

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PPG**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, NATUREZA E DINÂMICA**  
**DO ESPAÇO - PPGeo**

**RAFAEL DE OLIVEIRA ARAÚJO**

**CARTA DE POTENCIAL DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA SUB-BACIA**  
**HIDROGRÁFICA DO RIACHO CAPIVARA NO MUNICÍPIO DE IMPERATRIZ –**  
**MA**



São Luís

2020

**RAFAEL DE OLIVEIRA ARAÚJO**

**CARTA DE POTENCIAL DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA SUB-BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIACHO CAPIVARA NO MUNICÍPIO DE IMPERATRIZ-  
MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço (PPGeo) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) – Campus Paulo VI, como parte dos requisitos, para obtenção do título de Mestre em Geografia.

**Linha de pesquisa:** Dinâmica da Natureza e Conservação.

**Orientadora:** Profa. Dra. Ediléa Dutra Pereira.

São Luís  
2020

Araújo, Rafael de Oliveira.

Carta de potencial do escoamento superficial na sub-bacia hidrográfica do riacho Capivara no município de Imperatriz - MA / Rafael de Oliveira Araújo. – São Luís, 2020.

137 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço, Universidade Estadual do Maranhão, 2020.

Orientador: Profa. Dra. Ediléa Dutra Pereira.

1. Escoamento superficial. 2. Inundação. 3. Riacho Capivara. 4. Imperatriz. I. Título.

CDU: 556.51(812.1)

**RAFAEL DE OLIVEIRA ARAÚJO**

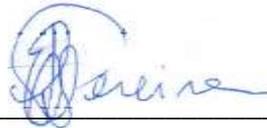
**CARTA DE POTENCIAL DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA SUB-BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIACHO CAPIVARA NO MUNICÍPIO DE IMPERATRIZ-  
MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço (PPGeo) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) – Campus Paulo VI, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Resultado: Aprovada

São Luís, 11 de dezembro de 2020.

**BANCA EXAMINADORA**



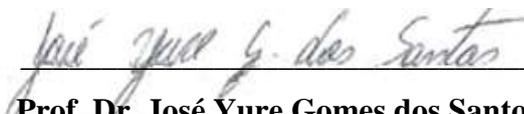
**Profa. Dra. Edilea Dutra Pereira (Orientadora)**

Universidade Estadual do Maranhão - UEMA



**Prof. Dr. Luiz Carlos Araujo dos Santos**

Universidade Estadual do Maranhão - UEMA



**Prof. Dr. José Yure Gomes dos Santos**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Dedico este trabalho aos meus pais Elizete Vieira de Oliveira e Ronaldo Alves de Araújo, aos meus amigos, aos professores, e aos moradores das margens do Riacho Capivara, por todo apoio e incentivo para que esta pesquisa fosse possível.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela dádiva da vida. És o criador do céu, da Terra e do universo. Agradeço ao Pai celestial por estar conduzindo minha vida, me dando sabedoria, proteção, saúde e força para superar as dificuldades.

Manifesto gratidão e agradecimentos aqui, às pessoas que me ajudaram, de forma direta e indiretamente, nesta trajetória de vida e na construção dessa dissertação, e, que vibram sempre pelas minhas conquistas.

Aos meus pais Ronaldo Alves de Araújo e Elizete Vieira de Oliveira, pelo carinho, paciência, incentivo e amor incondicional. Os mesmos me ofereceram uma boa educação e são como grandes construtores, pois me permitiram uma boa preparação para a vida.

Às minhas sobrinhas Sarah Yasmim, Lara Vitória e Anna Sofia, pelo carinho e energia contagiante.

À minha irmã Maria Andressa Oliveira Araújo, pelo incentivo e força.

À Dona Laura e seus familiares, pelo carinho e acolhimento em sua casa.

À minha orientadora professora Ediléa Dutra Pereira, que aceitou a árdua tarefa de nortear a produção de uma dissertação, proporcionando-me a liberdade de construção de pensamentos críticos, além de que, pelas suas correções, incentivo, carinho, sabedoria e amizade.

Ao professor Luiz Carlos Araújo dos Santos, por sempre contribuir positivamente na minha formação com auxílio e incentivo nas minhas pesquisas.

Ao professor Cláudio Eduardo de Castro, pela atenção, disponibilidade, pelo incentivo, força e contribuições valiosas.

À amiga Lucilea Ferreira Lopes Gonçalves, querida que a vida traçou em nos juntar nesse universo.

Ao professor e amigo Rodrigo Lima Santos, que fiz durante a graduação e levo para vida; este que sempre esteve ao meu lado para discutir sobre os assuntos científicos e pelas trocas de conhecimento.

Ao professor Jorge Diniz de Oliveira, pelo envolvimento na pesquisa e extensão, contigo aprendi ‘o fazer ciência’.

Ao professor Edgar Oliveira Santos, que esteve ao meu lado na hora mais difícil da vida, e, assim, pôde mostrar-se que é amigo.

Ao professor Allison Bezerra Oliveira, pela atenção e carinho, sempre por ser tão sucinto em ajudar e colabora com o meu ensino e aprendizagem.

Ao amigo Francisco Barbosa Lima, que fiz durante a graduação, a qual tenho a dádiva de levar para vida toda, pelo auxílio, carinho e dedicação, e por sua amizade, apoio e disposição em ajudar.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço (UEMA/PPGeo), pela dedicação ao programa, pela afeição, pelo compromisso e pela cordialidade com os alunos assim, oferecendo a eles carinho, respeito e atenção.

À Secretária (Nana) da UEMA/PPGeo, pela frequente demonstração de profissionalismo e carinho. Portanto, também deixo aqui o meu estimar a todas as estagiárias que sempre foram muito solícitas e empenhadas em ajudar os discentes.

À Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), pelo total envolvimento na qualificação do seu corpo docente. E por acreditar no potencial de seus discentes em desenvolver e construir conhecimento científico.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Estado do Maranhão – FAPEMA, pelo intermédio da Bolsa, incentivo e por acreditar no potencial dos discentes em desenvolver pesquisas.

Ao PPGeo/UEMA, pelo elevado conceito alcançado junto a CAPES, que valoriza a minha titulação.

Aos colegas de turma (2018) do PPGeo/UEMA que, ao longo dessa jornada, transformaram-se em amigos e amigas diante do confronto das distintas formas de pensar, mas acima de tudo na congruência de um objetivo comum.

Aos amigos e amigas construídos em São Luís (Upaon-Açu) que cuidadosamente me acolheram, simbolizando a extensão da minha família e dignificando a expressão familiar do povo ludovicense. E, assim, também aqueles que de alguma forma contribuíram positivamente nesta pesquisa.

Muito obrigado!

*A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou  
sobre aquilo que todo mundo vê.*

*Arthur Schopenhauer.*

## RESUMO

Nesta pesquisa foi utilizado o método Curva Número (CN), desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS), para determinação da estimativa do potencial de escoamento superficial com base nas informações de uso e ocupação, tipos de solo presentes e no valor do CN do referido método para a *Sub-bacia do Riacho Capivara* localizada no Município de Imperatriz. Empregou-também uma análise espaço temporal para o período de 2014 e 2020 com base em técnicas de geoprocessamento associada à análise morfométrica e dos impactos socioambientais, conjugando os conhecimentos científicos e os diversos saberes oriundos da experiência e vivência de moradores. Os maiores índices de escoamento superficial se concentram na porção média a inferior da bacia nos bairros Cinco, Boca da Mata, Vila Jk, Jardim tropical, Cinco Irmãos e no riacho José de Alencar e Santa Teresa atingindo valores de 143,13 mm/mês a 184,89 mm/mês. Nessas áreas os índices de CN (curva número) foram os maiores de 90 - 98, devido à intensa impermeabilização nas áreas urbanas. Os menores índices de escoamento superficial (18,35 mm/mês a 108,58 mm/mês) se restringem às áreas com vegetações arbóreas e herbáceas na bacia, onde foram verificados os menores valores de CN com 36 a 78 e nas áreas de solo neossolo. A análise espaço temporal de 2014 a 2020 indicou que a expansão urbana ocorreu nas direções oeste e nordeste da sub-bacia em direção a sub-bacia do Rio Cacaú e as mudanças registradas nas áreas florestadas para vegetação herbáceas foram em decorrência da formação de pastos para criações de pequeno porte e agricultura familiar, com plantio de verduras e leguminosas. O método SCS mostrou resultados favoráveis considerando que as áreas de inundação na bacia se concentram nas áreas de maiores escoamentos superficiais indicados pelo referido método. A intensificação do processo de impermeabilização na bacia produziu problemas socioambientais graves como as inundações e uma das formas estratégicas para minimizar essa problemática está na adoção de políticas públicas com práticas conservacionistas para subsidiar o planejamento urbano.

**Palavras-chave:** Escoamento Superficial. Inundação. Riacho Capivara. Imperatriz.

## ABSTRACT

In this research, the Curve Number (CN) method, developed by the Soil Conservation Service (SCS), was used to determine the estimated runoff potential based on information on use and occupation, types of soil present and the CN value of said method for the *STREAM CAPIVARA SUB-BASIN* located in the municipality of Imperatriz. A time-space analysis for the period 2014 and 2020 was also used, based on geoprocessing techniques associated with morphometric analysis and socioenvironmental impacts, combining scientific knowledge and the diverse knowledge derived from the residents' experience. The highest levels of runoff are concentrated in the middle to lower portion of the basin in the districts Cinco, Boca da Mata, Vila Jk, Jardim tropical, Cinco Irmãos and in the José de Alencar and Santa Teresa stream reaching values of 143,13 mm / month at 184,89 mm / month. In these areas, the CN indexes (number curve) were higher than 90 - 98, due to the intense waterproofing in urban areas. The lowest levels of runoff (18,35 mm / month to 108,58 mm / month) are restricted to areas with tree and herbaceous vegetation in the basin where the lowest CN values with 36 to 78 and areas of neossol soil were found. The time-space analysis from 2014 to 2020 indicated that the urban expansion occurred in the west and northeast directions of the sub-basin towards the sub-basin of the Rio Cocoa and the changes registered in the forested areas for herbaceous vegetation were due to the formation of pastures for small farming and family farming with planting of vegetables and legumes. The SCS method showed favorable results considering that the areas of flooding in the basin are concentrated in the areas of greater surface runoff indicated by the referred method. The intensification of the waterproofing process in the basin has produced serious socioenvironmental problems such as floods and one of the strategic ways to minimize this problem is the adoption of public policies with conservationist practices to subsidize urban planning.

**Keywords:** Runoff. Inundation. Capivara stream. Imperatriz.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Bacias Hidrográficas e Sistemas Hidrográficos do Rio Tocantins e Rio Araguaia .....	24
Figura 02 – Sub-bacias Hidrográficas e suas Respectivas Áreas de Abrangências do Município de Imperatriz – MA .....	27
Figura 03 – Esquema Metodológico Detalhado da Produção dos Mapas em Fluxograma ....	34
Figura 04 – Mapa de Localização dos Pontos de Inundação na Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz – MA .....	45
Figura 05 – Imagens de Satélites do Período de 2014 e 2020 da Área da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz – MA .....	49
Figura 06 – Estrutura do Projeto na Plataforma do QGIS .....	51
Figura 07 – Conceitos de Proporcionalidades .....	54
Figura 08 – Carta da Formação Geológica da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz..	75
Figura 09 – Carta da Formação dos Domínios Geomorfológico da Sub-bacia do Riacho Capivara .....	80
Figura 10 – Carta da Formação do Relevo da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz..	84
Figura 11 – Carta Hipsométrica da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz .....	86
Figura 12 – Carta da Declividade da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz.....	87
Figura 13 – Carta da Curvatura das Vertentes da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz .....	88
Figura 14 – Carta das curvas de nível 20 metros da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz .....	97
Figura 15 – Carta da formação dos Solos da sub-bacia hidrográfica do Riacho Capivara – Imperatriz.....	98
Figura 16 – Carta da Hidrografia da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz.....	112
Figura 17 – Demonstrativo do Perfil Longitudinal do Riacho Capivara: Relação Altitude x Distância.....	116
Figura 18 – Carta do Uso/Ocupação da Sub-bacia do Riacho Capivara do Ano de 2014 e 2020 – Imperatriz .....	123
Figura 19 – Carta do escoamento superficial e valores curva número da Sub-bacia do Riacho Capivara do ano de 2014 – Imperatriz .....	126
Figura 20 – Carta do escoamento superficial e valores curva número da Sub-bacia do Riacho Capivara do ano de 2020 – Imperatriz .....	127

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – As Três Normais Climatológica para a Área da Sub-bacia do Riacho Capivara .....	105
Gráfico 02 – Chuva Acumulada Mensal em 2017 x Chuva Normal Climatológica (1981 - 2010) para Imperatriz – MA .....	108
Gráfico 03 – Chuva Acumulada Mensal em 2018 x Chuva Normal Climatológica (1981 - 2010) para Imperatriz – MA .....	109
Gráfico 04 – Chuva Acumulada Mensal em 2019 x Chuva Normal Climatológica (1981 - 2010) para Imperatriz – MA .....	109
Gráfico 05 – Chuva Acumulada Mensal em 2020 x Chuva Normal Climatológica (1981 - 2010) para Imperatriz – MA .....	110

## LISTA DE FOTOS

Foto 01 – Formação Codó na sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz – MA.....	76
Foto 02 – Formação Cujupe na sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz – MA.....	77
Foto 03 – Formação Superficial dos Depósitos Aluvial na Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz.....	78
Foto 04 – Formação Depressão de Imperatriz na área Coco Grande próximo a BR-10 – Imperatriz.....	81
Foto 05 – Vista parcial dos Terraços Fluviais na microbacia do Riacho Santa Tereza com Riacho Capivara situado na Quinta do Jacó, bairro Nova Imperatriz – Imperatriz.....	82
Foto 06 – Domínio Depressão do Rio Tocantins na área o Riacho Capivara Desaguando no Rio Tocantins – Imperatriz.....	83
Foto 07 – Trecho da Rodovia Belém-Brasília a Cidade de Imperatriz – MA, entre o bairro Ipiranga e vila JK da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz.....	85
Foto 08 – Vista parcial do terraço fluvial no baixo curso do Riacho Capivara na Quinta do Jacó - Bairro Nova Imperatriz – Imperatriz.....	89
Foto 09 – Vista da superfície aplainada com a criação de gado no bairro Machado entre as residências no alto curso do Riacho Capivara – Imperatriz.....	90
Foto 10 – Característica de planície de inundação no Riacho Capivara – Imperatriz.....	92
Foto 11 – Trincheira do perfil do solo Argissolo Vermelho-Amarelo, no médio sub-bacia do Riacho Capivara, Bairro Cinco Irmãos, atrás do batalhão 50° BIS – Imperatriz.....	99
Foto 12 – Vista parcial do perfil do solo argissolo vermelho-amarelo-eutrófico, no bairro da Zenira no Alto curso do Riacho Capivara – Área de Mineração – Imperatriz.....	100
Foto 13 – Trincheira do perfil do solo aluvial no bairro da Nova Imperatriz no baixo curso do Riacho Capivara – Imperatriz.....	101
Foto 14 – Comportamento da vazão nos períodos seco e chuvoso do Riacho Capivara, nos bairros Cinco Irmãos com Vila JK, trecho do riacho, sendo que (A) período de estiagem (seco) com lixo doméstico e rede de esgoto jogado direto no riacho sem nenhum tratamento, e (B) período chuvoso residências nas margens direita e esquerda do riacho – Imperatriz.....	119
Foto 15 – Ocorrência de inundação no bairro Ipiranga da sub-bacia do Riacho Capivara e Avenida Liberdade – Imperatriz.....	120

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Bacias Hidrográficas do Estado do Maranhão e Suas Respectivas Áreas .....	26
Tabela 02 – Parâmetros Morfométricos das Sub-bacias Hidrográficas do Município de Imperatriz – MA.....	29
Tabela 03 – Classe de Declividade para a Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz – MA .....	47
Tabela 04 – Conversão dos Valores de CN Conforme as Condições de Umidade Antecedente do Solo.....	59
Tabela 05 – Estimativa dos Valores de Curva Número para Áreas Rurais .....	60
Tabela 06 – Estimativa dos Valores de Curva Número para Bacias Urbanas e Suburbanas..	61
Tabela 07 – Classificação da Densidade Hidrográfica de Sub-bacias .....	65
Tabela 08 – Formação Geológica da sub-bacia do Riacho Capivara e suas respectivas concentrações em áreas – Imperatriz – MA .....	74
Tabela 09 – Os Tipos de Domínios Geomorfológicos da Sub-bacia do Riacho Capivara e suas Áreas.....	79
Tabela 10 – Classes dos Relevos com suas Respectivas Áreas na Sub-bacia do Riacho Capivara .....	83
Tabela 11 – Declividade e Formas de Relevo da Sub-bacia do Riacho Capivara e suas Concentrações .....	91
Tabela 12 – Curvatura das Vertentes da Sub-bacia do Riacho Capivara e suas Áreas.....	94
Tabela 13 – Classificação dos Tipos dos Solos da Sub-bacia do Riacho Capivara.....	97
Tabela 14 – Características da hierarquia dos canais fluviais da Sub-bacia hidrográfica do Riacho Capivara - Imperatriz .....	111
Tabela 15 – Comportamento de Densidade de Drenagem.....	113
Tabela 16 – Hierarquia dos Canais Fluviais da Sub-bacia Hidrográfica Riacho Capivara ..	114
Tabela 17 – Característica Hipsométrica da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz – MA.....	117
Tabela 18 – Caracterização Areal e suas perspectivas concentrações da área da Sub-bacia do Riacho Capivara .....	117
Tabela 19 – Valores de Curva Número para a Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz .....	124

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Categoria de investigação usada para metodologia da pesquisa .....	36
Quadro 02 – Identificação das paisagens encontradas na Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz – MA.....	44
Quadro 03 – Detalhamento da Forma de Obtenção dos Parâmetros Morfométricos em SIG .....	53
Quadro 04 – Grupos hidrológicos de solo e os tipos de solos e as condições de uso, conforme (TUCCI, 1995) .....	58
Quadro 05 – Condições de umidade antecedente do solo considerados pelo SCS para escolha do CN .....	59
Quadro 06 – Maiores acumulados de precipitação em 24 horas registrados em Imperatriz por meses (INMET) de 1999 a 2020 .....	106
Quadro 07 – Maiores escassez de precipitação em 24 horas registrados em Imperatriz por meses (INMET) de 1999 a 2020 .....	107

## SUMÁRIO

RESUMO.....	09
ABSTRACT .....	10
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE GRÁFICOS .....	12
LISTA DE FOTOS .....	13
LISTA DE TABELAS.....	14
LISTA DE QUADROS .....	15
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>2 DINÂMICA DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
2.1 CONCEITOS / DEFINIÇÕES DE BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	21
2.2 SISTEMAS HIDROGRÁFICOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	22
2.3 BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO MARANHÃO .....	23
2.4 ABORDAGENS DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO MUNICÍPIO DE IMPERATRIZ .....	27
2.5 BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS DO MARANHÃO.....	30
2.6 MÉTODO CURVA NÚMERO (CN) APLICADO EM ESTUDO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	32
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>34</b>
3.1 FLUXOGRAMA DO PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	34
3.2 MATÉRIAS E MÉTODOS .....	35
3.2.1 Levantamento bibliográfico e cartográfico.....	36
3.2.2 Levantamento e análise de campo da sub-bacia do riacho Capivara.....	38
3.2.3 Levantamento da rede hidrográfica de Imperatriz - (sub-bacia do riacho Capivara) ...	40
3.3 RECONHECIMENTO DA ÁREA DA SUB-BACIA E AFERIÇÃO DOS MAPAS PRELIMINARES .....	42
3.4 TRABALHO DE LABORATÓRIO.....	46
3.5 TRABALHO DE GABINETE – PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA .....	46
3.6 ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA SUB-BACIA DO RIACHO CAPIVARA .....	52
3.7 APLICAÇÃO DO MÉTODO CURVA NÚMERO (CN).....	53
3.8 MODELAGEM DA APLICAÇÃO DO MÉTODO (CN) NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO CAPIVARA.....	62

3.9	ELABORAÇÃO E ANÁLISE DE BANCO DE DADOS EM SIG NA SUB-BACIA DO RIACHO CAPIVARA.....	63
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>73</b>
4.1	GEOLOGIA.....	73
4.2	RELEVO.....	79
4.3	DOMÍNIOS GEOMORFOLÓGICOS.....	79
4.3.1	Geomorfologias: curvatura das vertentes .....	92
4.3.2	Geomorfologias: curvas de nível .....	94
4.4	SOLOS.....	97
<b>5</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA SUB-BACIA DO RIACHO CAPIVARA .....</b>	<b>103</b>
5.1	CLIMA .....	103
5.2	HIDROGRAFIA.....	111
5.2.1	Sub-bacia hidrográfica do riacho Capivara: – análise areal e linear.....	113
5.2.2	Sub-bacia hidrográfica do riacho Capivara: – análise dos parâmetros hipsométricos.....	115
5.3	ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA SUB-BACIA DO RIACHO CAPIVARA PARA GERENCIAMENTO .....	118
<b>6</b>	<b>CARTA DE POTENCIAL DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE USO E OCUPAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO CAPIVARA .....</b>	<b>121</b>
6.1	ESTIMATIVA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA SUB-BACIA DO RIACHO CAPIVARA .....	121
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>129</b>
<b>8</b>	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>131</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>132</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nas bacias hidrográficas brasileiras são perceptíveis constantes modificações em sua natureza em decorrência das ações antrópicas. Essas modificações geram graves impactos socioambientais, com percepção significativa nas áreas urbanas, como a devastação das matas ciliares, a modificação na rede de drenagem, o assoreamento, as inundações, as enchentes, o movimento de massa e a poluição das águas. Isso se deve em decorrência da ocupação do homem de forma indiscriminada, sem o prévio conhecimento das vulnerabilidades e potencialidades das bacias hidrográficas. As características naturais da água e do solo podem ser alteradas por diversas atividades, como os assentamentos urbanos e rurais, as instalações industriais, as de agricultura, de mineração, de obras de infraestrutura, e as de área de recreação entre outras.

Partindo dessa exposição buscou-se compreender e mapear a dinâmica do processo de inundação da Sub-bacia do Riacho Capivara, considerando o elevado crescimento populacional e o desenvolvimento socioeconômico intensificados nas últimas décadas, principalmente na área urbana da cidade de Imperatriz. O uso intensivo e não planejado do solo provocou vários níveis de degradação ambiental nessa cidade, principalmente sobre os recursos hídricos, como a falta de escoamento natural, o que provoca inundações em várias áreas da cidade. Dessa forma questionamos: Qual a causa do aumento do escoamento superficial na Sub-bacia do Riacho Capivara? Quais são os fatores condicionantes do escoamento superficial? É possível mapear o escoamento superficial da cidade de Imperatriz?

Esses questionamentos estão associados ao conjunto de processos acelerados e induzidos pela ação antrópica, na alteração da dinâmica natural da água em bacias hidrográficas e norteou a pesquisa desta dissertação, pois considera-se que o conhecimento das características do meio é fundamental para o entendimento e a mitigação dos diversos impactos socioambientais presentes.

No Maranhão, os estudos em bacias hidrográficas vêm crescendo nos últimos anos, sobretudo, em questões das condições ambientais dos corpos hídricos das bacias com ênfase na bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia da parte oeste do estado. Por meio desses estudos é possível a construção de dados, inventários, abordagem e relatórios sobre as águas do Maranhão. Todo esse conjunto de estudos permitiu discussões da implantação da Lei Estadual nº. 7.052/1997 e, também, seguindo a linha da Política e da Gestão de Recursos Hídricos, como

a Lei Federal nº. 9.433 de 08 de janeiro de 1997, dando condições de se explorar o potencial hídrico que lhe corresponde.

Na geografia contemporânea, por meio dos multimeios aplicados ao processo de incorporação de técnicas de geoprocessamento pode-se analisar o espaço geográfico e sua modificação quase em tempo real. O uso das geotecnologias se intensificou nos últimos anos, aprimorando a capacidade do campo de visão do homem sobre o objeto de estudo, principalmente das condições ambientais.

Diante dessa abordagem, a dissertação apresenta a *CARTA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA SUB-BACIA DO RIACHO CAPIVARA* para o período de 2014 e 2020, na qual se agrega o conhecimento técnico - científico e os diversos saberes oriundos da experiência e vivência de moradores, o que permitiu produzir conhecimento sobre as questões socioambientais na sub-bacia pesquisada.

Para compreender e mapear a sub-bacia do Riacho Capivara, com ênfase aos problemas de inundação foi realizada uma análise dos condicionantes do meio físico e espaço-temporal no período de 2014 e 2020, associada a análise morfométrica e emprego do método Curva-Número que possibilitou uma melhor identificação e análise do processo de inundação na sub-bacia. Buscou-se a identificação e o entendimento dos processos e problemas do meio físico com a finalidade de subsidiar as políticas públicas voltadas para o planejamento territorial da sub-bacia e minimizar os impactos das inundações e/ou enchentes na área.

O objetivo geral foi avaliar o escoamento superficial na Sub-bacia do Riacho Capivara e seus impactos socioambientais e os objetivos específicos foram:

- Organizar um banco de dados da sub-bacia do Riacho Capivara;
- Analisar os condicionantes do meio físico e morfométricos da sub-bacia;
- Levantar as áreas de inundação na sub-bacia;
- Realizar análise espaço temporal do uso e ocupação;
- Elaborar a Carta de Escoamento Superficial na Sub-Bacia do Riacho Capivara.

Esta pesquisa desenvolveu-se no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço – PPGeo/UEMA, com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA e está organizada em 4 Seções, além da Introdução, Conclusão e Recomendações.

Na primeira é intitulada Dinâmica da Água na Bacia Hidrográfica, na qual são apresentados conceitos/definições de bacias hidrográficas; sistemas hidrográficos de bacias hidrográficas; bacias hidrográficas do Estado do Maranhão; abordagens das sub-bacias hidrográficas do Município de Imperatriz; bacias hidrográficas urbanas do Maranhão; método curva número (CN) aplicado em estudo de bacias hidrográficas.

Na segunda apresenta os Procedimentos Metodológicos: fluxograma do procedimento metodológico; matérias e métodos; levantamentos (bibliográfico, cartográfico, análise de campo e de rede drenagem da sub-bacia e Município de Imperatriz); reconhecimento da área da sub-bacia e aferição dos mapas preliminares; sobre os trabalhos de (gabinete e laboratório); análise morfométrica da sub-bacia do riacho Capivara; aplicação do método curva número (CN); modelagem da aplicação do método (CN) na sub-bacia hidrográfica do riacho Capivara e por fim desta seção elaboração e análise de banco de dados em SIG na sub-bacia do riacho Capivara.

Na terceira contêm os aspectos da caracterização da área de estudo da sub-bacia do riacho Capivara: da geologia; do relevo; sobre os domínios geomorfológicos – foram abordados assim, geomorfologias: curvatura das vertentes e curvas de nível; além de identificar a tipologia dos solos na sub-bacia Capivara.

Na quarta discutiu-se sobre a caracterização fisiográfica da sub-bacia do riacho Capivara: como o clima; a hidrografia e seus aspectos hidrogeomorfologia e assim como – formas, processos e registros sedimentares fluviais da sub-bacia; Sub-bacia hidrográfica do riacho Capivara: – análise areal e linear e além de análise dos parâmetros hipsométricos. Deste modo, análise morfométrica da sub-bacia do riacho Capivara para gerenciamento.

Na sexta apresenta-se carta de potencial do escoamento superficial de uso e ocupação da sub-bacia hidrográfica do riacho Capivara. E, assim então, compreender a estimativa de escoamento superficial na sub-bacia do riacho Capivara.

Na Conclusão discutem-se as observações relevantes sobre a pesquisa, e, na sequência do trabalho, apresentam-se as conclusões sobre a questão central tratada na dissertação. E, é notório salienta ainda que o estudo trás e aborda recomendações de método aplicado a (CN) para amenizar e/ou acabar o processo de inundação em sub-bacia hidrográfica, por meio, de canalização e rede de drenagem ao escoamento superficial.

Dessa forma, busca-se nesta dissertação uma reflexão sobre a gestão dos recursos hídricos do Município de Imperatriz, em especial na sub-bacia do Riacho Capivara e como essas ações se refletem no urbano e nas vidas dos diversos atores sociais, além de propor ações que possam subsidiar o planejamento e a gestão na área pesquisada.

## 2 DINÂMICA DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA

Para essa seção foram abordados, primordialmente, os temas de dinâmica da água na bacia hidrográfica, no contexto das bacias urbanas, os desdobramentos dos riachos dar-se, por meio, dos conceitos / definições de bacias hidrográficas, as suas respectivas sistemas hidrográficos de bacias hidrográficas e os parâmetros das bacias hidrográficas do Estado do Maranhão. Em seguida, trabalhará-lo com conceitos abordagens das sub-bacias hidrográficas do Município de Imperatriz. Por fim, foram explanados os princípios de compreensão da dinâmica das bacias hidrográficas urbanas do Maranhão, além do principal método curva número (CN) aplicado em estudo de bacias hidrográficas.

### 2.1 CONCEITOS / DEFINIÇÕES DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Os estudos sobre a bacia hidrográfica são classificados e representados por Christofolletti (1980) e Tucci (1993) como qualquer corpo hídrico que possa abranger toda a área que drenada por água, sedimentos e diante disto materiais dissolvidos para um ponto comum da calha, ao longo de um curso d'água de rios, riachos e córregos, portanto, qualquer parte da superfície terrestre faz parte de uma bacia hidrográfica (SILVA, 2008).

Christofolletti (1981) considera a bacia de drenagem composta por um conjunto de canais de escoamentos inter-relacionados formando um sistema fluvial. A quantidade de água que atinge os cursos fluviais está na dependência do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total, de seu regime, das perdas devidas à evapotranspiração e da infiltração.

Campos (2006, p. 105) define bacia hidrográfica como “[...] um sistema físico e dinâmico, configura-se como uma unidade funcional básica de planejamento e gerenciamento ambiental, pois nela ocorre a integração das águas com o meio físico, biótico e social”.

Segundo o conceito hierárquico da bacia hidrográfica, a rede de drenagem ajuda a colocar em perspectiva muitos dos problemas e conflitos atuais de gestão e planejamento de recursos hídricos e meio ambiente. Observa-se que a bacia é “área de captação da água de precipitação demarcada por divisores topográficos, onde parte da água captada converge para um único ponto de saída, o exutório” (TEIXEIRA *et al.*, 2009, p. 190).

A bacia possui o processo sistêmico complexo importante para o entendimento das dinâmicas e dos problemas socioambientais recorrentes na sociedade. Entretanto, é o

comportamento hidrológico que influencia dentre outros, na infiltração e na quantidade de água produzida como deflúvio, como a evapotranspiração e como os escoamentos superficiais e os subsuperficiais dos corpos hídricos (LIMA, 1976,1986).

Mattos e Perez Filho (2004, p. 17) defendem o estudo sistêmico e complexo das bacias hidrográficas, pois consideram a impossibilidade da compreensão das bacias a partir de estudos isolados dos elementos físicos e orgânicos que formam as mesmas. Contudo, consideram a bacia hidrográfica uma unidade fisiográfica complexa, constituindo-se sistema natural composto por conjuntos de terras topograficamente drenadas por um curso d'água e limitada por divisores topográficos. Para melhor ilustrar, é preciso citar que, estes divisores topográficos são pontos de maior elevação no terreno (topos) que separam a drenagem entre duas bacias adjacentes.

Para Christofolletti (1981, p. 19):

Há muito tempo reconhece-se que o transporte dos sedimentos é governado pelos fatores hidrológicos, que o transporte dos sedimentos é responsável por fatores hidrológicos que controlam as características e o regime dos cursos de água. Os fatores hidrológicos, cujos mais importantes são a quantidade e a distribuição da precipitação, a estrutura geológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal influenciam a formação do material intemperizado na bacia hidrográfica e o carregamento desses materiais até o rio.

As bacias hidrográficas podem ser consideradas sistemas abertos, em termos de *inputs* de energia, oriundos da precipitação e dos *outputs* relacionados à água e sedimentos oriundos da erosão fluvial e das encostas existentes no âmbito das bacias, conforme Guerra e Mendonça (2007, p. 231).

Entende-se a bacia hidrográfica como uma unidade natural de análise integrada e sistêmica onde ocorrem as interações dos processos do meio físico atuantes na esculturação do espaço geográfico, conforme proposto por Christofolletti (1980), Tucci (1993) e Lima (1976), sendo necessário o uso de técnicas e métodos desenvolvidos pelos autores clássicos como: Horton (1945), Strahler (1957), França (1968), Christofolletti (1980), Chorley (1964), Chorley (1975), Villela e Mattos, (1975) entre outros contemporâneos.

## 2.2 SISTEMAS HIDROGRÁFICOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

As bacias hidrográficas e se seus sistemas hidrológicos, tanto superficiais como subterrâneos, são monitorados pelos sistemas tecnológicos do Brasil, coordenados pela Agência

Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Esses órgãos disponibilizam informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional – (RHN) com dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água entre outras informações Lima (1986). Dessa forma, nesses órgãos são encontradas informações geográficas de monitoramento, e que estão disponíveis no portal *Hidroweb*, que disponibilizam dados georreferenciados, como assim também mapas temáticos do território do Brasil. Por outro lado, tem ANA (2019) que fornecem informações, da qualidade e uso d'águas fluviais e subterrâneas do Brasil.

No Brasil encontram-se distribuídos cerca de 12 unidades hidrológicas, além de diversos sistemas hídricos em ilhas que pertencem ao território brasileiro, a exemplo das ilhas de Fernando de Noronha (Pernambuco) e Upaon-Açu (São Luís). As bacias hidrográficas estão organizadas da seguinte maneira: 05 bacias fazem fronteira com os outros países e 07 bacias estão dentro do território brasileiro, como as bacias do Tocantins-Araguaia e São Francisco.

A base de dados georreferenciados pode ser encontrada e disponível em portais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), e Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC). Assim sendo, a fisiografia oficial do meio ambiente é descrita por estas instituições. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) é responsável pela coleta dos dados climatológicos, como precipitação, temperatura, umidade do ar, radiação etc. A ANA coordena o monitoramento dos dados de vazão ( $m^3/s$ ) dos principais rios dos biomas brasileiros e suas demandas.

