



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

**AVALIAÇÃO DAS INTERAÇÕES ENTRE A FISIOGRAFIA E A DINÂMICA
HIDROLÓGICA NA FORMULAÇÃO DO PROGRAMA MUNICIPAL DE MANEJO
DE ÁGUAS PLUVIAIS DE CARAPICUÍBA – SÃO PAULO**

NICOLE AMADEU DIAS

Foz do Iguaçu
2025



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

**AVALIAÇÃO DAS INTERAÇÕES ENTRE A FISIOGRAFIA E A DINÂMICA
HIDROLÓGICA NA FORMULAÇÃO DO PROGRAMA MUNICIPAL DE MANEJO DE
ÁGUAS PLUVIAIS DE CARAPICUÍBA – SÃO PAULO**

NICOLE AMADEU DIAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

Orientador: Prof. Dr. Herlander da Mata
Fernandes Lima

Coorientadora: Prof. Me. Mara Rúbia Silva

Foz do Iguaçu

2025

NICOLE AMADEU DIAS

**AVALIAÇÃO DAS INTERAÇÕES ENTRE A FISIOGRAFIA E A DINÂMICA
HIDROLÓGICA NA FORMULAÇÃO DO PROGRAMA MUNICIPAL DE MANEJO DE
ÁGUAS PLUVIAIS DE CARAPICUÍBA – SÃO PAULO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Herlander da Mata Fernandes Lima
UNILA

Prof. Dra. Juliana Ramme
UNILA

Mestre Simone Minuzzo
(Doutoranda em Engenharia e Tecnologia Ambiental, UFPR)

Foz do Iguaçu, ____ de _____ de _____.

Dedico este trabalho à minha mãe, Elaine Amadeu, e a Wallace Cupertino.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela força, sabedoria e saúde que me acompanharam ao longo desta caminhada acadêmica.

Expresso minha profunda gratidão à minha mãe, Elaine Correa Amadeu, exemplo de dedicação, coragem e amor. Sua presença constante, seus ensinamentos e seu apoio incondicional foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Tudo o que conquisto também lhe pertence.

Ao meu companheiro, Wallace dos Santos Cupertino, agradeço pelo apoio, paciência, incentivo e cuidado em todos os momentos. Sua parceria tornou este percurso mais leve.

Agradeço ao meu tio Junior, que foi como um pai para mim e, mesmo não estando mais presente, esta conquista também é dedicada a ele, que sempre celebrou minhas vitórias e me incentivou a seguir nos estudos.

Agradeço às amigas construídas na universidade, em especial a Angélica e a Valjova, cuja companhia tornou meus dias mais felizes e significativos. Estendo também minha gratidão à Márcia Medeiros, a “Mãecinha do ILATIT”, pelo acolhimento, pelas orientações acadêmicas e pelas palavras de apoio que fizeram diferença em meu percurso.

Agradeço a toda a minha família pelo apoio e presença ao longo desta trajetória. Ao meu pai, André, ao meu padrasto, Julio César, aos meus irmãos Victor, Carlos e Rafael, à minha avó Clarice e à minha bisavó Francisca, sou grata pelo carinho e pelas bases familiares que sustentaram meu percurso.

Agradeço, ainda, à minha tia Nina, pelas palavras de sabedoria e por reforçar a importância dos estudos em minha formação. Cada um de vocês contribuiu, de maneira singular, para que eu chegasse até aqui, e esta conquista também lhes pertence.

Registro meus agradecimentos aos professores Herlander Mata-Lima, Mara Rúbia e Adriana Challiol, pela orientação, pelos ensinamentos e pelo acompanhamento durante o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso. Suas contribuições foram fundamentais para a construção deste estudo.

Aos professores da UNILA, expresso meu sincero agradecimento pelo apoio e incentivo constantes, que ultrapassaram os limites do âmbito acadêmico, sendo fundamentais não apenas para a minha formação profissional, mas também para o meu crescimento pessoal.

Por fim, agradeço à Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) e ao PAD-TCC, pelo suporte oferecido durante o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso.

RESUMO

O presente estudo avalia a fisiografia das microbacias hidrográficas que compõem o município de Carapicuíba (SP), inseridas nas sub-bacias Pinheiros – Pirapora e Cotia – Guarapiranga, a fim de compreender como o acelerado crescimento demográfico e a urbanização consolidada influenciaram o comportamento hidrológico e aumentaram a vulnerabilidade face aos eventos hidrológicos extremos. Para isso, foram calculados parâmetros fisiográficos fundamentais para a caracterização das microbacias que abrangem o município, analisado o uso e ocupação do solo a partir de imagens de satélite óptico e delimitadas as áreas suscetíveis a alagamentos e inundações, por meio da integração entre mapas de inundação, uso do solo e a classificação de risco hidrológico do Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR). Os resultados indicam que a fisiografia das microbacias, caracterizada por elevadas densidades de drenagem e alto grau de impermeabilização do solo decorrente da urbanização, contribui para a magnitude do escoamento superficial. Foram identificados cinco pontos críticos associados a processos de alagamento e inundação: dois localizados na microbacia do Ribeirão, com 73,4% de área urbanizada; dois na microbacia do Tietê, com 62,6% de urbanização; e um na microbacia do Cotia, com 35% de área urbanizada, este último fora dos limites do município de Carapicuíba. O ponto mais crítico identificado corresponde à região da Marginal do Cadaval. As áreas classificadas como risco alto e muito alto (R3 e R4) apresentam sobreposição entre ocupação inadequada, presença de corpos d'água canalizados e ausência de áreas permeáveis, evidenciando elevada vulnerabilidade hidrológica. Concluiu-se que o ponto mais crítico no município não é resultado de deficiências pontuais de infraestrutura, mas configuraram um problema sistêmico, decorrente da interação entre fatores fisiográficos, urbanísticos e institucionais. É, por conseguinte, necessário adotar estratégias integradas de planejamento urbano baseadas no desenvolvimento de baixo impacto visando mitigar os impactos associados aos eventos hidrológicos extremos.

Palavras-chave: Drenagem urbana; Microbacias hidrográficas; Uso e ocupação do solo; Alagamento; Inundação; HAND.

RESUMEN

El presente estudio evalúa la fisiografía de las microcuencas hidrográficas que componen el municipio de Carapicuíba (SP), insertadas en las subcuencas Pinheiros-Pirapora y Cotia-Guarapiranga, con el fin de comprender cómo el acelerado crecimiento demográfico y la urbanización consolidada influyeron en el comportamiento hidrológico y aumentaron la vulnerabilidad frente a los eventos hidrológicos extremos. Para ello, se calcularon parámetros fisiográficos fundamentales para la caracterización de las microcuencas que abarcan el municipio, se analizó el uso y la ocupación del suelo a partir de imágenes de satélite óptico y se delimitaron las áreas susceptibles de anegamientos e inundaciones, mediante la integración de mapas de inundación, uso del suelo y clasificación de riesgo hidrológico del Plan Municipal de Reducción de Riesgos (PMRR). Los resultados indican que la fisiografía de las microcuencas, caracterizada por altas densidades de drenaje y un alto grado de impermeabilización del suelo debido a la urbanización, contribuye a la magnitud del escurrimiento superficial. Se identificaron cinco puntos críticos asociados a procesos de anegamiento e inundación: dos localizados en la microcuenca del Ribeirão, con un 73,4 % de superficie urbanizada; dos en la microcuenca del Tietê, con un 62,6 % de urbanización; y uno en la microcuenca del Cotia, con un 35 % de superficie urbanizada, este último fuera de los límites del municipio de Carapicuíba. El punto más crítico identificado corresponde a la región de Marginal do Cadaval. Las áreas clasificadas como de riesgo alto y muy alto (R3 y R4) presentan una superposición entre ocupación inadecuada, presencia de cuerpos de agua canalizados y ausencia de áreas permeables, lo que evidencia una alta vulnerabilidad hidrológica. Se concluyó que el punto más crítico del municipio no es el resultado de deficiencias puntuales de infraestructura, sino que configura un problema sistémico, derivado de la interacción entre factores fisiográficos, urbanísticos e institucionales. Por lo tanto, es necesario adoptar estrategias integradas de planificación urbana basadas en el desarrollo de bajo impacto con el fin de mitigar los impactos asociados a los eventos hidrológicos extremos.

Palabras clave: Drenaje urbano; Microcuencas hidrográficas; Uso y ocupación del suelo; Anegamiento; Inundación; HAND.

ABSTRACT

This study evaluates the physiography of the micro-watersheds that make up the municipality of Carapicuíba (SP), located in the Pinheiros-Pirapora and Cotia-Guarapiranga sub-basins, in order to understand how rapid population growth and consolidated urbanization have influenced hydrological behavior and increased vulnerability to extreme hydrological events. To this end, fundamental physiographic parameters were calculated to characterize the micro-basins covering the municipality, land use and occupation were analyzed using optical satellite images, and areas susceptible to flooding were delimited through the integration of flood maps, land use, and the hydrological risk classification of the Municipal Risk Reduction Plan (PMRR). The results indicate that the physiography of the micro-basins, characterized by high drainage densities and a high degree of soil impermeability resulting from urbanization, contributes to the magnitude of surface runoff. Five critical points associated with flooding and inundation processes were identified: two located in the Ribeirão microbasin, with 73.4% of the area urbanized; two in the Tietê microbasin, with 62.6% urbanization; and one in the Cotia microbasin, with 35% of the area urbanized, the latter outside the limits of the municipality of Carapicuíba. The most critical point identified corresponds to the Marginal do Cadaval region. The areas classified as high and very high risk (R3 and R4) show an overlap between inadequate occupation, the presence of channeled water bodies, and the absence of permeable areas, evidencing high hydrological vulnerability. It was concluded that the most critical point in the municipality is not the result of specific infrastructure deficiencies, but rather a systemic problem resulting from the interaction between physiographic, urban, and institutional factors. It is therefore necessary to adopt integrated urban planning strategies based on low-impact development to mitigate the impacts associated with extreme hydrological events.

Key words: Urban drainage; Micro-watersheds; Land use and occupation; Flooding; Inundacion; HAND.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores e Interpretações dos Parâmetros.	17
Quadro 2 – Valores e Interpretação de Densidade de Drenagem	17
Quadro 3 – Valores e Interpretação da Frequência do Fluxo	18
Quadro 4 – Valores e Interpretação da Constante de Manutenção do Canal (Cm)	18
Quadro 5 – Valores e Interpretação do Índice de Rugosidade	19
Quadro 6 – Área de Preservação Permanente (APP)	23
Quadro 7 – Classificação de Referência dos Graus de Risco Hidrológico	28
Quadro 8 – Classes de Relevo	36
Quadro 9 – Fórmulas para Calcular Parâmetros Fisiográficos.	36
Quadro 10 – Classe da Cobertura e do Uso da Terra.	39
Quadro 11 - Classes de Declividade do Município	42
Quadro 12 - Parâmetros Geométricos das Microbacias Hidrográficas	43
Quadro 13 - Parâmetros de Drenagem das Microbacias Hidrográficas	44
Quadro 14 - Parâmetros de Relevo	45
Quadro 15 - Área de Cada Classe	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo hidrológico	15
Figura 2 - Hierarquização das Bacias Hidrográficas	16
Figura 3 - Danos causados pela precipitação intensa: (a) residências na região ribeirinha; (b) situação da residência após o evento	22
Figura 4 - Antes (a) e depois (b) da ocupação em regiões ribeirinhas no município de Carapicuíba	23
Figura 5 - Consequências de precipitações intensas no município de Carapicuíba.	24
Figura 6 - Delimitação do município de Carapicuíba	31
Figura 7 - Precipitação Média Mensal de Carapicuíba (01/1995 - 12/2024) com indicação de extremos recentes.	32
Figura 8 - Bacias Hidrográficas da Região Metropolitana de São Paulo	33
Figura 9 - Mapa de Área de Preservação Permanente (APP)	34
Figura 10 - Fluxograma das Etapas Metodológicas	35
Figura 11 - Mapa das sub-bacias da bacia do Alto do Tietê	40
Figura 12 - Mapa do Modelo Digital de Elevação (MDE)	41
Figura 13 - Mapa de Declividade	42
Figura 14 - Mapa Hidrográfico das Microbacias	43
Figura 15 - Mancha de Inundação	46
Figura 16 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo	47
Figura 17 - Percentual das Áreas de Uso e Ocupação	48
Figura 18 - Percentual de Cada Microbacia no Município.	50
Figura 19 - Sobreposição de Mapas de Ocupação e Mancha de Inundação	51
Figura 20 - Avenida Marginal do Cadaval	52
Figura 21 - Vila municipal	53
Figura 22 - Vila municipal antes (a) e depois (b) da intervenção	54
Figura 23 - Jardim Gopiúva	54
Figura 24 - Elementos da Paisagem em Torno da Alameda Guatemala	55
Figura 25 - Canalização do córrego do Cadaval	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
CBH - AT	Comitê de Bacias Hidrográficas do Alto do Tietê
CDHU	Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano
DMAPU	Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas
GDAL	<i>Geospatial Data Abstraction Library</i>
HAND	<i>Height Above the Nearest Drainage</i>
ILATIT	Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
PMRR	Plano Municipal de Redução de Riscos
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
QGIS	<i>Quantum Geographic Information System</i>
SAGA	<i>System for Automated Geoscientific Analyses</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geodésico para as Américas
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
UGRHI 6	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Tietê
UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
WGS84	<i>World Geodetic System 1984</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2 JUSTIFICATIVA	13
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo Geral	13
1.3.2 Objetivos Específicos	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 CICLO HIDROLÓGICO	15
2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS	16
2.2.1 Caracterização Fisiográfica	16
2.3 PRECIPITAÇÃO	19
2.4 INFILTRAÇÃO	20
2.5 ESCOAMENTO SUPERFICIAL	20
2.6 URBANIZAÇÃO DAS CIDADES	21
2.7 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE	23
2.8 ENCHENTES, ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES	24
2.9 DRENAGEM URBANA	25
2.10 MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS	26
2.11 PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RISCOS	27
2.12 GEOPROCESSAMENTO APLICADO AOS ESTUDOS DE INUNDAÇÕES	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
3.2 MÉTODOS	34
3.2.1 Obtenção da Base de Dados e Processamento	35
3.2.2 Mapa de Declividade	36
3.2.3 Caracterização das Microbacias	36
3.2.4 Zoneamento da Suscetibilidade à Inundação com HAND	38
3.2.5 Uso e Ocupação da Terra	38
4 RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO	40
4.1 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS DO MUNICÍPIO	40
4.2 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA	42
4.3 MAPEAMENTO DAS ÁREAS INUNDÁVEIS COM HAND	46
4.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	47
4.5 PONTOS CRÍTICOS E ANÁLISE DO SISTEMA DE MACRODRENAGEM	51
4.5.1 Análise do Ponto Mais Crítico	55
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES	58
5.2 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS	59
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A intensa urbanização vem provocando um crescimento desordenado das cidades, gerando uma série de impactos ambientais, econômicos e sociais. Segundo Reis *et al.* (2014), a expansão ocorre para áreas próximas aos corpos hídricos e fundos de vales, favorecendo a ocorrência de alagamento e inundação quando a cota da água no meio receptor sobe além do nível normal.

A urbanização acelerada e sem planejamento adequado resulta na expansão de áreas impermeabilizadas, alterando significativamente o ciclo hidrológico e intensificando problemas relacionados à drenagem urbana. Como consequência, observa-se um aumento significativo no escoamento superficial, resultando em inundações frequentes que degradam a infraestrutura urbana (e.g., estrada, edifício, elementos de drenagem longitudinal e transversal) e a qualidade de vida da população. Além disso, a alta densidade populacional e a escassez de habitações acessíveis levam a população mais vulnerável a ocupar áreas de risco, como zonas ribeirinhas, que são naturalmente propensas a enchentes. Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Carapicuíba (2018), 3.988 famílias vivem em áreas suscetíveis a inundações, evidenciando a necessidade urgente de medidas de intervenção para mitigar esses impactos.

Diante desse cenário, é fundamental adotar estratégias eficazes para o manejo das águas pluviais, visando criar cidades resilientes e sustentáveis. Contudo, Carapicuíba não possui um Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas (DMAPU), nem um órgão específico responsável pelos projetos de micro (e.g., elementos da rede de drenagem longitudinal) e macrodrenagem (e.g., elementos da rede de drenagem transversal, cursos d'água). Essa ausência administrativa, somada à falta de capacitação técnica, reduz a eficiência do sistema de drenagem, sobrecarrega a infraestrutura existente e contribui para a recorrência de alagamentos em pontos críticos da cidade (INFOSANBAS, 2020).

Este estudo analisa a situação da drenagem urbana em Carapicuíba e identifica os principais pontos críticos de alagamento e inundação. A partir da aplicação de técnicas de geoprocessamento e da análise de dados hidrológicos, formulam-se estratégias visando melhorar a infraestrutura de drenagem do município, contribuindo para a satisfação dos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS 6 - no que respeita ao Saneamento

Ambiental e Recursos Hídricos e ODS 11 - Cidades e Comunidades Resilientes e Sustentáveis).

1.2 JUSTIFICATIVA

Carapicuíba, localizada na Região Metropolitana de São Paulo, tem vivenciado um crescimento demográfico acelerado desde 1964 que, somado ao aumento de áreas impermeáveis e a falta de sistemas de drenagens mais eficientes, potencializou os casos de alagamentos em diversos bairros (IBGE, 2022). Estes eventos constantes impactam negativamente no bem-estar da população, comprometem a saúde pública, causam perdas econômicas e, em situações mais críticas, colocam em risco a vida dos cidadãos.

O município enfrenta desafios significativos na gestão de seu sistema de drenagem, pois não conta com um Plano Diretor específico para DMAPU, além de apresentar carência de equipes técnicas especializadas para planejar e fiscalizar obras nesse setor (INFOSANBAS, 2020). Como consequência, as intervenções realizadas são pontuais e pouco efetivas, não sendo capazes de reduzir de forma consistente os riscos de inundações.

A falta de investimentos em infraestrutura e em soluções sustentáveis de drenagem urbana reforça a necessidade de um estudo aprofundado sobre a real situação do município, permitindo a identificação dos pontos críticos de alagamento e a proposição de estratégias para mitigar os problemas decorrentes do escoamento inadequado das águas pluviais.

