

**Universidade Federal  
do Pará**

---



**UFPA**  
**PPGEC**

**DANIEL ALVINO MESQUITA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE MODELOS  
DIGITAIS DE TERRENO (MDT) COMO APOIO  
NO DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS DE  
SANEAMENTO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Instituto de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dr. Lindemberg Lima Fernandes  
Orientador

Dr. André A. A. Montenegro Duarte  
Co-orientador:

Belém – Pará – Brasil

2019

**DANIEL ALVINO MESQUITA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO (MDT)  
COMO APOIO NO DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS DE SANEAMENTO**

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 Recurso Hídrico e Saneamento Ambiental.

Orientador: Dr. Lindemberg Lima Fernandes

Co-orientador: Dr. André A. A. Montenegro Duarte

**Belém – Pará - Brasil**

**2019**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Biblioteca do ITEC/UFPA-Belém-PA**

---

M582            Mesquita, Daniel Alvino, 1985  
                  Análise comparativa de modelos digitais de  
                  terreno (MDT) como apoio no dimensionamento de  
                  projetos de saneamento / Daniel Alvino Mesquita. -  
                  2019.

                  Orientador: Lindemberg Lima Fernandes;  
                  Coorientador: André A. A. Montenegro Duarte.

                  Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal  
                  do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-  
                  Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2019.

                  1.Levantamento topográfico – Modelos  
                  matemáticos. 2.Saneamento. 3.Administração de  
                  projetos. I.Título.

CDD 23. ed. – 526.98



## ANÁLISE COMPARATIVA DE MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT) COMO APOIO NO DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS DE SANEAMENTO

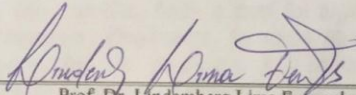
AUTOR:

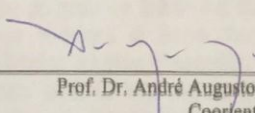
**DANIEL ALVINO MESQUITA**

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 MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL.

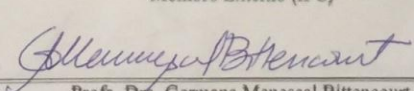
APROVADO EM:     /     /

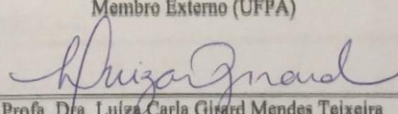
BANCA EXAMINADORA:

  
Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes  
Orientador (UFPA)

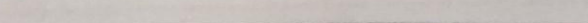
  
Prof. Dr. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte  
Coorientador (UFPA)

  
Prof. Dr. Carlos Augusto Uchôa da Silva  
Membro Externo (IFC)

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

  
Profa. Dra. Luíza Carla Girard Mendes Teixeira  
Membro Externo (UFPA)

Visto:

  
Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira  
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

## DEDICATÓRIA

*A toda minha família e em memória do  
meu irmão Matheus Alvino Moura  
dedico essa importante vitória.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida e por conceder saúde e perseverança para superar e vencer todos os obstáculos para alcançar mais esse objetivo.

Aos meus pais, Maria Eleny Alvino Mesquita e Maurício Moises do Espírito Santo Moura, por serem os alicerces da minha educação e estarem sempre ao meu lado nessa caminhada.

Aos meus irmãos, Mayara Alvino Moura, Nayara Alvino Moura, Thiago Alvino Moura, que sempre torceram e ajudaram-me quando mais precisei. Aos familiares e amigos que continuamente me incentivam.

Ao meu irmão, Matheus Alvino Moura, pelo amor, carinho, admiração e por ser seguir meus passos. Sempre lhe amarei e sentirei sua presença ao meu lado.

Ao professor Dr. Lindemberg Lima Fernandes, por aceitar o desafio de conduzir esse trabalho, por toda contribuição, apoio no momento de afastamento e por sempre acreditar no sucesso da pesquisa. Sem dúvida, terei como referência de profissional.

Aos colegas e irmãos da Universidade Federal do Pará, em especial a Rafaela Nazareth Pinheiro de Oliveira Silveira, Gabrielle Souto Rocha, Maria de Nazaré Alves da Silva e Josiane Fernandes, pela amizade, carinho, apoio quando precisei ausentar-me e incentivos na resolução de problemas durante a jornada.

Aos amigos e professores da Comissão de Regularização Fundiária da UFPA pela disponibilização de informações para subsidiar a realização desta pesquisa, em especial à Marlene Alvino Texeira, professora Myrian Cardoso e André Montenegro Duarte pelo apoio, aprendizado durante o projeto e incentivo a seguir a vida acadêmica e tornar-me professor.

