

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

JULIANA PAIVA DE CARVALHO

VAZÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E SISTEMA DE DRENAGEM

URBANA: Um estudo de caso no bairro Vila Frei Solano na cidade de Bacabal - MA.

BACABAL - MA

2025

JULIANA PAIVA DE CARVALHO

VAZÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E SISTEMA DE DRENAGEM

URBANA: Um estudo de caso no bairro Vila Frei Solano na cidade de Bacabal - MA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof^a. Esp Nádia Isabelli Mesquita Lobo

BACABAL - MA

2025

Carvalho, Juliana Paiva de.

Vazão de escoamento superficial e sistema de drenagem urbana: um estudo de caso no bairro Vila Frei Solano na cidade de Bacabal - MA / Juliana Paiva de Carvalho. - Bacabal - MA, 2025.

53 f.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil Bacharelado) - Universidade Estadual do Maranhão, Campus Bacabal, 2025.

Orientadora: Profa. Esp. Nádia Isabelli Mesquita Lobo.

1. Drenagem urbana. 2. Escoamento superficial. 3. Alagamentos. 4. Infraestrutura urbana. 5. Planejamento urbano. I. Título.

CDU: 556.164:626.86(812.1)

JULIANA PAIVA DE CARVALHO

**VAZÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E SISTEMA DE DRENAGEM
URBANA: Um estudo de caso no bairro Vila Frei Solano na cidade de Bacabal - MA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Estadual do Maranhão para o grau de
bacharelado em Engenharia Civil.

Aprovado em: 11/07/2025

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Esp Nádia Isabelli Mesquita Lobo (Orientador)
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Prof. Esp. André Magalhães do Nascimento
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Prof. Dr. Péricles Rafael Pavão Carvalho
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Dedico este trabalho ao meu amado Jesus, que entregou sua vida por amor a mim, mesmo eu não merecendo. Ao Jesus que, com seu cuidado infinito, me formou no ventre da minha mãe e plantou no meu coração o sonho lindo de ser engenheira.

E a todos que estiveram ao meu lado, me fortalecendo e acreditando em mim, mesmo nos momentos mais dificeis desta jornada árdua, mas cheia de vitórias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Deus, que me permitiu sonhar e realizar este sonho. Ao meu querido Senhor, que foi e sempre será o autor da minha história, o sustentador da minha vida. O Deus que me fortaleceu, orientou e conduziu em cada fase. Nos dias de incerteza, Ele me deu a certeza de que eu conseguia. Nos momentos de medo, mostrou que eu não estava sozinha e me deu paz. Nas horas de angústia, foi meu refúgio e minha calmaria. E nos dias de alegria, esteve ao meu lado, tornando cada momento ainda mais especial. Sou grata por ter vivido dias que um dia apenas sonhei e pelos quais tanto orei. Sem Jesus, absolutamente nada disso seria possível. Que toda honra e toda glória sejam dadas a Ele: meu Senhor, meu Pai, meu tudo.

À minha amada família, minha base e maior presente da vida, que desde sempre acreditou em mim e me apoiou em cada etapa. O amor recebido de cada um, o orgulho refletido nos olhares, o cuidado e o incentivo foram fundamentais para que eu pudesse realizar este sonho e orgulhar a todos. Agradeço especialmente à minha mãe, que sempre me incentivou, jamais duvidou da minha capacidade e que sempre quis saber como tinha sido meu dia na escola e na faculdade. Esse cuidado e apoio me ajudaram muito ao longo de toda essa caminhada. À minha avó, que fez tudo o que esteve ao seu alcance para que nada me faltasse, me encorajou e proporcionou o melhor para que eu pudesse estudar. E à minha tia, que sonhou comigo, que tantas vezes falou sobre a área de engenharia e plantou em mim a certeza de que era possível.

Aos meus amigos, presentes valiosos que Deus me deu, obrigada por estarem comigo, por acreditarem em mim e por me fazerem sorrir nos momentos em que tudo parecia pesado demais. Os inúmeros momentos de descontração tornaram meus dias mais leves. A todos que caminharam ao meu lado e sonharam comigo, deixo minha gratidão pelo carinho e pelo amor recebido. Agradeço especialmente à Thácila Ellen, Leonice e Genecy, por estarem sempre presentes e ao meu lado. O cuidado, a amizade e o amor de vocês foram presentes valiosos ao longo desta jornada.

Aos meus colegas de turma Eduardo, Ísis, Flávia, Luana, Lucas e Maria Clara, minha sincera gratidão por cada conversa, por cada momento de estudo, pelos cansaços compartilhados e pelas vitórias celebradas juntos. Vocês tornaram essa longa jornada mais leve e inspiradora. A ajuda mútua foi essencial para que pudéssemos, juntos, chegar até aqui e vivenciar este momento de realização e alegria.

Aos profissionais que me deram a oportunidade de aprender e adquirir experiência na área, deixo meu respeito, admiração e imensa gratidão. Cada vivência, cada ensinamento e cada porta aberta foram fundamentais para que eu me apaixonasse ainda mais pela engenharia. O

exemplo de vocês me inspirou a seguir em frente, mesmo diante das dificuldades. Durante o estágio, tive a alegria de contar com a amizade e o apoio dos meus amigos Larissa, Karen e Mateus, que tornaram essa fase ainda mais especial e significativa. Os momentos vividos entre risos, aprendizados e os desafios do dia a dia fizeram dessa etapa uma experiência leve, rica e inesquecível.

À minha orientadora Nádia Mesquita, que foi a primeira engenheira a me oferecer uma oportunidade de estágio e com quem aprendi tanto, sou imensamente grata pela orientação e pela disponibilidade em cada etapa deste trabalho. A dedicação, disposição para ajudar foram especiais.

Estou em êxtase, com o coração transbordando de alegria, por sentir que o sonho de criança se tornou realidade. Um sonho que nasceu no coração de Deus e que, com sua força, consegui lutar para alcançar, mesmo quando a exaustão tomava conta do meu corpo. É indescritível olhar para trás e reconhecer o cuidado d'Ele em cada detalhe. Ele me levantou quando me senti fraca, me lembrou do propósito quando a vontade de desistir ameaçava surgir. Por isso, não parei. Segui com fé, coragem e o olhar voltado para aquilo que Ele preparou para mim.

Estou vivendo a realização de um sonho que começou quando eu tinha apenas 9 anos, ao fazer um trabalho escolar e descobrir que queria ser engenheira. Hoje, esse sonho se torna realidade porque, em cada passo dessa caminhada, eu nunca estive sozinha.

“Àquele que é capaz de fazer infinitamente mais do que tudo o que pedimos ou pensamos, de acordo com o seu poder que atua em nós, a ele seja a glória na igreja e em Cristo Jesus, por todas as gerações, para todo o sempre! Amém!”

Efésios 3:20,21

RESUMO

A urbanização acelerada e sem planejamento tem gerado inúmeros problemas ambientais e sociais, destacando-se a ineficácia dos sistemas de drenagem urbana, principalmente em áreas periféricas e em crescimento. Este trabalho tem como objetivo principal analisar a relação entre a vazão de escoamento superficial das águas pluviais e a infraestrutura de drenagem presente em um trecho do bairro Vila Frei Solano, situado na cidade de Bacabal, Maranhão. A metodologia desse trabalho é de natureza qualitativa e descritiva, embasada em observações de campo, registros fotográficos e avaliação de dados secundários, tais como índices pluviométricos. Os resultados indicam um cenário de vulnerabilidade urbana, evidenciada pela falta de planejamento técnico, pela falta de dispositivos de microdrenagem apropriados e pela inadequação da manutenção dos componentes já existentes. Dificuldades como alagamentos recorrentes, transbordamento de canais improvisados, obstrução de bocas de lobo e sarjetas mal construídas ou ausentes têm causado efeitos consideráveis na vida dos habitantes locais, incluindo alagamentos de casas por água e a degradação do pavimento urbano. Diante dessa realidade, a pesquisa propõe medidas estruturais e preventivas, que incluem a substituição de canais improvisados por estruturas tecnicamente adequadas, a instalação e padronização de sistemas de microdrenagem, a manutenção regular dos dispositivos de escoamento, além da revisão do Plano Diretor de Drenagem Urbana da cidade, que atualmente se encontra desatualizado. As sugestões apresentadas visam não só amenizar os efeitos das precipitações, mas também auxiliar na edificação de uma cidade mais resistente, segura e sustentável. Portanto, esta pesquisa fornece informações e análises relevantes para embasar decisões técnicas e políticas, com o objetivo de desenvolver soluções estruturais e aplicar estratégias urbanas que promovam a melhoria das condições de vida da comunidade local.

Palavras-chave: drenagem urbana; escoamento superficial; alagamentos; infraestrutura urbana; planejamento urbano.

ABSTRACT

The rapid urbanization without appropriate planning has caused several environmental and social issues, with a particular emphasis on the inefficiency of urban drainage systems, especially in peripheral and expanding regions. This study aims to analyze the relationship between the surface runoff flow of rainwater and the existing drainage infrastructure in a section of the Vila Frei Solano neighborhood, located in the city of Bacabal, Maranhão, Brazil. The methodology used was qualitative and descriptive, based on local observations, photographic records, and the evaluation of secondary data, such as rainfall indices. The results reveal a scenario of urban vulnerability, evidenced by the lack of technical planning, the absence of appropriate micro-drainage systems, and inadequate maintenance of existing components. Issues such as frequent flooding, overflow of improvised canals, blockage of storm drains, and poorly constructed or missing gutters have caused significant impacts on the lives of local residents, including the flooding of homes and degradation of urban pavement. In light of this reality, the research proposes structural and preventive measures, including the replacement of improvised channels with technically adequate structures, the installation and standardization of micro-drainage systems, the regular maintenance of drainage devices, and the revision of the city's Urban Drainage Master Plan, which is currently outdated. The suggestions presented aim not only to mitigate the effects of rainfall but also to contribute to the development of a more resilient, safe, and sustainable city. Therefore, this research provides relevant information and analysis to support technical and political decisions, with the goal of developing structural solutions and implementing urban strategies that improve the living conditions of the local community.

