



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO**  
**CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA (DETEC)**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CARLOS DANIEL DO NASCIMENTO RAMALHO**

**MODELAGEM DE DADOS GEOESPACIAIS APLICADA À HIDROLOGIA COM**  
**USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) EM MAURITI -CE**

**PAU DOS FERROS**

**2024**

**CARLOS DANIEL DO NASCIMENTO RAMALHO**

**MODELAGEM DE DADOS GEOESPACIAIS APLICADA À  
HIDROLOGIA COM USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO  
TRIPULADO (VANT) EM MAURITI -CE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Graduação em Engenharia Civil  
do Centro multidisciplinar de Pau dos Ferros  
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido,  
como requisito parcial à obtenção do grau de  
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Wesley de Oliveira  
Santos - UFERSA

**PAU DOS FERROS**

**2024**

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

R166m RAMALHO, CARLOS DANIEL DO NASCIMENTO.  
MODELAGEM DE DADOS GEOESPACIAIS APLICADA À  
HIDROLOGIA COM USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO  
(VANT) EM MAURITI -CE / CARLOS DANIEL DO  
NASCIMENTO RAMALHO. - 2024.  
53 f. : il.

Orientador: Wesley de Oliveira Santos.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de --Selecione um  
Curso ou Programa--, 2024.

1. Civil 3D. 2. VANT. 3. Drenagem urbana. 4.  
Sensoriamento remoto. 5. Análise de dados  
hidrológicos. I. Santos, Wesley de Oliveira,  
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade  
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Biblioteca Campus Pau dos Ferros  
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva  
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

**CARLOS DANIEL DO NASCIMENTO RAMALHO**

**MODELAGEM DE DADOS GEOESPACIAIS APLICADA À HIDROLOGIA COM  
USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) EM MAURITI - CE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Graduação em Engenharia Civil  
do Centro multidisciplinar de Pau dos Ferros  
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido,  
como requisito parcial à obtenção do grau de  
bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 17/04/24

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **WESLEY DE OLIVEIRA SANTOS**  
Data: 19/04/2024 22:14:54-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Wesley de Oliveira Santos (Orientador)**  
**UFERSA**

Documento assinado digitalmente  
 **LEONARDO HENRIQUE BORGES DE OLIVEIRA**  
Data: 22/04/2024 09:09:53-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Leonardo Henrique Borges de Oliveira**  
**UFERSA**  
**1º Examinador**

Documento assinado digitalmente  
 **MICHAELLY FERNANDES DE LIRA**  
Data: 22/04/2024 12:39:26-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Bel. Michaelly Fernandes de Lira**  
**UFERSA**  
**2º Examinadora**



Dedico esse trabalho à minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

A realização desta jornada seria inalcançável sem o apoio inestimável dos meus familiares, cuja presença nos momentos mais desafiadores foi fundamental. Agradeço profundamente pelo incentivo, pelos conselhos e pela força que me deram para perseverar. Em particular, expresso minha gratidão àquela que tornou todo esse caminho possível: minha mãe, Josenilda Joana do Nascimento. Ela tem sido minha rocha constante, minha fonte de inspiração e apoio, sempre acreditando em mim incondicionalmente.

Aos meus irmãos Ailton Thalís do Nascimento Ramalho e Débora do Nascimento Ramalho, por sempre me motivarem nessa jornada, me incentivando sempre a prosseguir com resiliência, foram pilares durante essa jornada.

A minha avó, Maria Iraides Pereira por todas as orações e por servir de exemplo de superação em momentos difíceis da minha vida e ter me apoiado em todas as decisões, estará sempre no meu coração.

Agradeço imensamente aos meus tios, tias e primos, com destaque para Carlos Daniel do Pereira Ramalho, Ednacélia Pereira Ramalho, Adelaide Pereira Ramalho e Lavoisier Pereira de Moraes, pelo apoio inabalável, pelos valiosos conselhos e por todo o suporte oferecido ao longo dos anos durante minha jornada universitária.

Agradeço aos meus amigos, Artálio Barbosa Furtado, Maria Edneide Ferreira de Carvalho, amigos da residência universitária e da empresa por todo apoio, encorajamento e palavras de incentivo, momentos de descontração e por estarem ao meu lado, tanto nos momentos desafiadores quanto nos momentos de celebração.

Ao meu orientador Wesley de Oliveira Santos, pela sua orientação, todo o apoio e atenção dedicados, foram imprescindíveis para a conclusão deste trabalho. Gratidão, também, a todos os professores que contribuíram com minha pesquisa e projeto como um todo e aos que agregaram conhecimento nessa trajetória importante da educação e pela formação moral que tive.

A todos os amigos da universidade e fora dela, que não foram mencionados aqui devido a quantidade, mas que estiveram presentes nesse desafio, que se tornaram grandes parceiros de vida, me ajudaram a me tornar um profissional melhor e que representam uma segunda família. Por todos os momentos de união, companheirismo e aprendizagem que passamos, o meu muito obrigado.

## EPÍGRAFE

“Você não vai acreditar, mas você cabia aqui. Eu segurava você e dizia pra sua mãe: Esse menino vai ser o melhor menino do mundo, esse menino vai ser melhor do que qualquer um que conhecemos e você cresceu bom, maravilhoso, foi muito legal ver você crescer, foi um privilégio, aí chegou a hora de você ser adulto e conquistar o mundo, e conquistou, mas em algum ponto desse percurso, você mudou você deixou de ser você, agora deixa as pessoas botarem o dedo na sua cara e dizerem que você não é bom e quando fica difícil, você procura alguma coisa pra culpar, como uma sombra. Eu vou dizer uma coisa que você já sabe: O mundo não é um grande arco-íris, é um lugar sujo, é um lugar cruel, que não quer saber o quanto você é durão, vai botar você de joelhos e você vai ficar de joelhos para sempre se você deixar. Você, eu, ninguém vai bater tão duro como a vida. Mas não se trata de bater duro, se trata de quanto você aguenta apanhar e seguir em frente, o quanto você é capaz de aguentar e continuar tentando, é assim que se consegue vencer, agora se você sabe o seu valor então vá atrás do que você merece, mas tem que ter disposição para apanhar e nada de apontar dedos, dizer que você não consegue por causa dele ou dela, ou de quem seja, só covardes fazem isso e você não é covarde, você é melhor do que isso. ”

(Cena do filme Rocky Balboa (2006).)

## RESUMO

A drenagem urbana é um componente vital do planejamento urbano e na constituição de uma infraestrutura eficiente de uma cidade. O dimensionamento de um sistema de drenagem, é um pilar que certifica garantir o controle adequado das águas pluviais e do escoamento de águas superficiais, a imprecisão neste sistema pode provocar impactos negativos como, inundações, danos a infraestrutura, poluição das águas, problemas de saúde pública, impacto econômico, deslizamentos de terra, dentre outros problemas.

Este trabalho contempla a análise da eficácia da utilização de dados geoespaciais para a modelagem hidrológica, dados derivados de sensoriamento remoto aéreo coletados por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), aplicadas no bairro Aconchego, na cidade de Mauriti-CE. A pesquisa aborda a importância da precisão dos dados geoespaciais na modelagem hidrológica, avaliando a qualidade e acurácia das duas fontes. A partir da análise dos Modelos Digitais de Elevação (MDE), foi permitindo uma compreensão mais profunda da área analisada, modelagem precisa do comportamento da água, além do desenvolvimento de um projeto geométrico consolidado com a utilização do Civil 3D, como medida de mitigação e prevenção.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto. Civil 3D. Análise de dados hidrológicos. VANT. Drenagem urbana.

## **ABSTRACT**

Urban drainage is a vital component of urban planning and the creation of an efficient city infrastructure. The design of a drainage system is a pillar that ensures adequate control of rainwater and surface water runoff. Inaccuracy in this system can cause negative impacts such as floods, damage to infrastructure, water pollution, health problems public health, economic impact, landslides, among other problems.

This work includes analyzing the effectiveness of using geospatial data for hydrological modeling, data derived from aerial remote sensing collected by Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), applied in the Aconchego neighborhood, in the city of Mauriti-CE. The research addresses the importance of precision in geospatial data in hydrological modeling, evaluating the quality and accuracy of both sources. From the analysis of Digital Elevation Models (DEM), it allowed a deeper understanding of the analyzed area, precise modeling of water behavior, in addition to the development of a consolidated geometric project with the use of Civil 3D, as a mitigation measure and prevention.

**Keywords:** Remote sensing. Civil 3D. Analysis of hydrological data. VANT. Urban drainage.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Localização da área de estudo, bairro Aconchego, Mauriti-CE. . . . .                                | 17 |
| Figura 2 – Mapa de Localização da Sub-Bacia Hidrográfica do Salgado. . . . .                                   | 19 |
| Figura 3 – Mapas de classificação climática de Thornthwaite e Köppen para o estado do Ceará. . . . .           | 20 |
| Figura 4 – Dados Pluviométricos, serie histórica das 10 maiores precipitações na cidade de Mauriti-CE. . . . . | 21 |
| Figura 5 – Meio fio de concreto. . . . .                                                                       | 23 |
| Figura 6 – Meio fio de concreto com sarjeta. . . . .                                                           | 23 |
| Figura 7 – Bocas de lobo. . . . .                                                                              | 24 |
| Figura 8 – Poço de visita. . . . .                                                                             | 25 |
| Figura 9 – Ramal de ligação. . . . .                                                                           | 26 |
| Figura 10 – Dissipador de energia adaptáveis às descidas d'água. . . . .                                       | 26 |
| Figura 11 – Fluxograma metodológico do levantamento e processamento sistemático dos dados. . . . .             | 28 |
| Figura 12 – Phantom 4: VANT utilizado na aquisição das aerofotografias. . . . .                                | 30 |
| Figura 13 – Planejamento dos planos de voo. . . . .                                                            | 31 |
| Figura 14 – Planejamento dos planos no site Drone Deploy. . . . .                                              | 32 |
| Figura 15 – Dimensionamento de rede de microdrenagem no civil 3D. . . . .                                      | 37 |
| Figura 16 – Inundações situada no encontro entre as ruas Augusto Leite e Rua Henrique Alencar. . . . .         | 38 |
| Figura 17 – Alagamento na Rua João Alexandre Ramalho. . . . .                                                  | 38 |
| Figura 18 – Análise de curvas de níveis. . . . .                                                               | 39 |
| Figura 19 – Ortofotomosaico da área analisada. . . . .                                                         | 40 |
| Figura 20 – MDS . . . . .                                                                                      | 41 |
| Figura 21 – Processamento do MDT no recorte espacial. . . . .                                                  | 42 |
| Figura 22 – Comprimento crítico. . . . .                                                                       | 43 |
| Figura 23 – Traçando a rede de drenagem no software Civil 3D. . . . .                                          | 44 |
| Figura 24 – Verificação de bocas de lobo no Civil 3D. . . . .                                                  | 45 |
| Figura 25 – Verificação de bocas de lobo no Civil 3D. . . . .                                                  | 47 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Dados de entrada - Plano de voo da área de estudo . . . . .                                                                                                                   | 31 |
| Tabela 2 – Dados pluviométricos da série histórica de 1974 a 2023 de Mauriti-CE                                                                                                          | 33 |
| Tabela 3 – Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva. . . .                                                                                                         | 34 |
| Tabela 4 – Valores de intensidade pluviométrica máxima (mm/h) para diferentes<br>períodos de retorno, conforme a distribuição de probabilidade de Gumbel.                                | 35 |
| Tabela 5 – Valores de intensidade pluviométrica máxima (mm/h) para diferentes<br>períodos de retorno, conforme a equação de intensidade, duração e<br>frequência de chuva (IDF). . . . . | 35 |
| Tabela 6 – Parâmetros da equação IDF. . . . .                                                                                                                                            | 36 |
| Tabela 7 – Dados para o cálculo do comprimento crítico. . . . .                                                                                                                          | 43 |
| Tabela 8 – Tabela de tubos da rede de microdrenagem . . . . .                                                                                                                            | 46 |
| Tabela 9 – Tabela de estruturas da rede de microdrenagem . . . . .                                                                                                                       | 48 |

## SUMÁRIO

|       |                                                                     |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | INTRODUÇÃO . . . . .                                                | 13 |
| 2     | OBJETIVOS . . . . .                                                 | 15 |
| 2.0.1 | <i>Objetivo geral</i> . . . . .                                     | 15 |
| 2.0.2 | <i>Objetivos específicos</i> . . . . .                              | 15 |
| 3     | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO . . . . .                          | 16 |
| 3.1   | Localização da área de estudo . . . . .                             | 17 |
| 3.2   | Aspectos fisiográficos . . . . .                                    | 18 |
| 3.3   | Contexto geomorfológico e pedológico . . . . .                      | 18 |
| 3.3.1 | <i>Caracterização hidrológica</i> . . . . .                         | 19 |
| 3.3.2 | <i>Aspectos climáticos</i> . . . . .                                | 20 |
| 3.4   | Drenagem Urbana . . . . .                                           | 21 |
| 3.5   | Elementos de microdrenagem Urbana . . . . .                         | 22 |
| 3.5.1 | <i>Meio fio</i> . . . . .                                           | 22 |
| 3.5.2 | <i>Sarjetas</i> . . . . .                                           | 23 |
| 3.5.3 | <i>Bocas de lobo</i> . . . . .                                      | 24 |
| 3.5.4 | <i>Poços de visita</i> . . . . .                                    | 24 |
| 3.5.5 | <i>Galerias</i> . . . . .                                           | 25 |
| 3.5.6 | <i>Conduitos forçados e estações de bombeamento</i> . . . . .       | 25 |
| 3.5.7 | <i>Ramais</i> . . . . .                                             | 25 |
| 3.5.8 | <i>Estruturas de lançamento e dissipadores de energia</i> . . . . . | 26 |
| 4     | METODOLOGIA . . . . .                                               | 28 |
| 4.1   | Levantamento Bibliográfico e Cartográfico . . . . .                 | 29 |
| 4.2   | Levantamento Aerofotogramétrico . . . . .                           | 29 |
| 4.3   | Dimensionamento da rede de microdrenagem . . . . .                  | 32 |
| 4.3.1 | <i>Obtenção dos dados pluviométricos</i> . . . . .                  | 32 |
| 5     | RESULTADOS . . . . .                                                | 37 |
| 5.1   | Análise da área . . . . .                                           | 37 |
| 5.2   | Processamento Digital de Imagens . . . . .                          | 39 |
| 5.3   | Sarjetas . . . . .                                                  | 42 |
| 5.4   | Dimensionamento do sistema de microdrenagem . . . . .               | 43 |



|              |                                                     |    |
|--------------|-----------------------------------------------------|----|
| <b>5.5</b>   | <b>Parâmetros de verificação</b> . . . . .          | 45 |
| <b>5.6</b>   | <b>Bocas de lobo</b> . . . . .                      | 45 |
| <b>5.6.1</b> | <i>Galerias</i> . . . . .                           | 46 |
| <b>5.6.2</b> | <i>Poços de visita</i> . . . . .                    | 47 |
| <b>5.7</b>   | <b>Sistema de microdrenagem</b> . . . . .           | 49 |
| <b>6</b>     | <b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b> . . . . .     | 50 |
|              | <b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .                        | 52 |
|              | <b>APÊNDICES</b> . . . . .                          | 53 |
|              | <b>ANEXOS</b> . . . . .                             | 53 |
|              | <b>ANEXO A – Projeto de microdrenagem</b> . . . . . | 53 |

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Carlos E. M. Tucci, a gestão da drenagem urbana envolve o manejo do escoamento no tempo e no espaço, visando a minimizar danos à sociedade e ao ambiente. A visão moderna da gestão desenvolve a integração dos recursos hídricos na bacia hidrográfica e das águas urbanas (TUCCI, 2012).

