



Lílian Paixão Aleixo de Sousa

ESTUDO DA VIABILIDADE DE USO DOS DADOS TOPOGRÁFICOS POR IMAGEM SRTM EM PROJETO DE DRENAGEM URBANA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dr. Lindemberg Lima Fernandes
Orientador

Belém – Pará – Brasil

2022

LÍLIAN PAIXÃO ALEIXO DE SOUSA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE USO DOS DADOS TOPOGRÁFICOS POR
IMAGEM SRTM EM PROJETO DE DRENAGEM URBANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientador: Dr. Lindemberg Lima Fernandes

BELÉM – PA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos
pelo(a)autor(a)

S725e Sousa, Lilian Paixão Aleixo de.
Estudo da viabilidade de uso dos dados topográficos
porimagem SRTM em projeto de drenagem urbana / Lilian
Paixão Aleixo de Sousa. — 2022.
70 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil, Belém, 2022.

1. Drenagem urbana. 2. SRTM.
3. Geoprocessamento. I. Título.

CDD 620.0042



**ESTUDO DA VIABILIDADE DE USO DOS DADOS
TOPOGRÁFICOS POR IMAGEM SRTM EM PROJETO DE
DRENAGEM URBANA**

AUTORA:

LILIAN PAIXAO ALEIXO DE SOUSA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA
APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO
REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRA EM
ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS E
SANEAMENTO AMBIENTAL.

APROVADO EM: 12 / 08 / 2022.

BANCA EXAMINADORA: _____

Lindemberg Lima Fernandes
Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes Orientador
(UFPA)

Érika da Justa Teixeira Rocha
Profa. Dra. Érika da Justa Teixeira Rocha Membro
Externo (IFCE)

Germana Menescal Bittencourt
Profa. Dra. Germana Menescal Bittencourt
Membro Externo (UFPA)

Francisco Carlos Lira Pessoa
Prof. Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa
Membro Interno (UFPA)

Visto:

Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

Dedico este trabalho a minha mãe
Márcia, a minha vó Raimunda e a
minha vó Maria por todo apoio e
incentivo na minha jornada da vida.
Sou grata por tudo que fizeram e
ainda fazem por mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela proteção, por me guiar até onde cheguei, permitindo mais uma realização de um sonho.

A minha mãe Márcia Paixão e a minha irmã Letícia Paixão pelo incentivo nos momentos em que desanimei.

Aos meus avós maternos e paternos que me apoiaram nessa jornada.

Ao meu orientador, professor Lindemberg Lima Fernandes, por compartilhar seus conhecimentos, por seus conselhos de ânimo e força, e por suas calmas palavras em momentos de desespero desta jornada acadêmica.

À professora Germana Menescal por suas dicas e esclarecimentos no andamento do projeto desta pesquisa.

Aos meus colegas de laboratório Diêgo Crispim e Paulo Eduardo por sua ajuda, que me impulsionou em um certo momento de estagnação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro com concessão de bolsa de estudo para realização desta pesquisa.

E aos que não foram citados, mas que contribuíram de alguma forma para conclusão desta pesquisa, deixo o meu sincero agradecimento. Muito obrigada.

RESUMO

Em geral o processo de urbanização nas cidades aumenta a impermeabilização do solo, aumentando o escoamento superficial, levando a população sofrer com riscos de enchentes. Nesse contexto, o dimensionamento do sistema de drenagem é fundamental, o qual depende das características do relevo. A estação total é um dos equipamentos muito utilizados em serviço de campo. Com o avanço tecnológico, há possibilidade de obtenção dessas informações remotamente, como por meio de imagem de satélite com auxílio de softwares de geoprocessamento. Assim, o objetivo desta pesquisa foi realizar estudo de viabilidade de uso dos dados topográficos obtidos por imagem SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) em projeto de drenagem urbana. Adotou-se a sede do município de Ipixuna do Pará, onde as informações de altimetria foram obtidas por estação total e por imagem SRTM. O método *kriging* de interpolação foi utilizado para gerar as curvas de níveis e o Modelo de Digital do Terreno (MDT). Para avaliar o desempenho dos dados SRTM utilizou-se o teste do coeficiente de correlação de Pearson (R) e a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE). Para o projeto de microdrenagem, delimitou-se, dentro da sede do município, uma área de aproximadamente 14 hectares. A partir da análise estatística, obteve-se resultados satisfatórios com R de 0,81, uma correlação “muito alta”; e o RMSE de 1,27 m na área de projeto. Foram dimensionadas duas redes de drenagem pelo Método Racional, uma com dados por estação total, considerada como modelo para efeito de comparação, e outra por SRTM. No dimensionamento das galerias os diâmetros no projeto com estação total variaram de 500 mm até 1000 mm, a extensão da rede foi aproximadamente 1 km; e com SRTM a rede teve uma extensão de 1,26 km e os diâmetros de 500mm a 1200mm. A vazão de lançamento foi de 2 m³/s. Destarte, verificou-se que é viável utilizar imagem SRTM no levantamento da altimetria para áreas consideradas pequenas, levando em conta a agilidade na obtenção dos dados, permitindo acesso de informações em locais de difícil acesso, além do aspecto econômico.

Palavras-chave: Drenagem Urbana. SRTM. Geoprocessamento.

ABSTRACT

In general, the urbanization process in cities increases the waterproofing of the soil, increasing surface runoff, leading the population to suffer from risks of flooding. In this context, the design of the drainage system is basic, which depends on the relief characteristics. The total station is one of the most used equipment in field service. With the technological advance, it is possible to obtain this information remotely, as through satellite image with the aid of geoprocessing software. Thus, the objective of this research was to carry out a feasibility study on the use of topographic data obtained by SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) image in an urban drainage project. The seat of the municipality of Ipixuna of the Pará was adopted, where altimetry information was obtained by total station and by SRTM image. The interpolation kriging method was used to generate the contour lines and the Digital Terrain Model (DTM). To evaluate the performance of the SRTM data, the Pearson correlation coefficient test (R) and the Root Mean Square Error (RMSE) were used. For the microdrainage project, an area of approximately 14 hectares was delimited within the municipality's headquarters. From the statistical analysis, satisfactory results were obtained with R of 0.81, a "very high" correlation; and the RMSE of 1.27 m in the project area. Two drainage networks were designed by the Rational Method, one with data by total station, considered as a model for comparison purposes, and another by SRTM. In the dimensioning of the galleries, the diameters in the project with total station ranged from 500 mm to 1000 mm, the length of the network was approximately 1 km; and with SRTM the network had a length of 1.26 km and diameters from 500mm to 1200mm. The release flow was 2 m³/s. Thus, it was verified that it is feasible to use SRTM image in the altimetry survey for areas considered small, considering the agility in obtaining data, allowing access to information in places of difficult access, in addition to the economic aspect.

Keywords: Urban Drainage. SRTM. Geoprocessing.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema metodológico	23
Figura 2 – Localização da Área de estudo	24
Figura 3 – Bairros na sede de Ipixuna do Pará	25
Figura 4 – Porção do bairro João Paulo II	26
Figura 5 – Planta da sede de Ipixuna do Pará	27
Figura 6 – Banco de Dados TOPODATA	28
Figura 7 – Seção de escoamento da sarjeta	34
Figura 8 – Alinhamento dos condutos	36
Figura 9 – Enchimento na galeria	36
Figura 10 – Espacialização dos Pontos na Sede Municipal	38
Figura 11 – Sede de Ipixuna do Pará na Grade 02S48	39
Figura 12 – MDT Estação Total	40
Figura 13 – Curvas de Nível Estação Total	40
Figura 14 – MDT SRTM	41
Figura 15 – Curvas de Nível SRTM	42
Figura 16 – Microbacias Estação Total	43
Figura 17 – Microbacias SRTM	44
Figura 18 – Microbacias Estação Total e SRTM	48
Figura 19 – Área de Projeto da Microdrenagem	49
Figura 20 – Planta por estação total	50
Figura 21 – Planta por SRTM	51
Figura 22 – Esquema	53
Figura 23 – Etapas para vazão de projeto	53
Figura 24 – Dimensionamento trecho Q1-Q2 por Estação	55
Figura 25 – Dimensionamento trecho Q1-Q2 por SRTM	55
Figura 26 – Divergência de declividade – Estação Total (A) e SRTM (B)	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Formulações Estatísticas	29
Tabela 2 – Classificação dos valores do coeficiente de Pearson (R).....	29
Tabela 3 – Valores dos Coeficientes de Escoamento Superficial	31
Tabela 4 – Métodos de cálculo para o Tempo de concentração	32
Tabela 5 – Fatores de redução de escoamento das sarjetas.....	34
Tabela 6 – Fator de redução do escoamento para bocas de lobo	35
Tabela 7 – Valores de C conforme as características da bacia.....	52

LISTA DE SIGLAS

ALOS PALSAR	<i>Advanced Land Observing Satellite Phased Array type L-band</i>
ARP's	Aeronaves Remotamente Pilotadas
CRF	Comissão de Regularização Fundiária
DSG	DIRETORIA DE SERVIÇOS GEOGRÁFICOS
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
MDS	Modelo Digital de Superfície
NASA	<i>National Aeronauticsand Space Administration</i>
NIMA	<i>National Imagery and Mapping Agency</i>
RADAR	<i>Radio Detection And Ranging</i>
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission Synthetic Aperture Radar</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 OBJETIVOS	9
1.1.1 Geral.....	9
1.1.2 Específicos	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 DRENAGEM URBANA.....	10
2.2 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO.....	15
2.3 ESTATÍSTICA COMO FERRAMENTA DE CORRELAÇÃO PARA O MDT	21
3 METODOLOGIA	23
3.1 MATERIAIS	24
3.1.1 Área de Estudo.....	24
3.1.2 Levantamento Topográfico.....	26
3.2 MÉTODOS	28
3.2.1 MDT e Curvas de Níveis: Estação Total e SRTM	28
3.2.2 Delimitação de Microbacias e Análise Estatística	29
3.2.3 Dimensionamento da Rede de Microdrenagem	30
Área de Projeto	30
Caracterização Hidrológica	31
Vazão de Projeto (Q_p)	33
Elementos de Captação e Transporte	33
3.2.4 Avaliação da Viabilidade do Projeto de Microdrenagem por SRTM	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1 DADOS ALTIMÉTRICOS	38
4.2 MDT E CURVAS DE NÍVEL	39
4.3 DELIMITAÇÃO DAS MICROBACIAS.....	43
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	45

4.5 DIMENSIONAMENTO DA REDE DE MICRODRENAGEM	47
4.5.1 Área de projeto da microdrenagem	47
4.5.2 Vazão de Projeto (Q_p)	52
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS.....	59
APÊNDICE A – Verificação da topografia por estação total	67
APÊNDICE B – Verificação da topografia por SRTM.....	68
APÊNDICE C – Rede de microdrenagem por estação total	69
APÊNDICE D – Rede de microdrenagem por SRTM.....	70

1 INTRODUÇÃO

A impermeabilização do solo causada pela pavimentação, devido a urbanização, dificulta a infiltração da água da chuva e aumenta o escoamento superficial, isso leva a população sofrer com altos picos de vazão, tornando mais frequentes riscos de enchentes, trazendo prejuízos ambientais, sociais e econômicos. Deste modo, verifica-se a importância do bom escoamento da água por meio do sistema de drenagem.

A drenagem urbana ainda não recebe atenção devida, mesmo sendo um dos componentes importantes do saneamento básico (TASCA *et al.*, 2017). E a ausência ou a deficiência desse serviço contribui para proliferação de animais transmissores de doenças, traz impactos negativos para o trânsito de veículos, afeta a atividade comercial, além do transtorno para os moradores (KRÜGER; ALMEIDA, 2019).

Para elaborar projeto de sistema de drenagem é necessário o levantamento de três informações básicas: a topografia, para identificar as bacias principais e definir o caminho do escoamento; o traçado urbano proposto ou existente; e a pluviometria (MIGUEZ, 2016). Uma das formas de caracterizar a precipitação é por meio de equações de intensidade, duração e frequência (IDF), também conhecida como equação de chuvas intensas (PRUSKI *et al.*, 2006).

A declividade é um dos componentes que interfere na elaboração do projeto, pois este influencia diretamente na velocidade do escoamento e, consequentemente, no tempo de concentração da bacia hidrográfica; na vazão de projeto; além de ser fundamental na delimitação da bacia de contribuição (RODRIGUES *et al.*, 2016). Por isso, deve-se realizar um levantamento topográfico adequado.

Para obtenção de informações de dados topográficos, os equipamentos tradicionais de levantamento em campo mais utilizados são o teodolito eletrônico e a estação total (SILVA; SEGANTINE, 2015). Com o avanço da tecnologia esses dados podem ser obtidos remotamente por meio de ARP's (Aeronaves Remotamente Pilotadas), mais conhecidos por drones, e por sinais de satélite (DAIBERT, 2018) como alternativa para otimizar o trabalho de levantamento topográfico

Quanto aos sinais de satélite, estes geram imagem, a qual é um conjunto de informações codificadas, por isso é necessário o tratamento da mesma, procedimento que acontece em ambiente de Sistema de Informações Geográficas – SIG, por meio da aplicação de softwares de geoprocessamento, como QGIS, ArcGIS, ERDAS e

ENVI, ou em ambientes de programação, como Python, R, MatLab (BARBOSA *et al.*, 2019).

Uma das principais fontes de dados, amplamente desenvolvida e consolidada, de imagem de radar é a base gerada pela missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), liderada pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), dados estes disponibilizados gratuitamente (DA SILVA *et al.*, 2018). Após o tratamento das imagens, pode-se gerar diversos produtos sobre o relevo, como, Modelo Digital de Elevação (MDE), delimitação de bacias hidrográficas e extração da área de drenagem (BRASL, 2016).

Tais alternativas de obtenção de informação proporcionam diminuição de gastos na aquisição de dados (SILVEIRA, 2014) e reduz custos do trabalho dos profissionais de campo (ZERBIELLI *et al.*, 2015). O INCRA, por exemplo, adotou o uso de ARP's para realizar o georreferenciamento de imóveis rurais.

Assim, o objetivo desta pesquisa foi realizar um estudo de viabilidade de uso de dados topográficos de altimetria obtidos por imagem SRTM, em projeto de drenagem urbana, tendo como referência pontos altimétricos levantados por estação total.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Realizar estudo de viabilidade de uso dos dados topográficos obtidos por imagem SRTM em projeto de drenagem urbana.

1.1.2 Específicos

- Elaborar dois Modelos Digitais de Terreno (MDTs) da sede municipal de Ipixuna do Pará, por dados de estação total e por imagem SRTM;
- Delimitar sub-bacias dos MDTs de acordo a morfometria;
- Utilizar método estatístico para verificar a correlação dos pontos altimétricos obtidos por SRTM com os pontos de estação total;
- Selecionar uma área, tendo em comum a sub-bacia por SRTM e estação total, para projetar rede de microdrenagem.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 DRENAGEM URBANA

A modificação da paisagem natural, com o processo de ocupação e urbanização altera o movimento das águas superficiais, e como solução para esta questão se desenvolvem os sistemas de drenagem, como meio de direcionar a água precipitada mais rapidamente para seu destino final (MIGUEZ 2016). Mesmo sendo um dos componentes importantes do saneamento básico, a drenagem urbana ainda não é considerada prioridade para gestão municipal (TASCA *et al.*, 2017).

Apesar de não ser prioridade, a inadequação desse serviço leva a sérios problemas: por eventos de enchentes e inundações, expõe as pessoas a doenças, pelo contato com a água, caso da leptospirose (FÁTIMA; CABRAL, 2013); propicia um ambiente para proliferação de vetores, como o mosquito do gênero *Anopheles*, o qual, quando contaminado, transmite a malária (MOKUOLU *et al.*, 2017); além de acelerar o processo de degradação da malha viária e dificulta a locomoção (STEIN *et al.*, 2017).

A drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas são o conjunto de atividades, infraestrutura e instalações operacionais de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais (BRASIL, 2007).

Boldrin e Batista (2018) abordam que a condição desejada na rede de drenagem de águas pluviais é o escoamento livre, e a inundaçāo ocorre no momento em que o sistema não tem capacidade de transporte para a vazão proveniente da precipitação. Por isso, a importância da implantação adequada desse sistema, considerando as características da região.

O sistema de drenagem é composto de medidas estruturais e não estruturais. A primeira corresponde a obras hidráulicas para proporcionar o bom escoamento superficial (BARROS, 2005), são as obras de barragens, diques, canalização, sistema de microdrenagem, macrodrenagem. As não estruturais são do tipo preventiva, como o zoneamento de áreas suscetíveis à inundaçāo (TUCCI, 2007), este é uma alternativa para prevenir prejuízos ao patrimônio público e privado, evitar a disseminação de doenças de veiculação hídrica e óbitos por afogamento (BRITO, 2017).

Esse sistema engloba dois subsistemas: a microdrenagem e a macrodrenagem. A microdrenagem urbana atende uma vazão de até 6 m³/s (BASTOS, 1999), destinada a receber e conduzir águas de loteamentos, vindas de construções, ruas, praças; o caminho da rede é definido pelo traçado das ruas e composto pelos pavimentos, sarjetas, bocas de lobo, galerias (MIGUEZ, 2016). Já o sistema de macrodrenagem é composto por um sistema de canais e rios que recebem água coletada da microdrenagem (TUCCI, 2007).

Em uma abordagem tradicional, Miguez (2016) aponta as seguintes etapas para o sistema de uma rede de drenagem de águas pluviais:

- Divisão da área de estudo em bacias de contribuição e lançamento do traçado da rede em planta baixa, de acordo com condições naturais de escoamento, adequando o projeto às características topográficas da área;
- Cálculo das vazões afluentes, provenientes das precipitações sobre as áreas de contribuição acumuladas ao longo do caminho;
- Cálculo hidráulico das dimensões da rede de condutos, definindo a geometria final da rede.