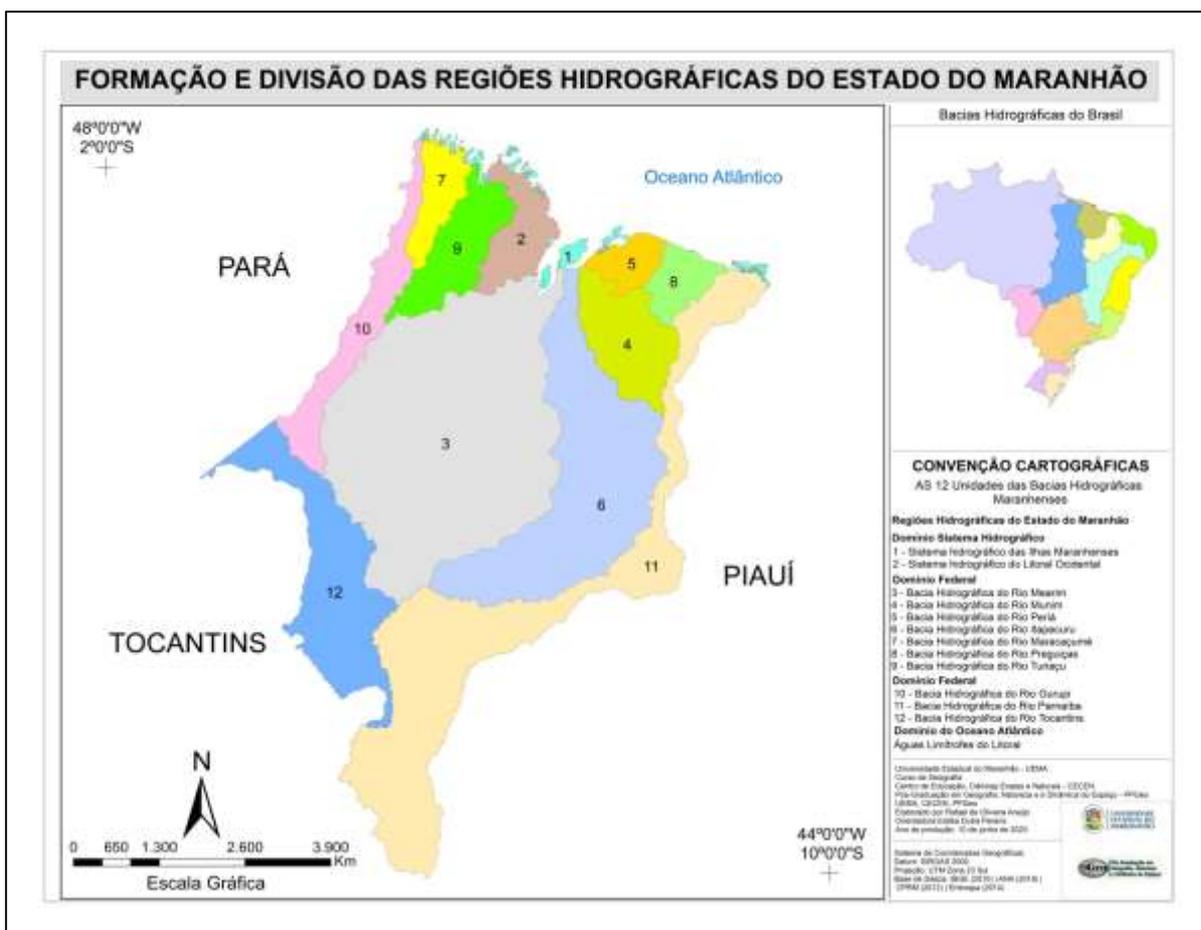
### 2.3 BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO MARANHÃO

O Estado do Maranhão possui em seu território 12 unidades de bacias hidrográficas, conforme a ANA (2006). Sete das bacias hidrográficas são de domínio Estadual e três de domínio Federal e dois são dos sistemas hidrográficos do litoral, totalizando uma área de 331.983,29  $km^2$  de região hidrológica no Maranhão (Figura 1 e Tabela 1).

O monitoramento hidrológico das águas superficiais das bacias maranhenses é realizado por meio da ANA, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais - SEMA-MA e Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos - IMESC. O Estado do Maranhão possui uma rede de estações fluviométricas em todo o território

maranhense. Registra-se também, o Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão, que por meio da estação Imperatriz (82564) do INMET monitora o nível das águas, a velocidade e a vazão no período chuvoso e estiagem, referente a uma seção dos rios e dos fatores meteorológicos no Estado do Maranhão.

**Figura 01** – Bacias Hidrográficas e Sistemas Hidrográficos do Rio Tocantins e Rio Araguaia.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

As três bacias hidrográficas de nível Federal do Maranhão são: – Tocantins, Parnaíba e Gurupi; e as sete de domínio Estadual, são: Itapecuru, Turiaçu, Maracáçumé, Piriá, Munim, Mearim e Preguiças e os dois são de sistemas fluviais formadas pelas pequenas ilhas da costa do Oceano Atlântico. Essa significativa ocorrência de potencial de água no Maranhão possibilita a atração de atividades nas áreas da indústria, agricultura e pecuária que necessitam de relevante quantidade de água nos empreendimentos.

Convêm destacar que somente duas bacias possuem comitê de bacias, a do Rio Munim e a do Rio Mearim (ANA, 2019). Em 21 de novembro de 2013 foram criados os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs) do Rio Munim por meio da Lei Estadual N.º 9.956

(MARANHÃO, 2013a) e Mearim conforme a Lei Estadual N.º 9.957 (MARANHÃO, 2013b). No entanto, apesar da criação desses comitês, foram poucas as atividades e atribuições aos mesmos.

Os sistemas hidrográficos das bacias maranhenses são apresentados em uma área de domínio Estadual e Federal, além do território marinho de domínio estadual. Na (Tabela 1) por meio do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e ANA para o ano de 2006 organizou-se as regiões hidrográficas do Maranhão da seguinte forma: – Estadual em parte continental e oceânica e Federal. Desta forma, se observa que as bacias estão localizadas geograficamente na área do Atlântico Nordeste Ocidental, com características principalmente de três biomas brasileiros, Floresta Amazônica, Cerrado e Caatinga.

Das bacias citadas na (Tabela 1), pode-se observar que a de maior extensão em sua abrangência e importância hídricas para a Mesorregião Central Maranhense é a bacia do Rio Mearim, sendo, portanto, a maior no domínio Estadual em extensão e que abastece o Centro Maranhense, com 10,72% do território (NuGeo, 2019).

Destaca-se que a bacia do Rio Pindaré foi separada da Bacia do Rio Mearim com base no método *Otto Pfafstetter* que consiste em agrupar a rede de drenagem em três classes adotada pela ANA, para o território nacional (NUGEO, 2019).

A de domínio Federal corresponde ao Leste Maranhense, sendo a bacia do Rio Parnaíba com uma área de 20,02% do total do estado. Também constitui o conjunto de bacias maranhenses, a bacia do Rio Itapecuru que abastece o Norte Maranhense, com destaque para capital São Luís e possui área de 16,03% do território maranhense. No Sudoeste do Maranhão encontra-se a bacia do Rio Tocantins que abastece cidades como Imperatriz; Estreito, Carolina e Porto Franco com uma extensão de 9,24% da área do estado. Essa bacia influencia na dinâmica socioeconômica do Município de Balsas com agronegócio de grãos (milho e soja) e no Município de Açailândia no negócio da siderúrgica com mineiro de ferro.

**Tabela 01** – Bacias Hidrográficas do Estado do Maranhão e Suas Respectivas Áreas.

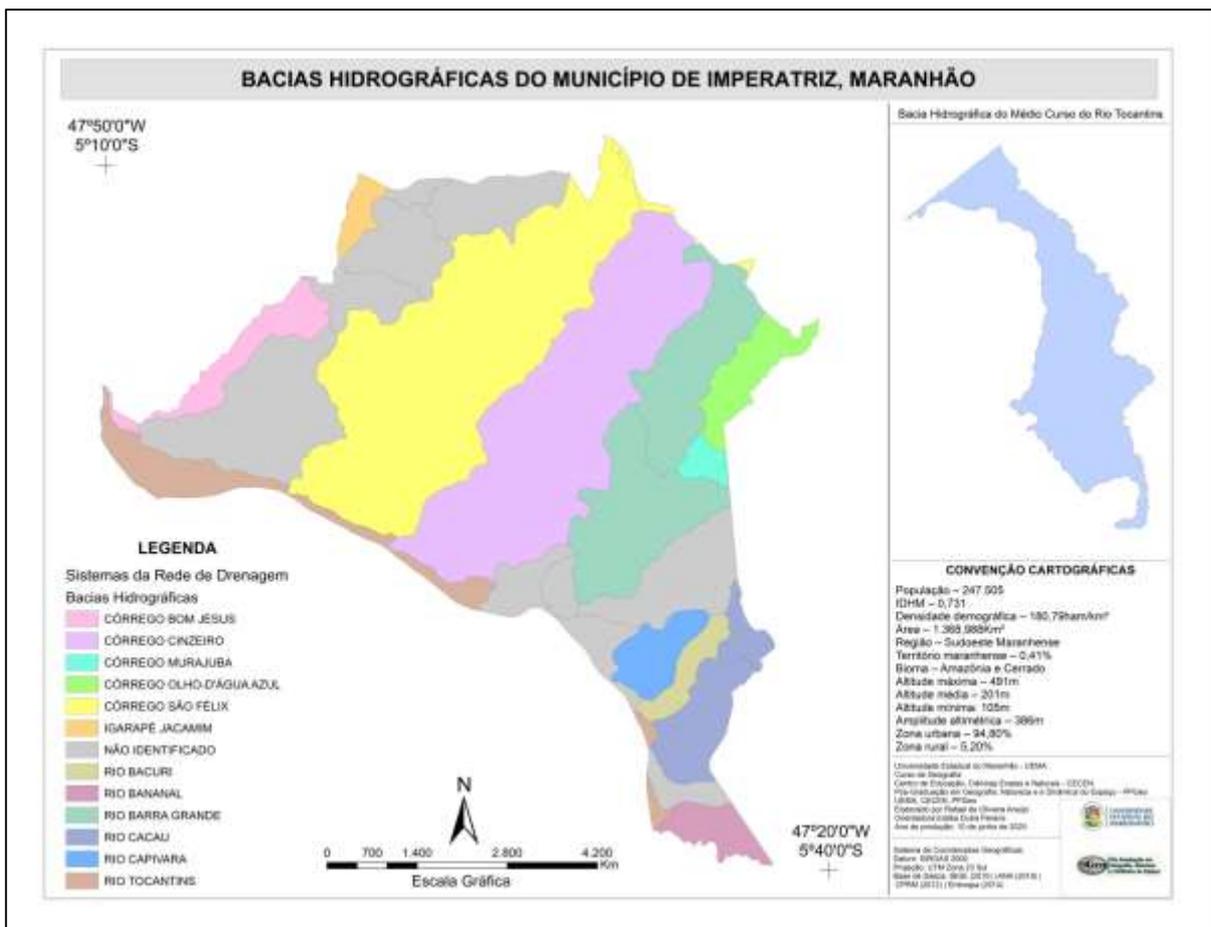
<b>Regiões Hidrográficas (PNRH/MMA-ANA, 2006)</b>	<b>Regiões Hidrográficas do Maranhão</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área em % sobre Estadual</b>
<b>Domínio Estadual</b>			
<b>Subtotal – 1</b>		<b>177.411,69</b>	<b>57,75</b>
Região hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental	Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru	53.216,84	17,32
	Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré	41.331,38	13,45
	Bacia Hidrográfica do Rio Mearim	32.935,49	10,72
	Bacia Hidrográfica do Rio Munim	15.918,04	5,18
	Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu	14.149,87	4,61
	Bacia Hidrográfica do Rio Maracaçumé	7.756,79	2,53
	Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças	6.707,91	2,18
	Bacia Hidrográfica do Rio Periaá	5.395,37	1,76
<b>Domínio Estadual Oceano Atlântico</b>			
<b>Subtotal – 2</b>		<b>16.711,64</b>	<b>5,44</b>
Região hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental	Sistema hidrográfico do Litoral Ocidental	10.226,22	3,33
	Sistema hidrográfico das Ilhas Maranhenses	3.604,62	1,17
-----	Águas Limítrofes do Litoral	2.880,80	0,94
<b>Domínio Federal</b>			
<b>Subtotal – 3</b>		<b>113.068,15</b>	<b>36,81</b>
Região hidrográfica do Parnaíba	Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba	66.449,09	21,64
Região hidrográfica do Tocantins-Araguaia	Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins	30.665,15	9,98
Região hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental	Bacia Hidrográfica do Rio Gurupi	15.953,91	5,19
<b>TOTAL</b>		<b>307.191,48</b>	<b>100,00</b>

Fonte: UEMA/NUGEO (2019).Org. por ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

## 2.4 ABORDAGENS DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO MUNICÍPIO DE IMPERATRIZ

O Município de Imperatriz apresenta suas bacias na Região hidrográfica do Tocantins-Araguaia. Esta pesquisa foi realizada na bacia hidrográfica do Tocantins que é uma das de domínio Federal e é composta por cerca de 12 unidades hidrológicas (Figura 2), sendo que destas, dez são intermunicipais e duas municipais. Também têm ocorrências de bacias hidrográficas não identificadas (sem denominação), e/ou classificação de (micro ou sub) na hierarquia fluvial de bacias.

**Figura 02** – Sub-bacias Hidrográficas e suas Respectivas Áreas de Abrangências do Município de Imperatriz – MA.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

As Sub-bacias Capivara e Bacuri encontram-se na zona urbana de Imperatriz e apresentam índices críticos de uso e ocupação no seu leito, devido ao alto índice de construções

principalmente de residências nas margens e/ou por cima dos riachos. Os mais atingidos são os riachos considerados intermitentes e efêmeros dessas sub-bacias, como os riachos Santa Tereza, José de Alencar e Anajás.

Essa ocupação é resultante do processo de expansão urbana dos Municípios de Imperatriz, João Lisboa, Davinópolis e Governado Edson Lobão e atingiu as Sub-bacias Barra Grande, Cacao e Banana. Todavia, em decorrência do crescimento populacional de Imperatriz de 247.505 habitantes em 2010 para 259.337 habitantes em 2020, segundo IBGE (2010, 2020) verificando-se um aumento de 4,56% em suas localidades por onde passam as águas fluviais dos rios, riachos, córregos e grotas do Município de Imperatriz.

As sub-bacias do Riacho Capivara e Bacuri tem grande parte no Município de Imperatriz, onde se encontram seus afluentes e, por isso apresentam problemas ambientais. Registra-se também, que Imperatriz possui uma rede de drenagem corresponde a 991,095 km em uma área 1.368,988 km<sup>2</sup> e possui uma densidade demográfica 180,79 hab/km<sup>2</sup> (ARAÚJO; SANTOS, 2017).

Segundo a Companhia de Águas e Esgotos do Maranhão (CAEMA) 25% da área do município é abastecida com rede de coleta do esgoto, restando os 75% desta área sem coleta. Essa estatística imprime que os sedimentos, os dejetos domésticos e os industriais sejam depositados diretamente nos corpos hídricos das sub-bacias (Figura 2), por meio de galerias, sarjetas e boca de lobo sem passar por nenhum tipo de tratamentos. Segundo o site (<http://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2014/11/apenas-25-da-cidade-de-imperatriz-possui-rede-de-esgoto.html>), para o ano de 2014 no município, ainda, corresponde apenas com 25% de coleta de esgoto.

Portanto, pode-se destacar que o Município de Imperatriz possui um rico potencial hidrológico (recursos hídricos) devido à grande quantidade de riachos que cortam seu território e os mesmos servem como condutores de escoamento dos esgotos da cidade de Imperatriz na malha urbana. De tal modo, se observa um mal gerenciamento no sistema de distribuição da rede de água no município desproporcional para a expansão do sítio urbano e população, assim então, ocasionando que a população use os riachos na malha urbano como rede de esgoto, pois alguns dos bairros mais afastados do núcleo urbano sofrem com falta d'água e saneamento básico e/ou passam por abastecimento alternado (caminhão-cisterna e caminhão limpeza de fossas sépticas).

O Município de Imperatriz é abastecido por uma rede de distribuição oriunda do Rio Tocantins e que tem a CAEMA como responsável por abastecer e distribuir água potável na cidade além de prestar os serviços de saneamento básico. Contudo, conclui-se que 98% dos

bairros da cidade possuem sistema de abastecimento de água, que é distribuído por uma rede de distribuição canalizada ligada a estações sob responsabilidade da CAEMA às residências na área urbana. Porém, a cidade tem 2% de abastecimento por poços tubulares e cacimba para consumo pessoal e para o desenvolvimento de pequenas atividades de agricultura familiar. Alguns outros parâmetros morfométricos e variações na (Tabela 2).

**Tabela 02** – Parâmetros Morfométricos das Sub-bacias Hidrográficas do Município de Imperatriz – MA.

<b>Parâmetros morfométricos</b>	<b>Variações</b>
População	247.505
Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – (IDHM)	0,731
Densidade demográfica	180,79 hab/km <sup>2</sup>
Área em extensão	1.368,988 Km <sup>2</sup>
Declividade em (%) – (forte ondulado)	0% - 31%
Sub-bacias	13
Perímetro	222,73 km
Território maranhense	0,41%
Trechos de drenagem	245
Extensão de cursos de água	991,095 km
Região	Sudoeste Maranhense
Território maranhense	0,41%
Bioma	Amazônia e Cerrado
Altitude máxima	491m
Altitude média	201m
Altitude mínima	105m
Amplitude altimétrica	386m
Zona urbana	94,80%
Zona rural	5,20%
Área suscetível a impactos socioambientais	Inundação; Alagamento; Enchente e Movimento de massa.

Fonte: IBGE (2010). Adaptado por ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

Assim, percebe-se que devido à grande quantidade de esgoto *in natura* e sedimentos escoados para os riachos de forma contínua, em decorrência ao intensivo processo de urbanização desorganizada, as águas das bacias urbanas vêm diminuindo de volume d'água e perdendo a capacidade natural de se recompor as suas características naturais, perdendo sua qualidade e tornando-se poluídas.

Chorley (1975) expõe que os parâmetros morfométricos na área hidrográfica da sub-bacias do Município de Imperatriz, que se localiza no extremo Sudoeste do Maranhão

(Tabela 2) apresentam amplitude altimétrica de 386 m e com uma densidade demográfica 180,79 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Ainda apresenta uma declividade com uma variação de 0% – 31% e um perímetro de 222,73 km. Sobre os impactos socioambientais identificado na área percebe-se que a área tende a apresentar problemas físicos, tais como: inundação; alagamento e enchentes, principalmente nas áreas mais rebaixada do terreno com altitude 105 m.

## 2.5 BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS DO MARANHÃO

Tucci (2005) aborda estudos desenvolvidos para águas, com ênfase em gestão dos recursos hídricos a partir de três aspectos indicadores de desenvolvimento urbano: - primeiro o crescimento da população; segundo, o avanço da economia e o terceiro pelo uso do solo, sendo que este vai definir o tipo de atividade realizada nas áreas (residenciais comerciais e industriais e áreas públicas). Portanto, as bacias hidrográficas são vistas por esse autor, de diferentes formas, função e uso. Sendo que, o que vai definir sua função social é o lugar em que ela se encontra. No Brasil, um exemplo típico é o Rio Tietê em São Paulo, que nas áreas próximas à nascente têm águas despoluídas e, no entanto, águas altamente poluídas em áreas urbanas, perdendo essas características naturais e se tornando esgoto ao céu aberto até a foz.

O conceito de bacia hidrográfica é visto de diferentes formas, função e uso e ocasionando pela sua localização geográfica. Portanto, uma bacia hídrica na zona rural é considerada como um recurso natural devido suas características naturais ainda predominantes, mesmo com o uso da ação antrópica e/ou semiantrópica Sotchava (1977). Uma bacia hídrica na zona urbana é vista como um mecanismo antropizado, com perdas das características e funções naturais do ciclo d'água, que são (rio, riacho, córrego e lago), para se tornar “grotas urbanas<sup>1</sup>” que muitas vezes servem somente como espaços e caminho dos dejetos das cidades para calha do corpo hídrico maior.

Sobre as bacias hidrográficas urbanas, para Bittencourt e Paula (2014, p. 25), os “recursos hídricos são as parcelas de água doce disponível para seus diversos usos”, para as atividades urbanas a água é utilizada para o uso doméstico, industrial, e pequena atividade agrícola, por outro lado, na zona rural a água está no uso da agricultura, piscicultura e pecuária.

---

O termo **grota** pode ser observada em dois sentidos de conexões para este estudo, assim dependendo de sua colocação no lugar. Assim sendo, a primeira é para uma cavidade dos cursos de águas limpas provocada por águas das chuvas, e/ou, em ribanceira de rio, por águas de enchentes, isso em espaço rural, entretanto, a segunda é para o espaço urbano, no qual os cursos de águas sujas, provocada por águas das chuvas, e/ou, em ribanceira de rio, por águas de enchentes, provoca a depressão úmida nas encostas.

Em virtude desta ideia, a água apresenta em seus recursos naturais funções diferentes dependendo do seu uso/ocupação na área da bacia hidrográfica.

Para Victorino (2014, p. 126), a água “[...] além de fundamental para a vida, é um recurso hídrico para o desenvolvimento econômico de longo prazo, para o bem-estar social e para a sustentabilidade dos ecossistemas”. Essa constatação é percebida desde os primórdios da organização social do homem, com o surgimento das primeiras aglomerações e das cidades junto às margens dos rios, ficando evidente que os rios foram e ainda são critérios quanto à escolha determinada para uso e ocupação do espaço geográfico. Contudo, a rede de drenagem na área urbana tem função de calha de esgoto (saneamento básico) nas cidades pequenas, médias e grandes do Brasil. Esses aspectos são visíveis entre ruas, avenidas e becos das malhas de estradas vicinais em todo o Brasil.

A dinâmica do ciclo hidrológico nas bacias urbanas é severamente alterada pela elevada taxa de impermeabilizações que conseqüentemente diminui a infiltração gerando uma elevada taxa de escoamento superficial, contribuindo para aumentar o volume das cheias ao longo dos canais fluviais dos riachos ou córregos.

Conforme Tucci (1995) com a urbanização primeiro verificam-se alterações na rede de drenagem natural, que é substituída por estruturas artificiais, aumento na extensão de áreas impermeabilizadas e mudanças de microclimas local. Tais alterações provocam maior volume de água pluvial escoados mais rapidamente, gerando o segundo dos maiores problemas hidrológicos, as enchentes.

A inundação é um processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio) quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio (BRASIL, 2007).

Conforme Tucci (1998), o aumento significativo no coeficiente de escoamento superficial e vazão máxima com base no método racional permite analisar os impactos sobre as bacias hidrográficas. Um habitante produz em média cerca de 49 m<sup>2</sup> de área impermeável numa bacia, e para cada 10% de aumento na área impermeável, ocorre cerca de 100% de aumento no coeficiente de escoamento de cheia e no volume de escoamento superficial. Destaca-se que as áreas intensamente urbanizadas apresentam baixíssima ou inexistente taxa de infiltração da água no solo.

Nas bacias urbanizadas, a dinâmica do escoamento superficial torna-se preponderante e para as estimativas do escoamento superficial das águas pluviais existem diferentes métodos, sendo o método Curva-Número (SCS/USDA, 1985), amplamente empregado (SILVA, 1999).

## 2.6 MÉTODO CURVA NÚMERO (CN) APLICADO EM ESTUDO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

A metodologia usada e aplicada em estudo de escoamento de bacia hidrográfica é realizada por meio de técnica de geoprocessamento e tem o intuito de acompanhar o regime regional de chuvas por meio das estações pluviométricas da área a fim de analisar o escoamento superficial deste ambiente (KARAMOUZ *et al*, 2010). Portanto, o CN é um método que pode ser usado em todo o território brasileiro, pois analisa a área por meio do uso/ocupação e solo da área estudada. O surgimento desse método se deu nos Estados Unidos em 1954 e serve para estimar a transformação da precipitação em escoamento superficial (USDA-SCS, 1985).

Para Grove (1998), o escoamento superficial pode ser resultado do aumento da vazão de cheia, redução do tempo de concentração e diminuição da vazão de base, o que acarreta no aumento das inundações, alagamento e enchente de áreas urbana, periurbana e rural. De tal modo, para analisar o CN possibilita um esquema de análise da bacia hidrográfica usando parâmetros que possa medir a quantidade de águas que escoam e a velocidade e tempo em variados ambientes que está sendo estudado seja área rural, ou seja, área urbana, além de área periurbana. De acordo com Clarke (1973), esse sistema hidrológico natural (rios, riachos, córregos, lagos e grotas), e/ou antropizado (redes de drenagens, grotas, sistema canalizados), tem modelos de análise que são divididos em duas grandes áreas, sendo estocásticos e determinísticos, que o método CN é aplicado, que apresenta natureza das variáveis utilizadas na formulação dos modelos de escoamento superficial.

No Brasil, esse método USDA - SCS foi aplicado em diversos trabalhos voltados para as bacias hidrográficas, como por exemplo, na Região Norte, a bacia hidrográfica Igarapé da Prata (PA) AUTOR?; na Região Sudeste a bacia hidrográfica do Córrego Caçula –SP (SANTOS; LOLLO, 2016); para estimar deflúvio em pequena bacia experimental temos os estudos de (MELLEK, 2015); bacia hidrográfica do rio Atuba: Curitiba e região metropolitana, os estudos de (NUNES *et al.*, 2011) com o propósito de estimativa de escoamento superficial, visando o planejamento urbano.

Assim, o escoamento superficial da área é possível averiguar o sistema de três principais fatores (a hidrografia, a climatologia e a geomorfologia), cuja aplicação é dada para aprofundar os estudos de identificação de quais pontos da bacia hidrográfica são mais impactados no processo de escoamento superficial. Desta forma, por meio, dos dados (areal, linear e hipsométricos), no recobrimento da superfície do terreno por obras de engenharia, que

implica em uma maior quantidade e velocidade do escoamento superficial em um tempo menor conforme Genz e Tucci (1995).

Tucci (1998) propõe o método USDA-SCS em ambiente antropizados ao discutir sobre a temática de inundação em área urbana, por meio do uso e cobertura da terra com as características de solo de diferentes ambientes.

Santos e Lollo (2016, p. 665) afirmam que:

Ao propor a análise do uso e cobertura da terra com as características de solo, esse modelo possibilita a produção de informações sobre o escoamento superficial, sendo estas capazes de suprir a carência de dados hidrológicos existente em grande parte dos municípios brasileiros.

A aplicação do método do Número de Curva (CN) é relacionando com aspectos fisiográfico, hidrografia e hipsometria da bacia, essa metodologia provoca a determinação da dinâmica natural aplicado para o cálculo do volume de escoamento superficial direto em bacias hidrográficas a partir de eventos climatológicos de precipitação observados durante horas com volume de águas para escoar e infiltrar nos solos. Com o método do *Soil Conservation Service* (SCS-CN) averiguou-se que as bacias hidrográficas apresentam um padrão de escoamento lento em área de baixa altitude menos impermeáveis, entretanto, isso depende de sua localização, pois áreas de mais altitudes são propícias a apresentarem um escoamento e infiltração comportamento mais impermeáveis, que aquelas de comportamento complacente, dos canais fluviais.

Contudo, as bacias hídricas correspondem a diferentes tipos de comportamentos distintos momentos e estrutura geomorfológica, pois, dependendo da quantidade de chuva e tipo de solo e relevo ao comportamento abrupto da área o escoamento superficial e subterrâneo da bacia responde de maneira diferente para grandes alturas e volume de chuva no método CN. Portanto, salienta-se que esse comportamento e investigação do método aplicada em bacia hidrográfica para averiguar quais os tipos de impactos socioambientais podem ocorrer em sítio urbano, sendo os mais comuns – para inundação, no caso de enchente, para alagamento e movimento de massa. Esse método CN possibilita monitorar, por meio do escoamento superficial diferentes pontos da área de estudo que estão mais propícias a receber uma “inundação” na bacia hidrográfica.

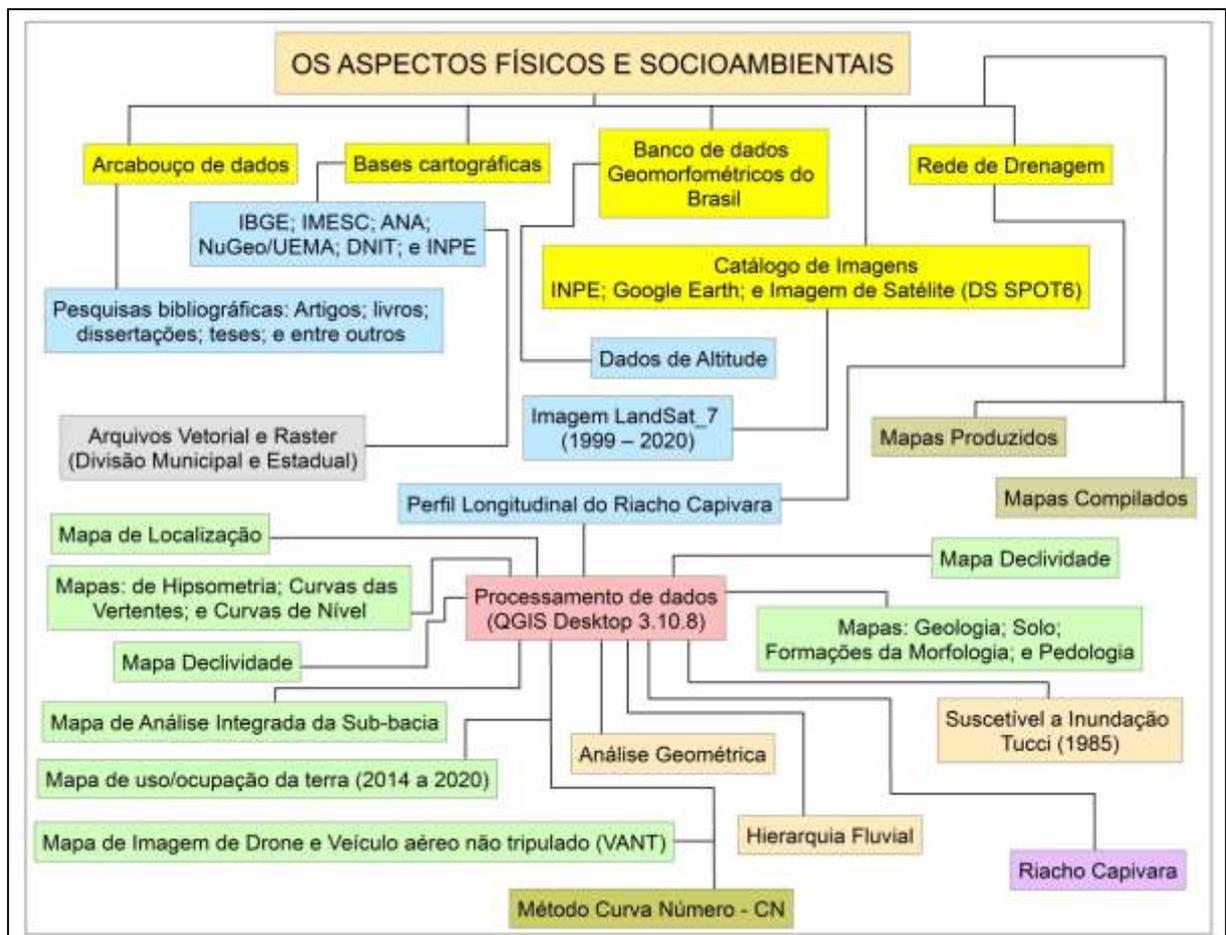
### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção é apresentada a descrição dos materiais e procedimentos utilizados nesta pesquisa, além das etapas empregadas no desenvolvimento da mesma, para melhor identificação das condições do meio físico associada às modificações antrópicas causadoras potenciais da intensificação do escoamento superficial nas bacias.

#### 3.1 FLUXOGRAMA DO PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Na (Figura 3), encontra-se o mapa conceitual da metodológica adotada para análise da Carta de Potencial do Escoamento Superficial da sub-bacia do Riacho Capivara – MA.

**Figura 03** – Esquema Metodológico Detalhado da Produção dos Mapas em Fluxograma.



Fonte: Elaborada pelo autor da pesquisa (2020).

O processamento de dados deu-se no software livre de Sistema de Informação Geográfica *QGIS 3.10.8 (Quantum GIS)* que permite a visualização, a edição e a análise de dados georreferenciados nos formatos raster e/ou vetoriais.

A metodologia proposta que foi utilizada nesta pesquisa deu subsídio para a realização da análise morfométrica (carta de potencial) da sub-bacia do Riacho. Foi usado o georreferenciamento com base cartográfica da região do Município de Imperatriz. Para tanto, utilizou-se o software Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas – (*SPRING 5.5.6*) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais da rede de drenagem.

### 3.2 MATÉRIAS E MÉTODOS

Essa atividade foi realizada em três momentos – o estudo bibliográfico sobre a temática pesquisada, os trabalhos de campo e o trabalho no laboratório de geoprocessamento.

O método científico utilizado foi o hipotético-indutivo, que parte da observação e experimentação, tendo sua origem no problema, no qual procura soluções por meio de tentativas, hipóteses e teoria.

Para Marconi e Lakatos (2003, p. 86), a indução é um processo mental por intermédio do qual, partindo de dados particulares, suficientemente constatados, infere-se uma verdade geral ou universal, não contida nas partes examinadas. Portanto, o objetivo dos argumentos indutivos é levar a conclusões cujo conteúdo é muito mais amplo do que o das premissas nas quais se basearam.

No entanto Gil (2008, p. 10) diz que:

O método indutivo procede inversamente ao dedutivo: parte do particular e coloca a generalização como um produto posterior do trabalho de coleta de dados particulares. De acordo com o raciocínio indutivo, a generalização não deve ser buscada aprioristicamente, mas constatada a partir da observação de casos concretos suficientemente confirmadores dessa realidade.

Portanto, esse método hipotético indutivo, na qual parte da premissa do conhecimento é fundamentada exclusivamente na experiência, assim ocasionado uma investigação do objeto estudado, sem levar em consideração princípios preestabelecidos conforme Gil (2008).

