



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO –
UEMASUL
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS, TECNOLÓGICAS E LETRAS –
CCHSTL *CAMPUS* AÇAILÂNDIA
BACHARELADO ENGENHARIA CIVIL

RONALDO DE MORAIS MACÊDO

**O IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA NO
BAIRRO COLINAS PARK NO MUNICÍPIO DE AÇAILÂNDIA - MA**

Açailândia - MA
2025



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

RONALDO DE MORAIS MACÊDO

**O IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA NO
BAIRRO COLINAS PARK NO MUNICÍPIO DE AÇAILÂNDIA - MA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil Bacharelado, do Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), *Campus Açailândia*, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Ma. Rachel de Andrade Avelar da Silva

Açailândia - MA
2025



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

RONADO DE MORAIS MACÊDO


**O IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA NO
BAIRRO COLINAS PARK NO MUNICÍPIO DE AÇAILÂNDIA – MA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil Bacharelado, do Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), *Campus Açailândia*, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.


Orientadora: Prof.^a Ma. Rachel de Andrade Avelar da Silva

Aprovado em 08 / 01 / 2026


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **RACHEL DE ANDRADE AVELAR DA SILVA**
Data: 09/01/2026 17:53:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Ma. Rachel de Andrade Avelar da Silva
Mestra em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal do Maranhão (2018)
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 **LEONARDO DE SOUSA LEAL**
Data: 09/01/2026 21:51:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Leonardo de Sousa Leal
Mestrado em Ensino de Física (2019)
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente
 **LEONARDO TELLES DE SOUZA PESSOA FILHO**
Data: 09/01/2026 20:19:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Esp. Leonardo Telles de Souza Pessoa Filho
Especialista em infraestrutura de Transportes e Rodovias pela IPOG (2019)
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão



M141o

Macêdo, Ronaldo de Moraes

O impacto da urbanização no sistema de drenagem urbana no bairro Colinas Park no município de Açailândia-MA / Ronaldo de Moraes Macedo. – Açailândia: UEMASUL, 2025.

80 f. : il.

Monografia (Curso de Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2025.

Orientadora: Profa. Ma. Rachel de Andrade Avelar da Silva.

1. Drenagem urbana. 2. Urbanização. 3. Microdrenagem. 4. Alagamentos. I. Título.

CDU 626.86(812.1)



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

Dedico a Deus, por ser minha fonte de sabedoria e força, e aos meus pais, Rosa Santos de Moraes e Clementino José de Macedo, e aos meus irmãos, Roseane e Ronilson de Moraes Macedo, pelo amor, apoio e incentivo. Ao meu avô Paulino de Moraes (in memoriam), pela inspiração e ensinamentos que deixou, despertando em mim o gosto pelo estudo e pelo aprendizado.



AGRADECIMENTO

Primeiramente, agradeço ao meu Senhor Jesus Cristo, por ser minha força em todos os momentos, por me sustentar com graça, me dar sabedoria e não permitir que eu desistisse dos meus sonhos.

Agradeço profundamente aos meus pais, Rosa Santos de Moraes e Clementino José de Macedo, por todo o amor, dedicação, esforço e pelos valores que me ensinaram desde cedo, especialmente a honestidade, a fé e a importância do estudo.

Agradeço, em especial, à minha irmã Roseane de Moraes Macedo, por ter me acolhido com tanto carinho, me oferecendo um lar, apoio, conselhos e incentivo em cada etapa dessa jornada e para toda a vida. Uma mulher admirável, forte e inspiradora, que nunca se rebaixa diante das dificuldades, que enfrenta o novo com coragem e o desconhecido com o coração aberto.

Ao meu irmão, o caçula da família, Ronilson de Moraes Macedo, com seu jeito firme e silencioso, mas cheio de bondade, um vaqueiro de alma forte. Por trás da aparência bruta, existe um coração generoso e verdadeiro.

Aos meus amigos Briane Vilarinho e Genilson Oliveira, pela amizade, por estarem presentes nos momentos difíceis e por me motivarem a seguir em frente.

Agradeço também ao meu avô Paulino de Moraes (in memoriam), por ter me ensinado o amor pela matemática, o valor do conhecimento e, com suas histórias e sabedoria. Muito do que conquistei começou com seus ensinamentos.

Agradeço à minha orientadora, Prof.^a Ma. Rachel de Andrade Avelar da Silva, pela paciência, atenção e por todo o apoio prestado durante a construção deste trabalho.

Agradeço a todos os funcionários da UEMASUL, que sempre me alegraram e foram respeitosos e bondosos comigo: Tânia, disciplinada, carinhosa de um jeito único; a Kenilce, educada, carinhosa, amável, maravilhosa e alegre; Leandra, mulher de Deus, sempre alegre e uma verdadeira doçura; Sr. Arnaldo e Sr. Francisco, sempre educados, alegres e pessoas de bom coração; Jane, mulher charmosa, inteligente e educada; Jordania, leve, simpática e carinhosa; Pablo, educado, amigável e dedicado, responsável; Bruno, respeitoso e profissional; Jessica por ser forte, inteligente; Rosinha, coração enorme de amor; Alessandra coração sensível e forte na essência.

Agradeço também aos meus colegas de curso, pelos momentos compartilhados, pelo aprendizado e pelo companheirismo. Gratidão a Deus e à minha família por todo o apoio!



RESUMO

A urbanização acelerada e desordenada representa um dos principais desafios contemporâneos para a gestão dos sistemas de drenagem urbana, especialmente em municípios brasileiros de médio porte que experimentam rápido crescimento populacional e adensamento construtivo sem o correspondente planejamento de infraestrutura. O presente trabalho teve como objetivo analisar os impactos da urbanização sobre o sistema de microdrenagem do bairro Colinas Park, em Açailândia-MA, identificando as causas estruturais e operacionais associadas aos episódios recorrentes de alagamento observados na área. A metodologia adotou abordagem integrada, combinando técnicas de geoprocessamento em ambiente *Quantum Geographic Information System* (QGIS), modelagem hidrológica pelo Método Racional associado às equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF), levantamentos topográficos, inspeções de campo e entrevistas semiestruturadas com 33 moradores. Os resultados evidenciaram que o bairro apresenta elevado grau de impermeabilização do solo (coeficiente de escoamento $C = 0,8$), declividades predominantemente suaves (0,3% a 1,0%) e áreas de convergência natural do escoamento superficial, fatores que, associados ao crescimento urbano sem adequação da infraestrutura, resultaram em déficit hidráulico generalizado do sistema de microdrenagem. As vazões de projeto calculadas variaram entre 0,027 m³/s e 0,245 m³/s, enquanto a capacidade hidráulica das sarjetas existentes mostrou-se insuficiente em até 67% em trechos críticos, evidenciando subdimensionamento ou obsolescência funcional. As inspeções de campo identificaram que 100% dos dispositivos avaliados apresentam insuficiência de capacidade, 73,9% encontram-se estruturalmente danificados e 65,2% apresentam obstrução por vegetação, resíduos sólidos e sedimentos. As entrevistas revelaram que 72% dos moradores relatam alagamentos "quase toda chuva intensa" e 84% percebem agravamento progressivo do problema nos últimos anos, validando empiricamente os diagnósticos técnicos. Com base nos resultados, foram propostas intervenções integradas contemplando: (i) desobstrução e manutenção sistemática dos dispositivos existentes; (ii) instalação de 15 a 20 novas bocas de lobo e implantação de galerias complementares; (iii) adoção de Medidas Compensatórias de Drenagem Urbana (MCDUs), incluindo pavimentos permeáveis, jardins de chuva, trincheiras de infiltração e reservatórios de detenção; e (iv) implementação de programas de educação ambiental e fortalecimento da fiscalização. Conclui-se que o problema de drenagem do bairro Colinas Park decorre da combinação entre urbanização acelerada, impermeabilização massiva do solo, subdimensionamento histórico do sistema e ausência de manutenção preventiva, demandando abordagem integrada que articule soluções estruturais convencionais, tecnologias compensatórias e gestão participativa para garantir eficiência hidráulica, sustentabilidade ambiental e melhoria da qualidade de vida urbana.

Palavras-chave: Drenagem urbana; Urbanização; Microdrenagem; Alagamentos urbanos; Açailândia-MA.



ABSTRACT

Accelerated and unplanned urbanization represents one of the main contemporary challenges for urban drainage system management, especially in medium-sized Brazilian municipalities experiencing rapid population growth and urban densification without corresponding infrastructure planning. This study aimed to analyze the impacts of urbanization on the microdrainage system of the Colinas Park neighborhood in Açailândia, Maranhão State, Brazil, identifying structural and operational causes associated with recurrent flooding episodes observed in the area. The methodology adopted an integrated approach, combining geoprocessing techniques in environment Quantum Geographic Information System (QGIS), hydrological modeling using the Rational Method associated with Intensity-Duration-Frequency (IDF) equations, topographic surveys, field inspections, and semi-structured interviews with 33 residents. Results showed that the neighborhood presents high soil impermeabilization (runoff coefficient $C = 0.8$), predominantly gentle slopes (0.3% to 1.0%), and natural surface runoff convergence areas, which, combined with urban growth without infrastructure adaptation, resulted in widespread hydraulic deficit of the microdrainage system. Calculated design flows ranged from 0.027 m³/s to 0.245 m³/s, while existing gutter hydraulic capacity proved insufficient by up to 67% in critical sections, evidencing undersizing or functional obsolescence. Field inspections identified that 100% of evaluated devices present capacity insufficiency, 73.9% are structurally damaged, and 65.2% show obstruction by vegetation, solid waste, and sediments. Interviews revealed that 72% of residents report flooding "almost every intense rainfall" and 84% perceive progressive problem worsening in recent years, empirically validating technical diagnoses. Based on results, integrated interventions were proposed including: (i) systematic clearance and maintenance of existing devices; (ii) installation of 15 to 20 new storm drains and implementation of complementary galleries; (iii) adoption of Compensatory Urban Drainage Measures (CUDMs), including permeable pavements, rain gardens, infiltration trenches, and detention reservoirs; and (iv) implementation of environmental education programs and inspection strengthening. It is concluded that the Colinas Park neighborhood drainage problem results from the combination of accelerated urbanization, massive soil impermeabilization, historical system undersizing, and absence of preventive maintenance, demanding an integrated approach articulating conventional structural solutions, compensatory technologies, and participatory management to ensure hydraulic efficiency, environmental sustainability, and urban quality of life improvement.

Keywords: Urban drainage; Urbanization; Microdrainage; Urban flooding; Açailândia-MA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista aérea do bairro Colinas Park, Açailândia/MA.....	14
Figura 2 – Fluxograma metodológico da pesquisa.....	16
Figura 3 – Expansão da área urbana construída global (1975 – 2050).....	25
Figura 4 – Crescimento populacional e urbanização no Brasil(1940 – 2025).....	26
Figura 5 – Sistema de drenagem.....	29
Figura 6 – Detalhamento da sarjeta.....	32
Figura 7 – Boca de lobo de guia.....	33
Figura 8 – Boca de lobo com grelha.....	33
Figura 9 – Boca de lobo combinada.....	34
Figura 10 – Boca de lobo múltipla.....	34
Figura 11 – Boca de lobo com fenda horizontal longitudinal.....	34
Figura 12 – Detalhamento do poço de visita.....	35
Figura 13 – Galeria pluvial esquematizada.....	36
Figura 14 – Ciclo hidrológico.....	38
Figura 15 – Mapa de localização do bairro Colinas Park.....	40
Figura 16 – Mapa de curva de nível.....	41
Figura 17 – Mapa de declividade.....	42
Figura 18 – Mapa de fluxo de drenagem superficial.....	43
Figura 19 – Mapa de uso e ocupação do solo.....	44
Figura 20 – Mapa da expansão urbana/ análise temporal.....	45
Figura 21 – Bocas de lobo a e b obstruídas por resíduos sólidos.....	50
Figura 22 – Boca de lobo completamente assoreada com vegetação.....	51
Figura 23 – Bocas de lobo do tipo lateral dupla danificadas.....	52
Figura 24 – Boca de loco com guia total deteriorado.....	53
Figura 25 – Degradação do pavimento.....	54
Figura 26 – Rua Alimetadora 7 danificada e recuperada.....	55
Figura 27 – Estrutura de uma rua com jardim de chuva.....	62
Figura 28 – Modelagem visual de drenagem urbana sustentável.....	63



LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tempo de retorno para cada tipo de ocupação.....	18
---	----

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 – Gráfico de curva IDF.....	44
Gráfico 2 – Frequência de ocorrência de alagamentos observada pelos moradores.....	55
Gráfico 3 – Percepção dos moradores sobre o agravamento dos problemas de drenagem ao longo do tempo.....	56
Gráfico 4 – Principais impactos dos problemas de drenagem na vida dos moradores.....	57
Gráfico 5 – Principal causa dos problemas de drenagem segundo percepção dos moradores.....	58
Gráfico 6 – Proporção de moradores que buscaram atendimento médico após eventos chuvosos.....	59

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Coeficientes de escoamento superficial (C) para diferentes tipos de uso do solo...	19
Tabela 2 – Percentual de captação das bocas de lobo em pontos baixos e intermediários da via.....	23
Tabela 3 – Drenagem urbana brasileira.....	29
Tabela 4 – Parâmetros hidrológicos e vazões de projeto estimadas pelo Método Racional para as vias.....	45
Tabela 5 – Parâmetros hidráulicos adotados no dimensionamento das sarjetas	46
Tabela 6 – Comparação entre vazão de projeto e capacidade hidráulica da sarjeta	47
Tabela 7 – Situação dos dispositivos de microdrenagem.....	54



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 METODOLOGIA	13
3.1 TIPO DE PESQUISA	13
3.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS	15
3.4 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS	16
3.4.1 Equação IDF	18
3.4.1 Cálculo de vazão pelo Método Racional (Q)	18
3.5 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS	19
3.5.1 Dimensionamento de Sarjetas	20
3.5.2 Dimensionamento de Bocas de lobo	22
3.6 ESTUDO TOPOGRÁFICO E MORFOLÓGICO	23
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
4.1 URBANIZAÇÃO E SEUS IMPACTOS	24
4.2 DRENAGEM URBANA	26
4.3 TIPO DE DRENAGEM PLUVIAL	27
4.4 MICRODRENAGEM	27
4.4.1 Sistema de microdrenagem	28
4.4.2 Sarjetas	31
4.4.3 Boca de lobo	31
4.4.4 Poços de visita	33
4.4.5 Galerias pluviais	34
4.5 A IMPORTÂNCIA DA DRENAGEM URBANA	34
4.6 IMPACTO DO DESENVOLVIMENTO URBANO NO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 ANÁLISE ESPACIAL E TOPOGRÁFICA DO BAIRRO COLINAS PARK	38
5.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DA ÁREA	44
5.3 ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO	46
5.4 ANÁLISE DO SISTEMA DE MICRODRENAGEM URBANA	48
5.5 PERCEPÇÃO DOS MORADORES SOBRE OS PROBLEMAS DE DRENAGEM URBANA	55
6 PROPOSTA DE MELHORIAS TÉCNICAS	60
6.1 INTERVENÇÕES ESTRUTURAIS NO SISTEMA DE MICRODRENAGEM	60
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS	69
APÊNDICE	

1 INTRODUÇÃO

A urbanização avança de forma contínua e se consolida como um fenômeno irreversível no contexto contemporâneo. Segundo o relatório Estado das Cidades do Mundo (2024), elaborado pela ONU-Habitat, estima-se que, até 2050, aproximadamente 68% da população mundial estará concentrada em áreas urbanas, o que evidencia os desafios relacionados ao planejamento, à gestão ambiental e à infraestrutura urbana. Com a intensificação da ocupação, os efeitos das mudanças climáticas tornam-se mais perceptíveis, sobretudo pela maior frequência de eventos extremos, como chuvas intensas e períodos prolongados de precipitação.

O crescimento urbano desordenado, impulsionado por fatores como migração interna, déficit habitacional e expansão econômica desigual, provoca transformações profundas no espaço urbano e revela fragilidades estruturais, especialmente onde não há planejamento adequado ou investimentos contínuos em infraestrutura (Guerra; Gonçalves; Oliveira, 2024). No Brasil, esse processo ocorreu de forma acelerada e desarticulada, resultando em maior impermeabilização do solo, ocupação de áreas sensíveis e sobrecarga dos sistemas urbanos entre eles, a drenagem pluvial, frequentemente incapaz de atender à demanda crescente (Araújo, 2024).

Do ponto de vista hidrológico, a urbanização altera o ciclo da água ao substituir superfícies permeáveis por impermeáveis, reduzindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial. Tucci (2003) destaca que tal processo eleva as vazões máximas, reduz o tempo de concentração e favorece alagamentos, agravados ainda mais pelo uso de modelos ultrapassados, baseados no rápido escoamento da água, prática já abandonada em países desenvolvidos desde a década de 1970.

Nesse contexto, a drenagem urbana desponta como um dos sistemas mais impactados pelas transformações do espaço urbano. Sua função primordial, conduzir adequadamente as águas pluviais, minimizando riscos de inundação e reduzindo impactos ambientais e sociais, passa a ser comprometida diante da expansão urbana acelerada e da adoção de soluções técnicas inadequadas. Conforme enfatiza Rammal e Berthier (2020). A falta de manutenção, o subdimensionamento das redes, a obstrução por resíduos sólidos e a expansão irregular dos bairros configuram um cenário de fragilidade estrutural persistente. .

É nesse contexto que se insere o município de Açailândia, localizado no Maranhão, cuja dinâmica de expansão reflete padrões semelhantes aos observados em cidades brasileiras em crescimento acelerado, com intensificação da impermeabilização e déficits de infraestrutura

pluvial. No interior desse processo, destaca-se o bairro Colinas Park, onde o crescimento recente tem resultado em episódios recorrentes de acúmulo de água e alagamentos, sobretudo no período chuvoso, corroborando riscos apontados pelo relatório de Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC (2021) para áreas urbanas vulneráveis.

O bairro apresenta crescimento acelerado e infraestrutura insuficiente de drenagem, marcada por impermeabilização do solo e microdrenagem limitada, o que reflete os desafios enfrentados pelo município no gerenciamento das águas pluviais. Assim, analisar o bairro Colinas Park permite materializar, em escala local, os impactos da urbanização sobre o sistema de drenagem urbana, possibilitando compreender suas vulnerabilidades socioambientais e subsidiar a proposição de soluções que promovam eficiência hidráulica e melhoria da qualidade de vida da população (Marques, 2019).

Situado na região sudoeste do estado do Maranhão, área que apresenta significativa relevância econômica e demográfica no contexto estadual. O município destaca-se por sua posição estratégica, sendo cortado por importantes eixos logísticos e rodovias federais, fatores que contribuem para a intensificação do crescimento urbano e para a expansão de áreas residenciais. Nesse cenário, o bairro Colinas Park insere-se como uma área de ocupação relativamente recente, marcada por acelerado processo de urbanização e aumento da densidade construtiva.

A expansão do bairro Colinas Park ocorreu de forma progressiva, impulsionada pelo mercado imobiliário e pela demanda por habitação, porém sem o devido acompanhamento de um planejamento urbano integrado, especialmente no que se refere à implantação de infraestrutura de drenagem. A intensificação do uso do solo resultou em loteamentos residenciais, pavimentações e edificações que substituíram áreas originalmente permeáveis, alterando significativamente o comportamento hidrológico da região.

Do ponto de vista físico-ambiental, essa urbanização acelerada promoveu ampla impermeabilização do solo, reduzindo a capacidade de infiltração e aumentando o volume e a velocidade do escoamento superficial, conforme Tucci (2003). A baixa presença de áreas verdes e a limitação de dispositivos adequados para o controle do escoamento favorecem o acúmulo de água em pontos críticos, sobretudo em vias com declividades inadequadas ou com ausência de bocas de lobo e sarjetas dimensionadas corretamente.

A infraestrutura existente de drenagem é composta predominantemente por elementos pontuais de microdrenagem, cuja implantação não acompanhou o ritmo do crescimento urbano. Em diversos trechos, constata-se insuficiência ou inexistência de galerias, além de obstruções

causadas por resíduos e sedimentos, comprometendo o desempenho hidráulico durante eventos de precipitação intensa. Além das limitações estruturais, a ausência de manutenção sistemática agrava os problemas identificados. O descarte inadequado de resíduos sólidos em vias públicas e dispositivos de captação contribui para o entupimento de bocas de lobo e redução da capacidade de escoamento, cenário recorrente em áreas com deficiência de gestão e educação ambiental.

Como aponta Tucci (2008), a eficiência dos sistemas de drenagem depende tanto do dimensionamento técnico quanto da manutenção e gestão integrada. Essas fragilidades refletem-se diretamente nos aspectos socioambientais. O acúmulo de água afeta a mobilidade urbana, degrada a malha viária, compromete o tráfego e expõe a população a riscos à saúde pública devido à proliferação de vetores e à presença de águas contaminadas, especialmente em contextos de vulnerabilidade social.

Essa dinâmica urbana evidencia a fragilidade do planejamento integrado entre habitação, obras públicas, meio ambiente e recursos hídricos, contribuindo para a sobrecarga das redes e ampliando os impactos negativos associados aos eventos de chuva intensa. Tais efeitos alinham-se às projeções do IPCC (2021; 2022) para áreas urbanas vulneráveis às mudanças climáticas.

