL, Antonio Cezar. Análise geomorfológica em bacia hidrográfica através. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos: 2009**. Disponível em: [https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/152/9f588c3ae004cefc558fb8012eb4b8b\\_f05f89714fa377f46e6174b32d6b5c5d.pdf](https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/152/9f588c3ae004cefc558fb8012eb4b8b_f05f89714fa377f46e6174b32d6b5c5d.pdf). Acesso em 20 dez. 2021

SANTOS, Luiz Carlos Araújo dos. Gestão ambiental em bacia hidrográfica: Sub-bacia do Rio Cacaú-MA. In: CASTRO, Claudio Eduardo de; MASULLO, Yata Anderson

Gonzaga. **Gestão ambiental, uma diversificada ferramenta na consolidação de paradigma ecológico inovador**. São Luís: EDUEMA, 2016. Disponível em: <https://www.ppgeo.uema.br/wp-content/uploads/2016/11/Gest%C3%A3o-Ambiental-uma-diversificada-ferramenta-na-consolida%C3%A7%C3%A3o-de-paradigma-ecol%C3%B3gico-inovador..pdf>. Acesso em 18 dez. 2021

SANTOS, M. **Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal**. 17. ed. Rio de Janeiro: Record, 2008.

SANTOS, Paulo Sergio dos et al. Estimativa de curvas cota-volume em bacias hidrográficas. *Revista Técnica Ciências Ambientais*, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2020. Disponível em: <http://agro.unitau.br/repositorio/index.php/rca/article/view/47>. Acesso em 09 set. 2020.

SANTOS, Rodrigo Lima; NUNES, Fabrizia Gioppo. Mapeamento da expansão urbana e dos vetores de crescimento no município de Imperatriz–ma. **Revista Espaço e Geografia**, v. 23, n. 1, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/348390917>. Acesso em 22 jan. 2022.

SILVA, J. R. C. Algoritmos de aprendizado de máquinas aplicados na inferência de vazão de um medidor de vazão por efeito térmico. **Dissertação** (Faculdade de engenharia) Faculdade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 97 f. 2020. Disponível em: [https://www.pel.uerj.br/wp-content/uploads/2020/11/Dissertacao\\_Jose\\_Rodrigo\\_Silva.pdf](https://www.pel.uerj.br/wp-content/uploads/2020/11/Dissertacao_Jose_Rodrigo_Silva.pdf) > Acesso em 10 dez 2021.

SILVA, Érica Sueli Maciel da. Ocupação das margens de riachos e eventos de inundação: o caso de Aroeiras, Paraíba. **TCC**. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). 2021. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/22755>. Acesso em 11 fev. 2022.

SILVA, Raquel Reis Pontes et al. Simulações de onda de cheia na sub-bacia do Ribeirão Claro-SP. **TCC**. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho: 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/136136>. Acesso em 25 jan. 2021

SIQUEIRA, Natally Annunciato. Medidor de vazão de água, tipo Pitot-Cole, com configuração prismática hexagonal. **Tese**. Universidade de São Paulo: 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-20092018-092013/en.php>. Acesso em: 18 dez. 2021.

SMITH SCHNEIDER, P. **Medição de Pressão em Fluidos**, Apostila da disciplina de Medições Térmicas, Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

SOUSA, Ronilson Costa de. Efeitos da expansão urbana na microbacia do Riacho Capivara, Imperatriz-Maranhão. 2016, 120f. **Dissertação**. Faculdade Alves Farias, Programa de Pós Graduação Strictu Sensu. Goiânia, 2016. Disponível em: <http://tede.unialfa.com.br/jspui/handle/tede/67>. Acesso em 16 dez. 2021.

SOUZA, J. S. de. **Mecânica dos solos**. 1. ed. Brasília: NT Editora, 2015.

TANG, Q.; PETERSON, S.; CUENCA, R.; HAGIMOTO, Y.; LETTENMAIER, D. Satellite-based near-real-time estimation of irrigated crop water consumption. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, n. D5, p. 1-14, 2009.

TARGA, Marcelo dos Santos.; BATISTA, Getulio Teixeira; DINIZ, Hélio Nóbile; DIAS, Nelson Wellausen; MATOS, Fernando Cardoso de. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Ambi-Agua, Taubaté**, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.905>. Acesso em 22 fev. 2022.