De acordo com Tucci, os principais problemas relacionados ao uso do solo que resultam em impactos diretos sobre os recursos hídricos podem ser resumidos nos seguintes pontos:

- A expansão irregular sobre as áreas de mananciais de abastecimento humano, comprometendo a sustentabilidade hídrica das cidades.
- A população de baixa renda tende a ocupar as áreas de risco de encostas e de áreas de inundações ribeirinhas, devido à falta de planejamento e fiscalização.
- Aumento da densidade habitacional, com consequente aumento da demanda de água e do aumento da carga de poluentes sem tratamento de esgoto, lançados nos rios próximos às cidades.
- O planejamento urbano tem levado a uma excessiva impermeabilização das áreas públicas, canalização dos rios urbanos que, posteriormente, são ainda cobertos por concretos e avenidas, produzindo inundações em diferentes locais da drenagem.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012), em 1950, a proporção de pessoas que viviam nas áreas urbanas representava apenas 36,16% da população. Entretanto, em 2010, esse número deu um salto significativo, alcançando 84,36%. Além disso, é importante notar o aumento da densidade demográfica, que subiu de 6,1 para 22,43 habitantes por quilômetro quadrado. Esse aumento tende a agravar ainda mais as questões relacionadas à ocupação do espaço urbano no Brasil (IBGE, 2012).

A política existente de desenvolvimento e controle dos impactos quantitativos na drenagem se baseia no conceito de escoar a água precipitada o mais rápido possível. Este princípio foi abandonado nos países desenvolvidos no início da década de 1970 (URBONAS; STAHR, 1993). A consequência imediata dos projetos baseados neste conceito é o aumento das inundações a jusante devido à canalização. Na medida em que a precipitação ocorre, e a água não é infiltrada, este aumento de volume, escoar pelos condutos. Para transportar todo esse volume, é necessário ampliar a capacidade de condutos e canais ao longo de todo o seu trajeto dentro da cidade até um local onde o seu efeito de ampliação

não atinge a população (TUCCI, 2000).

## **2 OBJETIVOS**

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo realizar uma análise hidrológica e dimensionamento de um sistema de microdrenagem utilizando o software Civil 3D e dados de sensoriamento remoto aéreo. Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) são uma tecnologia emergente e promissora.

### **2.0.1 *Objetivo geral***

Análise hidrológica e dimensionamento de sistema de microdrenagem utilizando o software Civil 3D e dados de sensoriamento remoto aéreo.

### **2.0.2 *Objetivos específicos***

- Avaliar a validade e precisão das fontes de dados geoespaciais, especialmente os dados obtidos por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), na representação do comportamento hidrológico sob diferentes cenários;
- Processamento de dados como o ortofotomosaico, MDE e MDT.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo, será especificado a delimitação da área de estudo e as caracterizações essenciais visando à compreensão do estado atual do Bairro Aconchego, na cidade de Mauriti-CE, bem como à manifestação de alagamentos, correlatos ao processo de urbanização. Em particular, nosso foco recai no dimensionamento da infraestrutura de microdrenagem urbana, cuja análise e planejamento serão executados em softwares como o *Civil 3D* da Autodesk, *QGIS* e *Agisoft Metashape*. Com o propósito de adquirir uma compreensão aprofundada deste tema, torna-se imperativo abarcar uma gama de fatores, a saber, aspectos geológicos, geomorfológicos, climatológicos e hidrográficos na área de estudo, a fim de proporcionar um enquadramento à problemática em análise.

O dimensionamento do sistema de microdrenagem urbana assume um papel crucial na gestão das águas pluviais em contextos urbanos, particularmente em regiões com crescimento populacional acelerado, como é o caso de Mauriti. Este processo implica na análise minuciosa dos padrões de precipitação pluviométrica, na caracterização do escoamento de águas pluviais, na avaliação detalhada da topografia da região e no exame da infraestrutura existente no ambiente urbano. A utilização do software *Civil 3D* oferece uma abordagem técnica de elevada precisão e eficiência para a concepção e cálculo de sistemas de microdrenagem urbana, contribuindo substancialmente para a atenuação de eventos alagáveis e para a promoção de um desenvolvimento urbano sustentável.

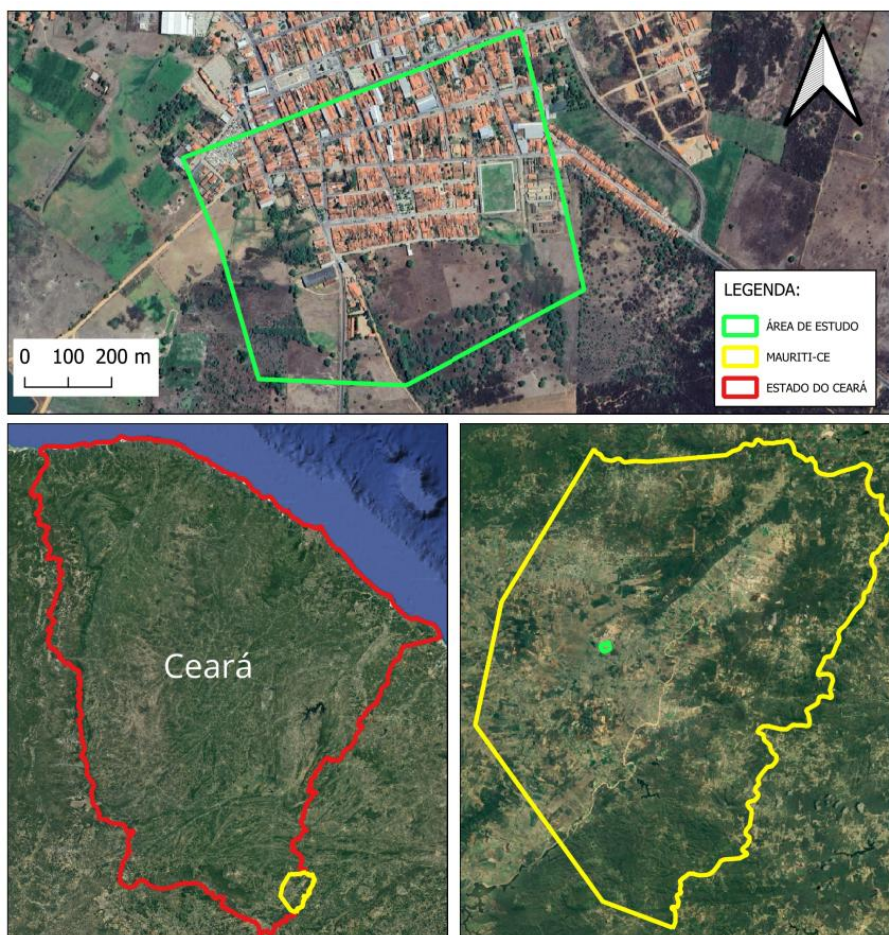
No transcorrer deste capítulo, procederemos com uma análise detalhada do contexto geográfico e ambiental da região, englobando a análise da influência dos parâmetros geológicos no sistema de microdrenagem, a exploração da morfologia local com vistas a compreender a dinâmica do relevo e seu impacto no fluxo das águas, a consideração dos padrões climatológicos influenciando o regime de precipitações na localidade e, por fim, a avaliação criteriosa dos elementos hidrográficos que contribuem para a complexidade do desafio da microdrenagem urbana em Mauriti.

Assim sendo, este capítulo tem por propósito, estabelecer um alicerce sólido para a compreensão da problemática associada ao crescimento urbano da cidade e à ocorrência de eventos alagáveis, bem como para a apresentação de soluções por intermédio do dimensionamento da infraestrutura de microdrenagem urbana, fazendo uso do software *Civil 3D*.

### 3.1 Localização da área de estudo

Mauriti, localiza-se a 406km de Fortaleza-CE em linha reta, tendo como principal via de acesso a BR 116. Ela possui uma população de 45.561 habitantes com uma densidade de 42,22 hab/km<sup>2</sup> e apresenta uma área territorial de 1079,011 km<sup>2</sup>, contendo uma área urbana de 9,44 km<sup>2</sup> (IBGE,2022).

Figura 1 – Localização da área de estudo, bairro Aconchego, Mauriti-CE.



Fonte: Autor.

No contexto abordado, a delimitação espacial da área de estudo, abrangendo 2,8 km<sup>2</sup>, corresponde à porção do bairro Aconchego da cidade de Mauriti. Nessa região, situam-se um dos maiores desafios relacionados ao urbanismo da cidade. A impermeabilização do solo resultante da pavimentação, decorrente do processo de urbanização, impede a adequada absorção da água pluvial, promovendo o aumento do escoamento superficial. Esse fenômeno culmina em picos elevados de vazão, ocasionando frequentes eventos de inundação no bairro que, por sua vez, acarretam potenciais danos ambientais, sociais e econômicos à população. Nesse contexto, torna-se evidente a necessidade de assegurar

um manejo apropriado do fluxo hídrico por meio do sistema de microdrenagem urbana. É digno de nota que, apesar de sua relevância como componente crucial do saneamento, a drenagem urbana ainda não recebe a devida atenção que merece.

### **3.2 Aspectos fisiográficos**

De acordo com Siqueira e Henry, os fatores fisiográficos estão vinculados às características de três elementos fundamentais: recursos hídricos, relevo e vegetação. No que diz respeito à caracterização fisiográfica, sua relevância decorre do papel desempenhado nos procedimentos de apoio às análises ambientais, estabelecendo uma estrutura que engloba levantamento, análise e síntese dos compartimentos ambientais em uma área de estudo específica (SIQUEIRA; HENRY-SILVA, 2011).

Os estudos geomorfológicos abordam diferentes níveis de análise, proporcionando uma compreensão abrangente do relevo. Destaca-se a importância da abordagem integrada desses níveis para a compreensão do relevo, seguindo os parâmetros fundamentais para a elaboração de uma carta geomorfológica, conforme estabelecido por Tricart (1967).

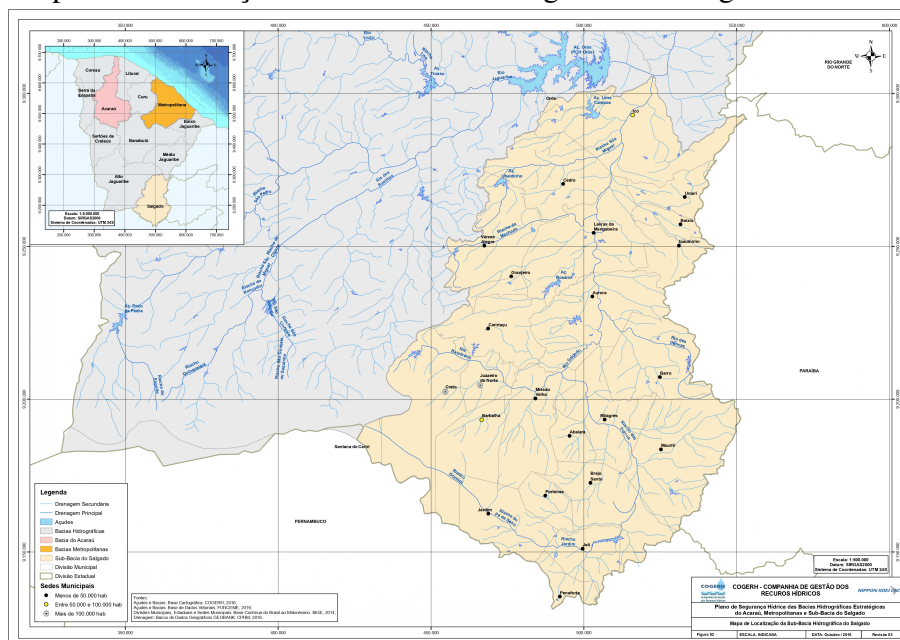
### **3.3 Contexto geomorfológico e pedológico**

Depressão do Cariri, posicionada em cotas entre 330 e 450 metros, sendo bem mais extensa que as anteriores. Consiste numa depressão em amplo anfiteatro com relevo aplainado, bordejada pelos flancos norte e leste da chapada do Araripe, como já mencionado anteriormente. Estes terrenos estão sustentados por arenitos, siltitos, argilitos e calcários de idade jurássica da bacia do Araripe, representada pelas formações Brejo Santo e Missão Velha. Esta depressão representa um brejo de encosta onde se situa o núcleo metropolitano de Crato, Barbalha e Juazeiro do Norte. Ocorre um predomínio de solos profundos e pouco profundos, de boa fertilidade natural, que apresentam gradientes texturais (Argissolos Vermelhos eutróficos) associados a solos com gradientes abruptos e de argila de atividade alta, sendo mais suscetíveis à erosão que o anterior (Luvissolos Crômicos) (IBGE-EMBRAPA, 2001). Outros núcleos urbanos de expressão localizados na Depressão do Cariri são Missão Velha, Milagres, Mauriti e Brejo Santo.

### 3.3.1 Caracterização hidrológica

O município de Mauriti está inserido na bacia hidrográfica do rio Salgado, uma sub-região do rio Jaguaribe, encontra-se situada na região meridional do estado do Ceará. A Sub-Bacia Hidrográfica do Salgado abrange uma área de 12.636 km<sup>2</sup> (conforme calculado através da Base Cartográfica da COGERH (2016), ou cerca de 8,5% da área do Estado. Na sub-bacia estão inseridos 24 municípios, sendo 15 totalmente contidos e nove parcialmente. Destes municípios, apenas o município de Orós não faz parte oficialmente da sub-bacia (CEARÁ, 2021).

Figura 2 – Mapa de Localização da Sub-Bacia Hidrográfica do Salgado.



Fonte: (CEARÁ, 2021).

A Sub-Bacia Hidrográfica do Salgado está situada na região sudeste do Estado do Ceará, com fronteiras ao sul no estado de Pernambuco, ao norte nas Bacias Hidrográficas do Alto e Médio Jaguaribe, a oeste na Bacia Hidrográfica do Alto Jaguaribe, e a leste no estado da Paraíba, como indicado na Figura 2.

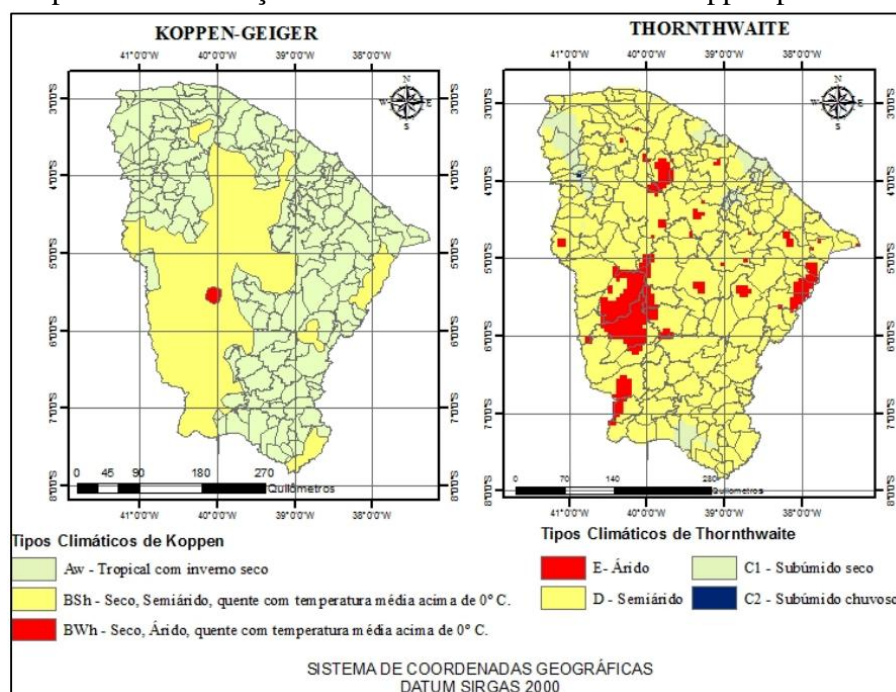
A mencionada bacia hidrográfica ostenta a presença de diversos reservatórios, conhecidos como açudes, cuja capacidade de acumulação superficial atinge aproximadamente 450 milhões de metros cúbicos. A existência desses açudes tem como resultado a perenização de vários leitos dos afluentes do rio Salgado, destacando-se como uma infraestrutura fundamental para o manejo hidráulico da região (MOURA-FÉ *et al.*, 2023).