Diante desse cenário, o Colinas Park constitui-se como um exemplo representativo dos desafios enfrentados por bairros em expansão no que se refere à drenagem urbana. A caracterização dessa realidade destaca a necessidade de intervenções que aliem ampliação e readequação das estruturas de microdrenagem com estratégias integradas, como soluções baseadas na natureza, fortalecimento da gestão urbana e participação comunitária.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os impactos da urbanização sobre o sistema de drenagem urbana no bairro Colinas Park, no município de Açailândia-MA, com ênfase nas consequências associadas ao crescimento urbano desordenado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar as condições atuais do sistema de microdrenagem de águas pluviais no bairro Colinas Park;
- Identificar as principais causas das falhas e deficiências existentes nas redes de escoamento pluvial;
- Avaliar os impactos urbanos, sociais e ambientais decorrentes das lacunas no sistema de drenagem de águas pluviais;
- Apresentar uma proposta de solução técnica que contribuam para a melhoria da eficiência e da eficácia do sistema de drenagem do bairro.

3 METODOLOGIA

O presente estudo utiliza uma abordagem metodológica integrada, reunindo Geoprocessamento, Modelagem Hidrológica aplicada à microdrenagem urbana e Pesquisa de Campo para analisar os impactos da urbanização no sistema de drenagem do bairro Colinas Park, em Açailândia–MA. A área de estudo foi delimitada por com os auxilio dos mapas de curvas de nível e declividade, permitindo identificar a bacia de contribuição e compreender o comportamento do relevo. A ocupação urbana foi avaliada por meio de análise multitemporal do uso e ocupação do solo, possibilitando verificar o aumento das áreas impermeabilizadas ao longo dos anos.

Os dados gerados pelo geoprocessamento foram associados ao Método Racional e às equações Intensidade–Duração–Frequência (IDF) para estimar o acréscimo da vazão de pico decorrente da urbanização. Além disso, visitas in loco e entrevistas com moradores foram realizadas para validar pontos críticos de acúmulo de água. Essa integração de procedimentos permitiu mensurar o estresse hídrico sobre a microdrenagem existente e subsidiar a proposição de soluções baseadas em Medidas Compensatórias de Drenagem Urbana (MCDUs).

3.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa adotará uma abordagem integrada, combinando estudo de caso, pesquisa bibliográfica e análise documental para compreender os impactos da urbanização na drenagem urbana do bairro. A pesquisa de campo será fundamental para a coleta de dados primários, incluindo visitas in loco e entrevistas com moradores, realizadas por meio de questionários, a fim de identificar os principais problemas existentes. Além disso, serão desenvolvidas análises técnicas e registros fotográficos da infraestrutura, possibilitando uma avaliação detalhada das condições do sistema de drenagem.

A metodologia combinará métodos qualitativos e quantitativos. Os dados qualitativos serão obtidos por meio das entrevistas e questionários, buscando captar a percepção dos moradores sobre o nível elevado das águas e os prejuízos à qualidade de vida. Já os dados quantitativos envolverão registros pluviométricos, características das infraestruturas de drenagem, fotografias e análises documentais, permitindo uma interpretação mais precisa e fundamentada sobre o sistema de drenagem do bairro.

A pesquisa bibliográfica oferecerá o embasamento teórico necessário, mediante revisão de artigos científicos, livros, dissertações, teses, anais de congressos, normas técnicas, relatórios

institucionais e publicações governamentais. Segundo Lakatos e Marconi (2017), a pesquisa bibliográfica permite a fundamentação científica do estudo, garantindo maior embasamento e confiabilidade às análises. A análise documental complementar a pesquisa mediante exame de relatórios técnicos, legislações municipais, planos diretor, mapas topográficos, pareceres ambientais, laudos técnicos e estudos de impacto ambiental.

3.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no bairro Colinas Park, localizado no município de Açailândia, estado do Maranhão. O município situa-se na região Nordeste do Brasil, na mesorregião do Oeste Maranhense e microrregião de Imperatriz, apresentando altitude média de aproximadamente 240 metros acima do nível do mar. Açailândia possui área territorial de cerca de 5.805,159 km² e população estimada em 110.506 habitantes em 2024, com densidade demográfica de 18,35 hab/km². Em períodos de maior atividade econômica, a população flutuante pode alcançar aproximadamente 130.000 habitantes (IBGE, 2024).

Figura 1 – Vista aérea do bairro Colinas Park, Açailândia/MA



Fonte: Google Earth (2025).

A Figura 1 apresenta a localização e a configuração urbana do bairro Colinas Park, evidenciando o padrão de ocupação do solo e a distribuição das áreas impermeabilizadas. O município destaca-se economicamente pela forte atuação no setor agroindustrial, com ênfase na produção e exportação de ferro-gusa, impulsionada pela presença de siderúrgicas. Além disso, o comércio diversificado e a atividade agropecuária, especialmente a pecuária bovina,

contribuem significativamente para a economia local. Em 2021, o município apresentou PIB per capita de R\$ 33.649,84, ocupando a 12^a posição entre os municípios maranhenses (IBGE, 2021).

O bairro Colinas Park insere-se na zona de expansão urbana do município, sendo desenvolvido para acompanhar o crescimento da cidade. A drenagem da área é realizada predominantemente por sistemas de microdrenagem que direcionam as águas pluviais para os corpos hídricos locais. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é tropical úmido (Aw), caracterizado por chuvas típicas no verão e período de estiagem no inverno. As temperaturas médias variam entre 25,9 °C e 32 °C, e o período chuvoso ocorre entre os meses de dezembro e maio, com precipitação anual média de aproximadamente 1.500 mm (INMET, 2024).

3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS

O processo de levantamento de dados seguiu uma abordagem sistemática, conforme ilustrado no Fluxograma Metodológico Figura 2, que apresenta as etapas adotadas para a obtenção, análise e interpretação das informações necessárias ao desenvolvimento da pesquisa.

Inicialmente, foram coletados dados secundários junto a órgãos públicos e bases de dados especializadas, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Prefeitura Municipal de Açailândia. Essas informações incluíram mapas topográficos, dados pluviométricos, registros de alagamentos e informações sobre a infraestrutura de drenagem urbana existente.

Também foram consultados dados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que fornecem informações relevantes sobre disponibilidade hídrica, gestão de recursos hídricos e indicadores de saneamento relacionados às águas pluviais. Essas bases permitiram complementar a análise do comportamento hidrológico da área de estudo, especialmente no que diz respeito à capacidade de drenagem e ao impacto do crescimento urbano sobre o ciclo da água. (ANA, 2020).

Em seguida, foi realizado o estudo mapeamento da bacia hidrográfica do bairro, com a identificação dos principais cursos d'água, áreas de infiltração e pontos de retenção do escoamento superficial. Essa etapa envolveu a análise de imagens aéreas e na modelagem do terreno, possibilitando a compreensão do local.

Posteriormente, foram conduzidos levantamentos primários, incluindo inspeções em campo, medições topográficas e entrevistas foram do tipo semiestruturadas, com o objetivo de

complementar e validar as informações obtidas nas etapas anteriores. Os dados coletados foram analisados com o auxílio de softwares *Quantum Geographical information System (QGIS)* e modelagem hidráulica, permitindo identificar os impactos da urbanização sobre o sistema de drenagem urbana

Figura 2 – Fluxograma metodológico da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O fluxograma metodológico apresentado na Figura 2 sintetiza de maneira sistemática as etapas adotadas no desenvolvimento da pesquisa, evidenciando a sequência lógica dos procedimentos realizados, desde a escolha da área de estudo até a interpretação dos resultados.

3.4 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS

Os parâmetros hidrológicos são essenciais no planejamento e análise da drenagem urbana, pois permitem compreender o comportamento das águas pluviais em função das características da bacia e da ocupação do solo. Neste estudo, sua análise subsidiou na avaliação do sistema de drenagem. Entre os principais parâmetros considerados estão a precipitação, a área de contribuição, o coeficiente de escoamento e o tempo de concentração, diretamente relacionados ao cálculo da vazão de projeto e à capacidade da microdrenagem. Os dados pluviométricos do INMET indicam precipitação média anual de aproximadamente 1.500 mm em Açailândia, com chuvas concentradas entre dezembro e maio.

A área de contribuição foi delimitada via geoprocessamento, permitindo identificar o

escoamento das águas e os pontos críticos de alagamento. O coeficiente de escoamento foi analisado conforme o grau de impermeabilização, predominante no bairro, o que reflete maiores vazões de pico e menor infiltração, conforme Tucci (2015). O tempo de concentração foi considerado com base nas características físicas da área, sendo reduzido em função das superfícies impermeáveis, favorecendo o aumento das vazões máximas.

Com base nesses parâmetros, utilizou-se o Método Racional, adequado a bacias urbanas de pequena escala e estudos de microdrenagem (Tucci, 1995). Assim, a análise hidrológica permite compreender o estresse imposto à drenagem urbana do bairro e oferece subsídios para medidas corretivas e soluções sustentáveis.

3.4.1 Equação IDF

A determinação da intensidade da chuva pode ser realizada por meio de expressões obtidas a partir da análise da distribuição da duração e da frequência das precipitações na área urbana em estudo, conforme apresentado na Equação 1 (Tucci; Porto; Barros, 1995).

Nesse contexto, conforme destacam Neto & Blanco (2020), Equação de Intensidade–Duração–Frequência (IDF) constitui uma das principais ferramentas utilizadas, pois estabelece a relação entre a intensidade da precipitação, a duração do evento e a frequência de ocorrência, sendo construída a partir de séries históricas de dados pluviométricos e permitindo a definição das chuvas de projeto associadas a diferentes períodos de retorno.

$$I = 1907,66 \frac{Tr^{0,127}}{(t + 12)^{0,795}} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

I – Intensidade da chuva em (mm/h), obtida a partir de dados regionais;

Tr – Tempo de retorno da chuva em anos;

K, a, b, c – Parâmetros locais obtidos de dados de pluviogramas (Açailândia, 2019);

t – Tempo de duração em minutos.

Cada parâmetro da equação IDF possui função específica: K (1907,66) define a magnitude das chuvas, a (0,127) relaciona a intensidade ao tempo de retorno, b (12) atua como constante de ajuste para curtas durações e c (0,795) representa a redução da intensidade média com o aumento da duração da chuva (Açailândia, 2019).

Quadro 1 - Tempo de retorno para cada tipo de ocupação

Sistema	Tipo de Ocupação	TR (ano)
Microdrenagem	residencial	2
	comercial	5
	Área com edifícios de serviço público	5
	Aeroportos	2 a 5
	Área comerciais e artérias de tráfego	5 a 10
Macrodrenagem	Área comerciais e residenciais	50 a 100
	Área de importância específica	100*

Fonte: Manual de drenagem urbana - Curitiba (2021).

O tempo de retorno (Tr) corresponde ao intervalo médio em que um evento hidrológico é igualado ou superado ao menos uma vez, sua escolha depende da importância da obra e dos riscos associados à falha, sendo maiores para estruturas críticas e menores para sistemas de menor impacto (Silva, 2023), conforme apresentado na Quadro 1.

3.4.2 Cálculo de vazão pelo Método Racional (Q)

A estimativa da vazão de projeto foi realizada a partir das características da bacia hidrográfica e do cálculo do tempo de concentração, elementos determinantes para a previsão da vazão máxima esperada. O método adotado foi o Método Racional, amplamente utilizado para bacias urbanas de pequena escala, com área inferior a 2 km², conforme recomendado por Tucci (1995).

A obtenção da vazão de projeto é essencial para o dimensionamento adequado de obras hidráulicas e para a gestão eficiente dos recursos hídricos urbanos. Para isso, é necessário compreender as características da bacia de drenagem e determinar o tempo de concentração, que influencia diretamente o valor da vazão máxima. Esses fatores contribuem para a redução de riscos associados a alagamentos e para a melhoria da eficiência do sistema de drenagem (Araújo *et al.*, 2011).

O Método Racional baseia-se na relação entre a intensidade da chuva, a área de drenagem e o coeficiente de escoamento superficial, conforme a equação:

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

Q = vazão de pico (m^3/s);

C = coeficiente de escoamento, conforme o grau de impermeabilização do solo;

I = intensidade da chuva (mm/h), obtida a partir de dados pluviométricos regionais;

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

Considerando que o bairro Colinas Park apresenta predominância de vias asfaltadas, alta impermeabilização do solo, ocupação residencial consolidada e baixa presença de áreas verdes funcionais, adotou-se neste estudo conforme a Tabela 2 o valor médio: $C=0,80$. Esse valor é compatível com áreas urbanas consolidadas e é amplamente empregado em estudos de microdrenagem urbana, conforme recomendado pela literatura técnica.

Tabela 1 - Coeficientes de escoamento superficial (C) para diferentes tipos de uso do solo

Tipo de uso e ocupação do solo	Coeficiente de escoamento (C)
Área residencial com pavimentação asfáltica	0,70 – 0,85
Área residencial com pavimento intertravado	0,60 – 0,75
Área comercial pavimentada	0,80 – 0,90
Vias urbanas asfaltadas	0,85 – 0,95
Vias não pavimentadas (terra batida)	0,40 – 0,60
Calçadas em concreto	0,85 – 0,95
Lotes parcialmente ocupados (solo exposto)	0,50 – 0,70
Áreas com vegetação rala	0,30 – 0,50
Áreas gramadas	0,20 – 0,35
Áreas verdes bem conservadas	0,10 – 0,25

Fonte: Adaptado de Tucci (2015); DAEE (2019); Manual de Drenagem de Curitiba (2021).

3.5 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

O dimensionamento hidráulico da rede de microdrenagem constitui etapa fundamental para garantir a eficiência do sistema de drenagem urbana, sendo baseado em critérios técnicos e normativos que visam assegurar a adequada captação, condução e lançamento das águas pluviais. O processo de dimensionamento envolve a análise integrada de diversos componentes do sistema, incluindo sarjetas, bocas de lobo, poços de visita e galerias pluviais, cada um desempenhando função específica no conjunto da infraestrutura de drenagem. Para o bairro Colinas Park, em Açailândia-MA, o dimensionamento considerou as características topográficas locais, o padrão de ocupação do solo e as condições de precipitação da região.

3.5.1. Dimensionamento de Sarjetas

As sarjetas desempenham um papel fundamental no sistema de microdrenagem urbana, pois são responsáveis por captar inicialmente as águas pluviais que escoam sobre as vias públicas e direcioná-las até os dispositivos de drenagem. Quando a vazão superficial excede a capacidade dessas estruturas, surgem diversos problemas que afetam tanto a infraestrutura urbana quanto a segurança da população, como o alagamento das vias, a dificuldade de deslocamento de veículos, a inundação de calçadas e o comprometimento da circulação de pedestres. Além disso, o aumento da velocidade do escoamento pode intensificar processos erosivos, ocasionando danos ao pavimento e reduzindo a vida útil das vias urbanas (Tucci, 2015).

O comportamento hidráulico do escoamento nas ruas pode ser avaliado a partir de duas situações típicas. Na primeira, considera-se que a água ocupa toda a calha da via, hipótese associada a eventos de chuva mais intensos, adotando-se declividade transversal de 3% e altura da lâmina d'água de até 0,15 m. Na segunda situação, representativa de condições normais de funcionamento, o escoamento ocorre predominantemente pelas sarjetas, com a mesma declividade transversal e lâmina d'água limitada a 0,10 m. Essas hipóteses permitem avaliar diferentes cenários de operação do sistema e verificar sua capacidade de condução frente às variações de intensidade pluviométrica.

Para o bairro Colinas Park, adotou-se como critério de projeto a altura máxima da lâmina d'água de 0,15 m em vias locais, valor que busca conciliar eficiência hidráulica e segurança viária. Esse parâmetro está de acordo com as recomendações do Manual de Drenagem Urbana do DNIT (2006), que estabelece limites para evitar riscos a pedestres, veículos e à própria integridade do sistema viário, assegurando melhor desempenho do sistema de microdrenagem urbana.

O dimensionamento hidráulico das sarjetas baseia-se na hipótese de escoamento, sendo aplicada a equação de Manning para canais abertos, conforme Equação 3.

$$Q = \frac{AR^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

Q – Vazão (m³/s);

n – Coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional);

A – Área molhada da seção transversal (m²);

R – Raio hidráulico, definido como A/P (m);

S – Declividade longitudinal da sarjeta (m/m).

Para vias públicas pavimentadas em concreto asfáltico ou concreto de cimento, o coeficiente de rugosidade de Manning é, em geral, de $n = 0,016$ a $0,017$. Para o presente estudo, adotou-se $n = 0,017$, valor recomendado pela literatura técnica para superfícies em asfalto ou concreto com acabamento convencional. Para sarjetas triangulares, geometria mais comum em áreas urbanas, a área molhada e o perímetro molhado podem ser expressos em função da altura da lâmina d'água (y) e da declividade transversal (expressa na forma Z), (Chow, 1959; Tucci, 2015; DNIT, 2017). Conforme apresentado nas Equações 4 e 5.

$$A = Z \cdot y^2 \quad \text{Equação 4}$$

$$P = y \sqrt{1 + Z^2} \quad \text{Equação 5}$$

O padrão adotado o cálculo do meio-fio e sarjeta no município de Açailândia-MA segue as especificações de pavimentação urbana, sendo comumente empregados meio-fios de concreto pré-moldado com altura de 15 cm e sarjetas triangulares com declividade transversal de 3%. (Toledo, 2017). Para o bairro Colinas Park, o dimensionamento das sarjetas considerou as características geométricas das vias locais, as declividades longitudinais disponíveis, identificadas a partir do levantamento topográfico, e as vazões de projeto calculadas para cada trecho da rede de microdrenagem.

A verificação hidráulica assegurou que as alturas das lâminas d'água resultantes não excedessem os limites estabelecidos, garantindo assim o desempenho adequado do sistema e a segurança dos usuários das vias públicas.

3.5.2 Dimensionamento de bocas de lobo

As bocas de lobo são dispositivos de captação localizados ao longo das sarjetas, responsáveis pela admissão das águas pluviais ao sistema de microdrenagem subterrâneo. O dimensionamento dessas estruturas depende do tipo de dispositivo adotado e das condições hidráulicas do escoamento superficial na sarjeta. Conforme metodologia proposta pela Federal Highway Administration – FHWA (1996), amplamente utilizada em projetos de drenagem urbana, as bocas de lobo podem operar como vertedores ou orifícios, a depender da relação entre a altura da lâmina d'água e as dimensões da abertura.

Para bocas de lobo de guia (meio-fio) sem depressão, quando a altura da lâmina d'água junto à sarjeta é inferior à altura da abertura ($y < h$), o dispositivo funciona como vertedor lateral, sendo a vazão captada determinada pela Equação 6:

$$Q = 1,7Ly \frac{3}{2} \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

Q – Vazão captada pela boca de lobo (m^3/s);

L – Comprimento da abertura da boca de lobo (m);

y – Altura da lâmina d'água junto à guia (m).

Quando a altura da lâmina d'água excede o dobro da abertura na guia ($y \geq 2h$), o dispositivo passa a operar como orifício, e a capacidade de engolimento é dada pela Equação 7

$$Q = 0,90 \cdot h \cdot L \sqrt{2g + y} \quad \text{Equação 7}$$

Em que:

h – Altura da abertura na guia (m);

g – Aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Para o presente estudo, adotou-se bocas de lobo de guia com comprimento padrão $L = 1,00 \text{ m}$ e altura de abertura $h = 0,15 \text{ m}$, dimensões comumente utilizadas em projetos de microdrenagem urbana. A locação das bocas de lobo no bairro Colinas Park considerou os pontos de maior acúmulo de água identificados em campo, priorizando cruzamentos de vias, pontos baixos e trechos com declividade acentuada.

Tabela 2- Percentual de captação das bocas de lobo em pontos baixos e intermediários da via

Localização na sarjeta	Tipos de boca de lobo	% permitida sobre o valor teórico
Ponto baixo	De guia	80
	Com grelha	50
	Combinada	65
Ponto intermediário	De guia	80
	Grelha longitudinal	60
	Grelha Transversal	60
	Grelha longitudinal com barras transversais combinadas	60

Fonte: Adaptada de DAEE/CETESB (1980)

Os percentuais de eficiência de captação das bocas de lobo variam conforme o tipo de dispositivo e sua posição ao longo da via. De acordo com a Tabela 2, dispositivos localizados em pontos baixos apresentam maior eficiência relativa, podendo captar até 80% da vazão teórica no caso de bocas de lobo de guia, enquanto dispositivos com grelha apresentam eficiência reduzida devido à maior suscetibilidade à obstrução. Em pontos intermediários da sarjeta, a eficiência média adotada é de aproximadamente 60%, refletindo perdas hidráulicas associadas ao escoamento longitudinal e à entrada parcial da água no dispositivo.

3.6 ESTUDO TOPOGRÁFICO E MORFOLÓGICO

O estudo topográfico e morfológico do bairro Colinas Park foi realizado com o objetivo de compreender as características físicas do terreno e sua influência no escoamento superficial das águas pluviais. Essa etapa é fundamental para a análise da drenagem urbana, uma vez que o relevo, a declividade e a morfologia da área condicionam o comportamento hidrológico da bacia de contribuição e a ocorrência de alagamentos.

A análise foi desenvolvida a partir de técnicas de geoprocessamento, utilizando mapas de curvas de nível e de declividade, associados à interpretação de imagens aéreas obtidas por meio do Google Earth, além de observações realizadas durante as visitas de campo. A elaboração dos mapas temáticos foi realizada no software QGIS, o que permitiu a análise espacial integrada do relevo, do escoamento superficial e do uso e ocupação do solo. Esses procedimentos possibilitaram identificar o padrão topográfico predominante do bairro, bem como os sentidos preferenciais de escoamento das águas pluviais.