Keywords: urban drainage; surface runoff; flooding; urban infrastructure; urban planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa urbano Estatístico Bacabal - Ma	17
Figura 2: Bairro Vila Frei Solano em 2007	18
Figura 3: Bairro Vila Frei Solano em 2024	19
Figura 4: Ciclo Natural da água.....	19
Figura 5: Escoamento Superficial.....	21
Figura 6: Inundação, Enchentes e Alagamentos.....	23
Figura 7: Rede de drenagem pluvial.....	25
Figura 8: Aterramento do Açude	29
Figura 9: Curvas de nível do trecho	31
Figura 10: Média de chuva mensal em Bacabal	32
Figura 11: Pontos em análise no trecho do bairro	33
Figura 12: Canal cheio após chuva.....	35
Figura 13: Canal no período seco	36
Figura 14: Extravasamento do canal	37
Figura 15:Água invadindo residência durante chuva	38
Figura 16: Trecho sem presença de sarjetas e com vegetação cobrindo a lateral da rua.....	39
Figura 17: Boca de lobo obstruída em período seco	40

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EPAL	Empresa Portuguesa das Águas Livres
IAS	Instituto de Água e Saneamento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NBR	Norma Brasileira
PDDRU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sistema de Drenagem Urbana.....	26
Tabela 2: Procedimento de inspeção para as estruturas do sistema de drenagem	44
Tabela 3: Procedimento de limpeza para as estruturas do sistema de drenagem	45
Tabela 4: Procedimento de manutenção para as estruturas do sistema de drenagem.....	45
Tabela 5: Comparativo fotográfico dos pontos críticos da drenagem urbana no trecho	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Caracterização da área de estudo	17
2.2 Ciclo Hidrológico.....	19
2.3 Escoamento Superficial.....	20
2.4 Enchentes e Alagamentos.....	22
2.5 Sistema de Drenagem Urbana	24
3 METODOLOGIA	28
3.1 Tipo de estudo.....	28
3.2 Área de estudo	28
3.3 Análise de dados	29
3.3 Elaboração de resultados	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1 Apresentação dos resultados.....	31
4.2 Caracterização da área: topografia, uso do solo e clima	31
4.3 Caracterização dos trechos de escoamento e áreas de alagamento.....	32
4.4 Vazão do escoamento superficial e canal improvisado	34
4.5 Alagamento em Vias	36
4.6 Invasão da água nas residências.....	37
4.7 Diagnóstico da infraestrutura existente.....	39
4.8 Propostas de Melhoria	41
4.8.1 Substituição do canal improvisado por estrutura dimensionada	41
4.8.2 Implantação e padronização de sistemas de microdrenagem.....	41
4.8.3 Manutenção preventiva do sistema.....	42
4.8.4 Revisão e atualização do Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDRU).....	42
4.8.5 Medidas estruturais aplicáveis.....	43
4.9 Discussão dos resultados	46
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	49
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

O sistema de drenagem urbana consiste na estrutura presente em uma cidade destinada a coletar, transportar e escoar as águas superficiais. A garantia de sistema de drenagem eficiente é estabelecida na Lei nº 11.445, 05/01/2007 que trata sobre saneamento básico no Art. 2, onde consta que a população tem direito aos serviços de drenagem e manejo das águas pluviais apropriadas, a fim de permitir melhor qualidade de vida, como também cidades mais estruturadas.

Durante a segunda metade do século XX, o Brasil passou por um intenso processo de urbanização, houve um crescimento nas áreas urbanas. Conforme ressalta o autor Tucci (2005), o desenvolvimento urbano está intimamente ligado à impermeabilização do solo, resultante da substituição da vegetação por superfícies impermeáveis, como asfalto em vias, construção de residências, calçadas. Essas áreas permeáveis impedem o processo de absorção água por meio do solo, consequentemente há o aumento da vazão superficial. Durante o período de chuvas a população sofre impactos severos como alagamentos e enchentes, o que contribui para desvalorização da região e qualidade de vida dos moradores. Dessa forma, faz-se necessária a melhoria do sistema de drenagem existente em cada cidade para escoar água de forma eficiente e não causar danos às pessoas.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) tem como finalidade orientar e coordenar a forma de drenagem nas áreas urbanas. É um documento técnico em que as cidades devem desenvolver, colocar em prática as diretrizes e estratégias para gestão do sistema de drenagem adequado, a fim de favorecer a população. O município de Bacabal possui uma área estimada de 1.656,736 km², não possui fiscalização quanto à ocupação do solo, e não é regido por plano diretor atualizado. A falta de infraestrutura de drenagem no município é uma questão preocupante, levando em consideração a ocorrência de enchentes e alagamentos durante os períodos chuvosos. Esses eventos têm impactado negativamente a qualidade de vida dos moradores locais, com ênfase no trecho do bairro Vila Frei Solano.

O planejamento urbano é de extrema importância para o desenvolvimento de uma cidade e para a qualidade de vida da população, já que é após o planejamento que serão traçadas todas as etapas e leis a fim de ter uma cidade bem planejada. Segundo o Instituto de Água e Saneamento (IAS) somente 32,7% da população de Bacabal é atendida com drenagem de águas pluviais, isso mostra que o sistema de drenagem é insuficiente para atender toda a demanda de escoamento superficial decorrente das precipitações pluviométricas. Durante a temporada de

chuvas os moradores do bairro Vila Frei Solano sofrem com os impactos negativos decorrentes da precariedade do sistema de drenagem local.

Os problemas relacionados à ineficiência da drenagem urbana no bairro resultam em alagamentos, deterioração do revestimento asfáltico, riscos à saúde da população, danos materiais e ainda desvalorização do imóvel. Diante disso, esse estudo visa analisar o escoamento superficial da água pluvial na região, seus impactos, como também propor possíveis soluções eficazes para que o bairro tenha um sistema de drenagem eficaz, tal qual melhoria da qualidade de vida dos moradores.

Dessa forma, é possível notar a importância dos planejamentos das cidades, com o objetivo de que a população não seja prejudicada devido à falta de um sistema eficaz de escoamento de água. O Plano Diretor do Município de Bacabal (Lei nº 1.029, 10/10/2006), informa no Art. 35 a necessidade de melhoria nas calhas e a recuperação dos sistemas de micro e macrodrenagem. É notório que essas melhorias são previstas, mas essas não são atendidas, e os moradores convivem com as consequências, em razão da recorrência observada.

Este estudo visa observar a relação entre a vazão do escoamento superficial e o sistema de drenagem urbana presente no bairro Vila Frei Solano, em Bacabal-MA, com o objetivo de compreender a capacidade do sistema em atender às necessidades geradas pelas precipitações e os efeitos resultantes de seu mau funcionamento ou falhas no dia a dia da comunidade local. A avaliação leva em consideração elementos cruciais da área, como a topografia, o uso e a ocupação do solo, bem como os índices pluviométricos, que afetam diretamente o comportamento das chuvas e a dinâmica do escoamento superficial.

Inicialmente, propõe-se uma caracterização abrangente da área de estudo, incluindo a identificação das características topográficas, a ocupação do solo e os índices pluviométricos, com o objetivo de entender os fatores naturais e antrópicos que influenciam o fluxo superficial das águas pluviais. Esta caracterização é fundamental para guiar as fases seguintes da análise.

Posteriormente, será realizada a análise da vazão superficial através de observações visuais, com a finalidade de avaliar a demanda hídrica atual e a quantidade de água superficial gerada durante o período chuvoso. Esta avaliação possibilitará a verificação da compatibilidade entre o volume de escoamento e a capacidade de atendimento do sistema de drenagem do sistema de drenagem atual, identificando eventuais desequilíbrios que podem resultar em problemas como alagamentos.

Adicionalmente, será realizada a avaliação da infraestrutura de drenagem urbana, isso incluirá o mapeamento e a avaliação das condições dos dispositivos já existentes, como bocas de lobo, sarjetas, galerias e canais. Essa fase envolve a identificação dos locais críticos

de acúmulo e escoamento inadequado das águas pluviais, além da análise dos impactos negativos à comunidade local resultantes do mau funcionamento do sistema.

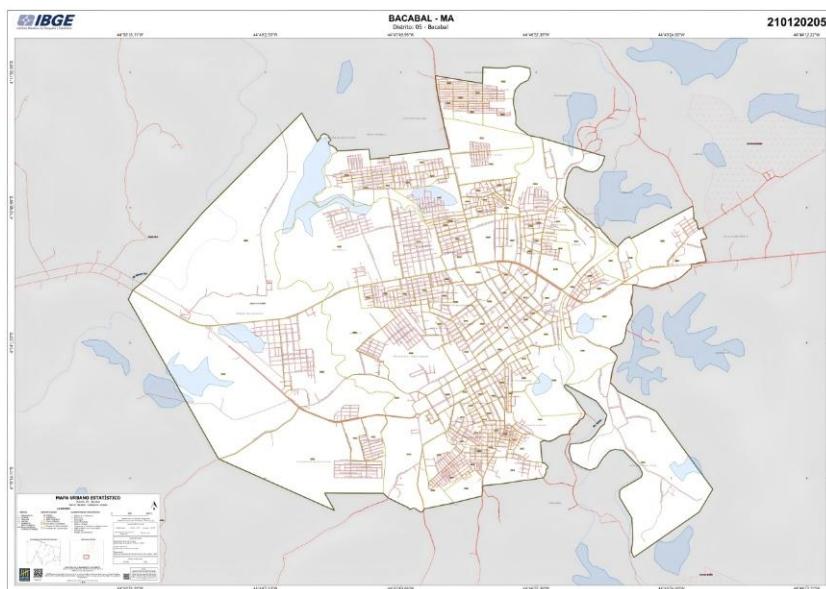
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Caracterização da área de estudo

Bacabal é um município brasileiro situado no interior do Maranhão, região nordeste do Brasil, localizado a aproximadamente 250 km da capital do estado, São Luís. Limita-se com os municípios de Lago Verde, São Luís Gonzaga do Maranhão, Lago do Junco, Bom Lugar e Pio XII. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o município possui 103.711 habitantes e uma área territorial estimada em 1.656,736 km².

O clima da região é quente e seco com médias que variam entre 22°C e 38°C. A época de chuvas se estende de dezembro a maio, sendo março o mês que registra a maior concentração de chuvas. Por outro lado, a estação seca dura de maio a dezembro, abrangendo cerca de 7,4 meses de seca.

Figura 1: Mapa urbano Estatístico Bacabal - Ma



Fonte: IBGE (2022)

Ao longo do século XX, a cidade de Bacabal passou por um crescimento significativo. O primeiro plano urbano para a vila foi desenvolvido em 1930. A construção do centro da cidade foi acelerada pela construção da rampa do porto e de uma via para a área da Forquilha em 1932. A demanda crescente por Côco babaçu durante a Segunda Guerra Mundial fortaleceu a economia local e atraiu mais pessoas para as cidades, impulsionando o crescimento industrial e comercial. A imigração nordestina e a melhoria das estradas contribuíram para o aumento da população na década de 1950. Mesmo com o fluxo migratório diminuindo, Bacabal continuou a crescer nos anos 1960 com a construção de novas estradas e asfaltamento da BR-316. A cidade

se expandiu com novas indústrias e a criação da diocese em 1968, e o comércio se diversificou. A expansão contínua das cidades foi impulsionada pela migração da população para áreas ao norte e ao outro lado do rio Mearim.

Este estudo se concentra na área específica do bairro Vila Frei Solano, cuja origem se inicia na década de 1990 e apresenta um crescimento importante. A divisão de terras para os moradores representou um momento primordial para a comunidade local. O prefeito daquela época teve um papel fundamental nesse processo, fornecendo os recursos necessários para a edificação das primeiras moradias, evidenciando seu apoio ao desenvolvimento da região. O bairro recebeu o nome de mutirão devido à mudança de muitas pessoas para a região e ao esforço coletivo dos moradores que se uniram para construir suas novas residências. Um dos obstáculos que a comunidade teve que superar foi a escassez de água. O Prefeito da época reconheceu a relevância do recurso e construiu uma represa, uma infraestrutura indispensável que assegurou o fornecimento de água para atender às demandas básicas da população. Ao longo dos anos, o bairro Vila Frei Solano não somente se estabeleceu, mas também se expandiu. A expansão do local levou à criação de novos bairros nas proximidades.