Portanto, a relevância deste estudo se justifica pela necessidade de um planejamento urbano mais estratégico e pela implementação de soluções eficientes para os desafios impostos pela drenagem urbana. A pesquisa realiza uma análise detalhada da hidrografia local, além de examinar os padrões de uso e ocupação do solo, a fim de identificar as causas dos alagamentos frequentes e propor intervenções que ajudem a reduzir sua ocorrência.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar a fisiografia de bacias hidrográficas integradas no município de Carapicuíba como subsídio para compreender o impacto do crescimento demográfico no comportamento hidrológico, bem como o efeito no sistema de drenagem urbano.

1.3.2 Objetivos Específicos

- i) Realizar a caracterização fisiográfica das bacias hidrográficas que abrangem o município de Carapicuíba;
- ii) Analisar a propensão das bacias para ocorrência de processos erosivos e eventos hidrológicos extremos;
- iii) Mapear as áreas de maior risco de alagamento e inundação na cidade a fim de determinar os pontos mais críticos.

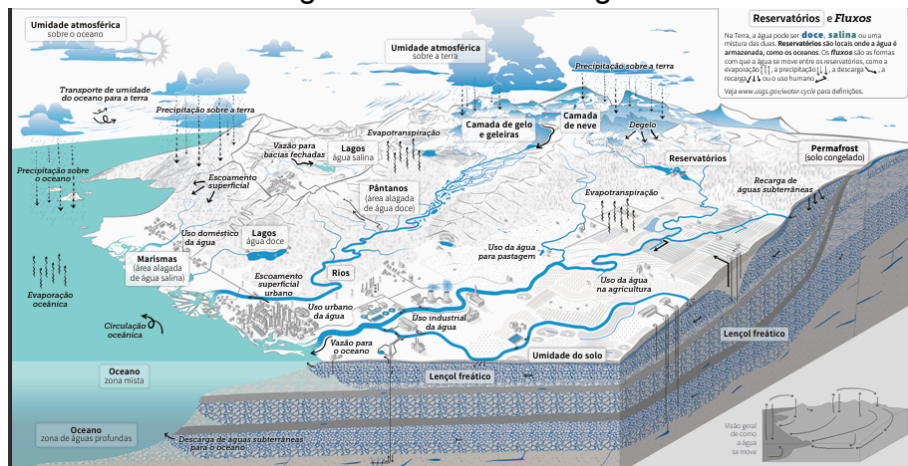
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CICLO HIDROLÓGICO

Hidrologia é a ciência que trata do estudo da água na natureza, analisando suas propriedades, distribuição e fenômenos associados na atmosfera, na superfície terrestre e no subsolo (Blucher, 1976; Dingman, 2015). Parte do que a hidrologia estuda diz respeito ao ciclo hidrológico, observado na Figura 1 e sendo descrito, de acordo com Tucci (2001), como o fenômeno global de circulação fechada da água entre a atmosfera e a superfície terrestre, impulsionado pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre.

Villela e Mattos (1975) descreve o início do ciclo hidrológico com a evaporação da água dos oceanos, sendo transportada pelo movimento das massas de ar. Sob determinadas condições, esse vapor é condensado, formando nuvens que podem resultar em precipitação. A precipitação que ocorre sobre a terra é dispersada de várias formas, sendo sua maior parte retida provisoriamente no solo, alimentando os aquíferos, enquanto outra parte escoam superficialmente até atingir rios, lagos e bacias hidrográficas, completando o ciclo com a evapotranspiração de plantas e a evaporação direta da superfície.

Figura 1 - Ciclo hidrológico



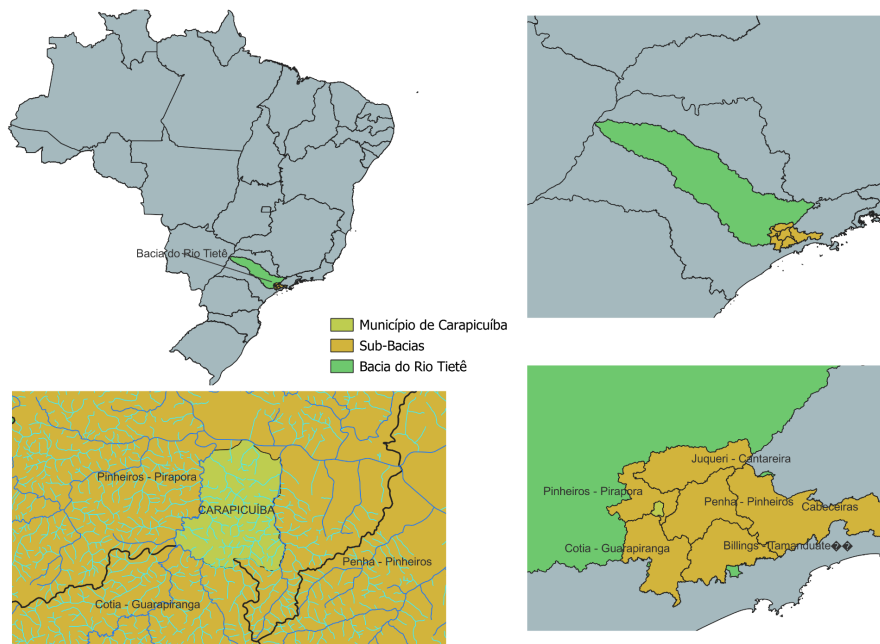
Fonte: USGS, 2024

Nesse contexto, a compreensão do ciclo hidrológico torna-se particularmente relevante quando se analisa o comportamento das bacias hidrográficas, unidade natural de captação e condução dos fluxos superficiais. Do ponto de vista da hidrologia da engenharia, a atenção é concentrada na fase terrestre do ciclo, onde a precipitação é captada, concentrada e conduzida para o exutório da bacia (Collischonn; Tassi, 2010).

2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS

Segundo Rocha (2001), uma bacia hidrográfica pode ser subdividida em sub-bacias, que por sua vez podem ser particionadas em microbacias, mantendo os mesmos princípios conceituais da bacia principal, permitindo uma hierarquização que auxilia a análise do comportamento hidrológico em diferentes escalas (Figura 2).

Figura 2 - Hierarquização das Bacias Hidrográficas



Fonte: Planos de Bacia UGRHI 6, 2021 (atualizado pela Autora, 2025).

A análise fisiográfica da bacia hidrográfica engloba o regime hidrológico, as características morfométricas (e.g., área, amplitude altimétrica, forma geométricas, etc.) e de ocupação de uso que influenciam o seu comportamento hidrológico superficial e subterrâneo (Kudamnya et al., 2021; Godard; Barriot, 2024).

2.2.1 Caracterização Fisiográfica

A análise fisiográfica das bacias fornece indicadores quantitativos essenciais para compreender sua resposta hidrológica (Mata-Lima et al., 2007; Jard et al., 2025). Parâmetros como área de drenagem (A) e o perímetro (P) constituem base para o cálculo de índices de forma, como o coeficiente de compacidade (Kc), o fator de forma (Kf), o índice de circularidade (Ic) e a relação de alongação (Re), que refletem a tendência da bacia à rápida concentração de escoamento (Horton, 1945; Villela; Mattos, 1975; Shekar,

2024). A interpretação desses índices é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Valores e Interpretações dos Parâmetros.

<i>Kf</i>	<i>Ic</i>	<i>Kc</i>	<i>Re</i>	Formato	Interpretação
0,75 – 1	1,0 - 0,8	1,0 - 1,25	0,9 - 1,0	Redonda	Alta tendência a enchentes
0,50 – 0,75	0,8 - 0,6	1,25 - 1,50	0,8 - 0,9	Mediana	Média tendência a enchentes
0,30 - 0,50	0,6 - 0,4	1,50 - 1,70	0,7 - 0,8	Oblonga	Baixa tendência a enchentes
< 0,30	< 0,4	> 1,70	0,5 - 0,7	Comprida	Tendência a conservação

Fonte: Vale et al., 2021; Ganie et al., 2024.

Segundo Strahler (1957), parâmetros da rede de drenagem, como a ordem dos cursos d'água (*U*), o comprimento total de canais (*Lt*) e a densidade de drenagem (*Dd*), refletem a eficiência do escoamento superficial. Redes mais ramificadas e com maior densidade de drenagem indicam menor tempo de concentração e maior potencial para picos de cheia (Horton, 1945; Villela; Mattos, 1975; Lopes et al., 2022). O Quadro 2 sintetiza as faixas interpretativas da *Dd* com base em França (1968).

Quadro 2 – Valores e Interpretação de Densidade de Drenagem

Dd (km/km²)	Tipo	Interpretação para a bacia hidrográfica
<1,5	Baixa	Baixo escoamento superficial e maior infiltração
1,5 - 2,5	Média	Tendência mediana de escoamento superficial
2,5 - 3,0	Alta	Alta tendência ao escoamento superficial e enxurradas
>3,0	Muito Alta	Alta tendência ao escoamento superficial, enxurradas e erosão

Fonte: Adaptado de França, 1968.

Outro parâmetro importante é a relação de bifurcação (*Rb*), que expressa a relação entre o número total de segmentos de certa ordem (*Nu*) e o número total dos de ordem imediatamente superior (*Nu+1*). Valores inferiores a 2 caracterizam uma bacia de drenagem plana ou ondulada, enquanto valores entre 3 e 4 indicam bacias mais dissecadas e hidrologicamente mais ativas (Christofolletti, 1980; Gupta et al., 2019).

Complementando essa análise, o índice de sinuosidade avalia o grau de curvatura do canal principal, influenciando a velocidade de escoamento. Valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo (Salgado et al., 2009; Vale et al., 2021).

Além disso, a frequência de fluxo (*Fs*), definida inicialmente por Horton (1945),

representa o número de canais por unidade de área. Maiores valores de F_s indicam maior escoamento superficial e menor capacidade de infiltração (Shekar, 2024), conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Valores e Interpretação da Frequência do Fluxo

Frequência do fluxo	Nt/A (km ²)
Muito alto	20 - 25
Alto	15 - 20
Moderadamente alta	10 - 15
Moderado	5 - 10
Baixo	0 - 5

Fonte: Adaptado de Shekar (2024).

Parâmetros complementares, como a extensão do percurso superficial (EPS), que indica a distância média percorrida pelas enxurradas desde o interflúvio até o canal principal, e a constante de manutenção do canal, que reflete o grau de erodibilidade, contribuem para a avaliação do tempo de resposta hidrológica e da estabilidade do sistema de drenagem (Christofolletti, 1980).

Quadro 4 – Valores e Interpretação da Constante de Manutenção do Canal (C_m)

Manutenção constante do canal	C_m
Menos erodível	> 0,5
Baixa erodibilidade	Entre 0,4 - 0,5
Erodível moderadamente baixa	Entre 0,3 - 0,4
Erodível moderada	Entre 0,2 - 0,3
Mais erodível	< 0,2

Fonte: Adaptado de Shekar (2024).

A textura de drenagem, definida originalmente por Horton (1945) como o número total de segmentos de canais presentes na bacia, está diretamente condicionada pela litologia, capacidade de infiltração e pela declividade do relevo, resultando em classificações que variam de “muito grossa” a “muito fina”. Texturas mais finas indicam maior densidade de canais e, conseqüentemente, maior dissecação do terreno (BUTT, 2025).

Adicionalmente, para caracterizar o potencial erosivo, utiliza-se também o índice de rugosidade (Ir), que combina amplitude altimétrica e a densidade de drenagem, refletindo

o grau de energia disponível para os processos de erosão e enxurradas (Sousa; Rodrigues, 2012), conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Valores e Interpretação do Índice de Rugosidade

Ir	Denominação	Forma de Relevo
0 - 150	Fraca	Plano com declividade média de até 3%
151 – 550	Média	Suave ondulado com declividade média entre 3 e 8%
551 – 950	Forte	Ondulado com declividade média entre 9 e 20%
> 950	Muito forte	Forte ondulado a escarpado, com declividade média >30%

Fonte: Adaptado de Sousa e Rodrigues (2012)

De forma integrada, esses parâmetros permitem caracterizar a bacia quanto à sua forma, estrutura, eficiência hidrológica e suscetibilidade a processos erosivos e hidrológicos, oferecendo subsídios essenciais para o planejamento ambiental, a gestão de riscos e o manejo adequado dos recursos hídricos.

2.3 PRECIPITAÇÃO

A precipitação, entendida por Blucher (1976) como a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre de qualquer forma, como chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada, representa a principal forma de entrada de água numa bacia hidrográfica. Em termos de hidrologia aplicada, a precipitação é o insumo primário que alimenta todo o sistema de drenagem, definindo a disponibilidade hídrica, o potencial de escoamento superficial, a recarga de aquíferos e o balanço hídrico da bacia.

Mata-Lima et al. (2005) e Collischonn e Tassi (2010) destacam que o conhecimento sobre a quantidade e distribuição espácio-temporal da precipitação é fundamental para planejar ações de controle de inundação e erosão do solo, bem como para o dimensionamento de obras hidráulicas relevantes para drenagem.

A precipitação é estudada por meio de séries pluviométricas históricas, análise estatística de precipitações extremas, modelagem hidrológica chuva-vazão e utilização de dados pluviométricos georreferenciados. Essas técnicas permitem relacionar precipitação com os parâmetros fisiográficos da bacia e prever sua resposta hidrológica diante de diferentes cenários. Estudos recentes têm demonstrado a importância desse vínculo, especialmente para avaliar risco de inundação, resposta a eventos extremos e impactos de uso do solo (Araújo et al., 2024).

2.4 INFILTRAÇÃO

Denomina-se infiltração ao fenômeno de penetração da água nas camadas de solo próximas à superfície do terreno, movendo-se para baixo, através dos vazios, sob a ação da gravidade, até atingir uma camada-suporte, que a retém, formando então a água do solo (Blucher, 1976; Parisi; Soares; Rosa Filho, 2020; Al-Layla; Al-Ogaidi, 2025).

À medida que a água infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo vão-se umedecendo de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil de umidade. Enquanto há aporte de água, o perfil de umidade tende à saturação em toda a profundidade, sendo a superfície, naturalmente, o primeiro nível a saturar. Normalmente, a infiltração decorrente de precipitações naturais não é capaz de saturar todo o solo, restringindo-se a saturar, quando consegue, apenas as camadas próximas à superfície, conformando um perfil típico onde o teor de umidade decresce com a profundidade (Tucci, 2001).

Villela e Mattos (1975) e Parisi, Soares e Rosa Filho (2020) explicam que existem alguns fatores que influenciam no fenômeno da infiltração. A permeabilidade do solo pode ser afetada por características como cobertura vegetal, compactação e infiltração de materiais finos. A capacidade de infiltração da água depende, de forma preponderante, dessas propriedades, uma vez que o fluxo descendente está diretamente condicionado à permeabilidade do solo e às condições físicas das camadas superficiais.

2.5 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial é o segmento do ciclo hidrológico que estuda o deslocamento das águas na superfície da Terra (Rocha et al., 2023). Considera-se o movimento da água a partir da porção de chuva que, caindo sobre um solo saturado de umidade ou impermeável, escoar pela sua superfície, formando sucessivamente as enxurradas ou torrentes, córregos, ribeirões, rios e lagos ou reservatórios de acumulação (Blucher, 1976; Boitrago et al., 2023).

Sua abrangência vai desde o excesso de precipitação que ocorre logo após uma chuva intensa e se desloca livremente pela superfície do terreno, até o escoamento de um rio, que pode ser alimentado tanto pelo excesso de precipitação como pelas águas subterrâneas (Tucci, 2001).

Os fatores que influenciam o escoamento superficial facilitam ou prejudicam sua

ocorrência, podendo ser de natureza climática, relacionado à precipitação ou de natureza fisiográfica ligados às características físicas da bacia (Villela; Mattos, 1975; Rocha et al., 2023). Diversas pesquisas apontam que o aumento da impermeabilização do solo resulta diretamente no aumento do escoamento superficial, causado pela expansão urbana. Tornando necessário buscar alternativas para reduzir a impermeabilização e, conseqüentemente, os casos de alagamentos urbanos (Justino, 2012; Li et al. 2019; Zain et al., 2025).

2.6 URBANIZAÇÃO DAS CIDADES

Em um ecossistema natural, livre de processos de urbanização e de intervenções antrópicas, o ciclo hidrológico ocorre de maneira equilibrada e harmoniosa, em que cada elemento da bacia hidrográfica desempenha sua função específica (Limeira, 2024). A urbanização altera esse equilíbrio desde os primeiros estágios, frequentemente promovendo a supressão da cobertura vegetal, o que desencadeia efeitos adversos sobre o ciclo hidrológico.

A diminuição da evapotranspiração reduz a umidade atmosférica local, enquanto a remoção da vegetação expõe o solo à erosão e à compactação durante períodos chuvosos, comprometendo sua capacidade de absorção natural. Além disso, a ausência de sistemas radiculares prejudica a formação de “canais” de infiltração, antes estabelecidos pelas plantas (São José dos Campos, 2021).

Superfícies impermeáveis, como telhados, ruas e calçadas, presentes em bacias urbanas, intensificam o desequilíbrio do ciclo hidrológico, acelerando o escoamento superficial e aumentando o potencial erosivo do solo. A ocupação territorial urbana, quando realizada sem planejamento integrado, agrava os problemas de drenagem, principalmente durante eventos hidrológicos de alta intensidade. Isso resulta no aumento da velocidade do escoamento superficial, no transporte elevado de sedimentos e no assoreamento de rios e lagos, reduzindo a capacidade de retenção desses corpos hídricos e elevando o risco de inundações (Tucci, 2001; Righetto, 2009).

A expansão urbana irregular, especialmente sobre Áreas de Preservação Permanente (APP), identificada na Figura 3a, representa um grave problema ambiental e social. Essas áreas, definidas pelo Código Florestal (Lei 12.651/2012), têm sua função ecológica comprometida, como observado em mapeamentos recentes (IMA Alagoas, 2015; MapBiomas, 2022).

Para mitigar esses impactos, é fundamental que os municípios atuem com fiscalização constante, implementem políticas de planejamento urbano eficazes, promovam o reassentamento de populações em ocupações irregulares e desenvolvam programas de educação ambiental voltados à preservação de APP (MMA, 2025; Araújo; Mota, 2013).