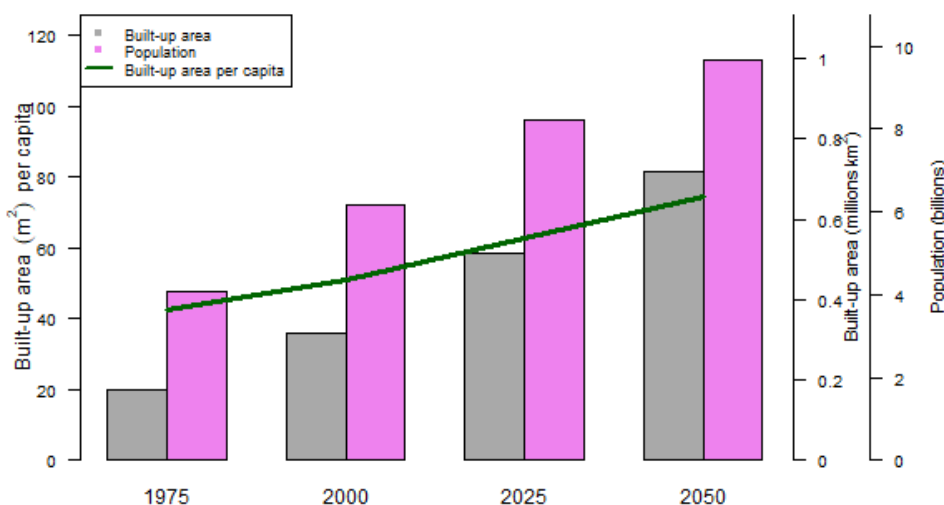
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 URBANIZAÇÃO

A urbanização é um processo dinâmico que transforma áreas predominantemente rurais em ambientes urbanos, caracterizando-se pelo aumento populacional, pela intensificação do uso do solo e pela expansão da infraestrutura urbana. Esse processo promove profundas alterações no meio ambiente natural, além de desencadear mudanças econômicas e sociais significativas, introduzindo novas dinâmicas e funções ao espaço urbano. O modelo de crescimento das cidades exerce influência direta sobre essas transformações, impactando tanto a qualidade de vida da população quanto o funcionamento dos ecossistemas urbanos (Mccay, 2021).

A intensificação da urbanização em escala global, sobretudo em países em desenvolvimento, transformou as cidades em focos de impactos ambientais. A urbanização desordenada está associada à ocupação inadequada do solo e à ausência de planejamento urbano. A impermeabilização do solo decorrente de edificações e pavimentação reduz a infiltração da água da chuva. Esse fenômeno aumenta o escoamento superficial e intensifica enchentes e alagamentos em áreas urbanas (Das; Das, 2019).

Figura 3 - Expansão da área urbana construída global (1975-2050)



Fonte: United Nations (2025)

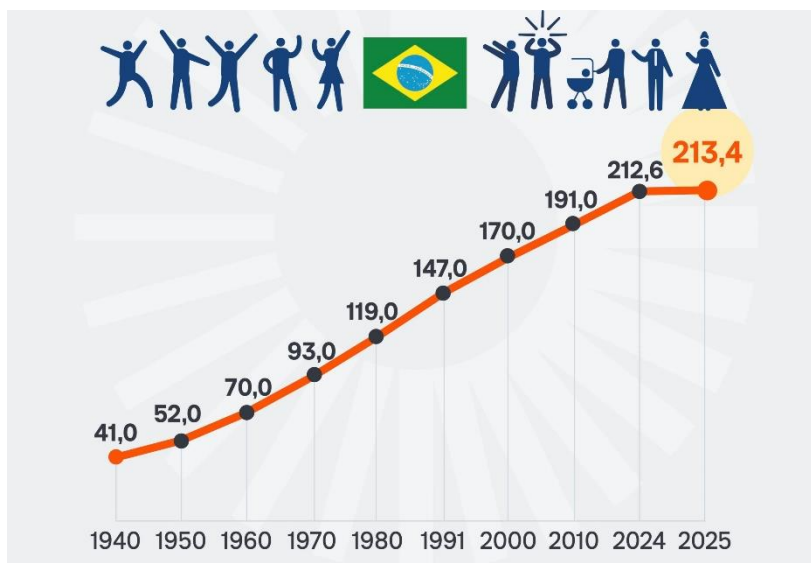
A Figura 3 apresenta a evolução da área urbana construída em escala mundial entre 1975 e 2050, evidenciando o processo acelerado de expansão urbana global. Os dados das Nações Unidas demonstram que a área construída passou de aproximadamente 20 mil km² em 1975 para 110 mil km² em 2050, representando um crescimento superior a 450% em um século. O gráfico revela três dimensões inter-relacionadas: a expansão absoluta da área construída, o

crescimento populacional e a área construída per capita. Observa-se que a população global apresenta crescimento contínuo e a área construída per capita aumenta, passando de aproximadamente 0,4 para 0,8, indicando um padrão de urbanização marcado pela expansão horizontal das cidades e aumento do consumo de espaço urbano por habitante.

Segundo Qi *et al.* (2024), o crescimento urbano acarreta elevação dos custos relacionados à habitação e à infraestrutura urbana, em função da escassez de recursos como água, terra e materiais de construção. Em cidades em expansão acelerada, os governos locais frequentemente enfrentam dificuldades para atender às demandas crescentes da população, resultando em um processo de desenvolvimento urbano fortemente influenciado pelo capital privado, o que pode aprofundar desigualdades e comprometer a oferta de serviços públicos essenciais.

Além disso, a remoção da vegetação nativa para a implantação de empreendimentos urbanos reduz a capacidade do solo de absorver água e de filtrar poluentes, favorecendo o transporte de contaminantes para os corpos hídricos urbanos (Bezerra; Souza, 2021). A urbanização descontrolada também apresenta implicações sociais, uma vez que a ausência de planejamento favorece a ocupação de áreas de risco, expondo a população a desastres naturais, incluindo deslizamentos de terra e enchentes (Zazyki; Marin; Moura, 2020).

Figura 4 - Crescimento populacional e urbanização no Brasil (1940-2025)



Fonte: PODER360 (2025)

Contudo, se mostra a evolução demográfica do Brasil de 1940 a 2025, evidenciando um crescimento expressivo da população nesse período. Os dados do IBGE demonstram que o país passou de 41,0 milhões de habitantes em 1940 para 213,4 milhões em 2025, representando um

aumento de aproximadamente 420%, com forte expansão até a década de 1990 e desaceleração posterior, influenciada pela queda da fecundidade e pelo envelhecimento populacional, conforme ilustrado na Figura 4.

O crescimento urbano exerce ainda pressão significativa sobre os serviços públicos, como saneamento básico, saúde e transporte, contribuindo para o aumento das desigualdades sociais e para a deterioração da qualidade de vida dos moradores. Embora a urbanização possa atuar como vetor de desenvolvimento econômico, estimulando a geração de empregos e a diversificação das atividades produtivas, a má gestão desse processo impõe desafios expressivos. Os custos associados à recuperação de áreas afetadas por alagamentos e à manutenção de infraestruturas inadequadas representam um ônus financeiro relevante tanto para os governos locais quanto para a população, resultando em impactos econômicos negativos para a sociedade como um todo (Araújo; Gomes; Silva, 2020).

Diante desse cenário, torna-se essencial a adoção de estratégias de planejamento urbano sustentável para mitigar os impactos negativos da urbanização e evitar perdas econômicas e sociais significativas. Essas estratégias devem contemplar a preservação de áreas verdes, a aplicação de técnicas de gestão sustentável das águas pluviais, como jardins de chuva e pavimentos permeáveis, e a promoção da conscientização pública quanto à importância da gestão adequada dos recursos naturais urbanos (Moura, 2019).

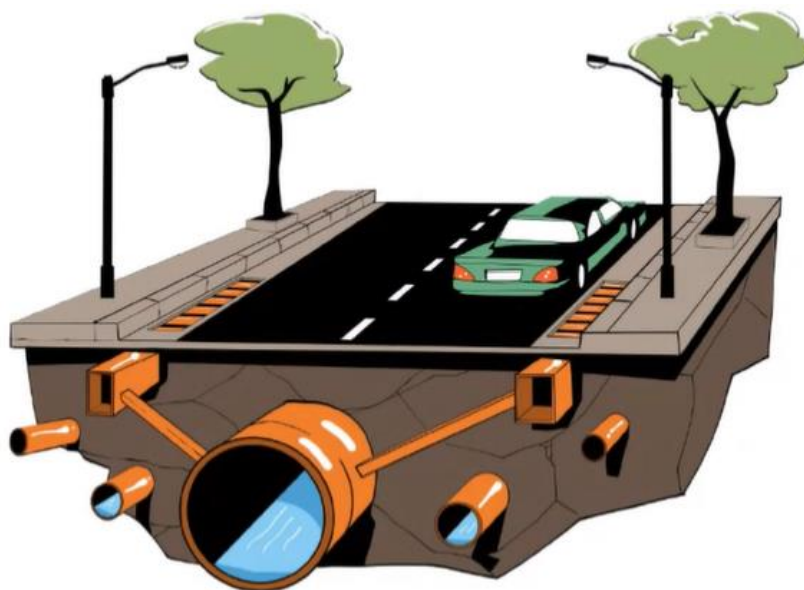
4.2 DRENAGEM URBANA

A drenagem urbana é um componente fundamental da infraestrutura das cidades, sendo responsável pela adequada condução e manejo das águas pluviais, com o objetivo de reduzir a ocorrência de alagamentos e inundações. O crescimento urbano acelerado, aliado à intensificação da impermeabilização do solo, contribui para o aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial, agravando os problemas relacionados às cheias urbanas. Além disso, a falta de planejamento urbano e a deficiência na manutenção das estruturas de drenagem favorecem a recorrência desses eventos em diferentes áreas urbanas (Mello, 2013).

Nesse contexto, a drenagem urbana deve ser entendida como um conjunto de ações e estruturas interligadas, cuja eficiência está associada ao adequado dimensionamento, à manutenção contínua e à compatibilidade com o uso e a ocupação do solo. A ausência desses critérios compromete a capacidade de resposta da cidade às demandas impostas pela urbanização, resultando em impactos negativos sobre a infraestrutura, a mobilidade urbana e a saúde pública.

Figura 5 apresenta uma ilustração esquemática do sistema de drenagem urbana, destacando a relação entre a via pavimentada e as tubulações subterrâneas responsáveis por captar e conduzir a água da chuva. A imagem mostra como bocas de lobo e galerias coletam o escoamento superficial, prevenindo alagamentos e garantindo o fluxo adequado das águas pluviais no ambiente urbano.

Figura 5 - Sistema de drenagem



Fonte: Costa jr (2025)

A drenagem urbana pode ser compreendida a partir de duas vertentes complementares: a microdrenagem e a macrodrenagem. A macrodrenagem está relacionada às estruturas de maior porte, como rios, córregos e canais, responsáveis por captar e conduzir grandes volumes de água, desempenhando papel fundamental no controle de inundações em áreas urbanizadas. Por sua vez, a microdrenagem atua em escala local, sendo responsável pelo escoamento das águas pluviais em ruas, quarteirões e pequenas áreas urbanas. O referido sistema engloba dispositivos como sarjetas, bocas de lobo, poços de visita e redes de tubulação, garantindo a coleta eficiente das águas pluviais e prevenindo o acúmulo de água nas vias públicas (Canholi, 2015).

4.3 TIPOS DE DRENAGEM PLUVIAL

Os sistemas de drenagem pluvial urbana são essenciais para coletar, conduzir e escoar a água da chuva, minimizando alagamentos, enchentes e prejuízos associados ao aumento das superfícies impermeáveis nas cidades. A literatura especializada classifica esses sistemas em

diferentes tipos, de acordo com sua função e dimensão na rede de drenagem urbana. A drenagem pluvial urbana deve ser compreendida como um sistema integrado, cuja eficiência depende do correto dimensionamento das estruturas, da manutenção contínua e da compatibilidade com o padrão de uso e ocupação do solo (SNIS 2023).

Dentro do contexto de saneamento ambiental, o sistema de drenagem é o responsável, primordialmente, pela coleta, manejo e disposição das águas pluviais em corpos d'água aptos para sua recepção. Quando esses aspectos não são considerados de forma adequada, o sistema torna-se incapaz de responder às demandas impostas pelo crescimento urbano, resultando em prejuízos à infraestrutura, à mobilidade urbana e à saúde pública (Justino, 2011; Paula, 2017). A drenagem superficial urbana pode ser compreendida a partir de duas vertentes complementares: a microdrenagem e a macrodrenagem, que se diferenciam pela escala de atuação e pelo porte das estruturas empregadas.

4.4 MICRODRENAGEM

A microdrenagem constitui um componente fundamental do sistema de drenagem urbana, sendo responsável pelo manejo das águas pluviais em escalas menores e mais localizadas. Esse sistema atua diretamente nas áreas onde a precipitação ocorre, como ruas, calçadas, estacionamentos e áreas residenciais, tendo como principal objetivo minimizar os impactos imediatos das chuvas e prevenir o acúmulo de água nas superfícies urbanas. A microdrenagem é composta por dispositivos como sarjetas, bocas de lobo, drenos, valas e redes coletoras, que captam e conduzem as águas pluviais para sistemas de drenagem de maior porte ou para áreas de infiltração (Santos; Rufino; Filho, 2017).

Além do controle do escoamento superficial, a microdrenagem desempenha papel relevante na proteção da qualidade da água e na preservação dos recursos hídricos urbanos. Ao direcionar adequadamente o escoamento pluvial, esse sistema contribui para a redução da carga de poluentes transportados pelas águas da chuva, evitando que contaminantes sejam lançados de forma direta e descontrolada nos corpos hídricos. Em um contexto de urbanização crescente, a eficiência da microdrenagem torna-se essencial para a promoção da sustentabilidade urbana e para a mitigação dos impactos ambientais associados aos eventos pluviométricos intensos (Jacomazzi, 2019).

A microdrenagem também é indispensável para a segurança e a funcionalidade dos espaços urbanos, especialmente em áreas onde a impermeabilização do solo é elevada. Nessas condições, a infiltração natural da água é limitada, aumentando o volume de escoamento

superficial e o risco de alagamentos localizados. Sistemas eficientes de microdrenagem canalizam a água de maneira adequada e contribuem para a manutenção da trafegabilidade das vias e da segurança das áreas residenciais. Dessa forma, a microdrenagem reduz os efeitos das chuvas intensas e contribui para a qualidade de vida urbana, evitando transtornos como inundações e danos às infraestruturas existentes (Batista, 2018).

4.4.1 Sistema de microdrenagem

O sistema de microdrenagem desempenha papel essencial na condução das águas pluviais em áreas urbanas, sendo responsável por coletar, transportar e direcionar o escoamento superficial para os sistemas de macrodrenagem ou para áreas de retenção e infiltração. Esse sistema é composto por um conjunto de dispositivos interligados, tais como sarjetas, bocas de lobo, galerias pluviais e poços de visita, que, quando corretamente dimensionados e mantidos, contribuem para a prevenção de alagamentos e para a redução dos processos erosivos (Bonfim, 2023).

A drenagem urbana no Brasil apresenta desafios significativos relacionados à expansão das redes e aos impactos da erosão. A Tabela 1 evidencia que a microdrenagem corresponde à maior parte do sistema existente, com maior concentração nas regiões Sudeste e Sul. Os dados também demonstram que a ocupação desordenada do solo e os sistemas inadequados são fatores relevantes que agravam a erosão em diversos municípios do país.

Tabela 3 – Drenagem Urbana Brasileira

Variável - Extensão da rede de drenagem urbana e Problemas de erosão que afetam o sistema de drenagem urbana, (Quilômetros/Unidades)					
Brasil e Grandes Regiões	Tipo de Drenagem		Municípios - Fatores agravantes de erosão		
	Total	Microdrenagem	Total	Ocupação intensa e desordenada do solo	Sistema inadequado
Brasil	104.906	78.473	5.564	666	691
Norte	2.375	1.825	449	54	60
Nordeste	8.257	6.901	1.793	158	166
Sudeste	50.118	36.827	1.668	299	251
Sul	36.360	28.077	1.188	110	150
Centro - Oeste	7.856	4.843	466	45	64

Fonte: IBGE (2020; 2008)

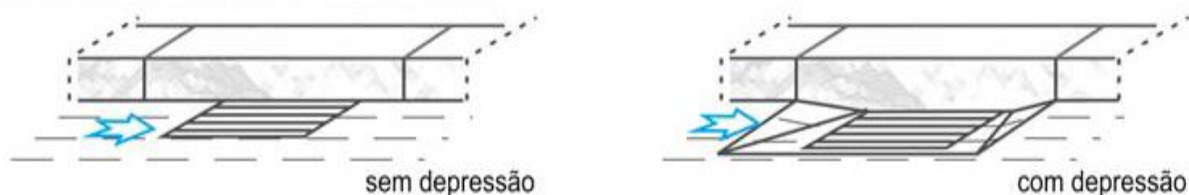
4.4.3 Boca de lobo

A boca de lobo é um dos principais dispositivos de captação de águas pluviais em áreas urbanas, sendo geralmente instalada nas calçadas ou junto às sarjetas. Sua função consiste em captar a água que escoa pelas vias públicas e direcioná-la para as galerias pluviais subterrâneas. O desempenho adequado desse dispositivo é fundamental para evitar o acúmulo de água nas ruas e minimizar a ocorrência de alagamentos localizados (Rodrigues *et al.*, 2020).

No entanto, a eficiência das bocas de lobo pode ser comprometida por entupimentos provocados pelo descarte inadequado de resíduos sólidos, folhas e sedimentos. A ausência de manutenção regular intensifica esse problema, especialmente em áreas com elevado fluxo de veículos e pedestres. Dessa forma, a limpeza periódica e o correto dimensionamento das bocas de lobo são medidas indispensáveis para garantir o funcionamento eficaz do sistema de microdrenagem (Alvarenga; Filho; Rosas, 2023).

As bocas de lobo apresentam diversas configurações para atender às características de escoamento das vias urbanas. Os modelos ilustrados nas Figuras 7, 8, 9, 10 e 11 demonstram essa variedade, incluindo as bocas instaladas junto às guias, as versões com grelha posicionadas na sarjeta, os modelos combinados e as bocas múltiplas.

Figura 7 – Boca de lobo de guia



Fonte: Manual de drenagem urbana - Curitiba (2021).

Figura 8 – Boca de lobo com grelha



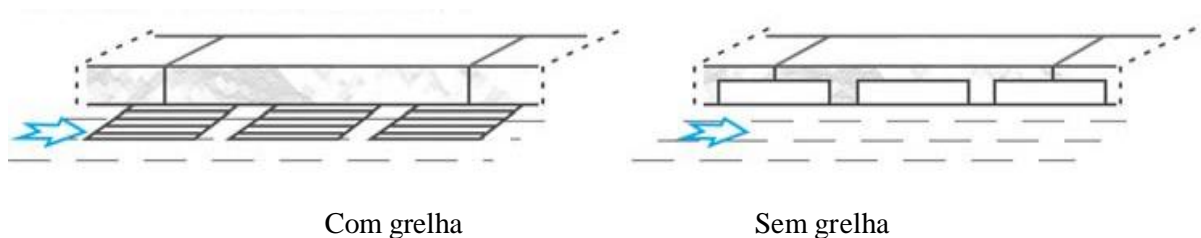
Fonte: Manual de drenagem urbana - Curitiba (2021).

Figura 9 – Boca de lobo combinada



Fonte: Manual de drenagem urbana - Curitiba (2021).

Figura 10 – Boca de lobo múltipla



Fonte: Manual de drenagem urbana - Curitiba (2021).

Figura 11 – Boca de lobo com fenda horizontal longitudinal



Fonte: Manual de drenagem urbana - Curitiba (2021).

Esses tipos podem ser encontrados com ou sem depressão, sendo esta utilizada para facilitar a entrada da água pluvial e aumentar a eficiência hidráulica. No caso dos modelos com grelha e com fenda longitudinal, a captação também auxilia na retenção de resíduos e na coleta contínua ao longo do meio-fio, tornando esses sistemas mais adequados para vias com grandes volumes de escoamento.

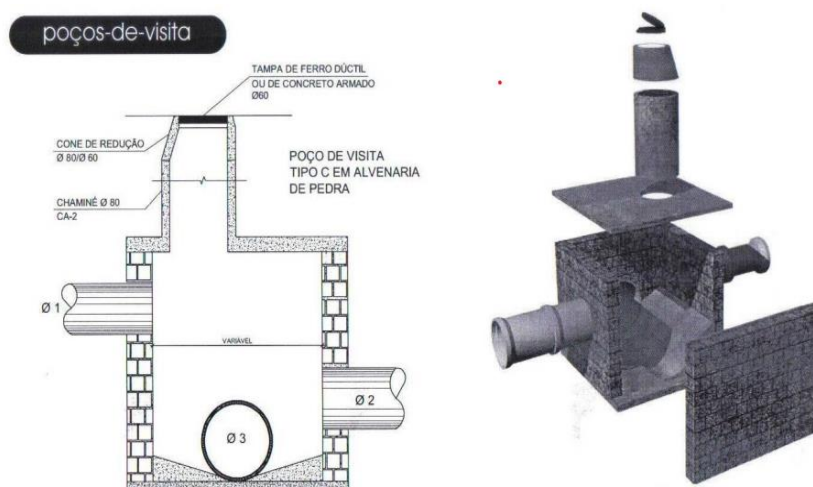
4.4.4. Poços de Visita

Os poços de visita constituem elementos essenciais do sistema de microdrenagem urbana, sendo estruturas que permitem o acesso ao interior das galerias para inspeção, limpeza e manutenção da rede coletora de águas pluviais. Os poços de visita compõem-se Figura 12 de laje de fundo, câmara de trabalho, peça de transição, chaminé e tampão, sendo instalados em pontos estratégicos do sistema (Siviero *et al.*, 2020).