### 3.2.1 Levantamento bibliográfico e cartográfico

O arcabouço da literatura adotada versa sobre assunto basilares para resolução do problema identificado, em destaque, cuja temática referente a manifestação do espaço urbano, assim então buscou compreender a dinâmica natural/antrópica da bacia hidrográfica em sítio urbano. Nesse sentido, o estudo é visa sobre a teoria do conceito e definição de bacia hidrográfica, sistemas hidrográficos de bacias hidrográficas e do Estado do Maranhão, abordagens da sub-bacias hidrográficas do Município de Imperatriz, uso do método curva número aplicado em estudo de bacias hidrográficas, estimativa de escoamento superficial na sub-bacia do riacho Capivara, além de outros.

Para tal práxis foram utilizados, fonte primárias e secundárias, além de imagem de satélites (*Google Earth*), e outros que subsidiaram esta pesquisa, exponencialmente, os seguintes autores, Strahler (1952, 1957), Tricart (1977), Schroeder (1994), Tucci (1993, 1995, 1998, 2005), Oliveira (2005), Tonello (2006), Teodoro (2007), Teixeira (2009), Nunes (2011), Santos (2012), Santos (2020), dentre outros. Foram utilizadas as bases da biblioteca da Universidade Estadual do Maranhão – (UEMA), bem como o Espaço Discente e sites científicos, a fim de obtenção de dados de Sistema de Informação Geográfica – (SIG), assim como o espaço Laboratório de Cartografia e Ensino – (LabCartE) da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – (UEMASUL). A estrutura do arcabouço teórico é composta conforme o (Quadro 1).

**Quadro 01** – Categoria de investigação usada para metodologia da pesquisa.

<b>Categoria de investigação</b>	<b>Autor</b>	<b>Conceito</b>
Bacia Hidrográfica	Borsato e Martoni (2004)	Definir como uma área limitada por um divisor de águas, que a separa das bacias adjacentes e que serve de captação natural da água de precipitação através de superfícies vertentes. Uma rede de drenagem formada por cursos d'água, ela faz convergir os escoamentos para a seção de exutório, seu único ponto de saída.
Padrões de Drenagem	Christofoletti (1980)	Os padrões de drenagem podem ser classificados segundo a sua gênese, geometria, e número de ordem que o padrão de escoamento.
Inundação	Tucci e Bertoni (2003, p.54)	As inundações podem ocorrer devido às condições naturais ou geradas por uso do solo como urbanização ou obras hidráulicas.

Método Curva Número (CN)	Tucci (1995; 1998) e Patil (2008)	Método conceitual simples, previsível e estável para estimativa da lâmina do escoamento direto, com base na lâmina de chuva e conta com apenas um parâmetro CN.
Uso/Ocupação de Bacia Hidrográfica	Rosa (2007, p. 163)	O estudo do uso da terra e ocupação do solo consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou, quando não utilizado pelo homem, a caracterização dos tipos de categorias de vegetação natural que reveste o solo, como também, suas respectivas localizações.
Geotecnologia	IBGE (2013, p. 23)	O uso de tecnologias possibilitou aos pesquisadores refletirem sobre a necessidade de se buscar novas possibilidades teóricas e metodológicas.
Paisagem	Bertrand (1972, p.141)	Paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto, instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.
Rios Urbanos	Gorski (2008, p. 39)	Seu volume total permanece constante, apenas sofrendo alterações de qualidade e distribuição.

Fonte: Elaborado pelo autor da pesquisa (2020).

No que concerne ao levantamento cartográfico, a base de dados vetoriais para a elaboração dos mapas da fisiografia, e dos dados climatológicos, além do crescimento da população por bairro do Município de Imperatriz no ano de 2020, localização da rede hidrográfica da área de estudo (sub-bacia do riacho Capivara), além daqueles canais de 1ª, 2ª e 3ª ordem no raio de curvas de nível em 180 metros, localização dos riachos (Capivara, Santa Teresa e José de Alencar), bem como, a localização das unidades que apresenta o potencial ao processo de inundação na sub-bacia do riacho Capivara, do sítio urbano de Imperatriz do Maranhão, foi adquirida no banco de dados do IBGE, IMESC e ANA. Neste contexto, o acesso a essas plataformas institucionais on-line possibilitou o *download* de malha municipal. Vale salientar que todos dados desta dissertação foram elaborados no sistema de referência de coordenadas geográficas, *Datum Sirgas 2000*.

### 3.2.2 Levantamento e análise de campo da sub-bacia do riacho Capivara

A realização de trabalho de campo exigiu planejamento e organização para execução na malha urbana da Cidade de Imperatriz, com ênfase na sub-bacia do riacho Capivara.

Essa etapa de trabalho foi realizada durante dois anos, em quatro momentos, dos períodos sazonais chuvosos e de estiagem na Capivara, onde foram escolhidos os locais estratégicos e representativos de ponto de sub-bacia riacho inundação da Sub-bacia, com maior índice de subida do nível das águas no riacho Capivara. Foram identificados e selecionados para a pesquisa, os seguintes pontos na malha viária: ruas Padre Cicero; Parnaíba; Santa Rita; Piauí; Pernambuco; Paraíba; José de Alencar; Santa Tereza; Alagoas; Rio Grande do Norte; Ceará; Jacobe; Liberdade; São João Newton Belo; Avenida. JK; e rodovia Bernardo Sayão (BR-010) e áreas adjacentes das estradas vicinais, como pontos de análises (Figura 04). Esses pontos foram georreferenciados com aparelho GPS o *Garmin e Trex 10* e fotografados com *Smartphone* com 1560 x 720 *pixels*, para obter melhores resultados sobre as inundações na área. Realizaram-se também entrevistas informais com os moradores e ribeirinhos.

Foram visitados e identificados pontos de “áreas naturais e preservadas” na sub-bacia principalmente no médio curso do riacho, entre eles encontram os pontos dos riachos José de Alencar e Santa Tereza, que possuem áreas abertas, onde o homem ainda não atuou diretamente nela, com construções de sarjetas, galerias canalização entre outros. Ainda sobre a área, percebe-se um fragmento de florestas Cerrado e Amazônia, com isso, tem a mata extrativista da reserva do Batalhão de Infantaria e Selva (50 BIS) para sub-bacia.

As informações sobre as ocorrências os pontos de inundação por processo de escoamento superficial foram obtidos mediante boletins oficiais emitidos pela a Superintendência Municipal de Proteção e Defesa Civil (SUMPDEC), especificando o tipo e quantidade de chuva prevista para a região e assim a cidade.

O acesso às informações foi possível por meio dos boletins disponibilizado por Instituto Nacional de Meteorologia – (INMET), ao referido intitulo, em conformidade com os preceitos da divulgação das publicações dos dados meteorológicos do Brasil, que regula sobre o direito de divulgar a qualquer cidadão de acesso às informações públicas sobre alguns dados tais como – o tempo, clima, dados meteorológicos, satélites, risco de risco de incêndio, além de outras informações públicas.

Contudo, para esta dissertação, a obtenção dos dados teve como caráter facilitador o fato dos processos de dois recortes temporais nos anos de 2014 e 2020 para compreensão do processo de inundação na sub-bacia na cidade de Imperatriz do Estado do Maranhão.

Logo depois de posse dos dados climatológico e em virtude da área de uso/cobertura da referida unidade para o período de análise nos períodos (chuvoso e de estiagem) que compreende o espaço físico do município de Imperatriz se fez necessário a triagem das ocorrências de inundação por local nos três níveis da sub-bacia no que refere-se (alto curso, médio curso e baixo curso) do riacho Capivara, isto é, computando apenas aquelas atendidas no espaço geográfico da área de estudo.

Todavia, após isto, o procedimento adotado perpassou pela seleção das ocorrências representativas do objeto fim, escoamento superficial, excetuando-se as ocorrências de problemas socioambientais (inundação), atendimento uma introdução instantânea das águas superficiais adentrado nas residências, além de aumentar o nível dos riachos, ocasionando captura de animais e demais correlacionadas Santos *et al.* (2003).

Observa-se que após o processo de chuvas o nível dos riachos ultrapassa o seu leito natural, assim foram contabilizadas as perdas das residências, dos automóveis, dos móveis cosméticos, da vegetação, da infraestrutura (malha asfáltica), exposição de lixo doméstico, face aos respectivos bairros de ocorrência e inundação.

Desta forma, foi possível tabular dados estatísticos (gráficos) representados em frequências absolutas e relativas dos períodos de maior precipitação para a cidade de Imperatriz, o que por sua vez, fomentou a elaboração do monitoramento do comportamento da chuva, assim então, de ocorrências contemplando os bairros com maiores incidências face aos tipos de inundação, portanto, pode-se buscar alternativas para amenizar os impactos ocasionados por escoamento superficial, assim como, a confecção de mapas representativos das ocorrências por fato, estratos de ocorrências fatos por local e percentual de ocorrências por bairros atingidos por inundação.

Tal abordagem é representativa do entendimento da relação efetivo x população atendida, ou seja, como é a dinâmica do riacho nos períodos (chuvosos e estiagens) e a dinâmica do sítio urbano. Assim, para o ano de 2014 e 2020, o tipo de uso/ocupação da área, entretanto, é notório verificar a fisiografia que compõe a sub-bacia, além de saber os elementos que interligam os canais fluviais ao processo de escoamento superficial, levando em consideração o volume de água e o tempo de escoamento.

É importante salientar que o método Curva Número é efetivo e atende a compreensão do escoamento superficial que concorre concomitante as escalas detalhadas de

pontos com maior índice de inundação. Assim, a população residente da área de cobertura, conforme os dados estatísticos do IBGE, para o referido ano, perfaziam 259.980 habitantes para a cidade Imperatriz. Corrobora como agravante a este cenário o elevado número de residências recorrente localizada nas margens dos riachos e, assim, aumentam as ocorrências, em destaque, as inundações atendidas no período chuvoso e com seu ápice nos três meses referido (fevereiro, março e abril) do estudo.

Desta maneira, o mapeamento dos pontos inundação identificados na sub-bacia do riacho Capivara, ocorridos na cidade de Imperatriz – MA, teve o intuito de estabelecer informações capazes de proporcionar subsídios para a tomada de decisão, e conseqüentemente, gerando cenários favoráveis à brevidade no atendimento de primeira resposta às ocorrências do processo de inundação na área, e reciprocamente atingindo os bairros e área adjacentes que estão localizados na sub-bacia, promovendo maior insegurança socioambiental, além da possibilidade de resguardar a vida da fauna e flora deste local.

### **3.2.3 Levantamento da rede hidrográfica de Imperatriz - (sub-bacia do riacho Capivara)**

O diagnóstico da situação de vulnerabilidades do escoamento superficial das medidas urbanísticas de Imperatriz contra o processo de inundação perpassa massivamente pelo entendimento da dinâmica dos cursos d'água dos dois riachos secundários (Santa Teresa e José de Alencar) da sub-bacia do riacho Capivara como ponto de ligação entre os bairros. Assim, denota-se que os canais fluviais têm duas funções mais distintas - ponto para colheita de esgotos (doméstico e industrial) e do saneamento básico em geral, além do abastecimento de água, no caso, a rede de hidrográfica na alta bacia do sítio urbano e mananciais recorrente especializado ao local das ocorrências de inundação.

Sobre a linha metodológica adotada para os campos desenvolvidos foi baseada em vistoria classificada como dois períodos “Chuvoso” e “Estiagem”, qual seja, em assim levando em consideração as chuvas na região sudoeste maranhense. A interação da rede drenagem e climatologia é definir um diagnóstico que mostre a realidade do sistema da rede hidrográfica no espaço urbano e do fluxo de ponto de inundação, analisando a intensidade e impactos dos riscos oferecidos que o escoamento superficial tem nas residências locada na sub-bacia. É notório que a dinâmica social, interferindo ainda diretamente na saúde pública e, dependendo da magnitude, gerar um desastre antrópico por causa da contaminação das águas, possibilitando doenças que são transmitidas por meio da água.

A característica do riacho principal é proceder um diagnóstico geral na área requerida, ou seja, como ocorre o procedimento de inundação. Este processo considera, conceitualmente, que a vistoria de escoamento superficial na sub-bacia, caracteriza-se pela análise e avaliação de instabilidade dos solos em infiltra-se na superfície, classificação dessas deficiências quanto ao grau de risco e indicações de orientações técnicas para cada problema verificado. Neste contexto, a canalização dos canais fluviais representa a irregularidade relativa à construção e suas instalações de residências sobre e nas margens, enquanto que a falha diz respeito à falta de manutenção.

Análise de risco de inundação consiste na classificação que o relevo do município de Imperatriz é formado por planície fluvial e/ou planície de depressão, assim consiste em falhas na rede de hidrográfica identificadas nos diversos riachos urbanos que a malha urbana está contornando esses cursos d'água. Contudo, observa-se que os riachos vêm, perdendo constantemente seus volumes de águas, devido o intenso uso e/ou ocupação de residências, empreendimentos que edificam, o curso natural dos riachos, quanto seu percurso modifica sua área de proteção permanente, relacionado com fatores de conservação ambiental, depreciação de canais de 1ª e 2ª ordem, que vem, tendo comprometimento de vida útil e perda de desempenho dos riachos.

Nesse sentido para as análises situacional dos pontos de coleta de pontos de inundação, buscou-se identificar os principais pontos da bacia hidrográfica nos três níveis dos cursos (no alto, no médio e no baixo), assim para averiguar esses cursos d'água foi utilizado o GPS *Garmin Etrex 10* com a finalidade do cadastramento das coordenadas geográficas e posterior georreferenciadas e podendo ocasionar a espacialização destes dispositivos do *software* do QGIS (*Version Quantum GIS 3.10.8*) na elaboração e construção dos mapas.

As informações dos dados processados no Sistema de Informação Geográfica (SIG) obtidos foram lançados num banco de dados em uma planilha de campo coletados em 2018, 2019 e 2020. Assim, os elementos registrados foram – o número de canais de 1ª, 2ª e 3ª ordem identificados na sub-bacia do riacho Capivara, assim sendo, buscando o nível de escoamento superficial, comportamento das águas em escala de diferentes pontos, como o tipo de solo e cobertura. Deste modo, é notório saber os componentes básicos dos sistemas hidrográficos, geomorfologia e cobertura da terra, além de informações de curvas e hipsometria da área.

Por fim, importante foi interessante identificar de maneira sucinta que os riachos têm diferentes padrões de uso, ora seja para o uso de abastecimento doméstico ou não, ora para atividades de agricultura familiar, e de atividades industrial e comercial. Contudo, as informações aqui possibilitaram a saber em que período e pontos estratégicos os moradores

fazem uso dos riachos da sub-bacia do Capivara. E, por meio, de observação e conversas informais com os residentes pode-se concluir que é uma área afastada do núcleo urbano é desprovida de saneamento básico e água potável em quase todos os bairros que são inseridos sub-bacia do Capivara.

### 3.3 RECONHECIMENTO DA ÁREA DA SUB-BACIA E AFERIÇÃO DOS MAPAS PRELIMINARES

Foram realizados trabalhos de campo na Sub-bacia do Riacho Capivara com o propósito de conhecer toda área pesquisada, para tanto foi necessário “conversar” como moradores das áreas próximas ao Riacho Capivara. O trabalho de campo também foi necessário para obter pontos com o GPS para aferição no processo de mapeamento. Destaca-se que no riacho estudado existem trechos que só podem ser identificados como curso de água, no período chuvoso, pois são cursos efêmeros e intermitentes, além dos canais perenes, auxiliando na identificação da rede de drenagem do Riacho.

Em dezembro de 2018, o trabalho de campo ocorreu entre os bairros Ipiranga, Santa Rita e Nova Imperatriz, da foz a nascente do Riacho Capivara. Na oportunidade, verificou-se alguns tipos de uso do solo para a silvicultura do eucalipto, agricultura de subsistência, pastagens e tem a presença da vegetação de babaçu e açaí. Foi verificado, também, as feições geomorfológicas, além de averiguação da situação das nascentes do Riacho Capivara, que atualmente encontra-se no bairro Conjunto Residencial JK (Juscelino Kubitschek).

Em fevereiro de 2019, foi realizada a atividade de campo na Microbacia do Riacho José de Alencar, indo da Rua Silvino Santos passando por principais vias (Padre Cícero, Santa Rita, José de Alencar, Ceará e Newton Belo) à foz do Riacho Capivara, com o objetivo de averiguar a situação da vegetação ciliar do Riacho José de Alencar como seus afluentes, o lançamento de esgoto doméstico e o assoreamento do canal fluvial.

Em Julho de 2019, o trabalho de campo ocorreu no trecho entre a Microbacia do Riacho Santa Tereza, na oportunidade percorreu-se setores da Depressão de Imperatriz e direcionando-se até a BR-010 na área de nascente a foz do Riacho Capivara na (quinta do Jacó) entre as vias canalizadas dos bairros (Nova Imperatriz; Quatro Bocas; Três Poderes; Juçara e Maranhão), podendo verificar os trechos de macrodrenagem e microdrenagem da Sub-bacia. Nesse trabalho de campo, identificou-se a poluição dos Riachos por atividade de oficinas

mecânicas e lava-jatos, resultado da principal atividade econômica dos bairros da área da Sub-bacia do Riacho Capivara.

Em março de 2020, o trabalho de campo foi acompanhado por um mapeamento de *Drone* na área de estudo, e foram visitados vários pontos da Sub-bacia tais como: rodovia BR-010; as Avenidas: JK; e as Ruas: São João, Liberdade, Newton Belo Ceará Piauí, Santa Rita, Padre Cícero e José de Alencar; a reserva do 50 BIS; os Riachos Santa Tereza e José de Alencar; os Bairros Nova Imperatriz, Santa Rita, Bom Sucesso, Santa Inês, Boca da Mata, Cinco Irmãos, Vila JK, Vila Ipiranga, Vila Cafeteria, Juçara, Três Poderes, Jardim Tropical Alto Bonito, Vila Zenira, e Maranhão Novo da Cidade Imperatriz – MA. Na oportunidade, houve encontros com representantes dos bairros sendo realizadas entrevistas informais (Figura 4).

Nos meses de junho a agosto de 2019 e janeiro a abril de 2020 foram realizadas em vários momentos idas a campo para dirimir dúvidas sobre: a cobertura e uso da terra da Sub-bacia do Riacho Capivara, problemas ambientais, área suscetível à inundação, conflitos entre APP e uso da terra, entre outras. Além de verificar mais de perto as áreas que apresentam maior tendência de conflitos pelo uso da água. Esses trabalhos de campo serviram para que se pudessem finalizar os mapas temáticos.

Na Sub-bacia do Riacho Capivara, foram identificados dez pontos onde ocorrem inundações no núcleo urbano da Cidade Imperatriz que foram plotados no mosaico da imagem de satélite (*DS SPOT6*, da *Google Earth Pro Quickbird* (60cm) passagem em 2020), (Figura 4 e Quadro 2).

**Quadro 02** – Identificação das paisagens encontradas na Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz – MA

PONTOS	DESCRIÇÃO DA PAISAGEM
A	Rede de esgoto ligado ao Riacho José de Alencar.
B	É retratado o Riacho Capivara e seus afluentes coberto pela malha de asfalto, pela Avenida São João com a reserva do 50 BIS entre os bairros Cinco Irmãos e Vila JK.
C	Mata ciliar na Rua Piauí do Riacho Santa Tereza.
D	Escoamento superficial das águas pluvial misturado com a rede de esgoto domésticos no bairro Três Poderes.
E	Área de planície de inundação entre os bairros Ipiranga, Cafeteira e Zenira do Riacho Capivara na cabeceira do canal fluvial.
F	Ponte de madeira e escoamento superficial com baixa infiltração, ocorrendo inundação entre os bairros Cinco, Boca da Mata e Vila JK isso na Rua Pacari da Mata.
G	Escoamento superficial da chuva na Avenida Tropical Norte do bairro Jardim Tropical alto curso do riacho, que interliga as águas do Riacho Capivara.
H	Área de inundação do Riacho Capivara no médio curso no bairro Santa Rita da residência atingida.
I	Nível do Riacho Capivara subiu e atingiu a Avenida JK, sendo assim o fenômeno de inundação na área.
J	Ponte de concreto na Rua Piauí no bairro Nova Imperatriz, em que escoam as águas do Riacho Santa Tereza até desagua-se no Riacho Capivara, no entanto, cujo observou-se pastagens de babaçu e eucalipto com outras vegetações rasteira e densa em ponto isolado da Sub-bacia.

Fonte: Mapa de mosaico da paisagem Figura 4, da paisagem da Sub-bacia em 2020.  
Adaptado pelo autor da pesquisa (2020).



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

### 3.4 TRABALHO DE LABORATÓRIO

Esse momento foi dividido em duas partes. A primeira refere-se ao trabalho de editoração do mapa produzido, aplicando o sistema de informação geográfica. Posteriormente, foi realizada a análise de todas as informações adquiridas ao longo da pesquisa, desde as referências bibliográficas, o mapa produzido, visita de campo e outras fontes primeiras e secundárias.

Na compilação dos mapas, foi utilizado o programa *Quantum GIS – (QGIS Desktop)* na versão 3.10.8, na qual foi criado um banco de dados georreferenciados, para a área de pesquisa que se caracteriza por armazenar dados relacionados à localização das entidades, além dos dados alfa numérico (CERVO, 1978).

### 3.5 TRABALHO DE GABINETE – PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA

Elaboração de uma base cartográfica digital georreferenciada e análise dos documentos cartográficos disponíveis e elaborados que subsidiaram a análise da inundação na Sub-bacia do Riacho Capivara. Como o Mapa Geológico, Hidrogeológico, Geomorfológico e de Recursos Minerais do Estado do Maranhão na escala 1:250.000 da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais - CPRM, arquivos formato *shapefile* do Programa Geologia do Brasil, na escala 1:750.000 conforme Klein e Sousa, (2012), associada à interpretação de imagens de satélite (imagens *RapyEye*), fotografias aéreas, dados aerogeofísicos ou outros sensores remotos aerotransportados de *Drone (Dji Phantom 4 pro Câmera com resolução 4 k)* na área da sub-bacia do riacho Capivara. A seguir destaca-se:

#### **- Mapa de Hipsométrico, Declividade e Curvatura de Relevo**

A elaboração dos mapas dar-se por meio de dados vetorial e raster como bases inicial para que foi-se realizada a partir da imagem de satélite *ALOS (Advance Land Observing Satellite)*, da *Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)*, no período de aquisição, a instituição responsável pela comercialização no Brasil era o IBGE. Por isso, essa imagem é constituída por sensor *AVNIR-2* com bandas espectrais de 1 a 4, resolução espacial de 10

metros, resolução radiométrica de 8 *bits*, área imageada de 70 Km e com período de revisita de 46 dias, como expõe (SANTOS, 2012) para essa área.

A partir dos dados da imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – DSR/INPE de 2008 para a região Tocantina, com Resolução Espacial de 30 m, foi possível detalhar melhor o relevo da Sub-bacia do Riacho Capivara. Utilizou-se o modelo digital de elevação (MDE) para criação dos planos de informação e elaboração dos mapas Hipsométrico, Declividade e Curvatura de relevo, além do mapa de drenagem da área.

No estudo das classes de declividade para a área de estudo, adotou-se a classificação proposta pelo CPRM (2003) que se divide em sete classes: Plano (0% – 2%), Suave ondulado (2% - 5%), Ondulado (5% - 10%), Moderadamente ondulado (10% – 15%), Forte ondulado (15% - 45%), Montanhoso (45% - 70%) e Escarpado (> 70), dada em graus/porcentagem (° / %) – (0° - 70° / 0% - 100%). No entanto, para sub-bacia utilizou-se cinco classes: classe I (Plano de várzea), classe II (Plano de topo), classe III (Suave ondulado), classe IV (Ondulado) e classe V (Moderadamente ondulado) porém, uma é vista como duas a (classe I), conforme a metodologia utilizada à declividade é dividida em cinco classes, que possuem entre si distintos intervalos (Tabela 3).

**Tabela 03** – Classe de Declividade para a Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz –MA

Parâmetro morfométrico	Declividade (%)	Discriminação
Relevo	0 – 0,95	Plano de várzea
	0,95 – 1,81	Plano de topo
	1,81 – 2,91	Suave ondulado
	2,91- 5,24	Ondulado
	5,24 – 12,15	Moderadamente ondulado

Fonte: Elaborada pelo autor da pesquisa (2020).

### - Mapa de Geologia

O Mapa Geológico da sub-bacia do Riacho Capivara teve como base cartográfica os arquivos formato *shapefile* do Programa Geologia do Brasil, na escala 1:750.000 conforme Klein e Sousa, (2012), na escala 1:250.000 do Serviço Geológico do Brasil e do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos – IMESC em 2019 em uma escala de 1:250.000.

### **- Mapa de Solo**

O Levantamento Exploratório e Reconhecimento de Solos do Estado do Maranhão na escala 1:1.000.000 – EMBRAPA/SUDENE (1986 e 2006) e Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos – IMESC em 2019 em uma escala de 1:250.000.

### **- Mapa de uso e ocupação**

Os mapas de uso e ocupação da bacia foram elaborados pelo processamento digital da imagem DS SPOT-6 com passagens em julho e agosto 2014; e imagens *Google Earth Pro Quickbird* (60 cm) passagem em 14 de julho de 2020.

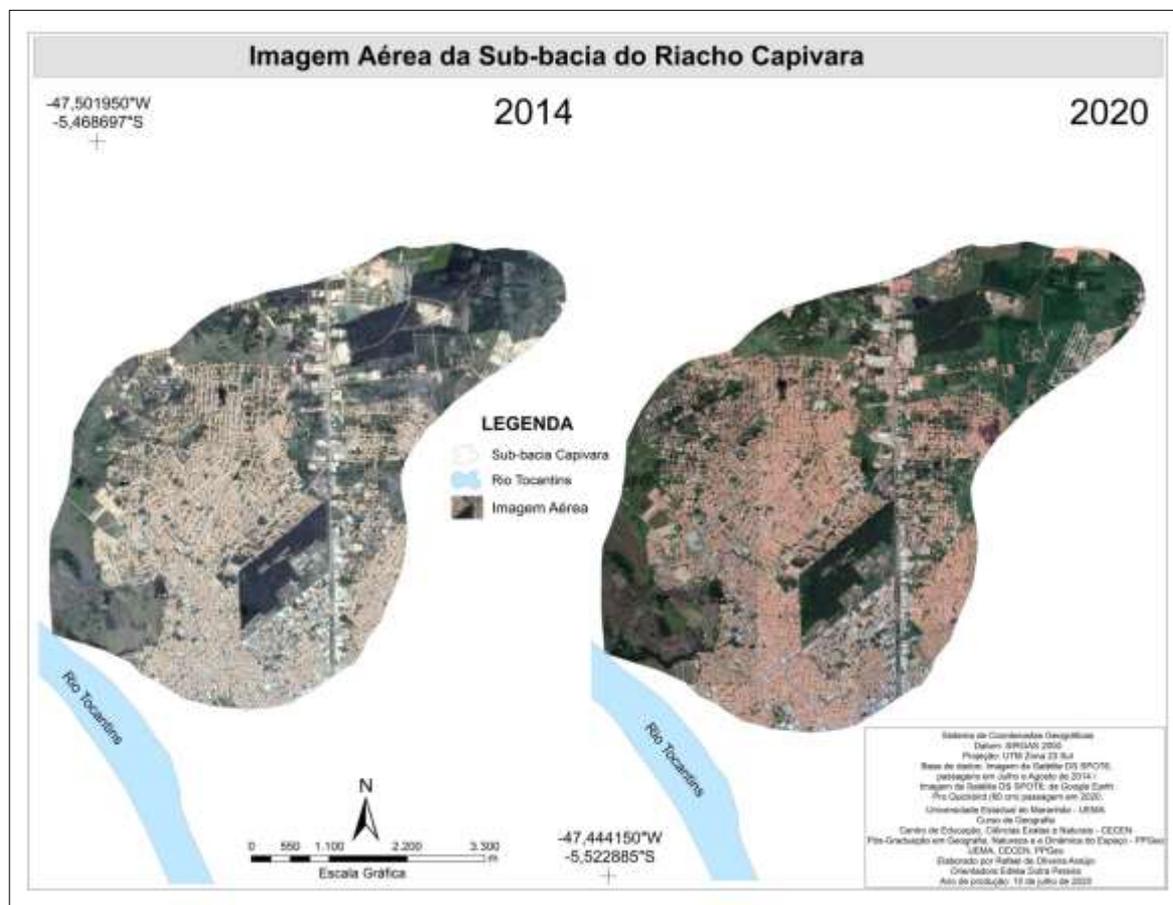
A determinação das classes de uso e ocupação foi realizada com base nas utilizadas pelos IBGE (2013) com adaptações para a área de estudo que permitiram a realização análise espaço temporal na sub-bacia.

De acordo com IBGE (2013), a sub-bacia do riacho Capivara foi dividida em cinco na classe I áreas urbanizadas, classe II pastagens, classe III área florestal, classe IV área campestre e classe V outras áreas protegidas, além da zona da massa d'água do vale do riacho e seus afluentes do uso de 2014 ao atual da terra da sub-bacia do riacho Capivara.

Todos os produtos cartográficos foram elaborados no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) na Projeção Universal Transversa de Mercator – Projeção UTM, Zona 23S (Figura 5).

As imagens de satélite possibilitaram fazer uma análise que foi possível identificar alguns estudos, por meio, de relatórios de iniciação científica realizados para os anos de 2014, 2015 e 2016 com essa temática e *in loco* na área pesquisada. Nesse sentido, a sub-bacia do riacho Capivara traz um aprofundamento de trabalho inovado para área de estudo devido à ausência de trabalhos que não foram possíveis encontrar informações reunidas na escala desejada entre 1:25.000. e/ou 1:50.000, pois é mais eficaz essa escala para a realização deste estudo de sub-bacia, a qual os detalhes têm que ser mais precisos do real. Esse fato levou a aplicação de softwares, aplicativos de geoprocessamento e cartografia digital, na busca de uma integração homogênea dos dados, informações e documentos cartográficos disponíveis para auxiliara a produção das novas bases de *shapefile* da Sub-bacia.

**Figura 05** – Imagens de Satélites do Período de 2014 e 2020 da Área da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz – MA.



Fonte: ARAÚJO, R de Oliveira (2020).

Para o desenvolvimento do estudo encontramos algumas dificuldades, tais como, escassez de dados específicos da área e também informações de cunho estatístico ou cartográficas compilados na escala da Sub-bacia hidrográfica. Sobre os dados socioambientais e as informações físico-naturais são tradicionalmente compilados e disponibilizados nas escalas territoriais como a unidade federativa, as macro/micro regiões administrativas ou municipais da base de dados do IBGE e IMESC do Estado do Maranhão.

A pesquisa deu-se por meio de multiplicidade de escalas cartográficas dos documentos cartográficos utilizados na etapa de caracterização física, as escalas variam entre 1:50.000 a 1:1.000.000, entre o núcleo de base IBGE, IMESC, ANA, INPE, SRTM, entre outros. Essas condições exigiram certas escolhas que viabilizaram a construção da caracterização dos aspectos físicos da Sub-bacia do Riacho Capivara. Assim, foram gerados outros dados em escala diferentes, assim atendendo a particularidade da área estudada.

Portanto, se atesta a essa multiplicidade numérica, que houve a necessidade de se optar por uma escala cartográfica que contemplasse os detalhes de informação necessária ao processo de gestão de sub-bacias hidrográficas, tendo em mente a possibilidade de extrair do SIG, ao longo da caracterização da área do trabalho tais informações específicas da Sub-bacia, como os solos, a geologia, a hidrográfica, o escoamento superficial, além de uso/ocupação entre outros. Diante da escala utilizada, optou-se pela escala de 1:100.000, porém para viabilizar a impressão do maior número de mapas, a editoração foi feita nos formatos A4 (escala em 1:50.000 e 1:1.000.000) para toda base do estudo.

- **Softwares utilizados no mapeamento**

No desenvolvimento do mapeamento da sub-bacia do riacho Capivara foram utilizados os seguintes softwares SIG: *ArcGis* 10.6.1, pacote *ArcGis Desktop*, licença disponível na UEMA/GEOMAP e o Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas *QGIS* na versão 3.10.8, e é um *software* livre com código-fonte aberto, desenvolvido e distribuído pelo sob a licença *General Public License* (GNU), e simplesmente (GPL). Os procedimentos específicos a cada documento cartográfico serão explicitados em seu mapa.

- **Estrutura dos Bancos de Dados**

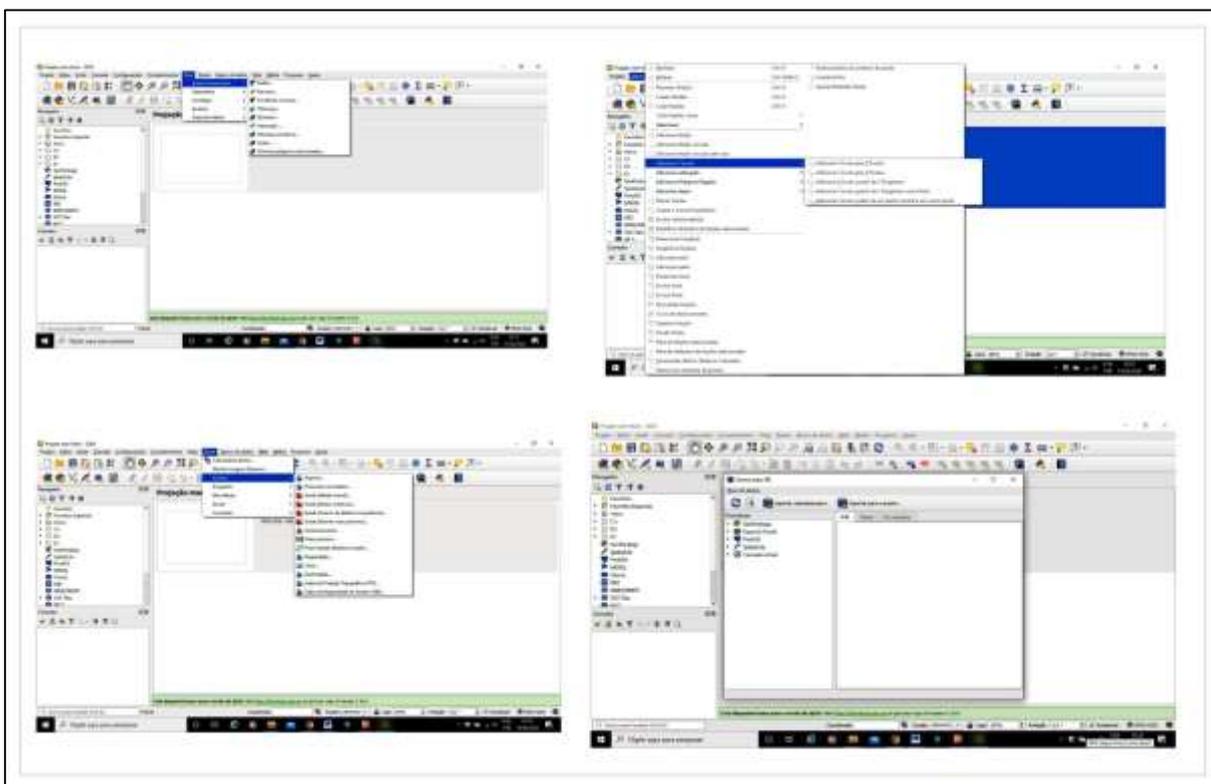
Na plataforma do *QGIS Desktop* 3.10.8 foi criado um banco de dados georreferenciado para a Sub-bacia do Riacho Capivara, que se caracteriza por armazenar dados relacionados à localização das entidades, além dos dados alfa numérico identificado. O banco de dados armazenados de forma a facilitar a organização, a consulta e a atualização das informações, seguindo os procedimentos padrões para montagem e funcionamento de dados ambientais, conforme apresentado por Câmara (1995).