A bacia hidrográfica é a área de captação natural da precipitação que converge seus escoamentos para um único ponto de saída, o exutório. Existem dois tipos de divisores de água: o topográfico e o freático, como este está em constante movimentação, utiliza-se aquele como divisor de água da bacia (ALMEIDA *et al.*, 2017). Além disso, o escoamento superficial depende das características dessa bacia: do uso e da ocupação do solo (SANTOS *et al.*, 2017).

Quanto as características do solo como: permeabilidade, cobertura vegetal, umidade antecedente do solo, textura superficial do solo (NUNES *et al.*, 2011) vão gerar o coeficiente de escoamento superficial (C), definido como a parcela da chuva precipitada que efetivamente chega ao sistema de drenagem, descontando as parcelas perdidas por infiltração, interceptação, armazenamento e evaporação (ALMEIDA *et al.*, 2017).

Esse coeficiente pode ser determinado de várias formas, Nunes *et al.* (2011) utilizaram o método do *Soil Conservation Service* (SCS) juntamente com a utilização de técnicas de tratamento de dados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para determinar o coeficiente C, Garotti e Barbassa (2010)

calcularam o coeficiente de escoamento superficial para ocupações e usos variados em uma mesma bacia, utilizando a média ponderada.

Para o dimensionamento de canalizações o parâmetro fundamental é a vazão de projeto, para o qual considera o cenário mais desfavorável, ou seja, picos dos deflúvios associado a uma precipitação crítica e a um determinado risco assumido (CANHOLI, 2015). Para pequenas bacias, em sistema de microdrenagem, utiliza-se o método racional para o cálculo de vazões. Há divergências entre os autores quanto ao tamanho dessa bacia, Bastos (1999) aborda uma área inferior a 5 km², Canholi (2015), inferior a 1 km².

O DEP/IPH (2005) aborda o método racional, dizendo que é largamente utilizado na determinação da vazão de projeto para rede de microdrenagem, adotando-se como limite uma área de até 2 km², abordando seus princípios básicos:

- A duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia, admitindo que a bacia é pequena para que essa condição aconteça;
- Adota-se um coeficiente único de perdas, denominado C, estimado com base nas características da bacia;
- Não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões, portanto não é utilizado para dimensionar reservatórios de amortecimento.

A precipitação é definida como a água proveniente do vapor da atmosfera depositada na superfície terrestre sob qualquer forma: chuva, granizo, neblina, neve, orvalho ou geada. No Brasil o tipo mais comum é a chuva, e para drenagem urbana o conhecimento do comportamento dos picos dessa precipitação é de extrema importância (ALMEIDA *et al.*, 2017), pois é dado necessário para determinar a Intensidade (*i*), definida como a relação da quantidade de chuva por unidade de tempo, adotada em mm/h (CANHOLI, 2015), intensidade esta necessária o cálculo da vazão de projeto.

Segundo Pruski *et al.* (2006), para o dimensionamento de drenos, vertedores, obras de proteção contra cheias e erosão hídrica é necessário o conhecimento de três grandezas que caracterizam uma precipitação: a intensidade, a duração e a frequência. A equação de intensidade, duração e frequência (IDF) é conhecida como equação de chuvas intensas.

Essas equações de chuvas intensas estão sendo utilizadas como ferramentas para a elaboração de projetos de obras hidráulicas, como dimensionamento de galerias de águas pluviais, bueiros, sistemas de drenagem agrícola, urbana e rodoviária (BEIJO *et al.*, 2003; MELLO *et al.*, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2008).

A falta de informações relativa às equações de chuvas intensas no Pará levou Souza *et al.* (2012) à obtenção das relações de intensidade, duração e frequência de precipitação pluvial para alguns municípios do estado, onde foram utilizadas séries históricas de dados pluviométricos de 74 cidades do Estado do Pará.

O tempo de retorno (T_r) também é um parâmetro importante para elaborar um projeto de drenagem, pois está relacionado com a vida útil da obra, o tipo de estrutura, a facilidade de reparos e o perigo oferecido à vida humana (SOUZA *et al.*, 2012), dependendo do tipo de obra esse tempo varia, como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Período de retorno

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	T_r (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviço público	5
	Aeroportos	2 – 5
	Áreas comerciais e arteriais de tráfego	5 – 10
Macrodrenagem	Área residenciais e comerciais	50 – 100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: Martins (2015).

Esse T_r corresponde ao intervalo de tempo necessário para que uma determinada intensidade de chuva e duração definidas sejam igualadas ou superadas (SATO *et al.*, 2018), em projetos de microdrenagem o intervalo de tempo desse parâmetro é de 2 a 10 anos (SÃO PAULO, 2012), para macrodrenagem esse tempo é bem maior.

O tempo de concentração (T_c) de uma bacia hidrográfica é o tempo que leva a sua área hidrologicamente mais remota para contribuir com o fluxo de água em seu exutório (DE SOUZA; SOBREIRA, 2017). A escolha da duração da chuva em projetos de drenagem e barragens de terra está relacionada com o tempo de concentração da bacia de contribuição (SOUZA *et al.*, 2012).

Miguez (2016) menciona vários fatores que influenciam esse tempo, dentre eles citam-se a forma da bacia, sua declividade média, o comprimento e o desnível topográfico ao longo do curso d'água principal, o tipo e a extensão de cobertura

vegetal e a rugosidade da superfície da bacia. Há várias formulações para determinar esse tempo, a maioria é de caráter empírico, basicamente equações de regressão (SILVEIRA, 2005).

Essas fórmulas, geralmente, são obtidas pelas características morfométricas da bacia hidrográfica: área, comprimento do talvegue, rugosidade do córrego ou canal e a declividade (DE SOUZA; SOBREIRA, 2017), quanto mais plana e natural for a bacia, maior será o tempo até atingir o pico de vazão máxima, e quanto mais urbanizada com declividades altas, mais rápido atingirá o pico de vazão, com vazões mais altas (DE SOUZA; DAL FARRA, 2017).

A declividade é expressa como a variação de altitude entre dois pontos do terreno, em relação à distância que os separa (MENDES *et al*, 2016). Existem equipamentos que são utilizados para realizar o levantamento desses pontos altimétricos, como o teodolito, a estação total, considerados a forma tradicional de obtenção de dados, por meio de visita *in loco*.

Outra forma, que vem sendo bastante difundida, é a obtenção de informações por imagem de satélite, e com o tratamento dessa imagem em software de geoprocessamento, pode-se caracterizar o relevo, a morfometria, delimitar bacias, sem a necessidade de ir ao local, evitando custos com o deslocamento ao local.

2.2 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

A topografia é a ciência que dispõe representar uma porção terrestre, mostrando sua forma, posição e dimensões. O teodolito eletrônico e a estação total são os equipamentos tradicionais mais conhecidos e mais utilizados em serviço de campo (SILVA; SEGANTINE, 2015). Com avanço da tecnologia o levantamento dessas informações passa a ser obtido por outras formas, como pela emissão de sinais de satélites artificiais (DAIBERT, 2018), e por ARP's (aeronaves remotamente pilotadas).

Em projeto de drenagem urbana é fundamental a informação de altimetria do terreno. Quando mal executado o levantamento dessa informação, pode gerar o aumento de declividade, isso leva ao aumento da velocidade de escoamento, podendo causar afogamento de galeria nos trechos posteriores; e com a diminuição, a velocidade de escoamento diminui, levando a projetar um diâmetro subdimensionado para o escoamento dos fluidos (ROCHA; BACK, 2013). Por isso, é necessário que seja realizado o levantamento de dados topográficos adequado.

Existem três tipos de levantamento: altimétrico, planimétrico e planialtimétrico, o primeiro tem finalidade de obter as medidas na vertical do terreno, para o cálculo dos desniveis. O planimétrico efetua as medidas horizontais, obtendo-se as distâncias horizontais e os ângulos azimutais. E o planialtimétrico informa as medidas horizontais e verticais do terreno (DE OLIVEIRA, 2017).

Durante muito tempo o principal equipamento utilizado foi o teodolito, conjuntamente com o nível topográfico e a mira, esses equipamentos demandavam pelo menos dois profissionais em campo e o trabalho demandava muito tempo para se conhecer o terreno (VENTURA *et al.*, 2022). A estação total, instrumento eletrônico, significou um avanço nas varreduras topográficas, segundo Borges (2013), a mesma é constituída, basicamente, por um medidor eletrônico, um teodolito eletrônico e um microprocessador. Esse equipamento permite a medição automática de ângulos horizontais e verticais; de distâncias inclinadas e cálculo rápido dos resultados, mostrados no display; e armazena as informações na memória interna (VEIGA, 2000).

Para realização desse levantamento topográfico é necessária uma equipe contendo o topógrafo, auxiliares e o supervisor de campo, trabalhando por determinadas horas por dia, durante dias ou meses, dependendo da área (MESQUITA, 2019). Em contrapartida, a obtenção de informações de forma remota,

com o avanço das tecnologias, está se tornando uma alternativa para otimizar o trabalho de levantamento topográfico. As ARP's, por exemplo, mais conhecidas como drones, são ótimas aliadas no mapeamento de pequenas e grandes áreas, pois possuem fácil manuseio, baixo custo operacional, além de capturar diversas imagens em um curto intervalo de tempo (TANG, SHAO, 2015).

No início do ano de 2018 acompanhando a evolução tecnológica mundial, o INCRA passou a permitir a utilização de ARP's para realizar o georreferenciamento de imóveis rurais, tornando esse serviço mais rápido e seguro para os profissionais da área, como engenheiros cartógrafos e agrimensores (MARQUES, SOUZA, 2019).

Marques e Souza (2019) abordam que o uso dos drones tornam-se mais vantajoso nas seguintes situações: áreas de grande porte, acidentadas, difícil acesso, alagadas, pantanosas. Ventura *et al.* (2022) mostrou a viabilidade de realizar a integração das tecnologias estação total e drone em levantamentos topográficos, quando sincronizados aportam maior riqueza de detalhes e garantia na qualidade final.

Rodrigues e Gallardo (2018) objetivaram mostrar as vantagens da utilização de drones na obtenção de dados topográficos aplicados ao estudo de lixões/aterros sanitários em substituição ao levantamento tradicional. Obtendo resultados satisfatórios, e as imagens capturadas pelos drones permitiram a reconstrução real do relevo, possibilitando o cálculo dos resíduos sólidos e a direção do escoamento de resíduos líquidos. As vantagens alcançadas foram o baixo custo, tempo de execução reduzido e proporciona maior segurança ao operador, pois não é necessário o mesmo percorrer áreas de risco do lixão.

No campo da obtenção de informações surgiu o *Global Navigation Satellite System* (GNSS), tecnologia que engloba os sistemas de posicionamento global dos satélites, dentre as vantagens dessa tecnologia tem-se a obtenção do levantamento planialtimétrico de um terreno (DE OLIVEIRA, 2017).

A imagem de satélite é o conjunto de informações codificadas, sendo a representação bidimensional (arranjo de pixels em linhas e colunas) com um registro espacial (coordenadas e projeção geográfica), a imagem é tratada em ambiente SIG, esse tratamento acontece por meio da aplicação de softwares de geoprocessamento, como QGIS, ArcGIS, ERDAS e ENVI, ou ainda em ambientes de programação, como Python, R, MatLab (BARBOSA *et al.*, 2019).

A resolução espacial refere-se à capacidade de um sensor captar objetos da superfície terrestre, assim uma imagem com resolução de 30 metros tem a capacidade de distinguir objetos que medem no terreno, 30 metros ou mais, isto equivale a 30 por 30 metros (900 m^2) é a menor área que o sensor consegue “enxergar” (FLORENZANO, 2002).

A análise da imagem orbital permite a visualização de diferentes atributos físicos, como cercas de divisas, áreas de preservação permanente, áreas de exploração agrícola, e áreas de manancial. Tal visualização permite estabelecer uma representação real do relevo, sem a necessidade do contato físico com o local (ZERBIELLI *et al.*, 2015).

A caracterização da bacia hidrográfica é calculada por diversas funções e fórmulas conhecidas, porém a utilização na escala de microbacias ficou limitada no passado pela baixa densidade de dados altimétricos. Essa situação começou a ser diminuída a partir da disponibilidade de dados de altimetria fornecidos por técnicas de sensoriamento remoto (BARIANI, BARIANI, 2016).

As principais características físicas de sub-bacias podem ser obtidas por uso de programa de SIG: área, perímetro e comprimento axial da bacia, comprimento do rio principal, extensão total da rede de drenagem, altitudes máximas e mínimas e extensões das curvas de nível dentro da área da bacia (LOPES, 2016).

Além disso, a caracterização do relevo por imagem de satélite é bastante difundida, podendo gerar diversos produtos sobre o relevo, como o modelo digital de elevação, declividade, padrão de formas do relevo, delimitação de bacias hidrográficas, extração da drenagem (BRASIL, 2016).

Os modelos digitais de elevação são tipos particulares de arquivos matriciais nos quais cada pixel encontra-se associado a um valor altimétrico. Diferentes termos, como MDT (Modelo Digital do Terreno), MDE (Modelo Digital de Elevação) e MDS (Modelo Digital de Superfície), são utilizados para denominar estes modelos (SAMPAIO; BRANDALIZE, 2018).

A DSG (2016) distingue esses modelos da seguinte forma o solo exposto e os acidentes naturais e artificiais sobre ele são representados no MDS. Tais acidentes podem ser de origem antrópica, por exemplo, edificações e pontes, ou naturais, como a vegetação. O MDT representa apenas o solo exposto, considera os acidentes geográficos de relevo, tais como talvegues, divisores de água, taludes e outros.

Wise (2000) chama a atenção para o fato de que termos como MDE e MDT são frequentemente utilizados como sinônimos, porém, segundo o autor, o MDE modela apenas a altitude, enquanto o MDT modela também as formas do terreno. Silva e Segantine (2015) consideram o MDT um modelo numérico da superfície do terreno, desconsiderando os elementos artificiais do mesmo, como a vegetação, construções e outros.

O processo de geração de um MDT constitui-se de duas etapas (TULLIO, 2018):

- Amostragem: compreende a aquisição de amostras referentes ao fenômeno de interesse; e
- Interpolação: envolve a criação de estruturas de dados e definição de superfícies de ajuste que possibilitem uma manipulação eficiente do modelo.

A geração de MDE por imagem de radar está amplamente desenvolvida e consolidada; e uma das principais fontes de dados é a base gerada pela missão SRTM, liderada pela NASA e NIMA, disponibilizados gratuitamente no site da USGS (*United States Geological Survey*): <http://earthexplorer.usgs.gov> (DA SILVA *et al.*, 2018).

Existem vários sensores orbitais gerando modelos digitais de elevação, no entanto o MDE SRTM é o modelo global mais popular, sendo sempre lembrado pois foi a primeira missão que fez o registro de altitude de grande parte do globo terrestre e também o primeiro modelo disponibilizado gratuitamente (ORLANDO, 2019).

Para melhor visualização de entidades geoespaciais, os modelos digitais dependem do processo de interpolação (ARUM, 2013). Os métodos de interpolação mais conhecidos são TIN (*Triangular Irregular Network*), IDW (Inverso da Potência das Distâncias), Topo to Raster, Krigagem e Vizinho mais próximo (ORLANDO, 2019). Existe uma diversidade de métodos, por isso, é importante adotar o melhor método de interpolação com base no resultado que se deseja.

Valeriano (2002) em sua pesquisa afirma que os MDE's gerados por esse método da Krigagem produzem formas de relevo e feições de drenagem mais realistas, método este utilizado na pesquisa de Da Silva *et al* (2018).

No estudo de Silva (2016), o método de interpolação que obteve o melhor resultado para avaliar a qualidade do mapeamento do projeto da Base cartográfica

em território brasileiro, foi o método da Krigagem, pois obteve o melhor resultado nas estimativas de valores ao apresentar menores valores de resíduos, RMSE (*Root Mean Square Error*).

O uso de imagens SRTM para delimitação de área de bacia hidrográfica é muito difundido e utilizado em decorrência de apresentar precisão compatível com cartas topográficas, podendo ser utilizados em áreas que não têm registro topográfico (ALVES SOBRINHO *et al.*, 2010; RIBEIRO e FERREIRA, 2014).

No Brasil existem órgãos que disponibilizam imagem de satélite, por exemplo, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, através do Projeto SPMGGO50 (São Paulo – Minas Gerais – Goiás) (DA SILVA *et al.*, 2018); e tem o INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, pelo projeto Topodata; ambos disponibilizam dados gratuitamente.

No projeto Topodata os dados SRTM são elaborados a partir dos disponibilizados pelo USGS. Por problemas na articulação entre folhas, o projeto Topodata passou a tratar as imagens, com vistas a aprimoramentos e correções para disponibilizá-las, assim as informações geomorfométricas foram oportunamente melhoradas (TOPODATA/INPE, 2019). O banco de dados está disponível no site <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>, e fornece várias de informações, como, altimetria, declividade, divisores e talvegues.

Existem trabalhos que compararam a utilização das técnicas de levantamento topográfico por meio da forma tradicional, em campo, e por meio da utilização de imagem de satélite. Alves Sobrinho *et al.* (2010) delimitaram bacia hidrográfica na Área de Proteção Ambiental (APA) do Guariroba através de dados do projeto SRTM. O estudo constatou que a delimitação automática pelo SRTM apresentou precisão compatível à metodologia baseada em cartas topográficas, apresentando vantagem em relação ao custo e benefício proporcionado.