Nos trechos de mudança de direção, declividade ou diâmetro das tubulações, essas ligações devem ser realizadas através dos poços de visitas (Paula *et al.*, 2017). Estes dispositivos também são empregados como pontos para limpeza e manutenção do sistema de drenagem, dessa forma ao longo da parede de sua estrutura devem ser confeccionados degraus a cada 0,30m, garantindo assim o acesso seguro das equipes de manutenção ao longo de toda a profundidade da estrutura.

O processo de execução dos poços de visita inicia-se com a uniformização do fundo da vala e lançamento de lastro de concreto magro, realizando-se em seguida a colocação das fôrmas para as paredes da câmara de trabalho e a instalação das tubulações direcionadas ao poço, sendo a concretagem realizada na sequência (Paula *et al.*, 2017). Após a desmoldagem das paredes, para o fechamento da área superior, executa-se uma laje, moldada "in loco" ou pré-moldada, com uma abertura, de onde inicia-se a estrutura que compõe a chaminé, que pode ser construída em alvenaria de tijolos maciços, rejuntados com argamassa de cimento, ou efetuada em anéis de concreto armado, devendo elevar-se até o nível da via, onde receberá o caixilho com tampão de ferro fundido (Bastista; Boldrin, 2018).

Figura 12 – Detalhamento do poço de visita



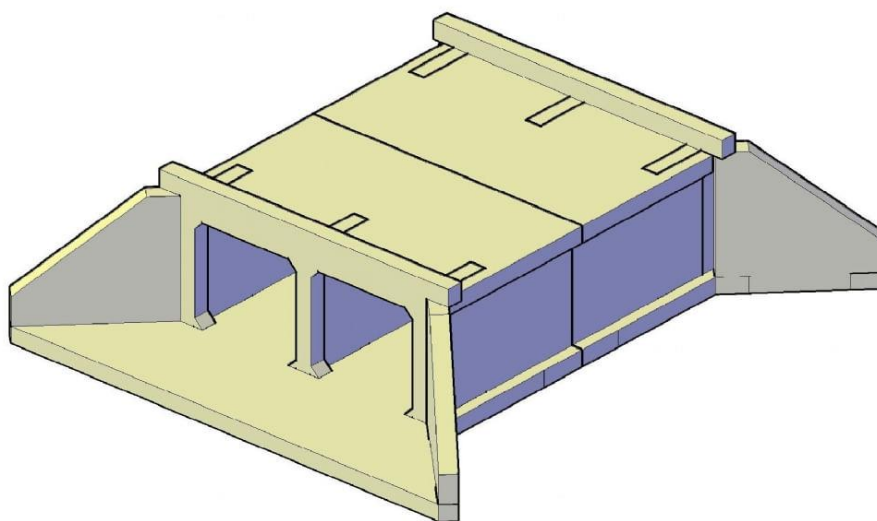
Fonte: Prefeitura de Canoas (2015)

4.4.5 Galerias Pluviais

As galerias pluviais consistem em estruturas subterrâneas projetadas para captar e conduzir as águas pluviais em áreas urbanas, desempenhando papel central no controle do escoamento superficial e na prevenção de alagamentos. Essas galerias recebem a água captada por dispositivos como sarjetas e bocas de lobo, direcionando-a para corpos hídricos naturais, canais de macrodrenagem ou sistemas de retenção.

As galerias pluviais Figura 13 integram tanto os sistemas de micro quanto de macrodrenagem, sendo fundamentais para garantir que grandes volumes de água sejam escoados de forma eficiente durante eventos de chuva intensa. O adequado dimensionamento dessas estruturas, aliado à manutenção periódica, é essencial para evitar sobrecargas, extravasamentos e danos à infraestrutura urbana (Silva *et al.*, 2020).

Figura 13 – Galeria pluvial esquematizada



Fonte: Lima hobbies (2025)

4.5 A IMPORTÂNCIA DA DRENAGEM URBANA

A drenagem urbana é um componente essencial para a manutenção da qualidade de vida nas cidades, pois atua na mitigação dos impactos negativos das chuvas intensas e na prevenção de inundações. Em áreas urbanas onde a infraestrutura de drenagem é inadequada, os eventos de precipitação tendem a causar transtornos significativos, incluindo danos a propriedades, interrupções de serviços essenciais e riscos à saúde pública. Um sistema de drenagem eficiente é, portanto, indispensável para garantir a segurança e o bem-estar da população urbana (Vieira; Lima, 2023).

A urbanização desordenada contribui de forma significativa para os problemas de drenagem urbana, uma vez que a impermeabilização do solo eleva o volume e a velocidade do escoamento superficial. Esse fenômeno é agravado pela ausência de planejamento urbano adequado e pela insuficiência de investimentos em infraestrutura de drenagem compatível com o crescimento das cidades. Municípios que não priorizam sistemas de drenagem modernos e eficientes enfrentam desafios crescentes à medida que a urbanização avança, resultando em maior incidência de inundações, erosão do solo e degradação ambiental (Meneghetti; Rezende; Almeida, 2024).

A gestão eficiente das águas pluviais é fundamental para a sustentabilidade urbana, envolvendo não apenas a implantação de infraestruturas físicas, mas também a adoção de políticas públicas integradas. Nesse contexto, a incorporação de soluções baseadas na natureza, como jardins de chuva e pavimentos permeáveis, em conjunto com sistemas tradicionais de drenagem, tem se mostrado uma estratégia eficaz para ampliar a capacidade das cidades de enfrentar eventos climáticos extremos. Além disso, essas práticas promovem benefícios ambientais adicionais, como a recarga de aquíferos e a melhoria da qualidade da água (Santos; Moraes; Furigo, 2023).

Os impactos sociais e econômicos decorrentes da ausência de um sistema de drenagem eficiente são profundos e afetam, de maneira mais intensa, as populações em situação de maior vulnerabilidade. A ineficiência dos sistemas de drenagem contribui para o agravamento das desigualdades sociais, uma vez que áreas urbanas menos favorecidas são frequentemente as mais expostas a inundações e deslizamentos. As perdas materiais e os elevados custos de recuperação impõem efeitos duradouros sobre as economias locais e sobre a qualidade de vida dos moradores (Lopes; Junior; Matos, 2020).

Por fim, é fundamental que os gestores públicos reconheçam a importância da drenagem urbana no planejamento e no desenvolvimento das cidades. Investir em infraestrutura de drenagem significa investir em resiliência urbana e em adaptação às mudanças climáticas. Conforme destaca Oliveira (2023), a implementação de estratégias eficazes de gestão das águas pluviais deve ocupar posição central nas agendas urbanas, a fim de garantir segurança, saúde e bem-estar às populações urbanas, minimizando os impactos adversos das inundações.

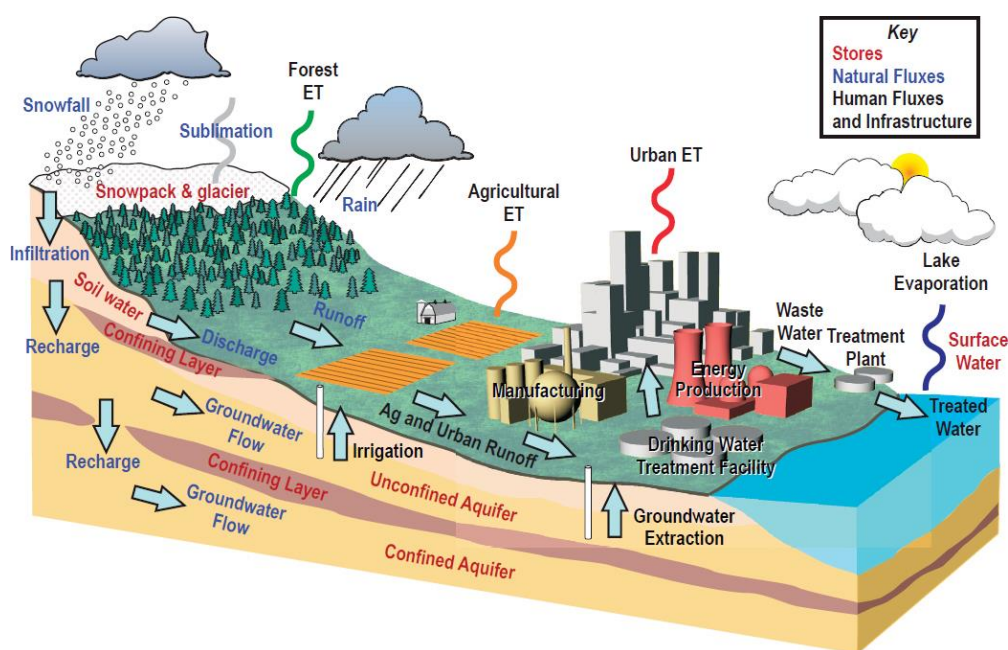
4.6 IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO

O desenvolvimento urbano exerce impactos significativos sobre o comportamento hidrológico das áreas afetadas, promovendo alterações profundas no ciclo hidrológico natural

Figura 14. A conversão de superfícies permeáveis em áreas impermeáveis, como pavimentos, telhados e vias asfaltadas, aumenta substancialmente o volume e a velocidade do escoamento superficial, elevando a frequência e a intensidade de inundações urbanas (Lima *et al.*, 2022). Nessas condições, a água da chuva encontra menor possibilidade de infiltração no solo, acumulando-se rapidamente nas superfícies urbanas.

A redução da cobertura vegetal decorrente da urbanização também contribui para a diminuição da evapotranspiração, intensificando ainda mais o escoamento superficial. A ausência de áreas verdes compromete o equilíbrio hidrológico urbano, tornando as cidades mais vulneráveis aos eventos extremos de precipitação (Souza *et al.*, 2023).

Figura 14- Ciclo hidrológico



Fonte: Nacional academie of S,E, and Medice (2018)

Outro impacto relevante do desenvolvimento urbano sobre o comportamento hidrológico refere-se à degradação da qualidade da água. A urbanização intensifica a poluição difusa, uma vez que contaminantes presentes nas superfícies urbanas, como metais pesados, óleos e resíduos sólidos, são transportados pela água da chuva até os corpos hídricos. Esse processo, conhecido como efeito da primeira enxurrada (*first flush*), compromete a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, afetando a biodiversidade aquática e a saúde pública. Ademais, a redução da infiltração prejudica a recarga dos aquíferos, diminuindo a disponibilidade de água subterrânea (Teixeira; Araújo, 2023).

O desenvolvimento urbano também compromete a capacidade de infiltração do solo em escala local e regional. A compactação do solo e a implantação de infraestruturas urbanas impedem a percolação da água, alterando o equilíbrio hidrológico e agravando a ocorrência de eventos extremos, como secas prolongadas e inundações. A diminuição da retenção de água no solo afeta negativamente a vegetação e os ecossistemas dependentes da água subterrânea (Rodrigues; Lima; Mendes, 2021).

Além disso, a urbanização modifica os padrões de escoamento e os regimes de fluxo dos cursos d'água por meio da canalização e da impermeabilização das margens, alterando a geomorfologia fluvial. Essas intervenções frequentemente resultam em processos de erosão acelerada, assoreamento dos leitos e aumento dos riscos de enchentes, comprometendo os habitats aquáticos. A remoção da vegetação ripária reduz a capacidade de retenção de sedimentos, agravando ainda mais esses impactos (Macedo, 2020).

Por fim, é imprescindível considerar os efeitos das mudanças climáticas no contexto do desenvolvimento urbano e de seus impactos hidrológicos. As alterações climáticas tendem a intensificar os efeitos negativos da urbanização, aumentando a frequência e a intensidade de eventos extremos, como chuvas intensas e períodos prolongados de estiagem (Caldeira; Lima, 2020). Nesse cenário, torna-se fundamental integrar a gestão dos recursos hídricos às práticas de desenvolvimento urbano sustentável, visando mitigar impactos adversos e promover a resiliência das áreas urbanas (Lima; Silva, 2023).

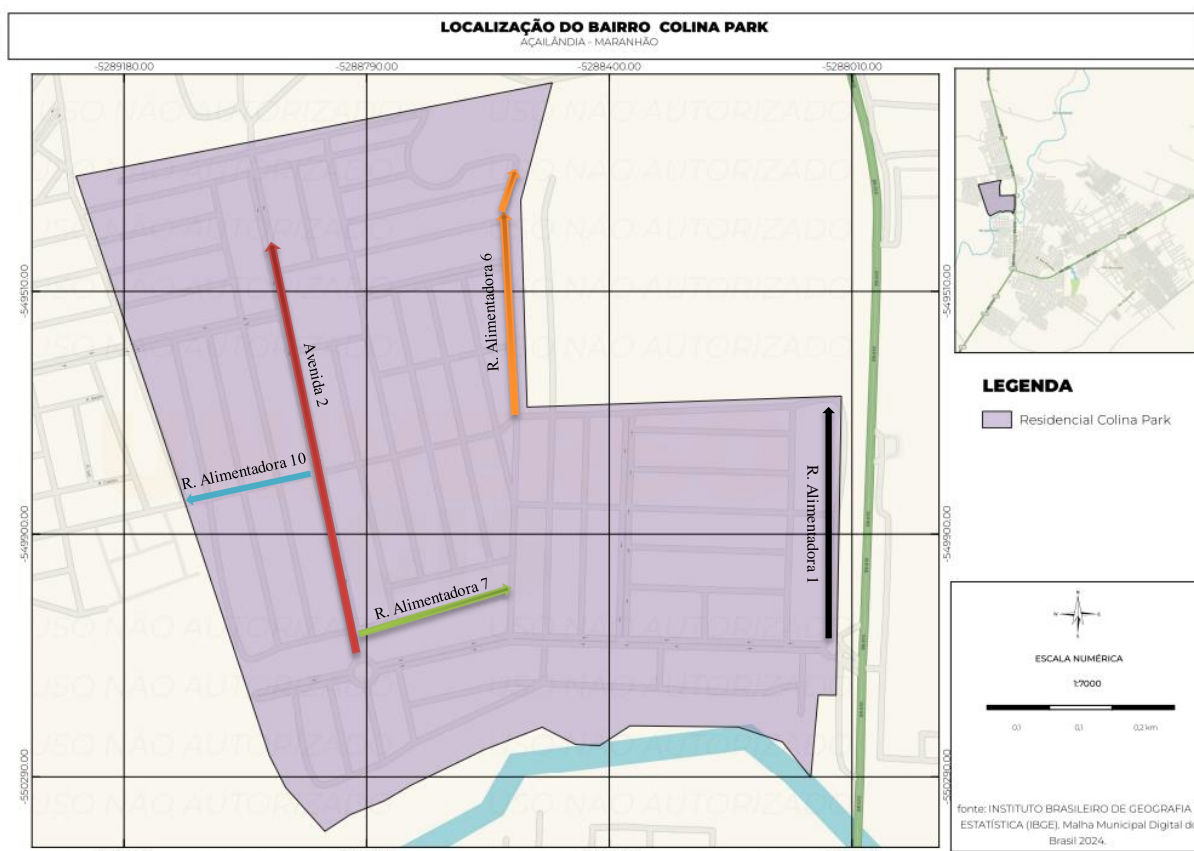
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia integrada, que envolveu técnicas de geoprocessamento, modelagem hidrológica e levantamentos de campo, conforme descrito no Capítulo 3. A análise dos dados permitiu avaliar os impactos da urbanização sobre o sistema de drenagem urbana do bairro Colinas Park, em Açailândia–MA, identificando pontos críticos de escoamento superficial, falhas na microdrenagem existente e os efeitos da impermeabilização do solo sobre o comportamento hidrológico da área.

5.1 ANÁLISE ESPACIAL E TOPOGRÁFICA DO BAIRRO COLINAS PARK

A análise espacial e topográfica do bairro Colinas Park foi realizada com base nos mapas temáticos elaborados em ambiente de informações geográficas, utilizando o software QGIS, os quais permitiram compreender a organização espacial do relevo, a distribuição das declividades e o comportamento do escoamento superficial das águas pluviais na área de estudo.

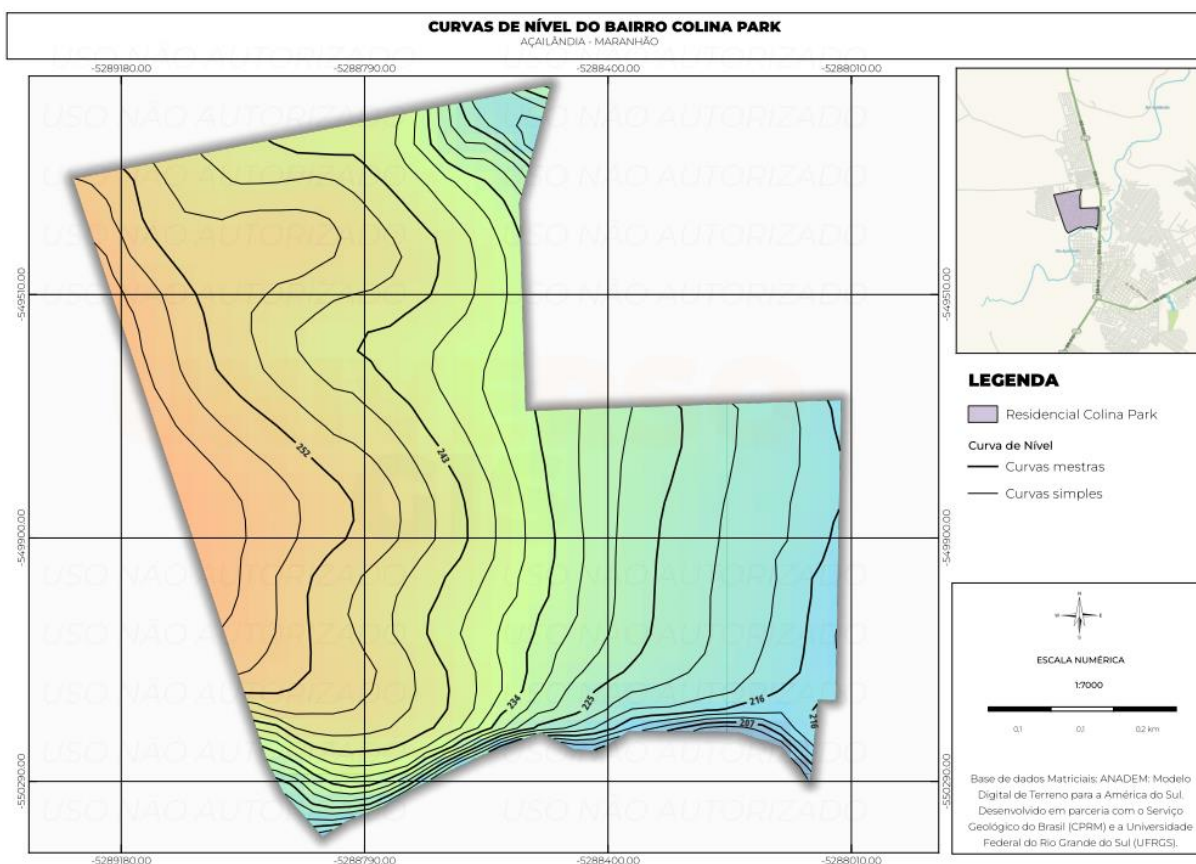
Figura 15 – Mapa de localização do bairro Colinas Park



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A caracterização espacial da área de estudo permitiu compreender o contexto físico e urbano no qual os problemas de drenagem estão inseridos. O Mapa de Localização Figura 15 apresenta a inserção do bairro Colinas Park no contexto urbano do município de Açailândia-MA, evidenciando sua posição na malha urbana, em área de expansão, bem como sua relação com as principais vias de acesso e áreas já consolidadas. Observa-se que o bairro recebe contribuições de escoamento provenientes de áreas adjacentes, aspecto que influencia diretamente o volume e a dinâmica do escoamento superficial das águas pluviais direcionadas ao sistema de microdrenagem local, sendo fundamental para a compreensão dos processos de ocupação do solo e dos problemas associados à drenagem urbana.