Tucci (2012) acrescenta que, é importante compreender, analisar e agir considerando as relações entre urbanização e ciclo hidrológico, principalmente em relação à execução e planejamento de projetos de infraestrutura urbana, pois a vazão de pico de inundações pode aumentar de seis a sete vezes, de acordo com a impermeabilização de uma bacia, por conta da expansão da malha urbana. Resultando em desastres naturais com perdas de bens materiais (Figura 3b) e perdas de vida.

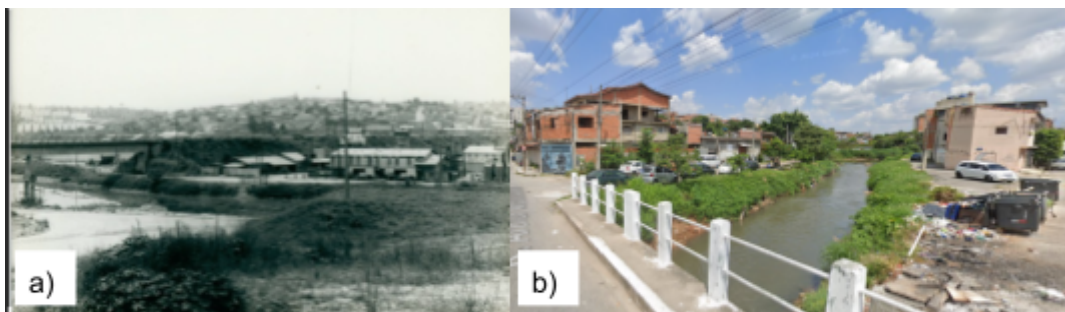
Figura 3 - Danos causados pela precipitação intensa: (a) residências na região ribeirinha; (b) situação da residência após o evento



Fonte: Carapicuíba Nua e Crua, 2024

A ocupação da bacia hidrográfica tende a ocorrer no sentido de jusante para montante, devido às características do relevo. Nesse processo, a população localizada a jusante sofre as piores consequências com razão da ocupação a montante (Tucci, 2001). Podendo observar o processo de urbanização na Figura 4.

Figura 4 - Antes (a) e depois (b) da ocupação em regiões ribeirinhas no município de Carapicuíba



Fonte: a) IBGE, S/D; b) Google Maps, 2024.

2.7 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

As áreas de preservação permanente (APP) foram instituídas pelo Código Florestal, Lei n° 12.651 de 25 de maio de 2012, e consistem em espaços territoriais legalmente protegidos, frágeis e vulneráveis no âmbito ambiental, podendo ser públicas ou privadas, urbanas ou rurais, cobertas ou não por vegetação nativa. Servindo para a manutenção da biodiversidade, de recursos hídricos, da paisagem e estabilidade geológica para além da superfície terrestre.

A mesma lei supracitada dispõe no seu artigo 4°, inciso I, acerca da proteção da vegetação nativa, estabelecendo distâncias de vegetação marginal, ou mata ciliar, a serem mantidas e que dependem da largura do canal do rio, como se mostra no Quadro 6. Para cursos d'água, a largura da faixa marginal é contada a partir da borda da calha do leito regular.

Quadro 6 – Área de Preservação Permanente (APP)

Largura do Curso D'Água	APP
Até 10 metros	30 metros
Entre 10 e 50 metros	50 metros
Entre 50 e 200 metros	100 metros
Entre 200 e 600 metros	200 metros
Superior 600 metros	500 metros
Áreas em torno de nascentes	Raio mínimo de 50 metros
Áreas em torno de lagos e lagoas naturais	30 metros em zonas urbanas

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2012.

2.8 ENCHENTES, ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES

As consequências dos eventos extremos, citados anteriormente, podem ser denominadas como enchentes, alagamentos e inundações. São eventos hidrológicos extremos que resultam do acúmulo ou transbordamento de água em rios, canais de drenagem e áreas urbanas. Apesar de muitas vezes serem usados como sinônimos, apresentam definições distintas, a enchente caracteriza-se pela elevação temporária do nível da água em cursos d'água, sem necessariamente transbordar suas margens. A inundação ocorre quando o volume de água excede o limite das margens, ocupando áreas normalmente secas, como várzeas, planícies de inundação e zonas urbanas ribeirinhas (Tucci, 2001). O alagamento refere-se ao acúmulo de água sobre superfícies urbanas devido à impermeabilização e à deficiência do sistema de drenagem. Já a enxurrada corresponde ao escoamento superficial concentrado e de alta energia, transportando sedimentos e detritos, sendo comum em áreas de declive acentuado (IPEA, 2025).

Figura 5 - Consequências de precipitações intensas no município de Carapicuíba.



Fonte: a) Carapicuíba Nua e Crua, 2025; b) Carapicuíba Nua e Crua, 2024; c) Carapicuíba Nua e Crua, 2025; d) Carapicuíba Nua e Crua, 2023; e) ViaOeste, 2025; f) Carapicuíba Nua e Crua, 2025.

As inundações provocam diversos impactos no ambiente construído, além de

oferecer riscos à saúde das populações expostas, especialmente devido à falhas nos sistemas de coleta de esgoto e manejo de resíduos sólidos (São Paulo, 2012; São José dos Campos, 2021).

Para mitigar os riscos, podem ser adotadas medidas estruturais e não-estruturais. As medidas estruturais extensivas atuam na bacia hidrográfica, alterando a relação entre precipitação e vazão, por exemplo, por meio da manutenção ou recuperação da cobertura vegetal, que reduz e retarda os picos de enchente e controla a erosão. As medidas estruturais intensivas atuam diretamente nos rios, podendo acelerar, retardar ou desviar o escoamento. Já as medidas não-estruturais incluem regulamentação do uso do solo, construções à prova de enchentes, seguros, além de sistemas de previsão e alerta de inundação (Tucci, 2001).

2.9 DRENAGEM URBANA

Durante muito tempo o objetivo principal da drenagem urbana foi remover as águas pluviais em excesso da forma mais eficiente possível para evitar transtornos, prejuízos e riscos de inundações. A partir de tal enfoque as ações concentraram-se na execução de projetos e obras e na análise econômica dos benefícios e custos dessas medidas, ditas estruturais (Tucci, 2001). O autor acrescenta que a drenagem urbana abrange um conjunto de medidas que têm por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável.

Em áreas urbanas, a drenagem se dá basicamente em dois níveis: a macrodrenagem e a microdrenagem. Segundo o Glossário do Atlas de Saneamento do IBGE (2011), estes termos são classificados como:

- **Macrodrenagem:** é o sistema de drenagem que compõe, basicamente, os principais canais de veiculação de vazões, recebendo contribuições das redes primária de microdrenagem e dos escoamentos laterais. Considerando macro e mesodrenagem os cursos d'água, galerias tubulares com dimensões maiores ou iguais a 1,20 metros de diâmetro, e galerias celulares com área da seção transversal de no mínimo 1 m².
- **Microdrenagem:** é o sistema de drenagem de coletores pluviais a nível de loteamento ou rede primária urbana, constituindo o elo entre os dispositivos de coleta do escoamento superficial e os elementos de macrodrenagem. Coleta e

conduz as contribuições provenientes das bocas de lobo ou caixas coletoras. A microdrenagem contempla coletores com diâmetros entre 0,30 e 1,20 metros e galerias celulares cuja área da seção transversal não chegam a 1 m².

O plano de drenagem deve ser entendido como parte de um abrangente processo de planejamento urbano e, portanto, coordenado com os demais planos, principalmente os de saneamento básico (água e esgoto), uso do solo e transportes (Canholi, 2014).

Tucci (2001) acrescenta que um plano diretor de drenagem urbana bem elaborado possibilita estudar a bacia hidrográfica como um todo e, conseqüentemente, chegar a soluções de alcance no espaço e tempo, estabelecer normas e critérios de projeto para toda a bacia, elaborar zoneamento da várzea de inundação, possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica pela articulação do plano de drenagem com outros existentes na região e, privilegiar a adoção de medidas preventivas de menor custo e maior alcance.

2.10 MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS

O manejo de águas pluviais consiste em um conjunto de práticas, infraestruturas e ações de gestão destinadas a controlar o escoamento da água da chuva nas áreas urbanas, de modo a reduzir riscos de inundações, alagamentos e impactos ambientais, promovendo a segurança hídrica e a sustentabilidade urbana (Tucci et al., 2020).

Historicamente, a falta de inclusão dos cursos d'água, margens e drenagem urbana nos planos de saneamento levou a recorrentes prejuízos socioambientais, econômicos e estruturais em muitos municípios, especialmente devido ao aumento da impermeabilização do solo e à expansão urbana desordenada (Righetto, 2009).

As estratégias de manejo podem ser divididas em medidas estruturais e não estruturais. As medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial evitando os prejuízos decorrentes das enchentes. Relacionadas a obras de coleta do escoamento, como bueiros e bocas de lobo, obras de detenção/retenção para acumulação de águas pluviais e obras de transporte de águas pluviais, como galerias e canais (Righetto, 2009; Tucci, 2001).

Já as medidas não estruturais atuam na redução da vulnerabilidade e dos impactos sociais e ambientais sem a necessidade de obras, abrangendo planejamento urbano, zoneamento de áreas suscetíveis, regulamentação do uso do solo, sistemas de alerta, educação ambiental e políticas de convivência com o risco (Andrade Filho et al., 2000).

Tais medidas tendem a ser mais sustentáveis, economicamente viáveis e eficientes no longo prazo, especialmente quando integradas com soluções estruturais em estratégias de gestão de risco e drenagem urbana (IPEA, 2025).

2.11 PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RISCOS

O Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) é um instrumento técnico-estratégico de planejamento urbano e gestão de risco, cujo objetivo principal é identificar, analisar e mitigar riscos socioambientais, como inundações, alagamentos e deslizamentos, que afetam territórios urbanos, especialmente em contextos de ocupação consolidada e alta vulnerabilidade social. O instrumento integra mapeamento detalhado de áreas de risco, classificação de graus de risco (hidrológico e geológico) e proposição de medidas estruturais e não estruturais que contribuam para reduzir a vulnerabilidade da população (Brasil, 2024).

O risco resulta da conjugação entre a probabilidade de ocorrência de um dado evento (e.g., precipitação intensa seguida de inundação) e as consequências resultantes (e.g., vítimas humanas ou danos materiais), razão pela qual depende dos elementos expostos (e.g., pessoas e bens) e as respectivas vulnerabilidades (Mata-Lima et al., 2013; Alvino-Borba et al., 2025).

Quadro 7 – Classificação de Referência dos Graus de Risco Hidrológico

Grau de Risco	Cenários
R1 - Baixo ou sem risco	<p>a) Enchentes e inundações com baixa energia cinética e baixo poder destrutivo (C1) atingindo moradias de bom padrão construtivo (V2), situadas em áreas com alta possibilidade de impacto direto do processo (P1);</p> <p>b) Enchentes e inundações com baixa energia cinética e baixo poder destrutivo (C1) atingindo moradias de baixo padrão construtivo (V2), situadas em áreas com baixa possibilidade de impacto direto do processo (P2);</p> <p>c) Enchente e inundações com baixa energia cinética e baixo poder destrutivo (C1) atingindo moradias de baixo padrão construtivo (V1), situadas em área com baixa possibilidade de impacto direto do processo (P2); e</p> <p>d) Enchentes e inundações com alta energia cinética e alto poder destrutivo (C2) atingindo moradias de bom padrão construtivo (V2), situadas em área com baixa possibilidade de impacto direto do processo (P2).</p>
R2 - Médio	<p>a) Enchentes e inundações com alta energia cinética e alta capacidade de transporte de material sólido e elevado poder destrutivo (C3) atingindo moradias de bom padrão construtivo (V2), situadas em áreas com baixa possibilidade de impacto direto do processo (P2);</p> <p>b) Enchentes e inundações com alta energia cinética e alto poder destrutivo (C2) atingindo moradias de baixo padrão construtivo (V1), situadas em áreas com alta possibilidade de impacto direto do processo (P2);</p> <p>c) Enchentes e inundações com alta energia cinética e alto poder destrutivo (C2) atingindo moradias de bom padrão construtivo (V2), situadas em áreas com alta possibilidade de impacto direto do processo (P1); e</p> <p>d) Enchentes e inundações com baixa energia cinética e baixo poder destrutivo (C3) atingindo moradias de baixo padrão construtivo (V1), situadas em áreas com alta possibilidade de impacto direto do processo (P1).</p>
R3 - Alto	<p>a) Enchentes e inundações com alta energia cinética e alta capacidade de transporte de material sólido e elevado poder destrutivo (C3) atingindo moradias de baixo padrão construtivo (V1), situadas em áreas com baixa possibilidade de impacto direto do processo (P2);</p> <p>b) Enchentes e inundações com alta energia cinética e alta capacidade de transporte de material sólido e elevado poder destrutivo (C3) atingindo moradias de bom padrão construtivo (V2), situadas em áreas com alta possibilidade de impacto direto do processo (P1); e</p> <p>c) Enchentes e inundações com alta energia cinética e alto poder destrutivo (C2) atingindo moradias de baixo padrão construtivo (V1), situadas em áreas com alta possibilidade de impacto direto do processo (P2).</p>
R4 - Muito Alto	<p>a) Enchentes e inundações com alta energia cinética e alta capacidade de transporte de material sólido e elevado poder destrutivo (C1) atingindo moradias de baixo padrão construtivo (V2) situadas em área com alta possibilidade de impacto direto do processo (P1).</p>

Fonte: BRASIL, 2024

2.12 GEOPROCESSAMENTO APLICADO AOS ESTUDOS DE INUNDAÇÕES

O geoprocessamento consiste em um conjunto de técnicas e métodos voltados à coleta, armazenamento, tratamento e análise de dados espaciais, produzindo informações georreferenciadas essenciais para análise ambiental, hidrológico-hidráulica e de uso e ocupação do solo (Zaidan, 2017). Dentro desse contexto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) configuram-se como ferramentas centrais, possibilitando a manipulação, visualização e análise de dados cartográficos e topográficos, bem como a integração de variáveis físicas, ambientais e sociais para a avaliação de risco de inundações (Burrough; Mcdonnell, 1998; Freiman; Carvalho, 2020).

A delimitação de microbacias e a extração de redes de drenagem consistem no primeiro passo em muitos estudos hidrológicos e de risco de inundação. Por meio de um Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizam-se alguns programas dentre os quais figura o *System for Automated Geoscientific Analyses* (SAGA GIS) que é utilizado para cartografar e categorizar a vulnerabilidade de uma bacia hidrográfica (Ighile, 2022).

A extração da declividade do terreno, por sua vez, é frequentemente realizada com *Geospatial Data Abstraction Library* (GDAL), ou equivalente, a partir do MDE. A declividade é uma variável geomorfológica essencial, pois influencia a velocidade e o caminho do escoamento superficial. Terrenos com maior declive tendem a favorecer o fluxo rápido e maior risco de concentração de águas superficiais. A declividade integrada com a rede de drenagem e a malha de microbacias permite caracterizar o comportamento hidrológico da bacia, essencial em estudos de inundações e manejo de águas pluviais (Lopes et al., 2022).

O HAND (*Height Above the Nearest Drainage*), desenvolvido por Rennó *et al.* (2008), mede a diferença altimétrica entre qualquer ponto da grade do MDE e o respectivo ponto de escoamento na drenagem mais próxima, considerando a trajetória superficial de fluxo (*flowpath*) que liga topologicamente os pontos da superfície com a rede de drenagem.

O zoneamento da suscetibilidade à inundação pode ser realizado utilizando o *HAND Model* (*Height Above Nearest Drainage*), conforme proposto por França (2024). Este modelo permite estimar a vulnerabilidade das áreas urbanas e rurais à inundação a partir da análise topográfica e da proximidade em relação à rede de drenagem, utilizando informações derivadas de MDE.

Finalmente, a classificação supervisionada para uso e cobertura do solo permite

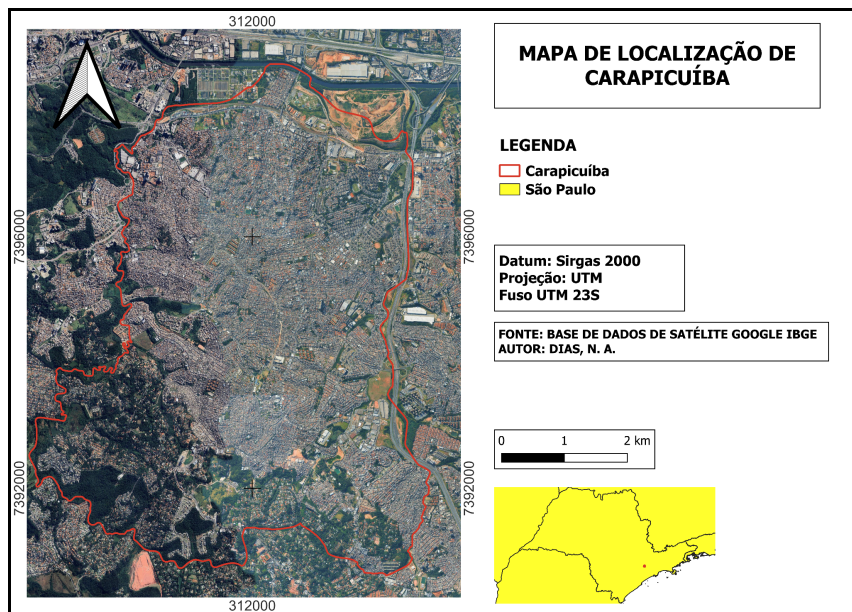
levantar a ocupação do território, tais como, áreas urbanas impermeáveis, vegetação, corpos d'água, a partir de imagens de sensoriamento remoto, com a ajuda de algoritmos de aprendizado de máquina ou de classificação estatística. Esse tipo de análise é crucial para entender como o uso do solo exerce influência na taxa de impermeabilização, no escoamento e no risco de inundação. A integração entre dados de uso do solo, a topografia, a drenagem natural e a suscetibilidade geomorfológica fornece uma base sólida para modelos de avaliação de risco e planejamento urbano sustentável. Em conjunto com os métodos anteriores, permite avaliar vulnerabilidades (ambiental e socioeconômica) face à inundação, sendo uma ferramenta central em estudos de geoprocessamento para gerenciamento de águas pluviais (Jensen, 2009; Pacheco, 2021).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Carapicuíba é um município localizado na região oeste da Capital de São Paulo (Figura 6), está geograficamente situado entre 23°34'57,74" S e 23°30'57,31" S de latitude, e 46°49'03,44" O e 46°51'07,03" de longitude. As altitudes máxima e mínima são de 850 m e 713 m acima do nível do mar, respectivamente, com área territorial de 34,55 km². Possui como limítrofes as cidades de Barueri a oeste e norte, Osasco a leste, Cotia a sul e Jandira a sudoeste.