Para a extração dos dados de uso/ocupação da Sub-bacia deu-se a partir desse banco de dados de imagem de satélites assim, foram elaborados produtos obtidos pelo processamento digital da imagem *DS SPOT-6* com passagens em julho e agosto 2014; e *Google Earth Pro Quickbird* (60 cm) passagem em 14 de julho de 2020. Outra base utilizada foi à imagem SRTM v.4, obtida junto ao *CGIAR-CSI*. Disponível em: <http://srtm.csi.cgiar.org>, que serviu de

referência para o mapeamento de alguns temas da sub-bacia no método CN. Salienta-se que estes dados permitiram a geração do mapeamento temático para a sub-bacia.

Nesse sentido, a interação de dados georreferenciado (Figura 6) entre o *QGIS* e o *ArcGIS* pelo formato de arquivo *SHP* (formato que contém além de informação vetorial e/ou raster, também um arquivo banco de dados que se relaciona a cada geometria) foi essencial para que o processamento de outros mapas temáticos pudesse ser criados dados criados no *QGIS* Santos (2012). Com isso, as operações de dados vetoriais e/ou raster foram feitas no *QGIS*, resultando em novo arquivo *shape*, com novos objetos vetoriais e raster. Desses pôde-se realizar operações nos atributos de cada objeto espacial, de forma a categorizá-lo com cruzamento de outros atributos obtidos com o cruzamento dos dados vetoriais e matriciais.

**Figura 06** – Estrutura do Projeto na Plataforma do QGIS.



Fonte: Elaborado por Araújo, R de Oliveira (2020).

Foram produzidos outros mapas temáticos utilizando a plataforma do QGIS 3.10.8, a exemplo desses mapas têm-se: o de geomorfologia, o de planejamento de recursos hídricos, o de cobertura vegetal e uso atual da terra na classificação da imagem no SIG, o de declividade, temperatura superficial, o de hipsométrico, o de curvaturas de vertentes, o de suscetibilidade a movimento de massa, o de área suscetível à inundação, o de uso da água, além de conflitos pelo

uso da terra. Para isso, foram criados e gerados, por meio do *ArcGisMapServer*, os arquivos *shapefile*, quando necessário para as temáticas, todos com *Datum SIRGAS 2000* fuso 23 hemisfério sul de base da Sub-bacia. Com isso, houve alguns dados que foram resultados de processamento de *GPS*, como exemplo, união vetorial, não necessitando a criação dos arquivos vazios (Figura 6).

Verificou-se que esses mapas fisiográficos produzidos da sub-bacia do riacho Capivara serviram para viabilizar a caracterização tanto para identificar fisiografia, a biótica e socioambiental das partes componentes da sub-bacia do riacho Capivara, assim como possibilitar a compreensão da cobertura e uso atual da terra, deste modo, dos problemas ambientais voltados para área de inundação, e uso da água da área pesquisada.

### 3.6 ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA SUB-BACIA DO RIACHO CAPIVARA

A análise morfométrica, objetiva estabelecer as relações entre os parâmetros mensuráveis de uma bacia hidrográfica e os condicionantes do meio físico que, por meio do diagnóstico buscou o entendimento dos processos referentes à dinâmica hidrológica e geomorfológica na sub-bacia, como inundações e enchentes.

Rosa (1996, p. 99) aborda a temática por meio de utilização das informações dos elementos geográficos geologia, solos, hidrográfica, declividade, hipsometria e curva de nível. Essas informações são processadas em sistema de geoprocessamento aliados às possibilidades de análise com softwares de SIG, por meio de georreferenciamento de dados processados em geotecnologia. Neste contexto, Rosa (1996) evidencia trabalhos com técnica e método geográfico no processamento de dados quantitativo e qualitativo da área da sub-bacia.

Para a análise morfométrica foram adotados os seguintes parâmetros: hierarquia fluvial da sub-bacia de acordo com a proposta de Stralher (1952); as análises areal, linear e hipsométrica, conforme Christofolletti (1980), Villela e Mattos, (1975), Teodoro *et al.* (2007), Horton (1945 *Apud* CHRISTOFOLETTI, 1980) e outros.

Para tanto, o perfil longitudinal do canal coletor é a relação entre comprimento dos canais de cada ordem, comprimento do rio principal, extensão do percurso superficial, sendo todos obtidos com o auxílio do SIG *QGIS 3.10.8* da *ESRI*. No (Quadro 3), descreve-se os parâmetros envolvidos nas fórmulas, bem como a metodologia de obtenção como recurso de software no SIG *QGIS 3.10.8*, para auxiliar a realização de outros estudos.

**Quadro 03** – Detalhamento da Forma de Obtenção dos Parâmetros Morfométricos em SIG.

Parâmetros da Sub-bacia	Caracterização da metodologia de obtenção
Área da sub-bacia	28,632 Km <sup>2</sup>
Perímetro da sub-bacia	22,24 km
Comprimento total dos riachos (Capivara, Santa Tereza e José de Alencar)	27,79 km
Extensão do rio principal	16,97 km
Distância vetorial da nascente à foz do rio principal	8,31 km
Ordem da sub-bacia Capivara	3ª Ordem
Número de cursos d'água	16
Soma dos canais da 1ª, 2ª e 3ª ordem analisada na sub-bacia Capivara	52,09 km

Fonte: Elaborado pelo autor da pesquisa (2020).

### 3.7 APLICAÇÃO DO MÉTODO CURVA NÚMERO (CN)

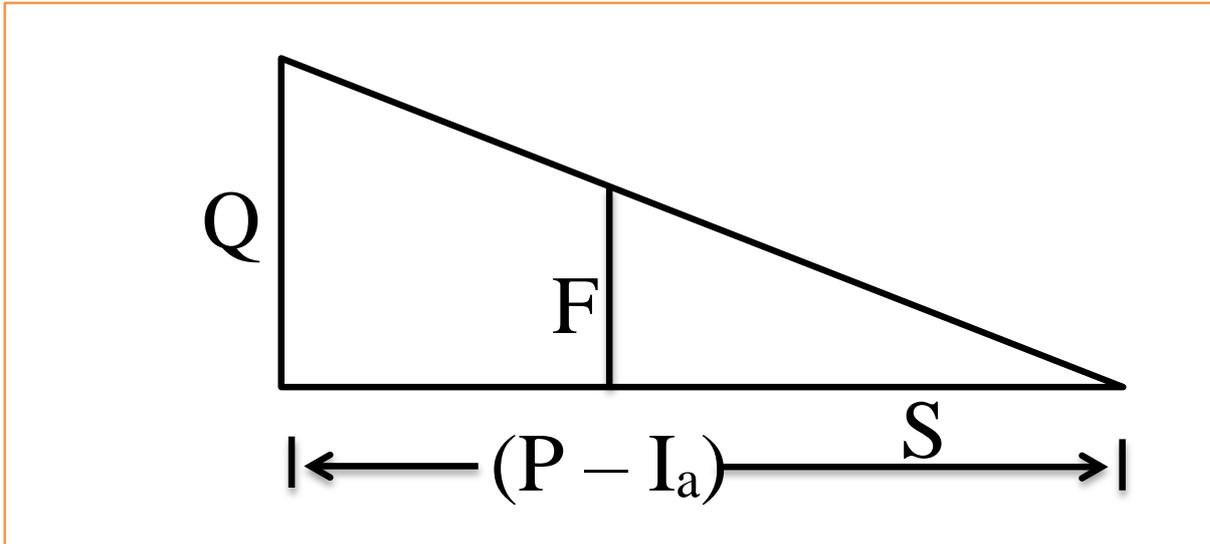
O método Curva Número (CN) desenvolvido pela *Soil Conservation Services* (SCS) dos EUA em 1969, se baseia na equação do equilíbrio das chuvas, em um conhecido intervalo de tempo  $\Delta t$ , que pode ser expresso na **equação 1**:

$$P = I_a + F + Q$$

Onde: **P** = precipitação total; **I<sub>a</sub>** = abstração inicial; **F** = Infiltração cumulativa excluindo **I<sub>a</sub>** e **Q** = escoamento direto na superfície (em unidades de volume ocorrendo no tempo  $\Delta t$ ).

Dois outros conceitos no método são considerados conforme Subramania (2013), (1) O primeiro conceito é que a razão da quantidade real de escoamento direto (Q), em relação ao escoamento potencial máximo (= P - I<sub>a</sub>), é igual à razão entre infiltração real (F) e retenção potencial máxima (ou infiltração), **S**. Este conceito pode ser esquematicamente mostrado na Figura 07 e expresso na **equação 2**.

**Figura 07** – Conceitos de Proporcionalidades.



Fonte: Adaptada pelo autor da pesquisa (2020).

Assim,

$$\frac{Q}{P - Ia} = \frac{F}{S}$$

Para (2) o segundo conceito é que a quantidade de abstração inicial (**Ia**) é uma fração da retenção máxima potencial (**S**), expresso na **equação 3**.

Assim,

$$Ia = \lambda \cdot S$$

Combinando as equações 2 e 3, tem-se a **equação 4**:

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} = \frac{(P - \lambda S)^2}{P + (1 - \lambda)S} = P > \lambda S. ; \text{ Se } Q = 0 \text{ para } P \leq \lambda S$$

Assim,

$$Q = P - I_a$$

Para propósitos práticos, um intervalo de tempo  $\Delta t = 1$  dia é adotado. Assim  $P =$  chuva diária e  $Q =$  escoamento diário da captação.

Ao analisar o comportamento verificado nas bacias experimentais estudadas, foi possível ao *SCS-USDA* evidenciar a **equação 5**:

Assim,

$$I_a = 0,2 S$$

Então substituindo as equações 4 e 5, tem-se:

Assim,

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

- **Número da curva (CN)**

O parâmetro  $S$  representando a retenção máxima potencial depende do complexo solo-vegetação-uso do solo na bacia de captação e também da umidade antecedente do solo na bacia de captação, pouco antes do início do evento das chuvas.

Na aplicação prática, o Serviço de Conservação do Solo (**SCS**) dos **EUA** tem expressado o valor de  $S$  (em mm), e o parâmetro adimensional **CN** (o número da curva) como:

Assim,

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 = 254 \cdot \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

A constante 254 é usado para expressar **S** em mm. O número de curva CN está agora relacionado a S como:

Assim,

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

O alcance de variação de CN é  $100 \geq CN \geq 0$ . Um valor CN de 100 representa uma condição de retenção potencial zero (ou seja, superfície impermeável) e  $CN = 0$  representa uma superfície com retenção infinita com  $S = \infty$ . Portanto, o número de curva CN depende de: (1) Tipo de solo (2) Condição de umidade antecedente e (3) Uso/cobertura da terra.

- **Solos**

As características importantes do solo que influenciam a classificação hidrológica dos solos são a espessura efetiva do solo, o teor médio de argila, características de infiltração e permeabilidade.

Na determinação da **CN**, adota-se a classificação hidrológica do solo com base em quatro classes A, B, C e D principalmente com base na infiltração e outras características.

Os quatro grupos de solo hidrológico conforme definidos pelo *SCS-USDA*, conforme Subramania (2013, tradução nossa) foram:

- **Grupo A:** (*Baixo Potencial de Escoamento*) Solos com altas taxas de infiltração mesmo quando completamente molhados e consistindo principalmente de areias e seixos espessos, bem a excessivamente drenadas . Esses solos têm alta taxa de transmissão de água. [Exemplo:Areia espessa, loess e silte agregado];
- **Grupo B:** (*Potencial de escoamento moderadamente baixo*). Solos com taxas de infiltração moderadas quando completamente molhados e consistindo principalmente de solos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bem drenados a solos bem drenados, com texturas moderadamente finas a moderadamente grossas. Estes solos têm taxa moderada de transmissão de água; [Exemplo: loess raso, loam arenoso, solo loamy vermelho, loam arenoso vermelho, e solo de areia vermelha];

- **Grupo C:** (*Potencial de escoamento moderadamente alto*) Solos com baixas taxas de infiltração quando completamente molhados e consistindo principalmente de solos moderadamente a bem drenados, moderadamente profundos a profundos, com texturas moderadamente finas a moderadamente grossas. Estes solos têm taxa moderada de transmissão de água. [Exemplo: loam argiloso, loam arenoso raso, solos geralmente ricos em argila, solos vermelhos e pretos mistos];
  
- **Grupo D:** (*Alto Potencial de Escoamento*) Solos com taxas de infiltração muito baixas quando completamente molhados e consistindo principalmente de solos de argila com alto potencial de inchaço, solos com um lençol permanente de água, solos com uma panela de argila, ou camada de argila na superfície ou perto da superfície, e solos rasos sobre material quase impermeável. [Exemplo: Argilas plásticas pesadas, certos solos salinos e solos negros profundos].

O método SCS-USDA foi adaptado para as condições brasileiras por diversos autores como Pruski *et al.* (1997), Griebeler *et al.* (2001), Tucci (1995, 1998) e outros.

Tucci (1995) utilizou o modelo SCS-USDA e adaptou o método para os solos de São Paulo para bacias rurais, principalmente quando não se dispõem de dados hidrológicos, podendo ser aplicado a outros estados brasileiros (Quadro 4 e Tabela 4).

A definição do valor de CN é realizada por consulta a valores tabelados, em função do tipo do solo, da umidade antecedente do solo (condições de umidade do solo anteriormente à ocorrência da precipitação que está sendo analisada), e do tipo de atividade/ocupação que é desenvolvida na bacia.

Para aplicação do método SCS-USDA, conforme descrito por PAZ (2004) deve-se escolher o tipo de solo dentre os quatro grupos hidrológicos (Quadro 4). Em seguida, é definida a condição de umidade antecedente do solo, sendo estabelecidas três condições especificadas no (Quadro 5). Destaca-se que, independente de qual condição de umidade do solo que foi escolhida, conforme o (Quadro 5), o próximo passo consiste em escolher o valor do CN para a condição de umidade II, conforme o uso do solo e o tratamento realizado na sua superfície (Tabela 5). No entanto, caso a condição de umidade não seja a II, procede-se à conversão do valor do CN escolhido no passo anterior, utilizando-se da (Tabela 4).

Os grupos hidrológicos de solo caracterizam os tipos de solo e as condições de uso, destacando-se a textura, profundidade, condições de permeabilidade e impermeabilidade e outras.

Para a análise no método Curva Número – (CN), pode-se observar os Quadros (4 e 5) e Tabelas (4, 5 e 6) a seguir:

**Quadro 04** – Grupos hidrológicos de solo e os tipos de solos e as condições de uso, conforme (TUCCI, 1995).

GRUPO	TIPOS DE SOLO E CONDIÇÕES DE USO
A	Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, sem rocha nem camadas argilosas ou mesmo densificadas, até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.
B	Solos arenosos menos profundos que os do grupo A e com menos teor de argila total porém ainda inferior a 15%. Não pode haver pedras nem camadas argilosas até 1,5 m, mas e quase sempre presente camadas mais densificadas que a camada superficial.
C	Solos barretos com teor total de argila de 20 a 30% mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2 m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5 m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade camadas mais densificada que nos solos do grupo B, no entanto ainda longe das condições de impermeabilidade.
D	Solos argilosos (30 a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como os do grupo B mas com a camada argilosa quase impermeável, ou horizontes de seixos rolados.

Fonte: Tucci (1995) adaptado e org. por ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

**Quadro 05** – Condições de umidade antecedente do solo considerados pelo SCS para escolha do CN.

CONDIÇÃO	DESCRIÇÃO
I	Solos secos: as chuvas, nos últimos cinco dias, não ultrapassaram 15 mm.
II	Situação média na época das cheias: as chuvas, nos últimos cinco dias, totalizaram de 15 a 40 mm.
III	Solo úmido (próximo da saturação): as chuvas, nos últimos cinco dias, foram superiores a 40 mm, e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

Fonte: org. por ARAÚJO, R de Oliveira (2020).

**Tabela 04** – Conversão dos Valores de CN Conforme as Condições de Umidade Antecedente do Solo.

CONDIÇÕES DE UMIDADE		
I	II	III
100	100	100
87	95	99
78	90	98
70	85	97
63	80	94
57	75	91
51	70	87
45	65	83
40	60	79
35	55	75
31	50	70
27	45	65
23	40	60
19	35	55
15	30	50

Fonte: org. por ARAÚJO, R de Oliveira (2020).

A (Tabela 5) permite a estimativa do parâmetro CN para áreas rurais (TUCCI, 1995) e a (Tabela 6) a estimativa dos valores de CN para as bacias urbanas e suburbanas (TUCCI, 1998).

**Tabela 05** – Estimativa dos Valores de Curva Número para Áreas Rurais.

USO DO SOLO	SUPERFÍCIES	A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de níveis	67	77	83	87
	Terraceamento em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de níveis	62	74	82	85
	Terraceamento em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de níveis	60	72	81	84
	Terraceamento em nível	57	70	78	89
	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	94
Pastagem em curvas de nível	Boa	39	61	74	80
	Pobre	47	67	81	88
	Normal	25	59	75	83
Campos permanentes	Boa	60	35	70	79
	Normal	30	58	71	78
	Esparsa, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normal	36	60	73	79
Chácaras/estradas de terra	Densa, de alta transpiração	25	55	70	77
	Normal	56	75	86	91
	Ruim	72	82	87	89
	De Superfície Dura	74	84	90	92
Floresta	Muito esparsa, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsa	46	68	78	84
	Densa, alta transpiração	26	52	62	69
	Normal	36	60	70	76

Fonte: Tucci (1998) adaptado e org. por ARAÚJO, R de Oliveira (2020).

**Tabela 06** – Estimativa dos Valores de Curva Número para Bacias Urbanas e Suburbanas.

DESCRIÇÃO DO USO DO SOLO	Tipo de solo				
	A	B	C	D	
Espaços abertos: matos ou gramas cobrem 75% ou mais da área	39	61	74	80	
Matos cobrem 50 a 75% da área	49	69	79	77	
Áreas comerciais (85% impermeáveis)	89	92	94	95	
Distritos industriais (72% impermeáveis)	81	88	91	93	
ÁREAS RESIDÊNCIAS		Tipo de solo			
Tamanho dos lotes	Áreas Impermeáveis				
< 500	65	77	85	90	92
1.000	38	61	75	83	87
1.300	30	57	72	81	86
2.000	25	54	70	80	85
4.000	20	51	68	79	84
Parques e estacionamentos, telhados, viadutos.		98	98	98	98
Arruamentos e estradas: asfaltadas e com drenagem pluvial		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

Fonte: Tucci (1998) adaptado e org. por ARAÚJO, R de Oliveira (2020).

As principais vantagens do método SCS-CN, conforme Ponce e Hawkins (1996 *apud* Subramania 2013), são:

**a** – É um método conceitual simples, previsível e estável para estimativa de lamina de escoamento direto com base na altura das chuvas, suportado por dados empíricos;

**b** – Depende de apenas um parâmetro, CN. Embora a CN possa ter uma faixa teórica de 0-100, na prática é mais provável que esteja na faixa 40-98;

**c** – Possui insumos ambientais facilmente apreendidos e razoavelmente bem documentados;

**d** – É um método bem estabelecido, tendo sido amplamente aceito para uso nos EUA e em muitos outros países. As modificações sugeridas pelo Ministério da Agricultura, Govt. da Índia, em (1972). tornou seu uso eficaz para as condições

indianas. E as desvantagens esta relacionadas a falta de orientação sobre como variar a condição antecedente e os efeitos da escala espacial.

Diversos trabalhos têm sido realizados no Brasil como Silva (1999), Machado (2002), Targa *et al.* (2012), Subramania (2013), Mellke (2015), Santos e Lollo (2016) e INPE (2019), além de trabalho desenvolvido no exterior como Schroeder (1994).

### 3.8 MODELAGEM DA APLICAÇÃO DO MÉTODO (CN) NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO CAPIVARA

Foram utilizadas as seguintes equações conforme o método Curva Número para obtenção da capacidade máxima de armazenamento do solo (S) e do escoamento superficial direto (Q) com referência aos valores de CN previamente tabelados (Tabela 19).

Assim,

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

Sendo:

S = Capacidade máxima de armazenamento do solo (mm);

CN = Curva número.

Assim,

$$Q = \frac{P - 0,2 S}{P + 0,8 S}$$

Sendo:

P = Precipitação total acumulada (mm);

S = Capacidade máxima de armazenamento do solo (mm);

Q = Escoamento Superficial direto (mm).

### 3.9 ELABORAÇÃO E ANÁLISE DE BANCO DE DADOS EM SIG NA SUB-BACIA DO RIACHO CAPIVARA

No sistema de informação geográfica pode-se analisar os aspectos fisiográficos e socioambientais da bacia hidrográfica riacho Capivara, como também, assim as características urbana que moldo os cursos fluviais dos riachos – o **Capivara** (canal principal) e os demais riachos secundários – **Santa Teresa** e **José de Alencar**, além dos afluentes intermitentes e efêmeros da sub-bacia.

- **Área da bacia (A)**

A área da bacia corresponde a toda área drenada pelo sistema fluvial projetada em plano horizontal. A área da sub-bacia é formada pelo curso d'água, formado a partir dos eventos chuvosos que escoam para as áreas mais baixas da superfície terrestre, associada à contribuição da água subterrânea, formando um riacho principal e seus afluentes.

- **Perímetro (P)**

O perímetro é o comprimento total do divisor de água indo da nascente até a foz do riacho. A forma do perímetro é dada pela área plana (projeção horizontal) situada entre os divisores de água fluvial do riacho.

- **Comprimento da bacia (L)**

O comprimento da bacia é a relação da circunferência ao longo do curso que passa pelo ponto médio entre as margens do riacho (CHRISTOFOLETTI, 1981). Fornecida pela distância de dois pontos em uma reta plana que varia da (nascente) até (foz), assim não sofrendo alteração por causa da sua elevação. O comprimento da bacia é de 8,74 km.

- **Densidade de drenagem**

A densidade de drenagem indica a maior ou menor velocidade com que a água escoou da bacia hidrográfica, indicando a eficiência da drenagem. Sendo expressa pela relação entre o somatório de todos os canais da rede e a área total da bacia (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Sendo:

Dd: Densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>);

Lt: Comprimento de todos os canais (km);

A: Área de drenagem (km<sup>2</sup>).

- **Extensão do percurso superficial (Eps)**

Para (CHRISTOFOLETTI, 1980), extensão do percurso superficial é determinada seguindo os procedimentos que correspondem à distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente. A extensão do percurso superficial indica que a água do escoamento percorre uma trajetória até chegar no leito do riacho.

$$Eps = \frac{1}{2} Dd$$

Sendo:

Eps = Extensão do percurso superficial;

Dd = Densidade de drenagem.

- **Densidade Hidrográfica**

A densidade hidrográfica (Dh) relaciona o número de rios ou canais com a área da bacia na (tabela 7). Este índice expressa a grandeza da rede hidrográfica da bacia, indicando a capacidade de gerar novos cursos d'água (CHRISTOFOLETTI, 1980).

$$Dh = \frac{N}{A}$$

Sendo:

Dh: Densidade hidrográfica;

N: Número de canais de primeira ordem, conforme Strahler (1952)

A: área de drenagem (km<sup>2</sup>)

**Tabela 07** – Classificação da Densidade Hidrográfica de Sub-bacias.

Dh (*N <sub>1</sub> /km <sup>2</sup> )	Denominação
< 3	Baixa
3 – 7	Média
7 – 15	Alta
> 15	Muito alta

\*N<sub>1</sub> = Comprimento dos rios de primeira ordem conforme Strahler (1952).

Fonte: Lollo (1995).

- **Índice de sinuosidade (Is)**

Para calcular o índice de sinuosidade é preciso obter da relação entre o comprimento do curso principal (L) e comprimento do talvegue (D<sub>v</sub>), dado pela linha reta entre a nascente e a foz, da distância vetorial entre pontos extremos do canal principal da sub-bacia (HORTON, 1945).

$$Is = \frac{L}{D_v}$$

Sendo:

Is = Índice de sinuosidade;

L = Comprimento do curso principal;

D<sub>v</sub> = Comprimento do talvegue.

O índice de sinuosidade é representado pela ideia da quantidade de curvatura do riacho e este índice é um fator controlador da velocidade de escoamento superficial, indicando

a essa classificação como propícia a impactos ambientais (enchente, alagamento inundações e movimento de massa) do terreno e o nível de curvatura de vertente.

- **Índice de circularidade**

Para o índice de circularidade ( $I_c$ ), utilizou-se classificação proposta por Schumm (1956), que descreve que valores maiores que 0,51 mostram que a bacia tende a ser mais circular, favorecendo os processos de inundações (picos de cheias). Os valores próximos de 1,0 indicam que a bacia tende a ser circular susceptível a inundações ou enchente.

$$I_c = 12,57 \frac{A}{P^2}$$

Sendo:

$I_c$  = Índice de circularidade;

$P$  = Perímetro;

$A$  = Área total da bacia.

em que:  $A$  = Área (km<sup>2</sup>);  $P$  = Perímetro (km).

- **Coefficiente de compacidade ( $K_c$ )**

O coeficiente de compacidade é a relação entre o perímetro da bacia ( $P$  em m ou km) e a circunferência de um círculo de área ( $A$  em m<sup>2</sup> ou km<sup>2</sup>) igual à da bacia e é adimensional Rocha, (1997). Portanto, quanto mais próximo de um círculo uma bacia se assemelhar, maior será a sua capacidade de proporcionar grandes cheias, assim a sub-bacia tem um índice de compacidade de 1,16, apresentando uma forma arredondada.

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Sendo:

$K_c$  = Índice de compacidade;

$P$  = Perímetro;

$A =$  Área total da bacia.

- **Fator de forma (Kf)**

Fator de forma é dado na relação entre a área da bacia ( $A$ ) e o quadrado de seu comprimento axial ( $L$ ) medido ao longo do curso d'água desde a desembocadura até a cabeceira mais distante do divisor de água (HORTON, 1945). Ressalta-se que, quanto maior o valor do resultado, maior a tendência à inundação.

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Sendo:

$Kf =$  Fator de forma;

$A =$  Área da bacia;

$L^2 =$  Comprimento axial.

O fator forma tem três níveis para classificar a tendência à inundação na sub-bacia hidrográfica. Assim, são: (1,00 – 0,75) sujeito a inundação; 0,75 – 0,50: tendência mediana; (0,50) não sujeito a inundação. No entanto, este índice também indica a maior ou menor tendência para enchentes e alagamento na sub-bacia, sendo adimensional ao terreno (LOLLO, 1995).

- **Coefficiente de Manutenção**

O parâmetro coeficiente de manutenção fornece uma estimativa da área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento permanente da área (STRAHLER, 1952).

Assim,

$$Cm = \frac{1}{Dd} \cdot 1000$$

Sendo:

$Cm$  = Coeficiente de manutenção;

$Dd$  = Densidade de drenagem.

- **Relação de Bifurcação (Rb)**

Relação de bifurcação é definida como a relação entre o número de canais de uma dada ordem ( $n$ ) e o número de canais de ordem imediatamente superior ( $n+1$ ) Strahler (1957). Onde  $N_u$  é o número de segmentos de uma determinada ordem e  $N_{u+1}$  é o número de segmentos da ordem imediatamente superior. Onde a formula dar-se na **equação (1)**:

Assim,

$$Rb = \frac{N_u}{N_u + 1} =$$

Sendo:

$Rb$  = Relação de bifurcação;

$N_u$  = Número de segmentos de uma determinada ordem;

$N_{u+1}$  = Número de segmentos da uma ordem imediatamente superior.

Segundo classificação de Horton (1945) e Strahler (1957) a relação bifurcação que tem uma variação, geralmente apresenta entre 2 a 4 em uma velocidade de escoamento superficial e infiltração sobre a dinâmica da ralação hierarquia da bacia hidrográfica. No entanto, notasse que as relações médias de bifurcação, com índices mais elevados correspondem a substratos rochosos com menor infiltração d'água pluvial com maior escoamento superficial nesse ambiente. Todavia, esses índices menores correspondem aos substratos de maior permeabilidade e de menor escoamento superficial na bacia, a variação normal permanece entre

3,0 e 5,0. Assim sendo, devido a padrões de solos não estáveis da área, não podem ser relacionada com o relevo.

- **Comprimentos Médios dos Canais (RLm)**

Comprimentos médios dos canais de cada ordem observa-se que é estruturada e ordenam-se segundo uma série geométrica direta e geomorfológica, a qual primeiro termo é o comprimento médio dos canais de primeira ordem, e a razão é a relação entre os comprimentos médios (STRAHLER, 1957).

Onde a formula dar-se na **equação (2)**:

$$RL_m = \frac{RL_m}{RL_m - 1} =$$

Sendo:

$RL_m$  = Relação entre os comprimentos médios dos canais;

$L_{mu}$  = Comprimento médio dos canais de determinada ordem;

$L_{mu-1}$  = Comprimento médios dos canais de ordem imediatamente inferior.

- **Amplitude altimétrica (H)**

Amplitude altimétrica da sub-bacia é representada pela diferença entre o ponto mais elevado e a desembocadura do canal principal (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Assim,

$$H = H_{max} - H_{min}$$

Sendo:

H = Amplitude altimétrica máxima da sub-bacia;

Hmax = Amplitude topográfica máxima;

Hmin = Amplitude topográfica mínima.

- **Relação de relevo (Rr)**

A relação de relevo segundo Christofolletti (1980, p. 120), considera a razão entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a sua maior extensão, medida paralelamente à principal linha de drenagem. Como existem várias propostas para estabelecer o comprimento da bacia, aconselha-se a utilização do “diâmetro geométrico da bacia”, ou o comprimento do principal curso d’água. Adotou-se para o sistema hidrográfico em análise, seu comprimento ao longo do rio Capivara.

Assim,

$$Rr = \frac{H}{Lp}$$

Sendo:

Rr = Relação de relevo;

H = Amplitude topográfica máxima;

Lp = Comprimento do sistema hidrográfico principal.

- **Índice de rugosidade (Ir)**

Este parâmetro morfométrico foi determinado seguindo os procedimentos de Christofolletti (1980), a qual combina a declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem. Expressa um dos aspectos da análise dimensional do relevo.

Assim,

$$Ir = H \times Dd$$

Sendo:

$I_r$  = Índice de rugosidade;

$H$  = Amplitude altimétrica;

$D_d$  = Densidade de drenagem.

- **Gradiente dos canais ( $G_c$ )**

Gradiente dos canais é dada por meio dos canais fluviais da relação entre a diferença de cotas da nascente até a foz e o comprimento do rio principal. Isso indica a declividade do canal e pode ser expressa em percentual (%).

Assim,

$$G_c = \frac{(h_n - h_f)}{L}$$

Sendo:

$G_c$  = Gradiente dos canais;

$h_n$  = Nascente;

$h_f$  = Foz;

$L$  = Comprimento do canal principal

- **Gradiente do canal principal**

O gradiente do canal principal da Sub-bacia do Riacho Capivara é dado por meio do canal fluvial da relação entre a diferença de cotas da nascente até a foz e o comprimento do rio principal que indica a declividade do canal e pode ser expressa em percentual (%).

Assim,

$$G_p = \frac{(h_n - h_f)}{L}$$

Sendo:

G<sub>c</sub> = Gradiente dos canais;

h<sub>n</sub> = Nascente;

h<sub>f</sub> = Foz;

L = Comprimento do canal principal.

O gradiente do canal principal é uma diferença entre a cota da nascente com a cota da foz, pois a sua finalidade é indicar a declividade dos cursos d'água e reflete o potencial de energia no canal fluvial (HORTON, 1945) para análise da sua calha e dos dejetos e sedimento da descarga do escoamento superficial.

- **Perfil longitudinal de um rio**

Conforme Cunha (1996), o perfil longitudinal de um rio, riacho e córrego da sub-bacia hidrográfica sofre contínuas alterações, devido às variações no fluxo de escoamento e na carga sólida (depósito tecnogênico), o que acarreta algumas irregularidades no seu leito, como as corredeiras e as depressões. Ao longo do canal, o riacho tenta eliminar essas irregularidades, na tentativa de adquirir um perfil longitudinal côncavo e liso, com declividade suficiente para transportar a sua carga.

## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Nesta seção foi estudada a caracterização da área de estudo, com os aspectos de identificar os elementos que compõem sua formação física da sub-bacia do riacho Capivara – da geologia, do relevo. Seu conceito, a identificação dos elementos que compõem sua formação, domínios geomorfológicos da nascente a foz do riacho, o método CN aplicado para analisar os efeitos proporcionam inundação na sub-bacia. A sub-bacia Capivara foi observada nos aspectos da geomorfologia curvatura das vertentes e curvas de nível. O controle da infiltração e aprofundamento dos canais fluviais dos riachos e o nível de controle de inundação na área. Por fim, conheceu-se a tipologia dos solos na sub-bacia hidrográfica do riacho Capivara.

### 4.1 GEOLOGIA

O Município de Imperatriz, onde situa-se a sub-bacia do riacho Capivara está inserido no domínio estrutural da bacia do Parnaíba e da bacia do Tocantins. Trata-se de uma bacia intracratônica formada durante a formação e junção do grande continente Pangeia (BANDEIRA, 2013). Portanto, foram identificadas na sub-bacia do riacho Capivara, as rochas e sedimentos da Formação Codó, Grupo Itapecuru representada pela Formação Cujupe e os Depósitos Aluvionares, segundo Klein e Sousa (2012) e IMESC (2019).