Figura 16 – Mapa de curvas de nível

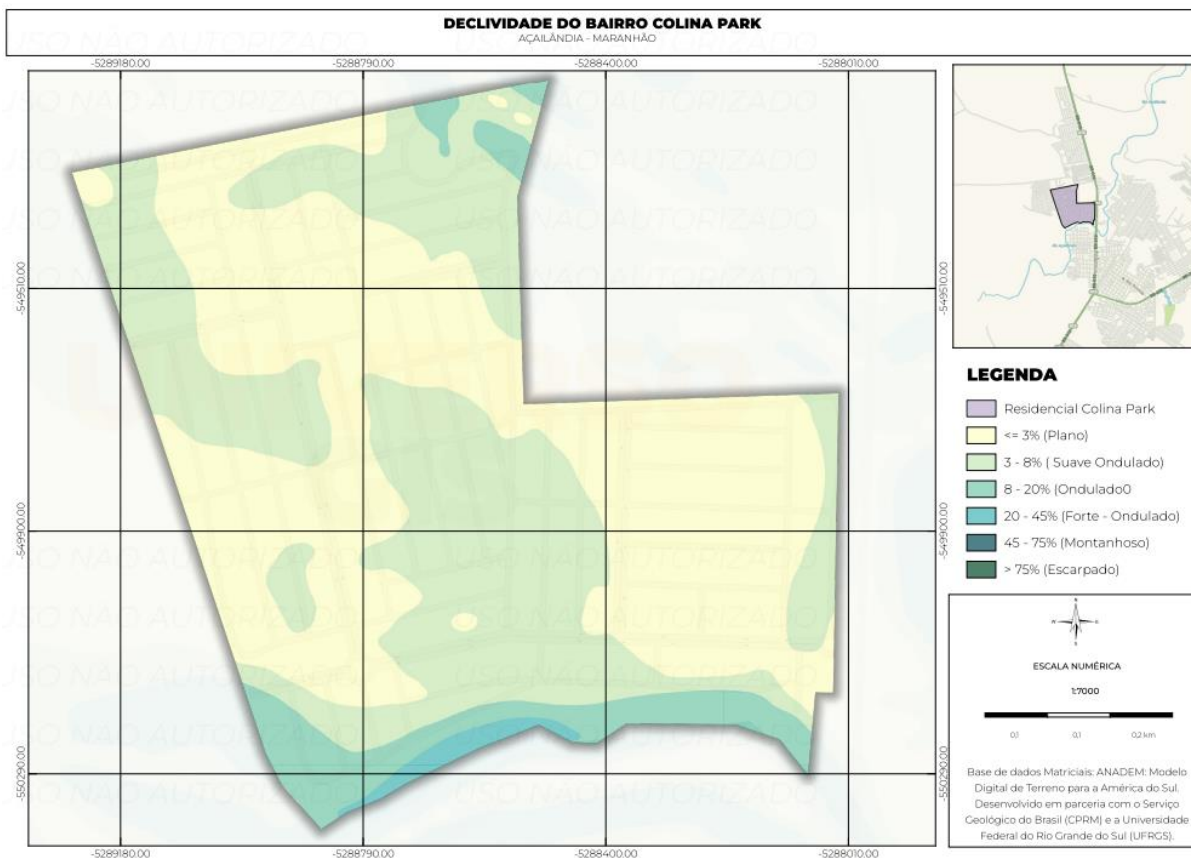


Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise topográfica da área revelou elementos fundamentais para a compreensão do comportamento hidrológico local. A partir do mapa de curvas de nível, apresentado na Figura 16, observa-se que o bairro Colinas Park apresenta variações altimétricas relativamente suaves, com áreas de menor altitude distribuídas ao longo do território. Essas características indicam a existência de zonas naturalmente propensas à concentração de água, especialmente durante

eventos de precipitação intensa. Conforme destacado por Tucci (2003), áreas urbanas com relevo pouco acentuado tendem a apresentar maior tempo de permanência da água superficial quando associadas à impermeabilização do solo.

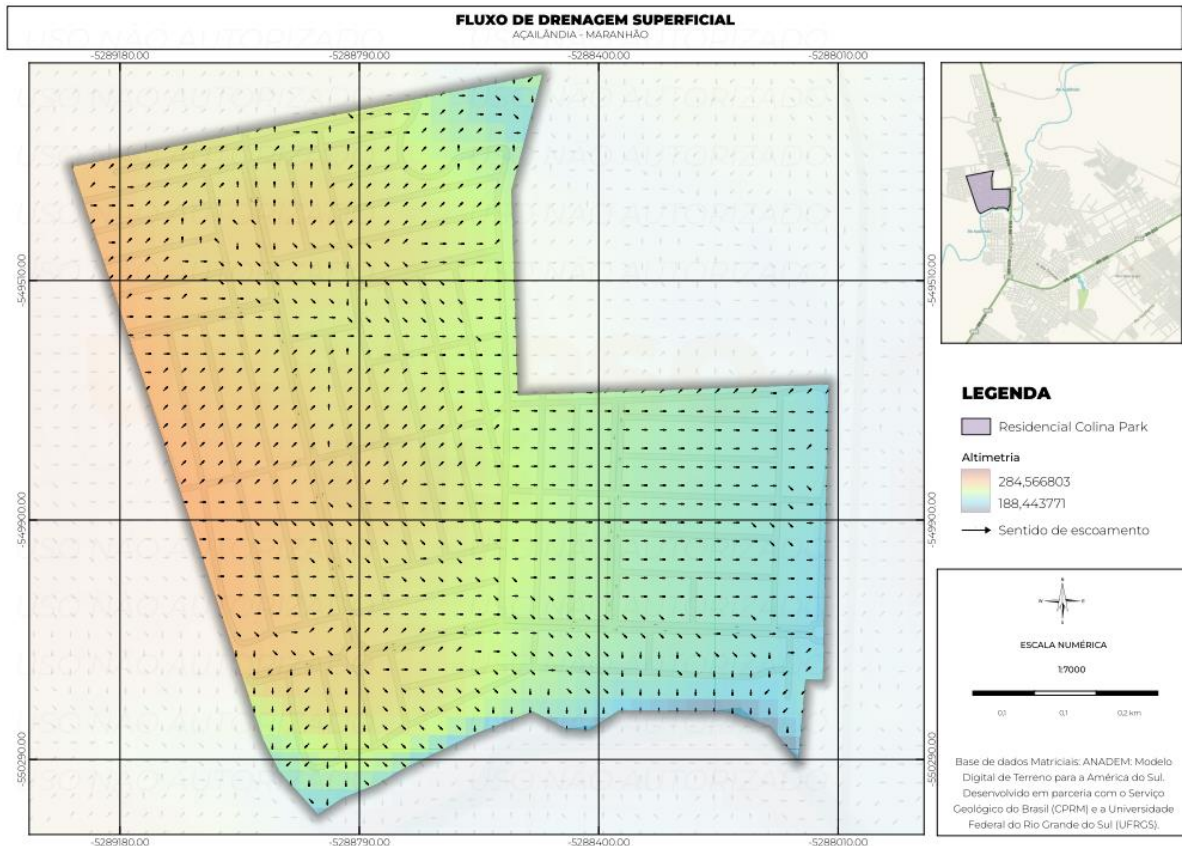
Figura 17 – Mapa de declividade



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Complementando essa análise, o mapa de declividade, apresentado na Figura 17, evidencia a predominância de baixas declividades em grande parte do bairro. Esse fator contribui para a redução da velocidade de escoamento das águas pluviais, favorecendo o acúmulo superficial em pontos específicos da malha viária. Tal condição reforça a vulnerabilidade do bairro a alagamentos, especialmente quando o sistema de microdrenagem se mostra insuficiente ou mal-conservado. Esses achados corroboram Canholi (2015), que aponta a declividade como um dos principais condicionantes físicos do desempenho dos sistemas de drenagem urbana.

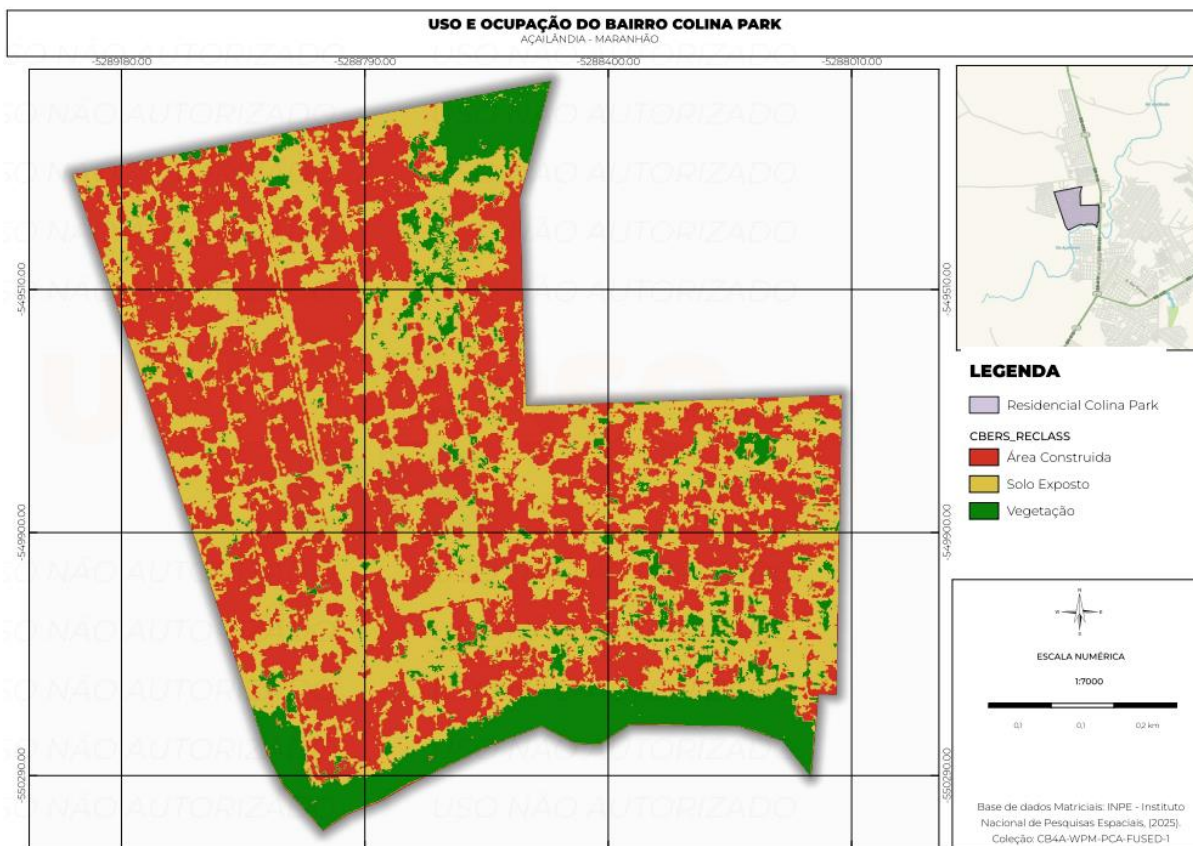
Figura 18 – Mapa de fluxo de drenagem superficial



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O comportamento do escoamento superficial foi analisado por meio do mapa de fluxo de drenagem, apresentado na Figura 18, que permite identificar as áreas de convergência do escoamento pluvial. Observa-se que determinadas vias e interseções concentram o direcionamento natural da água da chuva, tornando-se pontos críticos de alagamento. Essa convergência, quando associada à ausência ou ao subdimensionamento dos dispositivos de microdrenagem, contribui diretamente para os problemas relatados pelos moradores. Tucci (2003) destaca que a canalização inadequada e a concentração do escoamento são fatores determinantes para o aumento da vazão de pico em áreas urbanas.

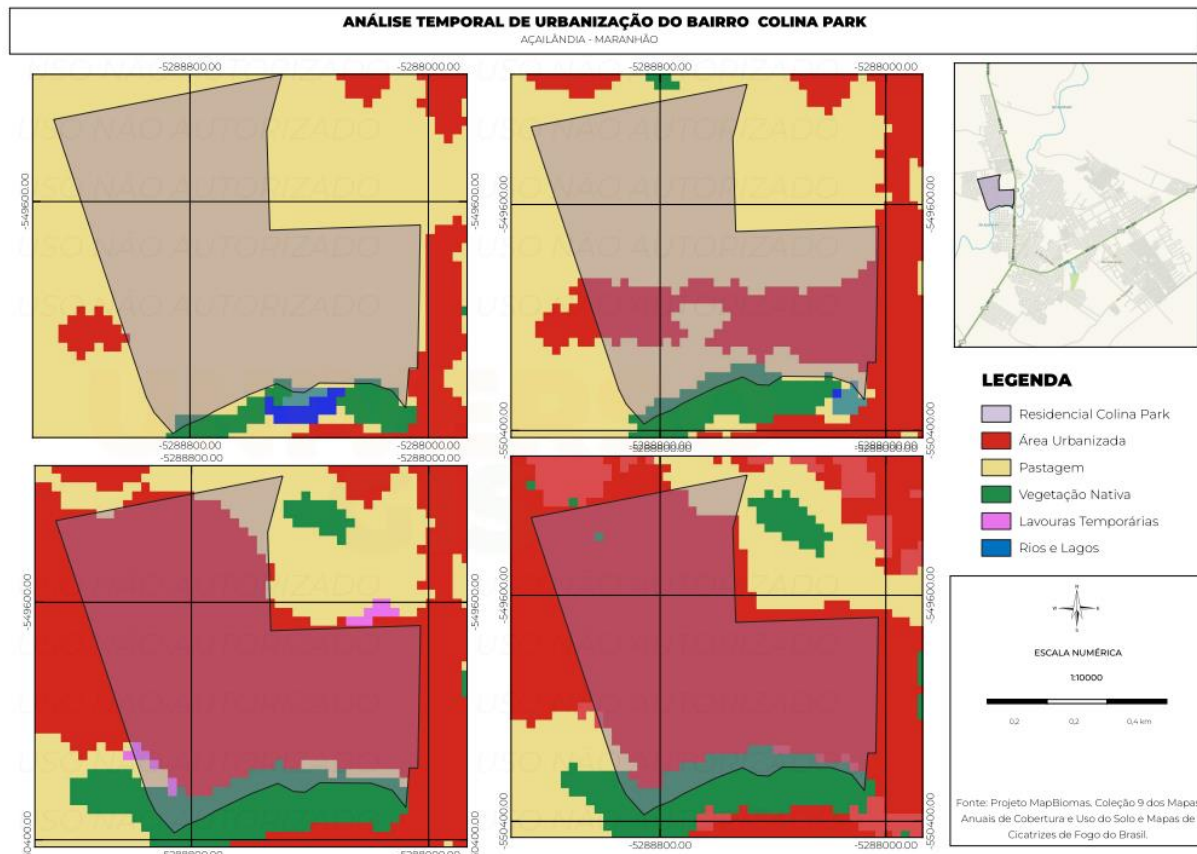
Figura 19 – Mapa de uso e ocupação do solo



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

No que se refere ao uso e ocupação do solo, a Figura 19 evidencia o predomínio de áreas construídas e pavimentadas no bairro Colinas Park, com redução significativa da cobertura vegetal. Esse padrão de ocupação indica elevado grau de impermeabilização do solo, o que limita a infiltração da água da chuva e aumenta o volume de escoamento superficial. Resultados semelhantes são discutidos por Das e Das (2019), que associam a expansão urbana sem planejamento à intensificação dos problemas de drenagem e à sobrecarga dos sistemas existentes.

Figura 20 – Mapa da expansão urbana / análise temporal



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise da expansão urbana ao longo do tempo, apresentada na Figura 20, demonstra que o crescimento do bairro ocorreu de forma acelerada, sem o correspondente fortalecimento da infraestrutura de drenagem urbana. Esse descompasso entre urbanização e planejamento técnico reforça o caráter desordenado do processo de ocupação, contribuindo para a recorrência de alagamentos. Tibúrcio, Saraiva e Targa (2023) apontam que a ausência de planejamento integrado entre uso do solo e drenagem urbana é um dos principais fatores associados aos problemas hidrológicos em áreas urbanas em expansão.

As observações realizadas em campo corroboram as análises cartográficas, evidenciando dispositivos de microdrenagem obstruídos, ausência de manutenção e inadequação das estruturas existentes em relação à demanda atual. Esses fatores contribuem para o acúmulo de água nas vias, especialmente durante o período chuvoso, gerando impactos diretos na mobilidade urbana, na integridade das vias e na segurança da população local. Lopes *et al.*, (2020) destacam que os impactos da drenagem inadequada recaem de forma mais intensa sobre comunidades urbanas vulneráveis, ampliando desigualdades socioespaciais.

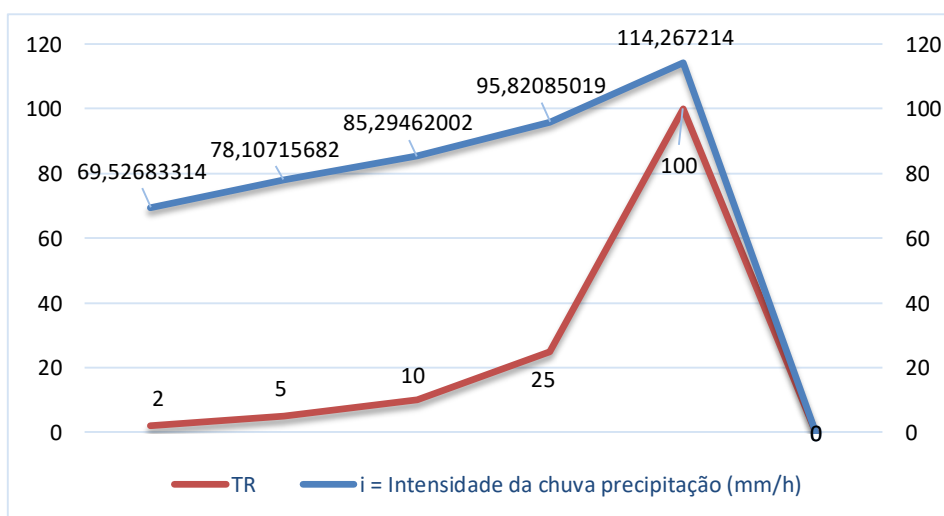
A partir do diagnóstico realizado, os resultados obtidos indicam a viabilidade técnica de intervenções voltadas à reabilitação do sistema de drenagem urbana do bairro Colinas Park. A análise integrada dos mapas e das observações de campo aponta para a necessidade de ações que envolvam tanto a correção de falhas estruturais existentes quanto a adoção de soluções sustentáveis. Conforme discutido por Santos *et al.*, (2023), medidas baseadas na natureza, como jardins de chuva e áreas de infiltração, podem atuar como estratégias complementares aos sistemas convencionais, reduzindo o escoamento superficial e aliviando a sobrecarga da microdrenagem.

De modo geral, os resultados e a discussão apresentados confirmam que o crescimento urbano desordenado no bairro Colinas Park tem impactado negativamente o desempenho do sistema de drenagem urbana. A integração entre análise espacial, observações de campo e fundamentação teórica permitiu compreender os fatores físicos, urbanos e sociais envolvidos, oferecendo subsídios técnicos consistentes para o planejamento de intervenções futuras e para a promoção de um desenvolvimento urbano mais sustentável.

5.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DA ÁREA

A caracterização hidrológica e hidráulica do bairro Colinas Park foi realizada a partir da integração de dados pluviométricos, parâmetros hidrológicos e análises espaciais da bacia de contribuição, visando compreender o comportamento do escoamento superficial e avaliar a capacidade do sistema de microdrenagem existente frente aos eventos chuvosos característicos da região.

Gráfico 1 – Gráfico da Curva IDF



Fonte: Elabora pelo autor (2025)

Os parâmetros da equação Intensidade–Duração–Frequência (IDF) adotados neste estudo foram obtidos a partir de dados oficiais do município de Açailândia–MA, consolidados até o ano de 2019. Ressalta-se que as curvas IDF são elaboradas com base em longas séries históricas de precipitação, representando o comportamento estatístico das chuvas ao longo de vários anos.

Dessa forma, a utilização desses parâmetros permanece tecnicamente válida, uma vez que variações climáticas de curto prazo não são suficientes para descaracterizar o regime pluviométrico médio considerado no ajuste da equação. Assim, na ausência de atualização oficial, os parâmetros utilizados continuam sendo referência adequada para estudos de drenagem urbana e dimensionamento hidráulico.

Tabela 4 - Parâmetros hidrológicos e vazões de projeto estimadas pelo Método Racional para as vias

Área de contribuição	Largura da área de contribuição (m)	Comprimento da área de contribuição em (m)	Área (km ²)	Coef. C	Q (m ³ /s) (método racional)	i = Intensidade da chuva precipitação (mm/h)	TR
Avenida 02	6,48	786,18	0,005094446	0,8	0,096639221	69,52683314	2
Rua Alimentador a 6	9,17	366	0,003354845	0,8	0,063639802	78,10715682	5
Rua Alimentador a 10	6,58	569,54	0,003747573	0,8	0,071089678	85,29462002	10
Rua Alimentador a 7	5,97	244,23	0,001458053	0,8	0,027658573	95,82085019	25
Rua Alimentação 1	13,63	948	0,01292124	0,8	0,245109766	114,267214	100
Área Total			0,026576157				

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A Tabela 3 apresenta os resultados do cálculo da vazão de projeto para as principais vias do bairro Colinas Park, obtidos por meio do Método Racional. Observa-se que, mesmo para áreas de contribuição relativamente pequenas, as vazões estimadas atingem valores elevados, reflexo do alto coeficiente de escoamento adotado ($C = 0,8$), associado ao elevado grau de impermeabilização do bairro.

As maiores vazões de pico foram verificadas nas vias com maiores áreas de contribuição e tempos de retorno mais elevados, indicando a sobrecarga do sistema de microdrenagem existente e a incapacidade da infraestrutura atual em conduzir adequadamente os volumes gerados durante eventos extremos de precipitação.

5.3 ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

O dimensionamento foi realizado com base na equação de Manning, considerando uma sarjeta triangular típica de vias urbanas pavimentadas. O dimensionamento hidráulico dos dispositivos de microdrenagem urbana do bairro Colinas Park foi realizado com o objetivo de verificar a capacidade de condução do sistema existente frente às vazões de projeto estimadas. Para isso, foram adotados parâmetros hidráulicos Tabela 5 recomendados por normas técnicas e literatura especializada, considerando as características típicas de vias urbanas pavimentadas.

Os cálculos foram realizados com base no método de Manning, amplamente utilizado para estimativa da capacidade de escoamento em sarjetas e canais urbanos, conforme apresentado por Chow (1959), Tucci (2003) e Canholi (2015).