### 3.3.2 Aspectos climáticos

Conforme relata Muniz(2017) a classificação climática de Köppen identificou três tipos de clima para o estado do Ceará, Aw, BSh e BWh, como pode ser verificado na figura 3. O clima Tropical com Inverno Seco (Aw) é predominante no estado e está presente em aproximadamente 63,7% do território cearense, esse clima foi percebido em toda a faixa litorânea e também em grande parte região sul e leste do estado.

Figura 3 – Mapas de classificação climática de Thornthwaite e Köppen para o estado do Ceará.



Fonte: (MUNIZ *et al.*, 2017).

Ainda segundo Muniz(2017), com relação à classificação de Thornthwaite o estudo apontou quatro tipos climáticos, conforme apresentado na figura 3, apresentando regiões Áridas (E) até regiões com climas subúmidos chuvosos (C2). O clima com maior predominância no Ceará é o Semiárido (D), presente em diversas regiões do estado e ocupando aproximadamente 85% do território. Em seguida percebe-se o clima árido, presente em 8% do estado, seguidos pelo clima subúmido seco (C1), 5,68%, e em menor proporção o clima subúmido chuvoso (C2) com 0,04% de representatividade.

Figura 4 – Dados Pluviométricos, serie histórica das 10 maiores precipitações na cidade de Mauriti-CE.



Fonte: ((FUNCEME), 2016).

Os registros pluviométricos constituem uma ferramenta fundamental para a compreensão dos padrões climáticos regionais. A Figura 4, mostra a série histórica das 10 maiores precipitações na cidade de Mauriti, localizada no estado do Ceará, revela informações de relevância significativa acerca da variabilidade das chuvas nessa localidade. Por meio dessa análise, é possível discernir padrões sazonais e tendências de longo prazo, o que contribui de maneira substancial para o embasamento de estratégias voltadas ao planejamento urbano, à gestão eficiente dos recursos hídricos e à adaptação diante das mudanças climáticas. Não obstante, tal série histórica não se limita ao mero registro de eventos climáticos extremos, mas também se configura como uma ferramenta essencial para a avaliação da vulnerabilidade da cidade frente a inundações e demais impactos correlatos ao clima, subsidiando, assim, a formulação de políticas públicas direcionadas à mitigação e preparação para situações adversas relacionadas ao clima.

### 3.4 Drenagem Urbana

Segundo Villanueva (2011), o crescimento e expansão das áreas urbanas inevitavelmente acarretam impactos significativos no meio ambiente circundante. Um dos principais desafios associados a esse desenvolvimento é a gestão inadequada do escoamento das águas pluviais. A urbanização modifica drasticamente os padrões naturais de escoamento na bacia hidrográfica, resultando no aumento do volume de águas pluviais que escoam superficialmente, elevação das vazões máximas dos corpos d'água, deterioração da qualidade da água, acúmulo de sedimentos, entre outros problemas preocupantes (VILLANUEVA *et*

*al.*, 2011).

Ainda segundo Villanueva (2011), entre os fatores que influenciam o desenvolvimento urbano, os desafios relacionados ao escoamento das águas pluviais destacam-se como preocupações proeminentes. É amplamente reconhecido que o processo de urbanização exerce uma significativa modificação nos padrões naturais de escoamento da bacia hidrográfica, resultando no aumento do volume de águas pluviais escoadas superficialmente, no incremento das vazões máximas dos corpos d'água, na redução da recarga subterrânea, na deterioração da qualidade da água, na deposição de sedimentos, entre outras consequências.

No contexto da drenagem urbana, a perspectiva de adaptar a infraestrutura para os futuros cenários climáticos representa um desafio significativo. Esse desafio não apenas se deve às características urbanísticas e geográficas específicas da cidade de Mauriti, mas também à dificuldade enfrentada pela gestão municipal em lidar com os problemas atuais de drenagem. Apesar desse contexto desafiador, os escassos instrumentos de gestão disponíveis, que abordam a questão das mudanças climáticas, enumeram algumas medidas consideradas adaptativas para a drenagem urbana na cidade.

### **3.5 Elementos de microdrenagem Urbana**

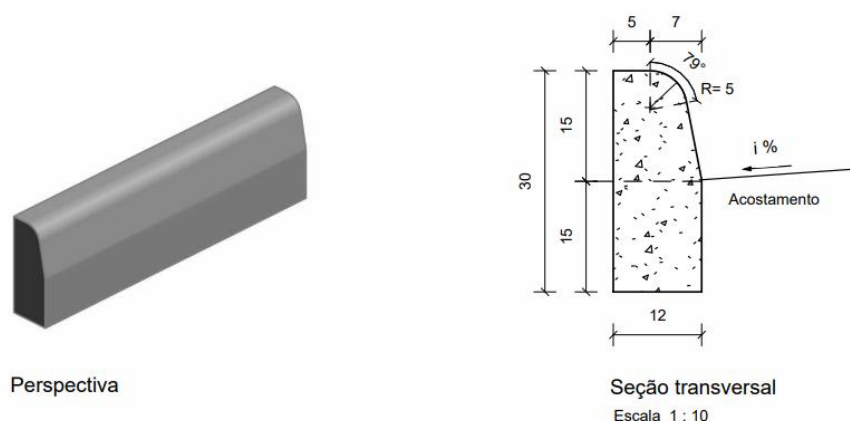
Segundo Neto (2009), os principais componentes da microdrenagem incluem meios-fios, sarjetas, bocas-de-lobo, poços de visita, galerias, condutos forçados, estações de bombeamento e sarjetões.

#### **3.5.1 Meio fio**

O meio-fio é uma estrutura pré-fabricada em concreto, cuja finalidade primordial é estabelecer a delimitação entre a área de circulação veicular e a área destinada ao tráfego de pedestres. A sua concepção e instalação requerem um planejamento meticuloso, devendo ser cuidadosamente projetados e assentados sobre a estrutura subjacente do pavimento. Na Figura 5, é possível identificar claramente a presença e a disposição do meio-fio.

São constituídos de blocos de concreto ou de pedra, situados entre a via pública e o passeio, com sua face superior nivelada com o passeio, formando uma faixa paralela ao eixo da via pública. (NETO, 2024)

Figura 5 – Meio fio de concreto.

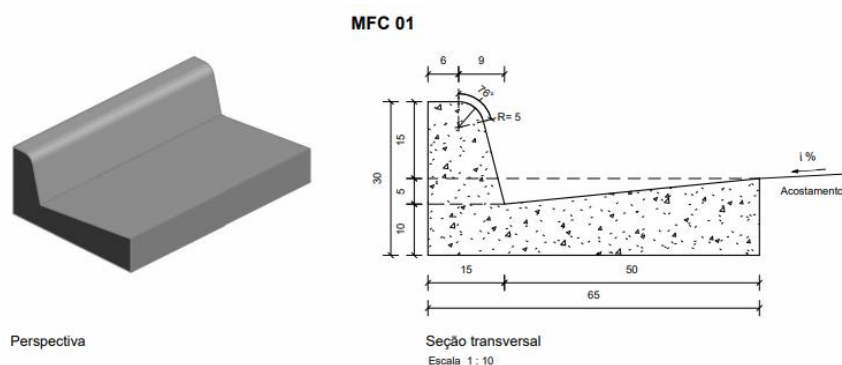


Fonte: DNIT (2018).

### 3.5.2 Sarjetas

As sarjetas integradas ao meio-fio são estruturas que se configuram como canais triangulares longitudinais, cuja finalidade é a captação e direcionamento das águas pluviais provenientes da superfície da via, calçada e áreas adjacentes para os sistemas de microdrenagem, em conjunto com as vias, desempenhando um papel fundamental como condutores. É imperativo que tais sarjetas sejam confeccionadas em concreto moldado in loco, conforme especificações técnicas pertinentes.

Figura 6 – Meio fio de concreto com sarjeta.



Fonte: DNIT (2018).

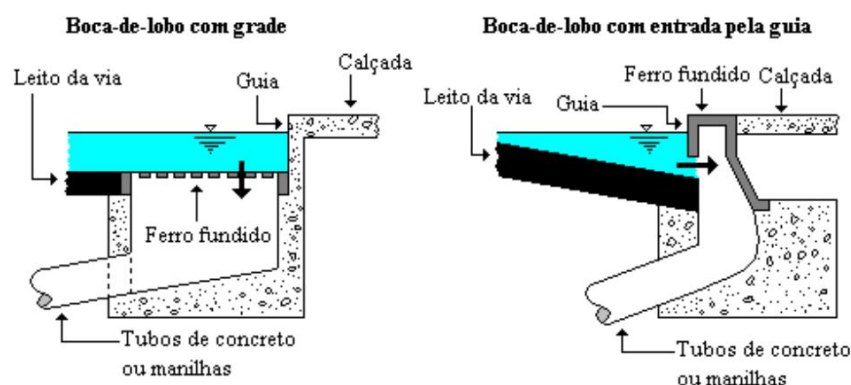
Segundo Neto (2009), as sarjetas são as faixas formadas pelo limite da via pública com os meio fios, formando uma calha que coleta as águas pluviais oriundas da rua. (NETO, 2024)

### 3.5.3 Bocas de lobo

As bocas de lobo são dispositivos estratégicos instalados nas vias urbanas dotadas de meio-fio e calçadas, concebidos com o propósito específico de coletar as águas pluviais provenientes do escoamento nas sarjetas e encaminhá-las para o sistema de microdrenagem urbana. É requisito fundamental que tais dispositivos sejam dimensionados e posicionados em conformidade com estudos hidráulicos que considerem criteriosamente a profundidade da lâmina d'água e a capacidade de escoamento das sarjetas, garantindo assim uma captação eficaz. Em termos construtivos, as bocas de lobo devem ser concebidas utilizando blocos de concreto maciços ou alvenaria revestida, sendo estrategicamente posicionadas junto ao meio-fio nos pontos previamente determinados por análise técnica. A representação de diversos modelos de bocas de lobo pode ser visualizada na Figura 7.

São dispositivos de captação das águas das sarjetas. (NETO, 2024)

Figura 7 – Bocas de lobo.

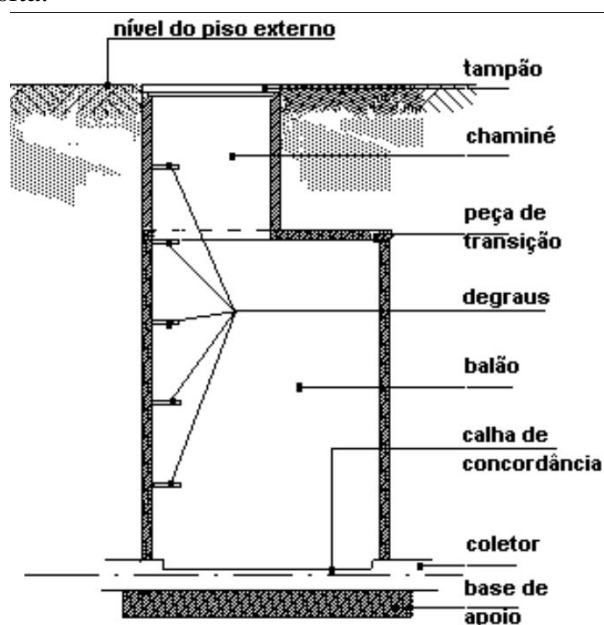


Fonte: DNIT (2018).

### 3.5.4 Poços de visita

Dessa forma, são dispositivos colocados em pontos convenientes do sistema, para permitir sua manutenção. (NETO, 2024)

Figura 8 – Poço de visita.



Fonte: (BOTELHO, 2009)

### 3.5.5 *Galerias*

São as canalizações públicas destinadas a escoar as águas pluviais oriundas das ligações privadas e das bocas de lobo. (NETO, 2024)

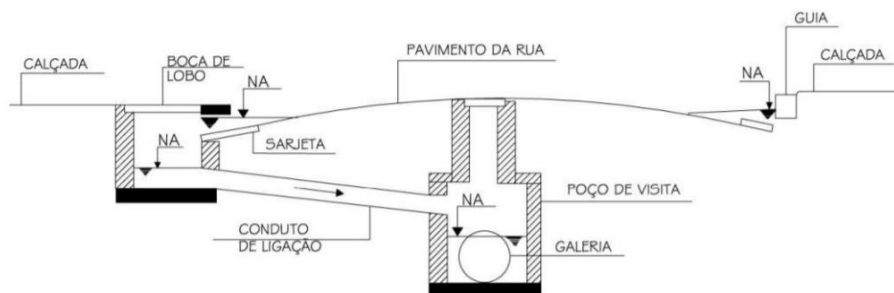
### 3.5.6 *Condutos forçados e estações de bombeamento*

Quando não há condições de escoamento por gravidade para a retirada da água de um canal de drenagem para um outro, recorre-se aos condutos forçados e às estações de bombeamento. (NETO, 2024)

### 3.5.7 *Ramais*

Os ramais constituem dispositivos estruturais destinados a conduzir o fluxo de água proveniente das bocas de lobo em direção aos coletores principais do sistema de microdrenagem urbana. Para garantir a eficiência operacional e facilitar as atividades de manutenção, é estabelecido um diâmetro mínimo de 40 cm para esses condutos.

Figura 9 – Ramal de ligação.



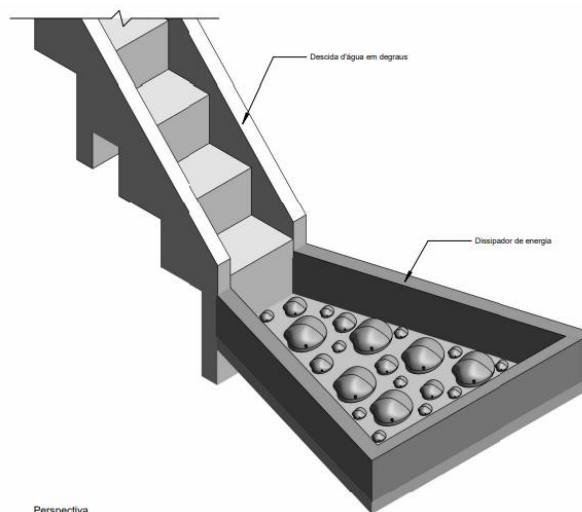
Fonte: (FALCÃO *et al.*, 2021)

É essencial que os ramais sejam dimensionados levando em consideração a capacidade de captação das bocas de lobo a que estão conectados, bem como as declividades mínimas e máximas necessárias para a correta execução da infraestrutura. Na Figura 9, o ramal é claramente identificado como elemento de ligação entre os diferentes componentes do sistema de microdrenagem.

### 3.5.8 Estruturas de lançamento e dissipadores de energia

As estruturas de lançamento e dissipadores de energia representam elementos cruciais empregados no processo de descarga das galerias de águas pluviais, visando mitigar o fenômeno da erosão localizada e reduzir a energia cinética do fluxo. Em locais onde o solo apresenta susceptibilidade ao processo erosivo, é imprescindível a instalação de dispositivos de dissipação de energia em todos os pontos de descarga das galerias pluviais.