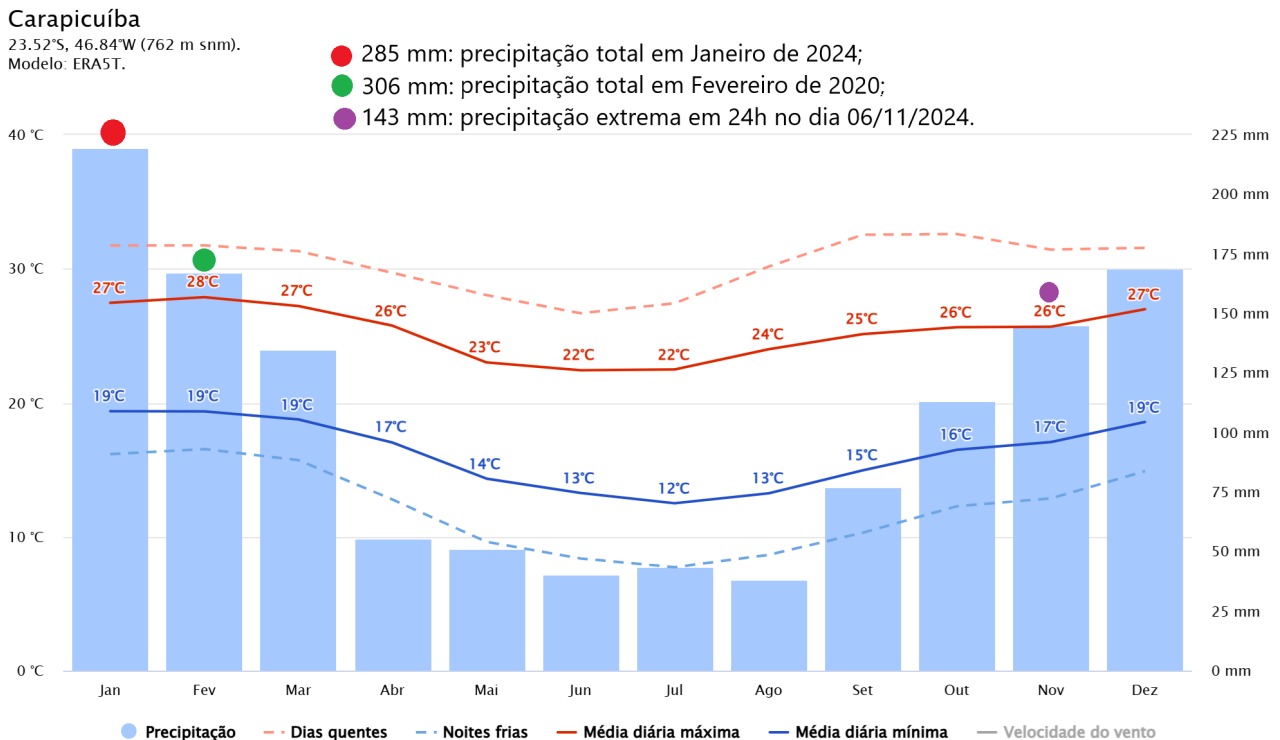
Figura 6 - Delimitação do município de Carapicuíba



Fonte: Autora, 2025.

O clima da cidade é subtropical, como em toda região metropolitana de São Paulo. A média de temperatura anual está em torno dos 18 graus centígrados, sendo o mês mais frio em julho (média de 14°C) e o mais quente em fevereiro (média de 22°C). O índice pluviométrico anual fica em torno de 1.383 milímetros (PMSB, 2018), sendo a distribuição ao longo do ano apresentada na Figura 7.

Figura 7 - Precipitação Média Mensal de Carapicuíba (01/1995 - 12/2024) com indicação de extremos recentes.



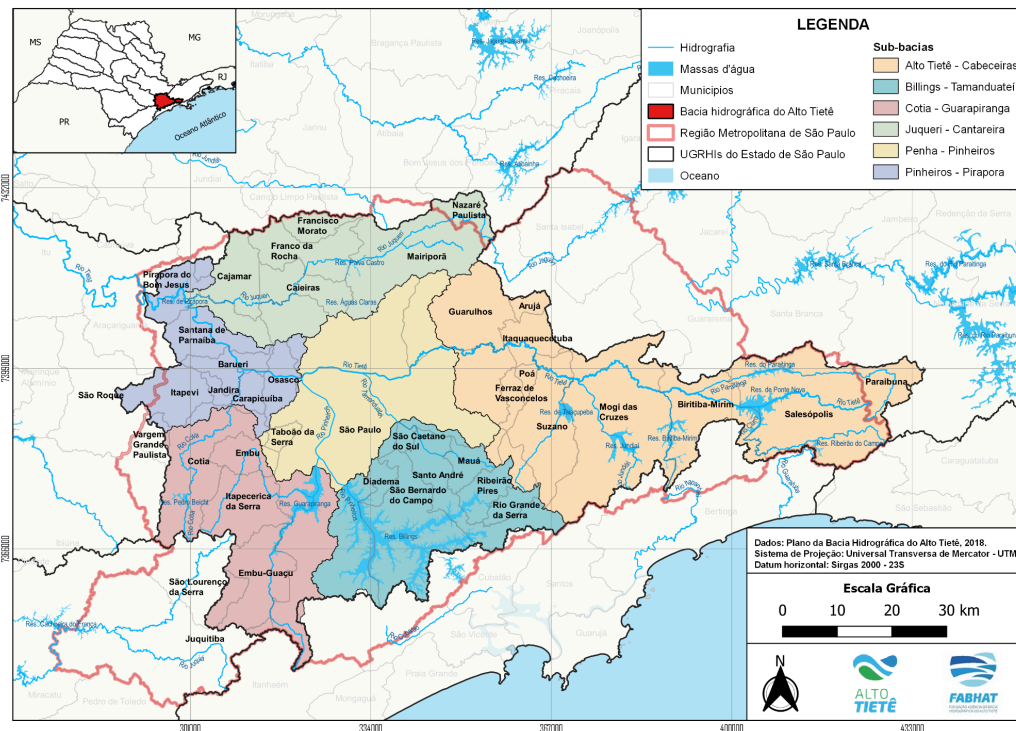
Fonte: Modificada de Meteoblue, 2025

De acordo com o Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (s.d), em fevereiro de 2020, ocorreu uma precipitação histórica de 305,8 mm registrada na estação próxima à lagoa de Carapicuíba.

Segundo o Instituto de Pesquisa Ambiental (IPA) e Oliveira et al. (1999), o tipo de solo do município é Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (PVA32), possuindo maior suscetibilidade à erosão quando estiver exposto.

A cidade de Carapicuíba está localizada dentro da região hidrográfica do Paraná, sua bacia hidrográfica é o Alto do Tietê (Figura 8), contemplando 31,81 km² de seu território na sub-bacia Pinheiros - Pirapora, e 2,73 km² na sub-bacia Cotia - Guarapiranga. Os cursos d'água que passam por Carapicuíba, que estabelecem fisicamente os limites do município, são o rio Tietê ao norte, que limita o território com Barueri; o rio Cotia a oeste (afluente do rio Tietê), separando a cidade do município de Jandira e Barueri; o Ribeirão Carapicuíba (afluente do rio Tietê) a leste, fazendo divisa com Osasco; e do Sul, o Ribeirão Moinho Velho, fazendo divisa com Cotia (afluente do rio Cotia). Vale salientar que o Córrego Cadaval, apesar de apresentar menor vazão de escoamento, percorre toda a extensão dentro dos limites do Município (Prefeitura Municipal de Carapicuíba, 2018).

Figura 8 - Sub-bacias Hidrográficas da Região Metropolitana de São Paulo



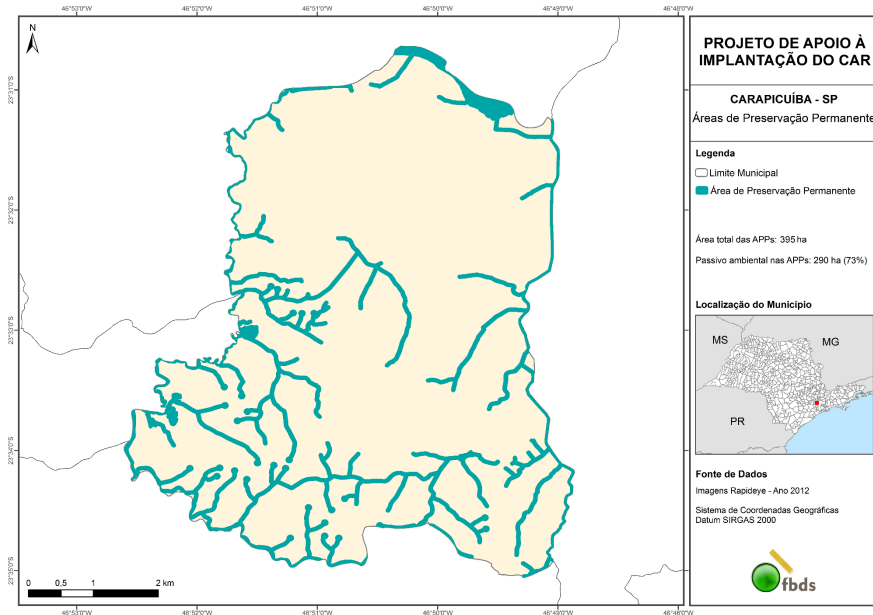
Fonte: SIGRH. IBGE, 2018.

O município é servido pelos trens da linha 8 da CPTM, contando com duas estações (Carapicuíba e Santa Teresinha) que já tiveram a circulação de trens interrompida devido a alagamento.

Registros informam que em 1960, havia 17 mil habitantes na cidade. Em 2004 o IBGE (2023) contabilizou 375.859 habitantes e em 2024 chegou a 398.462 habitantes. Atualmente o município possui 386.984 habitantes, atingindo uma densidade demográfica de 11.534 habitantes por km².

O município possui APP delimitada, conforme a Figura 9, e será usada para analisar o nível de adequação da ocupação e uso das microbacias definidas.

Figura 9 - Mapa de Área de Preservação Permanente (APP)



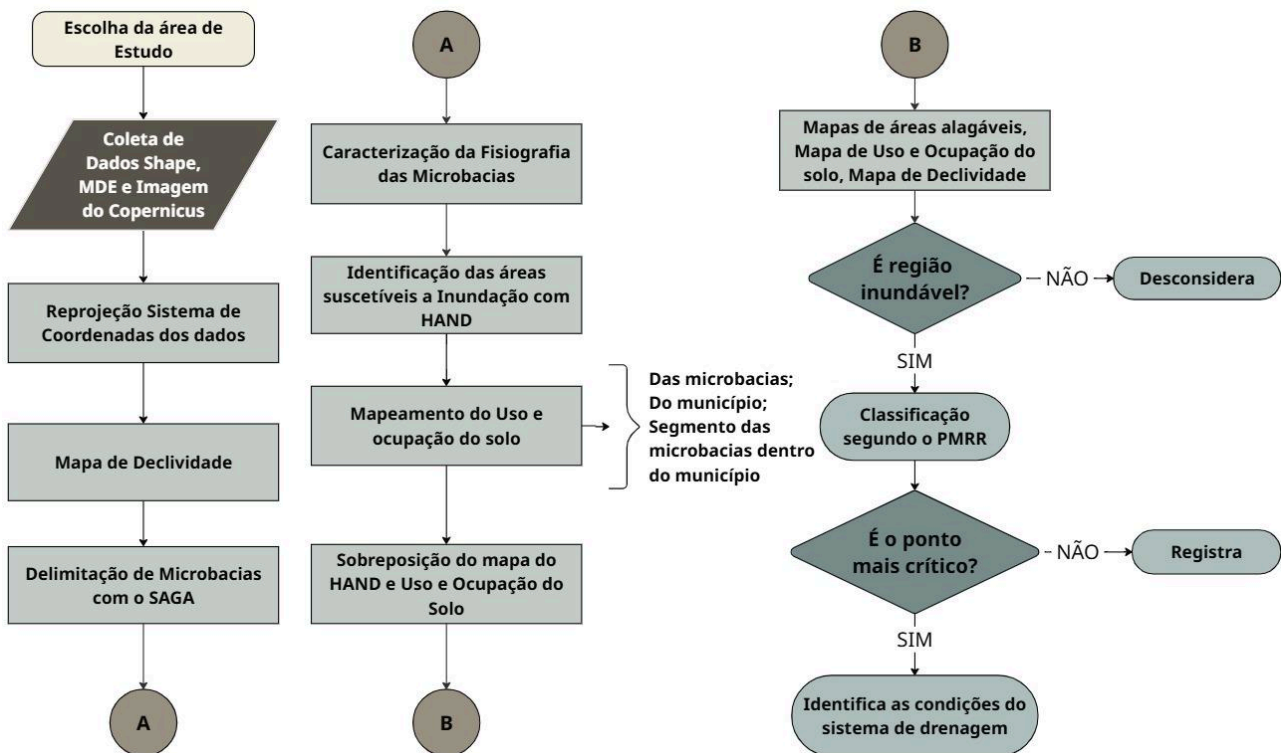
Fonte: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2021.

3.2 MÉTODOS

O presente estudo corresponde a uma pesquisa aplicada que aborda os desafios associados à drenagem urbana na cidade de Carapicuíba, na região oeste de São Paulo. A metodologia contempla as seguintes etapas principais:

- I. Análise do estado atual das microbacias hidrográficas que abrangem o município por meio de caracterização fisiográfica;
- II. Identificação de áreas onde ocorrem episódios frequentes de alagamento, inundação, bem como as áreas de preservação permanente (APP);
- III. Avaliação da suscetibilidade a alagamento e inundação, com base na fisiografia, ocupação e uso do solo e identificação de pontos críticos;

Figura 10 - Fluxograma das Etapas Metodológicas



Fonte: Autora, 2025.

3.2.1 Obtenção da Base de Dados e Processamento

O primeiro passo foi realizar a análise do território de estudo, fez-se o *download* da camada *shapefile* do município, das sub-bacias hidrográficas e a hidrografia da região na base de dados do Comitê de Bacias Hidrográficas do Alto do Tietê (CBH - AT) com escala de 1:50.000.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado é disponibilizado, gratuitamente, pela plataforma *EARTHDATA/NASA*, com data de 2011, produzido a partir das imagens do ALOS PALSAR, com resolução espacial de 12,5 m e escala de 1:62.500.

Para o estudo de uso e ocupação da terra, fez-se o *download* de duas cenas Sentinel - 2, com alta resolução de 10 metros do dia 26 de novembro de 2024, pelo site do Copernicus Browser. O processamento dos dados foi conduzido em ambiente de SIG, utilizando-se o *software* gratuito e livre QGIS 3.36.2. Todos os arquivos espaciais foram reprojatados para o Sistema de Referência de Coordenadas SIRGAS 2000 / UTM Zona 23S (EPSG: 31983), que corresponde à zona cartográfica da área de estudo.

3.2.2 Mapa de Declividade

A geração do mapa de declividade foi realizada segundo a metodologia proposta por Santos (2020), utilizando o comando “declividade” do GDAL no QGIS. Em seguida, os valores obtidos foram reclassificados por meio de tabela de atributos, de modo a atribuir nomenclaturas correspondentes aos intervalos definidos pelas classes de relevo da Embrapa (1979), conforme apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 – Classes de Relevo

Declividade (%)	Discriminação
0 - 3	Relevo Plano
3 - 8	Relevo Suavemente Ondulado
8 - 20	Relevo Ondulado
20 - 45	Relevo Fortemente Ondulado
45 - 75	Relevo Montanhoso
> 75	Relevo Fortemente Montanhoso

Fonte: Adaptado, Embrapa (1979)

3.2.3 Caracterização das Microbacias

A delimitação das microbacias hidrográficas foi realizada no QGIS utilizando o complemento SAGA, por meio da ferramenta “*Channel Network and Drainage Basins*”, aplicada ao MDE previamente processado. Esse procedimento permitiu identificar todas as microbacias que influenciam o município de Carapicuíba, conforme a metodologia proposta por Santos (2020).

Posteriormente, foram determinadas as características fisiográficas das microbacias, considerando os parâmetros apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 – Fórmulas para Calcular Parâmetros Fisiográficos.