Tabela 5 – Parâmetros hidráulicos adotados no dimensionamento das sarjetas

Parâmetro	Valor adotado	Fonte técnica
Tipo de sarjeta	Triangular	DNIT (2006)
Declividade transversal (Z)	3%	DNIT (2006); Canholi (2015)
Declividade longitudinal (S)	0,3–1,0%	DER / prática urbana
Lâmina d'água (y)	0,15 m	DNIT (2006)
Manning (asfalto) (n)	0,017	Chow (1959); Canholi (2015)
Método de cálculo	Manning	Hidráulica clássica
Captção de bocas de lobo	50–80%	FHWA (1996); DAEE/CETESB (1980)

Fonte: Elaborado pelo autor com base em DNIT (2006), Chow (1959) e Canholi (2015).

As sarjetas do bairro Colinas Park foram consideradas do tipo triangular, por se tratar da geometria mais comum em vias urbanas brasileiras, especialmente em bairros residenciais pavimentados. Esse tipo de sarjeta é amplamente adotado em projetos de microdrenagem urbana, conforme recomendado pelo Manual de Drenagem Urbana do DNIT (2006). Para a declividade transversal da via, adotou-se o valor de 3%, conforme recomendação do Manual de Drenagem Urbana do DNIT (2006), valor considerado adequado para garantir o escoamento superficial em direção às sarjetas sem comprometer a segurança do tráfego.

O coeficiente de rugosidade de Manning adotado foi $n = 0,017$, valor indicado para superfícies pavimentadas em concreto asfáltico ou concreto de cimento com acabamento convencional. Esse intervalo é amplamente aceito na literatura técnica para vias urbanas

pavimentadas, conforme Chow (1959) e Canholi (2015). Adotou-se como critério de projeto a altura máxima da lâmina d'água de 0,15 m nas sarjetas, conforme recomendado pelo Manual de Drenagem Urbana do DNIT (2006) para vias locais, visando garantir a segurança de pedestres e veículos durante eventos chuvosos intensos.

Tabela 6 – Comparação entre vazão de projeto e capacidade hidráulica da sarjeta

Via analisada	Vazão de projeto (m ³ /s)	Capacidade da sarjeta (m ³ /s)	Situação
Avenida 02	0,097	0,062	Insuficiente
R.Alimentadora 6	0,245	0,081	Insuficiente
R.Alimentadora 10	0,071	0,058	Limítrofe

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise da capacidade hidráulica das sarjetas, calculada pela equação de Manning, evidencia insuficiência generalizada do sistema de microdrenagem do bairro Colinas Park, conforme apresentado na Tabela 6. Verifica-se que a Avenida 02 apresenta vazão de projeto de 0,097 m³/s, enquanto a capacidade de condução da sarjeta é de apenas 0,062 m³/s, resultando em um déficit hidráulico de 0,035 m³/s, equivalente a uma insuficiência de aproximadamente 36%. Considerando um evento chuvoso típico com duração de 15 minutos (900 segundos), esse déficit corresponde a um volume excedente de cerca de 31,5 m³, ou aproximadamente 31.500 litros de água que permanecem sobre a via sem adequada condução pelo sistema.

Situação ainda mais crítica é observada na Rua Alimentadora 6, onde a vazão de projeto atinge 0,245 m³/s e a capacidade da sarjeta é de apenas 0,081 m³/s, configurando um déficit de 0,164 m³/s (67%), o que representa um acúmulo potencial de aproximadamente 147,6 m³, ou 147.600 litros de água não captados durante o mesmo intervalo de tempo. A Rua Alimentadora 10 apresenta condição limítrofe, com vazão de projeto de 0,071 m³/s e capacidade hidráulica de 0,058 m³/s, ainda insuficiente em cerca de 18%, resultando em um excedente de aproximadamente 11,7 m³, ou 11.700 litros de água acumulada.

Esses resultados demonstram que o sistema de microdrenagem existente encontra-se subdimensionado ou tornou-se obsoleto em função do adensamento urbano e do aumento da impermeabilização do solo, sendo sistematicamente superado durante eventos chuvosos de moderada intensidade. Tal insuficiência explica tecnicamente a recorrência de alagamentos observada em campo.

5.3 ANÁLISE DO SISTEMA DE MICRODRENAGEM URBANA

As visitas de campo realizadas entre Nov/2024 no bairro Colinas Park permitiram identificar in loco as principais deficiências da infraestrutura de drenagem. A inspeção abrangeu as vias onde foram relatados problemas recorrentes de alagamento pelos moradores, conforme análise das entrevistas (item 4.5), e nas áreas críticas identificadas pela análise topográfica (item 4.2).

Os principais problemas observados incluem: obstrução de bocas de lobo, deterioração de sarjetas e meio-fios, acúmulo de resíduos sólidos, insuficiência da capacidade de escoamento e ocorrência de alagamentos em pontos baixos. Cada uma dessas deficiências é analisada a seguir.

Figura 21 – Bocas de lobo a e b obstruída por resíduos sólidos.



Fonte: Acervo do autor (2024)

A Figura 21 ilustra uma boca de lobo localizada na Rua Avenida 02, onde se verifica obstrução por resíduos sólidos (sacolas plásticas, garrafas PET, galhos e sedimentos). Observa-se que a abertura de captação encontra-se completamente vedada, impedindo a entrada de água durante eventos chuvosos.

A obstrução por resíduos sólidos é um problema recorrente em sistemas de microdrenagem urbana, especialmente em áreas onde há deficiência na coleta de lixo e baixa conscientização ambiental da população. Segundo Tucci (2003), a presença de resíduos pode comprometer até 70% da capacidade original de captação das bocas de lobo.

O problema identificado decorre de dois fatores principais: (i) descarte irregular de resíduos pela população, que utiliza as bocas de lobo como pontos de deposição de lixo; e (ii) ausência de limpeza periódica por parte do poder público, permitindo o acúmulo progressivo de materiais. Durante as visitas de campo, moradores relataram que a limpeza dos dispositivos ocorre apenas após reclamações reiteradas ou quando os alagamentos já se tornaram críticos.

Além da obstrução por resíduos sólidos, identificou-se outro problema igualmente grave: o assoreamento completo de bocas de lobo. A Figura 22 evidencia uma situação extrema na Rua Alimentadora 10, onde o dispositivo encontra-se totalmente obstruído por sedimentos, com vegetação crescendo sobre a estrutura.

Figura 22 – Boca de lobo completamente assoreada com vegetação



Fonte: Acervo do autor (2024)

A presença de vegetação crescendo sobre o dispositivo indica abandono prolongado e ausência total de manutenção. O assoreamento resulta do carreamento de sedimentos pelo escoamento superficial, processo agravado pela existência de vias não pavimentadas nas proximidades e pela erosão de áreas com solo exposto no entorno.

De acordo com o Manual de Drenagem Urbana do DNIT (2006), o assoreamento de dispositivos de drenagem é um dos principais indicadores de deficiência na manutenção

preventiva dos sistemas. A situação observada na Figura 22 representa o estágio final de deterioração funcional do dispositivo, tornando-o completamente inoperante.

A análise conjunta das Figuras 21 e 22 evidencia que os problemas de obstrução no bairro Colinas Park possuem natureza multifatorial, envolvendo tanto questões comportamentais (descarte irregular de resíduos) quanto deficiências estruturais de gestão (ausência de manutenção preventiva e corretiva).

Figura 23 – Bocas de lobo do tipo lateral dupla danificadas



Fonte: Acervo do autor (2024)

As Figuras 23 c, d, e apresentam bocas de lobo do tipo lateral, sendo uma simples e outra dupla, localizadas junto ao meio-fio e destinadas à captação das águas pluviais superficiais. Em ambos os dispositivos observa-se a ausência de grelhas de proteção, além do desalinhamento das tampas de concreto e da presença significativa de vegetação sobre as estruturas, fatores que comprometem diretamente a eficiência da captação e favorecem a entrada de resíduos sólidos e sedimentos no sistema de microdrenagem.

Nota-se também o acúmulo de areia, solo e lixo urbano nas regiões de entrada, associado a processos erosivos no entorno das bocas de lobo, com desgaste do pavimento e exposição do solo. Essas condições indicam deficiência na manutenção preventiva e corretiva, além de contribuírem para o assoreamento interno dos dispositivos, reduzindo sua capacidade hidráulica e acelerando a deterioração estrutural das unidades de captação.

Situações semelhantes foram identificadas em outros pontos do bairro Colinas Park, evidenciando um padrão recorrente de falhas no sistema de microdrenagem urbana. Além dos problemas estruturais e de obstrução, destaca-se a insuficiência da capacidade do sistema para suportar as vazões geradas durante eventos chuvosos mais intensos, o que resulta em escoamento superficial excessivo, degradação do pavimento e aumento do risco de transtornos à população residente.

Figura 24: Bocas de lobo com guia total deteriorada



Fonte: Acervo do autor (2024)

As Figuras 24 evidenciam bocas de lobo em avançado estado de degradação, com obstrução severa por resíduos sólidos e material vegetal e comprometimento estrutural significativo. Observa-se que a obstrução não se restringe à superfície das grelhas, estendendo-se ao interior dos dispositivos, o que reduz drasticamente a capacidade de captação das águas pluviais. A presença de galhos, raízes, folhagens e resíduos urbanos indica carreamento de detritos provenientes de áreas a montante, associado à deficiência no controle do uso do solo e à ausência de manutenção periódica. Além disso, verificam-se grelhas parcialmente destruídas, meio-fios danificados e processos erosivos intensos, com exposição de armaduras metálicas e corrosão avançada, configurando risco à segurança de pedestres e veículos e evidenciando a incapacidade do sistema de microdrenagem em operar de forma eficiente durante eventos chuvosos.

Figura 25 – Degradação do pavimento



Fonte: Acervo do autor (2024)

Evidencia degradação do pavimento associada à deficiência do sistema de microdrenagem Figura 25, caracterizada por afundamentos, perda do revestimento superficial e exposição da base granular. Observa-se que o escoamento superficial das águas pluviais ocorre de forma desordenada, concentrando-se sobre a via e promovendo o carreamento de solo fino, o que resulta em processos erosivos localizados e desagregação do pavimento intertravado. A ausência ou ineficiência de dispositivos de captação próximos favorece a permanência da

água sobre a superfície, acelerando o desgaste estrutural da via e comprometendo as condições de trafegabilidade. Essa situação reforça a insuficiência hidráulica do sistema de drenagem urbana no bairro, contribuindo para danos recorrentes à infraestrutura viária e aumento dos custos de manutenção.

Figura 26 – Rua alimentadora 7 danificada e recuperada



Fonte: Acervo do autor (2024)

As imagens evidenciam a evolução das condições da mesma via entre os anos de 2024 e 2025, Figura 26 permitindo uma análise comparativa direta dos efeitos da drenagem urbana sobre o pavimento. Na imagem referente a 2024, observa-se um estado avançado de degradação da via, com presença de buracos, afundamentos, material granular exposto e pontos de acúmulo de água, indicando falhas recorrentes no escoamento superficial e ação contínua de processos erosivos. Esses danos estão diretamente associados à insuficiência do sistema de microdrenagem, que não consegue captar e conduzir adequadamente as águas pluviais, resultando no carreamento de sedimentos e na desagregação progressiva do pavimento.

Em contraste, a imagem de 2025 mostra a via após intervenção com recapeamento asfáltico, apresentando superfície regular e melhores condições de trafegabilidade. No entanto, apesar da melhoria visual e funcional imediata, a comparação evidencia que a solução adotada foi predominantemente corretiva e superficial, uma vez que não há indícios claros de readequação do sistema de drenagem subjacente.

Portanto, sem a correção das causas hidrológicas e hidráulicas como a insuficiência da capacidade de escoamento e a ausência de manutenção dos dispositivos de drenagem há elevado risco de que os mesmos problemas observados em 2024 voltem a ocorrer em médio prazo, comprometendo novamente a durabilidade da infraestrutura viária.

Tabela 7 – Situação dos dispositivos de microdrenagem

Tipo de problema identificado	Quantidade de dispositivos	Percentual estimado (%)	Principais causas	Condição predominante dos dispositivos
Insuficiência da capacidade do sistema de drenagem	23	100%	Elevado grau de impermeabilização do solo e rápido escoamento superficial	Muita água durante chuvas intensas, mesmo sem obstrução total
Lixo e areia acumulados	13	56,5%	Arrastamento de resíduos sólidos e sedimentos pelas enxurradas	Grelhas e bocas de lobo danificadas
Dispositivos danificados (sem tampa, grelha caída, quebrada)	17	73,9%	Ausência de manutenção preventiva	Captação comprometida e maior risco de obstrução
Vegetação obstruindo os dispositivos	15	65,2%	Falta de limpeza periódica, crescimento de vegetação e acúmulo de sedimentos	Dispositivos danificados e obstrução severa
Total	23	—	—	—

Fonte: Elaborado pelo autor com base em levantamento de campo (2024).

A Tabela 7 apresenta a síntese dos principais problemas identificados nos dispositivos de microdrenagem analisados no bairro. Observa-se que a insuficiência da capacidade hidráulica do sistema de drenagem foi constatada em 100% dos dispositivos avaliados, evidenciando que a infraestrutura existente não é capaz de suportar as vazões geradas durante eventos de chuva mais intensos. Esse resultado indica um problema de natureza estrutural, associado principalmente ao elevado grau de impermeabilização do solo e ao rápido escoamento superficial das águas pluviais.

Além da limitação da capacidade do sistema, verifica-se a ocorrência expressiva de dispositivos danificados, presentes em aproximadamente 73,9% dos pontos inspecionados. A ausência de tampas, grelhas quebradas ou deslocadas compromete diretamente a eficiência da captação das águas pluviais e favorece o acúmulo de resíduos e sedimentos no interior das estruturas. O acúmulo simultâneo de lixo e areia foi observado em 56,5% dos dispositivos, resultado do descarte inadequado de resíduos sólidos e do carreamento de sedimentos pelas enxurradas.

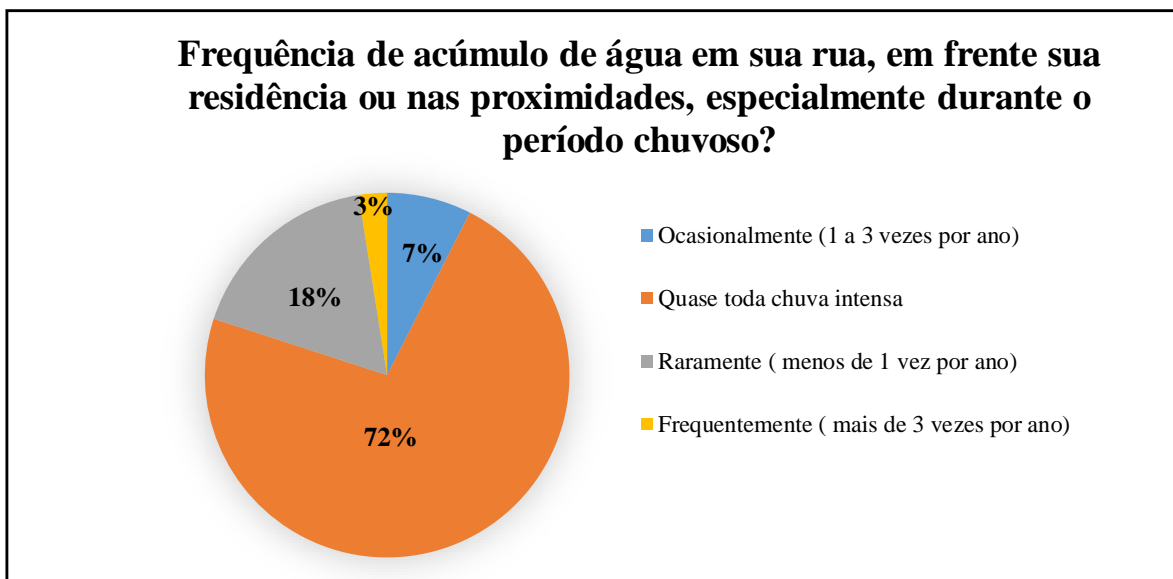
Outro aspecto relevante refere-se à presença de vegetação obstruindo os dispositivos de drenagem, identificada em cerca de 65,2% dos pontos analisados. O crescimento de vegetação espontânea, aliado à falta de manutenção periódica, contribui para a redução da seção de escoamento e agrava os problemas de obstrução, especialmente durante períodos de chuvas intensas.

De forma geral, os dados apresentados na Tabela 7 demonstram que a combinação entre insuficiência hidráulica, danos físicos, acúmulo de resíduos e ausência de manutenção adequada intensifica a ocorrência de alagamentos, reforçando a necessidade de intervenções estruturais e da adoção de soluções sustentáveis de drenagem urbana.

5.4 PERCEPÇÃO DOS MORADORES SOBRE OS PROBLEMAS DE DRENAGEM URBANA

As entrevistas realizadas com moradores do bairro Colinas Park tiveram como objetivo compreender a percepção da população sobre os problemas de drenagem urbana e confrontar essas percepções com as análises técnicas obtidas por meio de geoprocessamento, modelagem hidrológica e inspeções de campo. Foram aplicados cinco questionários no período de março a junho de 2025, envolvendo 33 moradores de diferentes ruas e setores do bairro, com destaque para áreas previamente identificadas como críticas, abrangendo residentes com distintos tempos de moradia. Os resultados foram organizados de modo a evidenciar a frequência, a gravidade, as causas percebidas e os impactos dos problemas de drenagem na qualidade de vida da população.

Gráfico 2 – Frequência de ocorrência de alagamentos observada pelos moradores



Fonte: Autor (2024)

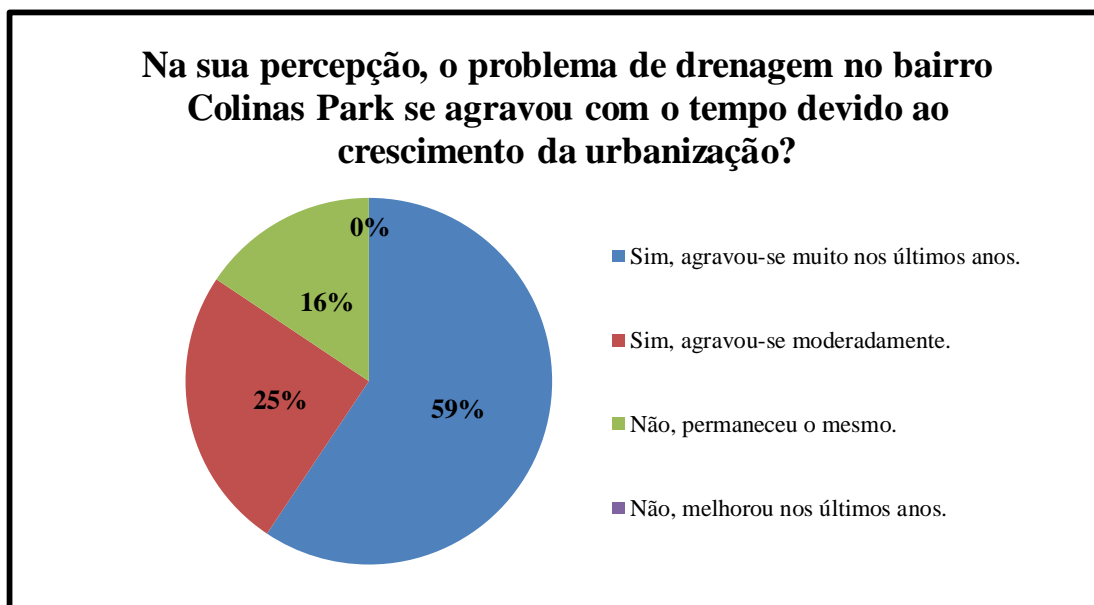
O primeiro aspecto investigado foi a frequência com que os moradores observam acúmulo de água ou alagamentos em suas ruas durante o período chuvoso. O Gráfico 2 apresenta a distribuição das respostas obtidas.

Os dados revelam situação crítica: 72% dos entrevistados afirmam que os alagamentos ocorrem "quase toda chuva intensa", enquanto 18% relatam que o problema acontece "frequentemente (mais de 3 vezes por ano)". Somados, esses percentuais indicam que 90% dos moradores convivem com alagamentos recorrentes, caracterizando o problema como sistemático e não pontual. Apenas 7% dos entrevistados indicaram que os alagamentos são ocasionais (1 a 3 vezes por ano), e 3% consideram o problema raro.

Esses resultados comprovam a recorrência crônica do problema e validam tecnicamente a escolha do tempo de retorno de 5 anos adotado nos cálculos hidrológicos. Quando 72% da população relata alagamentos "quase toda chuva intensa", isso evidencia que o sistema de drenagem está sendo superado por eventos chuvosos de baixíssimo tempo de retorno, situação característica de sistemas subdimensionados ou severamente deteriorados.

A alta frequência reportada pelos moradores corrobora diretamente as observações de campo documentadas no estudo, que identificaram obstruções severas, danos estruturais generalizados e ausência de manutenção nos dispositivos de microdrenagem, fatores que, somados ao subdimensionamento original, resultam na incapacidade do sistema de captar e conduzir adequadamente o escoamento superficial.