Figura 2: Bairro Vila Frei Solano em 2007



Fonte: Google Earth (2025)

Figura 3: Bairro Vila Frei Solano em 2024

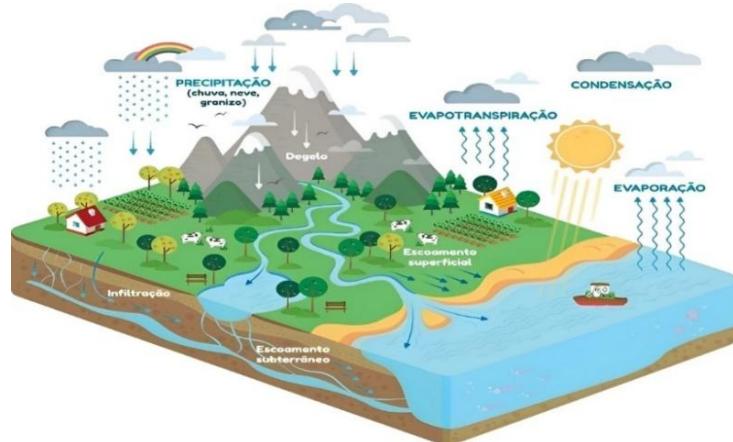


Fonte: Google Earth (2025)

2.2 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico refere-se ao movimento contínuo da água na Terra, que inclui os processos de evaporação, condensação, precipitação, infiltração e escoamento. Este movimento é principalmente impulsionado pela energia solar, mas também sofre influência da gravidade e da rotação terrestre. Este fenômeno fundamental é essencial para preservar o equilíbrio entre os vários compartimentos de água do planeta, incluindo oceanos, rios, lagos, atmosfera, solos e aquíferos subterrâneos.

Figura 4: Ciclo Natural da água



Fonte: Empresa Portuguesa das Águas Livres (EPAL)

Segundo Naghettini (2012), o ciclo hidrológico envolve uma sequência de processos interligados e essenciais para o equilíbrio ambiental. Inicia-se com a evaporação, transformação

da água líquida em vapor pela ação do calor solar; segue-se pela transpiração, liberação de vapor pelas plantas; condensação, quando o vapor se resfria e forma nuvens; precipitação, com o retorno da água à superfície em diferentes formas; infiltração, que permite à água penetrar no solo e alimentar aquíferos subterrâneos. Esses processos interligados formam um ciclo contínuo e natural que é responsável pela movimentação e renovação da água na Terra mantendo o equilíbrio dos recursos hídricos e sustentando os ecossistemas.

Após atingir o solo, parte da água infiltra no terreno, contribuindo para a recarga dos lençóis freáticos. Outra parte permanece na superfície e se desloca, formando cursos d'água. Como explica Tucci (2001), o escoamento superficial é fundamental para a renovação das águas doces e sua intensidade depende da cobertura vegetal, da permeabilidade do solo e da declividade do terreno.

Fritzen e Binda (2011) destacam que a urbanização desordenada, sem o devido planejamento e gestão das bacias hidrográficas, compromete o equilíbrio do ciclo hidrológico. A impermeabilização do solo e a remoção da vegetação reduzem a infiltração e aumentam o escoamento superficial, afetando diretamente etapas como a evaporação e a recarga dos aquíferos. Essas alterações intensificam eventos como enchentes e secas, tornando essencial considerar o ciclo hidrológico no planejamento urbano para preservar os recursos hídricos e a segurança ambiental.

2.3 Escoamento Superficial

O escoamento superficial, também chamado de escoamento direto, é a água da chuva que escorre pela superfície do terreno até alcançar a rede hidrográfica, sem infiltrar no solo. Ele representa a fração da precipitação que permanece após os processos de evaporação, infiltração e retenção superficial na bacia. Durante chuvas intensas, o escoamento superficial é a principal forma de escoamento, porém sua importância diminui rapidamente após o término da precipitação (Guimarães, 2012). Dessa forma, compreender o escoamento superficial é essencial para a gestão adequada dos recursos hídricos e para o planejamento urbano, especialmente para prevenir problemas como enchentes.

O escoamento superficial é influenciado por diversos fatores físicos e ambientais que determinam a quantidade e a velocidade com que a água da chuva escoa sobre a superfície do solo. Entre os principais fatores estão a intensidade, a duração das precipitações, a capacidade de infiltração do solo, a cobertura vegetal e a topografia do terreno. Em áreas com cobertura vegetal densa, há maior interceptação da água e maior infiltração no solo, resultando em menor

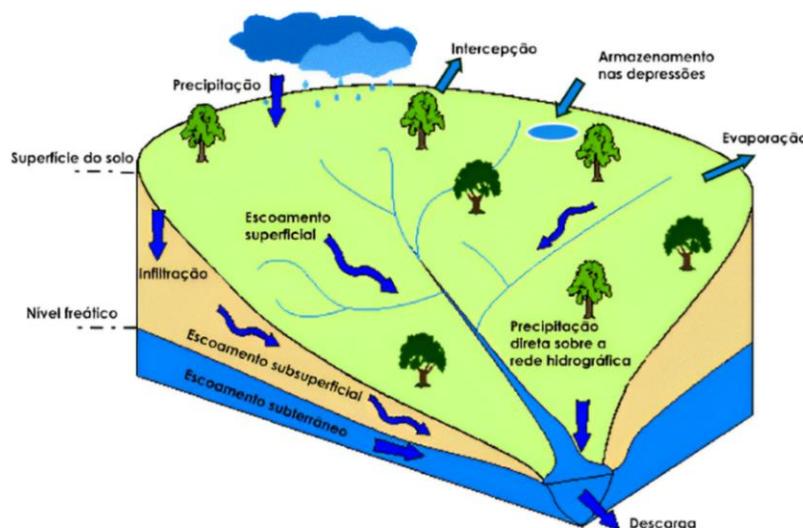
escoamento superficial. Já em áreas urbanizadas, a substituição da vegetação por superfícies impermeáveis aumenta significativamente o volume e a velocidade do escoamento, contribuindo para riscos de erosão e inundações (Souza; Neto, 2021).

Quintela (1992) explica que, no início da chuva, parte da água é interceptada pela vegetação ou por depressões no solo, onde pode evaporar ou infiltrar-se. Apenas uma pequena fração segue diretamente para os cursos d'água. Esse processo reduz temporariamente o escoamento superficial, mas, à medida que a precipitação continua, a tendência é que o volume escoado aumente, especialmente em áreas impermeabilizadas.

Segundo Tucci (2005), a impermeabilização do solo nas áreas urbanas provoca um aumento considerável no escoamento superficial, fazendo com que a água da chuva escoe rapidamente sobre superfícies impermeáveis. Esse aumento na velocidade do escoamento reduz o tempo de resposta das bacias hidrográficas, o que pode resultar em maiores picos de vazão e aumento do risco de inundações.

As mudanças climáticas têm intensificado os desafios relacionados ao escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas. O aumento na frequência e intensidade de eventos de precipitação extrema, associado à urbanização desordenada, tem sobrecarregado os sistemas de drenagem existentes, levando a enchentes e alagamentos frequentes. A impermeabilização do solo impede a infiltração da água da chuva, elevando o volume de escoamento superficial e os riscos de alagamento. Além disso, a ocupação irregular de áreas ribeirinhas e a ausência de planejamento urbano agravam a vulnerabilidade das comunidades urbanas (Freitas et al., 2020)

Figura 5: Escoamento Superficial



Fonte: Guimarães (2012)

Segundo Rosa (2016), a água das chuvas deve ser conduzida por sistemas de drenagem urbana eficientes, garantindo o controle da velocidade do escoamento superficial. Quando esses sistemas falham, a água se acumula na superfície, causando alagamentos, erosões e danos ao pavimento. Isso evidencia como a ausência de infraestrutura adequada intensifica os impactos do escoamento superficial no ambiente urbano.

2.4 Enchentes e Alagamentos

As Enchentes e alagamentos são fenômenos recorrentes em áreas urbanas, causados principalmente pelo aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização do solo e à insuficiência dos sistemas de drenagem urbana. A urbanização desordenada intensifica esses eventos, já que a água da chuva, que antes infiltrava no solo, passa a escoar rapidamente pelas ruas e calçadas, aumentando o volume e a velocidade do fluxo de água (Tucci, 2005).

De modo geral, as enchentes são fenômenos naturais que ocorrem periodicamente nos cursos d’água em decorrência de chuvas de alta intensidade. Em áreas urbanas, esses eventos podem resultar de precipitações intensas com longos períodos de retorno, como também o transbordamento de corpos hídricos causado por alterações no equilíbrio do ciclo hidrológico em regiões a montante, ou ainda, ser consequência direta do processo de urbanização (POMPÉO, 2000). Dessa forma, compreender os múltiplos fatores que contribuem para a ocorrência das enchentes, especialmente em contextos urbanos, é fundamental para a proposição de medidas eficazes de controle e prevenção desses eventos.

Segundo Tucci (2001), as enchentes urbanas acontecem quando o volume de água excede a capacidade de escoamento das áreas urbanas, resultando em transbordamentos e alagamentos. Esse problema é agravado pela cobertura de superfícies que impedem a absorção da água pelo solo, intensificando o escoamento superficial e reduzindo a infiltração natural. Além disso, a ocupação irregular de áreas de risco, especialmente os leitos maiores dos rios, aumenta significativamente os impactos das enchentes, expondo a população a danos frequentes e graves, tornando essencial o controle e o planejamento urbano para minimizar esses riscos.

Os alagamentos correspondem ao acúmulo momentâneo de água nas vias públicas e em áreas urbanas, provocado por chuvas intensas, especialmente em cidades com sistemas de drenagem inadequados. Nesses casos, o extravasamento das águas está mais relacionado à ineficiência da drenagem, que impede o escoamento adequado, do que propriamente ao volume das precipitações locais. Esse tipo de ocorrência é comum em centros urbanos com

planejamento deficiente ou que passaram por um crescimento desordenado, dificultando a implementação de obras de drenagem e escoamento das águas pluviais (Castro, 2003). Dessa forma, os alagamentos representam um dos problemas mais recorrentes nas áreas urbanas, causando transtornos à mobilidade, prejuízos materiais à população e riscos à saúde pública. Sua frequência e intensidade tendem a aumentar em contextos urbanos que carecem de infraestrutura adequada, reforçando a necessidade de políticas públicas voltadas à melhoria dos sistemas de drenagem e ao planejamento urbano sustentável.

Figura 6: Inundação, Enchentes e Alagamentos



Fonte: Defesa Civil de Taió

De acordo com Amaral e Ribeiro (2009), chuvas muito intensas ou de longa duração tendem a saturar o solo, favorecendo o aumento do escoamento superficial e a concentração de água nas regiões urbanas, especialmente nos cursos d'água e em suas margens. Os autores destacam que o descarte inadequado de lixo e entulho próximo a esses corpos hídricos agrava ainda mais a situação, que já é comprometida pela impermeabilização do solo com materiais como asfalto e concreto, comuns nas cidades. Essas condições dificultam a infiltração da água e aceleram o escoamento superficial. Diante disso, fica evidente que, em áreas urbanas com infraestrutura ineficiente, a ocorrência de chuvas intensas atua como um fator crítico na intensificação dos alagamentos e inundações, exigindo maior atenção ao planejamento urbano e à gestão adequada dos resíduos e da drenagem pluvial.