Assis e Elmiro (2013) levantaram informações da posição espacial (coordenadas X, Y e Z) utilizando duas ferramentas: o modelo digital, por fotogrametria; e o método tradicional de levantamento das informações com a estação total, para obtenção de características de uma mina subterrânea a fim de determinar sua viabilidade operacional.

De modo visual, o posicionamento das seções obtidas por fotogrametria terrestre digital foi satisfatório, comparadas com os dados coletados *in loco* por meio do uso da estação total. Apesar de algumas divergências, de maneira geral os

resultados obtidos com o uso da fotogrametria foram considerados compatíveis com aqueles adquiridos pela estação total, conclusão ratificada com base na correlação dos dados (ASSIS, ELMIRO; 2013).

De Oliveira (2017) realizou um comparativo entre o uso do GPS *Real Time Kinematic* (RTK), e o uso da estação total, comparando a precisão e o tempo utilizado para levantamento. O autor chegou aos seguintes resultados: quanto à precisão, a estação total se mostrou melhor, obtendo uma acurácia 79,03% superior ao RTK, por outro lado, o GPS utilizou 70,7% menos tempo para levantar os pontos em relação a estação total. Ademais, o autor conclui que em terreno relativamente plano, de área aberta o uso do GPS RTK foi satisfatório.

O trabalho de Da Silva *et al* (2018) realizou um estudo da imagem de satélite de diferentes fontes: SRTM e AW3D, para avaliar a acurácia altimétrica dos dados. Os autores concluíram que ambos os sensores podem ser considerados uma boa fonte de dados para trabalhos com escalas médias e pequenas (menores ou iguais a 1:100.000), no entanto sugere estudo mais apurado para terrenos declivosos.

Orlando (2019) afirma que a qualidade do MDE SRTM varia com a declividade, obtendo menor qualidade em áreas mais acidentadas, porém, é possível melhorar a qualidade nestas áreas por meio da interpolação, e os modelos mais adequados foram os métodos da Krigagem e Topo to Raster.

Diante disto, esta pesquisa visa avaliar a possibilidade da utilização de dados altimétricos obtidos por SRTM, para concepção de uma rede de microdrenagem para uma determinada área.

2.3 ESTATÍSTICA COMO FERRAMENTA DE CORRELAÇÃO PARA O MDT

Para comparar MDEs levantados por fontes diferentes autores utilizam, por exemplo, a estatística descritiva (ELKHRACHY, 2017). Neter *et al* (1996) utilizaram a regressão linear, em sua pesquisa abordaram a questão da variável resposta Y ser estimada pela variável explicativa X. Nesta abordagem a variável X seria o dado de altimetria obtido em campo, e o Y seria o dado de outra forma, por satélite por exemplo.

A regressão linear simples tem sido utilizada há muito tempo como forma de comparação dos MDEs e consiste nessa previsão de resposta da variável dependente através da variável independente, permitindo-se realizar a correlação entre os MDEs e se obter uma equação modelo (IOANNIDIS *et al.*, 2014; ELKHRACHY, 2017).

A correlação de Pearson (R) também tem sido utilizada para efeito de comparação, segundo Feijoo (2010) esse coeficiente é baseado em modelos de regressão linear e determina o nível de associação entre as amostras. Esse coeficiente varia de -1 a +1, o sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis (AYRES, 2011); quanto mais perto de 1 (independente do sinal) maior o grau de relação estatística linear entre as variáveis e quanto mais próximo de zero, menor é a força dessa relação (FIGUEIREDO FILHO, SILVA JÚNIOR, 2009)

Na prática dificilmente se chega aos valores extremos (0 ou 1), por isso pesquisadores definiram faixas para interpretar a magnitude do coeficiente. Cohen (1988) estabeleceu o seguinte: valores entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos; escores entre 0,30 e 0,49, médios; e valores entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes. Dancey e Reidy (2005) apontam para uma classificação ligeiramente diferente: $r = 0,10$ até $0,30$ (fraco); $r = 0,40$ até $0,6$ (moderado); $r = 0,70$ até 1 (forte).

Viel (2018) analisou a acurácia vertical dos MDEs SRTM v.3, ASTER GDEM v.2 e ALOS World 3D em comparação ao levantamento feito por aerofotogramétrico, definido como verdade do terreno. Em sua pesquisa, o MDE SRTM v.3 foi o que apresentou melhores resultados morfométricos e o maior coeficiente de correlação de Pearson ($r=0,995$).

Para se determinar o nível de erro ou incerteza contida no conjunto de dados avaliados também se utiliza a Raiz do Erro Quadrático Médio – RMSE (*Root Mean*

Square Error), por meio deste é possível verificar a magnitude média dos erros estimados e o valor obtido é sempre positivo e quanto mais próximo de zero, melhores os valores estimados (RUEZZENE *et al.*, 2021).

Hallak e Pereira Filho (2011) abordam como vantagem nesse método a questão de o resultado obtido apresentar-se nas mesmas dimensões da variável analisada. Chagas *et al.* (2010) utilizou a RMSE para avaliar os MDEs na bacia hidrográfica de São Domingos, verificando o grau de diferença entre os valores interpolados e os valores de elevação obtidos tradicionalmente. A RMSE também é amplamente utilizada quando se aborda dados precipitação obtidos por satélite (LIRA *et al.*, 2020; RUEZZENE *et al.*, 2021)

3 METODOLOGIA

Realizou-se primeiramente pesquisas bibliográficas em livros, periódicos, dissertações, entre outros, a fim de obter informações pertinentes ao desenvolvimento desta pesquisa. E com a obtenção dos dados topográficos por estação total e por SRTM foram aplicados métodos matemáticos para avaliar a relação destes dados com objetivo de verificar a viabilidade da altimetria por imagem de satélite na concepção da rede de microdrenagem. Para alcançar esse objetivo, realizou-se uma sequência de etapas, descritas na Figura 1.

Figura 1 – Esquema metodológico



Fonte: Autora (2022).

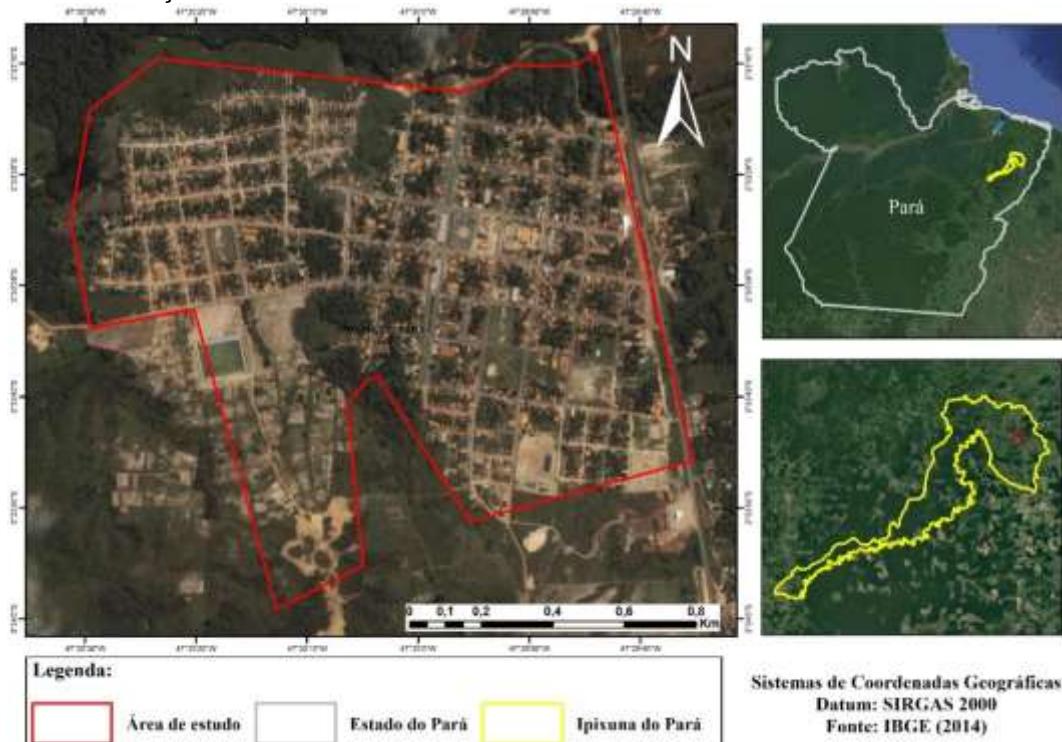
3.1 MATERIAIS

3.1.1 Área de Estudo

A área de estudo está inserida no projeto de extensão Moradia Cidadã, entre os objetivos os estudos técnicos de topografia, urbanismo, tecnologia da informação, meio ambiente e serviço social, voltados à regularização fundiária das moradias.

A sede do município de Ipixuna do Pará é a área de estudo e tem uma extensão territorial de 173 hectares, Figura 2. O acesso às informações necessárias para esta pesquisa ocorreu por meio da Comissão de Regularização Fundiária da UFPA, através do Projeto Moradia Cidadã.

Figura 2 – Localização da Área de estudo



Fonte: Autora (2022).

A sede de Ipixuna do Pará, encontra-se subdividida do ponto de vista político-administrativo em 05 setores, compreendendo os bairros Vila Nova, Berro D'água, João Paulo II, Paraúba e Centro, os quais incidem na área de regularização e apresentam estrutura viária consolidada, contornada por rio e o igarapé adentra o espaço urbano, dividindo-o ao meio, Figura 3 (SANTOS, 2019).

Figura 3 – Bairros na sede de Ipixuna do Pará



Fonte: Autora (2022).

A formação étnica predominante no município é de indígenas, negros e portugueses, com forte influência da cultura nordestina devido ao migratório ocorrido com a construção das rodovias de integração (BARBOSA *et al.*, 2011). A região era conhecida por KM 108, mais tarde, em função do rio, chamou-se Ipixuna e por meio da Lei Estadual nº 5.690, em 1991, foi elevado à categoria de município denominado de Ipixuna do Pará, sendo desmembrado do município de São Domingos do Capim (IPIXUNA DO PARÁ, 2017).

Segundo o IBGE a população estimada em 2021 era de 67.170 habitantes, sendo a população residente predominantemente rural, cerca de 76%. Conforme a FAPESPA (2018), o município tem uma hidrografia de 26 km² e área de floresta de 2.434 km². O clima é “Am” – clima tropical de monção, conforme a classificação Köppen (CORDEIRO *et al.*, 2017), o qual possui duas estações bem definidas, um período com breve estação seca e outro período com chuvas intensas.

Segundo o IBGE (2010), o município apresenta 25% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 22,2% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 4,6% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio). Na pesquisa de Mesquita (2019), após realizar visita na área, relatou a concentração dos serviços nas

áreas mais centrais, é o caso do bairro Centro, o qual apresenta área consolidada, com vias pavimentadas, topografia plana, relevo com declinação suave.

Em contrapartida, em outras áreas a prestação de serviços é escassa, com problemas decorrentes da ausência de sistema de drenagem, esgotamento sanitário, pavimentação e abastecimento de água, é o que ocorre no bairro João Paulo II, o qual é uma região montanhosa, não tem infraestrutura adequada, grande parte das vias não são pavimentadas, dificultando o acesso, Figura 4.

Figura 4 – Porção do bairro João Paulo II



Fonte: Mesquita (2019).

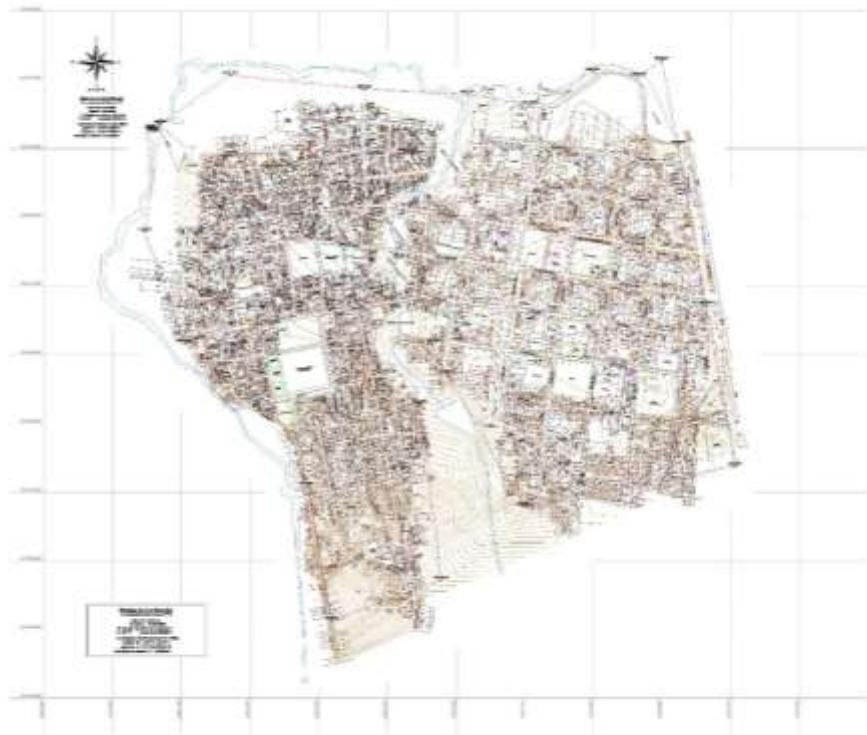
3.1.2 Levantamento Topográfico

Para realizar projeto de rede drenagem, uma informação necessária é a topografia do local, assim foram utilizados dados levantados de duas formas: por imagem SRTM; e por Estação Total, para a obtenção de dados altimétricos.

Para o levantamento através de estação total foram utilizados dados topográficos fornecidos pela Comissão de Regularização Fundiária – CRF, referente ao projeto “Moradia Cidadão: Regularização Urbanística e Fundiária no Estado do Pará”, a planta concedida continha 9.675 pontos de altimetria, além de outras

informações, como, o arruamento, o corpo hídrico, a área residencial, comercial, entre outras, Figura 5.

Figura 5 – Planta da sede de Ipixuna do Pará



Fonte: Comissão de Regularização Fundiária (2019).

A imagem SRTM, com resolução espacial de 30 metros, foi obtida gratuitamente no site: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Como pode-se observar na Figura 6, o mapa está estruturado em quadrículas, assim, necessitou-se localizar a grade onde estava inserido o município de Ipixuna do Pará, para realizar o *download* com dados de altitude.

Figura 6 – Banco de Dados TOPODATA



Fonte: TOPODATA/INPE (2019).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 MDT e Curvas de Níveis: Estação Total e SRTM

Para gerar o MDT foi utilizado software de geoprocessamento: QGIS. O dado de altimetria da estação total foi disponibilizado pela Comissão de Regularização Fundiária em formato *dwg, porém no QGIS não se lê esse formato, desta forma primeiramente a conversão ocorreu de *dwg para *dxf, e depois houve conversão para *shapefile* (*shp). Assim, pode-se gerar o MDT e as curvas de níveis através do método de interpolação por Krigagem. Tais procedimentos foram realizados dentro do próprio software.

A imagem SRTM também necessitou de algumas etapas para chegar ao resultado desejado: definir o Sistema Geodésico de Referência (SGR) para SIRGAS2000 e a projeção UTM conforme a localização da área de estudo, no geoprocessamento da imagem de radar.

Após o ajuste de projeção, a imagem passou por tratamento e gerou-se o MDT no *software*. Quanto aos pontos de altimetria da imagem SRTM, estes foram

extraídos com base nos pontos georreferenciados da Estação Total. A partir do MDT, as curvas de níveis por SRTM foram geradas com planos de equidistância de 1 metro.

3.2.2 Delimitação de Microbacias e Análise Estatística

A delimitação das microbacias definiu-se pelas curvas de níveis geradas, onde a cota mais elevada definiu os divisores de águas, delimitando assim a área de contribuição da rede de drenagem, realizou-se esse procedimento no software AutoCAD.

Para efeito de comparação entre os dados aplicou-se a estatística descritiva, a fim de apurar o quanto o dado estimado, ou seja, a altimetria por SRTM, se aproxima da altimetria real: obtida em campo, neste caso, dado levantado pela estação total. Primeiramente os dados foram organizados em planilhas, e posteriormente foram calculados amplitude, média aritmética, variância, desvio padrão.

Além disso, para análise de desempenho utilizou-se o teste do coeficiente de correlação de Pearson (R) e a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) para verificar o erro e a predisposição dos dados (Tabela 1); a classificação dos valores do (R) está descrita na Tabela 2.

Tabela 1 – Formulações Estatísticas

Parâmetro	Equação	Intervalo	Valor ótimo	Nº Equação	Fonte
R	$R = \frac{\sum(A_e - \bar{A}_e)(A_i - \bar{A}_i)^2}{\sqrt{\sum(A_e - \bar{A}_e)^2} \sqrt{\sum(A_i - \bar{A}_i)^2}}$	-1 a 1	1	(1)	Feijoo (2010)
RMSE	$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum (A_e - A_i)^2 \right]^{1/2}$	0 a ∞	0	(2)	Ruezzene et al (2021)

Nota: Onde A_e é a altimetria da estação total, A_i é a altimetria da imagem SRTM.

Tabela 2 – Classificação dos valores do coeficiente de Pearson (R)

Coeficiente de Correlação (R)	Classificação
0,0 a 0,1	Muito baixa
0,1 a 0,3	Baixa
0,3 a 0,5	Moderada
0,5 a 0,7	Alta
0,7 a 0,9	Muito Alta
0,9 a 1,0	Quase perfeita

Fonte: Hopkins (2000).

Estas análises estatísticas foram realizadas no *Microsoft Office Excel*, a estatística descritiva e a correlação de Pearson realizou-se em três momentos: considerando a área total da sede de Ipixuna do Pará; fragmentando a sede, seguindo a delimitação dos bairros; e, por fim, na área de projeto.