Eq.	Parâmetro	Fórmula	Referência
Parâmetros geométricos			
-	Área da bacia (<i>A</i>)	Análise GIS / MDE	(SALGADO et al. 2009)
-	Perímetro (<i>P</i>)	Análise GIS / MDE	(SALGADO et al. 2009)
-	Comprimento do Rio Principal (<i>L</i>)	Análise GIS / MDE	(VALE et al. 2021)
-	Comprimento Vetorial do Rio (<i>D_v</i>)	Análise GIS / MDE	(VALE et al. 2021)
1	Comprimento da Bacia (<i>L_b</i>)	$L_b = 1,312 * A^{0,568}$	(BHARATH et al, 2021)
2	Fator de Forma (<i>K_f</i>)	$K_f = A/L^2$	(VALE et al. 2021)

Eq.	Parâmetro	Fórmula	Referência
Parâmetros geométricos			
3	Índice de Circularidade (Ic)	$Ic = (12,57 * A)/P^2$	(VALE et al. 2021)
4	Coefficiente de Compacidade (Kc)	$Kc = 0,28 * P/A^{0,5}$	(VALE et al. 2021)
Parâmetros de Drenagem			
-	Ordem do Fluxo (U)	Classificação hierárquica de fluxos	(CHRISTOFOLETTI, 1980)
5	Número de Todos os Fluxo (Nt)	$Nt = N_1 + N_2 + \dots + N_n$	(BHARATH et al, 2021)
-	Número do Fluxo (Nu)	Número de Fluxo para cada Ordem	(BHARATH et al, 2021)
6	Comprimento de Todos os Fluxos (Lt)	$Lt = L_1 + L_2 + \dots + L_n$	(BHARATH et al, 2021)
-	Comprimento do Fluxo (Lu)	Comprimento do fluxo para cada Ordem	(BHARATH et al, 2021)
7	Razão de Bifurcação (Rb)	$Rb = N_u/N_{u+1}$	(CHRISTOFOLETTI, 1980)
8	Densidade de Drenagem (Dd)	$Dd = Lt/A$	(CHRISTOFOLETTI, 1980)
9	Índice de Sinuosidade (Is)	$Is = L/Dv$	(SALGADO et al. 2009)
10	Coefficiente de Manutenção dos Fluxos (Cm)	$Cm = 1/Dd$	(CHRISTOFOLETTI, 1980)
11	Frequência de Fluxo (Fs)	$Fs = \sum Nu / A$	(CHRISTOFOLETTI, 1980)
12	Extensão do Percorso Superficial (Eps)	$Eps = 1/(2 * Dd)$	(CHRISTOFOLETTI, 1980)
13	Relação de Elongação (Re)	$Re = (1,128 * A^{0,5})/Lb$	(BHARATH et al, 2021)
Parâmetros de relevo			
-	Elevação Máxima da Bacia (Z) Metros	Análise GIS / MDE	(BHARATH et al, 2021)
-	Elevação da Saída da Bacia (z) Metros	Análise GIS / MDE	(BHARATH et al, 2021)
-	Relevo Total da Bacia (H)	Análise GIS / MDE	(BHARATH et al, 2021)
14	Textura de Drenagem (Dt)	$Dt = Nt / P$	(BHARATH et al, 2021)
15	Índice de Rugosidade (Ir)	$Ir = H * Dd$	(CHRISTOFOLETTI, 1980)
-	Elevação da Nascente (En)	Análise GIS / MDE	
-	Elevação da Foz (Ef)	Análise GIS / MDE	
16	Declividade Média do Talvegue(%)	$Dr = (En - Ef)/L$	(BHARATH et al, 2021)
17	Declividade Média do Terreno(%)	$Dn = (Z - z)/Lb$	(BHARATH et al, 2021)

Fonte: Autora, 2025.

3.2.4 Zoneamento da Suscetibilidade à Inundação com HAND

Para o estudo de suscetibilidade à inundação, foi seguido a metodologia proposta por França (2024), aplicando o *HAND Model*. A partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) corrigido, determinou-se a direção de fluxo da água, identificando os caminhos que as inundações poderiam seguir. Posteriormente, calculou-se a acumulação de fluxo, permitindo quantificar a água que cada porção do terreno era capaz de concentrar, e realizou-se a reclassificação por tabela, dividindo as classes em: Muito Alta (0 m a 1 m); Alta (1 m a 5 m); Média (5 m a 10 m); Baixa (10 m a 25 m); Muito baixa (25 m a 100 m); segundo a metodologia de. Por fim, gerou-se o mapa HAND, representando a elevação de cada ponto em relação à drenagem mais próxima, o que forneceu uma visualização clara das áreas com maior suscetibilidade à inundação.

3.2.5 Uso e Ocupação da Terra

Fez-se o mosaico das duas cenas do Sentinel-2 usando uma composição colorida natural B2G3R4. Definiram-se 4 classes de uso do solo, de acordo com as orientações do manual de uso e cobertura do IBGE (2013), apresentado no Quadro 10. Coletaram-se 17 amostras para cada classe, treinou-se o algoritmo pelo *plugin Orfeo ToolBox* (OTB), usando o classificador *Library for Support Vector Machines* (Libsvm), que é um classificador não-paramétrico que busca o hiperplano ótimo para separar classes com a maior margem possível, criando padrões espectrais a partir das amostras de treinamento e permitindo que o algoritmo seja treinado para classificar novos dados com base em vetores de suporte que definem as fronteiras de decisão (Cortes; Vapnik, 1995). Usou-se 50 % das amostras para treinar e 50% para classificar. Procedeu-se ao cálculo das áreas correspondentes a cada classe de uso e cobertura do solo, considerando exclusivamente os segmentos das microbacias inseridas dentro dos limites municipais.

Quadro 10 – Classe da Cobertura e do Uso da Terra.

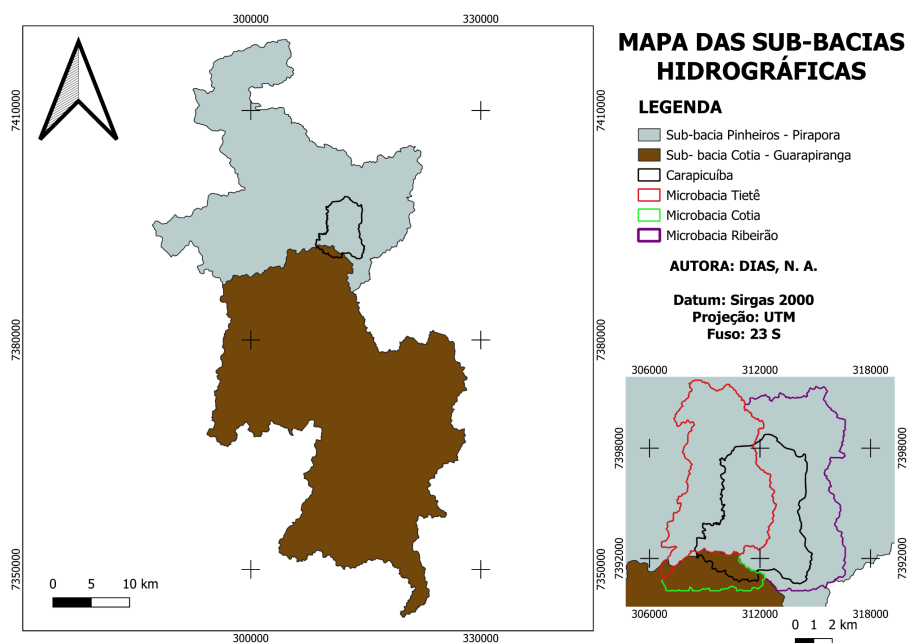
Nível	Cor	Classe
Áreas Antrópicas não Agrícolas		Área Urbana
Áreas Antrópicas Agrícolas		Solo exposto
Área de Vegetação Natural		Vegetação
Corpos d'água		Água

Fonte: Adaptado do IBGE, 2006.

4 RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO

Para realizar um estudo que representasse adequadamente o município, tornou-se necessário identificar as microbacias que contribuem para o escoamento superficial. Observou-se, através da análise hidrológica, que o território municipal contempla três microbacias distintas. Diante disso, ampliou-se a área de estudo para incorporá-las integralmente, sendo estas denominadas microbacias do Ribeirão - Osasco (a Leste), Cotia (ao Sul) e Tietê - Barueri (a Oeste), conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Mapa das sub-bacias da bacia do Alto do Tietê

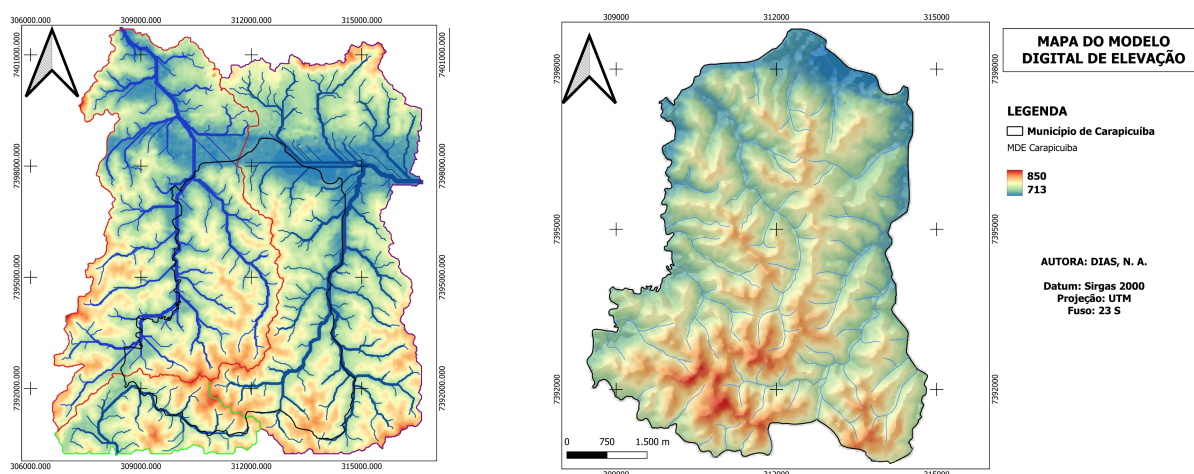


Fonte: Autora, 2025.

4.1 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS DO MUNICÍPIO

A representação altimétrica possibilita relacionar a topografia local com o padrão de escoamento superficial. As Figuras 12 (a) e (b) apresentam, respectivamente, os valores altimétricos das microbacias e do município, respectivamente.

Figura 12 - Mapa do Modelo Digital de Elevação (MDE)



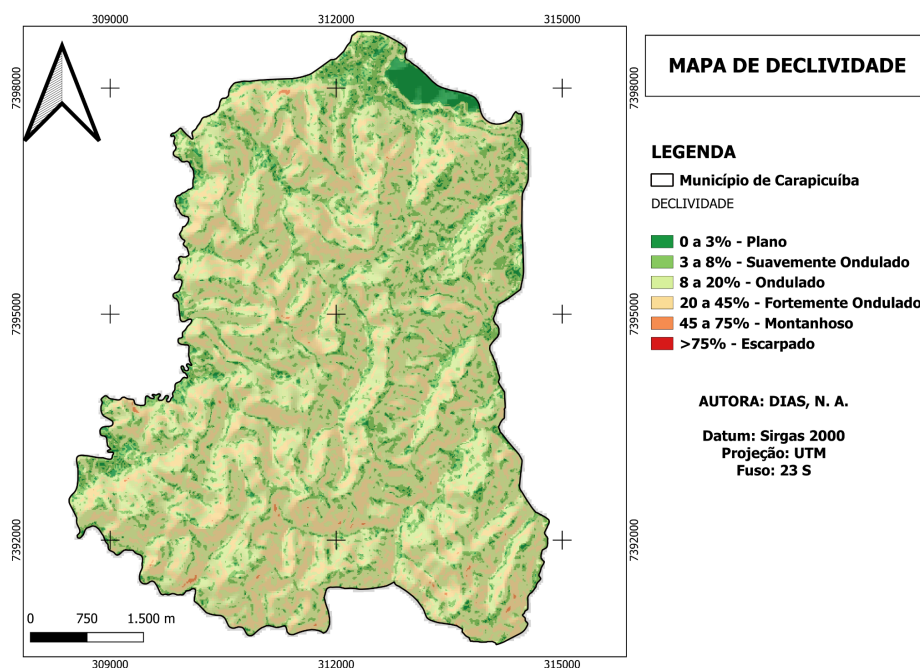
a) Microbacias que envolvem parcialmente o município. b) Município de Carapicuíba

Fonte: Autora, 2025.

O MDE municipal evidenciou altitudes variando entre 713 m e 850 m, resultando em amplitude altimétrica de 137 m, característica de um relevo relativamente suave. As microbacias analisadas apresentam padrões altimétricos semelhantes às do município. Considerando que os limites municipais coincidem com os rios principais dessas microbacias, observa-se que o relevo pode favorecer a ocorrência de inundações nas áreas situadas próximas às margens.

Para caracterizar o relevo municipal com maior precisão, elaborou-se também o mapa de declividade (Figura 13), conforme as definições da EMBRAPA (1979). Esse mapeamento permitiu quantificar a extensão correspondente a diferentes faixas de declividade, evidenciando que 52,2% do território apresenta relevo ondulado, 23,94% fortemente ondulado e 19,42% suavemente ondulado, conforme ilustrado no Quadro 11, confirmando a interpretação obtida na análise do MDE.

Figura 13 - Mapa de Declividade



Fonte: Autora, 2025.

Quadro 11 - Classes de Declividade do Município

Declividade (%)	Classe	Área (km ²)	%
0 - 3	Relevo Plano	1,39	4,02
3 - 8	Relevo suavemente ondulado	6,71	19,42
8 - 20	Relevo ondulado	18,14	52,50
20 - 45	Relevo fortemente ondulado	8,27	23,94
45 - 75	Relevo montanhoso	0,04	0,12
>75	Relevo fortemente montanhoso	0,00	0,00
Área total de todas as classes		34,55	100,00

Fonte: Autora, 2025.

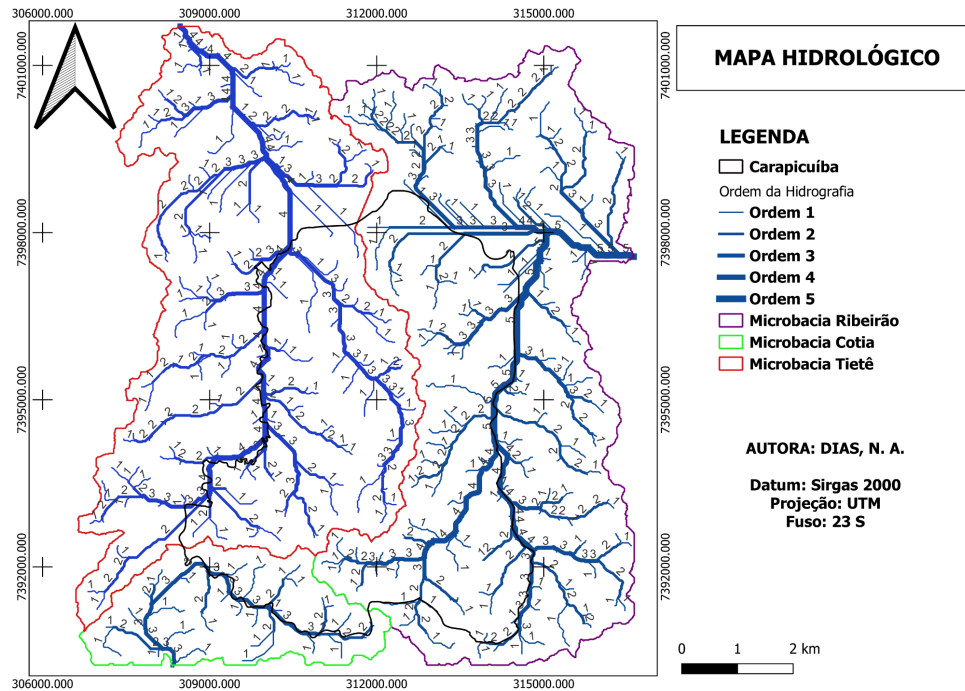
4.2 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA

Para a compreensão do comportamento hidrológico de uma bacia, é fundamental determinar suas características fisiográficas. Os parâmetros fisiográficos das microbacias foram obtidos por meio das fórmulas apresentadas no Quadro 9, sendo classificados em parâmetros geométricos, de drenagem e de relevo. Os valores foram calculados a partir das informações processadas no QGIS (Figura 14) e sintetizados nos Quadros 12 a 14.

A análise dos parâmetros calculados das microbacias, incluindo o fator de forma, o

índice de circularidade, o coeficiente de compacidade e a relação de alongação, constatou-se que as microbacias apresentam um formato predominantemente alongado, característica que contribui para uma menor propensão à ocorrência de enchentes.

Figura 14 - Mapa Hidrográfico das Microbacias



Fonte: Autora, 2025.

Quadro 12 - Parâmetros Geométricos das Microbacias Hidrográficas

Parâmetros	Unidade	Ribeirão	Cotia	Tietê
Parâmetros geométricos				
Área (A)	km ²	43,76	8,78	40,07
Perímetro (P)	km	51,05	19,22	49,47
Comprimento da Bacia - Canal Axial (L_b)	km	11,22	4,51	10,67
Comprimento do Rio Principal (L)	km	11,00	6,63	13,52
Comprimento Vetorial do Rio (D_v)	km	10,04	6,16	12,66
Fator de Forma (K_f)	adim	0,36	0,20	0,22
Índice de Circularidade (I_c)	adim	0,21	0,30	0,21
Coeficiente de Compacidade (K_c)	adim	2,16	1,82	2,19
Relação de Alongação (R_e)	adim	0,66	0,74	0,67

Fonte: Autora, 2025.

Quadro 13 - Parâmetros de Drenagem das Microbacias Hidrográficas

Parâmetros	Unidade	Ribeirão	Cotia	Tietê
Parâmetros de Drenagem				
Ordem do Fluxo (<i>U</i>)	adim	5	3	4
Número total dos Fluxos (<i>Nt</i>)	adim	353	63	302
1ª Ordem <i>Nu1</i>	adim	178	33	152
2ª Ordem <i>Nu2</i>	adim	92	15	75
3ª Ordem <i>Nu3</i>	adim	43	15	39
4ª Ordem <i>Nu4</i>	adim	19	0	36
5ª Ordem <i>Nu5</i>	adim	21	0	0
Comprimento do Fluxo (<i>Lt</i>)	km	124,25	23,19	108,58
1ª Ordem <i>Lu1</i>	km	60,63	12,81	53,57
2ª Ordem <i>Lu2</i>	km	36,45	4,94	31,59
3ª Ordem <i>Lu3</i>	km	15,52	5,44	13,05
4ª Ordem <i>Lu4</i>	km	5,69	0,00	10,38
5ª Ordem <i>Lu5</i>	km	5,96	0,00	0,00
Razão de Bifurcação (<i>Rb</i>)	adim	7,24	3,20	5,03
<i>Rb1=Nu1/Nu2</i>	adim	1,93	2,20	2,03
<i>Rb2=Nu2/Nu3</i>	adim	2,14	1,00	1,92
<i>Rb3=Nu3/Nu4</i>	adim	2,26	-	1,08
<i>Rb4=Nu4/Nu5</i>	adim	0,90	-	-
Densidade de Drenagem (<i>Dd</i>)	km/km ²	2,84	2,64	2,71
Índice de Sinuosidade (<i>IS</i>)	adim	1,10	1,08	1,07
Coefficiente de Manutenção dos Fluxos (<i>Cm</i>)	km ² /km	0,35	0,38	0,37
Frequência de Fluxo (<i>Fs</i>)	km ⁻²	8,07	7,18	7,54
Extensão do Percurso Superficial (<i>Eps</i>)	km	0,18	0,19	0,18

Observa-se que a microbacia Ribeirão apresenta ordem de fluxo 5, seguida pelas microbacias Tietê e Cotia, com ordens 4 e 3, respectivamente. A elevada quantidade de tributários, assim como o comprimento de fluxos nas duas maiores microbacias, indica uma maior concentração de vazão nos canais de ordens superiores.