TASSI, R.; ALLASIA, D.G.; MELLER, A.; MIRANDA, T.C.; HOLZ, J. & SILVEIRA, A.L.L. Determinação do parâmetro CN para sub-bacias urbanas do arroio Dilúvio - Porto Alegre/ RS. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Sul Sudeste, 1., Curitiba, 2006. **Anais...** Curitiba, Associação Brasileira dos Recursos Hídricos, 2006

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; ALVARES, C. A.; RIBEIRO, S.; LEITE, F. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões – MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/Lst9NTwcxpCs8dGtd638x4f/abstract/?lang=pt>. Acesso em 09 abr. 2021

TUCCI, C. E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5-12, jul./dez. 1997. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/6270002/artigo2.pdf>. Acesso em 09 jul. 2020

TUCCI, Carlos EM et al. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4ª ed. UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 2012, 943p.

TURNIPSEED, D.P.; SAUER, V.B. Discharge measurements at gaging stations. U.S. **Geological Survey Techniques and Methods**, book 3, chap. A8, 87p, 2010. Disponível em: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/tm3A8>. Acesso em 09 abr. 2021

USDA-NRCS. Estimation of direct runoff from storm rainfall. Cap. 10. Part 630 Hydrology National Engineering Handbook. USA: United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service, 2004a. 79p. Disponível em <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17752.wba> Acesso em: 22 de maio de 2022.

VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M.; STORINO, M.; AMARAL, B. D.; MENDES JÚNIOR., J. N.; LIMA, D. Modeling small watersheds in Brazilian Amazônia with SRTM-90m data. **Computers & Geosciences**, v.32, n.8, p.1169-1181, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300405002463>. Acesso em 09 abr. 2021

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. Editora McGRAW-HILL do Brasil LTDA, 1978.



YANG, C. T. et al, **Reclamation. Managing Water in the West: Erosion and Sedimentation Manual**, U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver – Colorado, 2006.

## APÊNDICES

### APÊNDICE I - Cálculos referentes à bacia do Bacuri

#### Cálculo da Curva Número (CN)

Classes de Uso	A (ha)	% A	CN	CNpond1	$CN_{pond2} = \frac{\sum(CN_e(A_e))}{Área_t}$
Infraestrutura Urbana	62,17	4,23%	94,00	5.843,79	3,98
Pastagem	3,52	0,24%	81,00	285,46	0,19
Água	1,35	0,09%	98,00	132,10	0,09
Formação Campestre	1,17	0,08%	71,00	82,93	0,06
Formação Florestal	29,75	2,03%	69,00	2.052,82	1,40
Formação Savânica	16,72	1,14%	77,00	1.287,75	0,88
Infraestrutura Urbana	1.043,93	71,09%	94,00	98.129,42	66,83
Outras Áreas não Vegetadas	5,53	0,38%	94,00	519,91	0,35
Pastagem	304,27	20,72%	88,00	26.775,76	18,23
<b>Total</b>	<b>1.468,41</b>	<b>100,00%</b>	<b>766,00</b>	<b>135.109,95</b>	<b>92,01</b>

#### Cálculo da Precipitação Efetiva (Pe)

TR	$P(mm) = \frac{Tc(k*TR^a)}{(Tc+b)^{\frac{c}{60}}}$	$Pe = \frac{(P-0,25)^2}{(P+0,85)}$	$C_2(adm) = \frac{Pe}{p}$
2,00	76,36	55,07	0,72
5,00	87,61	65,76	0,75
10,00	97,21	74,98	0,77
15,00	103,30	80,86	0,78
20,00	107,86	85,27	0,79
25,00	111,53	88,83	0,80
50,00	123,75	100,72	0,81
<b>100,00</b>	<b>137,31</b>	<b>113,98</b>	<b>0,83</b>
200,00	152,35	128,75	0,85

Referências	Valor
$s = \frac{25400}{CN} - 254$	22,05
0,2*S	4,41
0,8*S	17,64
K - constante	1.130,32
a - constante	0,15
b - constante	10,00
c - constante	0,74

#### Tempo de concentração (Tc)

$$Tc = 57 * \left(\frac{L^2}{s}\right)^{0,385} = 177,52$$

referência	Valor	unidade
L (comp Talvegue)	9,44	Km
S (declividade)	4,66	m/km
Tc	177,52	min

#### Cálculo da Intensidade da chuva

$$I = \frac{(k*TR^a)}{(Tc+b)^c} = 46,41$$

referência	Valor	unidade
TR - Tempo de retorno em anos	100,00	anos
K - constante	1.130,32	
a - constante	0,15	
b - constante	10,00	
c - constante	0,74	
I - intensidade de chuva	0,74	mm/h
TC	177,52	min