O estado do Maranhão enfrentou eventos de chuvas intensas. Em 2024, ultrapassaram a média histórica para o período chuvoso. Dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024) indicam que, especialmente nos meses de março e abril, as precipitações superaram os valores médios habituais, em grande parte devido à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), fenômeno que intensifica a umidade e favorece chuvas persistentes na região Norte e Centro-Norte do Brasil. Esse excesso de chuvas tem causado transtornos significativos, principalmente

pela incapacidade dos sistemas urbanos de drenagem em suportar o grande volume de águas superficiais.

Como consequência, 30 municípios maranhenses declararam emergência diante dos impactos das enchentes, com expressivo número de famílias desabrigadas e desalojadas. Os prejuízos materiais e humanos evidenciam a dificuldade das cidades em absorver e escoar grandes volumes de água em curtos períodos, especialmente em locais com sistemas de drenagem precários (Agência Brasil, 2024).

Na cidade de Bacabal, a situação se agravou ainda mais. Além das chuvas intensas, a cheia do Rio Mearim elevou o nível das águas, provocando aumento do nível da água em áreas com histórico de alagamento do município. Em março de 2024, o Rio Mearim atingiu o nível de 5,72 metros acima do padrão normal, configurando risco iminente de inundações (Prefeitura de Bacabal, 2024).

Bairros como Trizidela e Presídio são os mais afetados, sofrendo alagamentos frequentes que comprometem milhares de moradores. Em 2023, cerca de 293 famílias, incluindo grupos vulneráveis como crianças, idosos e gestantes, foram desabrigadas pelas cheias (Imirante, 2024). A alta intensidade e frequência das chuvas são fatores críticos para o aumento das enchentes urbanas, sobretudo em locais onde o planejamento urbano e a infraestrutura não acompanham a demanda gerada por eventos pluviométricos extremos. Ademais, a impermeabilização do solo contribui para intensificar o escoamento superficial, elevando os níveis de inundaçāo.

2.5 Sistema de Drenagem Urbana

A infraestrutura de drenagem urbana é essencial para o controle das águas pluviais nas cidades, tendo em vista especialmente o avanço acelerado da urbanização e a intensificação de eventos climáticos extremos. O principal propósito deste sistema é coletar, transportar e destinar corretamente a água das chuvas, minimizando os perigos de inundações, alagamentos e os impactos negativos ligados à gestão insuficiente das águas superficiais. A eficácia da drenagem urbana tem uma ligação direta com a manutenção da infraestrutura, a saúde pública e a qualidade de vida da população que vive em regiões urbanas (Tucci, 2008).

Os dois níveis complementares da infraestrutura de drenagem urbana são a microdrenagem e a macrodrenagem. A microdrenagem diz respeito ao conjunto de estruturas responsáveis por coletar a água das chuvas, tais como sarjetas, bocas de lobo, canais e galerias secundárias. Esses aparelhos operam diretamente nas ruas, captando a água da chuva e a

direcionando para sistemas de maior capacidade. Por outro lado, a macrodrenagem abrange os componentes que transportam grandes quantidades de água para fora das zonas urbanas, tais como canais, galerias-tronco, córregos, rios canalizados e bacias de retenção. Esses elementos possibilitam que a água recolhida pela microdrenagem seja conduzida de forma segura aos corpos receptores, prevenindo alagamentos e enchentes em grande escala.

Figura 7: Rede de drenagem pluvial



Fonte: Lino; Lemos (2021)

De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (1986), a combinação entre microdrenagem e macrodrenagem é fundamental para assegurar a eficiência do sistema de drenagem urbana, levando em consideração a topografia local, o regime das chuvas e a crescimento urbano. Para corroborar essa perspectiva, Canholi (2011) destaca que a concepção e o dimensionamento desses sistemas devem ser fundamentados em critérios técnicos consistentes, tais como informações hidrológicas e características do solo, com o objetivo de garantir a proteção da população e a eficácia da infraestrutura. A ausência de um planejamento e manutenção apropriados prejudica o funcionamento desses sistemas e favorece a ocorrência de inundações e danos materiais em zonas urbanas.

Complementando essa perspectiva, o Manual de Drenagem Urbana do Governo do Estado do Paraná (2002) destaca que os sistemas de drenagem urbana são compostos por diversos elementos estruturais que atuam de forma integrada para garantir o escoamento eficiente das águas pluviais. Entre esses componentes, destacam-se as sarjetas, que conduzem as águas das ruas até os dispositivos de captação; as bocas de lobo, responsáveis por captar a água das sarjetas e encaminhá-la para as galerias subterrâneas; os poços de visita, que permitem a inspeção e manutenção das galerias pluviais; as galerias pluviais, que transportam as águas captadas até os pontos de lançamento final; os canais e valas, que conduzem grandes volumes

de água em áreas onde não há galerias subterrâneas; as bacias de retenção, que armazenam temporariamente a água da chuva, controlando picos de vazão.

É indispensável que os projetos obedeçam às normas técnicas para assegurar a efetividade dos sistemas de drenagem urbana. A norma ABNT NBR 9649:1986 de Drenagem Urbana e Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais define os critérios para o planejamento, dimensionamento e execução desses sistemas. Ela determina que os dispositivos de drenagem devem ser projetados considerando fatores como volume de chuvas, características do solo e segurança da população. De acordo com a própria norma, seu objetivo é assegurar o escoamento adequado das águas pluviais e a prevenção de alagamentos nas áreas urbanas (ABNT, 1986). A conformidade a esse manual é necessária para prevenir defeitos no sistema, minimizar danos causados por inundações e promover a sustentabilidade da estrutura urbana.

O planejamento eficaz dos sistemas de drenagem urbana requer a consideração de diversos fatores hidrológicos e hidráulicos. Conforme destacado no Manual de Drenagem de Rodovias do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), é fundamental que os projetos de drenagem levem em conta dados pluviométricos locais, características do solo e topografia da região para garantir o escoamento adequado das águas pluviais e prevenir alagamentos. O manual enfatiza que o dimensionamento das obras de drenagem deve considerar os dados pluviométricos locais, o tempo de concentração, o coeficiente de escoamento e a declividade do terreno (DNIT, 2006). Esses critérios são fundamentais para garantir a eficácia e a durabilidade das estruturas de drenagem, especialmente em regiões urbanas sujeitas a chuvas intensas.

Tabela 1: Sistema de Drenagem Urbana

SISTEMA DE DRENAGEM URBANA	
COMPONENTE	FUNÇÃO
Sarjetas	Estruturas superficiais localizadas nas bordas das vias que conduzem a água da chuva até as bocas de lobo.
Bocas de lobo	Dispositivos de captação responsáveis por recolher a água das sarjetas e direcioná-la para as galerias.
Poços de visita	Acessos verticais às galerias, permitindo inspeção, limpeza e manutenção do sistema subterrâneo.

Galerias pluviais	Tubulações subterrâneas que transportam as águas pluviais captadas até os locais de descarte ou retenção.
Canais e valas	Condutos a céu aberto que escoam grandes volumes de água em áreas sem rede subterrânea.
Bacias de retenção	Reservatórios que armazenam temporariamente o excesso de água, diminuindo os picos de vazão.

Fonte: Autora (2025)

Conforme exposto na Tabela 1, observa-se a importância de uma infraestrutura de drenagem urbana bem estruturada para garantir o escoamento eficiente das águas pluviais. A compreensão das funções desempenhadas por cada componente como sarjetas, bocas de lobo, galerias pluviais e bacias de retenção evidencia a necessidade de um planejamento técnico criterioso. Esse planejamento deve considerar as particularidades topográficas da região e os índices pluviométricos predominantes, a fim de prevenir alagamentos e minimizar impactos negativos à mobilidade e à qualidade de vida da população. Assim, a análise detalhada desses elementos permite identificar áreas vulneráveis e embasar estratégias de intervenção mais eficazes no contexto urbano.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de estudo

Este estudo caracteriza-se como um estudo de caso de caráter descritivo e abordagem qualitativa, realizada a partir de observações diretas da realidade local. A pesquisa descritiva tem como finalidade entender e descrever os fenômenos observados. Neste cenário, o objetivo é examinar a dinâmica do escoamento superficial da água pluvial e os efeitos provocados pela falta de um sistema de drenagem urbana eficaz no bairro Vila Frei Solano, em Bacabal-MA. A metodologia qualitativa possibilita a interpretação dos acontecimentos com base na vivência, na percepção dos habitantes e na observação dos impactos visíveis nas ruas e casas da área, particularmente durante as épocas de chuva. O objetivo é registrar, interpretar e refletir sobre os impactos causados pela ausência de infraestrutura adequada, contribuindo com sugestões práticas e contextualizadas para a melhoria das condições locais.

3.2 Área de estudo

O estudo foi realizado no bairro Vila Frei Solano, situado na cidade de Bacabal, no estado do Maranhão. A escolha por esta área foi baseada na experiência pessoal da autora, que reside na área e observa, há anos, os desafios que os habitantes enfrentam durante a época de chuvas. O bairro tem um histórico de expansão demográfica e urbanização, contudo, não dispõe da infraestrutura de drenagem adequada para servir à população.

Antigamente, havia um açude situado em uma região estratégica do bairro Vila Frei Solano, que atuava como um reservatório natural, desempenhando um papel crucial na coleta e armazenamento de águas pluviais provenientes da área em análise, incluindo o Residencial José Lisboa, localizado nas proximidades. Esse açude cumpria um papel essencial no controle do escoamento superficial, ajudando a minimizar alagamentos nas áreas residenciais e ruas adjacentes.

No entanto, em 2016, como mostra a figura 8 o proprietário do terreno onde se localizava o açude decidiu aterrá-lo completamente para lotear a área. Essa intervenção eliminou a principal área de retenção da água da chuva, e a drenagem natural da região foi profundamente afetada. Com o aterro, a água que antes se acumulava nesse reservatório passou a escoar de forma desordenada pelas ruas e terrenos do bairro, sem qualquer estrutura adequada para conduzi-la de maneira segura.

Figura 8: Aterramento do Açude



Fonte: Autora (2016)

Diante da ocorrência de alagamentos, adotou-se uma medida emergencial na região, foi aberto um canal estreito no mesmo terreno aterrado, com o objetivo de permitir a passagem da água e reduzir os impactos dos alagamentos. Apesar de ter oferecido um alívio temporário, essa solução improvisada não é suficiente nos períodos de chuvas intensas, quando a vazão de água se torna elevada. Nessas ocasiões, o canal transborda, provocando alagamentos que afetam diretamente a população local, especialmente as residências mais próximas ao antigo açude, onde as sarjetas não suportam o volume de água e as casas sofrem com a invasão da lâmina superficial.

Diante desse cenário, torna-se evidente a pesquisa na área pela urgência por soluções definitivas para a drenagem urbana da região, uma vez que o bairro continua em expansão e o sistema atual não é capaz de atender à demanda crescente da população.

3.3 Análise de dados

A coleta de dados foi feita através de observações diretas em campo e registros fotográficos feitos durante os períodos de chuva. As imagens registradas mostram o momento de acúmulo e transbordamento das águas pluviais nas ruas do bairro, destacando os principais locais de alagamento e as áreas mais impactadas pela insuficiência no sistema de drenagem. Essas imagens serviram de fundamento para a avaliação qualitativa do comportamento da água durante as precipitações, reforçando as observações presenciais feitas no local. A avaliação procurou identificar os caminhos atuais da água, os locais com maior volume de água e os locais onde a infraestrutura urbana apresenta deficiências.