A cartografia geológica disponível na escala de escala 1:750.000 nos trabalhos do Serviço Geológico do Brasil (KLEIN E SOUSA, 2012) e na de escala 1:250.000 do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos, IMESC (2019). Destarte a sub-bacia do riacho Capivara possui uma área total de 28,632 km<sup>2</sup>, e um substrato geológico predominantemente constituído de rochas sedimentares da Formação Codó perfazendo 62,51% da bacia, coberto pelas rochas da Formação Cujupe do Grupo Itapecuru (25,42%), ambas de idade Cretácea sendo recobertas pelos sedimentos Quaternários do Depósito Aluvionar (12,07%) (Tabela 8 e Figura 8).

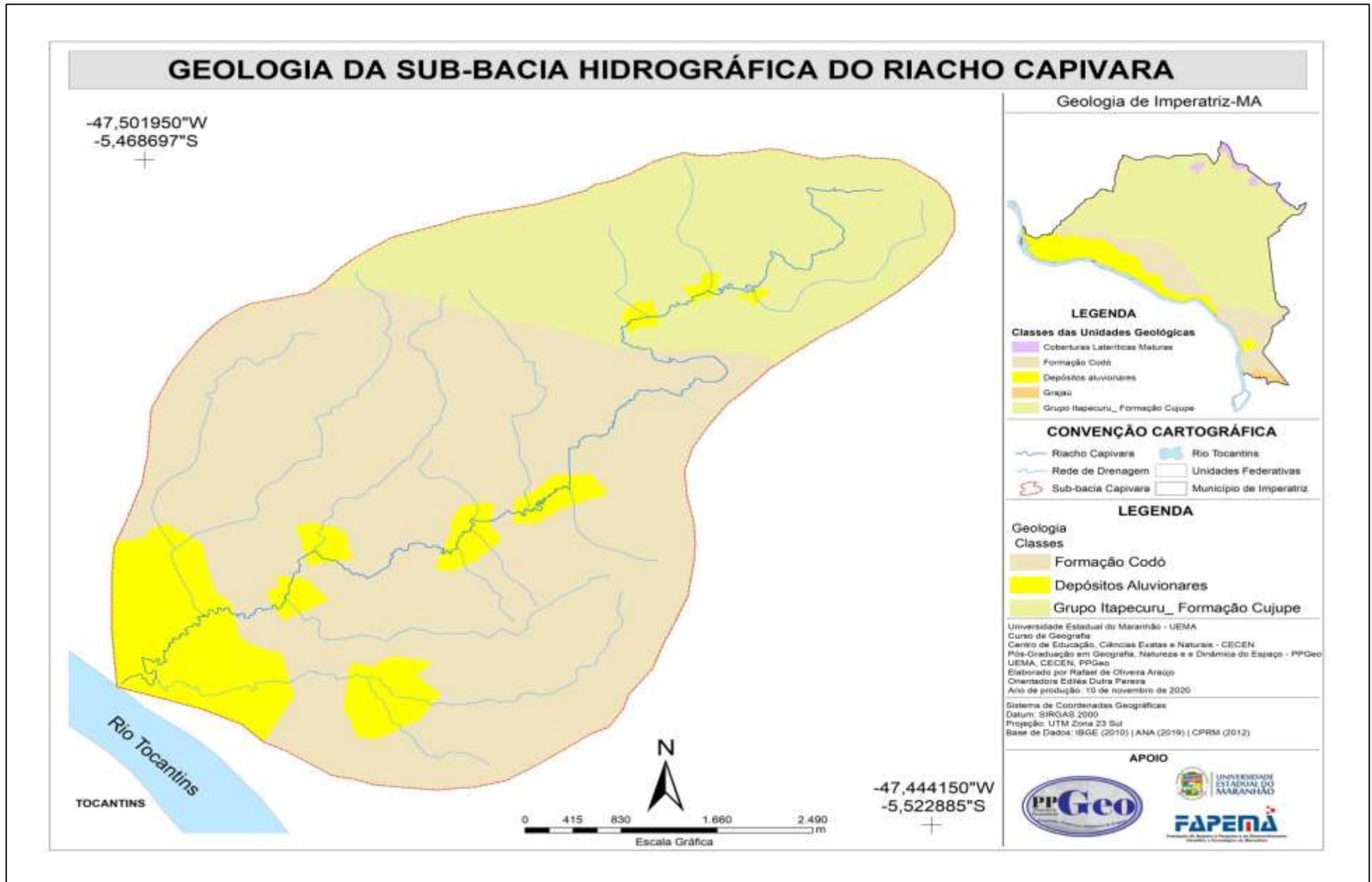
**Tabela 08** – Formação Geológica da sub-bacia do Riacho Capivara e suas respectivas concentrações em áreas – Imperatriz – MA.

<b>Siglas</b>	<b>Formações e Grupo Geológicos</b>	<b>Área em (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área em (%)</b>
Kc	Formação Codó	10,180	35,55
Kit	Grupo Itapecuru- Formação Cujupe	6,596	23,04
Qa	Depósitos Aluvionares	11,856	41,41
<b>Total</b>		<b>28,632</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborada pelo autor da pesquisa (2020).

- **Formação Codó (Kc)**

As rochas da formação Codó constituída por arenito fino e argila, amarelado a esbranquiçado, bem selecionado, com micas biotitas em lâminas pequeníssimas e inclusões escuras carbonosas. Aflora ao longo da margem direita do Rio Tocantins (Foto 1). As rochas apresentam susceptibilidade a erosão e deslizamento, e potenciais para minerais minérios de emprego direto na construção civil como areia, argila e piçarra. Registra-se ocorrências e depósitos de calcário e gipsita nesta formação geológica (IMESC, 2019).



Apresenta idade Aptiano/Albiano com base em estruturas tectônicas e fósseis de peixes (KLEIN; SOUSA, 2012). Conseqüentemente na sub-bacia do riacho Capivara, a formação Codó ocorre no médio e baixo curso (Foto 1), com predominância lateral para a sub-bacia rio Barra Grande e sub-bacia Bacuri até próximo ao bairro Nova Imperatriz. Coelho Neto (1995), os afloramentos nos vales dos riachos José de Alencar, Sem Denominação e Santa Tereza e seus tributários se encontram em áreas planas e suavemente onduladas, intensamente erodidos com interflúvios amplos e leitos das drenagens em forma de U largo, com pontos estreito localizados.

**Foto 01** – Formação Codó na sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz – MA.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

- **Grupo Itapecuru (Kit)**

As rochas do Grupo Itapecuru apresentam maior distribuição espacial no Estado do Maranhão e na sub-bacia do riacho Capivara perfaz 25,42% de sua área. Composta pelas

Formações Cujupe, Alcântara e Unidade Indiferenciada, conforme (ROSSETTI; TRUCKENBRODT, 1997; ROSSETTI, 2001, KLEIN E SOUSA, 2012).

A Formação Cujupe compreende uma sequência de intercalação de arenitos, siltitos e argilitos avermelhado a amarelados, por vezes violáceos, maciços e às vezes mosqueados, com estratificações planas paralelas e cruzados. Essas rochas foram depositadas discordantes sobre as rochas da Formação Codó (IMESC, 2019) e apresenta idade cretácea (Cenomaniano), conforme Rossetti; Truckenbrodt (1997); Rossetti (2001).

Na sub-bacia do Riacho Capivara, registra-se essa formação no alto curso da sub-bacia e ao logo de cortes da rodovia (BR-010), próximo do trecho do Batalhão de Infantaria de Selva (50° BIS), e MA-122 nas imediações dos povoados dos Camaçari e Água Boa do Município de Imperatriz. Os melhores afloramentos encontram-se no bairro Jardim da Oliveira (Foto 2).

**Foto 02** – Formação Cujupe na sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz – MA.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

- **Depósitos Aluvionares (Qa)**

Os depósitos aluvionares são formados por sedimentos de coloração esbranquiçadas e avermelhados, finos a médios, quartzosos, com presença de lateritas centimétricas e milimétricas, angulosa a subangulosas. Originam-se pelas atividades dos rios, compreendendo fácies de canal e barras de canal fluvial (VEIGA JR. 2000; IMESC, 2019). Diante disso, os sedimentos aluviais representam sedimentação recentes de idade Quaternária perfazendo 12,07% da área da sub-bacia do riacho Capivara, sendo registradas suas ocorrências na calha do riacho Capivara e na confluência com o Rio Tocantins (Foto 3).

**Foto 03** – Formação Superficial dos Depósitos Aluvial na Sub-bacia do Riacho Capivara.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

## 4.2 RELEVO

O Município de Imperatriz está inserido na Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins. Esse domínio delimita-se, a norte, com o Planalto Dissecado Gurupi – Grajaú; a leste, com os Baixos Platôs de Barra do Corda e as Chapadas do Alto Rio Itapecuru. Em seu interior, estão inseridas as Chapadas e Mesetas de Estreito – Carolina. Ao Sul e a Oeste, o domínio se estende, em larga escala, pelo estado do Tocantins (BANDEIRA, 2013).

Coelho Neto (1995) seu relevo é constituído por extensas superfícies de aplainamento, por vezes ligeiramente retocadas por uma rede de drenagem de baixa densidade, porém, sem perder seu caráter aplainado. De forma esparsa, ocorrem baixos platôs, ligeiramente ressaltados topograficamente. Destaca-se, ainda, a planície aluvial do rio Tocantins que ocorre de forma descontínua ao longo de seu fundo de vale.

## 4.3 DOMÍNIOS GEOMORFOLÓGICOS

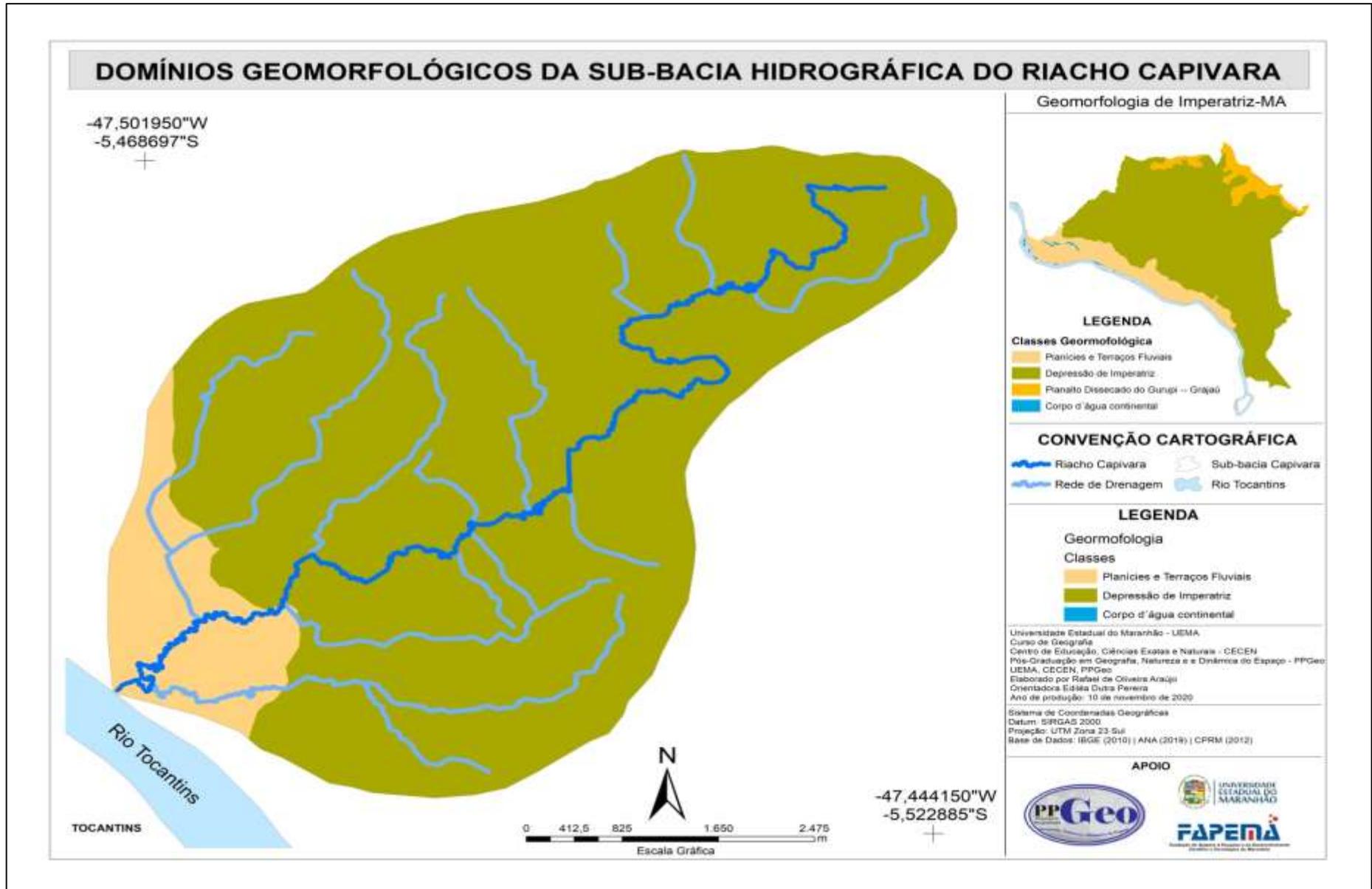
Os domínios geomorfológicos na sub-bacia do riacho Capivara são representados pela Depressão de Imperatriz como mais expressiva da sub-bacia, as Planícies e Terraços Fluviais na parte central da bacia e Corpo d'água continental (depressão do Rio Tocantins), (Tabela 9 e Figura 9).

**Tabela 09** – Os Tipos de Domínios Geomorfológicos da Sub-bacia do Riacho Capivara e suas Áreas – Imperatriz.

<b>Tipo de geomorfologia</b>	<b>Área em (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área em (%)</b>
Depressão de Imperatriz	25,827	90,20
Planícies e Terraços Fluviais	2,805	9,79
Corpo d'água continental	-- --	0,01
<b>Total</b>	<b>28,632</b>	<b>100</b>

Fonte: Mapa da hipsometria, adaptado do EMBRAPA (1999).  
Org. por ARAÚJO, R de Oliveira (2020).

**Figura 09** – Carta da Formação dos Domínios Geomorfológico da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

- **Depressão de Imperatriz**

A Depressão de Imperatriz é constituída por um relevo de extensas superfícies de aplainamento, por vezes, ligeiramente retocadas por uma rede de drenagem de baixa densidade, mas sem perder seu caráter aplainado.

A Depressão de Imperatriz, posicionada entre um planalto e um patamar, corresponde a uma extensão territorial de 90,20% da Bacia do Riacho Capivara. Nessa perspectiva, Santos (2012) denominou essa depressão de Depressão Ortoclinal do Médio Tocantins, que foi formada pela descontinuidade da linha de cuesta, e pelo prolongamento do território plano central do Maranhão, estando presente na unidade de depressão Ortoclinal do Médio Tocantins, recoberto por Cerrados e vegetação Pré-Amazônica (Foto 4).

**Foto 04** – Formação Depressão de Imperatriz na área Coco Grande próximo a BR-10 - Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R de Oliveira (2020).

- **Planícies e Terraços Fluviais**

A sub-bacia apresenta uma extensão do território de 9,79% em um fragmento da região do baixo curso da sub-bacia. Nesta formação, a planície se caracteriza como área de inundação “pântano” em determinados momentos do ano durante o período chuvoso na região.

O depósito de aluvião é um depósito de sedimentos clásticos (areia, cascalho ou lama) carreados para as calhas dos riachos. Observa-se nas margens da rede de drenagem, incluindo as planícies de inundação onde se encontra materiais mais fino (areia, siltes e argilas) extravasado dos canais durante as cheias na região (Foto 5).

**Foto 05** – Vista parcial dos Terraços Fluviais na microbacia do Riacho Santa Tereza com Riacho Capivara situado na Quinta do Jacó, bairro Nova Imperatriz – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R de Oliveira (2020).

- **Corpo d'água continental**

O corpo de água é representado pelo sistema de drenagem do Riacho Capivara que se encontra com a qualidade de água comprometida pela elevada carga de esgoto *in natura* e águas servidas direcionadas para o canal principal e seus afluentes. Mediante o exposto, neste ambiente, observa-se que alguns canais presentes na área urbanizada sofreram terraplanagem nas Áreas de Preservação Permanente-APP dos canais dos riachos e córregos (Foto 6).

**Foto 06** – Domínio Depressão do Rio Tocantins na área o Riacho Capivara Desaguando no Rio Tocantins – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R de Oliveira (2020).

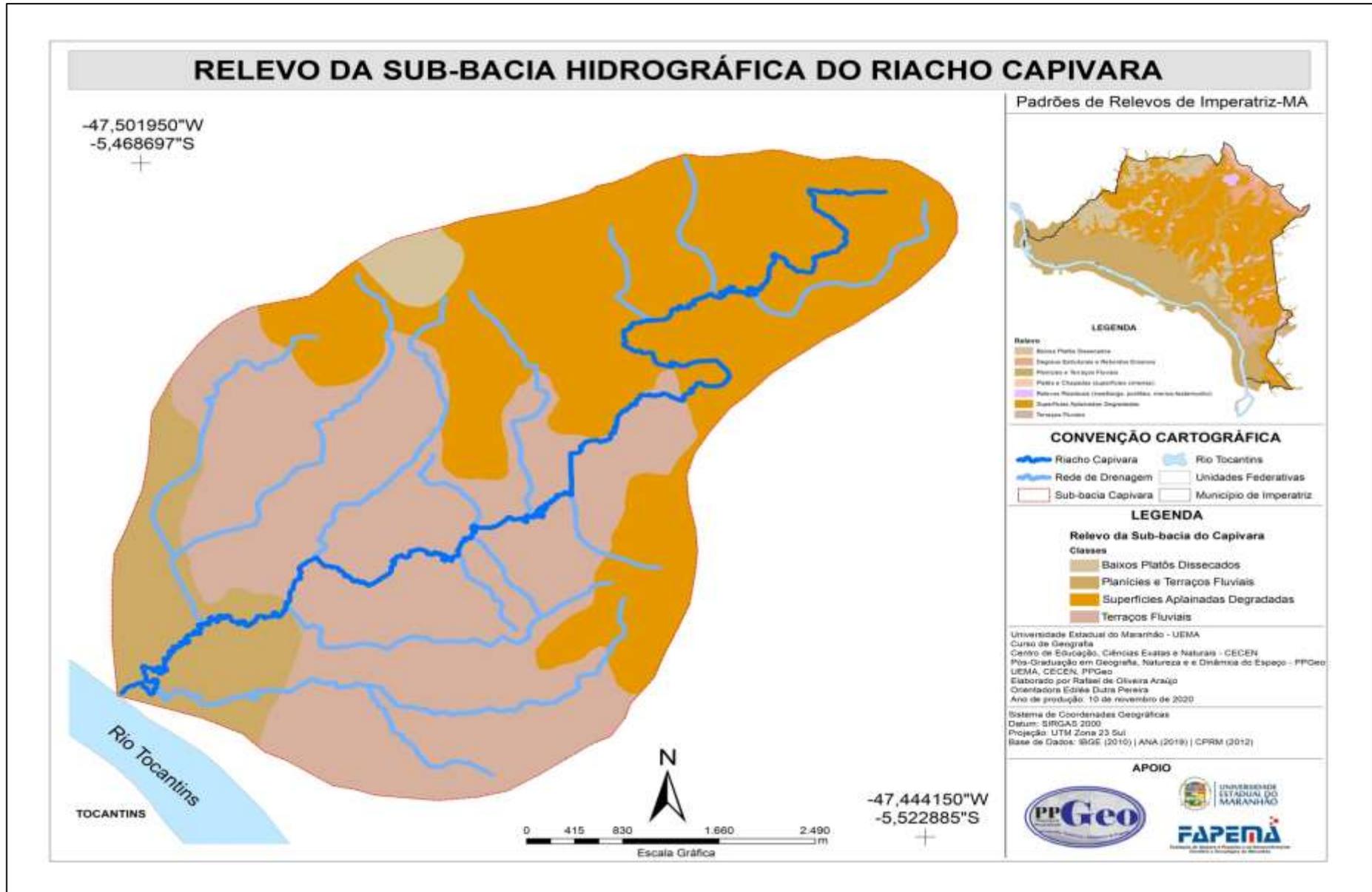
A Sub-bacia do Riacho Capivara apresenta quatro formas de unidade de relevo compostos pelos baixos platôs dissecados sendo pequenos fragmentos da parte noroeste da sub-bacia e na nascente do riacho José de Alencar; as planícies e terraços fluviais no baixo curso do riacho encontrando-se conservadas na foz; as superfícies aplainadas degradadas encontram-se na região nordeste e alto curso e nascente do riacho principal e os terraços fluviais encontrados na parte central da sub-bacia do Riacho Capivara (Tabela 10 e Figura 10).

**Tabela 10** – Classes dos Relevos com suas Respectivas Áreas na Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz.

Siglas	Tipos de Relevos	Área em (Km <sup>2</sup> )	Área em (%)
TF	Terraços Fluviais	13,481	47,08
SAD	Superfícies Aplainadas Degradadas	11,837	41,34
PTF	Planícies e Terraços Fluviais	2,836	9,91
BPD	Baixos Platôs Dissecados	0,478	1,67
<b>Total</b>		<b>28,632</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborada pelo autor da pesquisa (2020).

**Figura 10** – Carta da Formação do Relevo da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

- **Baixos Platôs Dissecados**

Os Baixos Platôs Dissecados apresentam extensão territorial de 1,67 km da sub-bacia com menor representatividade na porção noroeste da bacia e representa um divisor de águas com altitudes variando de 154 m a 180 m e declividade variando de plano a suavemente ondulado ( $2,91^\circ$  a  $12,51^\circ$ ), com predomínio de vertentes côncavas, cujo substratos geológicos são formados pelas rochas sedimentares da Formação Codó e Cajupe (Figuras 11, 12 e 13). Essas unidades de relevo possuem aspecto da superfície plana em pequenos vales ortogonais aos longos percursos das estradas vicinais urbana. Contudo, são nesses terrenos que ocorrem indícios de elevado escoamento superficial e alta suscetibilidade à erosão.

Destaca-se que ao longo da margem do riacho Capivara e seus afluentes encontra-se frequentes sulco, ravina e voçoroca, podendo ser formados por erosão natural e acelerados, considerando as intervenções antrópicas na área (Foto 7).

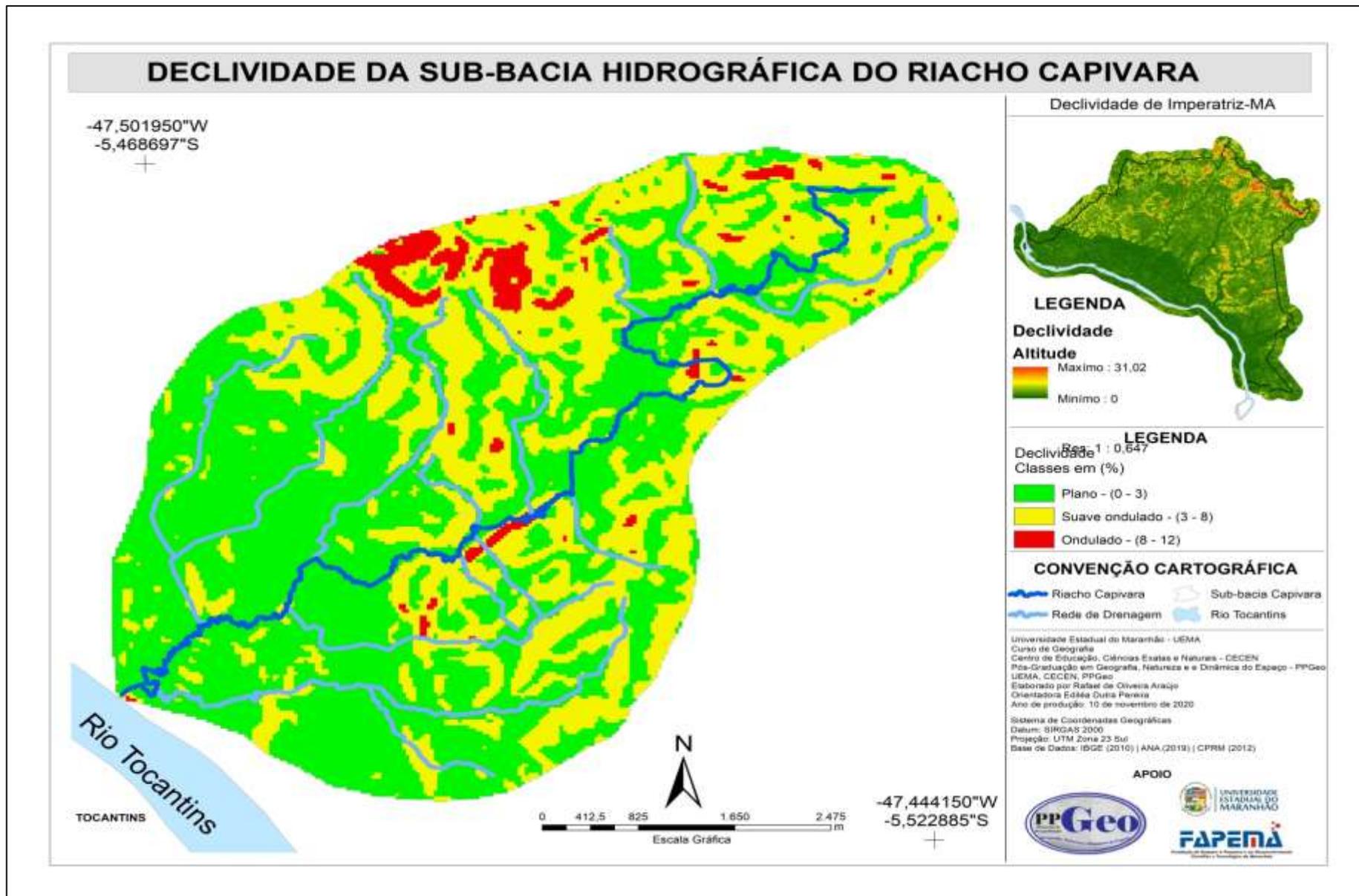
**Foto 07** – Trecho da Rodovia Belém-Brasília a Cidade de Imperatriz – MA, entre o bairro Ipiranga e vila JK da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

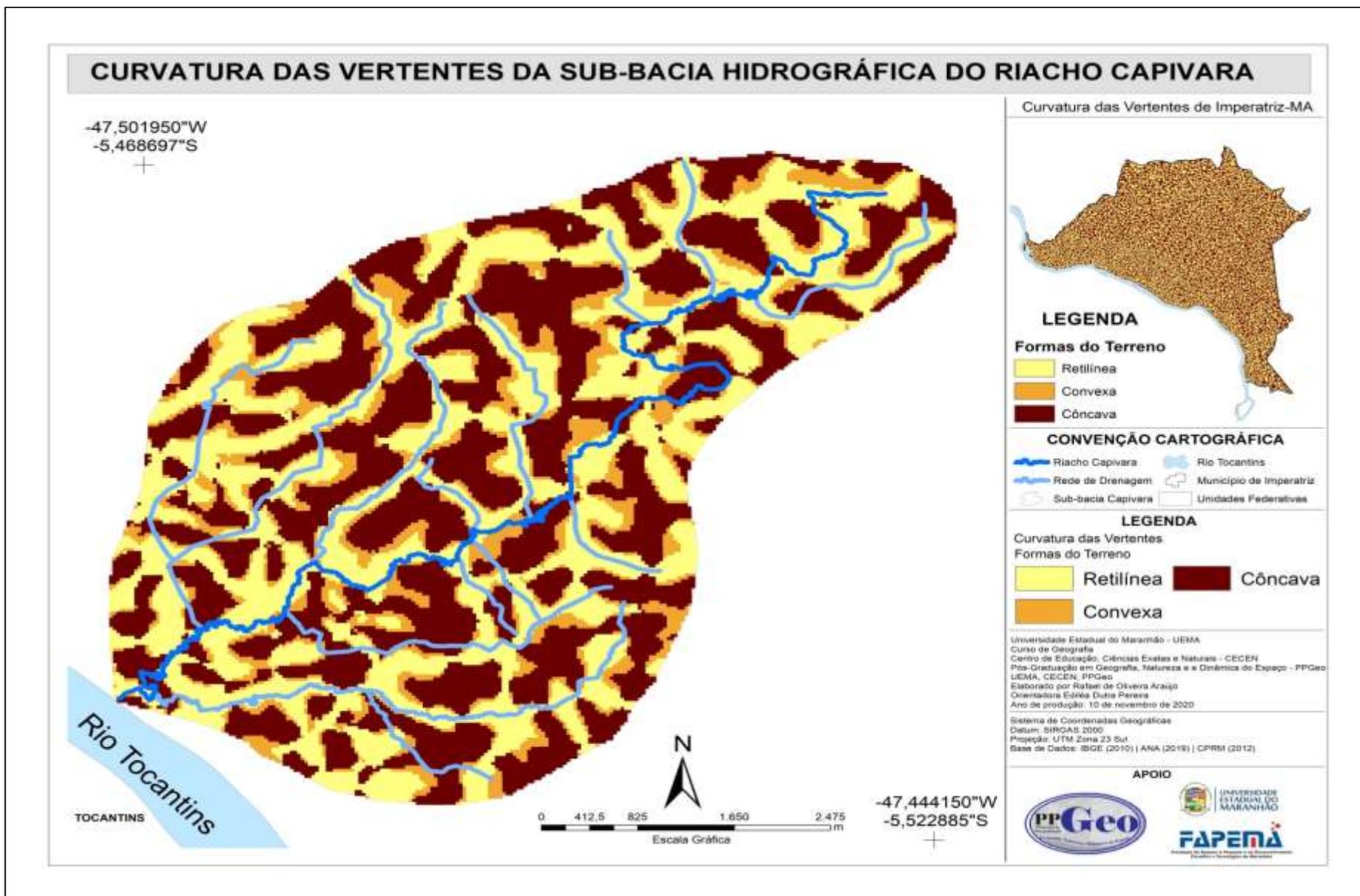


Figura 12 – Carta da Declividade da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

**Figura 13** – Carta da Curvatura das Vertentes da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

- **Planícies e Terraços Fluviais**

A planície e terraços fluviais apresentam extensão territorial de 2,836 km<sup>2</sup> da sub-bacia situada na porção sul da bacia e representa a área predominantemente plana (0° a 2,91°), com altitudes que variam de 120 m a 130 m, predominando as rochas da Formação Codó e os Depósitos Aluviais (figuras 11, 12 e 13). Essas unidades de relevo possuem aspectos da superfície plana em pequenos vales ortogonais aos longos percursos das estradas vicinais urbana. Nesses terrenos predomina os processos de deposição de sedimentos.

Nessa área predomina o “pântano do Capivara” que representa a área inundada do curso inferior do Riacho Capivara, principalmente no período chuvoso que se estende nos meses de novembro a maio na região (Foto 8).

**Foto 08** – Vista parcial do terraço fluvial no baixo curso do Riacho Capivara na Quinta do Jacó - Bairro Nova Imperatriz – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

Destaca-se que os afluentes Santa Tereza e José de Alencar, apresentam seus canais fluviais intensamente canalizados e apresentam alguns trechos com topos retilíneos e convexos.

- **Superfícies Aplainadas Degradadas**

As superfícies aplainadas degradadas apresentam extensão territorial de 11,836 km<sup>2</sup> da área da sub-bacia, situada na porção nordeste da bacia e representa uma área predominantemente suavemente plana (1,81° a 12,15°), com altitudes que variam de 130 m a 180 m, cujas elevações apresentam topos arredondados e intensamente dissecados predominando as rochas da Formação Cujupe do Grupo Itapecuru (Figuras 11, 12 e 13). Destaca-se que os Depósitos Aluviais se encontram nos vales fluviais. Esses relevos são sustentados por uma sequência de intercalações de arenitos, argilito, folhelho, siltito e arenito das Formações Codó e Itapecuru na sub-bacia (Foto 9).

**Foto 09** – Vista da superfície aplainada com a criação de gado no bairro Machado entre as residências no alto curso do Riacho Capivara – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

Nessa unidade se observa algumas áreas com acentuados declives e aclives nas ruas e avenidas, assim desenvolver acelerado escoamento superficial durante eventos chuvosos e ocasionar processo de inundação. Destacam-se as áreas das sub-bacias do Rio Barra Grande e Riacho Bacuri onde se observa nos canais as barras arenosas, barra de pontal argiloso e barra transversal arenoso, indicando elevado aporte de sedimentos.

- **Terraços Fluviais**

Os terraços fluviais apresentam extensão territorial de 13,481 km<sup>2</sup> da área da sub-bacia, situada na porção noroeste e sudeste da bacia. Na (Tabela 11) na porção noroeste destaca-se as superfícies plana (0° a 1,81°) e sudeste suavemente ondulada (2,91° a 12,15°), com altitudes que variam de 120 m a 140 m (figuras 18, 19 e 20), cujas elevações apresentam topos arredondados e intensamente dissecados predominando as rochas da Formação Codó representado pelos arenitos fino e argila, amarelado a esbranquiçado, bem selecionado (Foto 10).

**Tabela 11** – Declividade e Formas de Relevo da Sub-bacia do Riacho Capivara e suas Concentrações – Imperatriz.

Declividade das classes em ( ° )	Área em (Km <sup>2</sup> )	Área em (%)	Formas de Relevo	Suscetibilidade em (%)
0 – 0,95	8,288	28,95	Plano de (várzea)	I – Muito Fraca
0,95 – 1,81	8,321	29,06	Plano de (topo)	II – Fraca
1,81 – 2,91	6,460	22,56	Suave ondulado	III – Média
2,91 – 5,24	0,018	0,06	Ondulado	IV – Forte
5,24 – 12,15	5,545	19,37	Moderadamente ondulado	V – Muito Forte
<b>Total</b>	<b>28,632</b>	<b>100</b>		

Fonte: Mapa da declividade, adaptado do EMBRAPA (1999).  
Org. por ARAÚJO, R de Oliveira (2020).

Destaca-se uma extensa área plana onde aflora sedimentos e rochas intensamente intemperizadas, comumente associadas a depósitos antropogênicos representados por resíduos sólidos diversos. Nessas áreas, os sedimentos fluviais dos terraços são constituídos por camadas maciças e espessas de areias e cascalhos, intercalados na sua composição (SANTOS, 2012).

**Foto 10** – Característica de planície de inundação no Riacho Capivara – Imperatriz.



Fonte: Araújo R de Oliveira (2020).