#### cálculo do coeficiente de escoamento

$$C_1 = \frac{4}{2+F} = 0,96$$

$$C_2(adm) = \frac{Pe}{p} = 0,83$$

$$F = \frac{L}{2\left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5}} = 2,18$$

$$C = \frac{2}{1+F} * C_2 = 0,5456$$

referência	Valor	unidade
A (área)	14,68	km <sup>2</sup>
$\pi$	3,14	
L (talvegue)	9,43	km

## APÊNDICE II - Cálculos referentes à bacia do Cacau

### Cálculo da Curva Número (CN)

Classes de Uso	A (ha)	% A	CN	CNpond1	$CN_{pond2} = \frac{\sum(CN_c(A_c))}{Área_t}$
Formação Campestre	18.340	0,00020033	71	1302140	0,014223483
Formação Florestal	3.688.364	0,04028859	69	254497116	2,779912672
Formação Savânica	397.298	0,00433975	77	30591946	0,334160715
Infraestrutura Urbana	29.585	0,00032316	94	2780990	0,030377198
Outras Areas Não Vegetadas	25.241	0,00027571	94	2372654	0,025916879
Outras Lavouras Temporárias	2.607	0,00002848	88	229416	0,002505948
Pastagem	10.948.666	0,11959403	88	963482608	10,52427451
Água	27.666	0,00030220	98	2711268	0,029615614
Formação Campestre	30.702	0,00033536	55	1688610	0,018444957
Formação Florestal	2.629.838	0,02872614	52	136751576	1,49375932
Infraestrutura Savânica	634.167	0,00692711	55	34879185	0,380990912
Infraestrutura Urbana	467.477	0,00510633	85	39735545	0,434037709
Outras Areas Não Vegetadas	61.797	0,00067502	85	5252745	0,057376573
Outras Lavouras Temporárias	4.855	0,00005303	67	325285	0,00355314
Pastagem	11.690.568	0,12769794	67	783268056	8,555762157
Formação Campestre	569	0,00000622	55	31295	0,00034184
Formação Florestal	278.152	0,00303830	52	14463904	0,157991535
Formação Savânica	77.221	0,00084350	55	4247155	0,046392353
Infraestrutura Urbana	208.972	0,00228263	85	17762620	0,194023937
Outras Areas Não Vegetadas	6.414	0,00007006	85	545190	0,005955198
Outras Lavouras Temporárias	809	0,00000884	67	54203	0,000592068
Pastagem	375.498	0,00410162	67	25158366	0,274808853
Água	18.525	0,00020235	98	1815450	0,01983045
Floresta Plantada	4.407	0,00004814	70	308490	0,003369686
Formação Campestre	9.712	0,00010609	70	679840	0,007426001
Formação Florestal	24.016.972	0,26234122	70	1681188040	18,36388565
Formação Savânica	1.605.210	0,01753397	70	112364700	1,227377576
Infraestrutura Urbana	85.583	0,00093484	94	8044802	0,087874658
Outras Areas Não Vegetadas	84.821	0,00092651	94	7973174	0,087092254
Outras Lavouras Temporárias	4.036	0,00004409	81	326916	0,003570956
Pastagem	28.787.538	0,31445088	81	2331790578	25,47052115
Infraestrutura Urbana	231	0,00000252	94	21714	0,000237185
Água	4.344	0,00004745	98	425712	0,00465012
Formação Campestre	2.660	0,00002906	71	188860	0,002062948
Formação Florestal	977.412	0,01067643	69	67441428	0,736673497
Formação Savânica	149.743	0,00163567	77	11530211	0,125946338
Infraestrutura Urbana	1.169.927	0,01277930	94	109973138	1,201254162
Outras Areas Não Vegetadas	35.787	0,00039091	94	3363978	0,036745269
Outras Lavouras Temporárias	1.888	0,00002062	88	166144	0,001814817
Pastagem	2.984.999	0,03260562	88	262679912	2,86929466
<b>Total</b>	<b>91.548.601</b>	<b>1,0000</b>	<b>3112</b>	<b>6922414960</b>	<b>75,61464495</b>