Figura 10 – Dissipador de energia adaptáveis às descidas d'água.



Fonte: DNIT (2018)

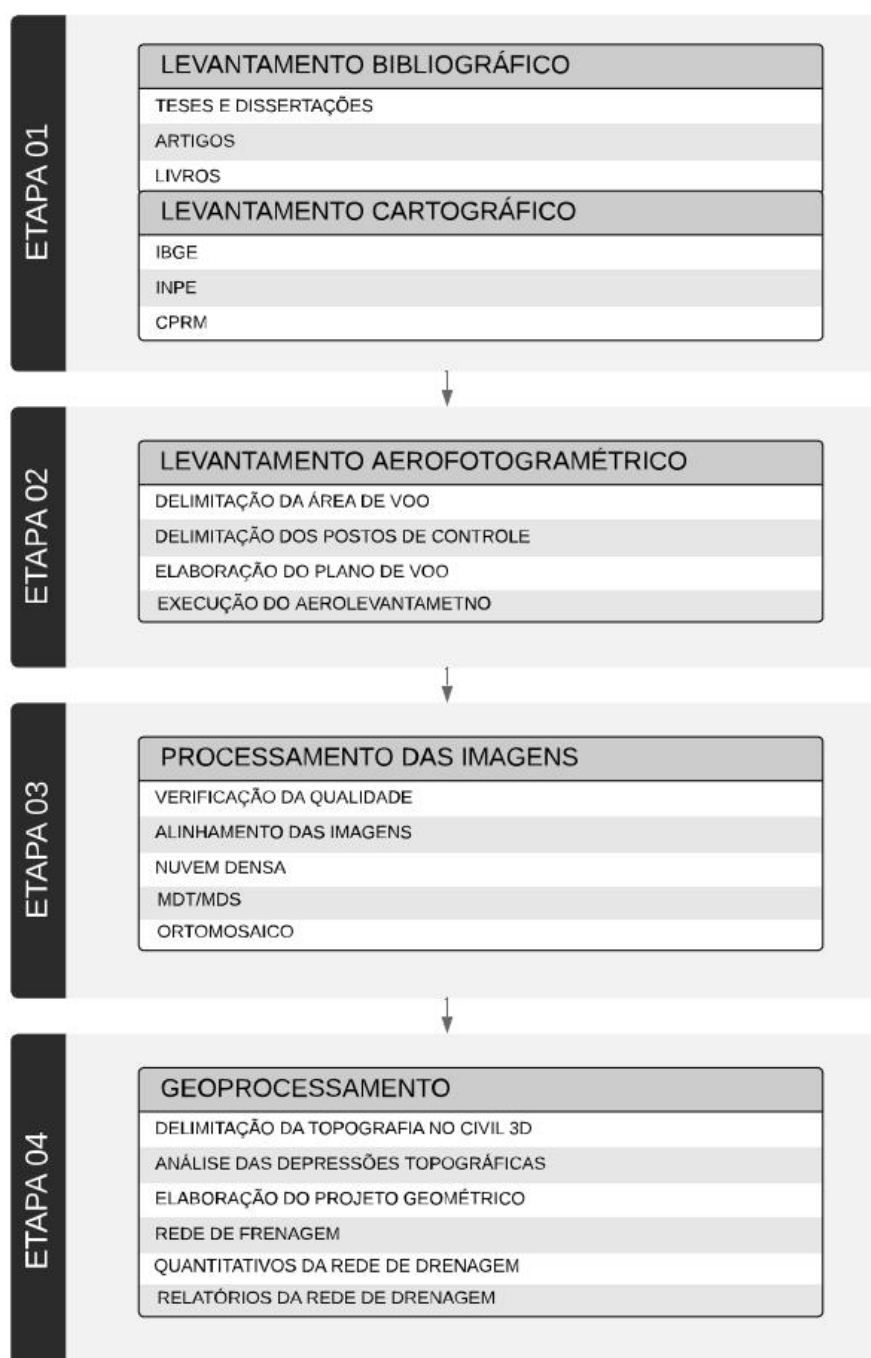
É fundamental evitar a existência de desníveis entre o último patamar dessas estruturas e o nível de água (N.A.) do corpo hídrico receptor, seja ele um córrego ou outra superfície receptora. A Figura 10, ilustra um exemplo prático dessas estruturas em funcionamento.



## 4 METODOLOGIA

A metodologia desta dissertação foi delineada mediante a utilização de equipamentos que facilitaram a coleta de dados, visitas presenciais e a utilização de ferramentas computacionais de geoprocessamento para analisar a problemática do alagamento na área de estudo. Consequentemente, a abordagem metodológica foi subdividida em quatro etapas, conforme demonstrado na Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma metodológico do levantamento e processamento sistemático dos dados.



Fonte: Autor próprio.

#### **4.1 Levantamento Bibliográfico e Cartográfico**

Durante a revisão bibliográfica, procedeu-se à análise de vários trabalhos de recentes produções técnico-científicas, sobre a temática de geoprocessamento, softwares de processamento, sistemas de microdrenagem, estudos hidrológicos, dentre outros. Esse levantamento proporcionou uma compreensão aprofundada da questão a ser tratada, enriquecendo a base teórica por meio de consulta a artigos científicos, teses, projetos, dissertações e livros. A busca abrangeu diversas bases de dados, incluindo a Biblioteca Digital de Teses e Dissertações, Periódicos Capes, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Google Acadêmico.

Para análise de estrutura geomorfológica, foram utilizadas bancos de dados como o Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil - TOPODATA, Earthdata Search - NASA e Veículos Aéreos Não Tripulados, essas bases serviram como estrutura para a elaborações dos estudos e projetos posteriores.

A construção dos mapas temáticos envolveu uma pesquisa cartográfica realizada nos sites do IBGE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e na plataforma da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

#### **4.2 Levantamento Aerofotogramétrico**

Segundo Jorge e Inamasu (2013), O drone do tipo multirrotor, um veículo aéreo não tripulado, representa uma plataforma aérea equipada com eletrônica avançada, possibilitando o transporte de diversos sistemas de captura de imagens. Sua instrumentação aviônica e sistemas de controle garantem voos altamente estáveis, demandando um tempo de treinamento operacional reduzido. O porte compacto, a facilidade de operação, a segurança intrínseca e o custo operacional reduzido conferem a esta categoria de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) uma atratividade particular para operações em mercados que apresentam as seguintes necessidades. (JORGE; INAMASU, 2013):

- tempo curto de operação;
- pouca ou nenhuma equipe de apoio;
- pouca ou nenhuma infraestrutura de terra;
- facilidade de transporte;
- distância e áreas de cobertura de pequeno a médio tamanho (ou duração);

- voo assistido por GPS ou totalmente autônomo seguindo dados pré-programados;
- necessidade de imagens com resolução superior às imagens de satélite;
- necessidade de acessar pontos difíceis.

Para a realização do aerolevanteamento, empregou-se um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) da marca DJI, modelo Phantom 4, Figura 12. O dispositivo está equipado com uma câmera de 20 megapixels, dotada de lentes calibradas para distorção radial e tangencial, cuja finalidade consiste em mitigar defeitos durante a fase de processamento das imagens.

Figura 12 – Phantom 4: VANT utilizado na aquisição das aerofotografias.



Fonte: DJI.

O dispositivo utilizado para a análise do terreno possui um receptor do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS, do inglês Global Satellite Navigation System) com a tecnologia de Posicionamento Cinemático em Tempo Real (RTK, do inglês Real Time Kinematic), que recebe o sinal e efetua correções instantâneas através de uma estação base em solo (D-RTK), utilizando as frequências L1 e L2.

A região de interesse foi capturada por meio de quatro sobrevoos, cada um deles

abrangendo uma área inferior à 20 hectares, como mostra a figura 13. Esta abordagem foi adotada para garantir que o tempo de execução individual permanecesse abaixo de 20 minutos, alinhando-se, portanto, com as diretrizes recomendadas para o tempo operacional das baterias.

Figura 13 – Planejamento dos planos de voo.



Fonte: Autor.

Com o objetivo de mitigar a distorção nas margens dos produtos resultantes da fase de processamento das imagens, foi estabelecida uma região de sobreposição aérea com um buffer de 30 metros além da área de estudo. Essa abordagem visa eliminar a área que abriga a maior parte das distorções devido à sobreposição inadequada das imagens, buscando assim conferir maior precisão aos produtos finais.

Cada um dos trajetos de voo foi delineado no software Google Earth Pro e posteriormente exportado no extensão ".kml". Estes planos de voo foram transferidos para o sistema de controle do Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) via rádio.

Tabela 1 – Dados de entrada - Plano de voo da área de estudo

| Variável do Plano de Voou | Valor Utilizado |
|---------------------------|-----------------|
| Altitude                  | 70 m            |
| Velocidade de sobrevoou   | 10 m/s          |
| Sobreposição Lateral      | 60%             |
| Sobreposição Frontal      | 80%             |

Fonte: Autor.

A determinação da altitude nos planos de voo fundamentou-se no cálculo da Distância da Amostra do Solo (Ground Sample Distance - GSD), levando em consideração a distância focal da câmera e as escalas operacionais dos produtos gerados. Essas informações foram cuidadosamente configuradas no sistema de controle do Veículo, evidenciadas na Figura 14, dados como: Duração do voo, área analisada, imagens geradas, número de baterias, altitude, desvio de obstáculos, sobreposição, dentre outros parâmetros configurados.

Figura 14 – Planejamento dos planos no site Drone Deploy.



Fonte: Autor.

Os aerolevantamentos foram executados no dia 28/10/2023. O levantamento aéreo, teve uma duração total de 50 minutos, envolveu a coleta de 879 imagens. Posteriormente, esses dados foram encaminhados para a fase de processamento e elaboração dos produtos cartográficos.

## 4.3 Dimensionamento da rede de microdrenagem

### 4.3.1 Obtenção dos dados pluviométricos

No que diz respeito à aquisição dos dados pluviométricos, estes foram adquiridos por meio da plataforma digital disponibilizada pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - Funceme. Será selecionado o banco de dados correspondente ao período de 1974 a 2023, que constitui a série normal climatológica a ser analisada. Assim, foram estudados 49 anos de dados referentes à precipitação pluviométrica diária, conforme ilustra a Tabela 2..

Tabela 2 – Dados pluviométricos da série histórica de 1974 a 2023 de Mauriti-CE

| <b>ANO</b> | <b>P_máx diária (mm)</b> | <b>ANO</b> | <b>P_máx diária (mm)</b> |
|------------|--------------------------|------------|--------------------------|
| 1974       | 92,70                    | 1999       | 52,00                    |
| 1975       | 82,80                    | 2000       | 116,00                   |
| 1976       | 74,40                    | 2001       | 78,80                    |
| 1977       | 62,40                    | 2002       | 70,00                    |
| 1978       | 86,00                    | 2003       | 77,00                    |
| 1979       | 145,00                   | 2004       | 83,00                    |
| 1980       | 98,20                    | 2005       | 117,00                   |
| 1981       | 63,00                    | 2006       | 74,20                    |
| 1982       | 54,70                    | 2007       | 145,00                   |
| 1983       | 135,20                   | 2008       | 90,00                    |
| 1984       | 52,00                    | 2009       | 104,00                   |
| 1985       | 60,00                    | 2010       | 163,00                   |
| 1986       | 60,40                    | 2011       | 125,00                   |
| 1987       | 39,30                    | 2012       | 78,00                    |
| 1988       | 73,50                    | 2013       | 101,40                   |
| 1989       | 68,00                    | 2014       | 96,00                    |
| 1990       | 75,00                    | 2015       | 50,00                    |
| 1991       | 87,00                    | 2016       | 47,10                    |
| 1992       | 70,40                    | 2017       | 63,50                    |
| 1993       | 80,20                    | 2018       | 92,00                    |
| 1994       | 91,00                    | 2019       | 61,00                    |
| 1995       | 93,60                    | 2020       | 61,00                    |
| 1996       | 119,00                   | 2021       | 45,00                    |
| 1997       | 72,20                    | 2022       | 55,00                    |
| 1998       | 54,30                    | 2023       | 80,00                    |

Fonte: FUNCEME (2024)

Obtidos os dados das chuvas máximas anuais diárias, fez-se a desagregação em precipitações de diferentes durações (1h, 2h, 3h, 6h, 8h, 10h, 12h, 24h, 5min, 10min, 15min, 20min, 25 e 30min) de acordo com a metodologia proposta pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB para diferentes períodos de retorno, sendo estes de 2, 5, 10, 50, 100 e 500 anos, conforme ilustra a Tabela 3.

Tabela 3 – Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva.

| Relação entre alturas pluviométricas | Coeficiente de desagregação |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| 5 min para 30min                     | 0,34                        |
| 10min para 30min                     | 0,54                        |
| 15min para 30min                     | 0,70                        |
| 20min para 30min                     | 0,81                        |
| 25min para 30min                     | 0,91                        |
| 30min para 1h                        | 0,74                        |
| 1h para 24h                          | 0,42                        |
| 2h para 24h                          | 0,48                        |
| 3h para 24h                          | 0,54                        |
| 6h para 24h                          | 0,72                        |
| 8h para 24h                          | 0,78                        |
| 10h para 24h                         | 0,82                        |
| 12h para 24h                         | 0,85                        |
| 24h para 1dia                        | 1,14                        |

Fonte: FUNCEME (2024)

De acordo com Bertoni e Tucci (2002), utiliza-se a desagregação de chuvas máximas em 1 dia para fracionar em durações menores, variando de 5 minutos e 1440 minutos (24 horas), uma vez que, possibilitam estimar precipitações que dispõem somente dados diários medidos com pluviômetros convencionais.

Dessa forma, realizando a implementação matemática do método de Gumbel na ferramenta Microsoft Excel, obteve-se os seguintes valores para precipitações estimadas em mm/h para os períodos de retornos e durações apresentados na Tabela 4.

Aplicando o equacionamento de intensidade, duração e frequência (IDF) matemático na ferramenta Microsoft Excel, foi possível a obtenção da Tabela 5, em que apresenta valores máximos de precipitação em mm/h para diferentes períodos de retorno.