Ressalta-se nos terraços fluvial principalmente na área da planície de inundação a ocorrência de meandros abandonados e diques marginais isolados. O riacho Capivara tem suas águas elevadas cerca de 2,5 m (dois metros e cinquenta centímetros) acima do nível da planície. No período chuvoso, na região (novembro a maio), se observa alto índice de inundação em pontos estratégicos da sub-bacia como no médio curso do Riacho atingido principalmente as Grandes Regiões da Nova Imperatriz e Santa Rita com índices elevados para as Avenidas Ceara, São João e JK, além das Ruas Padre Cícero, Piauí, Santo Cristo, Parnaíba.

#### **4.3.1 Geomorfologias: curvatura das vertentes**

As características curvatura das vertentes decorrem diversos fatores geomorfológicos identificados na sub-bacia por meio dos aspectos da geologia, solo, relevo e uso da terra, são esses os parâmetros que pode servir de parâmetro indicador para orientar a interpretação da ação homem-natureza para dar-se a direção da rede de drenagem e forma da

sub-bacias hidrográficas. Nesse sentido, com atribuições quanto à identificação de áreas de depósito de sedimentos, ou seja, depósito de materiais e áreas de alta potencial de erodibilidade devido às atividades socioeconômicas desenvolvidas na sub-bacia, ora pelo mercado imobiliário, ora seja, pelo mercado de desenvolvimento econômico da indústria.

Observou-se na sub-bacia do riacho Capivara que apresenta tendência uniforme neste aspecto e pode ser classificada como regular devido sua área que se encontra quase que totalmente plana. Salienta-se que a área não há padrão distinto de predominância de uma classe sobre outra. Observou-se, que a sub-bacia apresentou pontos de área de depressão em seu relevo que foram interpretados por meio das interligações da alta sub-bacia para baixa sub-bacia e é propícia para fenômeno de enchente, inundação alagamento e erosão superficial (movimento de massa) na área da sub-bacia. Contudo, foi confeccionado a partir de dados altimétricos e identificadas três classes distintas da sub-bacia, a saber, conforme indicadas na (Figura 21) do mapa de curvas de níveis.

Há topografia da sub-bacia demonstra-se curvas entrem 120 m a 180 m com uma variação de 60 m da nascente a foz, como aspectos geológicos que se interseção convexa a côncava, com ênfase para área retilínea que corresponde 37,14% apresenta-se, assim tendo uma declividade do relevo plano Ross (1991). A curvatura da forma do terreno condiciona a intensidade e a direção dos fluxos hídricos pluviais da vazão do canal do riacho, que por sua vez, são os principais agentes erosivos nas regiões subtropicais da área de estudos do vale do Rio Tocantins. Com essas informações, encontra-se características das vertentes que decorrem de uma série de fatores geomorfológicos controladores da distribuição dos processos erosivos, principalmente para questão das condições tempo e clima. A Figura 14 expõe a situação dos elementos escoamento superficial da região hidrografia da sub-bacia por meio das altitudes da área mais alta para mais plana.

As classes das unidades da curvatura encontradas na sub-bacia do riacho Capivara e suas respectivas formas do relevo. Por meio deles verifica-se a maior ocorrência das curvaturas convexas nas maiores altitudes acima de 180 metros e as côncavas e retilíneas nas altitudes inferiores a 140 metros. Salienta-se a classe retilínea que atinge cerca de 120 m em seu encosto do baixo curso do Riacho Capivara, na região de Depressão do Vale do Rio Tocantins (Tabela 12).

**Tabela 12** – Curvatura das Vertentes da Sub-bacia do Riacho Capivara e suas Áreas – Imperatriz.

<b>Classes da curvatura</b>	<b>Área em (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área em (%)</b>	<b>Formas de Relevo</b>
Retilínea	10,633	37,14	Plano
Convexa	9,534	33,30	Ondulado
Côncava	8,465	29,56	Suave ondulado
<b>Total</b>	<b>28,632</b>	<b>100</b>	

Fonte: Mapa da curvatura das vertentes, adaptado do EMBRAPA (1999).  
Org. por ARAÚJO, R de Oliveira (2020).

Sendo assim, buscou-se esclarecer melhor o resultado do modelado do relevo na área pesquisada, desenvolveu-se a carta de curvatura geral das vertentes da sub-bacia indo de plano a ondulado com sua forma do terreno, por se trata de um ambiente de característica de planície fluvial. A curvatura é decisiva na aceleração ou desaceleração do fluxo d'água sobre o terreno e, portanto, influencia na erosão do solo. Considerando a curvatura no perfil da sub-bacia, um terreno pode ser côncavo, convexo ou retilíneo (ROSS, 1991).

Deste modo, procuraram-se as formas da superfície dos terrenos da sub-bacia para o côncavo apresentou cerca 29,56% da área, isso é, uma declividade baixa que diminui na direção do canal fluvial, na convexa dar-se em uma área de 33,30%, isso é, aparecem quando a declividade aumenta na direção dos canais fluviais, e por último, são denominados terrenos retilíneos com a maior área de 37,14% da sub-bacia, aqueles em que a declividade não sofre alterações significativas ao longo do perfil do canal do riacho.

#### **4.3.2 Geomorfologias: curvas de nível**

Na área estudada, têm-se alguns parâmetros para analisar as condições climáticas de uma região. Sendo que, quanto maior altitude uma área apresentar, mais ela tem suas condições alteradas em relação às áreas de menor altitude. Pode-se ainda, destacar a altitude do terreno, áreas com tendência ao uso/ocupação do solo com maior ou menor intensidade de ações do homem neste terreno, como atividade urbana, além de diversas outras nesse espaço interurbano.

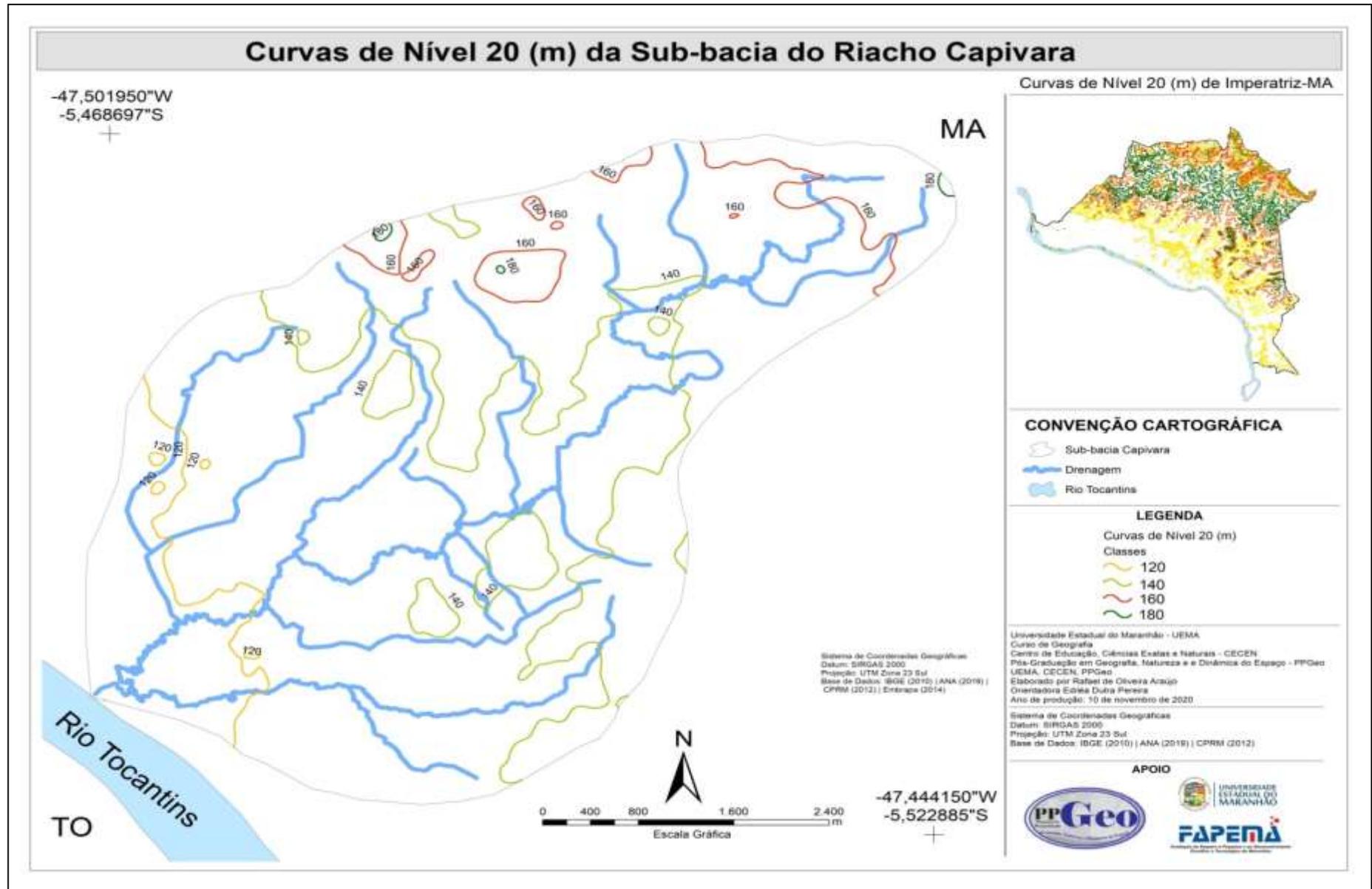
Observa-se ainda, uma mudança no padrão de apresentação dos trechos anômalos, estes que no alto curso são curtos e estão em maior número, entretanto, no médio curso, se apresentam de forma alargada, e no baixo curso de forma curta na variação do canal principal

estando em menor número da sub-bacia. Neste sentido, o perfil longitudinal do canal principal com 16,97 km da foz a nascente.

Assim sendo, verificou-se as variações de curvas de nível do terreno, onde se localiza a Sub-bacia. Em meio às características da morfologia por meio dos aspectos físicos encontrado na bacia pode-se identificar o relevo como praticamente plano do relevo da sub-bacia. Destarte, vale destacar que no estudo da morfometria de sub-bacias, as características de declividade, altitude e amplitude altimétrica são responsáveis por classificar as curvas de nível 20m, do espaço da sub-bacia. As curvas de níveis descrevem a altimetria da Sub-bacia do Riacho Capivara, aonde o homem pode realizar suas atividades econômicas.

Dessa maneira, a sub-bacia do riacho Capivara apresenta tendência uniforme neste aspecto e pode ser classificada como regular. Observa-se que não há padrão distinto de predominância de uma classe sobre outras. Consequentemente, da alta sub-bacia para baixa sub-bacia é propício para fenômeno de enchente, inundação alagamento e movimento de massa na área da Sub-bacia. Apesar disso, foi confeccionado a partir de dados altimétricos e identificadas três classes distintas na sub-bacia, a saber, conforme indicadas na (Figura 14) do mapa de curvas de nível.

**Figura 14** – Carta das curvas de nível 20 metros da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

#### 4.4 SOLOS

De acordo com EMBRAPA (1999), sobre a constituição dos solos podem ser compreendidos como um conjunto de corpos naturais físico, químico e biológico da terra, compostos por partes sólidas, líquidas e gasosas, formados por materiais minerais e orgânicos a milhares de anos. Ocupam a maior parte do manto superficial da terra em extensões continentais.

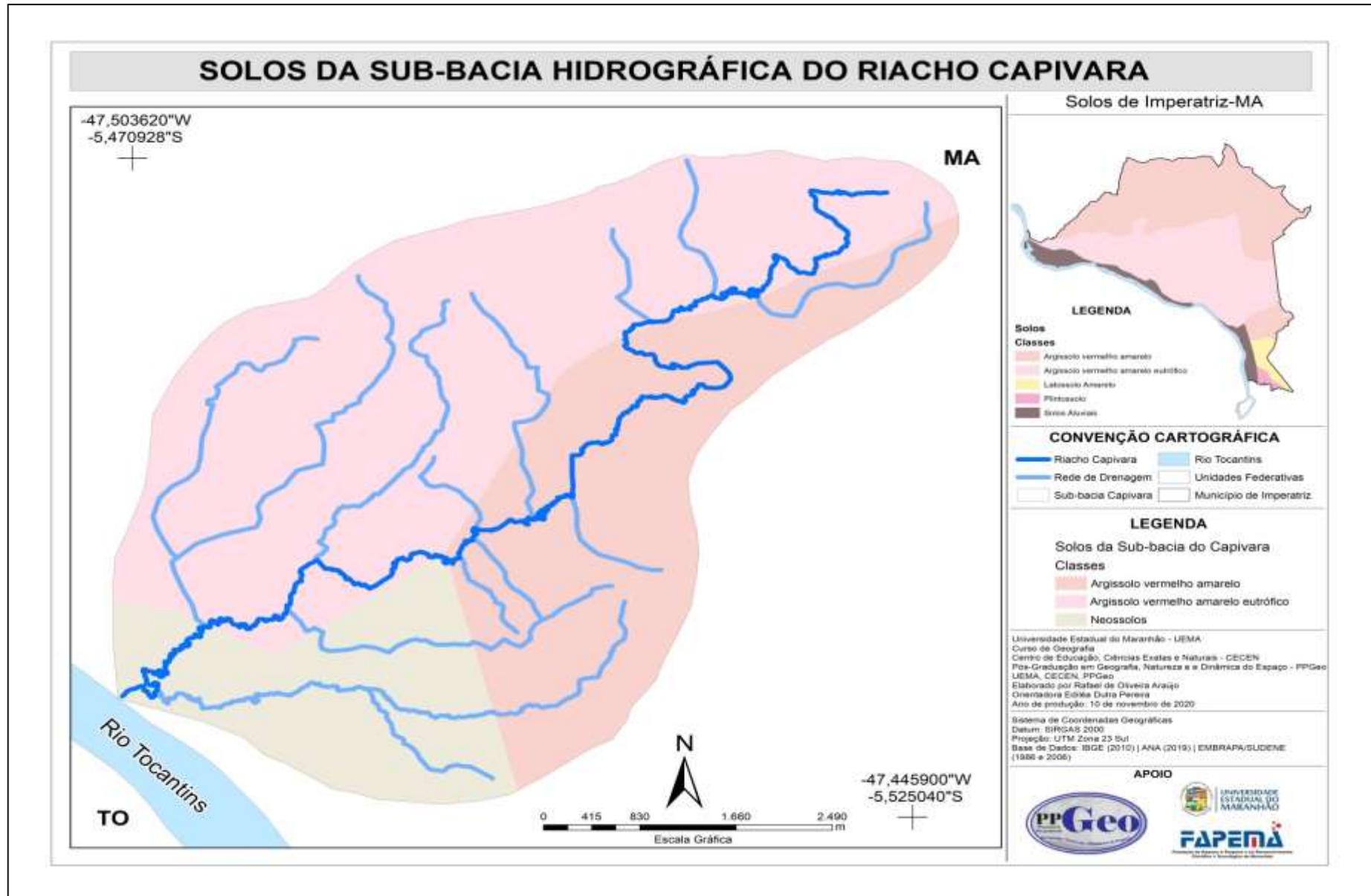
A EMBRAPA (1999) realizou levantamento exploratório do solo no Estado do Maranhão em escala regional 1:1.000.000 e o IMESC em 2019 em uma escala de 1:250.000. De tal modo que, os solos identificados da sub-bacia do Riacho Capivara conforme o IMESC (2019) possuem três classes de solos como: – argissolo vermelho-amarelos, – argissolo vermelho-amarelos eutrófico, presente em 15,21% do território da sub-bacia, constitui a classe de solo das mais extensas no Município de Imperatriz, ao lado dos solos Aluviais (Tabela 13, Figura 15).

**Tabela 13** – Classificação dos Tipos dos Solos da Sub-bacia do Riacho Capivara-Imperatriz.

Siglas	Solos	Área em (Km <sup>2</sup> )	Área em (%)
PVAE	Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico	15,21	53,14
PVA	Argissolo vermelho amarelo	8,47	29,59
A	Solos Aluviais	4,94	17,27
<b>Total</b>		<b>28,62</b>	<b>100</b>

Fonte: Org. pelo autor da pesquisa (2020).

**Figura 15** – Carta da formação dos Solos da sub-bacia hidrográfica do Riacho Capivara – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

- **Argissolo vermelho amarelo (PVA)**

Nessa formação, compreende-se como solos imaturos que apresenta um estágio de desenvolvimento a partir das rochas das formações Codó e Grupo Itapecuru com ocorrência na porção oriental da sub-bacia ocupando 8,473 Km<sup>2</sup> da sub-bacia.

O argissolo vermelho-amarelo compreende solos minerais, profundos, não hidromórficos, com horizonte A, seguidos de horizonte B textural não eutrófico, sendo as primeiras camadas do solo utilizadas nas atividades agrícolas. Apesar disso, é comum em sua área a presença de eutrófico em campos abertos, ocupando volumes inferiores a 25% e distribuída por todo o perfil, bem como cascalhos e calhaus nos horizontes superficiais (primeiros 30 cm) ora nos horizontes subsuperficiais ou ainda distribuídos por todo o perfil seu registro que vai dos horizontes A ao C do solo (SANTOS, 2012).

Observou-se a exposição desse solo no médio curso da sub-bacia Capivara no bairro Cinco Irmãos em uma trincheira de profundidade 2,30 m onde se encontra uma nascente (Foto 11).

**Foto 11** – Trincheira do perfil do solo Argissolo Vermelho-Amarelo, no médio sub-bacia do Riacho Capivara, Bairro Cinco Irmãos, atrás do batalhão 50º BIS – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R de Oliveira (2020).

Este solo encontra-se em diversas áreas do Riacho Capivara como nas confluências dos riachos José de Alencar, Santa Tereza e Capivara, até proximidade com o Rio Tocantins, no curso superior do Riacho Capivara e no extremo Sul da área pesquisada.

- **Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico (PVAE)**

O argissolo vermelho-amarelo eutrófico compreende solos minerais profundos não hidromórficos, com horizonte A, seguidos de horizonte B textural eutrófico, sendo as primeiras camadas do solo utilizadas nas atividades agrícolas, semelhante ao argissolo vermelho-amarelo. Nesse solo é perceptível sua característica abrupções planossólicas. Destaca-se que as composições dos seus horizontes dificultam a infiltração de água no solo e o torna suscetível à erosão dinamizando a descarga de sedimentos em direção ao vale do rio. Entretanto, nesses solos registram-se uma drenagem imperfeita e restrição da profundidade efetiva neste solo (IMESC, 2019).

Este solo ocupa uma área de 15,214 km<sup>2</sup> da sub-bacia, são provenientes da decomposição das formações Codó e Grupo Itapecuru rico em argilas (foto 12). As rochas dessas formações geológicas são utilizadas na fabricação de tijolos, telhas e pote de barro e outros produtos domésticos, tendo como matéria prima uma argila de excelente qualidade.

**Foto 12** – Vista parcial do perfil do solo argissolo vermelho-amarelo-eutrófico, no bairro da Zenira no Alto curso do Riacho Capivara – Área de Mineração – Imperatriz.



Fonte: Araújo, R de Oliveira (2020).

Esse solo tem ocorrência na porção ocidental da sub-bacia do riacho Capivara na confluência do riacho José de Alencar e seus afluentes, no curso superior do riacho Capivara e

no extremo noroeste da área pesquisada. Destaca-se sua utilização para agricultura familiar e pecuária de pequeno porte na área, tendo suas áreas mais preservadas no extremo noroeste (Quinta do Jacó) e na margem esquerda do riacho Capivara e direita do Rio Tocantins.

- **Solos Aluviais (A)**

A formação do solo aluvial (foto 13) tem característica hidromórfico encontra-se em ambientes adjacentes aos riachos e lagos apresentando elevada umidade e boa fertilidade, ressalta-se que o índice de umidade indica que, quanto mais úmidos, menos fertilidade. Esses solos são ricos em material orgânica e inorgânica oriundo da decomposição das rochas por ações dos processos de intemperismo e erosão por meio do tempo geológico.

**Foto 13** – Trincheira do perfil do solo aluvial no bairro da Nova Imperatriz no baixo curso do Riacho Capivara – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R de Oliveira (2020).

Destaca-se que as áreas dos solos aluviais e as áreas de APP estão sendo ocupados por diversas atividades antrópicas, como construções de residências, edifícios e galeria de esgoto nas margens esquerda do riacho Capivara próximo ao Rio Tocantins (Foto 13).

Os sedimentos são transportados pelo escoamento superficial, para a área de depressão são compostos de arenito, argilito, folhelho, siltito, arenito que indica drenagem imperfeita e ocupada uma área de 4,945 Km<sup>2</sup>. Os solos aluviais são encontrados na parte inferior da sub-bacia e na margem direita do Rio Tocantins.

## 5 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA SUB-BACIA DO RIACHO CAPIVARA

Nesta seção abordam-se os aspectos fisiográficos que foram identificados na área da sub-bacia hidrográfica do Riacho Capivara, localizados na região sudoeste Maranhense. Salienta-se que nessa região pode ser observada uma alta influência biológica, física e química do bioma Floresta Amazônica e também, alguns pontos de fragmentos do bioma Cerrado. A sub-bacia está localizada geograficamente em área de depressão com falha geológica, sendo sua posição na região noroeste do Município de Imperatriz e está entre duas Serras, a do Arapari no Estado do Maranhão no Município de (Senador La Rocque) e do Estrondo do Estado do Tocantins no Município de Axixá do Tocantins.

### 5.1 CLIMA

A cidade de Imperatriz está situada na área da Amazona Legal, se insere na área de transição climática do semiárido nordestino e tropical úmido amazônico, sendo considerado como um clima tropical chuvoso, com estação seca de inverno, tipo Aw, conforme a classificação de Köppen (STRAHLER, 1957).

O monitoramento pluviométrico da sub-bacia do riacho Capivara foi realizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia - (INMET), por meio das Estações: IMPERATRIZ (82564) e/ou a (A225) com registros de chuva acumulada em 24 horas. Foi analisada a dinâmica pluviométrica anual referente aos anos de 2017 até 2020, bem como três Normais Climatológicas para Sub-bacia.

A distribuição espacial das chuvas ao longo do Bioma Amazônico no Estado do Maranhão é condicionada pela atuação de diferentes sistemas produtores de tempo, que atuam sobre áreas específicas e em meses diferentes do ano. Os dois principais sistemas produtores de chuvas são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que atua predominantemente na parte Norte da região e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), mais efetiva na parte Sul. A atuação desses sistemas fica evidente, observando-se a distribuição espacial das chuvas ao longo da área delimitada do bioma (CATUNDA; DIAS, 2019).

A sub-bacia do riacho Capivara está localizada no Município de Imperatriz, onde ocorrem característica com forte influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul que, associada à sua posição geográfica – visivelmente em uma área de depressão plana e

compreendendo como área de transição entre os climas (amazônico superúmido) ao norte e (semiárido) nordestino, duas estações bem definidas, período chuvoso durante praticamente seis meses (dezembro a maio) e mais seis meses seco que geralmente vai de junho a novembro, entretanto, podendo ocorrer precipitação durante esses meses considerado como período de estiagem, dependendo dos fatores climatológicos.

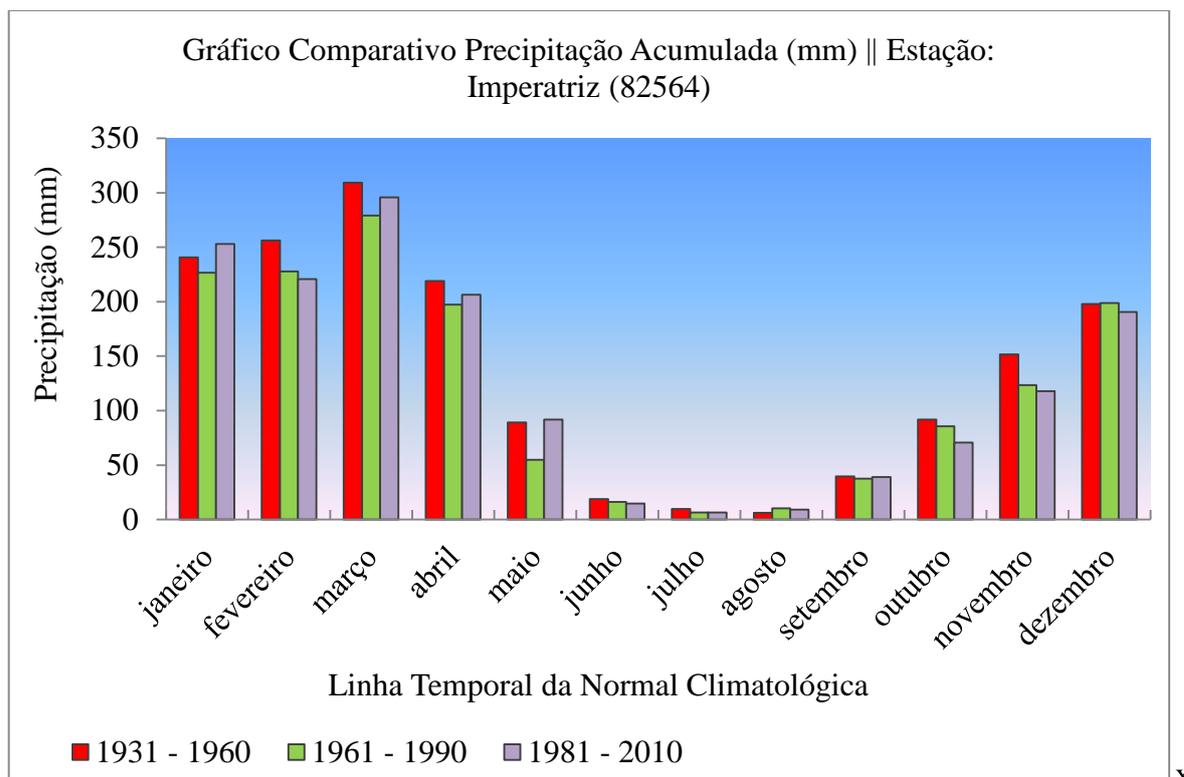
Conforme o INMET (2020), sobre a Normal Climatológica referente ao período de 1981 – 2010, para o Município de Imperatriz foi identificado uma temperatura média anual de 28,8° C, variação de 20,4°C mínima a 35,4° C máxima. O índice pluviométrico médio anual de 1.516,3 mm, variando de 6,5 mm a 295,8 mm anuais. A umidade relativa que oscila entre 57,7% a 81,8%, com média de 68,8%. Para pressão atmosférica foram registrados uma média de pressão atmosférica anual de 1010,1 mb, variando de 1.009,1 mb em novembro a maior 1.012,3 mb para julho. A evaporação média 150,2 mm na área oscilando entre 80,8 mm a 195,8 mm.

Para o Município de Imperatriz observou-se a precipitação dentro da Sub-bacia do Riacho Capivara, podendo-se fazer a análise das três Normais Climatológicas para os riachos da Sub-bacia Capivara em Imperatriz sendo (1931 - 1960), (1961 - 1990) e (1981 - 2010). Observa-se que o período chuvoso se inicia em dezembro com valores superiores a 150 mm até maio, destaca-se o mês de março com os maiores índices pluviométricos na região com índices superiores a 250 mm.

O período de estiagem na região se caracteriza nos meses de junho a novembro, destacando-se os meses de junho, julho e agosto com estiagem mais severa com índices pluviométricos inferiores a 50 mm. Os meses de setembro a novembro começa ocorrer eventos chuvosos inferiores esparsos 150 mm (Gráfico 01).

Destaca-se que para sub-bacia riacho Capivara, os meses que variam de dezembro a maio são mais susceptíveis a inundação na área com intensidade aos problemas socioambientais, considerando o acumulado de umidade no solo.

**Gráfico 01** – As Três Normais Climatológica para a Área da Sub-bacia do Riacho Capivara.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2020). Org. pelo autor da pesquisa (2020).

Por meio do registro no (Gráfico 1) da normal climatológica de (1931 – 1960) pode-se analisar o comparativo das chuvas e secas para o Município de Imperatriz e assim, também, pode-se observar a dinâmica da água da Sub-bacia do Riacho Capivara, como seus respectivos canais fluviais de 2ª Ordem sendo estes, os riachos Santa Tereza localizado ao Norte e José de Alencar no Sul da sub-bacia melhores índices d'água e biodiversidade nos seus canais fluviais em comparação a normal de (1981 – 2010).

Nota-se que, por meio do (Gráfico 01), que o índice de precipitação acima de 117,8 mm deu-se entre novembro a abril. É possível observar também, que para os meses de maio e outubro as precipitações de 70,8 mm a 91,9 mm. Porém, os menores índices deram-se nos meses de junho a setembro, com registros de precipitações que podem ir de 6,3 mm a 39,6 mm, com destaque para o mês de julho, com a maior escassez demonstrado pelo baixo índice de precipitação sendo 6,4 mm a 9,7 mm na área (DIAS, 2015).

Na sub-bacia estudada houve o cálculo do registro de chuva no recorte temporal de 1999 a 2020, com acumulação da precipitação em 24 horas (Quadro 06), além do monitoramento da seca para a área de estudo (Quadro 7). O (Quadro 6) apresenta que houve uma oscilação para mais em 2001, ano em que ocorreu uma precipitação 198,0 mm, fazendo o nível subir para 2,10 m, na região do grande Santa Rita (bairro Santa Inês) numa área de 988,9

m<sup>2</sup>. Enquanto em 2020 apresentou uma precipitação 198,8 mm tendo o nível do riacho subido 1,05 m na região do Grande Centro (bairro Juçara) com uma área de 577,30 m<sup>2</sup>.

**Quadro 06** - Maiores acumulados de precipitação em 24 horas registrados em Imperatriz por meses (INMET) de 1999 a 2020.

Ano	Mês/dia (chuvoso)	Precipitação em (mm)*	Nível d'água metros (m)**	Bairros	Área em (m <sup>2</sup> )
1999	março / 22	154,0	1,30	Parque Amazonas	811,700
2000	dezembro / 11	183,0	1,20	Conjunto Planalto I	237,300
2001	dezembro / 31	198,0	2,10	Santa Inês	988,900
2002	dezembro / 23	107,0	0,80	Pedral	506,900
2003	fevereiro / 17	98,0	0,45	Santa Rita	1.115,000
2004	março / 15	148,0	0,98	Vila Cafeteria	352,600
2005	fevereiro / 17	71,0	0,78	Vila Ipiranga	736,400
2006	abril / 09	90,5	1,26	Cinco Irmãos	280,000
2007	janeiro / 12	81,0	1,28	Nova Imperatriz	1.690,000
2008	março / 28	89,0	1,12	Vila JK	212,900
2009	fevereiro / 23	100,6	0,31	Bom Sucesso	645,500
2010	fevereiro / 22	76,60	0,50	Boca da Mata	522,200
2011	março / 13	147,6	1,02	Vila Santa Luzia	270,400
2012	dezembro / 08	139,0	1,43	Jardim Tropical	1.063,000
2013	dezembro / 11	120,0	1,39	Asa Norte	282,500
2014	novembro / 13	80,1	0,17	50° BIS	1.323,000
2015	março / 20	70,7	0,21	Coco Grande	616.139,490
2016	dezembro / 09	114,8	1,20	Maranhão Novo	419,600
2017	janeiro / 11	86,0	0,89	Vila Lobão	988,000
2018	fevereiro / 02	73,2	0,78	Brasil Novo	210,600
2019	abril / 01	91,6	1,34	Centro	2.155,000
2020	março / 12	198,8	1,05	Juçara	577,300

Fonte: \*INMET, (2020) e \*\*Moradores da área da Sub-bacia (2020).  
Org. pelo autor da pesquisa (2020).

Na Sub-bacia obteve-se registro de escassez entre os anos de 1999 a 2020, conforme o (Quadro 06) com dados do monitoramento da estação: IMPERATRIZ (82564) meteorológica do Município de Imperatriz. Com esses dados foi possível o acompanhamento da evolução do sistema hídrico do riacho no período de seca. No entanto, para o riacho Capivara foi identificado uma baixa do volume d'água principalmente entres os anos de (2000, 2001, 2002 e 2020) referente aos meses de junho a setembro dos mesmos. Porém, para Sub-bacia nota-se que os respectivos anos do (Quadro 07) observa-se uma precipitação relativa que oscila de 0,1 mm a 7,6 mm indo de 1999 e 2003 até 2019, com uma escassez fraca para sub-bacia (DIAS, 2015).

O quadro chama atenção para os anos de 2006, 2015 e 2017 com registros de menores índices de precipitações, quando obteve somente 0,1 mm de chuvas para área e subia do nível do riacho Capivara em 0,10 cm, na região da chamada grande Cafeteria, atingindo os bairros Vila Lobão com uma área de 988,0 m<sup>2</sup>, Jardim Tropical tendo uma área de 1.063,0 m<sup>2</sup>

e a região do Centro o bairro Maranhão Novo, com uma área de 419,60 m<sup>2</sup>. Por outro lado, 2013, 2014 e 2018 foram os que obtiveram os mais altos índices de precipitação referentes ao período de escassez da sub-bacia, tendo uma precipitação de registro com 4,1 mm a 7,6 mm, para a região da grande Cafeteria, com os bairros Vila Cafeteira com uma área de 352,60 m<sup>2</sup>, Vila Ipiranga com área de 736,40 m<sup>2</sup> e na região do grande Santa Rita foi o bairro Santa Rita com área de 1.115,0 m<sup>2</sup>, conforme o (Quadro 07).