3.2.3 Dimensionamento da Rede de Microdrenagem

As etapas relacionadas ao dimensionamento da rede de microdrenagem, da caracterização dos trechos aos cálculos, foram realizadas no ambiente *Microsoft Office Excel*. Foram realizados dois dimensionamentos, um com dados de altimetria por estação total e outro, por SRTM.

Área de Projeto

Após a delimitação das microbacias, duas plantas foram geradas, uma por estação total e a outra por SRTM. O critério de escolha da área de projeto baseou-se na delimitação e na análise estatística dos setores. Buscou-se uma área com uma correlação boa e uma microbacia com delimitação semelhante nos dois sistemas, estação total e SRTM. Além disso, conforme Miguez (2016), um ponto a ser considerado é uma área onde existe maior propensão para alagamentos: regiões marginais aos cursos d'água, frequentemente áreas mais críticas.

Com a seleção da área de projeto iniciou-se a caracterização trecho a trecho, determinando as cotas de montante e jusante, comprimento dos trechos e verificando a declividade longitudinal dos trechos.

Essas declividades longitudinais foram calculadas a partir das cotas do terreno à montante e jusante, conforme a Equação 3 e Equação 4. Adotou-se uma declividade mínima de 0,004m/m, buscando-se aproveitar a declividade natural do terreno.

$$D_n = CT_m - CT_j \quad (3)$$

$$i = \frac{D_n}{L} \quad (4)$$

Em que:

D_n = Desnível

CT_m : cota do terreno montante (m)

CT_j : cota do terreno jusante (m)

i : declividade longitudinal (m/m)

L : comprimento do trecho (m)

Caracterização Hidrológica

a) Coeficiente de Escoamento superficial (C)

Quando a bacia apresenta ocupação heterogênea é recomendável calcular o valor de C para toda bacia pela média ponderada dos valores de C para cada ocupação específica (SÃO PAULO, 2012), assim o coeficiente de escoamento superficial (*runoff*) foi calculado por meio da média ponderada, Equação 5, método utilizado por Lira *et al* (2019) e Peplau e Neves (2014).

$$C = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (5)$$

Em que:

C_i : coeficiente de escoamento superficial do solo especificado

A_i : área referente a cada tipo de solo

Os valores de coeficiente superficial para cada tipo de área foram adotados conforme a classificação de Chow (1964), Tabela 3.

Tabela 3 – Valores dos Coeficientes de Escoamento Superficial

Tipo de área	C
ÁREA RESIDENCIAL	
Prédios unifamiliares	0,30 a 0,50
Prédios multifamiliares dispersos	0,40 a 0,60
Prédios multifamiliares densos	0,60 a 0,75
VIAS PÚBLICAS	
Pavimento asfáltico	0,70 a 0,95
Pavimento de concreto de cimento	0,80 a 0,95

Fonte: Chow, 1964.

b) Tempo de retorno (TR)

O tempo de retorno, também chamado de tempo de recorrência, é o período médio (em anos) que um evento demora a ser igualado ou superado em uma dada magnitude (TUCCI, 2007). Esse tempo é diretamente proporcional a segurança do sistema, e é determinado pela relação custo x benefício do projeto (LIRA *et al*, 2019).

Na microdrenagem, o tempo de retorno utilizado é 2, 5 e 10 anos, de uma forma geral, para a microdrenagem, recomenda-se a adoção de período de retorno de 2 anos (TOLEDO, 2017). Desta forma, adotou-se este valor.

c) Tempo de Concentração (t_c)

O tempo de concentração (t_c) é o tempo necessário para que toda bacia hidrográfica esteja contribuindo para o escoamento superficial numa determinada seção (MIGUEZ, 2016), ou seja, soma-se o tempo de entrada (t_e) com o tempo de percurso (t_p), estes tempos estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Métodos de cálculo para o Tempo de concentração

Métodos	Equação	Nº Equação
t_e	$t_e = \left(\frac{2,187 L_q \cdot n}{\sqrt{I}} \right)^{0,467}$	(6)
V	$V = 0,189 \frac{1}{(n/\sqrt{I})}$	(7)
t_p	$t_p = \frac{L}{60V}$	(8)
t_c	$t_c = t_e + t_p$	(9)

Fonte: Bastos (1999).

Nota: (1) Sendo L_q o comprimento do ponto mais distante da área de contribuição até a seção da sarjeta, n é o coeficiente de Manning, I é a declividade longitudinal do trecho, V é a velocidade de escoamento, L é o comprimento de trecho.

(2) O coeficiente de Manning adotado foi de 0,016, referente a superfície asfáltica áspera.

d) Intensidade Pluviométrica (I)

A intensidade pluviométrica (I) foi obtida por meio da equação elaborada por Souza *et al.* (2012), estes elaboraram equações de chuva para vários municípios do Estado do Pará, dentre esses está Ipixuna do Pará, conforme a Equação 10 abaixo:

$$I = \frac{1106,1890 \cdot TR^{0,1000}}{(t + 9,7919)^{0,7244}} \quad (10)$$

Em que:

I: intensidade de precipitação (mm.h^{-1})

TR: período de retorno (anos)

t: tempo de duração da chuva (min)

Vazão de Projeto (Q_p)

Utilizou-se o Método Racional para calcular a vazão de projeto, este método é largamente conhecido e utilizado para a conversão de chuva em escoamento superficial em pequenas bacias hidrográficas (CHOW *et al.*, 1994; TOMAZ, 2013; VASCONCELOS *et al.*, 2016; LIRA *et al.*, 2019). A formulação segue na Equação 11.

$$Q_p = \frac{C \cdot I \cdot A_i}{360} \quad (11)$$

Em que:

Q_p : Vazão de projeto (m^3/s)

C: Coeficiente de escoamento superficial

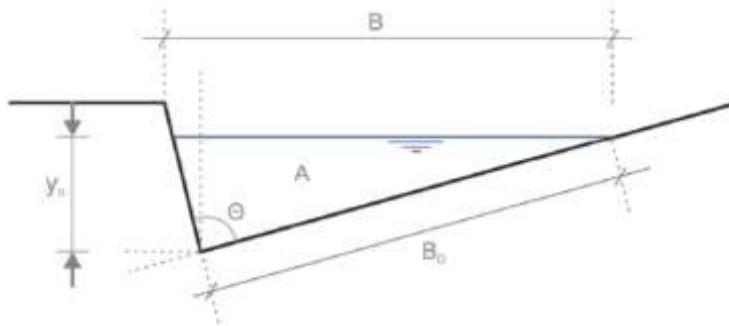
I: Intensidade pluviométrica (mm/h)

A_i : Área de contribuição (ha)

Elementos de Captação e Transporte

Os elementos da rede de microdrenagem calculados foram as sarjetas, bocas de lobo, poços de visita e galerias. A capacidade da sarjeta é estimada com base nas suas características, Figura 7. Desta forma, alguns critérios estabelecidos: a altura da água na sarjeta (y_0) de 13 cm; declividade transversal de 3% (AZEVEDO, FERNÁNDEZ, 2015), a velocidade não ultrapassar 3,0 m/s (INDAITUBA, 2019).

Figura 7 – Seção de escoamento da sarjeta



Fonte: Miguez (2016).

A partir da formulação de Manning, a capacidade da sarjeta foi calculada a partir da Equação 12:

$$Q_0 = 0,375 \cdot y_0^{8/3} \cdot z \cdot \frac{I^{1/2}}{n} \quad (12)$$

Em que:

Q_0 : capacidade da sarjeta (m^3/s)

y_0 : altura de água na sarjeta (m)

z : é o inverso da declividade transversal

I : declividade longitudinal da sarjeta (m/m)

n : coeficiente de rugosidade de Manning na sarjeta

Calculada a capacidade da sarjeta, esse valor é multiplicado por um fator de redução, Tabela 5, de acordo com sua declividade, isso porque se leva em conta a possibilidade de obstrução da sarjeta por sedimentos, resíduos nesta seção (SÃO PAULO, 2012).

Tabela 5 – Fatores de redução de escoamento das sarjetas

Declividade da sarjeta (%)	Fator de redução
0,4	0,50
1 a 3	0,80
5,0	0,50
6,0	0,40
8,0	0,27
10	0,20

Fonte: DAEE/CETESB (1980).

Quando a sarjeta não atendia a capacidade hidráulica para conduzir as águas pluviais, as bocas de lobo eram inseridas, as quais devem ser instaladas em pontos baixos de ruas com mudança de sentido de declividade, e também em cruzamentos de vias (MIGUEZ, 2016). Conforme Azevedo e Fernández (2015), a capacidade da boca de lobo pode ser calculada com a Equação 13:

$$Q = 1,71 \cdot L \cdot H^{3/2} \quad (13)$$

Em que:

Q: vazão (m^3/s)

L: comprimento da abertura (m)

H: altura da água nas proximidades (m)

Na capacidade de esgotamento das bocas de lobos também se aplica um fator de redução dependendo do tipo da mesma, devido a detritos, irregularidades nos pavimentos das ruas junto às sarjetas, como apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Fator de redução do escoamento para bocas de lobo

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

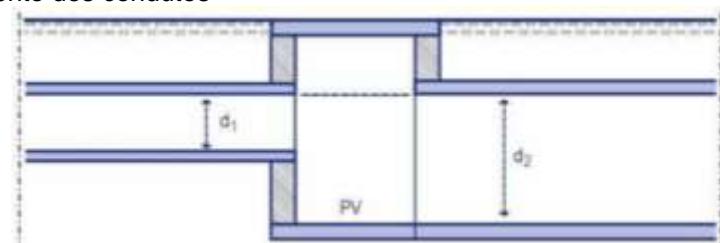
Fonte: DAEE/CETESB (1980).

Os poços de visita eram inseridos em pontos convenientes nas seguintes situações: para realizar a ligação das bocas de lobo; mudanças de declividade das galerias; mudança de diâmetro (BASTOS, 1999).

Após a recepção das águas pelos elementos abordados acima, o escoamento seguia para as galerias. As galerias são projetadas como condutos livres, minimizando possíveis transtornos relacionados à sobrepressão nas tubulações, geralmente locadas no eixo das vias, este dimensionamento segue alguns critérios:

- Para o diâmetro mínimo de galerias circulares, adotou-se 0,50 metros, sendo os diâmetros correntes 0,40; 0,50; 0,60; 0,80; 1,00; 1,20; 1,50; 1,80 e 2,00 metros (TOLEDO, 2017).
 - Adotou-se a velocidade mínima ($V_{mín}$) 0,75 m/s e velocidade máxima ($V_{máx}$) de 5,0 m/s (MIGUEZ, 2016; TOLEDO, 2017), considera-se essa $V_{mín}$ pois velocidades menores dificultariam a autolimpeza das tubulações, causando deposição de sedimentos; e admite-se uma $V_{máx}$ para não expor as tubulações ao processo de abrasão (MENEZES FILHO; COSTA, 2012).
 - Recobrimento mínimo de 1,00 metro (SÃO PAULO, 2012; MIGUEZ, 2016; TOLEDO, 2017).
 - Nas mudanças de diâmetro os tubos devem estar alinhados pela geratriz superior (BASTOS, 1999; TOLEDO, 2017), como indicado na
 - Figura 8.

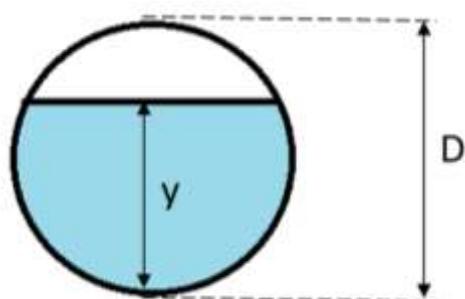
Figura 8 – Alinhamento dos condutos



Fonte: Toledo (2017).

- Admitiu-se funcionamento das canalizações com altura da lâmina de água no máximo a 90% de seu diâmetro ($y/D < 90\%$) (BASTOS, 1999), como indica a Figura 9.

Figura 9 – Enchimento na galeria



Fonte: Autora (2022).

3.2.4 Avaliação da Viabilidade do Projeto de Microdrenagem por SRTM

Após o dimensionamento, foram avaliadas as variáveis determinantes no dimensionamento, como a vazão, velocidade, áreas de contribuição, quando aplicada a altimetria por SRTM em relação à estação total. Quanto a utilização dessa imagem de radar, o que isso implicou no projeto, se a rede ficou subdimensionada ou superdimensionada, comparada ao levantamento tradicional da altimetria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DADOS ALTIMÉTRICOS

Após o tratamento dos dados da planta fornecido pela Comissão de Regularização Fundiária, com os pontos distribuídos uniformemente na área de estudo de aproximadamente 173 hectares. O formato que essa planta foi concedida era *dwg, e para poder ser utilizada, a mesma foi alterada para formato *dxf, essa conversão foi realizada dentro do próprio software. E a distribuição dos pontos apresentou-se da seguinte forma, Figura 10.

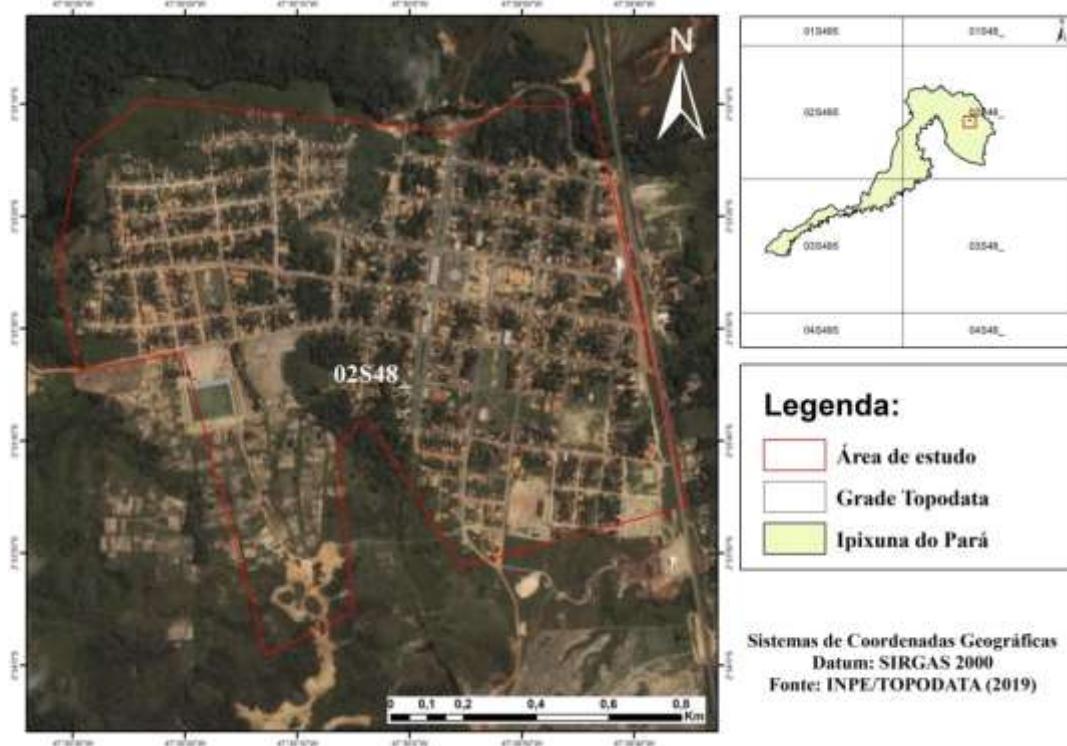
Figura 10 – Espacialização dos Pontos na Sede Municipal



Fonte: Autora (2022).

Para ter acesso a imagem SRTM com os dados de altitude, verificou-se que a área de estudo estava inserida na grade (02S48), conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Sede de Ipixuna do Pará na Grade 02S48



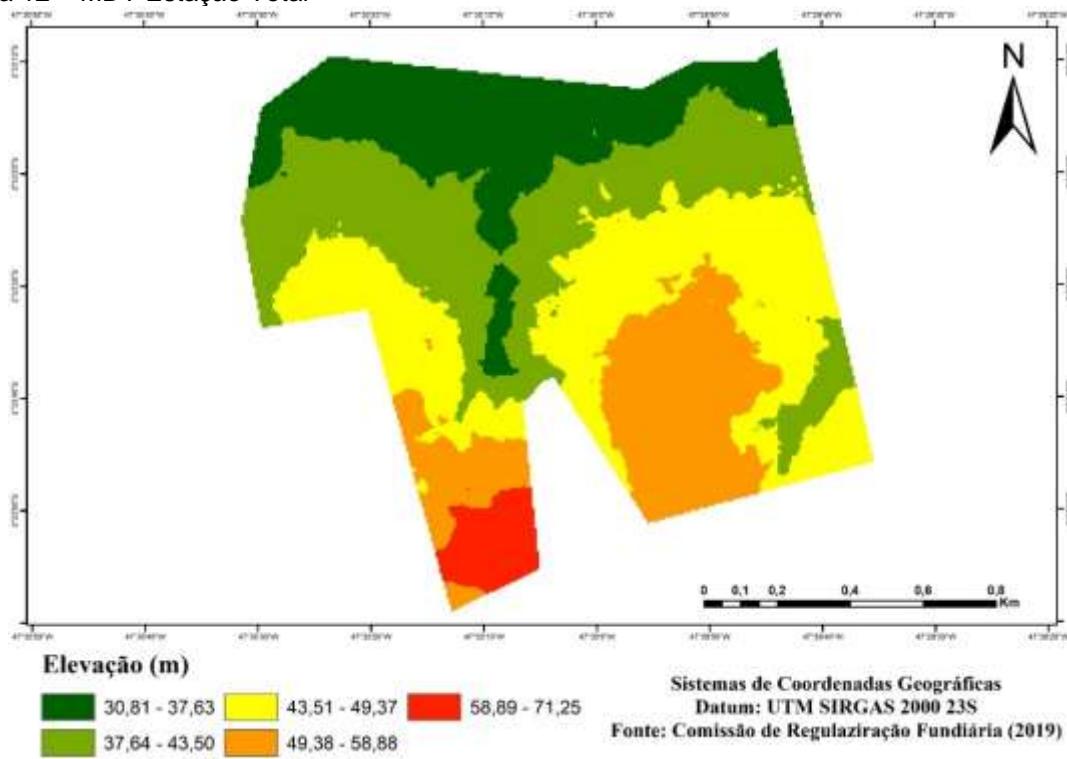
Fonte: Autora (2022).