Tabela 4 – Valores de intensidade pluviométrica máxima (mm/h) para diferentes períodos de retorno, conforme a distribuição de probabilidade de Gumbel.

| <b>Duração<br/>(min)</b> | <b>2</b> | <b>5</b> | <b>10</b> | <b>15</b> | <b>20</b> | <b>25</b> | <b>50</b> | <b>100</b> | <b>500</b> |
|--------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| <b>5</b>                 | 112,61   | 152,37   | 178,70    | 193,55    | 203,95    | 211,96    | 236,64    | 261,13     | 317,74     |
| <b>10</b>                | 89,43    | 121,00   | 141,91    | 153,70    | 161,96    | 168,32    | 187,92    | 207,37     | 252,32     |
| <b>15</b>                | 77,28    | 104,57   | 122,64    | 132,83    | 139,97    | 145,47    | 162,40    | 179,21     | 218,05     |
| <b>20</b>                | 67,07    | 90,75    | 106,43    | 115,28    | 121,47    | 126,24    | 140,94    | 155,53     | 189,24     |
| <b>25</b>                | 60,28    | 81,57    | 95,66     | 103,61    | 109,17    | 113,46    | 126,67    | 139,78     | 170,08     |
| <b>30</b>                | 55,20    | 74,69    | 87,60     | 94,88     | 99,98     | 103,90    | 116,00    | 128,01     | 155,75     |
| <b>60</b>                | 37,30    | 50,47    | 59,19     | 64,11     | 67,55     | 70,21     | 78,38     | 86,49      | 105,24     |
| <b>120</b>               | 21,31    | 28,84    | 33,82     | 36,63     | 38,60     | 40,12     | 44,79     | 49,42      | 60,14      |
| <b>180</b>               | 15,99    | 21,63    | 25,37     | 27,47     | 28,95     | 30,09     | 33,59     | 37,07      | 45,10      |
| <b>360</b>               | 10,66    | 14,42    | 16,91     | 18,32     | 19,30     | 20,06     | 22,39     | 24,71      | 30,07      |
| <b>480</b>               | 8,66     | 11,72    | 13,74     | 14,88     | 15,68     | 16,30     | 18,19     | 20,08      | 24,43      |
| <b>600</b>               | 7,28     | 9,85     | 11,56     | 12,52     | 13,19     | 13,71     | 15,30     | 16,89      | 20,55      |
| <b>720</b>               | 6,29     | 8,51     | 9,98      | 10,81     | 11,39     | 11,84     | 13,22     | 14,59      | 17,75      |
| <b>1440</b>              | 3,70     | 5,01     | 5,87      | 6,36      | 6,70      | 6,96      | 7,78      | 8,58       | 10,44      |

Fonte: FUNCEME (2024)

Tabela 5 – Valores de intensidade pluviométrica máxima (mm/h) para diferentes períodos de retorno, conforme a equação de intensidade, duração e frequência de chuva (IDF).

| <b>Duração<br/>(min)</b> | <b>2</b> | <b>5</b> | <b>10</b> | <b>15</b> | <b>20</b> | <b>25</b> | <b>50</b> | <b>100</b> | <b>500</b> |
|--------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| <b>5</b>                 | 128,49   | 151,64   | 171,88    | 184,95    | 194,82    | 202,84    | 229,92    | 260,61     | 348,61     |
| <b>10</b>                | 103,53   | 122,18   | 138,48    | 149,02    | 156,97    | 163,43    | 185,25    | 209,98     | 280,88     |
| <b>15</b>                | 87,60    | 103,38   | 117,18    | 126,09    | 132,82    | 138,29    | 156,75    | 177,67     | 237,67     |
| <b>20</b>                | 76,44    | 90,21    | 102,25    | 110,03    | 115,90    | 120,67    | 136,78    | 155,04     | 207,39     |
| <b>25</b>                | 68,13    | 80,40    | 91,14     | 98,07     | 103,30    | 107,56    | 121,91    | 138,19     | 184,85     |
| <b>30</b>                | 61,67    | 72,78    | 82,50     | 88,77     | 93,51     | 97,36     | 110,36    | 125,09     | 167,33     |
| <b>60</b>                | 40,66    | 47,98    | 54,39     | 58,53     | 61,65     | 64,19     | 72,76     | 82,47      | 110,32     |
| <b>120</b>               | 25,67    | 30,29    | 34,34     | 36,95     | 38,92     | 40,52     | 45,93     | 52,06      | 69,64      |
| <b>180</b>               | 19,37    | 22,86    | 25,91     | 27,88     | 29,36     | 30,57     | 34,65     | 39,28      | 52,55      |
| <b>360</b>               | 11,81    | 13,94    | 15,80     | 17,00     | 17,91     | 18,65     | 21,14     | 23,96      | 32,05      |
| <b>480</b>               | 9,59     | 11,32    | 12,83     | 13,80     | 14,54     | 15,14     | 17,16     | 19,45      | 26,02      |
| <b>600</b>               | 8,15     | 9,62     | 10,91     | 11,73     | 12,36     | 12,87     | 14,59     | 16,53      | 22,12      |
| <b>720</b>               | 7,14     | 8,42     | 9,55      | 10,27     | 10,82     | 11,26     | 12,77     | 14,47      | 19,36      |
| <b>1440</b>              | 4,29     | 5,06     | 5,74      | 6,18      | 6,50      | 6,77      | 7,68      | 8,70       | 11,64      |

Fonte: FUNCEME (2024)

Os parâmetros essenciais e ajustados para a obtenção do equacionamento IDF para o município de Mauriti-CE são apresentados na Tabela 6.



Tabela 6 – Parâmetros da equação IDF.

| Resumo dos parâmetros |          |          |                |                      |            |
|-----------------------|----------|----------|----------------|----------------------|------------|
| <b>K</b>              | <b>a</b> | <b>b</b> | <b>c_médio</b> | <b>R<sup>2</sup></b> | <b>EPE</b> |
| <b>834,630</b>        | 0,181    | 9,778    | 0,741          | 0,992                | 0,112      |

Fonte: Autor (2024)

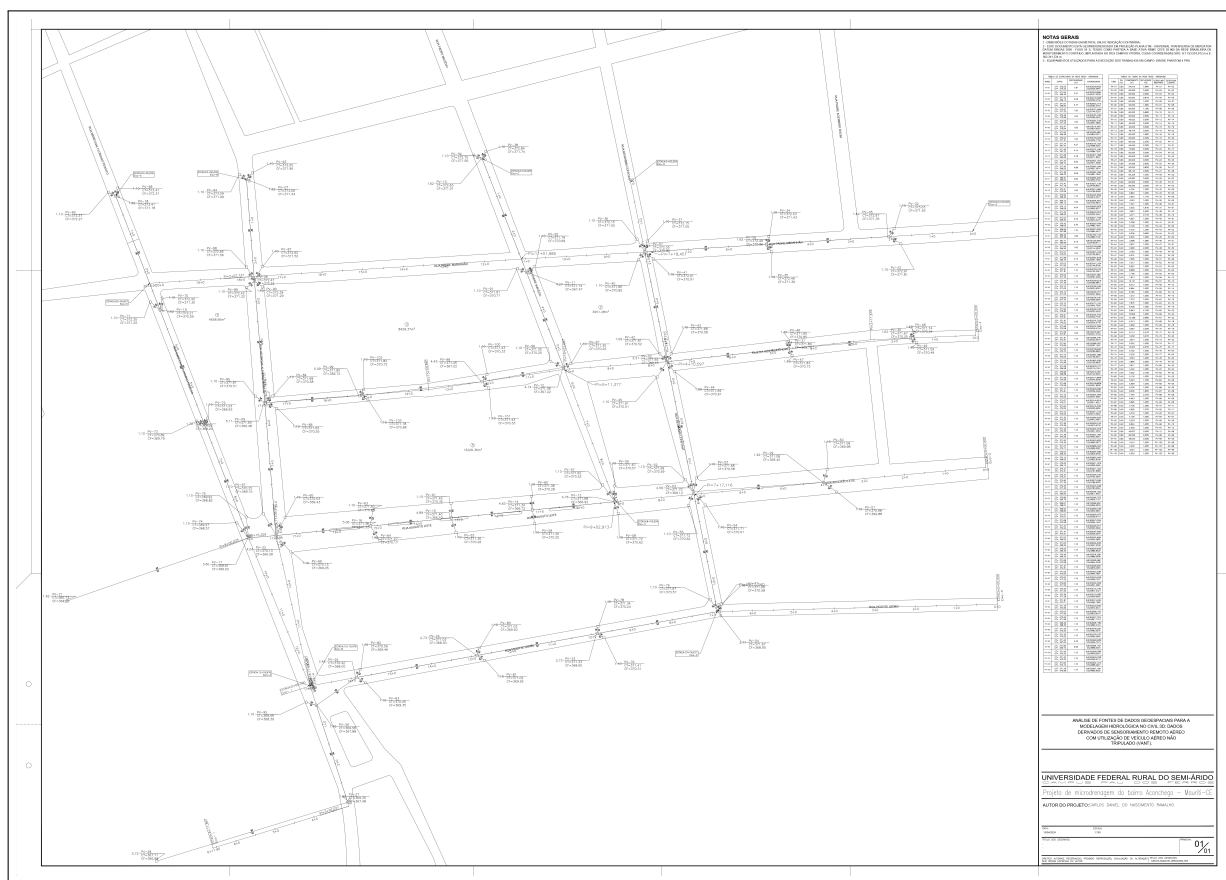
O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) revelou-se aproximadamente igual a 1, indicando um ajuste excelente, ou seja, quase 100% de precisão na equação IDF. É relevante destacar ainda que o valor do erro padrão de estimativa foi relativamente baixo, sugerindo uma alta qualidade no ajuste equacional.

$$I = \frac{834,63 \cdot T^{0,181}}{(t + 9,778)^{0,741}} \quad (4.1)$$

## 5 RESULTADOS

Os resultados relativos ao dimensionamento da rede de drenagem, bem como as decisões tomadas para o desenvolvimento do projeto, são expostos nesta seção. Com o intuito de promover uma compreensão mais clara, os resultados concernentes à microdrenagem como mostra a Figura 15, são discorridos de forma distinta e separada.

Figura 15 – Dimensionamento de rede de microdrenagem no civil 3D.

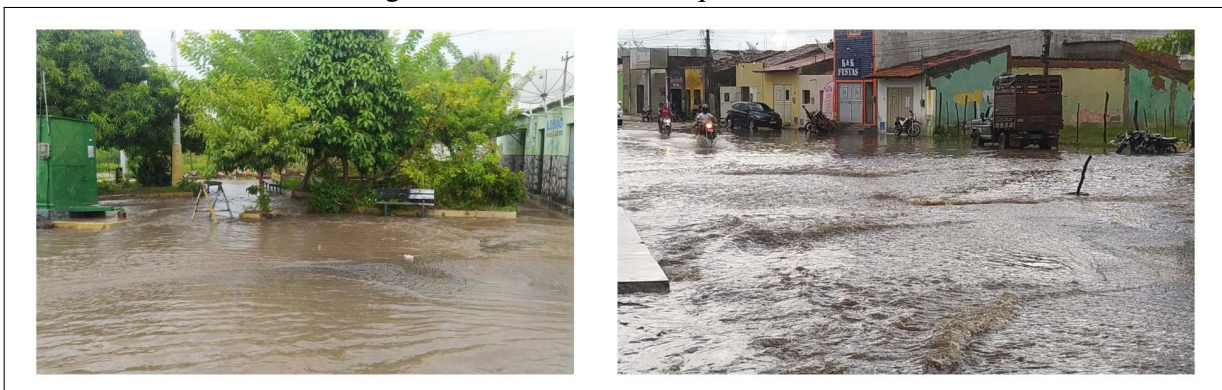


Fonte: Autor.

### 5.1 Análise da área

Devido às suas vulnerabilidades estruturais e administrativas, a cidade de Mauriti-CE enfrenta recorrentes episódios de inundação. Conforme evidenciado na Figura 16. Estas áreas compreendem as ruas Augusto Leite e Rua Henrique Alencar bem como suas adjacências. Todas estas localidades estão situadas em depressões topográficas identificadas nos dados processados.

Figura 16 – Inundações situada no encontro entre as ruas Augusto Leite e Rua Henrique Alencar.



Fonte: Autor (2024).

Áreas adjacentes também são afetados, como por exemplo a rua João Alexandre Ramalho, como mostra a Figura 17.

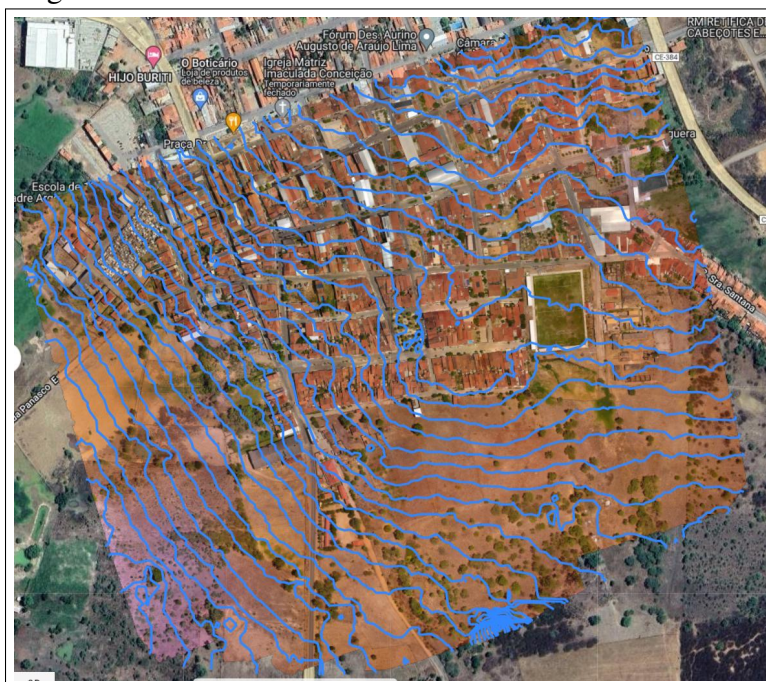
Figura 17 – Alagamento na Rua João Alexandre Ramalho.



Fonte: Autor (2024).

Utilizou-se o ortofotomosaico para a elaboração dos arruamentos com maior precisão, juntamente com as nomenclaturas de ruas.

Figura 18 – Análise de curvas de níveis.



Fonte: Autor (2024).

Foi analisado também as curvas de níveis processadas no Civil 3D, para verificação de inclinações, identificação de fluxo de águas, planejamento de canalização, dimensionamento de poços de visita, dimensionamento de estruturas de microdrenagem, evidenciado na Figura 18.

## 5.2 Processamento Digital de Imagens

O uso de ortofotomosaicos é indispensável para a análise de áreas e o desenvolvimento de projetos de microdrenagem urbana. Essa técnica consiste na criação de imagens aéreas de alta resolução, que são corrigidas para eliminar as distorções causadas pelo relevo e pela inclinação do terreno.

Para o processamento das imagens foi utilizado duas formas, a plataforma Mappa e o software Agisoft Metashape 2024. O Mappa efetua o processamento das imagens de forma automática, gerando MDT, MDS, curvas de níveis, relatório de dados, modelagens 3D, dessa forma temos uma simplificação dos processos.

Em ambos os processos as imagens foram importadas para as plataformas onde passaram por uma reprojeção do datum WGS 84 para a projeção SIRGAS 2000 UTM/Zona 24 Sul.

Ao aplicar ortofotomosaicos para analisar áreas urbanas, se pode ter uma perspectiva



mais aprofundada, com dados topográficos, cobertura vegetal, infraestrutura existente e padrões de escoamento de água, como pode ser visualizado na Figura 19. Isso torna possível compreender de forma mais ampla as características do local, o que facilita a identificação de problemas potenciais e a elaboração de soluções eficientes para o gerenciamento de águas pluviais.

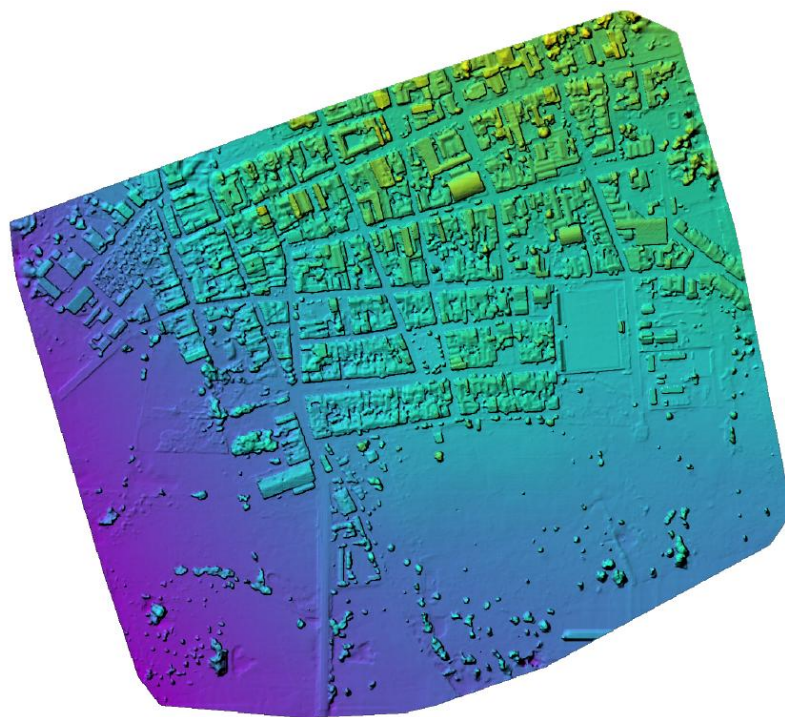
Figura 19 – Ortofotomosaico da área analisada.