3.3 Elaboração de resultados

Com base nas observações de campo e nos registros fotográficos, os resultados foram organizados para evidenciar os principais problemas enfrentados pelos moradores da área estudada. Serão destacados os trechos com maior incidência de alagamentos, os efeitos da sobrecarga do sistema atual e as áreas mais afetadas pela vazão superficial mal direcionada. As imagens serão acompanhadas de descrições que contextualizam cada situação, indicando o local exato e as circunstâncias em que foram registradas, além de apontar os pontos críticos de escoamento e os impactos causados pela insuficiência da infraestrutura de drenagem.

Dessa forma, o trabalho tem como finalidade expor a situação atual do sistema de drenagem no bairro analisado, evidenciando os principais pontos de acúmulo de água, o comportamento do escoamento superficial e as limitações da infraestrutura existente. O objetivo é fornecer um panorama claro da realidade enfrentada pela comunidade e contribuir com informações relevantes que possam auxiliar em estudos futuros e no planejamento urbano da região.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Apresentação dos resultados

Nesta seção, serão descritos os resultados obtidos por meio de observações presenciais e registros fotográficos realizados no trecho em análise no bairro Vila Frei Solano, situado na cidade de Bacabal, Maranhão. A análise teve como foco principal verificar, de forma prática e visual, os impactos provocados pela insuficiência do sistema de drenagem urbana local, especialmente durante a época de chuvas. As imagens, captadas em alguns locais do trecho do bairro, evidenciam com clareza os desafios que a população enfrenta, além da precariedade das soluções implementadas até o momento.

4.2 Caracterização da área: topografia, uso do solo e clima

A representação topográfica na figura 9 mostra uma variação altimétrica na área, com cotas variando de 16 a 29 metros. Nota-se um predomínio de níveis mais baixos 16 a 21 metros ao longo das vias principais e perto dos canais de escoamento, enquanto os terrenos próximos apresentam elevações gradativas. Esta topografia irregular e com declives específicos favorece o armazenamento de águas pluviais, especialmente nas áreas de menor altitude, funcionando como pontos de acúmulo de água durante períodos de chuvas intensas.

Figura 9: Curvas de nível do trecho

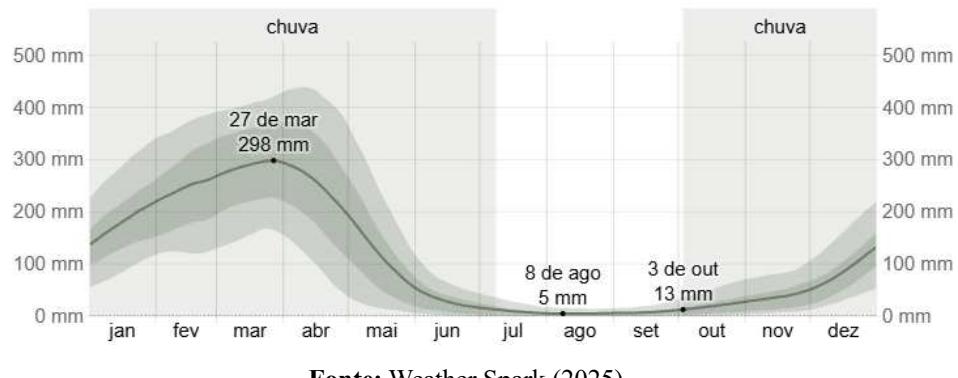


Fonte: Contour Map Creator (2025)

O uso do solo na região é predominantemente residencial, com ocupações que ocorreram de forma desordenada e sem a devida consideração à infraestrutura urbana e à geografia local. As edificações foram construídas, em grande parte, sem um planejamento técnico que considerasse a posição topográfica e a proximidade com canais de escoamento. Essa expansão urbana acelerada e desorganizada provocou a pavimentação inadequada de vias, eliminando áreas permeáveis essenciais para a absorção da água da chuva. A ausência de dispositivos de captação e condução pluvial adequados, como bocas de lobo e sarjetas, agrava ainda mais os efeitos da impermeabilização do solo.

Em relação ao clima, os dados pluviométricos da região indicam elevados índices de precipitação, sobretudo nos primeiros meses do ano, o que intensifica a vulnerabilidade da área, conforme mostra a figura 10. As chuvas volumosas associadas à topografia desfavorável e ao uso inadequado do solo resultam em uma condição crítica para a drenagem urbana. Portanto, as características naturais e as intervenções humanas na área contribuem, de forma significativa, para a ocorrência frequente de alagamento e os problemas dele decorrentes.

Figura 10: Média de chuva mensal em Bacabal



4.3 Caracterização dos trechos de escoamento e áreas de alagamento

A Figura 11 mostra uma representação esquemática do sistema de drenagem de águas pluviais na área estudada, enfatizando a bacia natural, os trechos do canal e os locais críticos de alagamentos identificados durante a observação de campo. A região estudada engloba o entorno do bairro Vila Frei Solano, que enfrenta problemas constantes ligados ao escoamento superficial das águas pluviais.

Figura 11: Pontos em análise no trecho do bairro



Fonte: Google Earth (2025)

A bacia natural situada nas proximidades do Residencial José Lisboa constitui o ponto inicial do sistema de drenagem. Esta bacia mantém um acúmulo constante de água durante todo o ano, atuando como uma espécie de reservatório natural. No entanto, durante as chuvas, o nível do sistema sobe significativamente devido à contribuição direta das águas pluviais.

A água da bacia é conduzida por uma galeria subterrânea que passa sob uma via urbana bastante movimentada chamada estrada da bela vista sentido ao bairro terra do sol. O fluxo procede permitindo que a água siga em direção ao canal 1. Este primeiro canal refere-se a uma parte que foi aterrada e modificada de maneira improvisada, recebendo um canal provisório para tentar compensar a falta de uma infraestrutura apropriada. No término do canal 1, há um bueiro instalado sob a rua, que conduz a água através de outra galeria subterrânea até o outro lado da via. Contudo, em épocas de chuva intensa, a capacidade da galeria não é suficiente para escoar toda a água, fazendo com que o excesso se desloque sobre a própria estrada, causando complicações para o revestimento asfáltico.

A partir disso, começa o canal 2, que concentra os maiores problemas identificados. O trecho é coberto por uma vegetação, o que dificulta o fluxo da água e favorece o represamento. Além disso, este canal percorre regiões muito próximas a residências, em certos pontos passando diretamente no quintal das casas. Logo no início deste canal, detectou-se o primeiro ponto crítico de alagamento, onde a água costuma se acumular de maneira considerável, alagando calçadas e ruas.

No final do canal 2, encontra-se o segundo ponto crítico, um local onde a água extravasa mais intensamente, especialmente após chuva mais intensas. Neste trecho, a água ultrapassa a capacidade de escoamento do canal e transborda sobre a estrada, prejudicando o tráfego e causando incômodo aos habitantes locais.

Por outro lado, o canal 3, localizado após o segundo ponto crítico, não mostra sinais de obstrução ou risco imediato de alagamento. Este percorre uma região aberta, sem a presença de residências ou barreiras significativas ao fluxo. Portanto, este segmento possibilita uma maior fluidez da água, atuando como uma continuidade natural do sistema de drenagem.

A análise visual deste trajeto mostra que a falta de manutenção, a presença de vegetação invasiva e a ocupação urbana desordenada ao longo dos canais contribuem diretamente para a ocorrência dos alagamentos observados. A precariedade da infraestrutura, como bueiros mal projetados e canais improvisados, intensifica o problema em épocas de chuvas intensas.

4.4 Vazão do escoamento superficial e canal improvisado

Durante as visitas de campo, um dos aspectos mais críticos detectados foi a condução das águas pluviais através de um canal improvisado, escavado de forma emergencial após o aterramento do açude que havia no local em 2016. Este canal foi criado como uma tentativa de mitigar os impactos das chuvas, sem que houvesse qualquer estudo técnico de viabilidade ou dimensionamento hidráulico prévio. Sem um revestimento apropriado e com uma capacidade limitada, o canal mostra-se claramente incapaz de lidar com o volume de água durante as chuvas mais intensas.

A situação torna-se ainda mais alarmante ao considerar que, durante esses eventos, há recorrentes transbordamentos, com a água invadindo as regiões próximas, impactando diretamente as residências e as vias públicas. Por não ter um dimensionamento técnico apropriado, o canal improvisado alcança rapidamente sua capacidade máxima, tornando-se inapto para absorver o volume de água proveniente da chuva. Como resultado, estruturas auxiliares como bocas de lobo também são sobrecarregadas, pois, ao tentarem drenar a água da chuva, se deparam com o canal completamente cheio, impedindo o fluxo apropriado. Esta sobrecarga provoca refluxo e alagamentos em pontos críticos do trecho em estudo. A falta de um planejamento técnico na construção e manutenção do canal prejudica severamente sua eficácia, provocando consequências adversas que impactam o bem-estar dos habitantes locais. Os alagamentos periódicos causam incômodos constantes aos moradores, interferindo na rotina e na tranquilidade do dia a dia.

A figura 12 apresenta o final do canal 1, que está completamente cheio após um evento de chuva forte na área em análise. É evidente que a quantidade de água acumulada no canal ultrapassou sua capacidade máxima, resultando no transbordamento e consequente extravasamento da lâmina d'água para via. Este transbordamento demonstra um cenário de sobrecarga de água, onde a estrutura atual do canal não é capaz de comportar completamente o fluxo gerado pelas chuvas.

O fato de a água extravasar para a via próxima evidencia a insuficiência da capacidade do sistema de drenagem., o que pode resultar em consequências adversas para a infraestrutura urbana. Este cenário enfatiza a importância de uma avaliação constante da capacidade do canal 1, além da implementação de ações preventivas e corretivas, como a manutenção regular e eventuais intervenções estruturais, visando assegurar o fluxo eficaz das águas pluviais e minimizar os impactos negativos das precipitações intensas na área.

Figura 12: Canal cheio após chuva



Fonte: Autora (2024)

Portanto, a figura 12 registra um momento crítico na dinâmica da drenagem urbana do trecho, atuando como prova visual para a avaliação da infraestrutura hídrica existente.

A Figura 13 apresenta o trecho final do canal 1 durante a estação seca. A presença de vegetação dentro do canal demonstra a falta de manutenção apropriada, prejudicando consideravelmente a eficácia do canal. Esta vegetação interfere no fluxo natural da água, diminuindo a capacidade do canal e elevando o perigo de alagamentos em situações de chuva

forte. Desse modo, a ausência de ações sistemáticas de manejo e conservação do canal ao longo das estações agrava significativamente as deficiências do sistema de drenagem local.

Figura 13: Canal no período seco



Fonte: Autora (2025)

4.5 Alagamento em Vias

As vias públicas do bairro em questão enfrentam sérios problemas relacionados ao escoamento superficial, frequentemente tomadas por águas pluviais que não encontram caminhos apropriados para serem conduzidas. Essa realidade se agrava nas áreas próximas ao canal improvisado, onde, em épocas de chuva, o canal alcança sua capacidade máxima e transborda, permitindo que a água invada as vias públicas e se acumule em uma quantidade considerável.