4.2 MDT E CURVAS DE NÍVEL

O arquivo com dados por Estação Total continha várias informações do local (de arruamento, corpo hídrico, a área residencial, comercial, entre outras), mas para gerar o MDT era necessário apenas a informação de altimetria, deste modo foi extraído esse dado. Para ser tratado os pontos altimétricos foram exportados para o formato *shp.

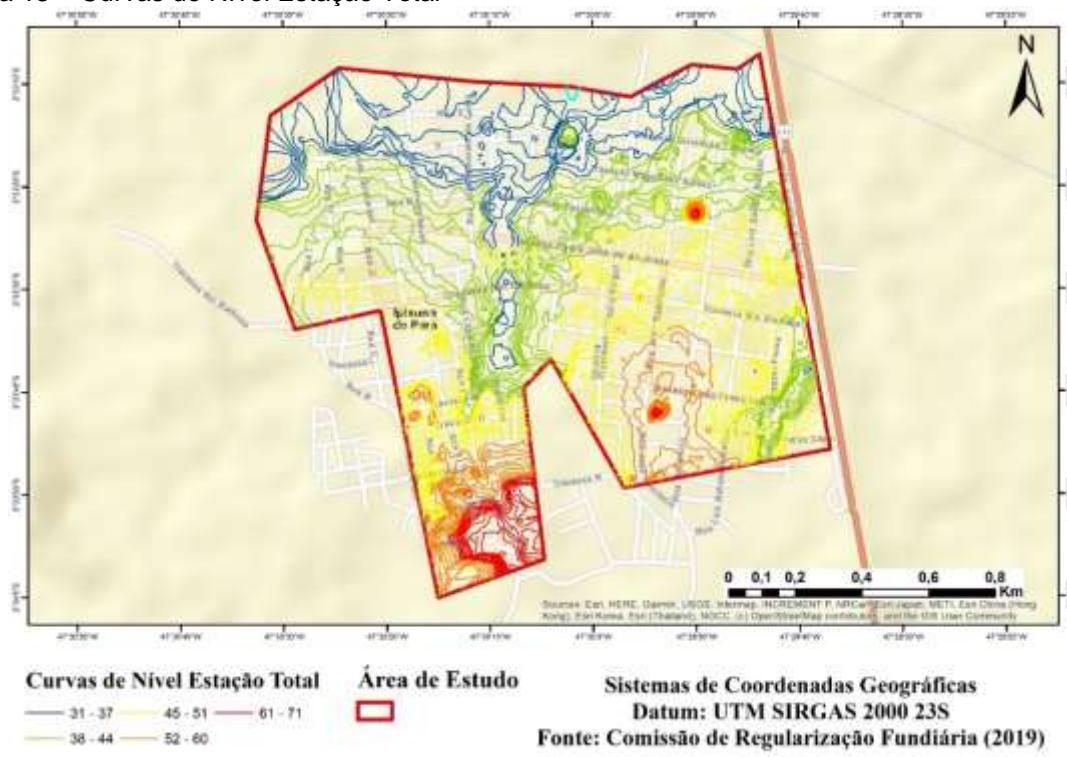
Para melhor visualização da topografia da área foram gerados o MDT, Figura 12, e as curvas de níveis, Figura 13, utilizando método de interpolação da krigagem.

Figura 12 – MDT Estação Total



Fonte: Autora (2022).

Figura 13 – Curvas de Nível Estação Total



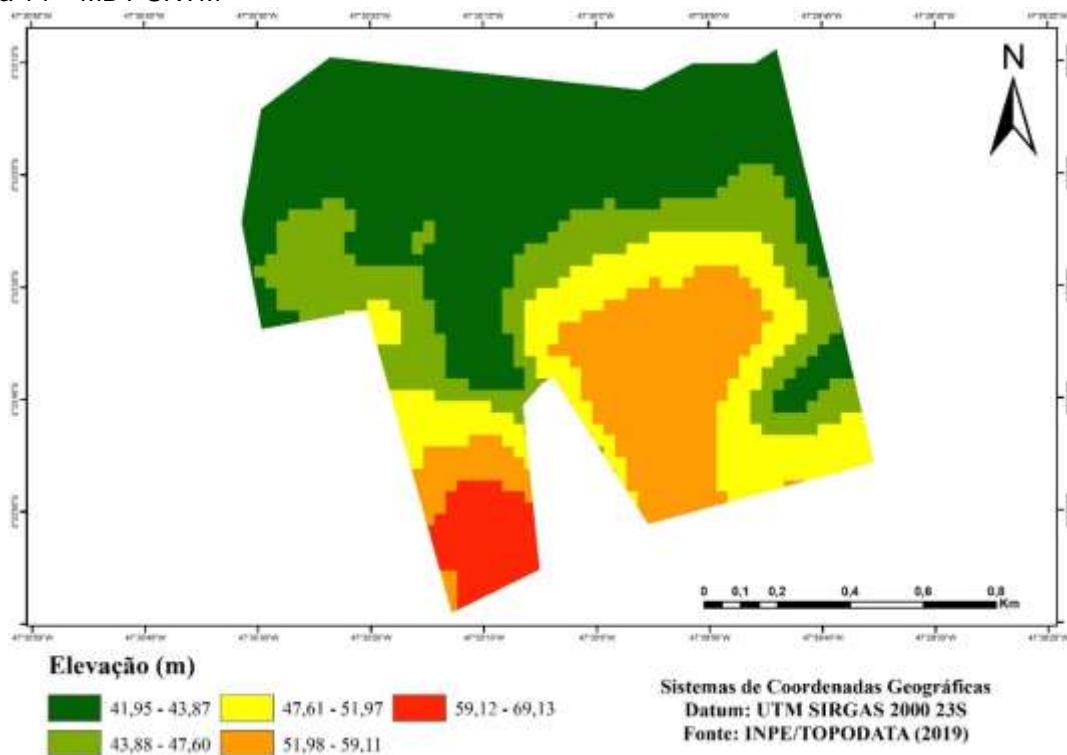
Fonte: Autora (2022).

O MDT e as curvas de níveis gerados pelo levantamento por estação total, afirmam uma boa precisão e acurácia dos dados, por se tratar de um levantamento realizado *in loco*. Vale ressaltar que esses pontos coletados pela estação foram referentes ao alinhamento de quadra, posição dos postes de energia e sistema viário existente, assim, grande parte destes pontos não estavam próximos de árvores e telhados (MESQUITA, 2019).

Para o MDT por SRTM, a partir da imagem de radar, recortou-se a mesma para obter apenas a área de estudo. Depois definiu-se o SGR para SIRGAS2000, e a projeção UTM, fuso 23 Sul, devido à localização da área de estudo.

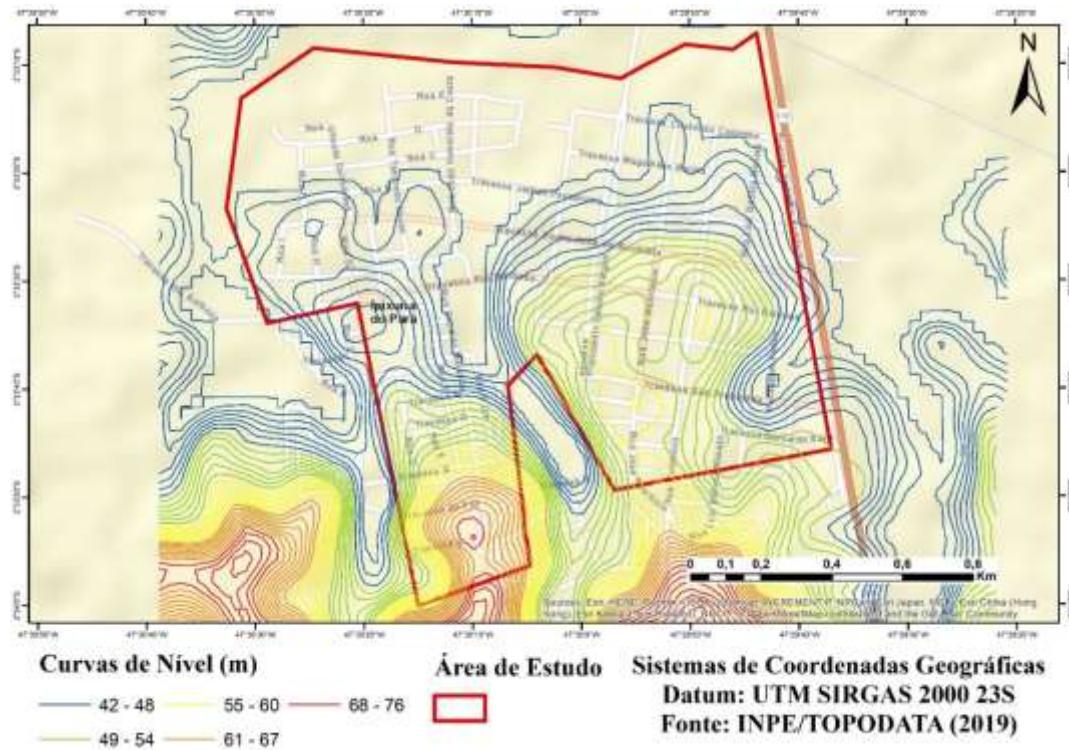
Após tais procedimentos foram elaborados o MDT da imagem SRTM, Figura 14; e determinando-se um intervalo de 1 metro, as curvas de níveis foram geradas, Figura 15.

Figura 14 – MDT SRTM



Fonte: Autora (2022).

Figura 15 – Curvas de Nível SRTM



Fonte: Autora (2022).

Nota-se que a região mais elevada é a porção ao sul da área de estudo, e a elevação vai decaindo para porção norte e central da área de estudo, que coincide com a localização por onde o corpo hídrico passa. As curvas de níveis geradas com a imagem SRTM limitaram-se na menor elevação do terreno, e não abrangeu a porção referente ao rio e a vegetação próximo a ele.

A imagem SRTM é suscetível a algumas distorções pela presença das coberturas dos telhados e das áreas verdes, mas como o levantamento dos pontos por estação total ocorreu na maior parte em pontos distantes desses locais que poderiam ocasionar tais distorções, o resultado apresentado por SRTM torna-se mais satisfatório.

Além disso, a utilização de dados fornecidos pelo TOPODATA/INPE para estudo de elevação digital no Brasil é recomendada por se tratar de imagens que passaram por tratamento, para corrigir falhas na grade, e assim aprimorar essas imagens (TOPODATA/INPE, 2019). Estas imagens são difundidas em diversos fins, como, planejamento e gestão ambiental, em projetos de manejo e bacias hidrográficas, delimitação de bacias hidrográficas (CORRÊA *et al.*, 2017).

4.3 DELIMITAÇÃO DAS MICROBACIAS

De posse das curvas de níveis, estas foram exportadas com os dados de elevação para o ambiente CAD. Por meio destas curvas com informação de elevação, pôde-se delimitar as microbacias (MB) na área de estudo por estação total e SRTM.

A partir da elevação por estação total foram geradas 5 microbacias, Figura 16, todas as MB escoam em direção ao rio Ipixuna. A maior bacia é a MB1, e sua delimitação passa em todos os bairros da área de estudo, engloba desde o ponto mais alto no setor João Paulo II, onde tem a nascente do rio que percorre ao meio da MB1, até o ponto mais baixo da MB1, de acordo com essa morfometria essa microbacia tem uma declividade acentuada.

Figura 16 – Microbacias Estação Total



Fonte: Autora (2022).

A partir da imagem SRTM foram delimitadas 6 microbacias, uma a mais em relação a estação total. Porém, apresentou a MB1 com características semelhantes a MB1 da estação total, sendo a maior bacia, com declividade acentuada e passando em todos os setores, Figura 17.

Figura 17 – Microbacias SRTM



Fonte: Autora (2022).

Praticamente todas as MB por SRTM tiveram seu escoamento em direção ao rio Ipixuna, excetuando-se a MB5, a qual situa-se entre o setor Centro e Vila Nova, que apresenta uma região de vale, suscetível a alagamentos. As áreas das MB podem ser verificadas no Quadro 2, a MB1 por SRTM, praticamente coincide em tamanho com a MB1 por estação total.

Quadro 2: Área das MB (ha)

	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6
Estação Total	109,54	12,24	8,61	22,07	20,89	-
SRTM	109,40	6,63	10,79	18,94	8,06	19,53

Fonte: Autora (2022).

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada comparando a altitude levantada por estação total e por imagem SRTM. Para esta análise, os pontos de altimetria do SRTM foram extraídos, com base nos pontos georreferenciados da Estação Total importados para o QGIS, onde se sobrepõem à imagem SRTM e determinou-se a altitude de cada ponto.

Assim, foi possível analisar e comparar os valores obtidos com aplicação da estatística descritiva em toda área, para cada setor (conforme a divisão dos bairros) e, posteriormente, na área selecionada como objeto de estudo para o dimensionamento da rede de microdrenagem. No Quadro 3, são apresentados os valores de altitude máximas, mínima, amplitude, média, desvio padrão para cada fonte de levantamento, considerando a sede municipal.

Quadro 3 – Estatística Descritiva

Variáveis Estatísticas	Estação Total	SRTM
Tamanho da amostra	8375	8375
Máximo	71,35	69,13
Mínimo	30,78	41,95
Amplitude	40,57	27,18
Média aritmética	45,29	47,91
Variância	54,10	38,82
Desvio padrão	7,35	6,23

Fonte: Autora (2022).

Trabalhou-se com 87% da totalidade dos pontos que ainda sim estavam uniformemente espacializados na área de estudo. Para as altitudes mínimas e máximas foram, respectivamente, 30,78 e 71,35 metros com a estação total, e para o uso da imagem SRTM, 41,95 e 69,13 metros. A maior diferença foi na cota mínima, que no MDT_{Estação} o valor cotado foi 30,78 metros e no MDT_{SRTM}, 41,95 metros, isso consequentemente afetou os outros resultados, na média aritmética (45,29 e 47,91) e variância (54,10 e 38,82), respectivamente para MDT_{Estação} e MDT_{SRTM}. No caso do desvio padrão, o resultado foi mais próximo, de 7,35 e 6,23, para o MDT_{Estação} e MDT_{SRTM}, respectivamente.

Essa discrepância na cota mínima pode ter ocorrido por diversos fatores, como presença de nuvens, a presença de árvores devido os locais dessa menor cota estarem mais próximos ao rio da cidade, além disso, Chagas *et al* (2010) cita ruídos nos processos de aquisição e transferência de dados, erros na geometria da órbita.

Apesar disto, o erro padrão da amostra foi de 2,47 não sendo considerado um valor discrepante para análise, considerando o tamanho amostral. Por meio do coeficiente de correlação de Pearson, obteve-se o resultado de 0,92. Conforme a classificação de Hopkins (2000) a correlação é “quase perfeita”. Com relação ao erro, este obteve o RMSE 2,47m. Um resultado satisfatório, mostrando que há uma boa relação entre as duas fontes de levantamento, o que possibilita a aplicação em projetos de engenharia (ELKHRACHY,2018).

A amplitude de 40,57 para o MDT_{Estação} e 27,18 para o MDT_{SRTM}, tais valores significam que há desnível de terreno. Esta amplitude mostra que o desnível é maior por estação total em relação ao SRTM. Isto fomenta a importância de avaliar a área de estudo dividindo-a, e essa análise partirá da divisão que a mesma já possui: 5 setores político-administrativo. Assim, pretende-se verificar onde há a melhor correlação dos pontos cotados, se em terreno planos ou com declividade acentuada.

O resultado da análise estatística descritiva para cada setor, apresenta-se no Quadro 4. Neste, o setor João Paulo II apresenta uma amplitude maior e a variância dos pontos cotados também é a maior em relação aos outros setores, representando a maior dispersão de dados em torno da média aritmética. Neste sentido, caracterizando a área de maior declividade.

Quadro 4 – Estatística Descritiva dos Setores da Sede de Ipixuna do Pará

	Centro		Vila Nova		João Paulo II		Berro D'água		Paraúba	
Área (ha)	76,14		51,87		30,52		6,96		7,85	
Fonte	SRTM	Estação Total	SRTM	Estação Total	SRTM	Estação Total	SRTM	Estação Total	SRTM	Estação Total
Tamanho da Amostra	3198	3198	2096	2096	1994	1994	511	511	576	576
Máximo	55,79	55,08	47,76	47,70	69,13	71,35	57,01	57,94	57,01	55,37
Mínimo	41,95	32,47	41,95	30,78	41,95	35,95	50,83	47,78	43,32	38,94
Amplitude	13,84	22,60	5,81	16,92	27,18	35,40	6,18	10,16	13,70	16,44
Média aritmética	46,87	43,99	43,00	39,27	52,59	51,32	54,74	52,36	49,35	47,20
Variância	18,24	21,88	2,19	20,61	67,85	72,43	1,41	2,99	6,37	21,60
Desvio padrão	4,27	4,68	1,48	4,54	8,24	8,51	1,19	1,73	2,52	4,65

Fonte: Autora (2022).