Fonte: Autor.

A capacidade de fornecer dados espaciais de alta qualidade, facilita a criação de modelos digitais de elevação e a análise minuciosa da topografia do terreno. Isso é fundamental para o planejamento de sistemas de microdrenagem, uma vez que permite identificar áreas sujeitas a inundações e locais adequados para a instalação de infraestrutura de drenagem.

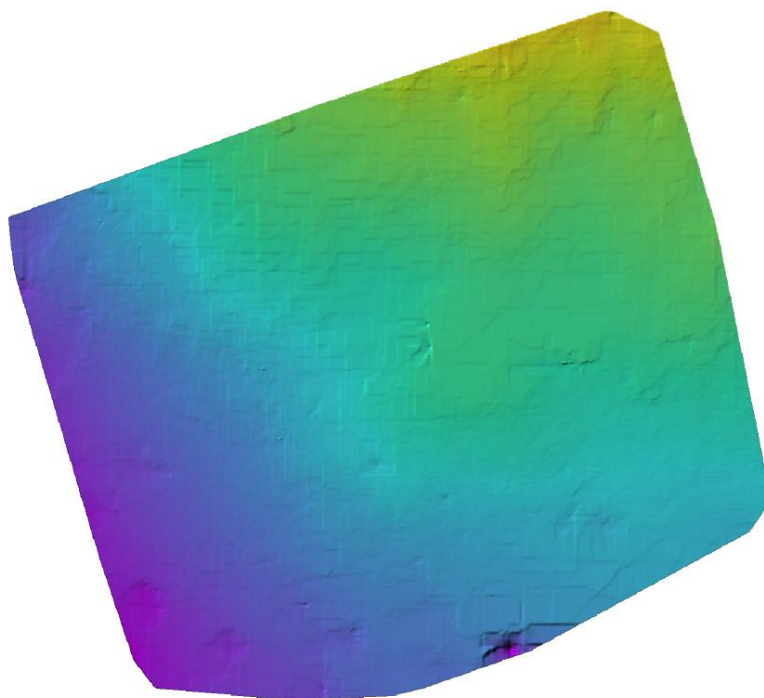
Figura 20 – MDS



Fonte: Autor.

Os ortofotos podem ser integrados a softwares de modelagem hidrológica e hidráulica, permitindo a simulação de diferentes cenários e a avaliação do desempenho de projetos de microdrenagem propostos como se pode evidenciar na figura 20. Dessa forma, os engenheiros e arquitetos urbanos têm a oportunidade de experimentar diversas alternativas e aprimorar o design de sistemas de microdrenagem para assegurar uma gestão eficiente das águas pluviais.

Figura 21 – Processamento do MDT no recorte espacial.



Fonte: Autor.

Esse levantamento fornece dados importantes que permitem uma tomada de decisão mais acertada e a implementação de soluções sustentáveis para amenizar os efeitos das chuvas nas áreas urbanas.

### 5.3 Sarjetas

Para a análise do dimensionamento da sarjeta em questão, foi levado em consideração o seu formato triangular. A seleção desse tipo de sarjeta decorreu das características específicas da via na área em estudo, onde o meio-fio está posicionado perpendicularmente ao solo, apresentando uma inclinação  $\theta_0$  em relação à sarjeta.

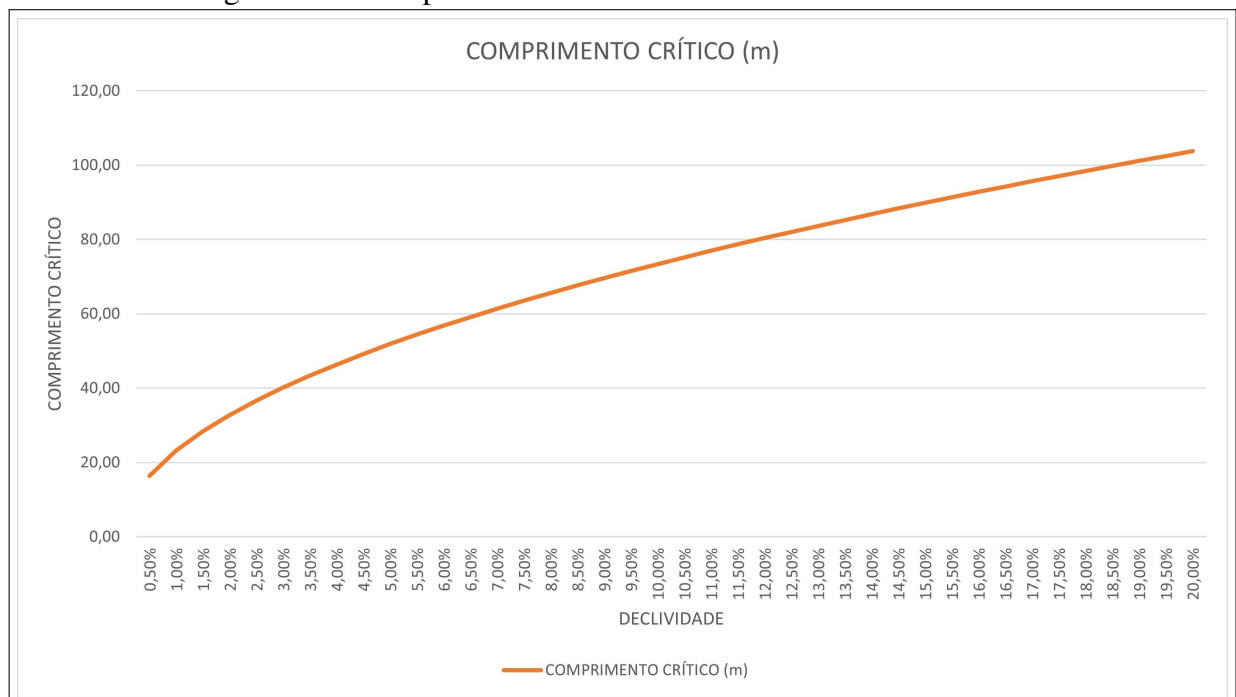
Foi elaborado a análise de comprimento crítico, a fim de efetuar um dimensionamento dos canais de microdrenagem de forma mais eficiente. Em áreas urbanas, inundações repentinas podem causar danos significativos a propriedades e infraestruturas. Essas informações na concepção no sistema de microdrenagem, os engenheiros podem projetar canais de drenagem que maximizem a eficiência na coleta e remoção de água pluvial, ajudando a prevenir inundações e minimizar os danos urbanos associados.

Tabela 7 – Dados para o cálculo do comprimento crítico.

| INCÓGNITAS               |               | NOMENCLATURA                             |
|--------------------------|---------------|------------------------------------------|
| <b>36*10<sup>4</sup></b> | <b>360000</b> |                                          |
| A                        | 0,0401        | Área molhada                             |
| Rh                       | 0,02005       | Raio hidráulico - $Rh = A/P$             |
| $Rh^{(2/3)}$             | 0,07380338    |                                          |
| P                        | 2             | Perímetro molhado                        |
| I                        | 0,005         |                                          |
| $I^{(1/2)}$              | 0,070710678   |                                          |
| C                        | 0,85          | Coefficiente de escoamento               |
| i                        | 13,848        | Intensidade da chuva ( 10 min - 10 anos) |
| L                        | 30            | Largura do implúvio                      |
| n                        | 0,013         | Coefficiente de rugosidade da sarjeta    |

Dessa forma, considerar o comprimento crítico é essencial para o desenvolvimento funcional do sistemas de microdrenagem urbana, aumentando a eficiência do escoamento pluvial, melhorando a qualidade de vida dos moradores.

Figura 22 – Comprimento crítico.



Fonte: Autor (2024).

## 5.4 Dimensionamento do sistema de microdrenagem

Antes do dimensionamento da rede de microdrenagem é foi definido as regras de projeto, ou seja, os conjuntos de diretrizes e parâmetros definidos pelo usuário para orientar



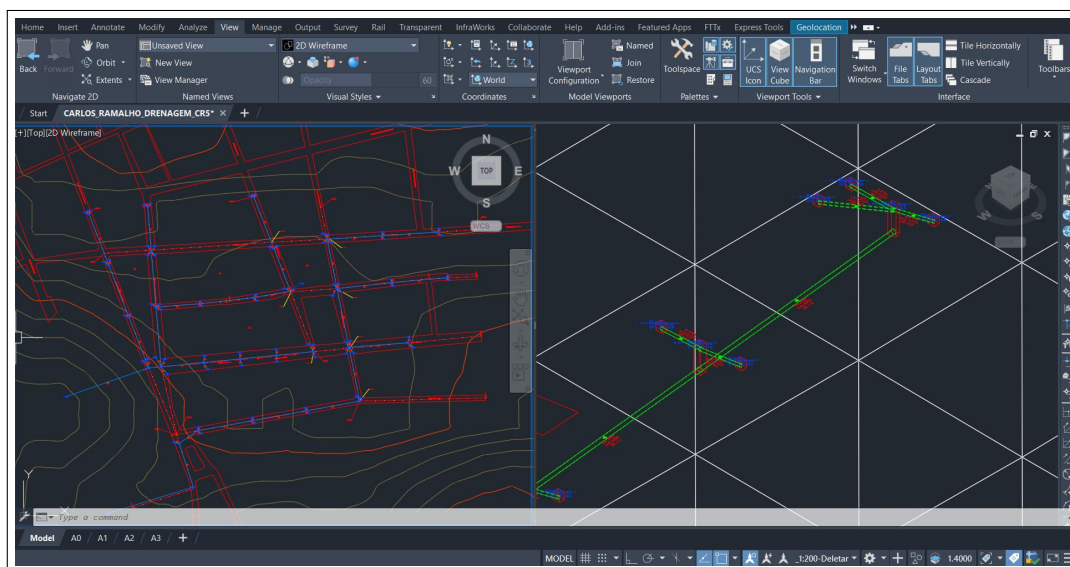
o software Autodesk Civil 3D na criação de modelos de drenagem eficientes e precisos, essas regras definem vários aspectos, como:

- Dimensionamento de tubulações e canais;
- conexões e estruturas de drenagem;
- Padrões de projeto;
- Análise hidráulica;
- Normas e regulamentos.

Dessa forma existe a automatização do processo de design eficiente, mais preciso.

Com o intuito de minimizar a disparidade nos diâmetros das redes de macrodrenagem, optou-se por utilizar exclusivamente tubulações com diâmetros de 400 mm e 800 mm. Como resultado, nenhuma das galerias pode ser classificada como parte do sistema de macrodrenagem, uma vez que os diâmetros não atendem ao valor mínimo de 1200 mm estabelecido pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2011).

Figura 23 – Traçando a rede de drenagem no software Civil 3D.



Fonte: Autor.

A partir das inclinações e das regras de projeto aplicadas ao civil 3D foram analisados os trechos dimensionados.

Todos os trechos obtiveram velocidade menor que 5 m/s, evitando assim o uso de dissipadores de energia, o que tornará a execução do sistema mais econômica e simplificada.

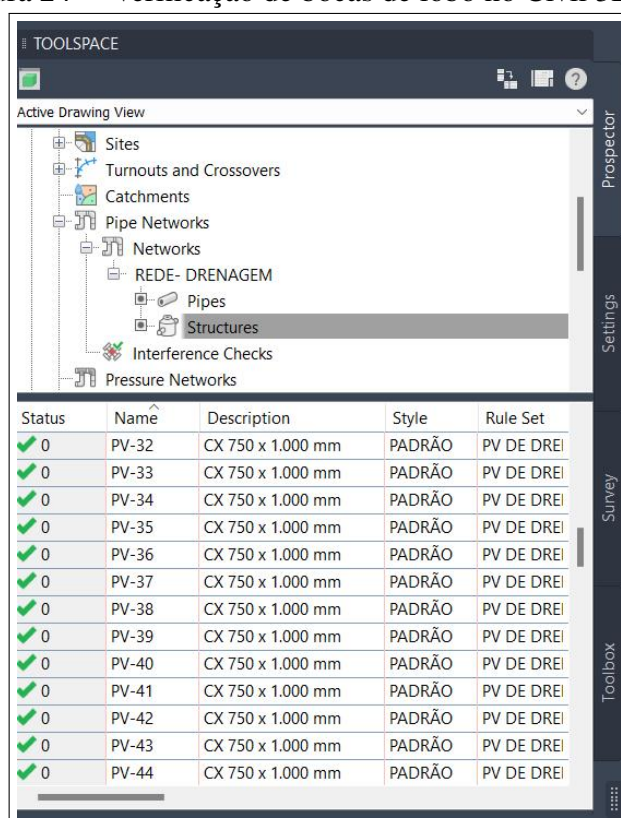
## 5.5 Parâmetros de verificação

O sistema de microdrenagem da região em análise consiste nos pavimentos das vias, sarjetas, bocas de lobo, meio-fio e galerias com tubulações variando de 500 mm a 800 mm de diâmetro. A determinação das dimensões foi conduzida levando em conta um período de retorno de 10 anos e as vazões locais críticas.

## 5.6 Bocas de lobo

Em relação ao dimensionamento das bocas de lobo foi verificado a inclinação dos trechos e contribuição das microbacias dimensionadas, dimensionando um total de 72 bocas de lobo com dimensões de 750x1000mm. Além da contribuição das bacias dimensionando estruturas com evidenciado na Figura 24.

Figura 24 – Verificação de bocas de lobo no Civil 3D.



The screenshot shows the Civil 3D TOOLSSPACE interface. The 'Active Drawing View' pane displays a tree view of the project structure, including 'Sites', 'Turnouts and Crossovers', 'Catchments', 'Pipe Networks', 'Networks', 'REDE- DRENAGEM', 'Pipes', 'Structures', 'Interference Checks', and 'Pressure Networks'. The 'Structures' item is selected. Below the tree view, a table lists the details of the structures.

| Status | Nome  | Description       | Style  | Rule Set   |
|--------|-------|-------------------|--------|------------|
| ✓ 0    | PV-32 | CX 750 x 1.000 mm | PADRÃO | PV DE DREI |
| ✓ 0    | PV-33 | CX 750 x 1.000 mm | PADRÃO | PV DE DREI |
| ✓ 0    | PV-34 | CX 750 x 1.000 mm | PADRÃO | PV DE DREI |
| ✓ 0    | PV-35 | CX 750 x 1.000 mm | PADRÃO | PV DE DREI |
| ✓ 0    | PV-36 | CX 750 x 1.000 mm | PADRÃO | PV DE DREI |
| ✓ 0    | PV-37 | CX 750 x 1.000 mm | PADRÃO | PV DE DREI |
| ✓ 0    | PV-38 | CX 750 x 1.000 mm | PADRÃO | PV DE DREI |
| ✓ 0    | PV-39 | CX 750 x 1.000 mm | PADRÃO | PV DE DREI |
| ✓ 0    | PV-40 | CX 750 x 1.000 mm | PADRÃO | PV DE DREI |
| ✓ 0    | PV-41 | CX 750 x 1.000 mm | PADRÃO | PV DE DREI |
| ✓ 0    | PV-42 | CX 750 x 1.000 mm | PADRÃO | PV DE DREI |
| ✓ 0    | PV-43 | CX 750 x 1.000 mm | PADRÃO | PV DE DREI |
| ✓ 0    | PV-44 | CX 750 x 1.000 mm | PADRÃO | PV DE DREI |

Fonte: Autor.