Gráfico 3 – Percepção dos moradores sobre o agravamento dos problemas de drenagem ao longo do tempo



Fonte: Autor (2024)

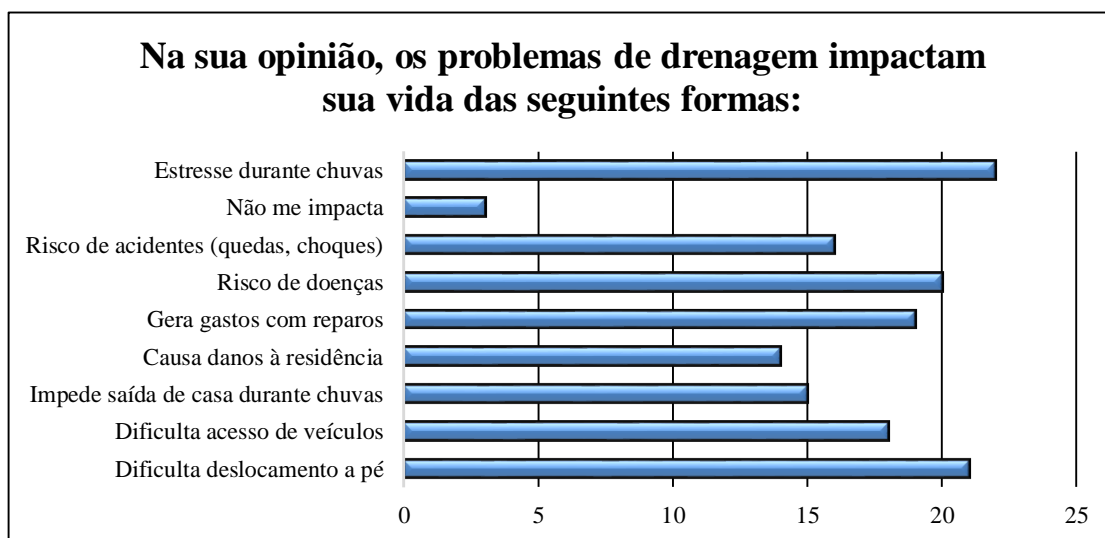
Os resultados são contundentes: 59% Gráfico 3 dos moradores afirmaram que a situação "agravou-se muito nos últimos anos", enquanto 25% responderam que houve agravamento moderado. Somados, 84% da população percebe piora progressiva dos problemas de drenagem, enquanto apenas 16% consideram que a situação permaneceu estável. Não houve registros de percepção de melhoria.

Essa percepção empírica corrobora diretamente com a análise multitemporal de uso e ocupação do solo, que evidenciou aumento significativo das áreas impermeabilizadas no bairro ao longo da última década. Conforme destacado por Baptista, Nascimento e Barraud (2015), o crescimento urbano sem adequação simultânea da infraestrutura de drenagem resulta em aumento progressivo das vazões de pico e, conseqüentemente, na intensificação dos alagamentos.

O relato de moradores mais antigos, residentes no bairro há mais de 10 anos, foi particularmente revelador: diversos entrevistados afirmaram textualmente que "antigamente quase não tinha alagamento" e que o problema se intensificou "depois que construíram muitas casas e pavimentaram tudo". Essa percepção popular descreve, em linguagem leiga, o fenômeno técnico da urbanização acelerada sem compensação hidráulica, processo amplamente documentado na literatura especializada.

Essa validação empírica reforça tecnicamente os cálculos apresentados, que demonstraram que o aumento da taxa de impermeabilização resultou em acréscimo significativo na vazão de pico em relação às condições originais do bairro. A convergência entre percepção popular, análise espacial e modelagem hidrológica evidencia que o problema central não é apenas a falta de manutenção, mas sim a obsolescência do sistema de drenagem frente ao novo padrão de ocupação urbana.

Gráfico 4 – Principais impactos dos problemas de drenagem na vida dos moradores

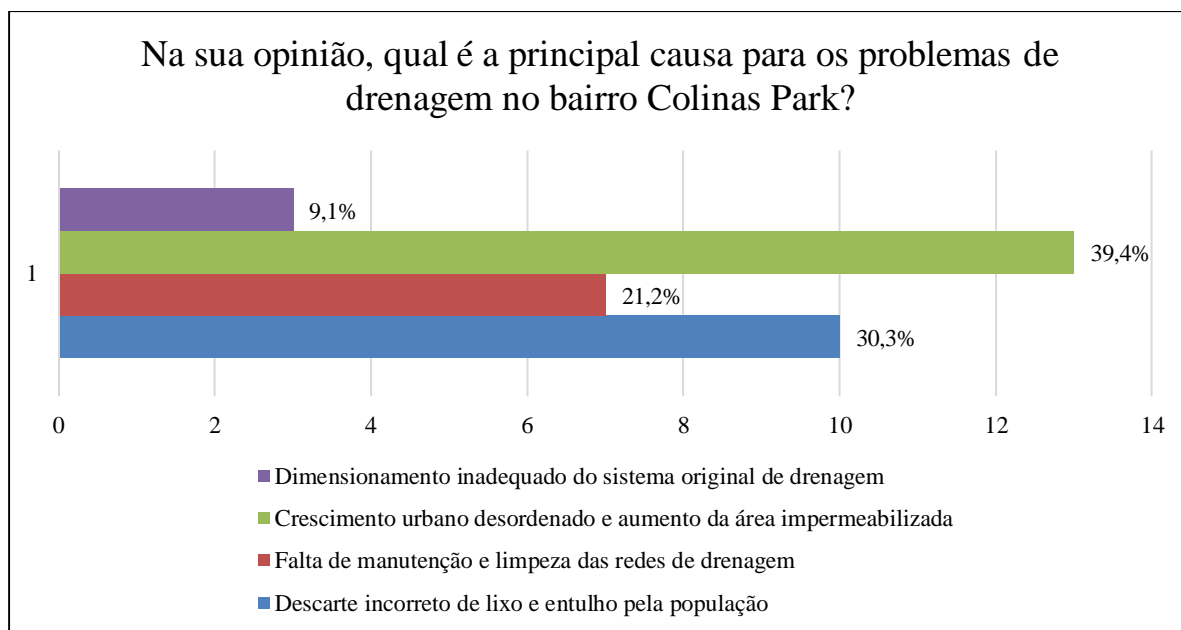


Fonte: Autor (2024)

A análise dos dados evidencia que os problemas de drenagem no bairro Colinas Park geram impactos multidimensionais sobre a qualidade de vida da população. Entre os efeitos mais recorrentes destacam-se os danos às vias públicas Gráfico 4, as dificuldades no deslocamento diário, os riscos à segurança, especialmente relacionados à ocorrência de acidentes, e os prejuízos à saúde e ao bem-estar dos moradores. Também foram relatados danos a veículos, dificuldades de acesso a serviços essenciais, prejuízos a comércios locais e impactos negativos na valorização dos imóveis, indicando um processo de desvalorização patrimonial associado à recorrência dos alagamentos.

Os relatos obtidos durante as entrevistas demonstram que tais problemas extrapolam transtornos pontuais, configurando um comprometimento estrutural das dimensões urbana, social e econômica do bairro. Essa realidade reforça a necessidade de intervenções no sistema de drenagem que considerem não apenas critérios técnico-hidráulicos, mas também aspectos relacionados à saúde pública, à equidade urbana e à justiça social, uma vez que, conforme destacado por Tucci (2003), os impactos dos alagamentos urbanos tendem a afetar de forma mais intensa populações residentes em áreas com infraestrutura deficiente e menor capacidade de adaptação aos prejuízos materiais.

Gráfico 5 – Principal causa dos problemas de drenagem segundo percepção dos moradores



Fonte: Autor (2024)

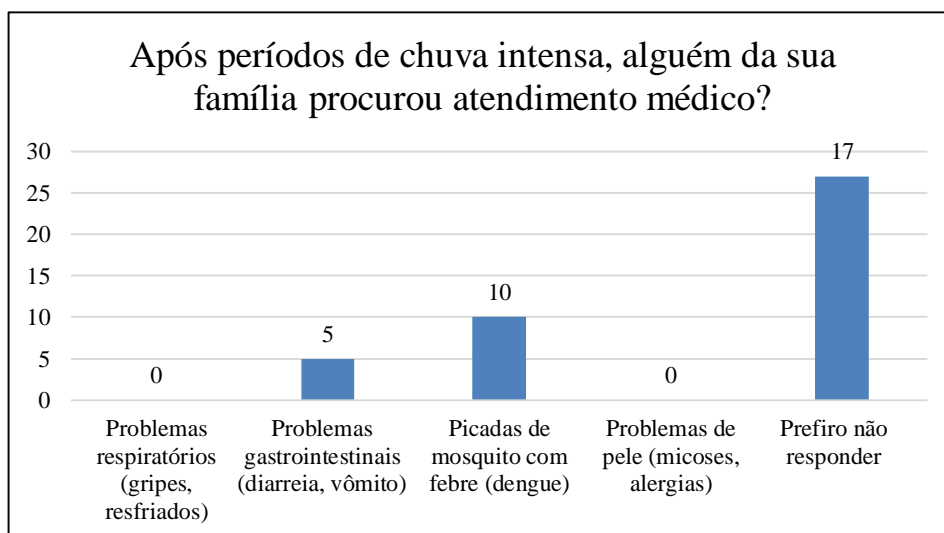
Os resultados da pesquisa indicam que 39,4% Gráfico 5 dos moradores atribuem os problemas de drenagem do bairro Colinas Park principalmente ao crescimento urbano desordenado e ao aumento da área impermeabilizada, enquanto 30,3% apontam o descarte incorreto de lixo e entulho pela população como causa principal. A falta de manutenção e

limpeza das redes de drenagem pelo poder público foi mencionada por 21,2% dos entrevistados, ao passo que apenas 9,1% indicaram o dimensionamento inadequado do sistema original de drenagem como fator preponderante.

A análise dos dados apresentados no Gráfico 6 evidencia que a percepção da população está alinhada ao diagnóstico técnico realizado no estudo, uma vez que o crescimento urbano e a consequente impermeabilização do solo são apontados como as principais causas dos problemas de drenagem no bairro. Essa compreensão por parte dos moradores pode estar diretamente relacionada ao fato de muitos deles terem acompanhado o processo de expansão urbana ao longo dos anos, observando o aumento da frequência e da intensidade dos alagamentos à medida que ocorreu o adensamento do tecido urbano. Tal convergência entre a percepção popular e a análise técnica reforça a confiabilidade dos resultados.

Embora o crescimento urbano se apresente como o fator predominante, os demais aspectos identificados também contribuem de forma significativa para o agravamento das deficiências no sistema de drenagem. O descarte irregular de resíduos sólidos e a ausência de manutenção adequada foram amplamente constatados durante as inspeções de campo. A correspondência entre a percepção dos moradores e o diagnóstico técnico constitui um elemento relevante para a implementação de soluções integradas, as quais, conforme ressaltam Baptista, Nascimento e Barraud (2015), devem contemplar a adequação da capacidade hidráulica ao padrão de urbanização, a manutenção sistemática das estruturas, a gestão eficiente dos resíduos sólidos e a adoção de medidas compensatórias de drenagem.

Gráfico 6 – Proporção de moradores que buscaram atendimento médico após eventos chuvosos



Fonte: Autor (2024)

6. PROPOSTA DE MELHORIAS TÉCNICAS

Com base no diagnóstico realizado e nos resultados apresentados nos capítulos anteriores, este tópico apresenta um conjunto integrado de medidas técnicas voltadas à correção das deficiências identificadas no sistema de microdrenagem do bairro Colinas Park. As soluções propostas consideram tanto intervenções estruturais convencionais quanto a adoção de Medidas Compensatórias de Drenagem Urbana (MCDUs).

6.1 INTERVENÇÕES ESTRUTURAIS NO SISTEMA DE MICRODRENAGEM

As intervenções estruturais constituem a base para a recuperação da funcionalidade do sistema de drenagem urbana do bairro Colinas Park. Essas medidas visam corrigir os problemas identificados nos dispositivos existentes e adequar a capacidade hidráulica do sistema às demandas atuais de urbanização.

- **Desobstrução e Manutenção dos Dispositivos Existentes**

A etapa inicial das intervenções propostas consiste na limpeza, desobstrução e recuperação funcional de todas as bocas de lobo, sarjetas e galerias pluviais identificadas nas inspeções de campo, uma vez que, conforme apresentado na Tabela 7, aproximadamente 73,9% dos dispositivos apresentam danos estruturais e 65,2% encontram-se parcial ou totalmente obstruídos por vegetação, resíduos sólidos e sedimentos, reduzindo de forma significativa a capacidade de captação e escoamento das águas pluviais e contribuindo diretamente para a recorrência de alagamentos no bairro.

As ações necessárias incluem a remoção imediata de resíduos, sedimentos e vegetação, a limpeza interna das galerias com equipamentos especializados, a substituição de grelhas danificadas ou ausentes, a reposição de tampas de concreto e a recuperação estrutural de meio-fios deteriorados, devendo tais atividades seguir um plano de manutenção preventiva com periodicidade bimestral no período de estiagem e mensal no período chuvoso, conforme recomendado pelo Manual de Drenagem Urbana do DNIT (2006), com reforço das ações antes do início das chuvas.

- **Ampliação da Capacidade Hidráulica do Sistema**

Os cálculos hidrológicos apresentados na Tabela 6 evidenciam insuficiência hidráulica generalizada do sistema de microdrenagem existente, com déficits superiores a 67% em

determinados trechos, tornando necessária a ampliação da capacidade de captação e condução das águas pluviais. Como medida prioritária, propõe-se a instalação de aproximadamente 15 a 20 novas bocas de lobo, uma vez que foram identificados espaçamentos superiores a 100 m entre dispositivos, valor acima do recomendado pela literatura técnica, que indica distâncias da ordem de 50 a 60 m em vias urbanas.

Essa implantação deve ser distribuída de forma estratégica, contemplando a Avenida 02, a Rua Alimentadora 6 e 7 trechos crítico, a Rua Alimentadora 1 e demais vias com pontos baixos e maior concentração de escoamento superficial. Para os segmentos com déficits hidráulicos superiores a 50%, especialmente na Rua Alimentadora 6, indica-se ainda a implantação de galerias pluviais complementares paralelas ao sistema existente.

As Medidas Compensatórias de Drenagem Urbana (MCDUs) têm como finalidade reduzir o escoamento superficial diretamente na fonte, promovendo infiltração, armazenamento temporário e atraso do pico de vazão, de modo a complementar as soluções estruturais convencionais. Essas medidas são amplamente recomendadas pela literatura técnica como estratégia eficaz para mitigar os impactos da impermeabilização do solo em áreas urbanas consolidadas (Tucci, 2017; ANA, 2021).

- **Pavimentos permeáveis**

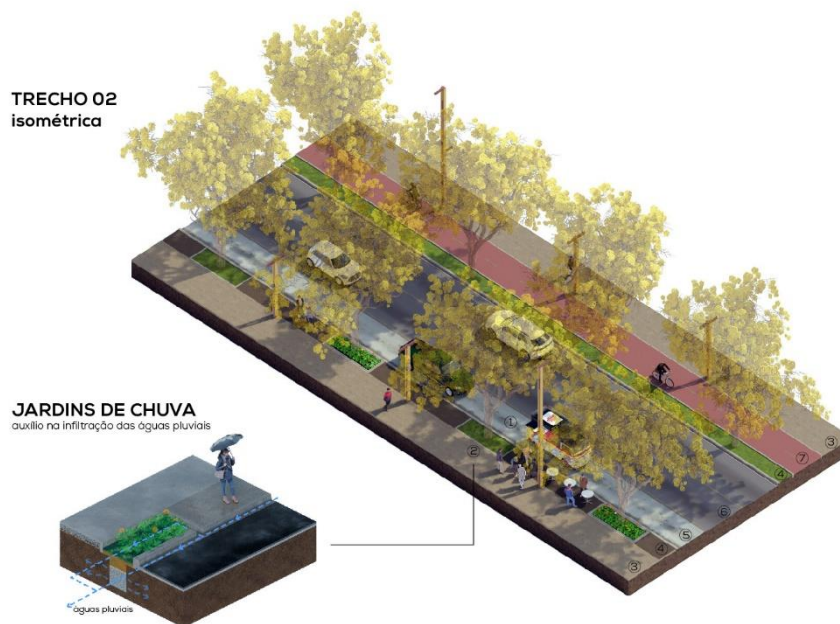
Os pavimentos permeáveis constituem uma solução eficiente para redução do volume de escoamento superficial, permitindo que a água da chuva infiltre através de sua estrutura e seja armazenada temporariamente em camadas granulares inferiores. Sua aplicação é indicada principalmente em áreas de baixo tráfego, como estacionamentos, calçadas, praças e vias locais. Estudos indicam que esse tipo de solução pode reduzir entre 30% e 50% o escoamento superficial nas áreas onde é implantado, além de contribuir para a recarga de aquíferos e para a melhoria da qualidade da água infiltrada por meio de processos naturais de filtração (ABNT NBR 16416, 2015; Tucci, 2017).

- **Jardins de chuva e trincheiras de infiltração**

Os jardins de chuva Figura 27 e as trincheiras de infiltração são dispositivos de biorretenção projetados para captar e infiltrar as águas pluviais provenientes de áreas impermeáveis adjacentes, promovendo o controle do escoamento na origem. Os jardins de chuva consistem em depressões vegetadas que retêm temporariamente a água, enquanto as trincheiras de infiltração utilizam estruturas lineares preenchidas com material granular para

facilitar a percolação no solo. Essas soluções podem reduzir entre 40% e 60% do escoamento superficial da área de contribuição, além de melhorar a qualidade da água, aumentar a biodiversidade urbana e integrar-se ao paisagismo local (EPA, 2020; ANA, 2021).

Figura 27 – Estrutura de uma rua com jardim de chuva



Fonte: oficinaurbana (2025)

- **Reservatórios de retenção (piscinões)**

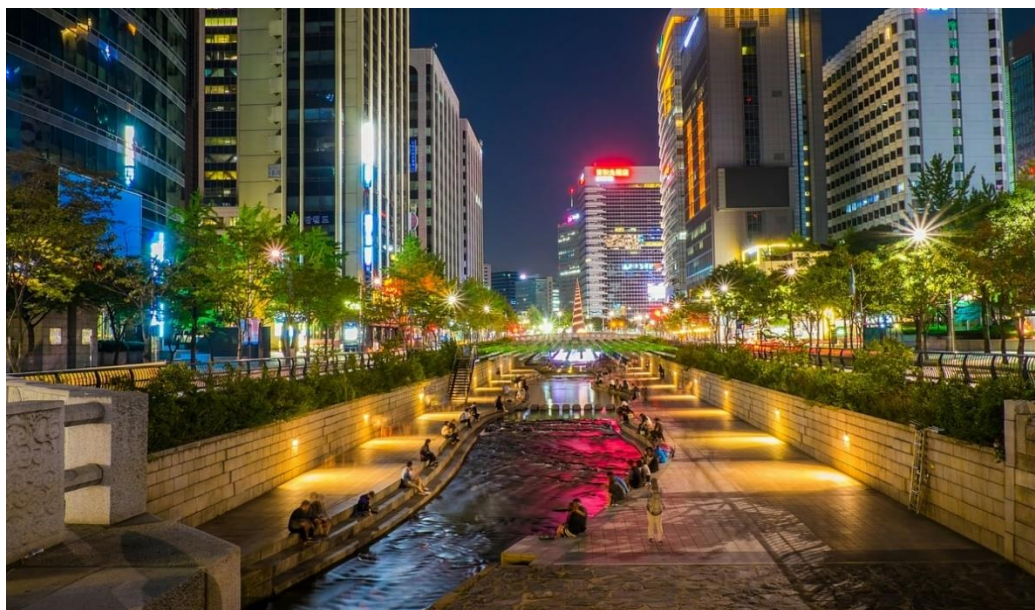
Os reservatórios de retenção, popularmente conhecidos como piscinões, são estruturas destinadas ao armazenamento temporário das águas pluviais durante eventos de chuva intensa, liberando o volume acumulado de forma controlada após o pico do evento. Sua implantação é recomendada em áreas públicas disponíveis, pontos baixos naturais e regiões com histórico recorrente de alagamentos. De acordo com a literatura técnica, esses dispositivos podem reduzir entre 50% e 70% das vazões de pico a jusante, contribuindo significativamente para a proteção de áreas urbanas vulneráveis e para o alívio da sobrecarga do sistema de microdrenagem existente (DNIT, 2006; Tucci, 2017).

- **Educação ambiental e conscientização da população**

Os resultados das entrevistas evidenciam que 30,3% dos moradores associam os problemas de drenagem urbana ao descarte irregular de resíduos sólidos, indicando que as deficiências do sistema não estão relacionadas apenas a fatores estruturais, mas também a aspectos comportamentais e de gestão urbana. Nesse contexto, a educação ambiental gera uma drenagem sustentável Figura 28, configura-se como instrumento fundamental para a redução

da obstrução dos dispositivos de microdrenagem, uma vez que o lançamento inadequado de resíduos compromete diretamente a eficiência hidráulica do sistema (Philippi JR.; Malheiros, 2012).

Figura 28 - Modelagem visual de drenagem urbana sustentável



Fonte: ArchDaily (2025)

Assim, recomenda-se a implementação de campanhas educativas permanentes sobre o descarte correto de resíduos, associadas à distribuição de materiais informativos e à realização de ações educativas em escolas e associações comunitárias. A instalação de sinalização educativa próxima às bocas de lobo e sarjetas, bem como a criação de canais acessíveis para denúncias de descarte irregular, contribui para o fortalecimento da participação social e para a redução de práticas inadequadas, conforme apontado por Jacobi (2015) e SNIS (2022).

- **Fiscalização e controle**

De forma complementar às ações educativas, é imprescindível o fortalecimento da fiscalização e do controle urbano por parte do poder público municipal. A literatura aponta que a ausência de fiscalização efetiva favorece a degradação progressiva dos sistemas de drenagem, especialmente em áreas de urbanização acelerada (Baptista *et al.*, 2011). Dessa forma, recomenda-se a intensificação da fiscalização do descarte irregular de resíduos sólidos, com aplicação de sanções previstas em legislação municipal, além do controle rigoroso de obras particulares que possam alterar o escoamento superficial.