Para os demais setores (Centro, Vila Nova, Berro D'água e Paraúba) as amplitudes foram menores, notando-se setores com declividade menores. O Berro D'água caracterizou-se como setor mais plano, com variância de 1,41 para o MDT_{SRTM} e 2,99 para o MDT_{Estação}, apesar de apresentar um desvio padrão semelhante entre as

duas fontes de levantamento, quando calculada a correlação entre os pontos, este setor apresentou o menor (R), de 0,62.

No entanto, não aconteceu com João Paulo II e Centro que também obtiveram um desvio padrão semelhante, porém estes dois tiveram o maior índice de correlação: 0,94 e 0,87, respectivamente.

Tal divergência nesses dois fatos pode explicado em virtude da limitação de área para o uso do SRTM que possui resolução espacial de 30 metros e acaba gerando resultados incoerentes em algumas partes (GRAOSQUE, 2018), como aconteceu nos setores de menores áreas: no Berro D'água, área de 6,96 ha, e também no Paraúba, o qual obteve a segunda menor correlação, de 0,71, e área de 7,85 ha.

A classificação dos setores em relação a correlação dos seus pontos ficou da seguinte forma, Quadro 5, no setor João Paulo II foram verificadas cotas de maior elevação e o melhor resultado: uma correlação quase perfeita. Tal fato pode ser explicado, devido pouca presença de vegetação no bairro, que por vezes pode interferir na obtenção da altimetria pelo SRTM.

Quadro 5 – Correlação de Pearson nos Setores

Setores	Coeficiente (R)	Classificação
João Paulo II	0,94	Quase perfeita
Centro	0,87	Muito alta
Vila Nova	0,78	Muito alta
Paraúba	0,71	Muito alta
Berro D'água	0,62	Alta

Fonte: Autora (2022).

4.5 DIMENSIONAMENTO DA REDE DE MICRODRENAGEM

4.5.1 Área de projeto da microdrenagem

Para projeto de drenagem a altimetria de satélite deve ser o mais próximo da realidade, assim como o dado da estação total obtido *in loco*. Com base na análise estatística realizada, verificou-se dois setores que obtiveram os melhores resultados: João Paulo II e Centro.

Logo, a escolha iniciou-se avaliando-se estes dois setores. Em seguida, realizou-se a sobreposição das microbacias, Figura 18, a fim de examinar microbacias sobrepostas nos setores de maior correlação.

Figura 18 – Microbacias Estação Total e SRTM



Fonte: Autora (2022).

Assim, nos setores abordados, as microbacias que tinham delimitação semelhantes no setor João Paulo II eram as MB 3, por estação total a área da MB3 é 8,61 ha, por SRTM, 10,79 ha. No setor Centro as semelhanças estavam na MB5, por estação, abrange uma área de 20,89 ha; e a MB6 que por SRTM contorna 19,53 ha.

Quanto às características abordadas, estas estavam semelhantes, por isso para escolher a área de projeto um critério importante foi verificar o local mais propenso a alagamentos. Desse modo, o local escolhido foi no setor Centro, que possui maior vulnerabilidade a alagamentos, por ser o local mais urbanizado.

Na MB5 ainda foi realizado um recorte, a área de projeto foi então de 14,52 ha. A espacialização dos pontos altimétricos ficou da seguinte forma, Figura 19. Ademais, nesta área aplicou-se também a estatística descritiva e a correlação de Pearson, conforme o Quadro 6.

Figura 19 – Área de Projeto da Microdrenagem



Fonte: Autora (2022).

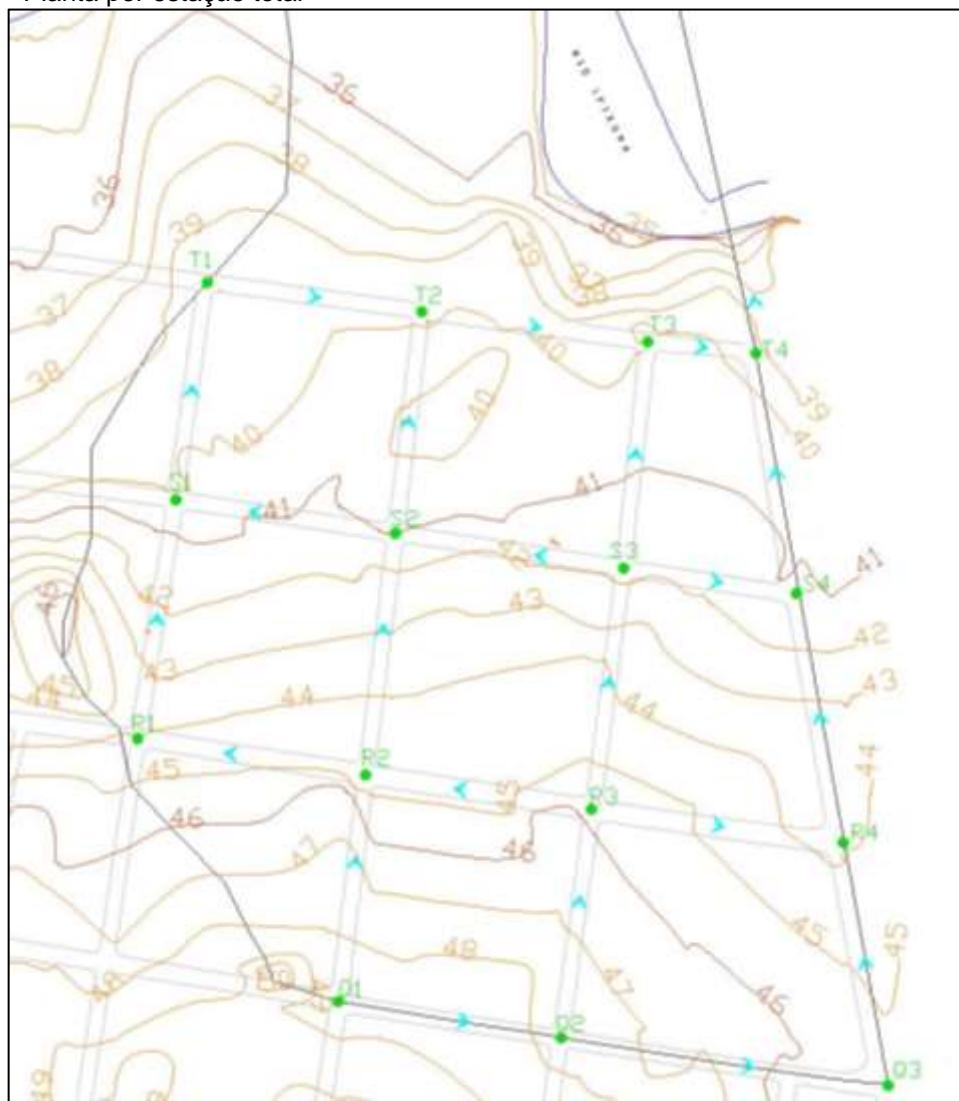
Quadro 6 – Estatística descritiva e Correlação de Pearson

Variáveis Estatísticas	Estação Total	SRTM
Tamanho da amostra	867	867
Máximo	51,00	51,32
Mínimo	32,47	41,95
Amplitude	18,53	9,37
Média aritmética	42,93	44,46
Variância	8,52	4,68
Desvio padrão	2,92	2,16
Coeficiente (R)	0,81	
RMSE	1,27 m	

Fonte: Autora (2022).

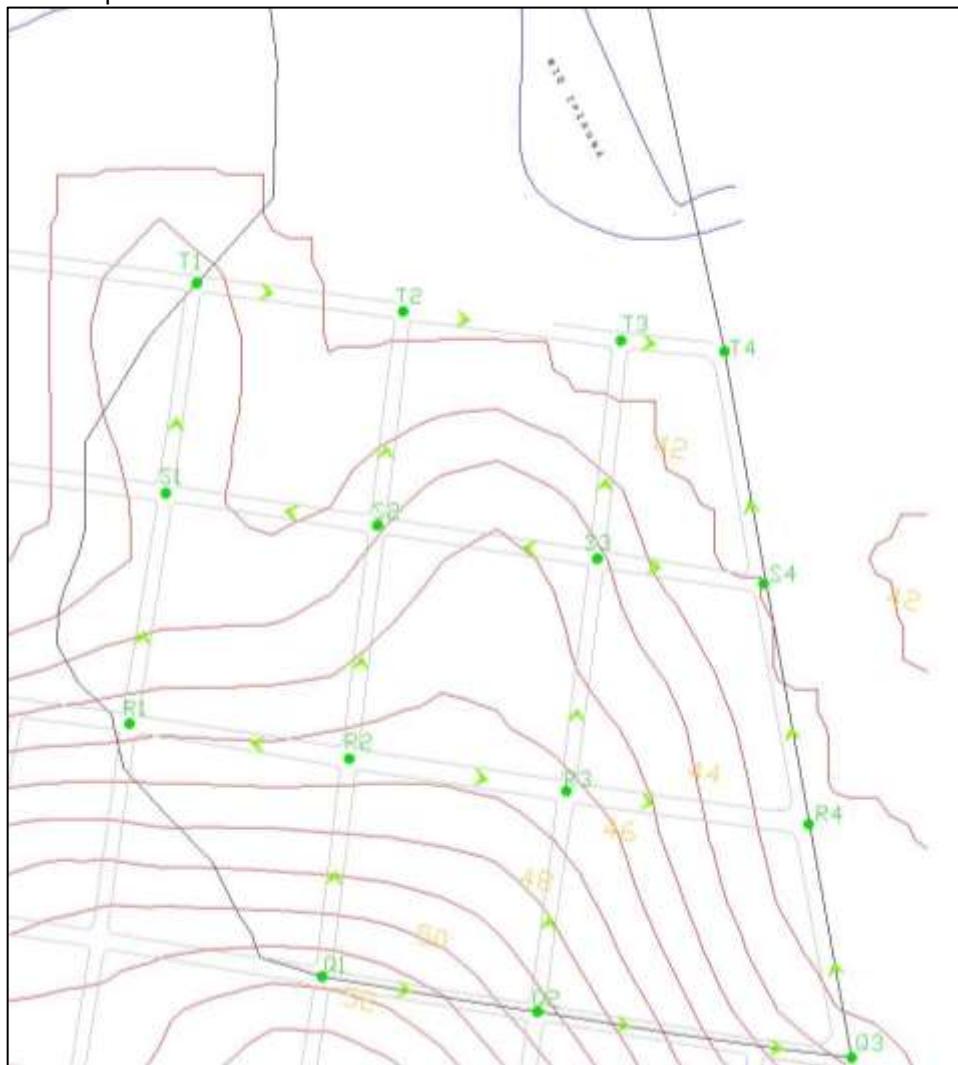
No ambiente AutoCAD iniciou-se a caracterização dos trechos do ponto de maior elevação (Q1) até chegar ao exutório (T4), onde o lançamento das águas pluviais se deu no rio Ipixuna. Na planta também foi indicado o sentido do escoamento por meio das setas, na Figura 20 apresenta-se como se organizou esta etapa utilizando a altimetria por estação total e a Figura 21, por SRTM.

Figura 20 – Planta por estação total



Fonte: Autora (2022).

Figura 21 – Planta por SRTM



Fonte: Autora (2022).

A partir da caracterização na planta realizada no AutoCAD, verificou-se 22 trechos, e estes foram organizados no *Excel*, colocando cotas montante e jusante, extensão dos trechos, com essas informações os desníveis e as declividades longitudinais de cada trecho foram calculados, para estas declividades realizou-se o teste para verificar se as mesmas obedeciam ao critério de declividade mínima de 0,004m/m.

Em alguns trechos necessitou-se fazer pequenas alterações referentes as cotas para se chegar ao valor mínimo. O Apêndice A e B mostram as planilhas organizadas para tais procedimentos na planilha do *Excel*. A próxima etapa foi calcular as vazões de projeto das sarjetas.

4.5.2 Vazão de Projeto (Q_p)

A vazão por meio do método racional precisa de três variáveis: o coeficiente de escoamento superficial, a intensidade pluviométrica e a área. O coeficiente calculou-se a partir da média ponderada, onde a área de projeto foi dividida em duas classes: vias pavimentadas e área residencial, e conforme a classificação de Chow (1964), para via de pavimento asfáltico adotou-se um C de 0,90; e para área residencial, considerou-se uma área de prédios unifamiliares, e admitiu-se um C de 0,40.

O Quadro 7 apresenta os valores dos coeficientes de acordo com a superfície seguidos de suas respectivas áreas, e o resultado do coeficiente médio ponderado.

Quadro 7 – *Runoff* da área de projeto

Classe	“C”	Área (ha)	A*C
Área residencial	0,40	12,02	4,808
Via pavimentada	0,90	2,50	2,25
Somatória		14,52	7,058
Coeficiente ponderado			0,49

Fonte: Autora (2022).

A área de projeto, inserida no centro da cidade de Ipixuna do Pará, é uma região urbanizada, mas ainda possui muitas áreas livres, com muita vegetação, o que resultou um *runoff* de 0,49. A classificação de Wilken (1978), Tabela 7, ratifica o valor calculado, sendo a área de estudo inserida na zona de edificação com muitas superfícies livres.

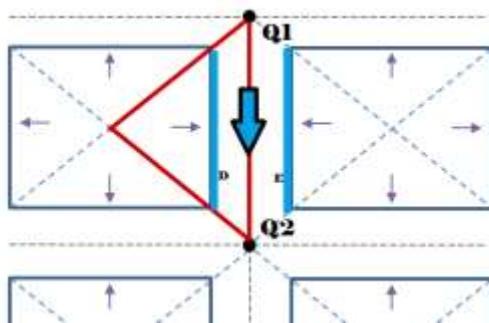
Tabela 7 – Valores de C conforme as características da bacia

Ocupação do solo	C
EDIFICAÇÃO MUITO DENSA: Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com rua e calçadas pavimentadas	0,70 a 0,95
EDIFICAÇÃO NÃO MUITO DENSA: Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com calçadas e ruas pavimentadas	0,60 a 0,70
EDIFICAÇÃO COM POCAS SUPERFÍCIES LIVRES: partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 a 0,60
EDIFICAÇÃO COM MUITAS SUPERFÍCIES LIVRES: Partes residenciais, ruas macadamizadas ou pavimentadas, mas com muitas áreas verdes	0,25 a 0,50
SUBÚRBIOS COM ALGUMA EDIFICAÇÃO: Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construções	0,10 a 0,25
MATAS, PARQUES E CAMPOS DE ESPORTES: Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados e campos de esportes sem pavimentação	0,05 a 0,20

Fonte: Wilken (1978)

A área, para efeito de cálculo da vazão, refere-se à área de contribuição, esta por sua vez, depende das condições topográficas. Considerando que a rua tem a forma “abaulada”, no meio da via há um ponto mais alto, que leva a água escoar para dois lados (direito e esquerdo). Na Figura 22, em destaque a área de contribuição demarcada em vermelho, do trecho Q1–Q2 lado direito, exemplifica como ocorreu esse processo.

Figura 22 – Esquema



Fonte: Autora (2022).

Assim, o dimensionamento do trecho contou com estes dois lados, ou seja, duas sarjetas, também direita e esquerda. Para se chegar no resultado da vazão, foram determinados o comprimento do ponto mais distante até a seção sarjeta (L_q), as áreas de contribuição, ambos verificados em planta; o período de retorno já estabelecido de 2 anos; foram calculados velocidade, tempo de concentração, a intensidade pluviométrica, até chegar na vazão de projeto, na Figura 23 verifica-se como se organizou estes cálculos para o trecho inicial, e procedeu-se da mesma forma para os demais trechos.

Figura 23 – Etapas para vazão de projeto

Trecho	Sarjeta	Cota do terreno		Extensão (m)	Decliv. (m/m)	L_q (m)	n	$V(1)$ (m/s)	t_e (min)	t_p (min)	t_c (min)	T (anos)	I (mm/h)	C	A (ha)	Q (l/s)
		Mont	Jus													
Q1 - Q2	Q1 - Q2 - D	48,4	47,6	119,71	0,007	54,82	0,016	0,97	4,37	2,07	16,43	2	111	0,49	0,36	54,13
	Q1 - Q2 - E	48,4	47,6	119,71	0,007	56,30	0,016	0,97	4,42	2,07	16,49	2	111	0,49	0,36	53,70

Fonte: Autora (2022).

Após o cálculo das vazões de projeto, verificou-se a capacidade da sarjeta com base nas características adotadas. Por meio destes dados verificou-se a necessidade de implantação das bocas de lobo. Para tal avaliação, comparou-se a

vazão de projeto em relação à capacidade de escoamento das sarjetas. Caso Q_p fosse superior a capacidade da sarjeta, estabelecia-se a necessidade mencionada. Além de outros considerados, como a colocação de bocas de lobo em cruzamentos de via.

Com a definição da necessidade de boca de lobo, dimensionou-se a rede de galerias e os poços de visita. Os trechos da rede de microdrenagem foram direcionados para a rede de drenagem natural: o rio Ipixuna. Em alguns trechos a cota montante era menor que a cota jusante, nestes casos realizou-se a sugestão de correção, com corte ou recobrimento no local da cota para adequação da direção do escoamento da água.

Para o dimensionamento das galerias por estação total, a extensão da rede foi de 1,01 km, os diâmetros da tubulação variaram dos 500 mm estabelecidos inicialmente até 1000 mm. Por SRTM a rede foi um pouco maior: 1,26 km, os diâmetros variaram de 500 mm até 1200 mm. A adoção de diâmetros superiores a 500 mm se faz necessária em alguns trechos para o funcionamento como conduto livre. O dimensionamento da rede de galeria de toda área do projeto por estação total encontra-se no Apêndice C e no Apêndice D a rede por SRTM.