A inexistência ou insuficiência dos elementos de captação, como bocas de lobo e sarjetas, leva ao escoamento descontrolado da água de chuva. Ao longo das visitas de campo, foi possível observar água invadindo as ruas. Os pontos mais próximos ao canal ficam especialmente comprometidos, com lâminas de água se espalhando pelas vias. Alguns moradores, inclusive, precisaram realizar reformas em suas casas para elevar o nível do piso e prevenir novos alagamentos. Soma-se a isso a ausência de um padrão nas sarjetas ao longo das ruas: em alguns trechos, são rasas e mal definidas, enquanto em outros, sequer existem, dificultando ainda mais o direcionamento adequado da água da chuva.

A figura 14 destaca uma rua totalmente alagada perto do canal 2, logo após uma intensa chuva. A lâmina d'água cobre a via, especialmente no ponto mais baixo, onde o acúmulo é mais intenso, permitindo que a água alcance as calçadas e invada casas. O deslocamento dos pedestres torna-se extremamente comprometido. A presença de água na rua prejudica a entrada e saída dos moradores de suas residências e os expõe ao perigo de quedas, lesões e enfermidades provocadas por água muitas vezes contaminada.

Figura 14: Extravasamento do canal



Fonte: Autora (2024)

Como forma de enfretamento, percebe-se a ação dos próprios moradores, que construíram calçadas elevadas nas fachadas de suas casas. Essas calçadas altas atuam como barreiras de contenção, com o objetivo de prevenir a entrada de água no interior das residências. Esta solução reflete tanto a vulnerabilidade da área quanto a capacidade da comunidade em se ajustar aos danos sofridos pela falta de uma infraestrutura de drenagem eficaz.

4.6 Invasão da água nas residências

Algumas casas localizadas nas imediações do canal improvisado são constantemente afetadas pela presença de lâminas de água que se acumulam nas vias durante e após chuvas intensas. Em determinados trechos, o transbordamento do canal causa alagamentos que se espalham pelas ruas adjacentes, atingindo as calçadas e, frequentemente, invadindo o interior das casas. Mesmo em locais onde não ocorre extravasamento direto, a falta de um

sistema de captação eficaz prejudica o fluxo apropriado. As sarjetas, muitas vezes mal dimensionadas, com desníveis ou até mesmo inexistência, dificultam a drenagem, levando a consideráveis volumes de água acumulados.

Nessas condições, é comum que a água da chuva ultrapasse as calçadas e alcance o interior das casas, especialmente nas construções mais próximas ao nível da rua. Embora o volume não cause danos materiais, a entrada de água frequentemente causa vários desconfortos e compromete o conforto dos moradores durante esse período.

Com base nessa realidade, muitos habitantes têm recorrido a adaptações improvisadas na tentativa de minimizar os efeitos dos alagamentos. Dentre as ações implementadas, destacam-se a elevação de calçadas, a edificação de degraus ou obstáculos nas entradas. Embora essas soluções atenuem parte do problema, não eliminam o desconforto recorrente, especialmente durante períodos de chuva forte, quando a utilização dos ambientes internos é afetada pela água.

Figura 15:Água invadindo residênciā durante chuva



Fonte: Autora (2024)

A figura 15 evidencia uma situação crítica de alagamento em uma casa situada perto do canal 1, ocorrida logo após uma chuva intensa. O volume de água que escoava pela rua excedeu a capacidade da sarjeta, que não conseguiu escoar de forma eficiente. A imagem evidencia uma situação crítica de alagamento em uma residência localizada nas proximidades do canal 2, ocorrida logo após uma chuva de forte intensidade. O volume de água escoando pela rua foi

superior à capacidade da sarjeta, que não conseguiu dar vazão adequada ao fluxo acumulado. Como consequência, a água transbordou e avançou rapidamente sobre a calçada, atingindo diretamente a entrada da casa.

A calçada, construída em um nível baixo, não conseguiu impedir o avanço da água, permitindo a entrada da água no interior da residência. A água entrou pelo vão do portão e se espalhou pelos primeiros cômodos.

Esta situação demonstra a insuficiência da infraestrutura de drenagem local e enfatiza a necessidade de adequações, particularmente em áreas críticas onde o declive do terreno e a falta de dispositivos de retenção agravam a situação. Ademais, evidencia como as calçadas rebaixadas, frequentes em várias casas, favorecem a entrada de água em situações de chuva forte, expondo os habitantes a danos materiais e constante de insegurança.

4.7 Diagnóstico da infraestrutura existente

A avaliação visual feita no local revelou áreas críticas no bairro Vila Frei Solano, onde a falta total de sarjetas e a obstrução de bocas de lobo são evidentes, mesmo fora da época de chuvas. Esta descoberta confirma o diagnóstico da fragilidade da infraestrutura de microdrenagem e da falta de práticas básicas de manutenção.

Figura 16: Trecho sem presença de sarjetas e com vegetação cobrindo a lateral da rua



Fonte: Autora (2024)

A Imagem 16 mostra claramente uma área urbana sem qualquer tipo de sarjeta ou meio-fio organizado. No local, é possível notar a vegetação cobrindo a margem da estrada, o que além de prejudicar o fluxo de água, dificulta o tráfego. O crescimento descontrolado da vegetação demonstra o abandono da administração e a ausência de medidas constantes de limpeza e manutenção.

Na figura 17, é evidente uma boca de lobo totalmente obstruída, o que impede a adequada captação da água. É importante destacar que o registro foi realizado durante um período de seca, indicando que o acúmulo de detritos não foi resultado de enxurradas, mas sim da falta de manutenção e limpeza no sistema. Durante períodos de chuva, a obstrução deste tipo de dispositivo leva a transbordamentos localizadas, formação de poças e inundações superficiais.

Figura 17: Boca de lobo obstruída em período seco



Fonte: Autora (2024)

Esses registros indicam que, mesmo com volumes de chuva reduzidos, o sistema já apresenta falhas evidentes. A falta de sarjetas, aliada à obstrução das bocas de lobo, dificulta a operação adequada da rede de microdrenagem e intensifica as questões urbanas ligadas ao escoamento superficial. A existência dessas circunstâncias fora do período chuvoso enfatiza a urgência em implementar dispositivos apropriados e adoção de ações sistemáticas de limpeza, antes mesmo de considerar medidas de maior porte.

4.8 Propostas de Melhoria

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa e da análise detalhada da realidade observada no bairro Vila Frei Solano, fica clara a urgência em adotar ações estruturais e preventivas voltadas para a melhoria significativa do sistema de drenagem urbana local. As intervenções sugeridas foram elaboradas com base nos princípios técnicos definidos por normas e guias reconhecidos nacionalmente como a ABNT NBR 9649 :1986 e o Manual de Drenagem Urbana do DNIT (2006), considerando ainda a realidade prática da área estudada, que se caracteriza por ser uma região urbana consolidada e de alta densidade ocupacional. Portanto, as ações sugeridas a seguir visam principalmente minimizar os efeitos adversos causados pelas chuvas intensas, promover a segurança hídrica para a população e melhorar a qualidade de vida dos moradores diretamente impactados pelos problemas detectados na infraestrutura existente.

4.8.1 Substituição do canal improvisado por estrutura dimensionada

Um dos pontos críticos identificados durante a avaliação do bairro é a presença de um canal improvisado, escavado após o aterro do antigo açude, que atualmente atua como canal de escoamento das águas pluviais da área. Esta estrutura se mostra inadequada e precária, uma vez que não tem o dimensionamento hidráulico adequado para lidar com a quantidade de água produzida durante as precipitações, levando frequentemente a transbordamentos e alagamentos.

Assim, propõe-se a substituição desse canal improvisado por uma estrutura revestida, fabricada com materiais resistentes e projetada com precisão técnica, considerando elementos cruciais como a inclinação natural do terreno, coeficiente de escoamento das áreas urbanas e a média anual de precipitação na região. Essa ação tem como objetivo garantir a gestão eficiente das águas pluviais, reduzindo perigos de erosão, infiltração indesejada e consequências socioambientais resultantes do uso inadequado dos recursos hídricos.

4.8.2 Implantação e padronização de sistemas de microdrenagem

A ausência ou insuficiência dos sistemas de microdrenagem, evidenciada pela ausência de sarjetas, bocas de lobo e poços de visita no trecho analisado, indica uma grave deficiência na captação e manejo das águas pluviais nas vias públicas. Portanto, sugere-se a instalação de um sistema de microdrenagem completo e padronizado, assegurando a captação eficaz das águas pluviais em toda a área urbana analisada. Estes aparelhos precisam ser colocados de

maneira estratégica, dando prioridade aos locais críticos identificados na pesquisa, onde as águas se acumulam e se elevam, e integrados a galerias subterrâneas que possam direcionar o fluxo de água até os canais principais de maneira segura e contínua. A padronização desses componentes favorece a eficácia operacional do sistema, facilita a manutenção futura e diminui a vulnerabilidade do bairro a ocorrências de alagamentos.

4.8.3 Manutenção preventiva do sistema

É indispensável que o sistema de drenagem, depois de instalado ou reestruturado, seja submetido a uma rotina de manutenção constante e eficaz para assegurar sua eficácia apropriada ao longo do tempo. A manutenção preventiva deve abranger medidas sistemáticas como a limpeza regular das bocas de lobo, desobstrução das galerias subterrâneas e eliminação de resíduos acumulados nos canais, especialmente nos momentos que antecedem as chuvas. A negligência nesse aspecto tem sido uma das principais causas da ineficiência das redes de drenagem urbana, como evidenciado ao longo desta pesquisa. Assim, a implementação de uma rotina organizada de inspeção e limpeza contribui diretamente para a prevenção de alagamentos, o prolongamento da vida útil das estruturas e a diminuição dos gastos com ações emergenciais. Esse cuidado contínuo assegura que a infraestrutura funcione de forma plena, beneficiando diretamente a população e o ambiente urbano.

4.8.4 Revisão e atualização do Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDRU)

Por fim, destaca-se a necessidade de incluir o bairro Vila Frei Solano de maneira ajustada em um Plano Diretor de Drenagem Urbana municipal atualizado. No momento, o Plano Diretor em vigor está desatualizado e sem fiscalização, por isso não reflete as transformações urbanísticas e ambientais recentes da região, o que compromete a eficácia do planejamento e da gestão da drenagem urbana local. Portanto, sugere-se a revisão ou elaboração de um novo PDDRU, que inclua normas técnicas atuais, critérios claros para o crescimento urbano, estabelecimento de zonas de proteção e zoneamento ambiental, bem como a priorização das ações estruturais e preventivas sugeridas ao longo desse estudo.

4.8.5 Medidas estruturais aplicáveis

A avaliação de campo realizada no trecho do bairro revelou que a infraestrutura de drenagem presente é insuficiente, com indícios evidentes de descuido. As sarjetas ao longo das vias públicas não são uniformes, impactando diretamente o escoamento superficial, além de serem frequentemente obstruídas por detritos ou vegetação. Por outro lado, as bocas de lobo são escassas, mal distribuídas e, frequentemente, estão desconectadas de qualquer sistema eficaz de galerias de água ou canais, o que prejudica completamente sua função de coleta.