Também se destaca a necessidade de exigir projetos de drenagem predial em novas edificações e incentivar a adoção de soluções compensatórias em empreendimentos privados, promovendo a corresponsabilização dos agentes urbanos e contribuindo para a redução da sobrecarga do sistema público de drenagem, conforme diretrizes estabelecidas pelo Ministério das Cidades (2019).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo analisar os impactos da urbanização no sistema de drenagem urbana do bairro Colinas Park, no município de Açailândia-MA, considerando os aspectos físicos, urbanos e sociais envolvidos nesse processo. A partir da integração entre técnicas de geoprocessamento, modelagem hidrológica, levantamentos de campo e entrevistas com moradores, foi possível compreender de forma sistemática e abrangente as causas estruturais e operacionais associadas aos recorrentes problemas de alagamento observados na área de estudo, bem como propor soluções tecnicamente fundamentadas e ambientalmente sustentáveis.

Os resultados obtidos evidenciaram que o crescimento urbano acelerado ocorrido no bairro Colinas Park não foi acompanhado pela ampliação e adequação proporcional da infraestrutura de drenagem urbana. A análise topográfica e morfológica, desenvolvida por meio de mapas temáticos elaborados, indicou a presença de áreas com baixas declividades e zonas de convergência natural do escoamento superficial, condições que, quando associadas ao elevado grau de impermeabilização do solo (coeficiente de escoamento $C = 0,8$), favorecem o acúmulo de água durante eventos de precipitação intensa e reduzem drasticamente a capacidade de infiltração natural. Esses achados corroboram a extensa literatura especializada, que aponta a urbanização desordenada como fator determinante para o comprometimento do desempenho hidrológico em áreas urbanas, conforme amplamente discutido por Tucci (2003), Canholi (2015) e outros autores de referência na área de hidrologia urbana.

A análise multitemporal do uso e ocupação do solo demonstrou a predominância crescente de superfícies impermeáveis, com redução significativa da cobertura vegetal ao longo da última década, o que limita a infiltração da água da chuva e aumenta exponencialmente a dependência do sistema de microdrenagem. As observações realizadas em campo, complementadas por registros fotográficos detalhados, confirmaram a existência de dispositivos de drenagem subdimensionados, severamente obstruídos por resíduos sólidos e vegetação, ou com manutenção insuficiente e ausente, agravando a ocorrência de alagamentos e gerando impactos diretos e mensuráveis na mobilidade urbana, na segurança da população e na qualidade de vida dos moradores. Constatou-se que 100% dos dispositivos avaliados apresentam insuficiência de capacidade hidráulica, 73,9% encontram-se estruturalmente danificados e 65,2% apresentam obstrução significativa, configurando situação crítica que demanda intervenção urgente.

Os cálculos hidrológicos realizados pelo Método Racional, associados às equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) específicas para o município de Açailândia, revelaram que as vazões de projeto para as principais vias do bairro variam entre 0,027 m³/s e 0,245 m³/s, enquanto a capacidade hidráulica real das sarjetas existentes mostrou-se insuficiente em até 67% em trechos críticos, evidenciando subdimensionamento histórico ou obsolescência funcional decorrente do adensamento urbano não acompanhado de adequação infraestrutural. Esse déficit hidráulico explica tecnicamente a recorrência dos alagamentos e valida as queixas sistemáticas da população, constituindo evidência inequívoca da necessidade de intervenções estruturais no sistema.

A percepção dos moradores, captada por meio de entrevistas semiestruturadas com 33 residentes de diferentes setores do bairro, convergiu de forma notável com os diagnósticos técnicos. Os dados revelaram que 72% dos entrevistados relatam alagamentos "quase toda chuva intensa" e 84% percebem agravamento progressivo do problema nos últimos anos, validando empiricamente os resultados das análises espaciais, topográficas e hidrológicas. Essa convergência entre percepção popular e diagnóstico técnico-científico reforça a robustez das conclusões e facilita a implementação futura de soluções, uma vez que a população compreende as causas do problema e tende a ser mais receptiva a intervenções estruturantes.

Diante desse cenário multifacetado, o estudo permitiu indicar a necessidade de intervenções integradas e complementares voltadas à melhoria substancial do sistema de drenagem urbana do bairro, envolvendo tanto a reabilitação e ampliação da infraestrutura existente quanto a adoção de Medidas Compensatórias de Drenagem Urbana (MCDUs) e soluções baseadas na natureza. As propostas apresentadas no Capítulo 6 contemplam um conjunto articulado de ações, incluindo: (i) desobstrução sistemática e manutenção preventiva de todos os dispositivos existentes; (ii) instalação de 15 a 20 novas bocas de lobo e implantação de galerias pluviais complementares nos trechos de maior déficit hidráulico; (iii) adoção de pavimentos permeáveis, jardins de chuva, trincheiras de infiltração e reservatórios de retenção para redução do escoamento superficial na fonte; e (iv) implementação de programas de educação ambiental e fortalecimento da fiscalização do descarte irregular de resíduos. Tais estratégias mostram-se tecnicamente viáveis, economicamente factíveis e plenamente alinhadas aos princípios contemporâneos do planejamento urbano sustentável e da gestão integrada de recursos hídricos.

Os resultados desta pesquisa evidenciam ainda que os impactos da drenagem inadequada extrapolam largamente a dimensão técnica, atingindo diretamente as esferas social,

econômica, ambiental e sanitária, especialmente em áreas urbanas em processo acelerado de expansão e com população em situação de vulnerabilidade socioeconômica. Os alagamentos recorrentes comprometem a mobilidade urbana, causam prejuízos materiais às residências e ao comércio local, aceleram a degradação da infraestrutura viária, favorecem a proliferação de vetores de doenças de veiculação hídrica e contribuem para a desvalorização imobiliária, configurando um ciclo de degradação urbana que afeta desproporcionalmente as populações mais vulneráveis.

Do ponto de vista metodológico, o estudo demonstrou que a abordagem integrada adotada, combinando geoprocessamento, modelagem hidrológica, levantamentos de campo e pesquisa social, constitui ferramenta eficaz e replicável para o diagnóstico de problemas de drenagem urbana em áreas de expansão acelerada. A utilização de softwares de acesso livre (QGIS) e de métodos consolidados (Método Racional, equações IDF) permite que estudos semelhantes sejam desenvolvidos com relativa facilidade em outros contextos urbanos, ampliando o alcance e a aplicabilidade dos resultados obtidos. Ademais, a integração entre dados técnicos quantitativos e percepção qualitativa da população enriquece o diagnóstico e fortalece a legitimidade das soluções propostas, aspecto frequentemente negligenciado em estudos puramente tecnicistas.

Ressalta-se que o diagnóstico técnico elaborado neste estudo, fundamentado em dados primários e secundários consistentes, pode e deve subsidiar futuras ações do poder público municipal, contribuindo diretamente para o aprimoramento de políticas urbanas, para a elaboração de planos diretores de drenagem urbana e para o direcionamento estratégico de investimentos em infraestrutura de saneamento. A disponibilização deste material técnico às secretarias municipais competentes e aos conselhos de planejamento urbano constitui contribuição concreta para a gestão pública, oferecendo subsídios técnicos para a tomada de decisões informadas e para a priorização de intervenções com base em critérios objetivos e cientificamente fundamentados.

Além disso, a metodologia adotada e as análises desenvolvidas neste trabalho podem ser aplicadas em outras áreas urbanas que enfrentam problemas similares, tanto no município de Açailândia quanto em cidades de médio porte de outras regiões do Brasil, reforçando a relevância e a aplicabilidade prática do estudo para o planejamento urbano e ambiental em contextos de crescimento desordenado. A sistematização dos procedimentos metodológicos, dos parâmetros adotados e dos critérios de análise facilita a replicação do estudo em diferentes



contextos, contribuindo para o avanço do conhecimento técnico-científico na área de drenagem urbana e para a disseminação de boas práticas de planejamento e gestão.

Em síntese, o presente trabalho cumpriu integralmente seus objetivos gerais e específicos, produzindo diagnóstico técnico consistente, propondo soluções viáveis e contribuindo para o avanço do conhecimento na área de drenagem urbana. Espera-se que os resultados aqui apresentados possam efetivamente subsidiar ações concretas do poder público municipal, melhorar a qualidade de vida da população do bairro Colinas Park e servir de referência para intervenções similares em outras áreas urbanas brasileiras que enfrentam desafios semelhantes decorrentes da urbanização acelerada e desordenada. A superação dos problemas identificados demanda vontade política, alocação adequada de recursos, planejamento integrado e participação efetiva da sociedade civil, elementos indispensáveis para a construção de cidades mais resilientes, sustentáveis e justa

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, Alexandre Calheiros; FILHO, Hernande Gomes; ROSAS, Lúcia de Abreu. Drenagem urbana: a execução de uma drenagem para promover sustentabilidade. **Pesquisa & Educação a Distância**, v. 2, n. 30, 2023.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Soluções baseadas na natureza para gestão das águas: guia de apoio à implementação**. Brasília: ANA, 2020.
- ARAÚJO, Elaine Cristina; GOMES, Ivanise; SILVA, Monica Maria Pereira. Avaliação de impactos ambientais: urbanização do Açude de Bodocongó, Campina Grande/PB. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 7, p. 787-797, 2020.
- ARAÚJO, José Carlos. Urbanização e impactos ambientais em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 2, p. 1234-1245, 2024.
- ARAÚJO, Paulo Roberto de *et al.*, Avaliação de metodologias para determinação do tempo de concentração em bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 4, p. 5-17, 2011.
- BAPTISTA, Márcio Benedito; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 3. ed. Porto Alegre: ABRH, 2015.
- BATISTA, Jefferson Nascimento; BOLDRIN, Raquel de Souza. Análise construtiva de poços de visita para sistemas de drenagem urbana. **Revista Científica FAEMA**, v. 9, n. 1, p. 45-58, 2018.
- BEZARRA, Paulo César; SOUZA, Jonas Dias. Urbanização de tabatinga e impactos ambientais: estudo de caso do igarapé Urumutum. **Revista GeoAmazônia**, v. 9, n. 17, p. 111-125, 2021.
- BONFIM, Michelle Tuane Gomes. **Estado da arte da drenagem urbana no município de Goiânia-GO**. 2023. 60. f. Monografia (Bacharelado Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2023.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2017.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Diretrizes para elaboração de estudos hidrológicos**. Brasília: ANA, 2012.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de drenagem de rodovias**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.
- CALDEIRA, Ivo Antônio Cardoso; LIMA, Diogo Pedreira. Drenagem urbana: uma revista de hidrovias. **Engineering Science**, v. 8, n. 2ca, p. 1-9, abr/jun 2020.

CANHOLI, Alceu de Arruda. Drenagem urbana e controle de enchentes. 2. ed. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2015.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988.

Classificação climática de Köppen para os municípios brasileiros. **Köppen Brasil**, 2024. Disponível em: <https://koppenbrasil.github.io/>. Acesso em: 29 de jul. 2024.

COSTA JUNIOR, Jose Roberto de Campos. **Onde colocar as bocas coletoras no projeto de drenagem urbana? Sobre as Águas**, 30 set. 2025. Disponível em: <https://sobreasaguas.com/2025/09/30/onde-colocar-as-bocas-coletoras-no-projeto-de-drenagem-urbana/>. Acesso em: 23 dez. 2025.

CURITIBA (Município). Secretaria Municipal de Obras Públicas. **Manual de drenagem urbana de Curitiba**. 3. ed. Curitiba: SMOP, 2021.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. **Manual de drenagem urbana**. São Paulo: DAEE, 2019.

DAEE/CETESB – Departamento de Águas e Energia Elétrica / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Drenagem urbana: manual de projeto**. São Paulo: DAEE/CETESB, 1980.

DAS, Manob; DAS Arijit. Dynamics of Urbanization and its impact on Urban Ecosystem Services (UESs): A study of a medium size town of West Bengal, Eastern India. **ELSEVIER**. n.8, v.3, p. 420-34. Dec. 2019.

DINIZ, Ana Carolina; MELO, Paulo Roberto. Manutenção de sarjetas em sistemas de microdrenagem urbana. **Revista de Engenharia Civil**, v. 15, n. 2, p. 78-92, 2023.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos de drenagem rodoviária**. Rio de Janeiro: DNIT, 2017.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de drenagem urbana**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de drenagem de rodovias**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **Stormwater best management practices: rain gardens**. Washington: EPA, 2020.

FHWA – Federal Highway Administration. **Urban drainage design manual**. 3rd ed. Washington: U.S. Department of Transportation, 1996.

GUERRA, André José Teixeira; GONÇALVES, Luiz Fernando Haddad; OLIVEIRA, Ana Maria dos Santos. **Geografia urbana e meio ambiente**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2024**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de informações básicas municipais 2008**: perfil dos municípios brasileiros. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados pluviométricos históricos: estação Açailândia-MA**. Brasília: INMET, 2024.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil (2010 - 2024)** – Monitoramento Climático. Brasília: INMET, 2024.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas do Brasil 1991-2020**. Brasília: INMET, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Tabela de drenagem urbana**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/>. Acesso em: 15 Nov. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais climatológicas do Brasil**. Brasília: INMET, 2010. Secretaria de planejamento do município de açailândia – MA. Banco de dados pluviométricos e parâmetros de chuvas intensas. Açailândia, 2019

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021**: the physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

JACOBI, Pedro Roberto. Educação ambiental e sustentabilidade urbana. **Cadernos Metrôpole**, São Paulo, v. 17, n. 33, p. 29-50, maio 2015.

JACOMAZZI, Marco Antonio. **Avaliação de cenários para elaboração de plano diretor de macrodrenagem urbana. Estudo de caso: bacia do ribeirão das Anhumas em Campinas/SP**. 2019. 263f. Tese. (Doutorado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

JUSTINO, Edson Aparecido. **Sistemas de drenagem urbana sustentável**: critérios de dimensionamento. 2011. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck *et al.* Subsídios para a institucionalização da prestação e da regulação dos serviços públicos de drenagem urbana no Distrito Federal: a experiência da ADASA. **Anais do XIV Encontro Nacional de Águas Urbanas**, p. 1-10, 2022.

LIMA, Matheus Santos; SILVA, Daniel Almeida. **Urban waters and socio-environmental dynamics in the Mamede, Pais Mendonça and Marcela neighborhoods in Itabaiana, SE. Geopauta**, v. 7, p. 1-21, 2023.

LOPES, Wilza Gomes Reis; JÚNIOR, João Macêdo Lima; MATOS, Karenina Cardoso. Impactos do crescimento de áreas impermeáveis e o uso de medidas alternativas para a mudança urbana. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 9, pág. e213997102-e213997102, 2020.

MACEDO, Marina Balalini. **Decentralized urban water recycling facility addressing the security of the water-energy-food nexus**. 2020. 189 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

MARQUES, Gustavo David; MENDES, Luana Ferreira; JUNIOR, Ivan Francklin. Análise e proposta de adequação do sistema de microdrenagem da avenida fernão dias em três corações-mg. **Sustentare**, v. 3, n. 1, p. 143-154, 2019.

MCCAY, Lisa. The urban transformation: health impacts and responses. **Journal of Urban Health**, v. 98, n. 4, p. 503-517, 2021.

MELLO, Carlos Rogério de; SILVA, Antônio Marciano da Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. **Lavras: UFLA**, 2013.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Manual de drenagem urbana sustentável**. Brasília: Ministério das Cidades, 2019.

MOURA, Micaella Raíssa Falcão. A macrodrenagem urbana sob a ótica do tripé da sustentabilidade: uma análise dos canais do Recife-PE. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 16, n. 2, 2019.

NETO, Basílio Pires Rocha; BLANCO, Claudio José Cavalcante. Determinação de curva IDF para o município de Governador Newton Bello no estado do Maranhão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. e39932374, 2020.

OLIVEIRA, Milena. **Soluções baseadas na natureza como elemento integrador entre projetos de drenagem urbana e plano do clima na cidade de São Paulo**. 2023. 125. f. Dissertação (Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis) – Universidade Nove de Julho – UNINOVE, São Paulo, 2023.

ONU-HABITAT. **Estado das cidades do mundo 2024**: urbanização sustentável e resiliente. Nairóbi: ONU-Habitat, 2024.

PAULA, Heber Martins de *et al.* Sistemas urbanos de água e esgoto. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 2, n. 8, p. 45-62, 2017.

PAULA, Jessica Soares *et al.* Execução de obras de drenagem pluvial: princípios empregados na construção de redes de drenagem urbana. **Revista Interdisciplinar Pensamento Científico**, v. 3, n. 2, 2017.

PHILIPPI JÚNIOR, Arlindo; MALHEIROS, Tadeu Fabrício. Saneamento e saúde pública: integrando homem e ambiente. In: PHILIPPI JÚNIOR, A. (Org.). **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri: Manole, 2012. p. 3-31.

PODER360. **Brasil tem 213,4 milhões de habitantes em 2025**, diz IBGE. Poder360, 28 ago. 2025. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/poder-brasil/brasil-tem-2134-milhoes-de-habitantes-em-2025-diz-ibge/>. Acesso em: 26 dez. 2025

PODER360. **Crescimento populacional brasileiro 1940-2025: análise demográfica**. Brasília: Poder360, 2025.

PORTO, Rubem La Laina. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos: EESC/USP, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CANOAS. Secretaria Municipal de Obras e Serviços Urbanos. **Manual técnico de drenagem urbana**. Canoas: PREF-CANOAS, 2015.

QI, Xin *et al.* The impact of urbanization on the alleviation of energy poverty: Evidence from China. **ELSEVIER**. n.5, v.9, p.734-12. Ago. 2024.

RAMMAL, Mohamad; BERTHIER, Emmanuel. **Amélioration des modélisations de la production du ruissellement des eaux pluviales urbaines lors des événements fréquents**. 62. f. 2020. Doctoral thesis (Opération de recherche et développement Gestion intégrée de l'eau en milieu urbain Cerema.) - Université Gustave Eiffel, 2020.

RODRIGUES, Amanda Maciel Pontes *et al.* Interceptor de areia e resíduos urbanos em bocas de lobo. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 4, p. 3276–3289, 2020.

RODRIGUES, Higor Baruto; LIMA, Williams Andrade; MENDES, Ludimilson Aburilla. Impactos das obras de drenagem e da urbanização no desempenho hidráulico de um canal em Aracaju-SE. **Revista Principia**, n. 57, p. 121-133, out. 2021.

RODRIGUES, José *et al.* Manutenção de bocas de lobo em sistemas de microdrenagem urbana. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 12, p. 1-15, 2020.

SANTOS, A. L.; MORAIS, R. S.; FURIGO, R. F. Soluções baseadas na natureza aplicadas à drenagem urbana. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 28, n. 2, p. 1–12, 2023.

SILVA, Paulo Vitor Santa Rosa *et al.* A drenagem urbana de águas pluviais no Município de Santo Estevão-BA. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 102934-102946, 2020.

SILVA, Thyago Vinícius Santos. **Sistemas de drenagem urbana de águas pluviais: um estudo de caso na cidade de Bacabal/MA**. 2023. 52. f. Monografia (Bacharelado Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Maranhão, Bacabal, 2023.

SIVIERO, Paulo Roberto *et al.* Elementos de sistemas de microdrenagem urbana. **Revista Técnica de Engenharia Civil**, v. 18, n. 1, p. 67-82, 2020.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2023**. Brasília: SNS/MDR, 2023.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2022.

SOUZA, Rodrigo Rodrigues *et al.* Análise do sistema de drenagem urbano do bairro nova república no município de Santarém - Pará. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 1-18, 2023.

TEIXEIRA, Lucas Florêncio Cunha; FILHO, Anísio Sousa Meneses. Avaliação de desempenho hidráulico de sarjetas no sistema de drenagem urbana: um estudo no bairro Aldeota, em Fortaleza (CE). **Revista Tecnologia**, v. 41, n. 1, 2020.

TEIXEIRA, Niel Nascimento; ARAUJO, Alisson Victor Souza. Gestão municipal de drenagem e manejo de águas pluviais: avaliação dos impactos decorrentes da urbanização na cidade de Ilhéus - BA. **Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)**, v. 14, n. 6, p. 9968-9999, 2023.

TIBÚRCIO, A. C.; SARAIVA, L. A.; TARGA, M. S. Urbanização e impactos hidrológicos em cidades médias brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 28, e19, 2023.

TIBÚRCIO, Jackes; SARAIVA, Cinara Wirtzbiki; TARGA, Marcelo. Ações antrópicas relacionadas à taxa de impermeabilização. **Revista Técnica Ciências Ambientais**, v. 1, n. 7, p. 1-11, 2023.

TOLEDO, José Henrique Ribeiro. **Dimensionamento de elementos de microdrenagem urbana**: estudo aplicado. São Paulo: Blucher, 2017.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Águas urbanas. Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2015.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Drenagem urbana e controle de inundações**. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia urbana e drenagem**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2017. Cap. 5, p. 123-178.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Drenagem urbana. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2008.



TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed.** Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1995.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário Thadeu Leme de. **Drenagem urbana.** Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 1995.

UNITED NATIONS. **World urbanization prospects 2024: the revision.** New York: UN Department of Economic and Social Affairs, 2025.

VIEIRA, Vânia Bogorni; LIMA, Felipe Cordeiro. **A importância do sistema de drenagem urbana: um estudo de caso na cidade de Ariquemes - RO.** 2023. 43. f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA, Ariquemes, 2023.

ZAZYKI, Marco Aurelio; MARIN, Solange; MOURA, Gilnei Luiz. Impactos da urbanização brasileira e o direito de propriedade. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, v. 17, n. 3, p. 34-55, 2020.

APENDICE