A razão de bifurcação (*Rb*) das diferentes ordens de todas as microbacias estão entre 0,9 e 2,26, indicando que a bacia de drenagem é plana ou ondulada. O maior valor de *Rb* refere-se a Ribeirão, com 2,26, seguido de Cotia, com 2,20 e por fim Tietê, com 2,03. Indicando que Ribeirão possui relevo mais ondulado, enquanto Tietê é mais plano.

A densidade de drenagem (Dd) de todas as microbacias estão acima de 2,5 km/km², indicando que todas possuem alta tendência ao escoamento superficial e enxurradas, a microbacia com menor tendência ao escoamento superficial é a microbacia Cotia, com 2,64, seguido de Tietê, com 2,71 e Ribeirão com 2,84.

O índice de sinuosidade (I_s) de todas as microbacias estão próximas de 1,0, indicando que os canais tendem a ser retilíneos, contribuindo para um escoamento superficial mais rápido visto que a água percorre um trajeto mais direto.

A frequência de fluxo (F_s) das microbacias está entre 7,18 e 8,07 córregos por km², indicando que todas possuem relevo ondulado e solo com moderada capacidade de infiltração.

O coeficiente de manutenção (C_m) das microbacias estão na faixa de 0,35 e 0,38, apresentando uma textura erodível moderadamente baixa, ou seja, os canais conseguem lidar com uma quantidade moderada de transporte de sedimentos.

A extensão do percurso superficial das microbacias está entre 0,18 e 0,19 km, indicando um grau de intensidade de escoamento alto, ou seja, o fluxo percorre um caminho curto até chegar à foz.

Os resultados referentes a Dd , I_s , F_s , C_m e EPS indicam que todas as microbacias possuem relativa propensão para ocorrência de enchentes, razão pela qual o fato do leito de cheia estar ocupado com infraestrutura urbana é responsável pelas inundações frequentes.

Quadro 14 - Parâmetros de Relevo

Parâmetros	Unidade	Ribeirão	Cotia	Tietê
Parâmetros de relevo				
Elevação Máxima da Bacia (Z)	m	851,00	850,00	860,00
Elevação da Saída da Bacia (z)	m	719,04	745,00	717,00
Relevo Total da Bacia (H)	m	131,96	105,00	143,00
Textura de Drenagem (Dt)	km ⁻¹	6,91	3,28	6,10
Índice de Rugosidade (I_r)	-	374,66	277,44	387,51
Elevação da Nascente	m	791,00	789,00	771,59
Elevação da Foz	m	719,04	745,00	717,00
Declividade Média do Talvegue	%	0,65	0,66	0,40
Declividade Média do Terreno	%	1,31	1,70	1,13

O índice de rugosidade das microbacias está entre 277 e 387, indicando relevo suave ondulado. A microbacia Cotia apresenta uma textura de drenagem grosseira, com o valor

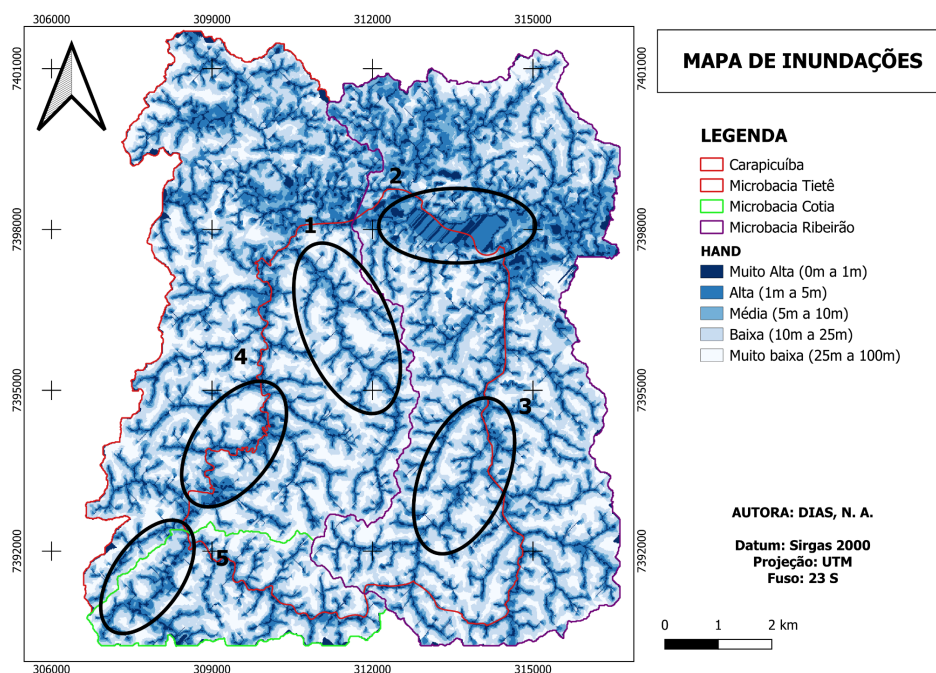
de 3,28, indicando que a rede de drenagem possui uma boa infiltração e o espaçamento entre os canais é maior. Ribeirão e Tietê possuem textura de drenagem fina, com valores de 6,91 e 6,10, respectivamente, indicando que os canais de drenagem estão mais próximos uns dos outros, o solo é mais impermeável e apresentam maior tendência ao escoamento superficial. A declividade média dos talvegues está entre 0,40 e 0,66%, indicando declividade suave. A declividade média do terreno situa-se entre 1,13% a 1,70%.

4.3 MAPEAMENTO DAS ÁREAS INUNDÁVEIS COM HAND

Utilizando o programa HAND, integrado ao QGIS, foi possível delimitar a mancha de inundação das microbacias analisadas (Figura 15). Foram identificadas cinco regiões com tendência a alagamento nas áreas situadas próximas ou inseridas nos limites do município, desconsiderando-se a mancha associada ao Rio Tietê, presente na microbacia homônima.

Dentre essas regiões mapeadas, duas localizam-se na microbacia do Ribeirão (representadas em roxo), duas na microbacia do Tietê (em vermelho) e uma na microbacia do Cotia (em verde). Para identificar qual dessas regiões apresenta maior criticidade, tornou-se necessária a comparação dos resultados obtidos com o mapa de uso e ocupação do solo.

Figura 15 - Mancha de Inundação

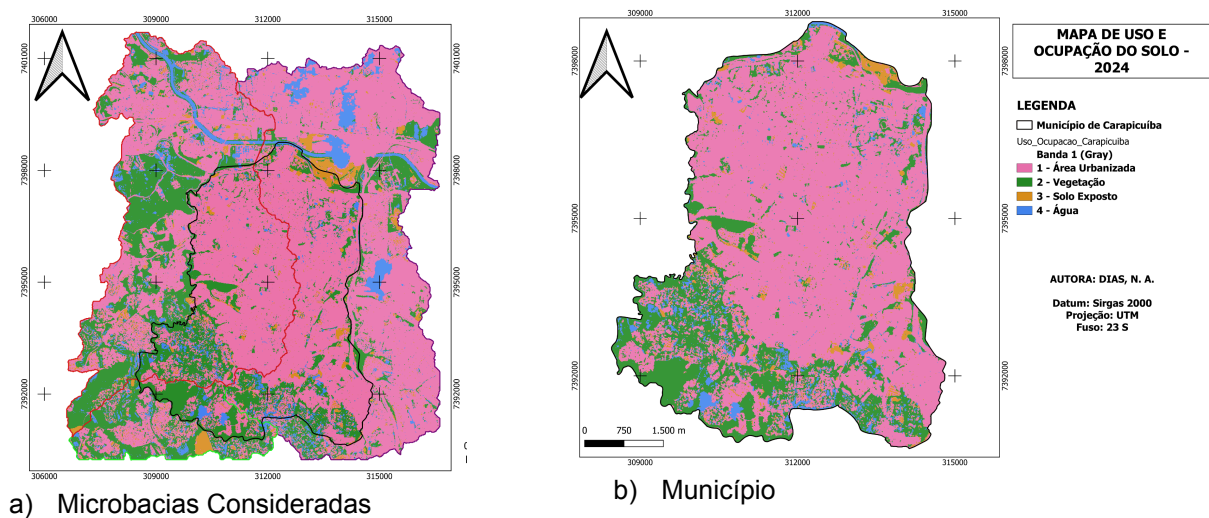


Fonte: Autora, 2025

4.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O mapa gerado de uso e ocupação da terra, apresentado da Figura 16, seguiu o padrão nacional de mapeamento temático proposto pelo IBGE (2006), conforme o Quadro 10. Os valores correspondentes a cada classe estão apresentados no Quadro 15 e, seus percentuais na Figura 17.

Figura 16 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo



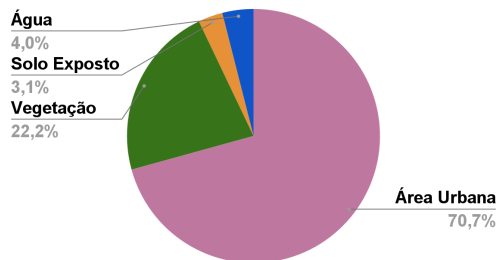
Fonte: Autora, 2025.

Quadro 15 - Área de Cada Classe

Classe	Carapicuíba	Tietê	Cotia	Ribeirão
	km ²			
Área Urbana	24,44	25,10	3,06	32,12
Vegetação	7,66	11,92	4,66	6,82
Solo Exposto	1,08	0,54	0,54	1,94
Água	1,37	2,52	0,50	2,88
Área Total	34,55	40,07	8,77	43,76

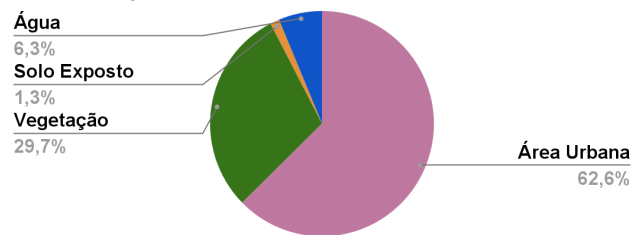
Figura 17 - Percentual das Áreas de Uso e Ocupação

Uso e Ocupação do Solo de Carapicuíba



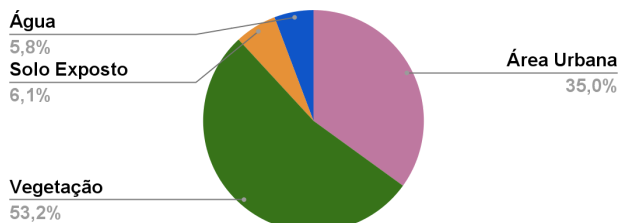
a) Município de Carapicuíba

Uso e Ocupação do Solo do Tietê



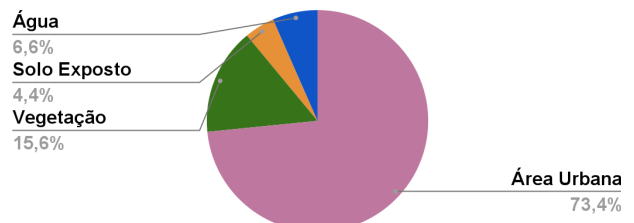
b) Microbacia Tietê

Uso e Ocupação do Solo de Cotia



c) Microbacia Cotia

Uso e Ocupação do Solo de Ribeirão



d) Microbacia Ribeirão

Fonte: Autora, 2025

A partir da classificação supervisionada das imagens do satélite Sentinel-2, com o treinamento do algoritmo no OTB, foi possível quantificar, em quilômetros quadrados, os tipos de classes de uso e ocupação do solo presentes no município e nas microbacias analisadas.

No município de Carapicuíba, a área urbanizada totaliza 24,44 km², correspondendo a 70,7% da extensão municipal. As áreas com cobertura vegetal somam 7,66 km² (22,2% do território), distribuindo-se principalmente em fragmentos remanescentes e áreas de preservação. A água superficial visível, proveniente principalmente do rio Cotia, ocupa 1,37 km², equivalente a 4,0% da área municipal. O solo exposto abrange 1,08 km² (3,1%), sendo grande parte associada à Lagoa de Carapicuíba, uma antiga cava de mineração de areia que sofreu contaminação por metais pesados e foi posteriormente aterrada com resíduos diversos.

A microbacia do Tietê apresenta 25,10 km² de área urbanizada, correspondendo a 62,6% de sua extensão total. A vegetação ocupa 11,92 km² (29,7%), sendo relevante destacar que grande parte dessa cobertura localiza-se fora dos limites municipais. A água superficial totaliza 2,52 km² (6,3%), principalmente devido ao rio Tietê, que possui a maior

vazão entre os cursos d'água que margeiam o município. O solo exposto ocupa 0,54 km², representando 1,3% da área da microbacia.

A microbacia de Cotia possui a menor área entre as microbacias estudadas. Sua área urbanizada é de 3,06 km², representando 35% da extensão total, enquanto a vegetação cobre 4,66 km², ou 53,2% da área. O solo exposto ocupa 0,54 km² (6,1%), principalmente devido às intervenções de terraplenagem para a construção de um galpão logístico. A área de água corresponde a 0,50 km², equivalente a 5,8% da microbacia.

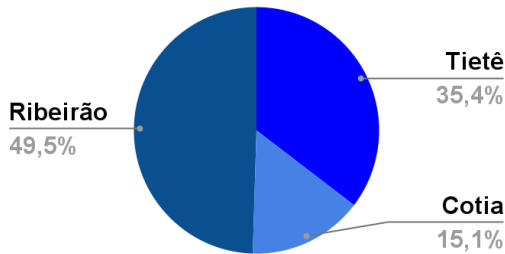
Na microbacia do Ribeirão, com área total de 43,76 km², a urbanização atinge 32,12 km², ou 73,4% de sua extensão. A vegetação ocupa 6,82 km² (15,6%), enquanto a água superficial soma 2,88 km² (6,6%). Vale ressaltar que, devido à presença de nuvens na imagem utilizada, esse valor pode estar superestimado em relação aos corpos hídricos efetivos. O solo exposto abrange 1,94 km², equivalente a 4,4% da área total.

Observando o comportamento das microbacias, percebe-se que a microbacia de Cotia apresenta a maior proporção de áreas verdes, situando-se na região de maior altitude do município, onde se concentram a maioria das nascentes e das Áreas de Preservação Permanente (APP). Essa característica indica menor impacto sobre seu ciclo hidrológico decorrente da impermeabilização do solo. Por outro lado, os dados reforçam que a intensa urbanização e a consequente impermeabilização do solo nas demais microbacias são fatores determinantes para o aumento do escoamento superficial, contribuindo para a ocorrência de enchentes e inundações no município.

As diferenças na distribuição do uso e ocupação do solo entre as microbacias geram impactos distintos em cada região do município. A quantificação das áreas de cada classe de uso do solo dentro dos limites municipais está apresentada nas Figuras 18a , 18b, 18c, e 18d.

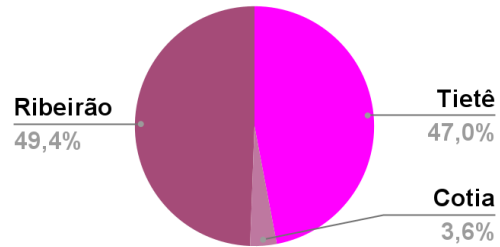
Figura 18 - Percentual de Cada Microbacia no Município.

Água



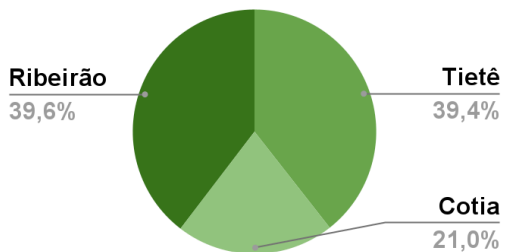
a) Presença de Água

Área Urbana



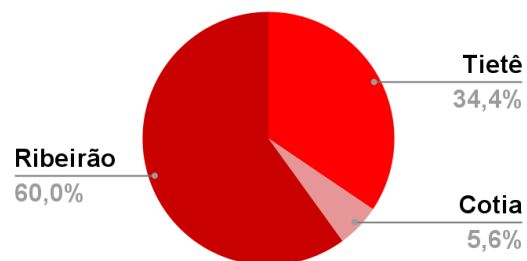
b) Área Urbana

Vegetação



c) Vegetação

Solo Exposto



d) Solo Exposto

Fonte: Autora, 2025

Como mencionado anteriormente, as microbacias influenciam diretamente o ciclo hidrológico de Carapicuíba, sendo essencial compreender como o uso e a ocupação do solo modificam essa dinâmica. O município apresenta 24,44 km² de área urbanizada, distribuídos da seguinte forma: Ribeirão (49,4%), Tietê (47%) e Cotia (3,6%).

Carapicuíba possui ainda 7,66 km² de áreas vegetadas, sendo 39,6% pertencentes à microbacia do Ribeirão, 39,4% à do Tietê e 21% à de Cotia. Embora a microbacia de Cotia apresente a maior proporção de cobertura vegetal em relação à sua área total, apenas uma pequena parcela está localizada dentro dos limites municipais, insuficiente para compensar a elevada pressão exercida pela intensa urbanização.