### Cálculo da Precipitação Efetiva (Pe)

TR	P (mm)	$S = \frac{25400}{CN} - 254$	0,2*S	0,8*S	$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}$	$C(adm) = \frac{Pe}{p}$
2	143,43	81,914	16,383	65,531	77,247	0,539
5	164,57	81,914	16,383	65,531	95,431	0,580
10	182,60	81,914	16,383	65,531	111,344	0,610
15	194,05	81,914	16,383	65,531	121,601	0,627
20	202,61	81,914	16,383	65,531	129,333	0,638
25	209,50	81,914	16,383	65,531	135,602	0,647
50	232,46	81,914	16,383	65,531	156,678	0,674
<b>100</b>	<b>257,93</b>	<b>81,914</b>	<b>16,383</b>	<b>65,531</b>	<b>180,375</b>	<b>0,699</b>
200	286,19	81,914	16,383	65,531	206,969	0,723

**Tempo de concentração (Tc)**

$$Tc = 57 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} 1774,44$$

Tc: Tempo de concentração em minutos  
 L: comprimento do talvegue em KM  
 H: desnível total do talvegue em metros

**Cálculo da Intensidade da chuva**

$$I = \frac{(k*TR^a)}{(Tc+b)^c} = 8,72$$

Onde:

TR - Tempo de retorno em anos	100
K - coeficiente de distribuição espacial da chuva	1130,320
a - constante	0,150
b - constante	10,000
c - constante	0,742
I - intensidade de chuva resultante	<b>8,72141526</b>

## APÊNDICE III - Cálculos referentes à bacia do Cacauzinho

### Cálculo da Curva Número (CN)

Classes de Uso	A (ha)	% A	CN	CNpond1	$CN_{pond2} = \frac{\sum(CN_c(A_c))}{Área_t}$
Formação Florestal	1.258	0,00160512	55	69190	0,088281
Formação Savânica	1.981	0,00252761	52	103012	0,131436
Infraestrutura Urbana	4.951	0,00631711	55	272305	0,347441
Outras Areas não Vegetadas	0	0,00000024	55	10	0,000013
Pastagem	34.715	0,04429379	67	2325905	2,967684
Formação Campestre	1.235	0,00157577	55	67925	0,086667
Formação Florestal	6.023	0,00768491	52	313196	0,399615
Formação Savânica	19.974	0,02548536	55	1098570	1,401695
Infraestrutura Urbana	139.750	0,17831073	85	11878750	15,156412
Outras Areas não Vegetadas	12.387	0,01580490	85	1052895	1,343417
Outras Lavouras Temporárias	6.922	0,00883196	67	463774	0,591742
Pastagem	554.548	0,70756250	67	37154716	47,406688
Total	783.744	1,00000000	750	54800248	69,921091

### Cálculo da Precipitação Efetiva (Pe)

TR	P (mm)	$s = \frac{25400}{CN} - 254$	0,2*S	0,8*S	$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}$	$C(adm) = \frac{Pe}{P}$
2	26,34	109,267	21,853	87,413	0,177	0,007
5	30,22	109,267	21,853	87,413	0,595	0,020
10	33,53	109,267	21,853	87,413	1,128	0,034
15	35,63	109,267	21,853	87,413	1,544	0,043
20	37,21	109,267	21,853	87,413	1,891	0,051
25	38,47	109,267	21,853	87,413	2,194	0,057
50	42,69	109,267	21,853	87,413	3,337	0,078
<b>100</b>	<b>47,37</b>	<b>109,267</b>	<b>21,853</b>	<b>87,413</b>	<b>4,829</b>	<b>0,102</b>
200	52,56	109,267	21,853	87,413	6,734	0,128

### Tempo de concentração (Tc)

$$T_c = 57 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} = 12,84$$

Tc: Tempo de concentração em minutos

L: comprimento do talvengue em KM

H: desnível total do talvengue em metros

### Cálculo da Intensidade da chuva

$$I = \frac{(k*TR^a)}{(Tc+b)^c} = 221,33$$

Onde:

TR - Tempo de retorno em anos	100
K - coeficiente de distribuição esp. da chuva	1130,320
a - constante	0,150
b - constante	10,000
c - constante	0,742
I - intensidade de chuva resultante	<b>221,3344</b>

## APÊNDICE IV - Cálculos referentes à bacia da Capivara

### Cálculo da Curva Número (CN)

Classes de Uso	A (ha)	% A	CN	CNpond1	$CN_{pond2} = \frac{\sum(CN_c(A_c))}{Área_t}$
Água	1.708	0,0020	98	167384	0,191468
Formação Florestal	88.783	0,1016	71	6303593	7,210594
Formação Savânica	19.867	0,0227	69	1370823	1,568066
Infraestrutura Urbana	395.250	0,4521	77	30434250	34,813322
Outras Áreas não Vegetadas	29.751	0,0000	94	2797	0,003199
Outras Lavouras Temporárias	5.569	0,0064	88	490072	0,560587
Pastagem	363.006	0,4152	88	31944528	36,540908
Total	874.213	1,0000	585	70713447	80,888144