Com base nesse diagnóstico, fica claro que medidas corretivas estruturais podem ser postas em prática mesmo em regiões já urbanizadas, desde que fundamentadas em um planejamento técnico apropriado e ajustado às circunstâncias locais. O Guia de Drenagem e Gestão de Águas Pluviais da cidade de São Paulo (2012) enfatiza que o planejamento da drenagem urbana deve considerar a realidade estabelecida do território, implementando melhorias técnicas com o objetivo de restaurar a funcionalidade das estruturas já existentes. Adicionalmente, ressalta que a manutenção constante do sistema é uma ação estruturante crucial para assegurar sua eficácia ao longo do tempo.

Uma das ações viáveis para o trecho em análise é a execução de inspeções técnicas sistemáticas nas estruturas existentes, com o objetivo de detectar áreas de obstrução, danos e erros, especialmente nas sarjetas, bocas de lobo e canais. Esta fase é crucial para elaborar um diagnóstico técnico detalhado, seguindo as diretrizes do manual em seu Capítulo 7. A manutenção regular de dispositivos de microdrenagem, como bocas de lobo e galerias, é fundamental, visto que a falta dessa prática afeta de maneira significativa a funcionalidade das estruturas, conforme destacado nas diretrizes de São Paulo.

Ademais, é necessária a realização de obras de reforço e ajuste da infraestrutura atual, que incluem sistema de macrodrenagem, a ampliação das sarjetas e a implantação de novas bocas de lobo em locais estratégicos, com base em levantamentos topográficos e na análise do comportamento do escoamento superficial. A implementação gradual de um sistema de microdrenagem planejado, mesmo em regiões já estabelecidas, pode ser feita através da instalação de galerias de água pluvial conectadas a bocas de lobo já existentes ou requalificadas, assegurando a eficiente condução do fluxo até áreas de retenção ou canais de macrodrenagem.

Por fim, recomenda-se a implementação de um plano de manutenção contínua, com cronogramas periódicos para inspeção, limpeza e ações corretivas, seguindo os procedimentos operacionais descritos no Plano de Ação do sistema de drenagem da cidade de São Paulo. A implementação dessas ações, mesmo em pequena escala, pode produzir impactos notáveis na

diminuição de alagamentos, particularmente em áreas vulneráveis. Essas medidas destacam a relevância da integração entre o diagnóstico técnico, a operação sistemática e a participação do poder público local, em alinhamento com práticas já estabelecidas em cidades grandes.

A Tabela 2 descreve os métodos de inspeção regular de estruturas como sarjetas, bocas de lobo, galerias, canais, reservatórios e equipamentos eletromecânicos, geralmente com frequência mínima de 60 dias adotados pelo estado de São Paulo.

Tabela 2: Procedimento de inspeção para as estruturas do sistema de drenagem

Estrutura	Rotina	Frequência Mínima
Sarjetas	Inspecionar os pontos de acesso bem como a superfície na área dos pontos de acesso. Atenção especial deve ser dada aos danos ou bloqueios.	A cada 60 dias
	Inspecionar revestimento das estruturas para determinar quaisquer danos e deteriorações.	A cada 60 dias
	Procurar por obstruções causadas por acúmulo de resíduos e sedimentos.	A cada 60 dias
Bocas de lobo, bueiros, galerias e canais abertos e fechados	Inspecionar os pontos de acesso bem como a superfície na área dos pontos de acesso. Atenção especial deve ser dada aos danos ou bloqueios.	A cada 60 dias
	Inspecionar revestimento das estruturas para determinar quaisquer danos e deteriorações.	A cada 60 dias
	Procurar por obstruções causadas por acúmulo de resíduos e sedimentos.	A cada 60 dias
Reservatórios de armazenamento	Inspecionar o revestimento do reservatório para determinar quaisquer danos e deteriorações.	Nos períodos de estiagem inspecionar mensalmente. Durante o período chuvoso, as inspeções deverão ser quinzenais ou imediatamente após a ocorrência de evento chuvoso.
	Verificar se ocorre acúmulo de detritos ou decomposição anaeróbica no reservatório.	Nos períodos de estiagem inspecionar mensalmente. Durante o período chuvoso, as inspeções deverão ser quinzenais ou imediatamente após a ocorrência de evento chuvoso.
	No caso de reservatórios de retenção, verificar se ocorre proliferação de algas.	Nos períodos de estiagem inspecionar mensalmente. Durante o período chuvoso, as inspeções deverão ser quinzenais ou imediatamente após a ocorrência de evento chuvoso.
	Inspecionar grades de retenção de resíduos para garantir que elas estão livres de detritos e lixo.	Nos períodos de estiagem inspecionar mensalmente. Durante o período chuvoso, as inspeções deverão ser quinzenais ou imediatamente após a ocorrência de evento chuvoso.
	Inspecionar estruturas de controle, equipamentos hidromecânicos (válvulas, registros, comportas, stop-logs ou outros existentes).	Nos períodos de estiagem a cada 60 dias, e sempre que for efetuada alguma manobra (enchimento ou esvaziamento) durante o período chuvoso.
Equipamentos eletromecânicos	Inspecionar os equipamentos eletromecânicos existentes no reservatório (bombas, quadros de comando, chaves de açãoamento, sensores de monitoramento).	Na estiagem a cada 60 dias e no período chuvoso, as inspeções deverão ser realizadas sempre logo após ocorrer alguma operação no reservatório.
	Inspecionar mensalmente, nos períodos de estiagem, bombas hidráulicas, registros, motores elétricos, quadros de comando e chaves de açãoamento, bem como outros elementos existentes na casa de bombas (sensores de monitoramento, iluminação etc.).	Nos períodos de estiagem inspecionar mensalmente. Durante o período chuvoso, as inspeções deverão ser quinzenais ou imediatamente após a ocorrência de evento chuvoso em que se observar alagamento na área de controle dos equipamentos hidromecânicos.

Fonte: Manual de drenagem de São Paulo (2012).

A Tabela 3 aborda as atividades de limpeza, sugerindo que as sarjetas sejam higienizadas diariamente, enquanto as bocas de lobo e galerias devem ser higienizadas a cada 60 dias, com reforço durante períodos de chuvosos.

Tabela 3: Procedimento de limpeza para as estruturas do sistema de drenagem

Estrutura	Rotina	Frequência Mínima
Sarjetas	Limpar sedimentos acumulados e resíduos sólidos.	Diariamente de forma contínua
Bocas de lobo, bueiros, galerias e canais abertos e fechados	Limpar sedimentos acumulados e resíduos sólidos.	A cada 60 dias, com devida atenção nos períodos de chuvas.
Reservatórios de armazenamento	Limpar sedimentos, resíduos sólidos e outros detritos acumulados. Remover vegetação. Desinfecção da área do reservatório.	Nos períodos de estiagem limpar mensalmente. Durante o período chuvoso, após a ocorrência de cada evento de chuva.

Fonte: Manual de drenagem de São Paulo (2012).

A Tabela 4 orienta a manutenção corretiva, prevendo a substituição ou conserto de componentes danificados ou vandalizados sempre que a necessidade for identificada durante as verificações.

Tabela 4: Procedimento de manutenção para as estruturas do sistema de drenagem

Estrutura	Rotina	Frequência Mínima
Sarjetas	Reparar / Substituir elementos danificados ou vandalizados Refazer revestimento	Quando verificada a necessidade durante a inspeção
Bocas de lobo, bueiros, galerias e canais abertos e fechados.	Reparar / Substituir elementos danificados ou vandalizados Refazer revestimento	Quando verificada a necessidade durante a inspeção
Reservatórios de armazenamento	Reparar/Substituir elementos danificados ou vandalizados Refazer revestimento	Quando verificada a necessidade durante a inspeção
Equipamentos eletromecânicos	Reparar / Substituir elementos danificados ou vandalizados	Quando verificada a necessidade durante a inspeção

Fonte: Manual de drenagem de São Paulo (2012).

A implementação dessas rotinas auxilia diretamente na preservação do sistema e na prevenção de alagamentos. Em áreas como a em estudo, caracterizada por deficiências estruturais e ausência de manutenção, essas medidas constituem uma abordagem viável e eficiente para aprimorar a drenagem urbana.

4.9 Discussão dos resultados

A análise dos dados coletados e das observações in loco permite afirmar que o trecho do bairro Vila Frei Solano apresenta um cenário de extrema vulnerabilidade no que diz respeito à drenagem urbana. Essa condição é resultado de múltiplos fatores interligados, como a ocupação desordenada do solo, a ausência de planejamento técnico nas intervenções públicas e a ineficiência da gestão urbana na manutenção da infraestrutura existente. A somatória desses elementos gera um ambiente propício à recorrência de alagamentos, com implicações diretas na qualidade de vida da população.

Nesse contexto, torna-se imprescindível a adoção de medidas estruturantes que envolvam tanto a engenharia quanto a gestão participativa. Dentre essas medidas, destacam-se a implantação de sistemas adequados de microdrenagem, com bocas de lobo, sarjetas e galerias devidamente dimensionadas; a reestruturação dos canais existentes, com revestimento adequado e capacidade hidráulica compatível com os volumes pluviais; e a criação de áreas de amortecimento, como bacias de retenção e infiltração, que ajudem a controlar o escoamento em momentos de pico.

Adicionalmente, a efetivação de rotinas permanentes de manutenção preventiva e corretiva, acompanhadas de campanhas educativas sobre a importância do descarte correto de resíduos, é fundamental para o bom funcionamento do sistema de drenagem. Somente por meio de um conjunto articulado de ações técnicas, políticas e sociais será possível mitigar os impactos das chuvas e promover melhorias efetivas na qualidade de vida dos moradores do bairro. A realidade do Vila Frei Solano revela não apenas um problema técnico de engenharia urbana, mas também um desafio social que demanda atenção integrada do poder público, da comunidade e dos profissionais da área de infraestrutura urbana.

A seguir, apresenta-se a Tabela 1, que traz um comparativo fotográfico dos pontos críticos da drenagem urbana no trecho em estudo, e destaca as condições do sistema durante os períodos de chuva e seca, juntamente com as observações técnicas mais relevantes sobre manutenção, estrutura e impactos visuais, destacando os pontos críticos que necessitam de intervenção imediata.

Tabela 5: Comparativo fotográfico dos pontos críticos da drenagem urbana no trecho

Comparativo fotográfico dos pontos críticos da drenagem urbana no trecho em análise			
Trecho / Ponto Analisado	Situação (Chuva)	Situação (Estiagem)	Descrição Técnica / Observação
Bacia			Área de retenção natural com acúmulo constante de água, mesmo em estiagem. Em período chuvoso, o nível se eleva significativamente.
Canal 1 - Início			Canal improvisado com margens frágeis. Em chuvas fortes, recebe grande vazão; na estiagem, evidencia erosão e falta de estrutura.
Canal 1 - Final			Ponto crítico de transbordamento. Presença de resíduos e vegetação. Canal sobrecarregado em chuvas e assoreado na seca.
Canal 2 - Início			Trecho com intenso alagamento em chuvas. Na seca, apresenta vegetação densa e escoamento lento.
Canal 2 - Final			Canal transborda com facilidade. Vegetação toma conta do leito na estiagem, dificultando o fluxo.
Canal 3 - Início			Boa fluidez, porém com alagamentos localizados durante as chuvas. Na estiagem, margens naturais sem estrutura de drenagem

Fonte: Autora (2025)

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa revelou que o trecho do bairro Vila Frei Solano, situado na cidade de Bacabal-MA, lida com graves problemas ligados à vazão de escoamento superficial e à ineficácia do sistema de drenagem urbana. A falta de infraestrutura apropriada, como sarjetas, bocas de lobo e canais adequadamente dimensionados, juntamente com a ocupação desordenada do solo, tem um papel significativo na reincidência de alagamentos e nos efeitos adversos na vida dos moradores.