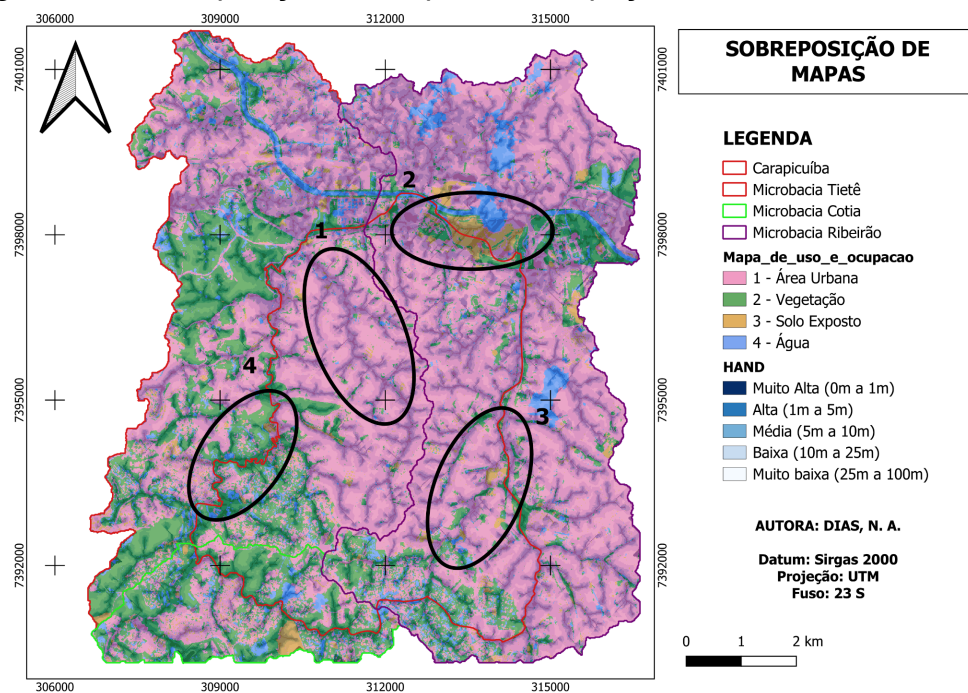
Em relação ao solo exposto, 60,0% encontra-se na microbacia do Ribeirão, 34,4% na do Tietê e 5,6% na de Cotia. Já a distribuição da água no município segue a mesma ordem de influência: a microbacia do Ribeirão concentra 49,5% da área de água, seguida pelo Tietê com 35,4% e Cotia com 15,1%.

4.5 PONTOS CRÍTICOS E ANÁLISE DO SISTEMA DE MACRODRENAGEM

Em seguida, realizou-se a comparação entre os mapas de uso e ocupação do solo e o mapa de inundação (Figura 19) para identificar as áreas críticas do município e elencá-las segundo a classificação de grau de risco hidrológico proposto pelo PMRR.

Cabe salientar que a área alagável identificada na microbacia do rio Cotia não foi considerada na análise, uma vez que sua maior extensão se encontra inserida no território do município vizinho.

Figura 19 - Sobreposição de Mapas de Ocupação e Mancha de Inundação



Fonte: Autora, 2025

As regiões demarcadas foram classificadas segundo o PMRR como sendo de:

- 1) Risco hidrológico muito alto (R4) - Avenida Marginal do Cadaval

Figura 20 - Avenida Marginal do Cadaval



Fonte: Autora, 2025

A Avenida Marginal do Cadaval, localizada em Carapicuíba, classificada como área de risco hidrológico muito alto (R4) no PMSB (2018), representa um dos principais pontos críticos de inundação no município por integrar elementos da macrodrenagem e devido às deficiências históricas no sistema de drenagem urbana e à intensa urbanização nas margens do Córrego do Cadaval.

A região já registrou transbordamentos de córregos e alagamentos severos resultantes de eventos de precipitação, que frequentemente deixam vias e residências inundadas. Em novembro de 2024 e janeiro de 2025, fortes chuvas (o evento de 2024 teve uma precipitação acumulada de 143 mm em 24h, segundo a Defesa Civil) provocaram alagamentos que deixaram cerca de 400 pessoas desalojadas no município em ambos os eventos, afetando vias públicas e habitações, e obrigando famílias a deixarem temporariamente suas casas, evidenciando a fragilidade do sistema de drenagem urbana (Villarroel, 2024; Agência Brasil, 2025).

2) Risco hidrológico muito alto (R3) - Vila municipal - km 21 das linhas da CPTM

Figura 21 - Vila municipal



Fonte: Google Earth, 2025

Segundo a Prefeitura Municipal de Carapicuíba (2018), a Vila Municipal era classificada como setor R4, em razão da elevada concentração de assentamentos informais na região. Nos anos seguintes, porém, ocorreram intervenções públicas que modificaram parcialmente esse cenário.

Em 2022, aproximadamente 406 famílias, de um total estimado de 1.294, foram removidas da área do km 21 para viabilizar as obras da ponte que liga Carapicuíba à cidade de Alphaville (Assis, 2022). Em outubro de 2025, cerca de 457 famílias foram igualmente deslocadas da comunidade Porto de Areia, situada também na região do km 21, sendo reassentadas em unidades habitacionais da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU).

Essas remoções contribuíram para a redução da classificação da área de R4 para R3, pois, embora ainda existam ocupações irregulares, a densidade populacional em situação de vulnerabilidade diminuiu de forma significativa, reduzindo assim os riscos associados às vítimas humanas e danos econômicos quando ocorrem eventos extremos (Figura 22).

Figura 22 - Vila municipal antes (a) e depois (b) da intervenção



Legenda: a) Fevereiro de 2015 com ocupação populacional; b) Fevereiro de 2025 após remoção da população e habitação precária.

Fonte: adaptada de Google Earth

3) Risco hidrológico médio (R2) - Jardim Gopiúva

Figura 23 - Jardim Gopiúva



Fonte: Autora, 2025

A região do Jardim Gopiúva, classificada como de risco hidrológico médio (R2) no Prefeitura Municipal de Carapicuíba (2018) de Carapicuíba, apresenta desafios típicos de áreas urbanas sujeitas a eventos de precipitação intensa, embora em menor grau do que as zonas de risco que as citadas anteriormente.

Um dos instrumentos de mitigação utilizados em Carapicuíba é o “Piscinão do Jardim Gopiúva”, que integra a infraestrutura de controle de inundação pela detenção temporária de volumes de água de chuva. Em meados de 2023, a Prefeitura de

Carapicuíba, em parceria com a Prefeitura de Osasco e o Governo do Estado, realizou obras de limpeza e alargamento do Piscinão de Gopiúva e do córrego afluente que segue até o km 21, em resposta aos impactos de fortes chuvas e acúmulo de água na região (Redação, 2023).

4) Risco hidrológico baixo (R1) - Alameda Guatemala - Vila Dirce

Figura 24 - Elementos da Paisagem em Torno da Alameda Guatemala



Fonte: Autora, 2025

O último local registrado foi a região da Alameda Araguaia, classificada como R1. Nessa área, os impactos das precipitações intensas são menos expressivos em razão da maior presença de cobertura vegetal e do atendimento, quando comparada às demais regiões analisadas, às APP.

Ainda assim, a manutenção da infraestrutura de drenagem urbana, a preservação de áreas com cobertura vegetal e o monitoramento das condições de chuva permanecem essenciais para reduzir os impactos de enxurradas e responder de forma eficaz a eventos extremos, especialmente diante das projeções de aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos.

4.5.1 Análise do Ponto Mais Crítico

A análise conjunta dos parâmetros fisiográficos, da dinâmica espacial e temporal de uso e ocupação do solo e do histórico de eventos de alagamento e inundação

evidenciou que a região da Marginal do Cadaval constitui o ponto mais crítico da drenagem urbana de Carapicuíba. Esse diagnóstico confirma o mapeamento municipal de riscos, que classifica a área como altamente suscetível à inundação em razão do adensamento urbano, da elevada impermeabilização e das limitações estruturais do sistema de escoamento pluvial.

O Córrego do Cadaval, principal curso hídrico do município, possui cerca de 10 km de extensão (Carapicuíba, 2017). Entre 2011 e 2022, foram realizadas obras de canalização, incluindo a instalação de duas galerias de drenagem, cada uma com seção de 3,5 m × 2,5 m (Figura 25). Contudo, a continuidade dos episódios de alagamento e inundação demonstram que tais intervenções, embora relevantes, não foram suficientes para mitigar o problema.

Figura 25 - Canalização do córrego do Cadaval



Fonte: Granja News, 2019

A combinação entre urbanização intensa, infraestrutura de drenagem insuficiente e ausência de um setor municipal específico para a gestão de projetos e ações de micro e macrodrenagem contribui para a permanência da vulnerabilidade. Mesmo com as obras executadas, episódios de inundação seguem sendo registrados anualmente, indicando que as soluções adotadas não atenderam plenamente às demandas hidrológicas da bacia (Carapicuíba, 2012; Prefeitura Municipal de Carapicuíba, 2018).

Considerando o contexto urbano consolidado, as estratégias de redução do risco de alagamento e inundação na região do Córrego do Cadaval devem ser compatíveis com as características locais, incorporando medidas que envolvam não apenas a adoção de soluções baseadas na natureza (Appiah et al., 2025; Correia et al., 2025), mas também ações de gestão, operação e participação comunitária. Essa abordagem torna-se ainda mais necessária diante dos efeitos das mudanças climáticas, que tendem a intensificar

eventos extremos de precipitação e, conseqüentemente, aumentar a pressão sobre o sistema de drenagem.

Conclui-se, portanto, que o ponto crítico identificado não decorre exclusivamente de uma deficiência de infraestrutura. Trata-se de um problema sistêmico, para o qual corroboram os fatores fisiográficos, urbanísticos e institucionais, razão pela qual são necessárias soluções integradas e multidimensionais para aprimorar a resiliência urbana e reduzir a recorrência de alagamentos e inundações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho atingiu seus objetivos ao analisar de forma integrada as interações entre fisiografia, uso e ocupação do solo e dinâmica hidrológica nas microbacias que compõem o território de Carapicuíba. A partir dessa abordagem, foi possível compreender os fatores que condicionam a ocorrência de alagamentos e inundações no município e identificar áreas prioritárias para intervenções de manejo de águas pluviais. Os resultados reunidos oferecem subsídios relevantes para o planejamento urbano, para a formulação de políticas públicas e para a construção de estratégias de mitigação de riscos hidrológicos.

5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

A caracterização fisiográfica das microbacias do Ribeirão, Cotia e Tietê permitiu a avaliação detalhada de parâmetros geométricos, de drenagem e de relevo do município. Constatou-se que as microbacias apresentam, de modo geral, formato alongado, o que, do ponto de vista morfométrico, indica tendência à conservação hidrológica e maior tempo de concentração. No entanto, a presença de canais predominantemente retilíneos, a elevada densidade de drenagem e o alto grau de impermeabilização decorrente da urbanização consolidada configuram fatores dominantes que favorecem o escoamento superficial e aumentam a propensão à ocorrência de alagamentos e inundações no município.

A análise do relevo indicou predominância de terrenos ondulados e fortemente ondulados, com amplitudes altimétricas entre 105 e 143 metros, evidenciando a influência direta da topografia na velocidade do escoamento e na susceptibilidade a alagamentos e inundações. Dentre as três microbacias analisadas, a microbacia Cotia apresentou menor propensão para inundações, ainda que também possua áreas de risco.

O modelo HAND e a análise espacial permitiram identificar cinco regiões críticas distribuídas entre as três microbacias, associadas principalmente à intensa impermeabilização do solo, ao adensamento urbano e à insuficiência dos sistemas de drenagem.

A integração entre uso e ocupação do solo e os dados do Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) permitiu classificar quatro áreas internas e limítrofes ao município em função da magnitude de impacto, reforçando o papel da urbanização desordenada na intensificação dos processos hidrológicos adversos.

Concluiu-se que a Avenida Marginal do Cadaval constitui a área mais crítica do município. Mesmo após diversas intervenções de engenharia (medidas estruturais), persistem os eventos frequentes de alagamentos e inundações. Isso demonstra que as intervenções executadas foram insuficientes para corrigir os *déficits* estruturais e operacionais existentes, sobretudo em razão da ausência de um setor municipal específico para gestão, manutenção e atualização dos sistemas de micro e macrodrenagem. Evidencia-se, assim, a necessidade de uma abordagem integrada que envolva manutenção contínua da infraestrutura, ampliação da capacidade hidráulica, desocupação de áreas de elevado risco, restauração do corredor dos cursos d'água, fortalecimento institucional e ações de educação ambiental.

O estudo oferece contribuições importantes para a gestão urbana e ambiental de Carapicuíba. A identificação das microbacias prioritárias e a delimitação das áreas críticas de inundação constituem elementos essenciais para orientar a formulação do Programa Municipal de Manejo de Águas Pluviais, permitindo que as ações sejam planejadas com base em evidências técnicas. A metodologia aplicada é eficaz para diagnósticos em municípios densamente urbanizados e com limitada disponibilidade de dados.

5.2 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Assim como em grande parte dos estudos aplicados ao contexto urbano brasileiro, as análises realizadas possuem limitações decorrentes da escassez, escala e precisão dos dados. A escassez de registros históricos de precipitações intensas e de eventos de alagamento e inundação restringe a modelagem hidrológica distribuída por métodos robustos, que dependem de séries temporais detalhadas e de registros de eventos para calibrar o modelo e verificar os resultados. Além disso, informações incompletas sobre as obras de drenagem executadas e ausência de cadastro atualizado dificultam a avaliação integral da infraestrutura existente, razão pela qual os estudos hidrológicos e hidráulicos têm que se basear em cenários prováveis.

A elevada densidade urbana de Carapicuíba também representa um desafio significativo, pois limita a implantação de grandes obras estruturais tradicionais (e.g., bacias de detenção). Esse contexto reforça a necessidade de explorar soluções compatíveis com o espaço disponível (e.g., reservatórios subterrâneos, dispositivos compactos de infiltração distribuída), situação que limita as medidas estruturais e não estruturais implementáveis no município.

Trabalhos futuros devem privilegiar o aprimoramento das bases de dados e do

diagnóstico técnico do sistema de drenagem existente. Recomenda-se a atualização completa do cadastro das redes pluviais, a realização de inspeções de campo para avaliação do estado das galerias e a obtenção de séries pluviométricas com maior resolução temporal, que viabilizem modelagens hidrológica e hidráulica com reduzida incerteza, além de fornecer suporte técnico para tomada de decisão e orientar intervenções eficazes no manejo de águas pluviais.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASIL. Após chuvas, 400 pessoas ficam desalojadas em Carapicuíba. **ISTOÉ DINHEIRO**. Carapicuíba, 25 Jan. 2025. Disponível em: <https://istoedinheiro.com.br/apos-chuvas-400-pessoas-ficam-desalojadas-em-carapicuiaba>. Acesso em: 3 dez. 2025.
- AL-LAYLA, S. Z. M.; AL-OGAIDI, A. A. M. A comprehensive and extensive review of the process of water infiltration in soil. **Journal of Water Resources and Geosciences**, Mossul, v. 4, n. 2, p. 109–139, 2025. Disponível em: <https://jwrg.gov.iq/index.php/jwrg/article/view/138>. Acesso em: 3 dez. 2025.
- ALVINO-BORBA, A.; DIAS, N. A.; MATA-LIMA, H. Capital social e sustentabilidade: considerações sobre o papel do capital social em regiões afetadas por desastres naturais. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v.22, n.9, p. 01-20. 2025. DOI: 10.54033/cadpedv22n9-479. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/18735>. Acesso em: 10 dez. 2025.
- ANDRADE FILHO, A. G.; SZÉLIGA, M. R.; ENOMOTO, C. F. Estudo de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas. **Publicatio – Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 6, n. 1, p. 69-90, 2000. Disponível em: <https://ri.uepg.br/riuepg/handle/123456789/646>. Acesso em: 10 dez. 2025.
- APPIAH, E.; DIAS, N. A.; CORREIA, I. S.; MATA-LIMA, H. A glance at urban flood risk assessment and nature-based mitigation strategies in rapidly expanding cities in developing regions: research directions. **Revista DCS**, [S. l.], v. 22, n. 82, p. e3335, 2025. DOI: 10.54899/dcs.v22i82.3335. Disponível em: <https://ojs.revistadcs.com/index.php/revista/article/view/3335>. Acesso em: 10 nov. 2025.
- ARAÚJO, L. F.; CIRILO, J. A.; SILVA, J. B.; OLIVEIRA, D. S.. Aplicação da modelagem hidrológica na gestão dos recursos hídricos: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 17, n. 4, p. 3095–3108, 2024. DOI: 10.26848/rbgf.v17.4.p3084-3098. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/261990>. Acesso em: 10 dez. 2025.
- ARAÚJO, L. H. S.; MOTA, F. S. B. Impactos da ocupação urbana nas áreas de preservação permanente (app) do parque rio branco, Fortaleza-CE, do período de 2004 a 2010. In: ABRH – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: SBRH, 2013, p. 1-7. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=1555>. Acesso em: 10 dez. 2025.
- ASF Data Search. **EARTHDATA**. [S.l.], 2026. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Acesso em: 08 dez. 2025.
- ASSIS F. Reintegração de posse em terreno de Carapicuíba (SP) provoca protesto e interdição de avenida. **Agência Record**. São Paulo, 25 mai. 2022. Disponível em: <https://noticias.r7.com/sao-paulo/reintegracao-de-posse-em-terreno-de-carapicuiaba-sp-provoca-protesto-e-interdicao-de-avenida-25052022/>. Acesso em: 08 dez. 2025.
- BHARATH, A; KUMAR K. K.; MADDAMSETTY R.; MANJUNATHA, M.; TANGADAGI, R.

B.; PREETHI, S. Drainage morphometry based sub-watershed prioritization of Kalinadi basin using geospatial technology. **Environmental Challenges**, [S. l.], v.5, p. 100277, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100277>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010021002560?via%3Dihub>. Acesso em: 3 dez. 2025.

BOITRAGO, S. A.; LIMA, F. A.; LEITE, M. E.; COSTA, L. R. F. D. Aplicação do modelo HEC-HMS para simulação do escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Vieiras. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 2091–2102, 2023. DOI: 10.26848/rbgf.v16.4.p2091-2102. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/256830>. Acesso em: 12 dez. 2025.

BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP**, Brasília, [s.d.]. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 12 dez. 2025.

BRASIL, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2012. Disponível em: www.planalto.gov.br. Acesso em: 3 dez. 2025.

BRASIL. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. **Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT**, Brasília, 2007. Disponível em: <https://bibliotecadigital.gestao.gov.br/handle/123456789/185?mode=simple>. Acesso em: 11 dez. 2025.

BRASIL. Periferia sem risco: Guia para Planos Municipais de Redução de Riscos. **Ministério das Cidades**, Brasília, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/publicacoes/arquivos/arquivos/Guia_PMRR1.pdf. Acesso em: 11 dez. 2025.

BURROUGH, P. A. e MCDONNELL, R. A. Principles of Geographical Information Systems. Oxford: **Oxford University Press**, 1998. p. 333.

BUTT, A. Watershed Prioritization through Morphometric Analysis Using Remote Sensing and GIS Techniques: A Case Study from Tawi Basin, Jammu and Kashmir. **Journal of Remote Sensing & GIS**, [S. l.], v. 14, n. 4, p. 388, 2025. Disponível em: <https://www.walshmedicalmedia.com/open-access/watershed-prioritization-through-morphometric-analysis-using-remote-sensing-and-gis-techniques-a-case-study-from-tawi-basin-jammu--134648.html>. Acesso em: 25 set. 2025.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CARAPICUÍBA (Município). **Prefeitura inicia nova fase das obras do Cadaval**. Carapicuíba, 2017. Disponível em: <https://www.carapicuiiba.sp.gov.br/>. Acesso em: 26 fev. 2025.