### Cálculo da Precipitação Efetiva (Pe)

TR	P (mm)	$s = \frac{25400}{CN} - 254$	0,2*S	0,8*S	$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}$	$C(adm) = \frac{Pe}{p}$
2	81,29	60,0139	12,0028	48,0111	37,128	0,457
5	93,27	60,0139	12,0028	48,0111	46,744	0,501
10	103,49	60,0139	12,0028	48,0111	55,243	0,534
15	109,98	60,0139	12,0028	48,0111	60,756	0,552
20	114,83	60,0139	12,0028	48,0111	64,927	0,565
25	118,73	60,0139	12,0028	48,0111	68,317	0,575
50	131,74	60,0139	12,0028	48,0111	79,763	0,605
<b>100</b>	<b>146,18</b>	<b>60,0139</b>	<b>12,0028</b>	<b>48,0111</b>	<b>92,709</b>	<b>0,634</b>
200	162,19	60,0139	12,0028	48,0111	107,312	0,662

### Tempo de concentração (Tc)

$$Tc = 57 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} = 219,55$$

Tc: Tempo de concentração em minutos

L: comprimento do talvengue em KM

H: desnível total do talvengue em metros

### Cálculo da Intensidade da chuva

$$I = \frac{(k*TR^a)}{(Tc+b)^c} = 39,94$$

Onde:

TR - Tempo de retorno em anos	100
K - coeficiente de distribuição esp. da chuva	1130,320
a - constante	0,150
b - constante	10,000
c - constante	0,742
I - intensidade de chuva resultante	<b>39,9421</b>

## APÊNDICE V - Cálculos referentes à bacia Central

### Cálculo da Curva Número (CN)

Classes de Uso	A (ha)	% A	CN	CNpond1	$CN_{pond2} = \frac{\sum(CN_c (A_c))}{Área_t}$
Infraestrutura Urbana	23.836	0,1895	94	2240584	17,8169153
Infraestrutura Urbana	101.920	0,8105	94	9580480	76,1830847
Total	125756	1,0000	188	11821064	94,00

### Cálculo da Precipitação Efetiva (Pe)

TR	P (mm)	$S = \frac{25400}{CN} - 254$	0,2*S	0,8*S	$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}$	$C(adm) = \frac{Pe}{p}$
2	45,48	16,2128	3,2426	12,9702	45,477	1,000
5	52,18	16,2128	3,2426	12,9702	52,177	1,000
10	57,89	16,2128	3,2426	12,9702	57,894	1,000
15	61,52	16,2128	3,2426	12,9702	61,525	1,000
20	64,24	16,2128	3,2426	12,9702	64,238	1,000
25	66,42	16,2128	3,2426	12,9702	66,424	1,000
50	73,70	16,2128	3,2426	12,9702	73,702	1,000
<b>100</b>	<b>81,78</b>	<b>16,2128</b>	<b>3,2426</b>	<b>12,9702</b>	<b>81,778</b>	<b>1,000</b>
200	90,74	16,2128	3,2426	12,9702	90,738	1,000

### Tempo de concentração (Tc)

$$Tc = 57 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} = 39,142$$

Tc: Tempo de concentração em minutos  
L: comprimento do talwegue em KM  
H: desnível total do talwegue em metros

### Cálculo da Intensidade da chuva

$$I = \frac{(k*TR^a)}{(Tc+b)^c} = 125,35$$

Onde:

TR - Tempo de retorno em anos 100  
K - coeficiente de distribuição esp. da chuva 1130,320  
a - constante 0,150  
b - constante 10,000  
c - constante 0,742  
I - intensidade de chuva resultante **125,35551**