As observações de campo mostraram que, em épocas de chuva, o canal improvisado existente no local não consegue lidar com a quantidade de água, resultando em transbordamentos, alagamentos em vias públicas e invasão de água em casas. A avaliação da topografia, do uso do solo e das informações pluviométricas evidenciou a necessidade de estabelecer um sistema de drenagem projetado conforme normas técnicas e dos guias nacionais de drenagem urbana.

Diante disso, foram propostas intervenções estruturais e preventivas, tais como a troca do canal improvisado por um canal tecnicamente dimensionado, a instalação de sistemas de microdrenagem, a manutenção regular da infraestrutura e a revisão do Plano Diretor de Drenagem Urbana da cidade. Essas ações são fundamentais para assegurar um fluxo eficaz das águas pluviais, diminuir as probabilidades de alagamentos e promover a melhoria da qualidade de vida dos habitantes.

Conclui-se que a eficácia das medidas de drenagem urbana exige mais do que a simples execução de obras físicas. É imprescindível um planejamento urbano integrado, que leve em consideração as particularidades de cada região, como a topografia, o uso do solo, a densidade demográfica e o regime de chuvas local. Ademais, a administração pública precisa agir de maneira proativa, implementando ações constantes de monitoramento, manutenção preventiva e investimento em soluções técnicas apropriadas às circunstâncias socioambientais de cada região.

A situação observada no bairro Vila Frei Solano demonstra de forma evidente a urgência de políticas públicas efetivas, que enfatizem não só a correção de deficiências estruturais já existentes, mas também a implementação de estratégias contínuas de prevenção, controle e mitigação dos impactos provocados pelas chuvas. Este cenário chama a atenção para a necessidade de investir em cidades mais seguras, resistentes e estruturadas, aptas a enfrentar eventos climáticos intensos de maneira planejada, reduzindo os perigos para a população e incentivando a elevação significativa da qualidade de vida nas áreas urbanas.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Dimensionamento técnico do sistema de drenagem com base em cálculos hidráulicos e hidrológicos. (Estudo de caso com aprofundamento quantitativo, incluindo medições técnicas de vazões, índices pluviométricos)
- Modelagem computacional do escoamento superficial utilizando softwares específicos.
- Estudos comparativos com outras áreas urbanas para identificar soluções replicáveis.
- Análise da viabilidade socioeconômica e ambiental das intervenções propostas.

REFERÊNCIAS

- ABEL CARVALHO. **Bacabal e sua história.** Disponível em: <https://www.abelcarvalho.com/p/bacabal-e-sua-historia.html#:~:text=At%C3%A9%201876%2C%20a%20regi%C3%A3o%20de,no%20atual%20bairro%20do%20Ju%C3%A7aral>. Acesso em: 12 ago. 2024.
- ABEL CARVALHO. **Bacabal de sempre.** Disponível em: <http://www.abelcarvalho.com/p/bacabal-de-sempre.html>. Acesso em: 12 ago. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9649:1986 – **Drenagem urbana – Sistemas de drenagem de águas pluviais** – Procedimento. Rio de Janeiro, 1986.
- AGÊNCIA BRASIL. **Maranhão tem 30 cidades em situação de emergência por causa das chuvas.** Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-05/maranhao-tem-30-cidades-em-situacao-de-emergencia-por-causa-das-chuvas>. Acesso em: 19 maio 2025.
- ALTERAÇÕES no ciclo hidrológico em áreas urbanas: cidade, hidrologia e impactos no ambiente.** Revista eletrônica Ateliê Geográfico, v. 5, n. 3, p. 239-254, dez. 2011.
- AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. **Inundações e enchentes.** In: TOMINAGA, L. D.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. cap. 3, p. 39-52.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9649:1986 – **Projeto de sistemas de drenagem urbana.** Rio de Janeiro, 1986. Disponível em: https://assemae.org.br/associados-1/item/download/1492_db1ed5e8465aa1a3e11ad2b20f75367d. Acesso em: 12 maio 2025.
- BACABAL. **Lei nº 1.029, Plano diretor do Município de Bacabal.** [Política e diretrizes de Desenvolvimento Urbano do Município]. Bacabal, p.10, 10 out. 2006. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/RedeAvaliacao/Bacabal_PlanoDiretorMA.pdf. Acesso em: 25 abr. 2024.
- BATTEMARCO, Bruna Peres et al. **Urbanização sem controle x mudanças climáticas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 24., 2021, Belo Horizonte. *Anais*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRHidro, 2021. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/60/PAP022137.pdf>. Acesso em: 28 maio 2025.
- BENINI, Rubens de Miranda; MENDIONDO, Eduardo Mario. **Urbanização e impactos no ciclo hidrológico na Bacia do Mineirinho.** Floresta e Ambiente, v. 22, n. 2, p. 211-222, 2015. Acesso em: 29 abr. 2016.
- CANHOLI, Aluisio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2014. Disponível em: https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/ofitexto.arquivos/Drenagem%20Urbana%202ed_deg.pdf. Acesso em: 29 abr. 2024.
- CASTRO, Antônio Luiz Coimbra de. **Manual de desastres: desastres naturais.** Brasília (DF): Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p. Disponível em:

<https://defesacivil.se.gov.br/manual-de-desastres-volume-i-desastres-naturais/>. Acesso em: 23 mai. 2013.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2007/lei-11445-5-janeiro-2007-549031-normaactualizada-pl.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2024.

CETESB. Manual de drenagem urbana. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 1986. Disponível em: <https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/handle/123456789/2863>. Acesso em: 26 maio 2025.

DA SILVA, Rafael Machado; ZAPPALA, Samara Francisco; DE AZEVEDO, Bruno Freitas. Dimensionamento do sistema de drenagem pluvial: um estudo de caso de um grupamento residencial, no município de Petrópolis-RJ. Epitaya e-books, v. 1, n. 1, p. 132-157, 2021. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/73/100>. Acesso em: 27 abr. 2024.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de drenagem de rodovias. 2. ed. Rio de Janeiro: IPR/DNIT, 2006. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/724_manual_drenagem_rodovias.pdf. Acesso em: 19 maio. 2025.

FALCÃO, Jhuly Lorraine Gonçalves et al. Drenagem urbana: estudo de caso. 2021. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/864/1/tcc_jhuly%20Lorraine%20Gon%C3%A7A7alves%20Falc%C3%A3o.pdf. Acesso em: 27 abr. 2024.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. Manual de Drenagem Urbana. Curitiba: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2002. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/mdu_versao01.pdf. Acesso em: 12 maio 2025.

GUIMARÃES, Rita Cabral. Capítulo 5: Escoamento superficial. ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Escola de Ciência e Tecnologia, Universidade de Évora, 2025. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/8045>. Acesso em: 01 mai. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Cidades e estados: Bacabal (MA). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/bacabal.html>. Acesso em: 12 ago. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Eventos extremos: chuva acima da média marcam maio de 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/eventos-extremos-chuva-acima-da-m%C3%A9dia-marcam-maio-de-2024>. Acesso em: 19 maio 2025.

IMIRANTE. Maranhão chega a dez cidades em emergência por causa da cheia dos rios. Disponível em: <https://imirante.com/noticias/maranhao/2024/03/29/maranhao-chega-a-dez-cidades-em-situacao-de-emergencia-por-causa-da-cheia-dosrios>. Acesso em: 19 mai. 2025.

LINO, Ismael; LEMOS, Jeiciely. **Drenagem urbana: desafios e atualidade: estudo de caso em Anápolis-GO.** 2021. UNIEVANGÉLICA, Anápolis, 2021. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/18965/1/Ismael%20do%20Nascimento%20Lino%20&%20Jeiciely%20Maria%20Lemos.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2025.

LIMA, Gabriel Henrique Arruda Tavares de. **Dimensionamento do sistema de drenagem pluvial para o loteamento Santa Bárbara em Centralina-MG.** 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/26152/4/DimensionamentoSistemaDrenagem.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2024.

MIRANDA, Ricardo Augusto Calheiros de; OLIVEIRA, Marcus Vinicius Siqueira de; SILVA, Danielle Ferreira da. **Ciclo hidrológico planetário: abordagens e conceitos.** 2010. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/geouerj/article/view/1461>. Acesso em: 01 mai. 2025.

NAGHETTINI, Mauro. **Introdução à hidrologia aplicada.** Belo Horizonte: [s.n.], 2012. Disponível: https://www.researchgate.net/profile/Mauro-Naghettini/publication/306959699_Introducao_a_Hidrologia_APLICADA_ApostilaSebentaDraft/links/57c08ab808aeb95224d4a362/Introducao-a-Hidrologia-APLICADA-Apostila-Sebenta-Draft.pdf. Acesso em: 01 mai. 2025.

OLIVEIRA, Heriqui Medeiros de et al. **Drenagem urbana—estudo de caso do Residencial Itamaracá.** 2022. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/1483/1/tcc_Heriqui%20Medeiros%20de%20Oliveira.pdf. Acesso em: 27 abr. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BACABAL. **Dados do município.** Disponível em: <https://www.bacabal.ma.gov.br/dados-do-municipio>. Acesso em: 12 ago. 2024.

PREFEITURA DE BACABAL. **Vereadores e prefeito de Bacabal promovem visita ao Rio Mearim visando ações de prevenção em caso de cheia.** Disponível em: <https://cmbacabal.ma.gov.br/vereadores-e-prefeito-de-bacabal-promovem-visita-ao-rio-mearim-visando-acoes-de-prevencao-em-caso-de-cheia>. Acesso em: 19 mai. 2025.

POMPÊO, A. C. **Drenagem urbana sustentável. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), v. 5, n. 1, p. 15-23, jan./mar. 2000.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

QUINTELA, A. C. **Hidráulica aplicada. Parte I - Hidrologia e Recursos Hídricos. Instituto Superior Técnico.** Lisboa, 1992. Disponível em: http://www.civil.ist.utl.pt/~mps/HRH/2018_2019/ACQ_HRH_1996.pdf. Acesso em: 01 mai. 2025.

ROSA, Andressa Ferreira. **Os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico no município de Patrocínio – MG.** 2016. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/17676>. Acesso em: 17 mai. 2025.

SÃO PAULO (Município). **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana.** São Paulo: Secretaria Municipal de

Desenvolvimento Urbano, 2012. Disponível em:
https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivos/manual-drenagem_v3.pdf. Acesso em: 26 maio 2025.

TUCCI, Carlos E. M. **Águas urbanas**. Porto Alegre: ABRH, 2008. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/ea/a/SfqYWrrtvkxybFsjYQtx7v/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 29 abr. 2024.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Porto Alegre: UFRGS, 2005.
Disponível em:
https://www.ufrgs.br/carlosetucci/artigos/Tucci_Gestao_Aguas_Pluviais_2005.pdf. Acesso em: 17 mai. 2025.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2001.
Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=4&LIVRO=102>.
Acesso em: 16 maio 2025.

WEATHER SPARK. **Clima e condições meteorológicas médias em Bacabal no ano todo**.
Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30541/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Bacabal-Maranh%C3%A3o-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 12 ago. 2024.