CARAPICUÍBA NUA E CRUA. Reflexos da chuva: cidade registra diversos pontos de alagamento. Instagram, Carapicuíba, 14 jan. 2025. Disponível em: <https://www.instagram.com/carapicuibanuaecrua/?hl=pt>. Acesso em: 26 Fev. 2025

CARAPICUÍBA (Município). **Obra na Avenida Dante Carraro elimina pontos de**

enchentes. Carapicuíba, 2012. Disponível em: <https://www.carapicuiiba.sp.gov.br/>. Acesso em: 26 fev. 2025.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. p. 102-127.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Apostila Introduzindo Hidrologia**. Porto Alegre: IPH - UFRGS, 2010.

CORREIA, I. S. ; BADA, O. ; MICHAEL, I. ; OLUWOLE, S. ; ATANASHO, J. ; MATA-LIMA, H. Urban Jungle: Uso da Vegetação para Melhorar o Conforto Ambiental e Reduzir o Escoamento Pluvial no Espaço Urbano. **Revista DCS**, [S. l.], v. 22, n. 81, p. e3242, 2025. DOI: 10.54899/dcs.v22i81.3242. Disponível em: <https://ojs.revistadcs.com/index.php/revista/article/view/3242>. Acesso em: 10 nov. 2025

CORTES, C.; VAPNIK, V. Support-Vector Networks. **Machine Learning**, Boston, v. 20, n. 3, p. 273–297, set. 1995. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00994018>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00994018#author-information>. Acesso em: 08 dez. 2025.

DINGMAN, S. L.; **Physical hydrology**. 3. ed. Long Grove: Waveland Press, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Série Miscelânea: súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**, Rio de Janeiro, 1979. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/327212/1/SNLCSMiscelania11979.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2025.

ENGESAT. *Sentinel-2*. **Engesat**, [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.engesat.com.br/sentinel-2/>. Acesso em: 08 dez. 2025.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. 1968. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/0/tde-20231122-093027/>. Acesso em: 08 dez. 2025.

FRANÇA, L. HAND Model para mapear áreas suscetíveis a inundação. **GeoOne**, [S.l.], 2024. Disponível em: <https://geoone.com.br/hand-model-inundacao/>. Acesso em: 07 dez. 2025.

FREIMAN, F. P.; CARVALHO, C. O. Modelagem espacial de áreas suscetíveis a inundações em um modelo multicritério híbrido e Sistema de Informação Geográfica: um estudo de caso aplicado a bacia do Rio Bengalas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 1145–1161, 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v13.3.p1145-1161. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/243203>. Acesso em: 12 dez. 2025.

GANIE, P. A.; POSTI, R., GARIMA; KUNAL K., PANDEY N., PANDEY P. K. Morphometric analysis and hydrological implications of the Himalayan River Basin, Goriganga, India, using Remote Sensing and GIS techniques. J. Groundw. **Journal of Groundwater Science and Engineering**, Índia, v. 12. n. 4, p.360 -386, 2024. DOI:

10.26599/JGSE.2024.9280028. Disponível em:
<https://www.sciopen.com/article/10.26599/JGSE.2024.9280028>. Acesso em: 11 dez. 2025.

GODARD, J.; BARRIOT, J-P. Relationships between erosion rates and physiographic factors of drainage basins through a regression analysis: The case of Tahiti Nui Island. **Geomorphology**, [S.l.], v. 404, p. 108176, 2022. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X22000691#preview-section-cited-by>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108176>. Acesso em: 14 dez. 2025

GUPTA, R.; MISRA, A. K.; SAHU, V. Identification of watershed preference management areas under water quality and scarcity constraints: case of Jhajjar district watershed, India. **Applied Water Science**, [S.l.], v. 9, art. 27, 2019. DOI:
<https://doi.org/10.1007/s13201-019-0905-0>. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-019-0905-0>. Acesso em: 4 dez. 2025

HORTON, R. E. Drainage-basin characteristics. **EOS, Transactions of the American Geophysical Union**, [S.l.], v. 26, n. 1, p. 350–361, 1932. DOI:
<https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>. Disponível em:
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/TR013i001p00350>. Acesso em: 4 dez. 2025

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Glossário: Atlas de Saneamento. **IBGE**, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/carapicuiba/panorama>. Acesso em: 21 Fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil 2016 - 2018. **IBGE**, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101703.pdf>. Acesso em: 28 Fev. 2025.

IGHILE, E. H., SHIRAKAWA, H., & TANIKAWA, H. 2022. Application of GIS and machine learning to predict flood areas in Nigeria. **Sustainability**, Japão, v.14, n.9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14095039>. Disponível em:
<https://www.mdpi.com/2071-1050/14/9/5039>. Acesso em: 3 Dez. 2025.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE DE ALAGOAS (IMA). IMA alerta sobre ocupações irregulares em áreas de preservação permanente (APP). **IMA**, Alagoas, 2015. Disponível em:
<https://www2.ima.al.gov.br/ima-alerta-sobre-ocupacoes-irregulares-em-areas-de-preservacao-permanente/>. Acesso em: 3 dez. 2025.

INFOSANBAS. Entenda a situação do saneamento básico no seu município: Carapicuíba - SP. **Infosanbas**. São Paulo, [s.d.]. Disponível em:
<https://infosanbas.org.br/municipio/carapicuiba-sp/>. Acesso em 28 Fev 2025

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades. **IBGE**. Brasília, 2022. Disponível em:
<https://cidades.ibge.gov.br/ranking-resumido/download.html?cod=3510609>. Acesso em: 9 nov. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades e Estados

do Brasil. **IBGE**. Brasília, 2023. Disponível em:
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/carapicuiba/panorama>. Acesso em: 9 nov. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual técnico de uso da terra. **IBGE**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006, p. 96. Disponível em:
<https://www.ibge.gov.br/biblioteca/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/ManuaisdeGeociencias/Manual%20Tecnico%20de%20Uso%20da%20Terra.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Controle de enchentes urbanas e drenagem sustentável. **IPEA**, Brasília, 2025. Disponível em:
<https://www.ipea.gov.br/cts/controle-de-enchentes>. Acesso em: 9 dez. 2025.

INSTITUTO FLORESTAL. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. **Instituto Florestal, Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente**, São Paulo, 2017. Disponível em:
<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/ipa/publicacoes/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/>. Acesso em: 13 dez. 2025.

JARD, J.; APPIAH, E.; MATA-LIMA, H. Caracterização fisiográfica de um rio urbano: o caso microbacia do rio M'Boicy em Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 22, n. 9, p. e18441, 2025. DOI: 10.54033/cadpedv22n9-340. Disponível em:
<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/18441>. Acesso em: 10 nov. 2025

JENSEN, J. R.; NEVES, C.; AL, E. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José Dos Campos: Parêntese, 2011. Disponível em:
<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2011/04.01.14.00/doc/jensen.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2025.

JUSTINO, E. A.; PAULA, H. M.; PAIVA, Ed Carlo Rosa. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG. **Espaço em Revista**, Catalão, v. 13, n. 2, 2012. DOI:
<https://doi.org/10.5216/er.v13i2.16884>. Disponível em:
<https://periodicos.ufcat.edu.br/espaco/article/view/16884>. Acesso em: 3 dez. 2025.

KUDAMNYA, E. A.; EDET, A.; EKWERE, A.S. Analysing principal components of physiographic factors affecting groundwater occurrences within Keffi, North-Central Nigeria. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 24, n. 3, p.665-674, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.005>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982321000569?via%3Dihub>. Acesso em: 14 dez. 2025.

LI, QIAN; WANG, FENG; YU, YANG; HUANG, ZHENGCE; LI, MANTAO; GUAN, YUNTAO. Comprehensive Performance Evaluation of Lid Practices for The Sponge City Construction: A Case Study In Guangxi, China. **Journal of Environmental Management**, [S.l.], v. 231, p. 10–20, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.024>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479718311526?via%3Dihub>. Acesso em: 4 dez. 2025.

LIMA, R. S.; HANAI, F. Y. Abrangência do Conceito de Ciclo Hidrológico e Abordagens das Relações Humanas com a Água na Pesquisa Científica. **Revista ESPACIOS**, Caracas, v. 38, n. 9, 2017. Disponível em: [lima-hanai-abrangencia-conceit-ciclo-hid.pdf](#). Acesso em 28 Fev. 2025.

LIMEIRA (Município). **Plano Municipal de Saneamento de Limeira/SP**. Prefeitura Municipal de Limeira. 2024. Disponível em: [limeira.sp.gov.br/sitenovo/downloads/0547d01f5994e8dee09122ef39b1510e.pdf](#). Acesso em 28 Fev. 2025.

LOPES, J. R.; BEZERRA, J. M.; ALMEIDA, N. M. D. P.; COSTA, H. C. G.; FERNANDES, G. S. T.; GONÇALVES, G. L.; MENDONÇA, S. S. C. Júnior; OLIVEIRA, M. E. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do Açude Grande no semiárido do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 15, n. 1, p. 429-442, 2022. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p429-442>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/251330>. Acesso em: 11 dez. 2025.

MAPBIOMAS BRASIL. Ocupação de APPs às margens de rios e córregos dobrou entre 1985 e 2020. **MapBiomás**, [S. l.], 2022. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2022/08/29/ocupacao-de-apps-as-margens-de-rios-e-corregos-dobrou-entre-1985-e-2020/>. Acesso em: 13 dez. 2025.

MATA-LIMA, H.; ALVINO-BORBA, A.; PINHEIRO, A.; MATA-LIMA, A.; ALMEIDA, J. A. Impactos dos desastres naturais nos sistemas ambiental e socioeconômico: o que faz a diferença? **Ambiente & Sociedade**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 45–64, set. 2013. DOI: 10.1590/s1414-753x2013000300004. Disponível em: <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2549>. Acesso em: 13 dez. 2025.

MATA-LIMA, H.; CARVALHO, J. ; GONÇALVES, M.; CAETANO, H. ; MARQUES, A. ; RAMINHOS, C. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **REM. Revista Escola de Minas**, Minas Gerais, v. 60, n. 3, p. 525-536, 2007. DOI: 10.1590/S0370-44672007000300014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/6X4Qf75bLWKSPDMSRzxn9zQ/?lang=pt#top>. Acesso em: 10 nov. 2025

MATA-LIMA, H.; MATA, I. P.; LIMA, A. V. F. Aplicação e validação de um simulador estocástico de variáveis climáticas: o caso da precipitação. **Ingeniería Del Agua**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 27–37, 2005. DOI: 10.4995/ia.2005.2549. Disponível em: <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2549>. Acesso em: 12 dez. 2025.

METEOBLUE. Carapicuíba – Brasil: histórico de clima e modelo climático. **A Windy.com Company**, [S.l.], 2026. Disponível em: https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/carapicu%C3%ADba_brasil_3466998. Acesso em: 12 dez. 2025.

MIGUEZ, M.G; VEROL, A.P; REZENDE, O.M. **Drenagem Urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA (MMA). Áreas de preservação permanente urbanas. **MMA**, Brasília, [s.d.]. Disponível em:

<https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/areas-verdes-urbanas/%C3%A1reas-de-pr-ote%C3%A7%C3%A3o-permanente.html>. Acesso em: 13 dez. 2025.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS**. Brasília, [s.d.].

OLIVEIRA, J. B. de; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/336272/mapa-pedologico-do-e-stado-de-sao-paulo-legenda-expandida>. Acesso em: 13 dez. 2025.

PACHECO, D. G. Análise das mudanças do uso e ocupação do solo no município de Araçuaí, Minas Gerais por meio de técnicas de sensoriamento remoto nos anos de 2000 e 2019. **Revista Cerrados**, [S. l.], v. 19, n. 02, p. 303–322, 2021. DOI: 10.46551/rc24482692202128 . Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/3889>. Acesso em: 3 dez. 2025.

PARISI, S. A.; SOARES, W. A.; ROSA FILHO, C. D. Análise da capacidade de infiltração para atenuação de alagamento em um ponto crítico na cidade do Recife. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 236–249, 2020. DOI: 10.14295/ras.v34i2.29494. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29494>. Acesso em: 3 dez. 2025.

PINTO, N. L. S. **Hidrologia básica**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 1976.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CARAPICUÍBA. **Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB**. Carapicuíba, 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. **Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais**. São José dos Campos, 2021.

QGIS. Hydrological analysis. **QGIS Training Manual**, [S.l.], 2025. Disponível em: https://docs.qgis.org/3.40/en/docs/training_manual/processing/hydro.html. Acesso em: 3 dez. 2025.

REDAÇÃO. Carapicuíba inicia obras de limpeza e ampliação do piscinão do Jardim Gopiúva no km 21. In: Correio Paulista – A Marca da Comunicação. **Correio Paulista**. São Paulo, 30 mar. 2023. Disponível em: <https://correiopaulista.com/carapicuiiba-inicia-obras-de-limpeza-e-ampliacao-do-piscinao-d-o-jardim-gopiuv-a-no-km-21/>. Acesso em: 12 dez. 2025.

REIS, P. A.; SCHMITT, M. A. R. Análise da expansão urbana e delimitação de áreas de inundação na cidade de Patrocínio, MG. In: SIBESA, SIMPÓSIO ÍTALO – BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12, 2014, Natal. **Anais...** Natal: ABES, 2014. p.7. Disponível em: <https://doi.org/10.13140/2.1.5007.1040>. Acesso em: 13 out. 2025.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A. et al. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v. 112, p. 3469–3481, set. 2008. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.018>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003442570800120X?via%3Dihub>.
Acesso em: 13 out. 2025.

RIGHETTO, A. M. (coord.). **Manejo de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades. PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, 2009. Disponível em:
https://repositorio.mcti.gov.br/bitstream/mctic/5589/1/2009_manejo_de_aguas_pluviais_urbanas.pdf. Acesso em: 10 dez. 2025.

ROCHA, F. S.; QUEIROZ, T. M.; GALVÃO, F. C.; ABREU, A. B. G.; CARIGNANI, G. Precipitação e ocorrência de inundação e alagamentos na área urbana de Nova Mutum/MT-Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S. l.], v. 13, n. 9, p. 307–317, 2023. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.009.0024. Disponível em:
<https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/7671>. Acesso em: 3 dez. 2025.

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. J. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4. ed. - Santa Maria: Edições UFSM CCR/UFSM, 2001. p. 302

SALGADO, M. P. G.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W.; TARGA, M. S. Caracterização de uma microbacia por meio de geotecnologias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p.4837-4843. Disponível em:
<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.19.32/doc/4837-4843.pdf>. Acesso em: 15 set. 2025.

SANTOS, A. R. **Aula 23** - Delimitação de bacias hidrográficas no SAGA com o QGIS. Mundo da Geomática, 2020. YouTube (37:11 min). Disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=IM5PS6kiW3U>. Acesso em: 15 set. 2025.

SÃO PAULO (Estado). Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. **SigRH**, São Paulo, [s.d.]. Disponível em:
<https://www.sigrh.sp.gov.br>. Acesso em: 12 dez. 2025.

SHEKAR, P. R.; MATHEW, A. Morphometric analysis of watersheds: a comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques. **Watershed Ecology and the Environment**, India, v. 6, p. 13–25, 2024. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wsee.2023.12.001>. Acesso em: 12 dez. 2025.

SILVEIRA, C. A.; DIAS, P.; SCHUCH, F. S. A problemática das inundações em áreas urbanas sob a ótica da permeabilidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2014, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2014. p. 6-8. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/134547>. Acesso em: 4 dez. 2025

SOUSA, F. A.; RODRIGUES, S. C. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 141-151, mai./ago. 2012. Disponível em:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273624812011>. Acesso em: 25 set. 2025.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Eos Transactions of the American Geophysical Union**, [S.l.], v. 38, n. 6, p. 913–920, 1957. DOI:

<https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>. Disponível em: Quantitative analysis of watershed geomorphology - Strahler - 1957 - Eos, Transactions American Geophysical Union - Wiley Online Library. Acesso em: 9 dez. 2025.

STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks. In: Chow, V. (Ed.). **Handbook of applied hydrology**. New York: McGraw Hill, 1964, p. 439-476.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**: Textos para discussão da CEPAL-IPEA. Brasília: CEPAL - IPEA, 2012.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

TUCCI, C. E. M.; SILVA, D. F.; GOMES, T. L.; BARBOSA, M. N. Proposta de governança para regulação nacional da drenagem e manejo de águas pluviais no Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina, [S.l.]**, v. 21, p. 1-18, 2024. DOI:

<https://doi.org/10.21168/reg.v21e9>. Disponível em:

<https://www.abrh.org.br/OJS/index.php/REGA/article/view/873>. Acesso em: 10 dez. 2025

VALE, J. R. B.; COSTA, L. S. da; PIMENTEL, M. A. S. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Mocajuba, zona costeira amazônica.

Geosul, Florianópolis, v. 36, n. 78, p. 537-557, jan./abr. 2021. DOI:

<https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e72705>. Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/72705>. Acesso em: 15 ago. 2025.

VILLARROEL, R. Carapicuíba tem mais de 140 milímetros de chuva; homem foi arrastado pela enxurrada. **CNN Brasil**. São Paulo, 06 de nov. 2024 Disponível em:

<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/carapicuibas-tem-mais-de-140-milimetros-de-chuva-homem-foi-arrastado-pela-enxurrada/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

VILLELA, M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, LTDA., 1975.

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento: Conceitos e Definições. **Revista de Geografia**, Juiz de Fora, v.7, n. 2, p. 195-201, 2017. Disponível em:

<http://observatoriodageografia.uepg.br/s/ogb/media/62626>. Acesso em: 3 dec. 2025.

ZAIN, Z. A.; MURSAL, B. K.; ARYAN, Z. A. Sustainability in urban infrastructure: environmental benefits of permeable pavements for stormwater management. **Spectrum of Engineering Sciences, [S. l.]**, v. 3, n. 9, p. 736–747, 2025. Disponível em:

<https://thesesjournal.com/index.php/1/article/view/1061>. Acesso em: 3 dec. 2025.