## APÊNDICE VI - Cálculos referentes à bacia Norte

### Cálculo da Curva Número (CN)

Classes de Uso	A (ha)	% A	CN	CNpond1	$CN_{pond2} = \frac{\sum(CN_c (A_c))}{Área_t}$
Formação Campestre	1.708	0,0003	70	119560	0,019856301
Formação Florestal	74.859	0,0124	70	5240130	0,870270991
Infraestrutura Savânica	0	0,0000	70	17,22	2,85987E-06
Outras Areas não Vegetadas	0	0,0000	95	46,55	7,73094E-06
Outras Lavouras Temporarias	2.413	0,0004	81	195453	0,032460469
Pastagem	365.906	0,0608	81	29638386	4,922287723
Água	24.993	0,0042	98	2449314	0,406777489
Formação Campestre	3.146	0,0005	71	223366	0,037096208
Formação Florestal	956.561	0,1589	69	66002709	10,96160649
Formação Savânica	66.044	0,0110	77	5085388	0,844571729
Infraestrutura Urbana	207.757	0,0345	94	19529158	3,243366041
Outras Areas não Vegetadas	21.273	0,0035	94	1999662	0,332100126
Outras Lavouras Temporarias	1	0,0000	88	58,608	9,73351E-06
Pastagem	4.296.601	0,7136	88	378100888	62,79428843
Total	6.021.262	1,0000	1146	508584136	84,46

### Cálculo da Precipitação Efetiva (Pe)

TR	P (mm)	$s = \frac{25400}{CN} - 254$	0,2*S	0,8*S	$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}$	$C (adm) = \frac{Pe}{P}$
2	109,35	46,71733	9,34347	37,37387	68,160	0,623
5	125,46	46,71733	9,34347	37,37387	82,799	0,660
10	139,20	46,71733	9,34347	37,37387	95,502	0,686
15	147,93	46,71733	9,34347	37,37387	103,649	0,701
20	154,45	46,71733	9,34347	37,37387	109,772	0,711
25	159,71	46,71733	9,34347	37,37387	114,725	0,718
50	177,21	46,71733	9,34347	37,37387	131,322	0,741
<b>100</b>	<b>196,63</b>	<b>46,71733</b>	<b>9,34347</b>	<b>37,37387</b>	<b>149,895</b>	<b>0,762</b>
200	218,17	46,71733	9,34347	37,37387	170,653	0,782

### Tempo de concentração (Tc)

$$Tc = 57 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} = 637,81$$

Tc: Tempo de concentração em minutos

L: comprimento do talvegue em KM

H: desnível total do talvegue em metros

### Cálculo da Intensidade da chuva

$$I = \frac{(k*TR^a)}{(Tc+b)^c} = 221,33$$

Onde:

TR - Tempo de retorno em anos	100
K - coeficiente de distribuição esp. da chuva	1130,320
a - constante	0,150
b - constante	10,000
c - constante	0,742
I - intensidade de chuva resultante	<b>18,4973</b>



## APÊNDICE VII - Cálculo de vazão de cheia da bacia Bacuri

### Cálculo da vazão da bacia (Q)

$$Q = 0,278 * C * I * A^{0,9} K$$

$(m^3/s)$

referência	Valor	unidade
C = coeficiente de	0,5456	
i = intensidade da d	46,41	mm/h
A = área da bacia	14,68	km <sup>2</sup>
K = coeficiente de	0,98	
Q = vazão	<b>77,42</b>	m <sup>3</sup> /s

### Cálculo de volume de entrada e saída

$$V = \frac{Q * Tb}{2}$$

referência	Valor	unidade
Tc	177,5167	min

$$Q_e = 77,42$$

$$T_b (\text{min}) = 532,55$$

$$T_b (\text{s}) = 31.953,01$$

$$V_e = 1.236.949,89 \quad m^3$$

$$Q_s = 26,10$$

$$T_b (\text{min}) = 479,30$$

$$T_b (\text{s}) = 28.757,71$$

$$V_s = 375.288,12 \quad m^3$$

### Cálculo de volume de amortecimento e de inundação

$$V_r = V_e - V_s = 861.661,77$$

### APÊNDICE VIII – Cálculo de vazão de saída da bacia Bacuri

$Q = \frac{1}{n} * A_m * R_h^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$	1/n	55,55555556	
	Am	0,490368	Q= 2,900666874
	Rh <sup>2/3</sup>	0,377499063	9Q= 26,10600187
	I <sup>1/2</sup>	0,282054064	
	Fonte: DAEE (2008)		

$R_H = \frac{A_m}{P_m}$	0,2316
Fonte: DAEE (2008)	

$A_m = 0,7662 * D^2$	0,490368
Fonte: DAEE (2008)	

$P_m = 2,6467 * D$	2,11736
Fonte: DAEE (2008)	

$I = \frac{\Delta h}{l} = \frac{105 - 104}{12,57}$	0,079554
Fonte: DAEE (2008)	

n= 0,018
para revestimento de concreto
Fonte: DAEE (2008)