**Quadro 07** – Maiores escassez de precipitação em 24 horas registrados em Imperatriz por meses (INMET) de 1999 a 2020.

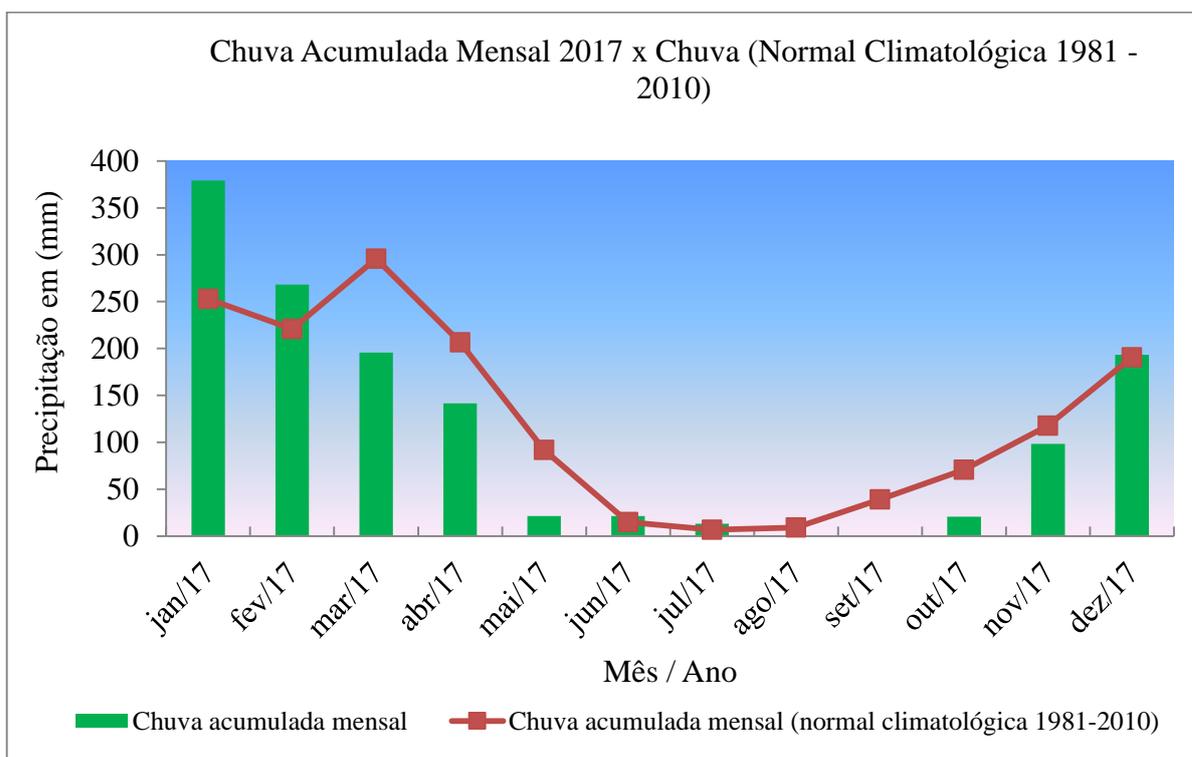
Ano	Mês/dia (seco)	Estiagem em (mm)*	Nível d'água metros (cm)**	Bairros	Área em (m <sup>2</sup> )
1999	junho / 21	1,0	0,10	Nova Imperatriz	1.690,000
	julho / 20 e 27	1,0			
2000	agosto	Sem registro	-----	-----	-----
2001	agosto	Sem registro	-----	-----	-----
2002	agosto	Sem registro	-----	-----	-----
2003	junho / 02 e 23	1,0	0,10	Cinco Irmãos	280,000
	julho	Sem registro			
2004	julho / 19	3,0	0,21	Santa Rita	1.115,000
2005	julho / 21	2,9	0,17	Vila JK	212,900
	agosto	Sem registro			
2006	junho / 07	0,1	0,10	Maranhão Novo	419,600
	julho	Sem registro			
2007	julho / 16	1,0	0,23	Coco Grande	616.139,490
2008	junho / 18	0,2	0,10	Boca da Mata	522,200
	julho	Sem registro			
2009	junho / 12	2,0	0,10	Juçara	577,300
	julho	Sem registro			
2010	agosto / 30	2,8	0,10	Centro	2.155,000
2011	junho / 26	0,4	0,12	Santa Inês	988,900
	agosto e setembro	Sem registro			
2012	agosto / 29	0,2	0,10	Brasil Novo	210,600
2013	agosto / 17	7,6	0,23	Vila Cafeteria	352,600
2014	maio / 24	7,6	0,34	Vila Ipiranga	736,400
	junho e julho	Sem registro			
2015	agosto / 29	0,1	0,10	Jardim Tropical	1.063,000
2016	julho	Sem registro	0,13	50° BIS	1.323,000
	agosto / 18	0,4			
2017	agosto / 17	0,1	0,10	Vila Lobão	988,000
	setembro	Sem registro			
2018	junho	Sem registro	0,21	Santa Rita	1.115,000
	julho / 04	4,1			
2019	julho / 06	3,4	0,13	Curtume	506,900
	agosto e setembro	Sem registro			
2020	junho	Sem registro	-----	-----	-----

Fonte: \*INMET, (2020) e \*\*Moradores da área da Sub-bacia (2020).  
Org. pelo autor da pesquisa (2020).

Considerando os registros dos quatros últimos anos 2017 a 2020 da Estação meteorológica de Imperatriz (82564), associada às chuvas acumuladas mensais da normal climatológica mais recente de 1981-2010 do Instituto Nacional de Meteorologia observa-se que houve uma variabilidade sazonal nos índices chuvosos na região (Gráfico 2).

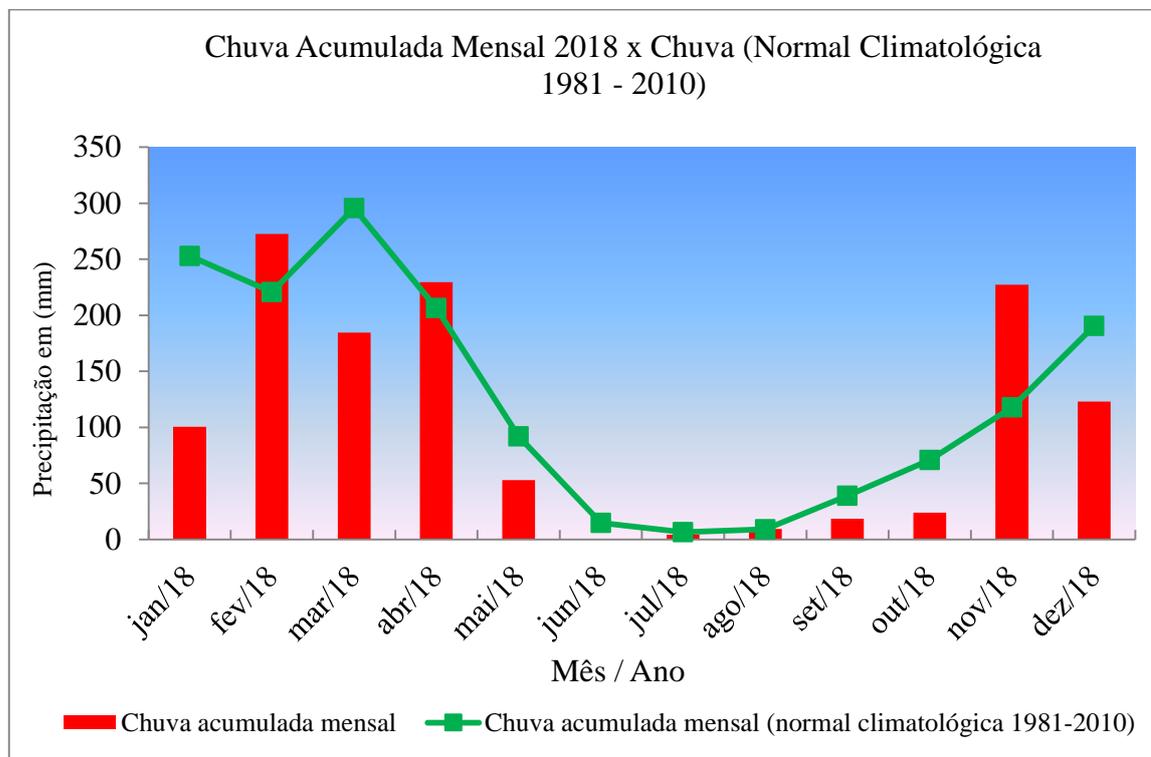
Os anos de 2017 a 2020 nos (Gráficos 02, 03, 04 e 05) apresentaram no geral, índices pluviométricos abaixo das chuvas acumuladas para o período considerado, destacando aumentos acima da média em janeiro de 2017, fevereiro, abril e novembro de 2018, abril de 2019 e março de 2020. O ano de 2020 foi atípico apresentando uma estiagem prolongada de junho a dezembro.

**Gráfico 02** – Chuva Acumulada Mensal em 2017 x Chuva Normal Climatológica (1981 -2010) para Imperatriz – MA.



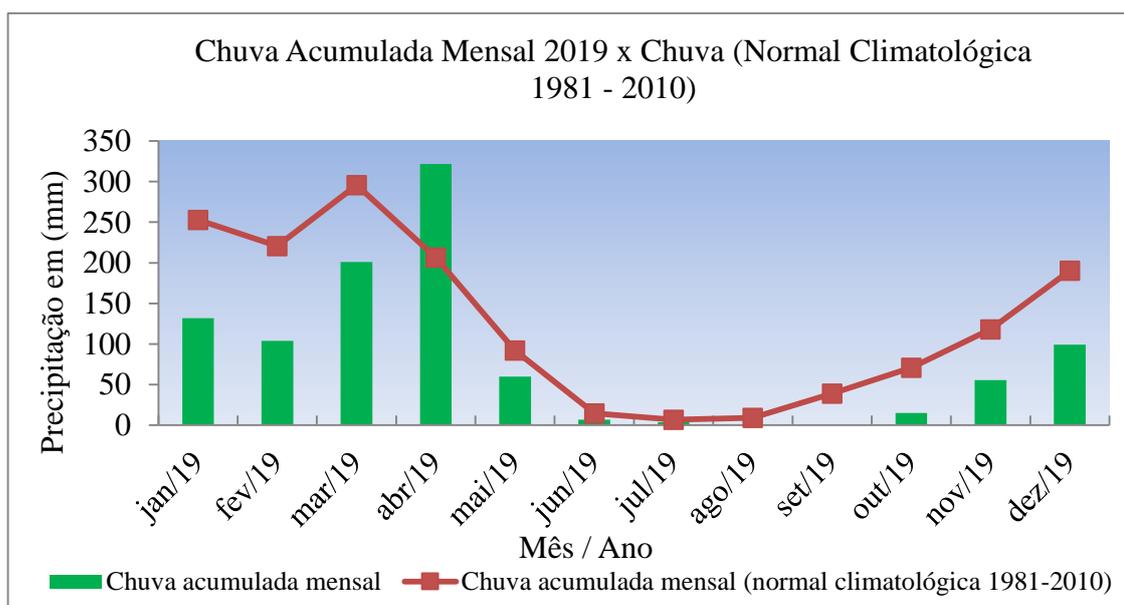
Fonte: INMET (2020).

**Gráfico 03** – Chuva Acumulada Mensal em 2018 x Chuva Normal Climatológica (1981 -2010) para Imperatriz – MA.



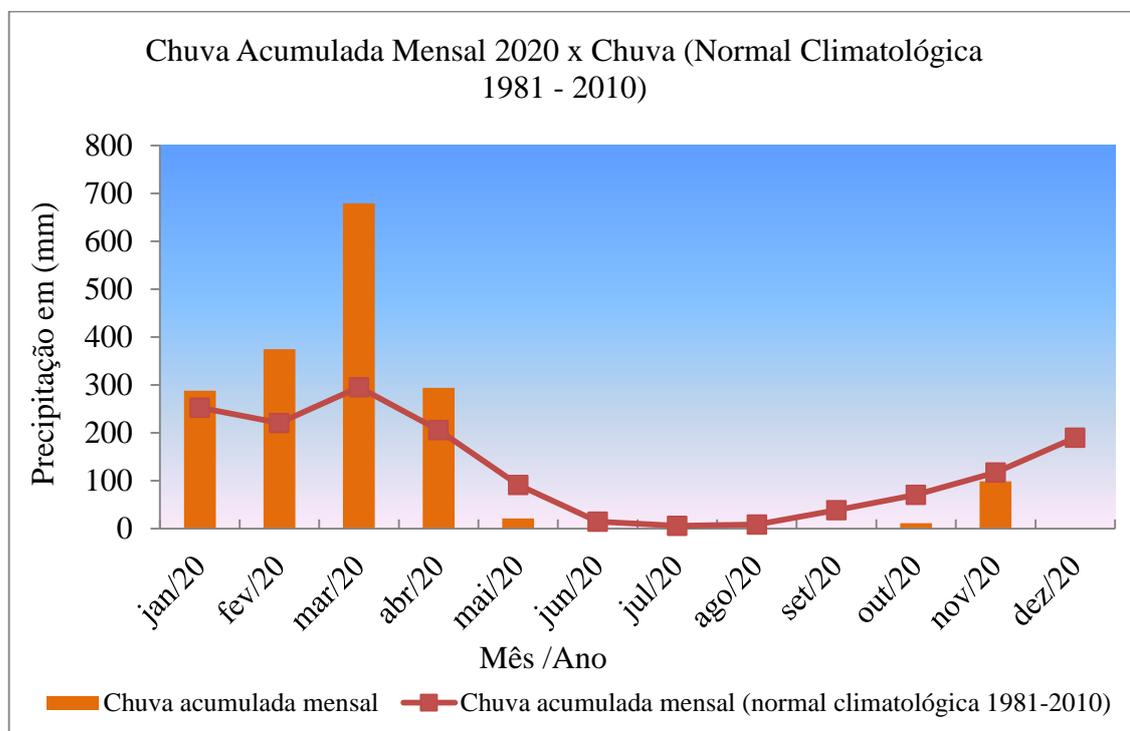
Fonte: INMET (2020).

**Gráfico 04** – Chuva Acumulada Mensal em 2019 x Chuva Normal Climatológica (1981 -2010) para Imperatriz – MA.



Fonte: INMET (2020).

**Gráfico 05** – Chuva Acumulada Mensal em 2020 x Chuva Normal Climatológica (1981 -2010) para Imperatriz – MA.



Fonte: INMET (2020).

Ressaltar-se, ainda, a dinâmica climatológica referente ao ano de 2020, como parâmetro de domínios morfoclimáticos para análise da planície de inundação da sub-bacia do Riacho Capivara. Esse comportamento nos últimos anos tem sido comum e o Laboratório de Meteorologia do Maranhão – LABMET que é vinculado com (NuGeo/UEMA) vem monitorando essa mudança no período de ocorrência das chuvas e secas para o Município de Imperatriz e Estado do Maranhão.

No (Gráfico 05) contém o acompanhamento das chuvas e estiagem registradas para o ano de 2020 com prognóstico da anomalia da precipitação desse ano, com registros de chuvas atingindo o pico de 609,6 mm para o mês de março, o mais chuvoso dos últimos anos para essa localidade de Imperatriz. Como a sub-bacia pertence ao clima tropical ocorre à tendência de ocorrer muito menos pluviosidade no inverno que no verão para o município.

## 5.2 HIDROGRAFIA

Nesta unidade faremos uma análise dos parâmetros morfométricos da rede drenagem da sub-bacia do Riacho Capivara, considerando os procedimentos de estudos desenvolvidos por (STRAHLER, 1952) e posteriormente pelo (CHRISTOFOLETTI, 1980), (VILLELA E MATTOS, 1975) para análise do comportamento da dinâmica da água na sub-bacia do Riacho Capivara.

A rede drenagem da sub-bacia Riacho Capivara apresenta característica endorreica, com hierarquia fluvial de 3ª Ordem, com ênfase dos seus maiores subcanais dos riachos Santa Tereza e José de Alancar. Blanco (2013), o comprimento total dos canais é de 52,08 km, distribuídos por 20 cursos d'água, com destaque para os 17 canais de 1º Ordem, correspondendo a 66,51% do comprimento total dos canais da sub-bacia (Tabela 14 e Figura 16).

**Tabela 14** – Características da hierarquia dos canais fluviais da Sub-bacia hidrográfica do Riacho Capivara – Imperatriz.

Hierarquia dos Canais	Segmentos dos Números de canais	Comprimento dos Canais (Km)	Ordem Hierárquica (%)
1ª Ordem	17	34,64	66,51
2ª Ordem	02	3,37	6,47
3ª Ordem	01	14,07	27,02
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>52,08</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborada pelo autor da pesquisa (2020).



A Sub-bacia do Riacho Capivara apresentam afluentes caracterizados como sendo (córrego, brejo e riacho) dessa forma, encaixaram-se na categoria de rios entrelaçado com características de rede de drenagem, com canais interconectados e separados por barras de cascalho e/ou arenosas em sua carga de fundo com alto suprimento sedimentar. Ressalta-se que o riacho se encontra na malha urbana de Imperatriz e seu leito apresenta sedimentos de barra de canal arenosas e/ou cascalhosas, com alta variabilidade de descarga no médio e baixo curso d'água até desaguar no Rio Tocantins (BLANCO, 2013).

### 5.2.1 Sub-bacia hidrográfica do riacho Capivara: – análise areal e linear

As redes de drenagens fluviais têm papel fundamental nos estudos hidrológicos, buscando a compreensão da ocorrência, distribuição, movimentação da água, associados aos estudos do relevo, geologia e solo, fundamentais na dinâmica dos processos morfogenéticos mais ativos na elaboração das paisagens terrestres. Nessa perspectiva será abordada a análise areal, linear e hipsométrica para a Sub-bacia Hidrográfica do Riacho Capivara.

A área da Sub-bacia do Riacho Capivara corresponde a uma área territorial de 28,632 km<sup>2</sup>, sendo que a sua nascente principal se localiza no bairro Juscelino Kubitschek (JK) e sua foz na Quinta do Jacó desaguando no Rio Tocantins. Ressalta-se que a sub-bacia encontra-se circundada pelas Serras Arapari no Município Senador La Rocque-MA e a Estrondo no Município Axixá do Tocantins.

A sub-bacia corresponde a 14,32% de todo o espaço territorial da área urbana da Cidade de Imperatriz e se encontra circundada pelas entre sub-bacias do Riacho Bacuri e do Rio Barra Grande e Rio Cacao. Assim, a sub-bacia apresenta um perímetro de 22,24 km. Portanto, ainda mostrar-se uma densidade de drenagem regular de 1,82 km/km<sup>2</sup>, ou seja, para uma área de 1,0 km<sup>2</sup> da sub-bacia corresponde à presença de 1,82 km de comprimento de canais. Quanto maior for esse índice ocorrerá mais rapidamente o escoamento superficial na sub-bacia (Tabela 15).

**Tabela 15** – Comportamento de Densidade de Drenagem.

DENSIDADE DE DRENAGEM (km/km <sup>2</sup> )	CLASSIFICAÇÃO
0 - 0,5	POBRE
0,51 – 3,5	REGULAR
> 3,5	EXCELENTE

Fonte: Villela; Mattos (1975).

A sub-bacia Riacho Capivara apresentou a extensão do percurso superficial de 0,91 km/km<sup>2</sup>, indicando pequenos cursos de água. Para a densidade hidrográfica é um dos parâmetros morfométricos que estabelecer o comportamento hidrológico da área e indica a capacidade da bacia em formar novos cursos de água. A área objeto da pesquisa indicou o valor de 0,59 canais/km<sup>2</sup>, ou seja, em um 1,0 km<sup>2</sup> tem-se uma representação de 0,59 canais, sendo considerada uma densidade hidrográfica baixa, isso implica dizer que a área tem muito baixa pré-disposição para gerar novos canais em situação natural.

A Sub-bacia encontra-se em área urbana com impactos ambientais que podem interferir no processo de formação de novos canais, sendo encontrada uma predominância de canais de 1ª Ordem efêmeros e de 2ª Ordem com riachos intermitentes. Para o índice de sinuosidade indicou valor de 2,04 m/m. A sinuosidade do riacho caracteriza-se por redes de drenagens sinuosas acima de 2,0, podendo haver acúmulos de sedimentos, o que pode ser agravado pela ação antrópica, outro fator que promove a inundação nas diversas áreas da Sub-bacia do Riacho Capivara.

A sub-bacia Riacho Capivara apresentou um índice de circularidade de 0,73 indicando ser ligeiramente arredondada, com tendência a inundação e/ou enchente. Ressalta ainda que, quanto mais próximo de (1,0) maior tendência à inundação e/ou enchentes na área de estudo (sub-bacia). O valor obtido para a sub-bacia Riacho Capivara foi 0,37 indicando ser uma bacia não sujeita à inundação e/ou enchente.

Na sub-bacia hidrográfica do Riacho Capivara se identificou a relação de bifurcação média próximo de 5,0 (Tabela 16), indicando tratar-se de uma pequena bacia.

**Tabela 16** – Hierarquia dos Canais Fluviais da Sub-bacia Hidrográfica Riacho Capivara.

Ordem	Número de Segmentos Canais	Comprimento dos Canais em (Km)	Relação de Bifurcação (Rb)*	Comprimentos Médios dos Canais (RLm)
1ª Ordem	17	34,64		
2ª Ordem	02	3,37	8,5	0,10
3ª Ordem	01	14,07	2,0	5,94
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>52,08</b>		

\*Rb médio = 5,25

Fonte: Elaborada pelo autor da pesquisa (2020).

Assim, o coeficiente de manutenção da Sub-bacia do Riacho Capivara é de 549,45 m<sup>2</sup>/m. De tal modo, a sub-bacia formada da seguinte forma sua rede de drenagem os canais de

drenagem da sub-bacia de 1ª ordem são efêmeros apresenta 17, os de 2ª ordem são intermitentes exibe dois canais e a partir da 3ª ordem é perene representado por um canal. A sub-bacia apresenta uma relação bifurcação média de 5,25 com um escoamento superficial d'água em uma análise linear da área que vai da nascente ao exutório.

### **5.2.2 Sub-bacia hidrográfica do riacho Capivara: – análise dos parâmetros hipsométricos**

As análises hipsométricas têm fundamental importância no movimento da água na bacia envolvendo diferentes velocidades no escoamento superficial. No município de Imperatriz as altitudes variam de (100 m a 420 m). Na Sub-bacia Capivara as altitudes variam entre (120 m a 180m). Isso não significa um relevo sinuoso, porque está distribuído em uma área de 28,632 km<sup>2</sup>, com amplitude altimétrica de 60 m. Essa variação topográfica, associada aos processos morfogenéticos propiciam a dissecação do relevo e sua acumulação para as áreas de menor altitude na Região Tocantina.

Na Sub-bacia Capivara, as altitudes variam entre 120 m a 180 m, tendo uma amplitude de 60 m. As amplitudes maiores encontram foram na média e alta sub-bacias nas regiões do Grande Cafeteira e Grande Santa Rita, chegando a atingir picos de 150 m a 180 m. Por outro lado, e as menores amplitudes registraram nas áreas da baixa e média sub-bacias ficaram entre 120 m a 140 m nas Regiões da Grande Nova Imperatriz, Centro e Grande Santa Rita.

A relação de relevo indicou 0,0035 indicando uma variação muito baixa.

O índice de rugosidade indicou valor de 0,1092 demonstrando pequenas variações topográficas na bacia.

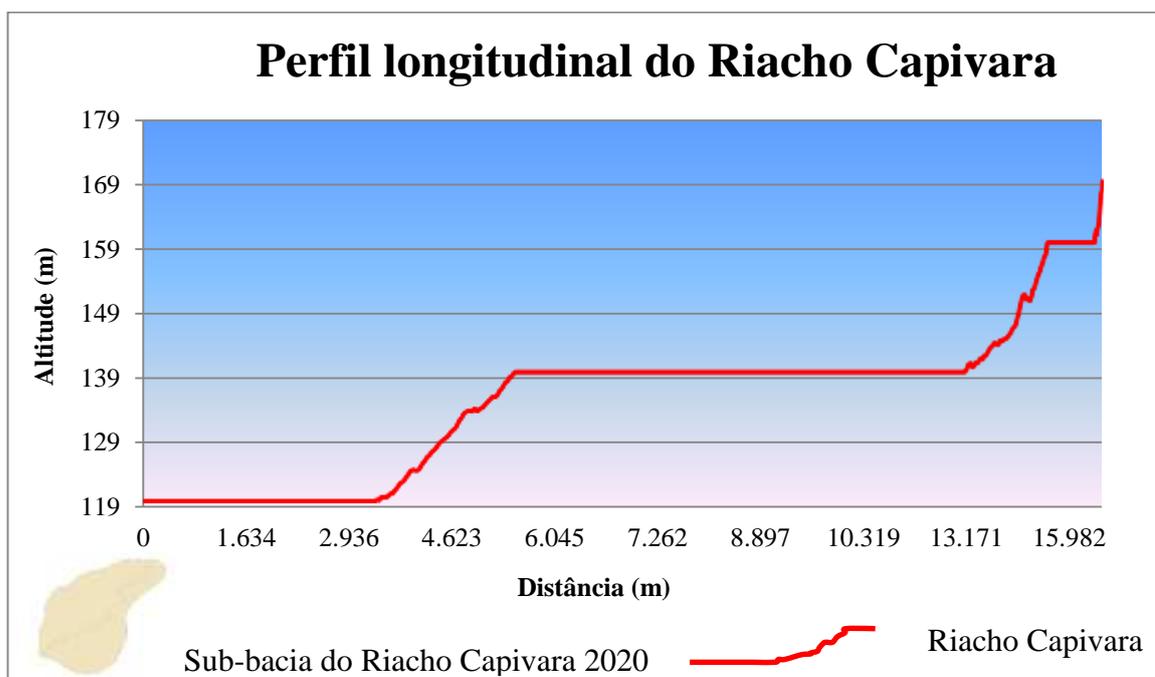
O gradiente dos canais influi nos processos de aporte/deposição de sedimentos e na natureza dos sedimentos (seixos, areia, silte e argila) transportados e ou depositados no leito do riacho em estudo. Portanto, esse parâmetro caracteriza o formato da área da sub-bacia. O gradiente dos canais para o Riacho Capivara indicou 10,6% indicando relativamente baixo gradiente.

O gradiente do canal principal indicou valor de 5,13% menor do que dos canais dos afluentes que tem declividade duas vezes maior, resultando na maior velocidade do escoamento superficial dos canais de 1ª e 2ª ordem para o canal do Riacho Capivara, podendo deflagra inundação dependendo da intensidade e duração do evento chuvoso na região. O gradiente dos canais e o gradiente de canal influem nos processos de aporte e/ou deposição de sedimentos e

na natureza dos sedimentos (seixos, areia, silte e argila) transportados e ou depositados do Riacho Capivara.

Para sub-bacia do Rio Capivara, o perfil longitudinal do canal principal tem de 169 m a 139 m de altitude em aproximadamente 2,8 Km apresenta característica côncava registra-se na área erosão laminar e vertical deflagrada pela dinâmica do escoamento superficial e a partir da altitude de 139 m, com cerca de 10 Km, um perfil plano típico de planície com pequenas áreas de declives na sub-bacia. Esse comportamento planar é notado no médio curso da sub-bacia do Riacho Capivara. Registram-se na área os maiores índice de inundação (Figura 17, Tabelas 17 e 18).

**Figura 17** – Demonstrativo do Perfil Longitudinal do Riacho Capivara: Relação Altitude x Distância.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

**Tabela 17** – Característica Hipsométrica da Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz – MA.

Siglas	Parâmetro	Resultados
Lp	Comprimento do riacho principal	16,97 km
Cv	Comprimento vetorial do canal principal	8,31 km
Lt	Comprimento total da rede de drenagem	35,12 km
H	Amplitude altimétrica	60 m
Rr	Relação de relevo	0,0035
Ir	Índice de rugosidade	0,1092
Gp	Gradiente do canal principal	5,13%
Gc	Gradiente dos canais	10,6%
Ax	Altitude máxima	180 m
An	Altitude mínima	120 m
Ad	Altitude média	150 m

Fonte: Elaborada pelo autor da pesquisa (2020).

**Tabela 18** – Caracterização Areal e suas Perspectivas Concentrações da Área da Sub-bacia do Riacho Capivara.

Siglas	Parâmetros Morfométricos	Resultados
	Hierarquia da sub-bacia	3ª Ordem
	Padrão de drenagem	Dendrítica
A	Área da bacia	28,632 km <sup>2</sup>
P	Perímetro total	22,24 km
L	Comprimento da bacia	8,74 km
Rb	Relação de Bifurcação	3,35
RLm	Comprimento médio dos canais	2,01 km
Dd	Densidade de drenagem	1,82 km/km <sup>2</sup>
Dh	Densidade hidrográfica	0,59 canais/km <sup>2</sup>
Dr	Densidade do riacho	0,03 canal/km <sup>2</sup>
Eps	Extensão do percurso superficial	0,91 km
F	Forma da bacia	Arredondada
Ic	Índice de circularidade	1,29
Is	Índice de sinuosidade	2,04
Cm	Coefficiente de manutenção	549,45 m <sup>2</sup> /m
Kc	Coefficiente de compacidade	1,16
Kf	Fator de forma	0,37

Fonte: Elaborada pelo autor da pesquisa (2020).

### 5.3 ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA SUB-BACIA DO RIACHO CAPIVARA PARA GERENCIAMENTO

A bacia hidrográfica do Riacho Capivara possui uma área de 28,632 Km<sup>2</sup>, com extensão do rio principal de 16,97 km e perímetro de 22,24 km, recebendo contribuições de vários córregos, principalmente do riacho Santa Tereza que se forma a partir da junção do córrego sem denominação com o córrego interligado à rede de esgoto, recebendo ainda contribuições do córrego José de Alencar antes de desembocar no Riacho Capivara.

A bacia hidrográfica do Riacho Capivara apresenta padrão de drenagem dendrítica, com categoria hierárquica de 3<sup>a</sup> ordem, densidade de drenagem regular, desaguando no Rio Tocantins. A bacia apresenta afluentes caracterizados como sendo córrego, brejo e riacho. Destaca-se a predominância de canais de 1<sup>a</sup> ordem, com canais interconectados e separados por barras de cascalho e/ou arenosas em sua carga de fundo com alto suprimento sedimentar e alta variabilidade de descarga no seu médio e baixo curso.

A forma da bacia indica ser ligeiramente arredonda com índice de circularidade de 0,73 e de índice de compacidade de 1,16 indicando tendência natural à inundação ou enchente. Esse fator é agravado pelo gradiente do canal principal ser inferior 2,0 vezes aos dos gradientes dos canais dos afluentes, considerando a extensão do percurso superficial na bacia de 0,91 km/km<sup>2</sup>, indicando pequenos trajetos nos cursos de água, ora sinuosos com índices de sinuosidades de 2,04 podendo agravar os acúmulos de sedimentos nos canais. A maior velocidade do escoamento superficial dos canais de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> ordem para o canal do Riacho Capivara poderia deflagra inundação dependendo da intensidade e duração do evento chuvoso na região (Tabelas 14 e 15). Associado aos aportes e/ou deposição de sedimentos (seixos, areia, silte e argila), águas servidas, esgoto *in natura*, resíduos sólidos transportados em direção à calha do Riacho Capivara (Foto 14).

No período chuvoso demarcado de novembro a maio na região frequentemente ocorre o transbordamento para o leito maior do riacho principal e seus afluentes Santa Tereza e José de Alencar.

Foi identificado que no alto curso do Riacho Capivara ocorre inundação nos bairros periféricos da cidade de Imperatriz, com ênfase no de Santa Luzia, Zenira e Cafeteria. No entanto, essas tendências de ocorrências de inundações e enchentes rápidas na rua Liberdade no bairro Ipiranga, indicam a susceptibilidade da sub-bacia Capivara a inundações e enchentes (Fotos 14 e 15).

**Foto 14** – Comportamento da vazão nos períodos seco e chuvoso do Riacho Capivara, nos bairros Cinco Irmãos com Vila JK, trecho do riacho, sendo que (A) período de estiagem (seco) com lixo doméstico e rede de esgoto jogado direto no riacho sem nenhum tratamento, e (B) período chuvoso residências nas margens direita e esquerda do riacho – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

**Foto 15** – Ocorrência de inundação no bairro Ipiranga da sub-bacia do Riacho Capivara e Avenida Liberdade – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

Enfatiza-se que a ocorrência de enchentes e inundação na sub-bacia do Riacho Capivara é um processo natural, sendo agravadas pela falta de infraestrutura da cidade de Imperatriz e a ocupação da planície de inundação do Riacho Capivara.

## 6 CARTA DE POTENCIAL DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE USO E OCUPAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO CAPIVARA

Nesta seção se apresenta as cartas de potencial do escoamento superficial de uso/ocupação da sub-bacia hidrográfica do riacho Capivara. Sobre as estimativas de escoamento superficial na sub-bacia em uma Área de Proteção Permanente – APP do canal principal do riacho Capivara.

### 6.1 ESTIMATIVA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA SUB-BACIA DO RIACHO CAPIVARA

Foi empregado o **método Curva Número** (CN), desenvolvido pela *Soil Conservation Services* (SCS) dos EUA em 1969, trata-se de um método conceitual simples, previsível e estável para estimativa da lamina do escoamento direto, com base na lamina de chuva e conta com apenas um parâmetro CN. É um método bem estabelecido, tendo sido amplamente aceito para uso nos EUA, Índia, Brasil e em muitos outros países. Os detalhes do método estão descritos na metodologia conforme Subramania (2013), Patil (2008), Paz (2004) e Tucci (1995 e 1998) com adaptações para a realidade brasileira nas áreas rurais, bacias urbanas e suburbanas.

O mapa de uso e ocupação do solo de 2020 para a Sub-bacia do Riacho Capivara forneceu cinco classes de uso como vegetação arbórea, vegetações herbáceas, mancha urbana, ruas e avenidas e solo exposto (INPE, 2018). Destaca-se que a classe urbanizada foi desmembrada mancha urbana e ruas e avenidas no mapa uso e ocupação da área de 2014 e 2020 (Figura 18).

Inicialmente, para o emprego do método Curva Número determinou-se o valor CN com base nos valores dos grupos hidrológicos do solo divididos em 4 grupos: A, B, C e D, conforme o método SCS- USDA (1972) e nas condições de uso e ocupação na sub-bacia Capivara para o ano de 2020 (Quadro 4). Destaca-se que os solos argissolo vermelho amarelo, argissolo vermelho amarelo eutrófico e neossolos que compõem a superfície da sub-bacia foram correlacionados aos grupos hidrológicos com base na textura, profundidades e estruturas presentes (Quadro 5).