Normalmente são utilizados tubos de ligação com diâmetros de 300 mm e 400 mm. Segundo TOMAZ (2013) em seu roteiro de projeto para microdrenagem, traz que o ramal da boca de lobo não é dimensionado. O diâmetro mínimo é 400 mm e a declividade

mínima é 1%. O dimensionamento é de tubo curto, isto é, bueiro que é muito trabalhoso de se calcular. Portanto, foi adotado para o ramal da boca de lobo o diâmetro de 0,40 metros.

Foi dimensionado 127,30 metros de ligação, com diâmetro de 400mm.

### 5.6.1 Galerias

Para o sistema foi dimensionado 1392,83 metros de galerias com 800mm de diâmetro e 184 metros com 600mm como indicados no projeto.

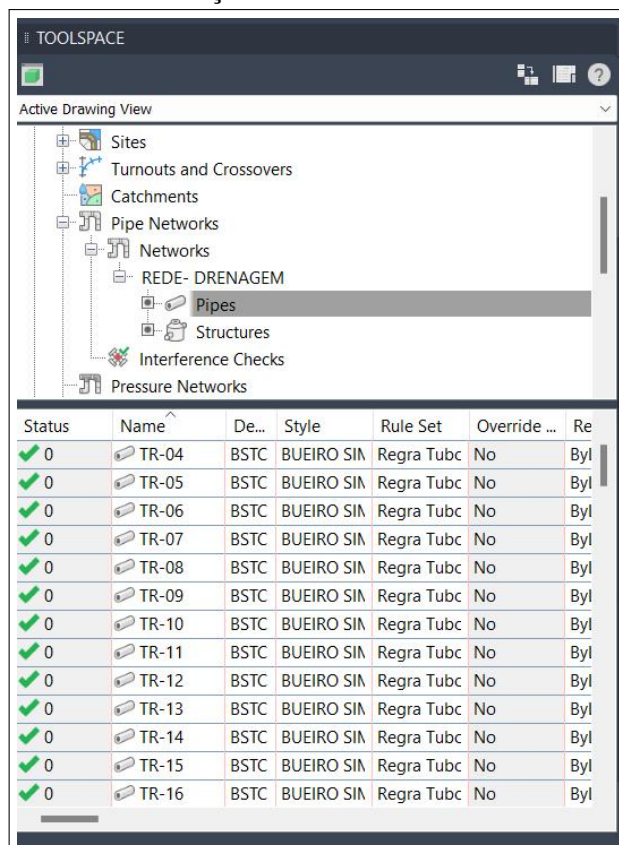
Tabela 8 – Tabela de tubos da rede de microdrenagem

| TUBO  | DN(m) | COMP(m) | MON.  | JUS.  | TUBO   | DN(m) | COMP(m) | MON.   | JUS.  |
|-------|-------|---------|-------|-------|--------|-------|---------|--------|-------|
| TR-01 | 0,8   | 54,9    | PV-01 | PV-02 | TR-51  | 0,4   | 8,7     | PV-54  | PV-03 |
| TR-02 | 0,8   | 65,1    | PV-02 | PV-03 | TR-52  | 0,4   | 7,2     | PV-55  | PV-03 |
| TR-03 | 0,8   | 60,0    | PV-03 | PV-04 | TR-53  | 0,4   | 7,8     | PV-56  | PV-13 |
| TR-04 | 0,8   | 60,0    | PV-05 | PV-06 | TR-54  | 0,4   | 10,1    | PV-57  | PV-13 |
| TR-05 | 0,8   | 60,0    | PV-06 | PV-01 | TR-55  | 0,4   | 6,0     | PV-58  | PV-13 |
| TR-06 | 0,8   | 50,0    | PV-07 | PV-08 | TR-56  | 0,4   | 6,7     | PV-59  | PV-14 |
| TR-07 | 0,8   | 60,0    | PV-08 | PV-09 | TR-57  | 0,4   | 6,8     | PV-60  | PV-14 |
| TR-08 | 0,8   | 60,0    | PV-10 | PV-11 | TR-58  | 0,4   | 7,3     | PV-61  | PV-15 |
| TR-09 | 0,8   | 50,0    | PV-11 | PV-12 | TR-59  | 0,4   | 7,4     | PV-62  | PV-15 |
| TR-10 | 0,8   | 40,6    | PV-13 | PV-14 | TR-60  | 0,4   | 7,9     | PV-63  | PV-16 |
| TR-11 | 0,8   | 40,0    | PV-14 | PV-15 | TR-61  | 0,4   | 8,4     | PV-64  | PV-16 |
| TR-12 | 0,8   | 40,0    | PV-15 | PV-16 | TR-62  | 0,4   | 9,8     | PV-65  | PV-22 |
| TR-13 | 0,8   | 46,4    | PV-16 | PV-22 | TR-63  | 0,4   | 10,8    | PV-66  | PV-22 |
| TR-14 | 0,8   | 60,0    | PV-18 | PV-19 | TR-64  | 0,4   | 12,2    | PV-67  | PV-22 |
| TR-15 | 0,8   | 60,0    | PV-19 | PV-20 | TR-65  | 0,4   | 4,0     | PV-68  | PV-18 |
| TR-16 | 0,8   | 60,0    | PV-20 | PV-17 | TR-66  | 0,4   | 3,9     | PV-69  | PV-18 |
| TR-17 | 0,8   | 94,6    | PV-17 | PV-21 | TR-67  | 0,4   | 5,9     | PV-70  | PV-19 |
| TR-18 | 0,8   | 13,6    | PV-22 | PV-17 | TR-68  | 0,4   | 6,1     | PV-71  | PV-19 |
| TR-19 | 0,8   | 60,0    | PV-04 | PV-23 | TR-69  | 0,4   | 3,2     | PV-72  | PV-20 |
| TR-20 | 0,8   | 60,0    | PV-23 | PV-24 | TR-70  | 0,4   | 3,9     | PV-73  | PV-20 |
| TR-21 | 0,8   | 60,0    | PV-24 | PV-25 | TR-71  | 0,4   | 9,4     | PV-74  | PV-17 |
| TR-22 | 0,8   | 24,1    | PV-25 | PV-26 | TR-72  | 0,4   | 10,3    | PV-75  | PV-17 |
| TR-23 | 0,8   | 50,0    | PV-26 | PV-27 | TR-73  | 0,4   | 6,7     | PV-76  | PV-04 |
| TR-24 | 0,8   | 98,1    | PV-27 | PV-28 | TR-74  | 0,4   | 4,2     | PV-77  | PV-04 |
| TR-25 | 0,8   | 65,3    | PV-09 | PV-22 | TR-75  | 0,4   | 3,6     | PV-78  | PV-23 |
| TR-26 | 0,6   | 64,0    | PV-29 | PV-03 | TR-76  | 0,4   | 3,9     | PV-79  | PV-23 |
| TR-27 | 0,6   | 60,0    | PV-30 | PV-31 | TR-77  | 0,4   | 3,8     | PV-80  | PV-24 |
| TR-28 | 0,6   | 60,0    | PV-31 | PV-02 | TR-78  | 0,4   | 4,4     | PV-81  | PV-24 |
| TR-29 | 0,4   | 4,8     | PV-32 | PV-05 | TR-79  | 0,4   | 4,3     | PV-82  | PV-25 |
| TR-30 | 0,4   | 6,9     | PV-33 | PV-05 | TR-80  | 0,4   | 5,1     | PV-83  | PV-25 |
| TR-31 | 0,4   | 3,9     | PV-34 | PV-06 | TR-81  | 0,4   | 5,2     | PV-84  | PV-09 |
| TR-32 | 0,4   | 4,3     | PV-35 | PV-06 | TR-82  | 0,4   | 5,7     | PV-85  | PV-09 |
| TR-33 | 0,4   | 7,3     | PV-36 | PV-01 | TR-83  | 0,4   | 6,3     | PV-86  | PV-09 |
| TR-34 | 0,4   | 5,5     | PV-37 | PV-01 | TR-84  | 0,4   | 8,0     | PV-87  | PV-08 |
| TR-35 | 0,4   | 3,9     | PV-38 | PV-10 | TR-85  | 0,4   | 7,8     | PV-88  | PV-08 |
| TR-36 | 0,4   | 4,3     | PV-39 | PV-10 | TR-86  | 0,4   | 4,9     | PV-89  | PV-08 |
| TR-37 | 0,4   | 4,8     | PV-40 | PV-01 | TR-87  | 0,4   | 4,9     | PV-90  | PV-08 |
| TR-38 | 0,4   | 5,4     | PV-41 | PV-01 | TR-88  | 0,4   | 4,7     | PV-91  | PV-11 |
| TR-39 | 0,4   | 5,2     | PV-42 | PV-02 | TR-89  | 0,4   | 5,0     | PV-92  | PV-11 |
| TR-40 | 0,4   | 4,4     | PV-43 | PV-02 | TR-90  | 0,4   | 4,3     | PV-93  | PV-07 |
| TR-41 | 0,4   | 6,0     | PV-44 | PV-02 | TR-91  | 0,4   | 4,2     | PV-94  | PV-07 |
| TR-42 | 0,4   | 9,0     | PV-45 | PV-02 | TR-92  | 0,4   | 5,2     | PV-95  | PV-26 |
| TR-43 | 0,4   | 3,7     | PV-46 | PV-31 | TR-93  | 0,4   | 6,8     | PV-96  | PV-12 |
| TR-44 | 0,4   | 3,8     | PV-47 | PV-31 | TR-94  | 0,4   | 4,0     | PV-97  | PV-12 |
| TR-45 | 0,4   | 3,3     | PV-48 | PV-30 | TR-95  | 0,8   | 40,6    | PV-12  | PV-98 |
| TR-46 | 0,4   | 3,8     | PV-49 | PV-30 | TR-96  | 0,8   | 60,6    | PV-98  | PV-99 |
| TR-47 | 0,4   | 6,6     | PV-50 | PV-29 | TR-97  | 0,8   | 46,6    | PV-99  | PV-09 |
| TR-48 | 0,4   | 7,9     | PV-51 | PV-29 | TR-98  | 0,4   | 4,2     | PV-100 | PV-98 |
| TR-49 | 0,4   | 7,0     | PV-52 | PV-03 | TR-99  | 0,4   | 4,5     | PV-101 | PV-98 |
| TR-50 | 0,4   | 6,9     | PV-53 | PV-03 | TR-100 | 0,4   | 3,5     | PV-102 | PV-99 |
|       |       |         |       |       | TR-101 | 0,4   | 4,6     | PV-103 | PV-99 |

### 5.6.2 Poços de visita

Foram dimensionados 31 poços de visita, modelo retangular com 1500x1500 mm.

Figura 25 – Verificação de bocas de lobo no Civil 3D.



| Status | Name  | De... | Style      | Rule Set   | Override ... | Re  |
|--------|-------|-------|------------|------------|--------------|-----|
| ✓ 0    | TR-04 | BSTC  | BUEIRO SIN | Regra Tubc | No           | Byl |
| ✓ 0    | TR-05 | BSTC  | BUEIRO SIN | Regra Tubc | No           | Byl |
| ✓ 0    | TR-06 | BSTC  | BUEIRO SIN | Regra Tubc | No           | Byl |
| ✓ 0    | TR-07 | BSTC  | BUEIRO SIN | Regra Tubc | No           | Byl |
| ✓ 0    | TR-08 | BSTC  | BUEIRO SIN | Regra Tubc | No           | Byl |
| ✓ 0    | TR-09 | BSTC  | BUEIRO SIN | Regra Tubc | No           | Byl |
| ✓ 0    | TR-10 | BSTC  | BUEIRO SIN | Regra Tubc | No           | Byl |
| ✓ 0    | TR-11 | BSTC  | BUEIRO SIN | Regra Tubc | No           | Byl |
| ✓ 0    | TR-12 | BSTC  | BUEIRO SIN | Regra Tubc | No           | Byl |
| ✓ 0    | TR-13 | BSTC  | BUEIRO SIN | Regra Tubc | No           | Byl |
| ✓ 0    | TR-14 | BSTC  | BUEIRO SIN | Regra Tubc | No           | Byl |
| ✓ 0    | TR-15 | BSTC  | BUEIRO SIN | Regra Tubc | No           | Byl |
| ✓ 0    | TR-16 | BSTC  | BUEIRO SIN | Regra Tubc | No           | Byl |

Fonte: Autor.