Nos condutos dimensionados com estação total, a velocidade variou de 1,58 m/s a 2,77 m/s, e a vazão de projeto no último trecho foi de 2,03 m³/s. Com SRTM, a velocidade mínima foi de 0,99 mm/s e a máxima de 2,13 m/s, e a vazão de lançamento foi de 2,04 m³/s.

Esses dois projetos foram levantados na mesma área de 14,52 ha, mas verificou-se essas diferenças abordadas acima. Como já mencionado, o método utilizado para vazão de projeto foi o método racional, o qual necessita de três variáveis: o coeficiente de escoamento superficial, a área e a intensidade pluviométrica. Estes dois primeiros, não sofrem alteração quando se muda do método de levantamento da topografia do local, mas a intensidade pluviométrica sofre alteração.

Para determinação dessa intensidade de chuva dois fatores são essenciais: o tempo de retorno e o tempo de concentração, este tempo de retorno foi comum no dimensionamento dos dois projetos, para o qual adotou-se 2 anos. A questão para mudança da vazão de projeto, por estação total e SRTM, é o tempo de concentração.

Gribbin (2016) expõe essa questão, se duas bacias têm a mesma área e cobertura de solo, mas diferentes formas, elas terão diferentes tempos de concentração. Esse tempo interfere na intensidade pluviométrica e, por conseguinte,

na vazão. Isso verificou-se no dimensionamento desta rede de microdrenagem, na Figura 24 – Dimensionamento trecho Q1-Q2 por EstaçãoFigura 24 mostra as etapas para o dimensionamento utilizando o levantamento da altimetria por estação total até se obter a vazão de projeto na sarjeta e na Figura 25 o mesmo processo utilizando altimetria por SRTM.

Figura 24 – Dimensionamento trecho Q1-Q2 por Estação

Trecho	Sarjeta	Cota do terreno		Extensão (m)	Decliv. (m/m)	Lq (m)	n	V (m/s)	te (min)	tp (min)	tc (min)	T (anos)	I (mm/h)	C	A (ha)	Q (l/s)
		Mont	Jus													
Q1 - Q2	Q1 - Q2 - D	48,40	47,60	119,7	0,007	54,8	0,016	0,97	4,37	2,07	16,43	2	111,23	0,49	0,36	54,13
Q1 - Q2	Q1 - Q2 - E	48,40	47,60	119,7	0,007	56,3	0,016	0,97	4,42	2,07	16,49	2	111,07	0,49	0,36	53,70

Fonte: Autora (2022).

Figura 25 – Dimensionamento trecho Q1-Q2 por SRTM

Trecho	Sarjeta	Cota do terreno		Extensão (m)	Decliv. (m/m)	Lq (m)	n	V (m/s)	te (min)	tp (min)	tc (min)	T (anos)	I (mm/h)	C	A (ha)	Q (l/s)
		Mont	Jus													
Q1 - Q2	Q1 - Q2 - D	51,80	49,30	119,7	0,021	54,8	0,016	1,71	3,35	1,17	14,51	2	117,52	0,49	0,36	57,20
Q1 - Q2	Q1 - Q2 - E	51,80	49,30	119,7	0,021	56,3	0,016	1,71	3,39	1,17	14,56	2	117,38	0,49	0,36	56,75

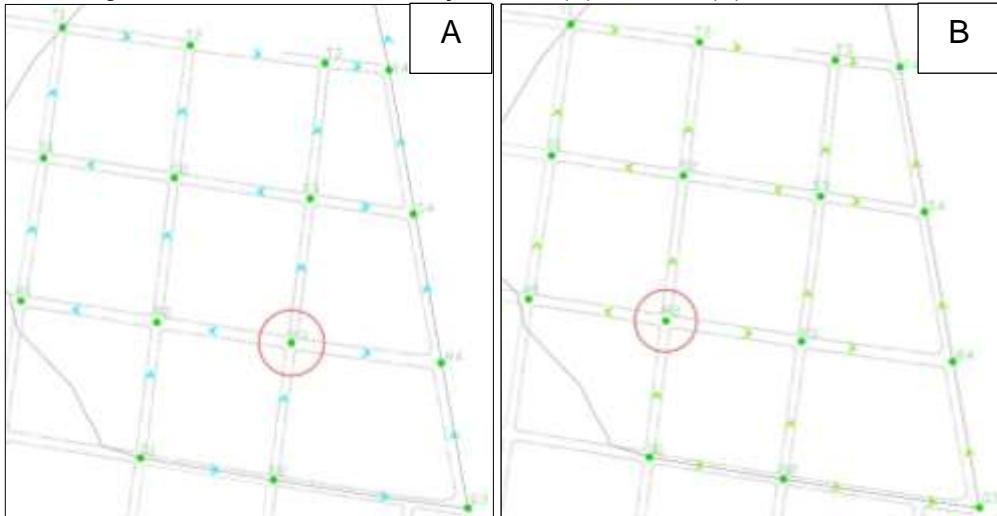
Fonte: Autora (2022).

A declividade do terreno modificou-se de acordo com as cotas de montante e jusante, e a variável afetou diretamente a velocidade, a qual interferiu nos demais cálculos: no tempo de percurso, por conseguinte, no tempo de concentração, este por sua vez, interferiu na intensidade pluviométrica.

Estas alterações afetaram a vazão já no primeiro trecho, no entanto, apesar de ter obtido uma velocidade quase o dobro no dimensionamento utilizando a altimetria por SRTM em relação ao dimensionamento com estação total, estas diferenças ocorreram ao longo de todos os trechos, mas apesar dessas divergências, as vazões de lançamento nos dois projetos foram praticamente as mesmas de aproximadamente 2 m³/s.

Em relação aos diâmetros ao longo da rede de galeria por SRTM estes variaram um pouco em relação à rede dimensionada por estação total, isso se deve à cota do terreno estar diferente, a Figura 26 destaca os pontos em que acontece a divisa das águas no trecho, causando a mudança no sentido do escoamento, consequentemente afetando a quantidade do volume de água nos condutos.

Figura 26 – Divergência de declividade – Estação Total (A) e SRTM (B)



Fonte: Autora (2022).

Apesar das diferenças que ocorreram, de uma forma geral, o dimensionamento da rede de microdrenagem utilizando dados de altimetria obtidos por imagem de satélite foi semelhante à rede dimensionada por dados altimétricos obtidos da forma tradicional pela estação total.

Nesta pesquisa o ponto mais crítico foi na menor cota por SRTM de 41,95 metros comparada à estação total, de 30,78 metros, uma diferença de 11,17 metros, uma diferença que está dentro do panorama de erros altimétricos, como no estudo de Rodriguez *et al.* (2006) para América do Sul 90% dos pontos analisados apresentaram erro altimétrico inferior a 9 metros, e segundo a USGS (2005) a exatidão vertical esperada para os dados do SRTM é de ± 16 m.

Em caso de urgência para aquisição de dados de altimetria, o levantamento por imagem de satélite é uma opção a ser considerada, principalmente para áreas pequenas e locais de difícil acesso, e preferencialmente para áreas mais planas, a resolução espacial da imagem 30 metros foi satisfatória nessa pesquisa, e ainda sim existem imagens com resolução melhor, algumas pagas que oferecem a qualidade da imagem em centímetros, e outras obtidas de forma gratuita que estão sendo aprimoradas, é o caso da imagem ALOS PALSAR com resolução espacial de 12,5 metros, que ainda em processo de aprimoramento, conforme Orlando (2019), tem a qualidade parecida com a SRTM de 30 metros.

É importante salientar que no dimensionamento de uma rede de drenagem mesmo que seja pequena, é essencial a obtenção de um modelo digital de elevação

de alta resolução, fundamental para aprimorar e dar maior veracidade ao resultado final. A ponderação nos custos de se obter os dados altimétricos é importante, verificar a opção mais vantajosa e viável para cada situação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um projeto de microdrenagem é importante o levantamento de informações do local *in loco*, porém existem situações que exigem rapidez para entrega de uma proposta para um possível projeto.

A utilização da imagem de radar com resolução de 30 metros apresentou algumas dificuldades na obtenção da altimetria em certas áreas: nos bairros mais arborizados; principalmente nos pontos próximos ao rio Ipixuna. Outro ponto foi na geração das curvas de níveis, que não atingiu toda área de estudo, isso pode ter sido ao fato da área ser pequena, 1,73km², isso pode ter dificultado o processamento da imagem no software de geoprocessamento.

Apesar destas dificuldades, em relação ao levantamento topográfico altimétrico por estação total, a imagem SRTM demonstrou resultados satisfatórios para se projetar uma rede drenagem para áreas pequenas.

Por meio de métodos estatísticos, chegou-se nesse resultado satisfatório, com a validação da correlação entre os pontos preditos e os observados em uma área de 14,52 ha, referente a uma microbacia, resultando no índice de correlação de Pearson de 0,81, uma correlação “muito alta”; além de apresentar o RMSE de 1,27 m.

No dimensionamento das galerias os diâmetros no projeto com estação total variaram de 500 mm até 1000 mm, com extensão de rede de aproximadamente 1 km; com SRTM a rede teve uma extensão de 1,26 km e os diâmetros ficaram de 500mm a 1200mm, logo a rede dimensionada não ficou nem subdimensionada nem superdimensionada, ficou próximo à realidade. Em ambos os casos a vazão de lançamento no canal ficou de aproximadamente 2 m³/s.

Desse modo, apesar de algumas dificuldades na obtenção da altimetria por imagem de radar, verificou-se que é viável utilizá-la para levantamento da altimetria para áreas pequenas, não excluindo a importância do levantamento em campo, pois por meio deste obtém-se características mais detalhadas do local.

Para um projeto de microdrenagem, a integração das tecnologias com o levantamento *in loco* pode-se alcançar a riqueza de detalhes e garantia na qualidade final, além de ser uma forma de auxiliar o trabalho de campo principalmente em localidades desprovidas de recursos e corpo técnico.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Gustavo Henrique Tonelli Dutra de; MASINI, Letícia Santos; MALTA, Luiz Ricardo Santos. **Hidrologia e Drenagem**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. 200 p.
- ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S. D.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. **Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57, 2010.
- ARUM, P.V. A comparative analysis of different DEM interpolation methods. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, v. 16, p. 133–139, 2013.
- ASSIS, Isabella do Carmo; ELMIRO Marcos Antônio Timbó. Fotogrametria Terrestre Digital Na Amostragem De Mina Subterrânea: Exame Comparativo Com Técnicas Tradicionais. *Revista Brasileira de Cartografia*, N° 65/4, p. 661-671, 2013.
- AYRES, Manuel. **Elementos de bioestatística**: a seiva do açaizeiro. Belém: Ione Sena, 2011.
- AZEVEDO, J. M. N.; FERNÁNDEZ, Miguel Fernández y. **Manual de Hidráulica**. 9 ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2015.
- BARBOSA, Claudio Clemente Faria; DE MORAES NOVO, Evelyn Marcia Leão; MARTINS, Vitor Souza (Ed.). **Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos: princípios e aplicações**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019.
- BARBOSA, Maria José de Sousa; REIS, Adebaro Alves dos; MACIEL, Alanne Barbosa; ALMEIDA, Valéria Farias de; SILVA, William Costa; NUNES, Géssica Rafaela Guimarães; CRUZ, Wilk Cardoso. **Território Nordeste Paraense: desenvolvimento sustentável e gestão estratégica dos territórios rurais no Estado do Pará**. Belém: UFPA/MDA, 2011. 67 p. (Relatório Analítico).
- BARIANI, Cassiane Jrayj de Melo Victoria; BARIANI, Nelson Mario Victoria. **Aplicação de dados SRTM para a caracterização de microbacias hidrográficas urbanas**. Geografia Ensino & Pesquisa, v. 20, n. 2, p. 135-146, 2016.
- BARROS, Mario Thadeu Leme de. Drenagem Urbana: Bases Conceituais e Planejamento. In: PHILIPPI JUNIOR, Arlindo. **Saneamento, Saúde e Ambiente**: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri, SP: Manole, 2005. cap 7.
- BASTOS, Gilbert R. **Drenagem Urbana**. Belém: Ed. Universitária/UFPA, 1999.
- BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; VOLPE, C. A.; PEREIRA, G. T. Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal, SP, pela distribuição de Gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.11, p.141-147, 2003.

BATISTA, José Anderson do Nascimento; BOLDRIN, Andressa Juliana. **Evaluation of the hydraulic performance of an urban stormwater drainage system.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 2, p. 263-273, 2018.

BORGES, A. C. **Topografia Aplicada A Engenharia Civil.** Vol. 1 - 3^a Ed. 2013

BRASIL. Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 15 jun. 2019.

BRASIL, Joildes. Contribuições da geomorfologia aplicada no planejamento da drenagem urbana: estudo de caso do município de Goiânia, Goiás, Brasil. *Revista Entre-Lugar*, v. 7, n. 13, p. 50-64, 2016.

BRITO, Tainara Ramos da Rocha Lins de. **Modelagem hidrológica e hidráulica a partir de dados TRMM aplicada a análise de risco em áreas inundáveis: estudo de caso no município de Atalaia.** 2017. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Faculdade de Medicina, Universidade de Alagoas, Maceió, 2017.

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

CASALLAS, W. P.; THIRIAT, W. G. & SARMIENTO, E. S. (2008). Algunos métodos de interpolación para generar un modelo digital de elevación. *Revista De Topografía AZIMUT*, v. 2, p. 18-24, 2008.

CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; ROCHA, M. F.; CARVALHO JÚNIOR, W. D.; SOUZA Neto, N. C. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 218-226, 2010.

CHANG, Tsang-Jung; WANG, Chia-Ho; CHEN, Albert S. A novel approach to model dynamic flow interactions between storm sewer system and overland surface for different land covers in urban areas. *Journal of Hydrology*, v. 524, p. 662-679, 2015.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Hidrología aplicada.** Santa Fé de Bogotá (Colômbia): McGraw-Hill. p. 584, 1994.

CORDEIRO, I. M. C. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; SCHWARTZ, G.; OLIVEIRA, F. de A. (Org.). **Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias.** Belém, PA: EDUFRA, 2017.

CORRÊA, Nelison Ferreira; RIBEIRO, Vinícius de Oliveira; MIOTO, Camila Leonardo; PARANHOS FILHO, Antônio Conceição. **Obtenção de MDE Corrigido para Delimitação de Bacia Hidrográfica com Auxílio de Geotecnologias Livres.** Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, v. 40, p. 217 – 225, 2017.

DAEE/CETESB. **Drenagem Urbana.** 2^a ed. São Paulo (SP), 1980.

DA SILVA, Antônio Santiago; SANTIAGO, Oberdan Rafael Pugoni Lopes; DA SILVA, Claudionor Ribeiro. Análise de exatidão entre MDEs: AW3D, SRTM-30m e Projeto SPMGGO50. *Geografia (Londrina)*, v. 27, n. 2, p. 87-98, 2018.

DAIBERT, Joao Dalton. **Topografia Técnicas e Práticas de campo.** 2 ed. Editora Saraiva, 2018.

DEP/IPH – Departamento de Esgotos e Águas Pluviais de Porto Alegre, Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre, Manual de Drenagem Urbana Volume VI. Porto Alegre, 2005.

DSG - DIRETORIA DE SERVIÇOS GEOGRÁFICOS. **Norma da Especificação Técnica Para Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais.** 2. ed. Brasília, 2016.

FEIJOO, A. M. L. C. de. Correlação. In: **A pesquisa e a estatística na psicologia e na educação.** Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisa Sociais, 2010. p. 70–77.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). *Revista Política Hoje*, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. Imagens de satélite para estudos ambientais. In: **Imagens de satélite para estudos ambientais.** 2002.

IOANNIDIS, C.; XINO GALAS, E.; SOILE, S. Assessment of the global digital elevation models ASTER and SRTM in Greece. *Survey Review*, v. 46, n. 338, p. 342-354, 2014.

MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins; COSTA, Alfredo Ribeiro. Verificação do dimensionamento das galerias de águas pluviais em uma sub-bacia do Córrego Botafogo na cidade de Goiânia-GO. *REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 4, n. 1, 2012.

DE OLIVEIRA, Janaina Gouveia. **Comparativo entre topografia clássica x RTK para locações de obras.** e-RAC, vol. 6. n. 1, 2017.

DE SOUZA, Leonardo Andrade; SOBREIRA, Frederico Garcia. Bacia Hidrográfica do Ribeirão Do Carmo: Atributos Morfométricos, Equação de Chuva Intensa e Tempo de Concentração, e Análise Da Suscetibilidade a Inundação. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, n. 7, 2017.

DE SOUZA, Vitória Bittencourt; DAL FARRA, Ricardo Ângelo. Estudo do software hec-hms para aplicação da modelagem matemática hidrológica em uma bacia hidrográfica. *Revista de Iniciação Científica da ULBRA*, v. 1, n. 15, 2017.

ELKHRACHY, Ismail. Vertical accuracy assessment for SRTM and ASTER Digital Elevation Models: A case study of Najran city, Saudi Arabia. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 9, n. 4, p. 1807-1817, 2018.

FAPESPA – FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS. **Anuário Estatístico do Pará 2018**. 2018. Disponível em: <http://www.fapespa.pa.gov.br/menu/158>. Acesso em: 20 mar. 2019.

FÁTIMA, M.; CABRAL, J. J. S. P. Impacto na Saúde por Deficiência de Drenagem Urbana no Município de Jucurutu—RN. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2013, 18: 181-191.