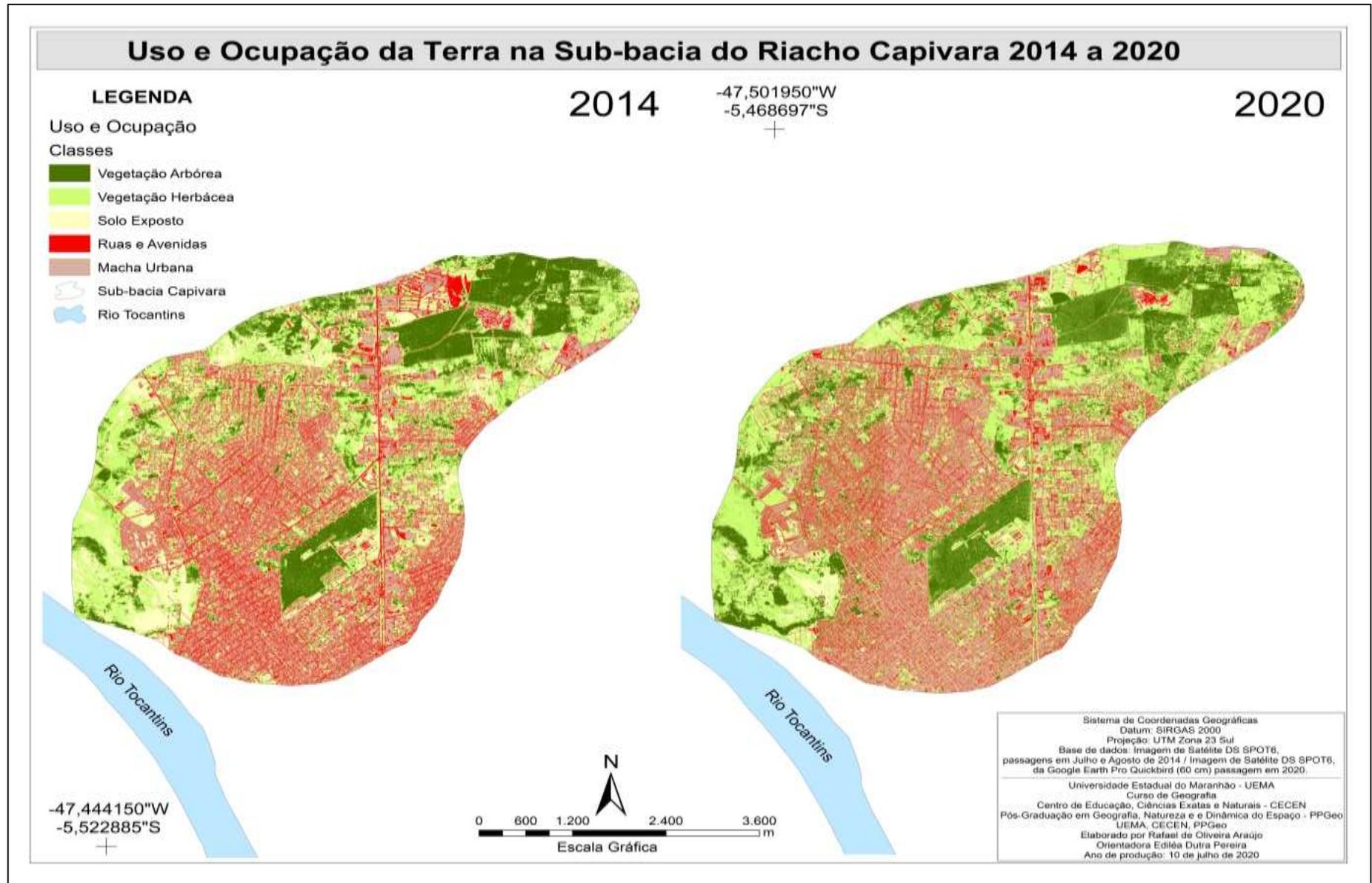
Os valores para a estimativa da Curva Número (CN) estão tabelados para zona rural e bacias urbanas e suburbanas (Tabela 19) conforme Tucci (1995 e 1998).

Observou-se uma leve alteração no padrão de uso/ocupação do solo de 2014 para 2020, acentuado para área de nascente do riacho Capivara, onde foi implantada um condomínio popular de (minha casa minha vida) residencial Juscelino Kubitschek (JK). Deste modo, as áreas de vegetação arbórea e herbácea em 2014 cerca de 51%, entretanto, para 2020 houve uma queda de 3,70% desta cobertura para solo exposto na alta sub-bacia. No entanto, para 2020 percebe-se um crescimento horizontal para sub-bacia som ação antrópica (figura 18), notasse, que o sítio urbano sucumbiu os canais fluviais, assim aparecendo – as estradas vicinais, residências e solos descobertos, ocasionado cerca de 47,30% no médio e baixo curso da sub-bacia.

É notório que a sub-bacia é moldada de acordo com o modelo paisagístico que a cidade vai crescendo e desenvolvendo, assim então a sub-bacia do riacho Capivara, dar-se, por meio, de uma mudança acelerada, na qual se torna visível analisar os principais riachos que outra aurora era caudalosa em sua vazão (Capivara, Santa Teresa e José de Alencar) da sub-bacia. Portanto, as áreas de APP na sub-bacia do Capivara são conservadas por estarem localizadas em área privadas (quinta do Jacó e outras fazendas) e/ou reserva (50ª BIS), elas estão distribuídas na área de estudo como áreas verdes, estas estão sendo corredor ecológico entre outras sub-bacias (riacho Bacuri e do rio Barra Grande) (Figura 18).

O solo da sub-bacia tem três classes – solo exposto (sem cobertura vegetal), ruas e avenidas (camada de asfalto), e macha urbana (residências), bem definida com diferentes graus de escamento e infiltração da sub-bacia, possibilitando analisar como dar-se o processo de inundação em diferente momento da área, é interessante conhecer a tipologia do solo para observar o grau de influência a dinâmica do nível do volume d'água e o tempo de escoamento. Além dos corpos hídricos (lagos e lagoas) e riachos que contribuíram para o processo de encharcamento do solo (estresse hídrico do solo) que no período chuvoso acelera o processo de inundação na sub-bacia.

**Figura 18** – Carta do Uso/Ocupação da Sub-bacia do Riacho Capivara do Ano de 2014 e 2020 – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

A média mensal de precipitação do Município de Imperatriz foi obtida a partir dos 6 (seis) meses mais chuvosos na região de dezembro a maio a partir de uma série temporal de dados meteorológicos de pluviosidade de 2005 a 2019 da estação de Imperatriz do Instituto Nacional de Meteorológica que indicou a média de 191 mm para o período, sendo considerado para a sub-bacia do Riacho Capivara a condição de umidade II para a média das pluviosidades (SCHROEDER, 1994).

Machado (2002), com base na média de precipitação foi possível a determinação do escoamento superficial direto na sub-bacia do Rio Capivara (Tabela 19).

**Tabela 19** – Valores de Curva Número para a Sub-bacia do Riacho Capivara – Imperatriz.

Classes	CN			S (mm/mês)			Q (mm/mês)		
	PVA	PVAE	NEO	PVA	PVAE	NEO	PVA	PVAE	NEO
Vegetação Arbórea	76	70	36	80,2	108,9	451,6	135,95	103,23	18,35
Vegetação Herbácea	84	78	46	48,4	71,6	298,2	143,12	125,73	40,17
Mancha Urbana	92	90	77	22,1	28,2	75,9	166,88	160,88	122,81
Ruas e Avenidas	98	98	98	5,2	5,2	5,2	184,89	184,89	184,89
Solo Exposto	89	87	72	31,4	38,0	98,8	157,88	151,92	108,58

**PVA** = argissolos vermelho amarelo

**PVAE** = argissolos vermelho amarelo eutrófico

**NEO** = Neossolo

**CN** = curva número

**S** = Capacidade máxima de armazenamento do solo

**Q** = Escoamento Superficial.

Fonte: Elaborada pelo autor da pesquisa (2020).

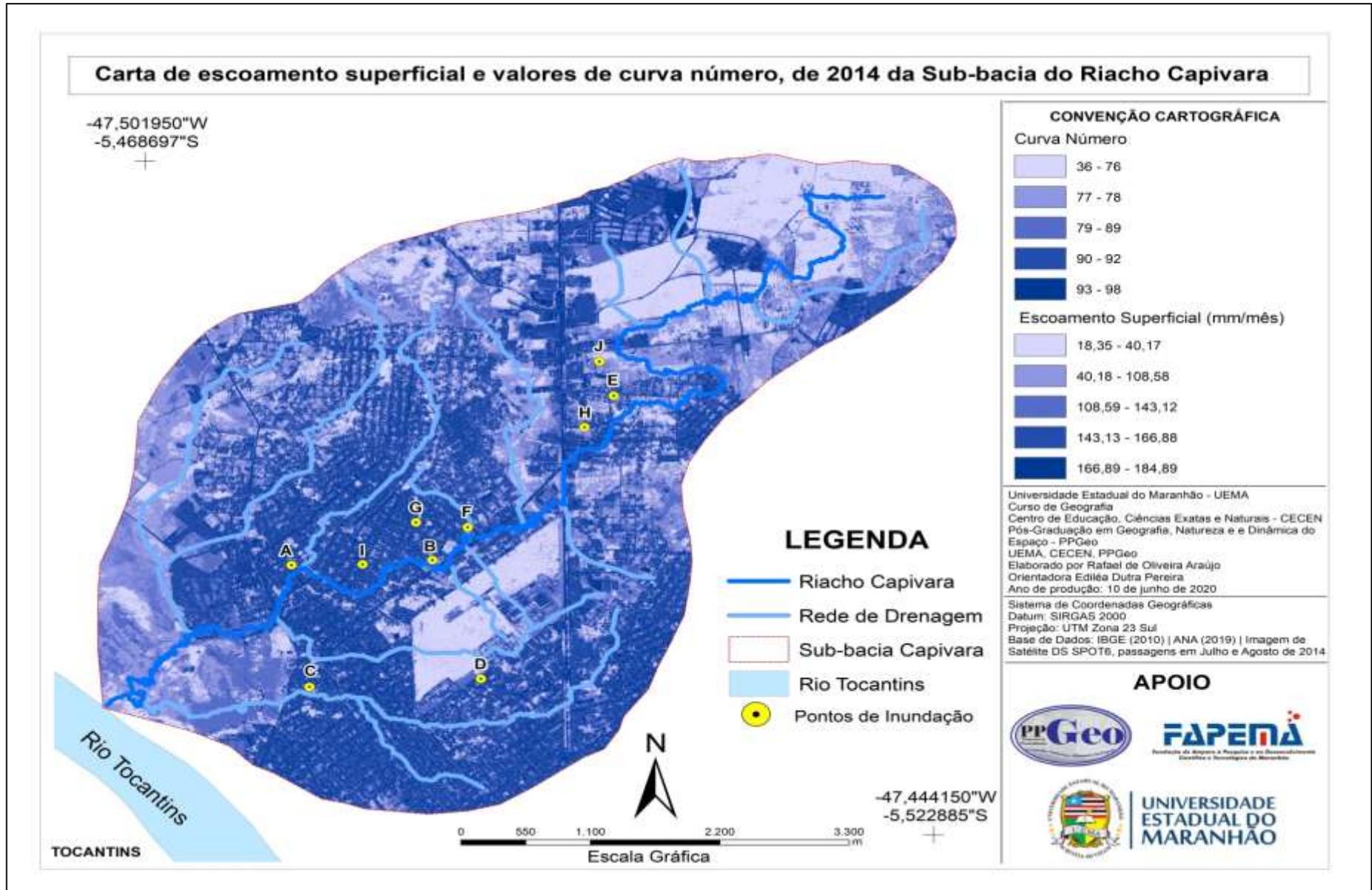
A Sub-bacia do Riacho Capivara foi subdividida em três áreas dos pontos de inundação para os anos 2014 a 2020 (J, E, H). Sendo assim, a distribuição foi feita da seguinte maneira: - na alta sub-bacia nos pontos que se destacam os bairros (Ipiranga, Cafeteria, Jardim Tropical e Vila Zenira), no entanto, para a média sub-bacia foram os pontos (B, D, F, G, I), nos bairros (Vila JK, Cinco Irmãos, Santa Rita, Boca da Mata e Três Poderes), e para a baixa sub-bacia, os pontos (A, C) nos bairros (Santa Inês e Nova Imperatriz), assim registrando os mais altos índices de inundações na Sub-bacia do Riacho Capivara (Figuras 19 e 20).

As cartas de escoamento superficial e valores de curva de nível para os anos de 2014 e 2020 refletem os tipos de uso e ocupação e o tipo de solo na Sub-bacia do Riacho

Capivara. As maiores concentrações de escoamento superficial direto foram registradas na porção média e na porção inferior da sub-bacia em áreas urbanizadas.

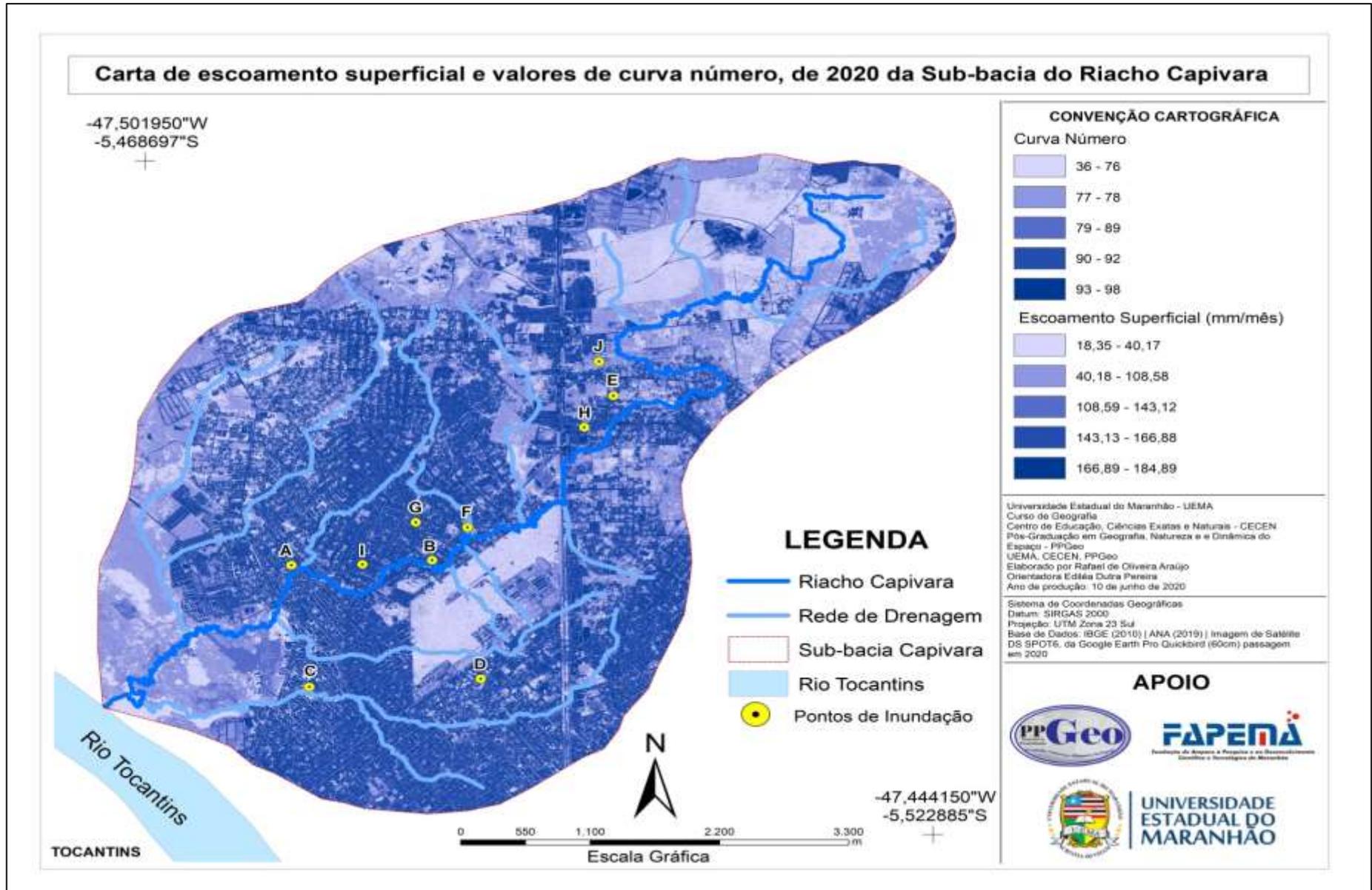
O mapeamento das (Figuras 19 e 20), foram realizados, por meio, da análise de solo, uso/ocupação e a precipitação da sub-bacia, assim podendo identificar quais foram os pontos mais fragilizados e propícios de inundação. Portanto, o escoamento superficial da sub-bacia ocasionando principalmente no médio curso da sub-bacia onde aprestam menores valor de curvas de nível. Sobre a precipitação, é observado a quantidade de chuva e o tempo que leva para escoar e infiltra-se no solo. Todavia é necessário identificar também a tipologia do solo sem é arenoso e/ou argiloso, pois cada um tem-se uma velocidade e capacidade de absorção d'água.

**Figura 19** – Carta do escoamento superficial e valores curva número da Sub-bacia do Riacho Capivara do ano de 2014 – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

**Figura 20** – Carta do escoamento superficial e valores curva número da Sub-bacia do Riacho Capivara do ano de 2020 – Imperatriz.



Fonte: ARAÚJO, R. de Oliveira (2020).

Isso decorre da condição de intensa impermeabilização com presença de ruas, avenidas e solos expostos. Estes apresentaram os valores de CN de 72 a 98 e escoamento superficial direto variando de 108,58 a 184,89 mm/mês, em menores proporções nos solos neossolos, pela facilidade de infiltração na área.

Para as áreas de cobertura vegetal arbórea e herbácea indicaram valores CN menores variando de 36 a 84, fornecendo um escoamento superficial direto de 40,17 a 143,12 mm/mês. Na área da sub-bacia do riacho Capivara, a expansão urbana nos últimos 6 anos de 2014 a 2020 ocorreram nas direções oeste e nordeste da sub-bacia e a mudança registrada nas áreas florestadas para vegetação herbácea ocorreu em decorrência da formação de pastos para criação de pequeno porte e agricultura familiar com plantio de verduras e leguminosas.

Destaca-se que a sub-bacia apresenta forma ligeiramente arredondada com índice de circularidade (0,73) e de índice de compacidade (1,16) indicando tendência natural à inundação ou enchente, associado a um perfil longitudinal do canal principal de característica côncava e retilíneas condições *sin qua non* para dinamização da enchente ou inundação na área, principalmente no curso médio e inferior da bacia.

Observa-se que nos pontos de inundação de A-J ao longo do curso médio ao inferior da sub-bacia foram registrados os maiores índices de escoamento de 143-185 mm/mês.

## 7 CONCLUSÃO

A Sub-bacia hidrográfica do Riacho Capivara foi perdendo suas características naturais pela intensificação do processo de impermeabilização conforme as necessidades da população, principalmente a população urbana. O crescimento populacional registrado nas últimas décadas tem ocupado os espaços urbanos sem prévio conhecimento das vulnerabilidades e potencialidades dos recursos hídricos, provocando diversos impactos socioambientais na bacia, principalmente, as inundações.

As multivazões do escoamento potencial registradas na carta de escoamento superficial da bacia do Riacho Capivara foram geradas pela combinação de fatores relacionados aos tipos de uso e ocupação associados aos solos argissolo vermelho-amarelos, argissolo vermelho-amarelos eutrófico e neossolos encontrados na região.

Os maiores índices se concentram na porção média a inferior da bacia nos bairros Cinco, Boca da Mata, Vila Jk, Jardim tropical, Cinco Irmãos e no riacho José de Alencar e Santa Teresa atingindo valores de 143,13mm/mês a 184,89mm/mês. Nessas áreas, os índices de CN (curva número) foram os maiores de 90-98, devido à intensa impermeabilização.

As áreas com vegetações arbóreas e herbáceas na bacia foram verificadas os menores valores de CN com 36 a 78, ou seja, menor escoamento superficial com valores de 18,35mm/mês a 108,58 mm/mês.

As áreas diagnosticadas com taxas baixas de escoamento superficial presentes no curso superior e médio-inferior foram localizadas nos bairros Planalto I e II, Ipiranga, Vila Zenira, Maranhão Novo, Três Poderes, Bom Sucesso, Centro (setor do entroncamento) e entre as áreas dos afluentes dos canais dos riachos José de Alencar e Santa Teresa, devem ter seus recursos naturais preservados ou explorados com práticas conservacionistas para evitar os dinamismos dos processos de inundações nas áreas.

Destaca-se que nas áreas com a presença do tipo de solo Neossolo foi registrada maior infiltração da água sendo registrados os menores índices de escoamentos superficiais 18,35 mm/mês a 108,58 mm/mês, considerando tratar-se de áreas de terraço fluvial e superfícies aplainadas em uma altitude que variam de 120 a 144m.

A análise espaço temporal de 2014 a 2020 indicou na área da sub-bacia do Riacho Capivara ocorrência da expansão urbana nas direções oeste e nordeste da sub-bacia, em direção a sub-bacia do Rio Cacau, Riacho Bacuri, Rio Barra Grande e as mudanças registradas nas áreas florestadas para vegetação herbáceas, ocorreu devido a formação de pastos para criação de pequeno porte e agricultura familiar com plantio de verduras e leguminosas. O método SCS

mostrou-se favorável para verificar e confirmar resultados de inundações nas áreas das sub-bacias, pois permitiu mapear os reais fatores de inundação.

Os resultados da pesquisa indicaram a necessidade de debates em torno da gestão dos recursos hídricos do Município de Imperatriz, no que se refere ao escoamento superficial no âmbito da Sub-bacia do Riacho Capivara e apresenta ações que possam subsidiar o planejamento e a gestão da área pesquisada.

## 8 RECOMENDAÇÕES

A Sub-bacia Hidrográfica do Riacho Capivara se localiza no núcleo urbano da Cidade de Imperatriz-Maranhão com uma extensão de 28,632km<sup>2</sup> e tem sua nascente no bairro Jardim das Oliveiras e sua foz entre os bairros Nova Imperatriz e Santa Inês especificamente (Quinta do Jacó). Dessa forma, observa-se que área é coberta por uma vasta malha de asfalto e/ou piçarra e por vezes com cobertura vegetal. Destaca-se que os canais fluviais da sub-bacia passam a ser canalizado em diversos pontos da área estudada.

Registra-se que as Áreas de Preservação Permanentes ao longo dos riachos encontram-se ocupadas de forma irregular por moradias, não respeitando o determinado pelo código florestal, Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012).

Para melhorias da qualidade de vida dos moradores da Sub-bacia Capivara recomenda-se:

- A implantação de projetos de macro e microdrenagem principalmente nos trechos de maiores taxas de escoamento superficial com a construção de rede de drenagem aberta e separação de rede de esgoto da rede de drenagem na área do médio-inferior da sub-bacia por onde passa os riachos Capivara, Santa Teresa e José de Alencar, além das áreas que perpassa as rodovias, avenidas e ruas da Sub-bacia;
- Gestão mais eficaz dos resíduos sólidos envolvendo a prefeitura e a sociedade para evitar o entupimento das manilhas e o assoreamento dos córregos e riachos;
- Reflorestamento das Áreas de Preservação Permanentes- APP ao longo do Riacho Capivara e seus afluentes;
- A implantação de estações de tratamento de esgoto – ETE por parte da concessionária de água;
- As áreas vegetadas na bacia são áreas estratégicas para minimizar os impactos da urbanização sobre os recursos hídricos. A Prefeitura Municipal de Imperatriz deverá adotar ações de manejo conservacionistas nessas áreas.

Esta pesquisa buscou subsidiar as políticas de planejamento urbano da Cidade de Imperatriz e áreas circunvizinhas para melhoria da qualidade de vida dos atores sociais residentes.

## REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**. Brasília: ANA. 2019, 100p.

ARAÚJO, Rafael de Oliveira; SANTOS, Luiz Carlos Araujo dos. **Análise Integrada da Bacia Hidrográfica do Riacho Bacuri em Imperatriz-MA**. Relatório de Pesquisa Iniciação Científica (Bolsa - FAPEMA) – Centro de Estudos Superiores de Imperatriz, Universidade Estadual do Maranhão – CESI/UEMA, 2017.

BANDEIRA, Iris Celeste Nascimento. (org.). **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013.

BITTENCOURT, Claudia; PAULA, Maria Aparecida Silva de. **Tratamento de Água e efluentes – Fundamentos de Saneamento Ambiental e Gestão de Recursos Hídricos**. Série Eixos. Editora Érica, São Paulo, 2014.

BLANCO, C. J. C.; SANTOS, S. S. M.; QUINTAS, M. C.; VINAGRE, M. V. A.; MESQUITA, A. L. A. Contribution to hydrological modelling of small Amazonian catchments: application of rainfall–runoff models to simulate flow duration curves. **Hydrological Sciences Journal**, v. 58, n. 7, 2013. p. 1423-1433.

BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. CARVALHO, Celso Santos; MACEDO, Eduardo Soares de.; OGURA, Agostinho Tadashi.(org). Brasília: Ministério das Cidades; **Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT**, 2007.

CÂMARA, G. Modelos, linguagens e arquiteturas para banco de dados geográficos. São José dos Campos, 1995. 187 f. **Tese** (Doutorado em Computação Gráfica Aplicada) – Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995.

CAMPOS, H. L. Gestão de bacia hidrográfica: pressupostos básicos. *In*: SÁ, A. J.; CORRÊA, A. C. B. **Regionalização e análise regional**: perspectivas e abordagens contemporâneas. Recife: Editora Universitária, 2006. p. 91-111.

CATUNDA, P. H. de A; DIAS, L. J. B. da. S. IMESC, Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. **Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão – ZEE**. Etapa bioma amazônico. São Luís: IMESC, 2019. 493 p.

CERVO, Amado Luiz, BERVIAN, Pedro Alcino. **Metodologia científica**: para uso dos estudantes universitários. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. Parte I, Capítulo 2, itens 2.4 e 2.5.

CHOLLEY, A. Observações sobre alguns pontos de vista geográficos. **Boletim Geográfico**. Rio de Janeiro, v. 22, n. 179, mar./abr. 1964.

CHORLEY, R. J. Modelos em Geomorfologia. *In: Modelos Físicos e de informação em Geografia* (CHORLEY, R. J. e Haggett, P., Eds.). Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1975.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2.ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1980. 200 p.

CLARKE, R. T. A review of some mathematical models used in hydrology, with on their calibration and use. **Journal of Hydrology**, 19: 1-20, 1973.

COELHO NETO, A. L. Hidrologia de encostas na interface com a geomorfologia. *In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S.B. (org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*, Ed. Bertrand Brasil, v. 2, p. 93-148, 1995.

CUNHA, S. B. da. Degradação Ambiental. *In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. da. (org.). Geomorfologia Ambiental*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, v. 4, p. 337-379, 1996.

DIAS, L. J. B.; SANTOS, L. C. A. dos. *et al.* **Recursos Hídricos e Desenvolvimento Regional: Experiências Maranhenses**. São Luís: Eduema, 2015. p.192.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Embrapa Produção de Informação. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999.

FRANÇA, G.V. de. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. Piracicaba, 1968. 151p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1968.

GENZ, F.; TUCCI, C. E. M. Infiltração em Superfícies Urbanas. **Revista Brasileira de Engenharia Caderno de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 1, 1995. p. 77-104.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GRIEBELER, N.P.; PRUSKI, F.F.; MARTINS JÚNIOR, D.; SILVA, D.D. (2001). Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 411-417.

GROVE, M.; HARBOR, J.; ENGEL, B. Composite Vs. Distributed Curve Number: effects on estimates on storms runoff depths. **Journal of the American Water Resources Association**, v.34, n.5, p. 1015 – 1023, 1998.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. *In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. Reflexões sobre a geografia física no Brasil*. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 225-256.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol. Soc America Bulletin**, v.3, n.56, 1945.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/imperatriz/panorama>. Acesso em: 20 jul. 2019.

INSTITUTO Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Uso de dados de radar meteorológico em modelo hidrológicos SCS-CN para estimativa de escoamento superficial**. 2018. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inp.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2018/03.07.17.46/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2019.

KARAMOUZ, M.; Moridi, A.; Nazif, S. **Urban water engineering and management**. EUA: CRC Press, 2010.

KLEIN, Evandro Luiz; SOUSA, Cristiane Silva de. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Maranhão**. Escala 1:750.000. Belém: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2012.

LIMA, W. de P. Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas. *In: Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas*. USP, p. 242, 1986.

LIMA, W.P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. USP, 1976.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas** [Tese de Doutorado em Geotecnia]. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1995.

MACHADO, Ronalton Evandro. Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Tese** (doutorado) Escola Superior de Agricultura – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2002. 154p.

MARANHÃO. Lei Estadual n. 9.956, de 18 de novembro de 2013. **Dispõe sobre a instituição do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Munin**, de acordo com art. 43, V, da Constituição do Estado do Maranhão, c/c art. 29, III, da Política Estadual de Recursos Hídricos – Lei n. 8.149, de 15 de junho de 2004a.

MARANHÃO. Lei Estadual n. 9.957, de 18 de novembro de 2013. **Dispõe sobre a instituição do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Mearim**, de acordo com art. 43, V, da Constituição do Estado do Maranhão, c/c art. 29, III, da Política Estadual de Recursos Hídricos – Lei n. 8.149, de 15 de junho de 2004b.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MATTOS, S. H. V. L.; PEREZ FILHO, A. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V. 5 n.1, p. 11-18, 2004.

MELLEK, José Elias. Análise hidrológica e aplicação do método de curva número em bacia vertente sob cobertura florestal. 2015. **Tese** (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná,

Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 2015.

NUNES, Fabrizia Gioppo; FIORI, Alberto Pio; FIRPO, Giacomo. **Estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Atuba: Curitiba e região metropolitana – Paraná/ Brasil.** Boletim Paranaense de Geociências 64-65, 2011, p.27-39.

OLIVEIRA, Antonio Neres. **Os custos socioeconômicos e ambientais dos impactos da urbanização de Imperatriz nos mananciais urbanos – um estudo de caso na microbacia do Riacho Bacuri.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido. Belém-PA, 2005.p.147.

PATIL, J.P.; SARANGI, A.; SINGHA, A.K.; AHMADB, T. Evaluation of modified CN methods for watershed runoff estimation using a GIS-based interface. **Biosystems Engineering**, v. 100, p. 137–146, 2008.

PAZ, A.R. **Hidrologia Aplicada. Apostila de Hidrologia Aplicada.** Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, 2004, Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/hidrologia-aplicada-uergs/4948474/>. Acesso em: 30 set.2020.

PRUSKI, F.F.; FERREIRA, P.A.; RAMOS, M.M. & CECON, P.R. **A model to design level terraces.** J. Irrig. Drain. Eng., 123:8- 12, 1997.

ROCHA, J.S.M. da. 1997. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas.** Santa Maria: Imprensa Universitária,1997. 423 p.

ROSA, R. e Brito, J.L.S. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica.** Uberlândia, Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia, 1996.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento.** 8. ed. São Paulo: Contexto, 1991.

ROSSETTI, D. F. **Arquitetura Depositional da Bacia de São Luís-Grajaú.** In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (coord.). O Cretáceo na Bacia de São-Luís Grajaú. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001.

ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W. 1997. **Revisão estratigráfica para os depósitos do Albiano Terciário Inferior (?) na Bacia de São Luís (MA), Norte do Brasil.** Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, v. 9, p. 29-41, 1997.

SANTOS, Franciane Mendonça dos; LOLLO, José Augusto de. **Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano.** Eng Sanit Ambient | v.21 n.4 | out./dez. 2016 | 663-675. Disponível em: [https://www.scielo.br/pdf/esa/v21n4/1809-4457-esa-S1413\\_41522016130053.pdf](https://www.scielo.br/pdf/esa/v21n4/1809-4457-esa-S1413_41522016130053.pdf) . Acessado em: 12 out. 2020.

SANTOS, Luiz Carlos Araujo dos. **Gestão das Águas da sub-bacia Hidrográfica do Rio Cacao-Maranhão.** Tese (doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente, p.377, 2012.

SANTOS, Maria Cecília; CÁNEPA, Eugenio Miguel; YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann. Política ambiental. In: MAY, Peter Hermann; LUSTOSA, Maria Cecília; VINHA, Valéria da. (org.). **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

SCHROEDER. Reliability of SCS curve number method on semi-arid, reclaimed minelands. **International Journal of surface Minig, Reclamation and Environmental**, v.8, n.2, p.41 – 45, 1994.

SCHUMM, S. A. The evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Bulletin of the Geological Society of America**. v. 67, n. 5, 1956. p. 597- 646, 1956.

SILVA, C. L.; OLIVEIRA, A. S. Runoff measurement and prediction for a watershed under natural vegetation in central Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 695 – 701, 1999.

SILVA, R. G. C. *et. al.* **Territorial politics in western Amazon: an approach on madeira river hydroelectric project in Rondônia**. Técnica administrativa, Buenos Aires, v. 7, p. 1-9, 2008.

Site: [g1.globo.com/ma](http://g1.globo.com/ma), 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2014/11/apenas-25-da-cidade-de-imperatriz-possui-rede-de-esgoto.html>. Acesso em: 8 jun. 2020.

SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. Métodos em Questão, (16) 1-52, IGUSP, 1977.

STRAHLER A. N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. Trans Am Geophys Union n.38, p.913–920, 1957.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952.

SUBRAMANIA, K. **Engineering Hydrology**. 4.ed. India: McGraw Hill Education: New Dejlhi, 2013.

TARGA, Marcelo dos Santos, *et al.* **Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil**. Ambi-Água, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.905>. Acesso em: 15.set.2020.

TEIXEIRA, W., TOLEDO, M.C.M., FAIRCHILD, T.R., TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 557p.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n. 20, 2007.

TONELLO, K. C; DIAS, T. H. C; SOUSA, A. L; RIBEIRO, C. A. A. S; LEITE, F. P. Moformetria da Bacia Hidrografica da Cacheira das Pombas, Guanhões – MG. R. **Árvore**, Viçosa –MG, n. 5, p. 849-857, 2006.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. In: Série recursos naturais e meio ambiente. SUPREN/IBGE, 1977.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership - Wolrd Bank – Unesco, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade: BRH: EDUSP, 1993.

TUCCI, C.E.M. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS/ABRH,1995. 428 p.

TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH,1998. 669p.

UEMA, Universidade Estadual do Maranhão. Centro de Ciências Agrárias. Núcleo Geoambiental. **Bacias hidrográficas e climatologia no Maranhão**. São Luís, 2016. 165 p.

VEIGA JÚNIOR, J. P. **São Luís NE/SE, Folhas SA- 23-X e SA-23-Z**: Estados do Maranhão e Piauí: escala 1:500.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos – PLGB. Brasília, DF: CPRM, 2000.

VICTORINO, Valéria Igor Príncipe. “Capítulo 8 – Proteção aos mananciais, atores e conflitos: o caso da cratera de colônia”. Em VARGAS, Heliana Comin; RIBEIRO, Helena (org.). **Novos instrumentos de Gestão Ambiental Urbana**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2014.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. In: **Hidrologia aplicada**. McGraw-Hill, 1975.