Tabela 9 – Tabela de estruturas da rede de microdrenagem

| ESTRUTURAS DA REDE DE MICRODRENAGEM |                          |                  |                                 |       |                          |                  |                                 |        |                          |                  |                                 |
|-------------------------------------|--------------------------|------------------|---------------------------------|-------|--------------------------|------------------|---------------------------------|--------|--------------------------|------------------|---------------------------------|
| NOME                                | COTAS                    | PROFUNDIDADE (m) | COORDENADAS                     | NOME  | COTAS                    | PROFUNDIDADE (m) | COORDENADAS                     | NOME   | COTAS                    | PROFUNDIDADE (m) | COORDENADAS                     |
| PV-01                               | CT= 372.05<br>CF= 370.25 | 1,81             | N:9183029.6932<br>E:525026.5645 | PV-36 | CT= 372.15<br>CF= 371.05 | 1,1              | N:9183036.0259<br>E:525022.8391 | PV-71  | CT= 372.35<br>CF= 371.25 | 1,1              | N:9183005.2268<br>E:524783.9342 |
| PV-02                               | CT= 371.65<br>CF= 369.45 | 2,21             | N:9182975.8894<br>E:525037.5308 | PV-37 | CT= 372.15<br>CF= 371.05 | 1,1              | N:9183035.0771<br>E:525027.6966 | PV-72  | CT= 371.03<br>CF= 369.93 | 1,1              | N:9182948.1320<br>E:524811.9561 |
| PV-03                               | CT= 371.70<br>CF= 369.13 | 2,56             | N:9182912.0985<br>E:525050.4702 | PV-38 | CT= 372.84<br>CF= 371.74 | 1,1              | N:9183079.0161<br>E:524948.5594 | PV-73  | CT= 370.89<br>CF= 369.79 | 1,1              | N:9182946.7275<br>E:524806.7157 |
| PV-04                               | CT= 371.67<br>CF= 368.90 | 2,77             | N:9182853.2715<br>E:525062.2763 | PV-39 | CT= 372.75<br>CF= 371.65 | 1,1              | N:9183077.2103<br>E:524942.7506 | PV-74  | CT= 369.67<br>CF= 368.57 | 1,1              | N:9182896.8341<br>E:524826.3878 |
| PV-05                               | CT= 372.97<br>CF= 371.35 | 1,62             | N:9183037.2669<br>E:525146.3253 | PV-40 | CT= 371.95<br>CF= 370.85 | 1,1              | N:9183026.0102<br>E:525023.4450 | PV-75  | CT= 369.92<br>CF= 368.82 | 1,1              | N:9182899.6185<br>E:524830.9844 |
| PV-06                               | CT= 372.49<br>CF= 370.86 | 1,62             | N:9183033.4709<br>E:525086.4455 | PV-41 | CT= 372.01<br>CF= 370.91 | 1,1              | N:9183026.3740<br>E:525030.7705 | PV-76  | CT= 371.67<br>CF= 370.57 | 1,1              | N:9182859.0675<br>E:525058.9110 |
| PV-07                               | CT= 373.06<br>CF= 371.44 | 1,62             | N:9183065.3130<br>E:524831.0880 | PV-42 | CT= 371.61<br>CF= 370.52 | 1,09             | N:9182979.7226<br>E:525034.0178 | PV-77  | CT= 371.68<br>CF= 370.58 | 1,1              | N:9182857.0354<br>E:525064.1440 |
| PV-08                               | CT= 372.47<br>CF= 370.64 | 1,83             | N:9183015.4631<br>E:524834.9591 | PV-43 | CT= 371.68<br>CF= 370.58 | 1,1              | N:9182979.7896<br>E:525039.5134 | PV-78  | CT= 371.34<br>CF= 370.24 | 1,1              | N:9182846.0517<br>E:525003.5909 |
| PV-09                               | CT= 371.60<br>CF= 366.48 | 5,11             | N:9182955.6801<br>E:524840.0571 | PV-44 | CT= 371.69<br>CF= 370.61 | 1,09             | N:9182970.9971<br>E:525041.0148 | PV-79  | CT= 371.41<br>CF= 370.31 | 1,1              | N:9182840.4695<br>E:525006.5345 |
| PV-10                               | CT= 372.63<br>CF= 371.01 | 1,62             | N:9183075.6239<br>E:524946.7156 | PV-45 | CT= 371.61<br>CF= 370.51 | 1,1              | N:9182968.3181<br>E:525032.6575 | PV-80  | CT= 371.03<br>CF= 369.93 | 1,1              | N:9182835.4094<br>E:524945.2880 |
| PV-11                               | CT= 371.74<br>CF= 367.47 | 4,27             | N:9183019.7324<br>E:524968.5363 | PV-46 | CT= 371.95<br>CF= 370.85 | 1,1              | N:9182986.0021<br>E:525097.1244 | PV-81  | CT= 371.02<br>CF= 369.92 | 1,1              | N:9182829.4005<br>E:524947.9728 |
| PV-12                               | CT= 371.36<br>CF= 367.22 | 4,14             | N:9182973.1562<br>E:524986.7202 | PV-47 | CT= 371.83<br>CF= 370.73 | 1,1              | N:9182978.8645<br>E:525098.8865 | PV-82  | CT= 370.56<br>CF= 369.46 | 1,1              | N:9182824.9006<br>E:524886.8400 |
| PV-13                               | CT= 371.68<br>CF= 366.92 | 4,76             | N:9182907.1698<br>E:525011.8207 | PV-48 | CT= 371.74<br>CF= 370.64 | 1,1              | N:9182990.1880<br>E:525158.8074 | PV-83  | CT= 370.45<br>CF= 369.35 | 1,1              | N:9182818.3281<br>E:524889.5938 |
| PV-14                               | CT= 371.34<br>CF= 366.72 | 4,63             | N:9182903.1373<br>E:524971.3998 | PV-49 | CT= 371.59<br>CF= 370.49 | 1,1              | N:9182985.2095<br>E:525159.9936 | PV-84  | CT= 371.68<br>CF= 370.58 | 1,1              | N:9182959.0661<br>E:524844.0338 |
| PV-15                               | CT= 371.40<br>CF= 366.52 | 4,89             | N:9182899.1664<br>E:524931.5974 | PV-50 | CT= 371.08<br>CF= 369.98 | 1,1              | N:9182923.0177<br>E:525116.1061 | PV-85  | CT= 371.61<br>CF= 370.51 | 1,1              | N:9182958.9627<br>E:524835.3981 |
| PV-16                               | CT= 371.38<br>CF= 366.32 | 5,06             | N:9182895.1956<br>E:524891.7949 | PV-51 | CT= 370.98<br>CF= 369.88 | 1,1              | N:9182912.0051<br>E:525120.6532 | PV-86  | CT= 371.65<br>CF= 370.55 | 1,1              | N:9182953.0569<br>E:524845.7854 |
| PV-17                               | CT= 369.61<br>CF= 366.02 | 3,6              | N:9182889.4097<br>E:524832.0746 | PV-52 | CT= 371.69<br>CF= 370.59 | 1,1              | N:9182917.9848<br>E:525046.6508 | PV-87  | CT= 372.62<br>CF= 371.52 | 1,1              | N:9183022.5228<br>E:524838.7337 |
| PV-18                               | CT= 373.41<br>CF= 371.78 | 1,62             | N:9183057.2159<br>E:524766.8821 | PV-53 | CT= 371.68<br>CF= 370.58 | 1,1              | N:9182918.8808<br>E:525051.8538 | PV-88  | CT= 372.66<br>CF= 371.56 | 1,1              | N:9183022.3229<br>E:524831.2587 |
| PV-19                               | CT= 372.21<br>CF= 370.59 | 1,62             | N:9183001.2883<br>E:524788.6099 | PV-54 | CT= 371.71<br>CF= 370.61 | 1,1              | N:9182905.6082<br>E:525056.2469 | PV-89  | CT= 372.42<br>CF= 371.32 | 1,1              | N:9183012.2163<br>E:524831.2321 |
| PV-20                               | CT= 370.92<br>CF= 369.20 | 1,72             | N:9182945.3606<br>E:524810.3377 | PV-55 | CT= 371.72<br>CF= 370.62 | 1,1              | N:9182905.3409<br>E:525047.9964 | PV-90  | CT= 372.39<br>CF= 371.29 | 1,1              | N:9183012.5683<br>E:524838.9065 |
| PV-21                               | CT= 365.73<br>CF= 364.10 | 1,62             | N:9182858.3673<br>E:524742.6670 | PV-56 | CT= 371.67<br>CF= 370.57 | 1,1              | N:9182914.9814<br>E:525011.6521 | PV-91  | CT= 371.81<br>CF= 370.71 | 1,1              | N:9183021.6342<br>E:524964.1985 |
| PV-22                               | CT= 370.13<br>CF= 366.08 | 4,04             | N:9182890.5878<br>E:524845.6077 | PV-57 | CT= 371.62<br>CF= 370.52 | 1,1              | N:9182915.4252<br>E:525005.9652 | PV-92  | CT= 371.79<br>CF= 370.69 | 1,1              | N:9183022.6064<br>E:524972.6214 |
| PV-23                               | CT= 371.33<br>CF= 368.60 | 2,73             | N:9182842.5075<br>E:525003.2497 | PV-58 | CT= 371.72<br>CF= 370.62 | 1,1              | N:9182901.4144<br>E:525013.5602 | PV-93  | CT= 373.05<br>CF= 371.95 | 1,1              | N:9183068.5735<br>E:524833.9191 |
| PV-24                               | CT= 371.03<br>CF= 368.30 | 2,73             | N:9182831.7436<br>E:524944.2231 | PV-59 | CT= 371.30<br>CF= 370.20 | 1,1              | N:9182896.5620<br>E:524972.4851 | PV-94  | CT= 373.09<br>CF= 371.99 | 1,1              | N:9183067.7374<br>E:524827.7123 |
| PV-25                               | CT= 370.42<br>CF= 368.00 | 2,42             | N:9182820.9796<br>E:524885.1965 | PV-60 | CT= 371.38<br>CF= 370.28 | 1,1              | N:9182909.9134<br>E:524970.9709 | PV-95  | CT= 369.49<br>CF= 368.39 | 1,1              | N:9182808.7780<br>E:524860.4140 |
| PV-26                               | CT= 369.58<br>CF= 367.88 | 1,7              | N:9182807.2933<br>E:524865.4010 | PV-61 | CT= 371.45<br>CF= 370.35 | 1,1              | N:9182906.4376<br>E:524931.4503 | PV-96  | CT= 371.35<br>CF= 370.25 | 1,1              | N:9182976.0267<br>E:524980.5076 |
| PV-27                               | CT= 369.30<br>CF= 367.48 | 1,82             | N:9182759.7140<br>E:524880.7702 | PV-62 | CT= 371.36<br>CF= 370.26 | 1,1              | N:9182892.1664<br>E:524933.9043 | PV-97  | CT= 371.35<br>CF= 370.25 | 1,1              | N:9182975.0107<br>E:524990.2665 |
| PV-28                               | CT= 367.71<br>CF= 366.99 | 0,73             | N:9182730.8401<br>E:524786.9711 | PV-63 | CT= 371.50<br>CF= 370.40 | 1,1              | N:9182902.9625<br>E:524893.0973 | PV-98  | CT= 371.45<br>CF= 367.02 | 4,43             | N:9182966.0958<br>E:524946.7315 |
| PV-29                               | CT= 371.08<br>CF= 369.45 | 1,62             | N:9182916.6986<br>E:525114.2920 | PV-64 | CT= 371.27<br>CF= 370.17 | 1,1              | N:9182888.2223<br>E:524896.5287 | PV-99  | CT= 371.80<br>CF= 366.72 | 5,09             | N:9182959.1721<br>E:524886.5691 |
| PV-30                               | CT= 371.67<br>CF= 370.05 | 1,62             | N:9182987.4746<br>E:525156.9637 | PV-65 | CT= 370.53<br>CF= 369.43 | 1,1              | N:9182899.4080<br>E:524849.9769 | PV-100 | CT= 371.43<br>CF= 370.33 | 1,1              | N:9182969.6389<br>E:524949.0631 |
| PV-31                               | CT= 371.89<br>CF= 369.75 | 2,14             | N:9182982.3048<br>E:525097.1868 | PV-66 | CT= 370.15<br>CF= 369.05 | 1,1              | N:9182882.5400<br>E:524852.8189 | PV-101 | CT= 371.43<br>CF= 370.33 | 1,1              | N:9182962.9758<br>E:524949.9115 |
| PV-32                               | CT= 373.03<br>CF= 371.93 | 1,1              | N:9183041.2104<br>E:525148.9798 | PV-67 | CT= 370.25<br>CF= 369.15 | 1,1              | N:9182901.1679<br>E:524839.5566 | PV-102 | CT= 371.82<br>CF= 370.72 | 1,1              | N:9182962.1210<br>E:524888.4927 |
| PV-33                               | CT= 372.91<br>CF= 371.81 | 1,1              | N:9183033.8104<br>E:525152.2547 | PV-68 | CT= 373.41<br>CF= 372.31 | 1,1              | N:9183061.1202<br>E:524767.8085 | PV-103 | CT= 371.78<br>CF= 370.68 | 1,1              | N:9182957.1391<br>E:524890.6425 |
| PV-34                               | CT= 372.53<br>CF= 371.43 | 1,1              | N:9183037.2821<br>E:525087.4459 | PV-69 | CT= 373.37<br>CF= 372.27 | 1,1              | N:9183059.0105<br>E:524763.3654 |        |                          |                  |                                 |
| PV-35                               | CT= 372.49<br>CF= 371.39 | 1,1              | N:9183029.8216<br>E:525088.6843 | PV-70 | CT= 372.40<br>CF= 371.30 | 1,1              | N:9183007.0585<br>E:524789.6360 |        |                          |                  |                                 |

## **5.7 Sistema de microdrenagem**

Por fim foi dimensionado a microdrenagem do sistema a relação de materiais e quantitativos está representada nos anexos deste trabalho.

## 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste estudo, foi conduzida uma análise para dimensionar um sistema de microdrenagem destinado ao bairro Aconchego na cidade de Mauriti-CE. A consideração da topografia local e os problemas recorrentes de alagamentos na área justificaram a necessidade de propor uma solução que mitigasse ou evitasse os impactos associados, especialmente diante da carência de estruturas de drenagem pluvial.

De maneira geral, constatou-se a necessidade de intervenções corretivas e preventivas para criar um sistema de drenagem e minimizar os riscos associados aos alagamentos e inundações.

Além dos aspectos técnicos e infraestruturais, é fundamental destacar os benefícios para a saúde pública que a implementação adequada do sistema de microdrenagem pode proporcionar aos moradores do loteamento Santa Bárbara. Ao reduzir o acúmulo de água estagnada, que frequentemente serve como criadouro para vetores de doenças como mosquitos transmissores da dengue, chikungunya, zika e outros patógenos associados a águas contaminadas, o sistema de drenagem contribui para mitigar o risco de surtos epidêmicos. Dessa forma, a saúde dos residentes é preservada, evitando-se exposições desnecessárias a condições insalubres e enfermidades relacionadas ao saneamento inadequado.

Apesar dos inúmeros benefícios que uma cidade dotada de infraestrutura básica pode proporcionar, persistem os casos de aprovação, por parte da gestão municipal, para a construção e comercialização de loteamentos desprovidos dos serviços mínimos essenciais, como coleta de esgoto e sistema de drenagem, conforme observado no objeto de estudo em análise. Tal fenômeno é resultado da influência dos interesses dos investidores sobre a administração pública, levando-a a facilitar a emissão de alvarás para empreendimentos imobiliários. Adicionalmente, a falta de engajamento, demanda e fiscalização por parte da população contribui para a perpetuação dessa situação.

Durante o desenvolvimento da pesquisa, houveram várias dificuldades que foram superadas, tanto na obtenção de bibliografia relevante quanto no dimensionamento dos projetos. Deve-se salientar que não há uma normatização específica do município para a elaboração de projetos de drenagem urbana, o que nos levou a recorrer a manuais e livros para obter orientações. Além disso, identificamos a necessidade de uma investigação mais aprofundada sobre o sistema completo de drenagem do Município de Mauriti, no estado do Ceará. Questões como inundações, despejo de esgoto em canais designados para drenagem

e sistema de tratamento de esgoto surgiram como áreas de interesse para pesquisas futuras, visando propor soluções que contribuam para aprimorar a qualidade de vida dos habitantes de Mauriti.



## REFERÊNCIAS

- BOTELHO, M. H. C. **Manual de Primeiros Socorros do Engenheiro e do Arquiteto-Vol. 1.** [S.l.]: Editora Blucher, 2009. v. 1.
- CEARÁ, E. do. Plano de segurança hídrica das bacias hidrográficas estratégicas do acaraú. **Metropolitanas e da Sub-Bacia do salgado: Estratégia geral de mitigação e gestão de riscos**, 2021.
- FALCÃO, J. L. G. *et al.* Drenagem urbana: estudo de caso. Insitituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2021.
- (FUNCEME), F. C. D. M. E. R. H. **Calendário das Chuvas no Estado do Ceará.** [S.l.]: Funceme, 2016.
- IBGE. Instituto brasileiro de geografia e estatística. **Censo Brasileiro de 2010**, 2012.
- JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (vant) em agricultura de precisão. **Ferramentas para agricultura de precisão**, v. 8, p. 109, 2013.
- MOURA-FÉ, M. M. de; ALMEIDA, R. R. de; SOUSA, N. R. F.; LINO, M. A. de L. A geodiversidade na simbologia dos municípios do cariri cearense: toponímia, hinos e bandeiras. **Terr@ Plural**, v. 17, p. 1–21, 2023.
- MUNIZ, L. F.; PEREIRA, J. M. R.; JÚNIOR, C. L. X.; STUDART, T. M. d. C. Classificação climática para o estado do ceará utilizando distintos sistemas de caracterização. 2017.
- NETO, A. C. **Sistemas urbanos de drenagem.** [S.l.]: Acesso em, 2024.
- SIQUEIRA, R. d. M. B.; HENRY-SILVA, G. G. A bacia hidrográfica como unidade de estudo e o funcionamento dos ecossistemas fluviais. **Boletim da Associação Brasileira de Limnologia**, v. 39, n. 2, p. 1–15, 2011.
- TUCCI, C. E. Gestão da drenagem urbana. CEPAL, 2012.
- TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 5, n. 1 (2000), p. 61-68**, 2000.
- URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater: Best management practices and detention for water quality, drainage, and CSO management.** [S.l.: s.n.], 1993.
- VILLANUEVA, A. O.; TASSI, R.; ALLASIA, D. G.; BEMFICA, D.; TUCCI, C. Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 8, n. 1, p. 5–18, 2011.

## ANEXO A – PROJETO DE MICRODRENAGEM