GAROTTI, Leonardo Monteiro; BARBASSA, Ademir Paceli. **Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 15, n. 1, p. 19-28, 2010.

GRAOSQUE, Jones Zamboni. **Mapeamento das áreas de inundação utilizando imagens C-SAR e SRTM, nas províncias de Santa Fé e Entre Ríos, Argentina**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

HOPKINS, W. G. Correlation coefficient: a new view of statistics. 2000. Disponível em: <https://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>. Acesso em: 15 fev. 2022.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. <https://cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?codmun=150345> acesso em: 15 ago. 2019.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA. **TOPODATA** Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 15 fev. 2019.

IPIXUNA DO PARÁ. **História**. 2017. Disponível em: **Erro! A referência de hiperlink não é válida..** Acesso em: 15 fev. 2019.

KRÜGER, Larissa Miranda; ALMEIDA, Danilo Guimarães. **Projeto E Orçamento De Sistema De Drenagem Pluvial Na Avenida Alameda Barrinha, Localizada No Município De Rio Verde/Go**. GTS-Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade, v. 2, n. 2, p. 1-16, 2019.

LIRA, Bruna; FERNANDES, Lindemberg Lima; BITTENCOURT, Germana Menescal. **ESTIMATIVA DA VAZÃO MÁXIMA DOS SETORES DA CIDADE UNIVERSITÁRIA PROFESSOR JOSÉ DA SILVEIRA NETTO**. *Revista GeoAmazônia*, v. 7, n. 13, 2019.

LOPES, lug. **Caracterização Morfométrica E Uso Do Solo Da Bacia Hidrográfica Do Rio Pontal**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Geografia, Universidade de Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, Bahia, 2016.

MARQUES, G. R.; SOUZA, Pablo Georgio. Georreferenciamento de Imóvel Rural Utilizando Drone (ARP). *Brazilian Journal of Technology*, v. 2, p. 424-438, 2019.

MELLO, C. D., Ferreira, D. F., Silva, A. M., & Lima, J. M. Análise de modelos matemáticos aplicados ao estudo de chuvas intensas. *Revista brasileira de ciência do solo*, v. 25, n. 3, p. 693-698, 2001.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; MELLO, J. M.; SILVA, A. M. **Continuidade espacial de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais**. Ciência e Agrotecnologia, v.32, p.532-539, 2008.

MENDES, J. M.; PACIÊNCIA, L. G. M.; SANTOS, F.A.; AQUINO, C. M. S. Análise morfométrica da Microbacia do riacho Riachão, no Parque Nacional de Sete Cidades, Nordeste do Brasil. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 2, p. 480-490, 2016.

MESQUITA, Daniel Alvino. **Análise Comparativa De Modelos Digitais De Terreno (Mdt) Como Apoio No Dimensionamento De Projetos De Saneamento**. 2019. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

MIGUEZ, Marcelo; REZENDE, Osvaldo; VERÓL, Aline. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

MOKUOLU, O. A.; COKER, A. O.; ADEJUMO, M.; SRIDHAR, M. K. C. Modeling a covered drainage system for the reduction of malaria prevalence. *Ain Shams Engineering Journal*, v. 9, p. 1647-1651, 2017.

NETER, J.; KUTNER, M. N.; NACHTSSHEIM, C. J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models**. 4th ed. Boston: WCB/McGraw-Hill, 1996. 791 p.

NUNES, Fabrizia Gioppo; FIORI, Alberto Pio; FIRPO, Giacomo. **Estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio atuba: curitiba e região metropolitana paraná/brasil**. Boletim Paranaense de Geociências, 2011, 65.

OLIVEIRA, L. F. C.; ANTONINI, A. A.; GRIEBELER, N. P. **Estimativa de chuvas intensas para o Estado de Goiás**. Engenharia Agrícola, v.28, p.22-33, 2008.

ORLANDO, Francisco Cristiano. **Análise da potencialidade do uso de MDE global em trabalho de grande escala ao longo de todo o território brasileiro**. 2019. Dissertação (Mestrado em Cartografia) – Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica, Universidade de Brasília, DF, 2019.

PEPLAU, Gustavo José Rocha; NEVES, Marllus Gustavo Ferreira Passos das. Análise de critérios para a determinação da vazão de restrição ao escoamento superficial urbano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 4, p. 97-106, 2014.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da; TEIXEIRA, A. de F.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, J. M. A. da; GRIEBELER, N. P. **Hidros: dimensionamento de sistemas hidroagrícolas.** Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 259 p.

RIBEIRO, H. J.; FERREIRA N. C. **Análise comparativa de redes hidrológicas geradas a partir de superfícies hidrologicamente consistentes.** Bol. Ciênc. Geod. sec. Artigos, Curitiba, v. 20, n. 4, p.784-805, 2014.

ROCHA, Anderson Fernando; BACK, Álvaro José. **A Drenagem Urbana Como Área De Atuação Da Agrimensura.** Tecnologia e Ambiente, v. 14, 2013.

RODRIGUES, J. A. M.; DE OLIVEIRA ANDRADE, A. C.; VIOLA, M. R.; MORAIS, M. A. V. Indicadores Hidrológicos Para A Gestão De Recursos Hídricos Na Bacia Hidrográfica Do Rio Manuel Alves Da Natividade, Tocantins. *Revista Scientia Agraria*, v. 16, n. 4, 2016.

RODRIGUES, V. A.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. TARJUELO, J. M.; SARTORI, M. M. P.; CANALES, A. **Avaliação Do Escoamento E Interceptação Da Água Das Chuvas.** Irriga, v. 1, p. 1-13, 2015.

RODRIGUES, Danilo Aparecido; GALLARDO, Amarilis Lucia Casteli Figueiredo. Vantagens da aerofotogrametria por drone na obtenção de dados topográficos em estudos de lixões e aterros sanitários. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 7. 2018. São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: 2018. p. 1-15.

RODRIGUEZ, E.; MORRIS, C. S.; BELZ, J. E.; CHAPIN, E.; MARTIN, J.; HENSLEY, S. An assessment of the SRTM topographic products. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 72, n. 3, p. 249–260, 2006.

RUEZZENE, C. B.; DE MIRANDA, R. B.; TECH, A. R. B.; MAUAD, F. F. Preenchimento de falhas em dados de precipitação através de métodos tradicionais e por inteligência artificial. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 29, p. 177-204, 2021.

SAMPAIO, Tony Vinicius Moreira; BRANDALIZE, Maria Cecília Bonato. **Cartografia geral, digital e temática.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2018. 210 p.

SANTOS, Karla Azevedo; RUFINO, Iana Alexandra Alves; BARROS-FILHO, Mauro Normando Macêdo. **Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande-PB.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 5, p. 943-952, 2017.

SANTOS, Myrian Silvana da Silva Cardoso Ataíde dos. **Regularização fundiária urbana e o direito à cidade sustentável na Amazônia:** avaliação de seus efeitos. 2019. 232 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Belém, 2019.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana.** São Paulo: SMDU; 2012.

SATO, E. N.; DE SOUZA, D. O.; PAPINI, J. A. J.; DE LUCA LINO, J. F. Utilização De Equações IDF Para Retroanálise De Eventos Gravitacionais De Massa Na Cidade De Salvador/Ba: Estudo De Caso Do Ano De 2017. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 7, p. 603-617, 2018.

SILVA, Irineu; SEGANTINE, Paulo. **Topografia para engenharia: teoria e prática de geomática.** 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, n. 10. P. 5-29. 2005.

SILVEIRA, Vicente Fernando. Geoprocessamento como instrumento de Gestão Ambiental. In: PHILIPPI JUNIOR, Arlindo; ROMERO, M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de Gestão Ambiental.** 2 ed. atual. ampl. Barueri, SP: Manole, 2014. cap 34.

SOUZA, R. O. D. M.; SCARAMUSSA, P. H.; DO AMARAL, M. A.; NETO, J. A.; PANTOJA, A. V.; SADECK, L. W. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, v. 16, n. 9, 2012.

STEIN, Marine Lais; SNOWARESKI, Heloisa Honorato; PFÜTZENREUTER, Andréa Holz. Caminhabilidade: aplicação do projeto IAAPE em um trecho da área central da cidade de Joinville (SC). *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 5, n. 35, 2017.

TANG, Lina; SHAO, Guofan. Drone remote sensing for forestry research and practices. *Journal of Forestry Research*, v. 26, n. 4, p. 791-797, 2015.

TASCA, F. A.; FINOTTI, A.; POMPÊO, C. A.; GOERL, R. F. O papel da drenagem urbana na prevenção de desastres hidrológicos na bacia hidrográfica do rio Itajaí Açu. *Revista brasileira de cartografia*, v. 69, n. 1, 2017.

TOMAZ, P. (2013). Método racional. In: TOMAZ, P. *Curso de manejo de águas pluviais.* Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo02.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

TUCCI, Carlos EM. **Inundações urbanas.** Porto Alegre: ABRH/RHAMA, v. 11, 2007.

TULLIO, Leonardo. **Aplicações e princípios do sensoriamento remoto.** Ponta Grossa: Atena, 2018.

VALERIANO, M. M. **Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem.** São José dos Campos: INPE, 2002. Inpe-RPQ/736.

VASCONCELOS, Anaí Floriano; MIGUEZ, Marcelo Gomes; VAZQUEZ, Elaine Garrido. Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, p. 655-662, 2016.

VEIGA, L. A. K. **Sistema para mapeamento automatizado em campo: conceito, metodologia e implantação de um protótipo.** 2000. São Paulo. 118 pag. Tese – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

VIEL, Jorge Antônio. **Padrões de formas de relevo e de uso e cobertura da terra na análise de áreas de viticultura por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento: um estudo de caso no Vale dos Vinhedos.** 2018. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) –Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

WISE, S. Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours. *Hydrological processes*, v. 14, n. 11-12, p. 1909-1929, 2000.

ZERBIELLI, Luiz Carlos; WATZLAWICK; L. F., MOKOCHINSKI; F. M.; MAZON, J. A. Comparativo entre levantamento “In loco” e análise de imagens orbitais na determinação da área de imóveis rurais para fins de fiscalização ambiental. *Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science/Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, v. 8, n. 2, 2015.

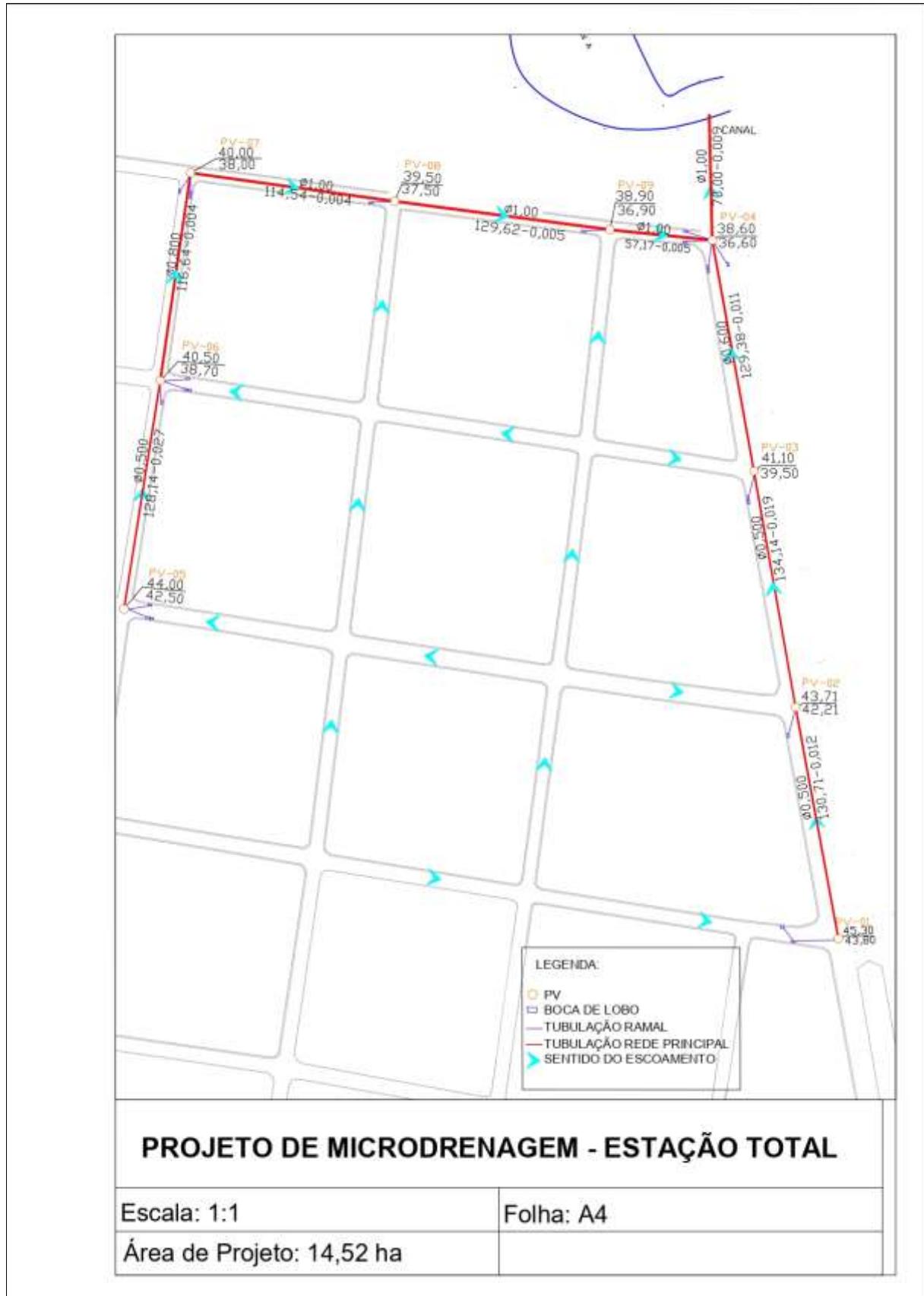
APÊNDICE A – Verificação da topografia por estação total

Trecho	Extensão (m)	Cota do terreno		Desnível (m)	Declividade (m/m)	Teste
		Montante	Jusante			
Q1 - Q2	119,71	48,40	47,60	0,800	0,007	Ok
Q2 - Q3	174,52	47,60	45,30	2,300	0,013	Ok
Q3 - R4	130,71	45,30	43,71	1,590	0,012	Ok
Q2 - R3	122,21	47,60	45,70	1,900	0,016	Ok
R3 - R4	134,15	45,70	43,71	1,990	0,015	Ok
R4 - S4	134,14	43,71	41,10	2,610	0,019	Ok
R3 - S3	129,02	45,70	41,80	3,900	0,030	Ok
S3 - S4	92,42	41,80	41,10	0,700	0,008	Ok
S4 - T4	129,38	41,10	39,70	1,400	0,011	Ok
R3 - R2	120,83	45,70	44,70	1,000	0,008	Ok
Q1 - R2	120,83	48,40	44,70	3,700	0,031	Ok
R2 - R1	122,17	44,70	44,00	0,700	0,006	Ok
R1 - S1	128,14	44,00	40,50	3,500	0,027	Ok
S3 - S2	122,15	41,80	41,00	0,800	0,007	Ok
R2 - S2	129,00	44,70	41,00	3,700	0,029	Ok
S2 - S1	117,39	41,00	40,50	0,500	0,004	Ok
S1 - T1	116,64	40,50	40,00	0,500	0,004	Ok
T1 - T2	114,54	40,00	39,50	0,500	0,004	Ok
S2 - T2	118,05	41,00	39,50	1,500	0,013	Ok
T2 - T3	129,04	39,50	38,90	0,600	0,005	Ok
S3 - T3	128,83	41,80	38,90	2,900	0,023	Ok
T3 - T4	57,17	38,90	38,60	0,300	0,005	Ok

APÊNDICE B – Verificação da topografia por SRTM

Trecho	Extensão	Cota do terreno		Desnível (m)	Declividade (m/m)	Teste
		Montante	Jusante			
Q1 - Q2	119,71	51,80	49,30	2,50	0,021	Ok
Q2 - Q3	174,52	49,30	43,80	5,50	0,032	Ok
Q3 - R4	130,71	43,80	42,60	1,20	0,009	Ok
Q1 - R2	120,83	51,80	46,80	5,00	0,041	Ok
R2 - R3	120,83	46,80	46,30	0,50	0,004	Ok
Q2 - R3	122,21	49,30	46,30	3,00	0,025	Ok
R3 - R4	134,14	46,30	42,60	3,70	0,028	Ok
R3 - S3	129,02	46,30	44,60	1,70	0,013	Ok
S3 - S4	92,42	44,60	42,00	2,60	0,028	Ok
R4 - S4	134,14	42,60	42,00	0,60	0,004	Ok
S4 - T4	129,38	42,00	41,40	0,60	0,005	Ok
R2 - R1	122,17	46,80	45,80	1,00	0,008	Ok
R1 - S1	128,14	45,80	43,60	2,20	0,017	Ok
S3 - S2	122,15	44,60	44,10	0,50	0,004	Ok
R2 - S2	129,00	46,80	44,10	2,70	0,021	Ok
S2 - S1	117,39	44,10	43,60	0,50	0,004	Ok
S1 - T1	116,64	43,60	43,10	0,50	0,004	Ok
T1 - T2	114,54	43,10	42,50	0,60	0,005	Ok
S2 - T2	118,05	44,10	42,50	1,60	0,014	Ok
T2 - T3	129,04	42,50	41,95	0,55	0,004	Ok
S3 - T3	128,83	44,60	41,95	2,65	0,021	Ok
T3 - T4	57,17	41,95	41,40	0,55	0,010	Ok

APÊNDICE C – Rede de microdrenagem por estação total



APÊNDICE D – Rede de microdrenagem por SRTM