## RESUMO

No Brasil, quando trata-se de informações sobre característica do relevo terrestre, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, depara-se com carência de dados planialtimétricos, algo que indiretamente dificulta a gestão e o planejamento das cidades, em relação à concepção e elaboração de projetos de saneamento. Desta forma, há possibilidade de estudar métodos e técnicas que reduzam o custo-benefício, destacando a aplicação de Modelos Digitais de Terreno (MDT) para melhor representação da superfície terrestre. Este trabalho tem como objetivo principal a comparação de MDTs elaborados a partir de diferentes técnicas, bem como avaliar as implicações desses no projeto de abastecimento de água e na delimitação de bacia hidrográfica e drenagem. Adotou-se a sede municipal de Ipixuna do Pará - PA como área de estudos e aplicou-se duas técnicas para obtenção de dados altimétricos, a saber: através de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) e por levantamento topográfico com Estação Total. Aplicou-se o método *kriging* de interpolação para geração das curvas de nível, visando subsidiar a geração de MDT. Apesar da boa correlação obtida entre os dois MDTs gerados. Os índices de correlação de Pearson de 0,85, índice de concordância de 0,97 e o índice de desempenho de 0,82 indicaram que há uma ótima correlação entre os dados altimétricos possibilitando a utilização de imagem SRTM em projetos de engenharia. No entanto, 72,5 % dos pontos apresentaram cotas obtidas por imagem SRTM superiores aos dados altimétricos da Estação Total, com diferença entre as fontes de 2,06 metros, identificando que em virtude da resolução espacial da SRTM há uma discordância na delimitação das bacias hidrográficas para áreas menores de 1,73 km<sup>2</sup>.

**Palavras-Chave:** Levantamento topográfico, Estação Total, SRTM

## ABSTRACT

In Brazil, when it is a question of information about the terrain relief characteristic, mainly in the North and Northeast regions, there is a lack of planialtimetric data, something that indirectly hinders the management and the planning of the cities, in relation to the design and elaboration of sanitation projects. In this way, it is possible to study methods and techniques that reduce the cost-benefit, highlighting the application of Digital Terrain Models (TDM) for better representation of the terrestrial surface. This work has as main objective the comparison of MDTs elaborated from different techniques, as well as to evaluate the implications of these in the water supply project and in the delimitation of water basin and drainage. The municipal seat of Ipixuna do Pará-Pá was adopted as a study area and two techniques were used to obtain altimetric data, namely: through SRTM images (Shuttle Radar Topographic Mission) and by topographic survey with Total Station. The interpolation kriging method was applied to generate the contour lines, aiming to subsidize the generation of MDT. Despite the good correlation obtained between the two MDTs generated. The Pearson correlation indexes of 0.85, agreement index of 0.97 and the performance index of 0.82 indicated that there is a good correlation between the altimetric data allowing the use of SRTM imaging in engineering projects. However, 72.5% of the points presented SRTM image scores higher than the Total Station altimetric data, with a difference between the 2.06 meter sources, indicating that due to the spatial resolution of the SRTM there is a disagreement in the delimitation of the basins for areas smaller than 1.73 km<sup>2</sup>.

**Key words:** Topographic Survey, Total Station, SRTM



## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Extensão do campo topográfico.....                                                                                   | 18 |
| Figura 2: Instrumentos de medição de distância, metro de bambu (a) e trena plástica (b).....                                   | 19 |
| Figura 3: Nível ótico(a) e Imagem do Teodolito mecânico(b).....                                                                | 19 |
| Figura 4: Representação tridimensional do MDT do Rio de Janeiro gerado a partir de imagens de 2004.....                        | 27 |
| Figura 5: Modelo 3-D.....                                                                                                      | 28 |
| Figura 6: A distinção entre o tamanho do pixel e o tamanho do suporte em relação à distribuição original (o sinal): .....      | 29 |
| Figura 7: Esquema da metodologia.....                                                                                          | 37 |
| Figura 8: Localização do município de Ipixuna do Pará. ....                                                                    | 38 |
| Figura 9: Limite dos Setores da poligonal de Ipixuna do Pará. ....                                                             | 39 |
| Figura 10: Levantamento topográfico com estação total.....                                                                     | 41 |
| Figura 11: Esquema do Sistema convencional de Abastecimento de Água ....                                                       | 46 |
| Figura 12: Mapa do relevo de Ipixuna e os limites de setores.....                                                              | 51 |
| Figura 13: Registro fotográfico do setor João Paulo. ....                                                                      | 51 |
| Figura 14: Registro fotográfico do setor centro. ....                                                                          | 52 |
| Figura 15: Espacialização dos pontos coletados pela estação total.....                                                         | 53 |
| Figura 16: Representação da correlação linear simples entre os dados altimétricos obtidos com estação total e imagem SRTM..... | 54 |
| Figura 17: <i>Box plots</i> dos dados altimétricos da Estação Total e SRTM de Ipixuna.....                                     | 57 |
| Figura 18: Box plots dos dados altimétricos da Estação Total e SRTM de cada setor. ....                                        | 58 |
| Figura 19: Distribuição espacial dos pontos cotados .....                                                                      | 60 |
| Figura 20: Curvas de nível dos pontos cotados pela Estação Total (A) .....                                                     | 61 |
| Figura 21: Curvas de nível dos pontos cotados pela da imagem SRTM (B) ....                                                     | 62 |
| Figura 22: MDTs da Área total - $MDT_{TOP}$ (A) e do $MDT_{SRTM}$ (B).....                                                     | 63 |
| Figura 23: MDTs do Setor Vila Nova - $MDT_{TOP}$ (A) e do $MDT_{SRTM}$ (B) .....                                               | 63 |
| Figura 24: MDTs do Setor João Paulo - $MDT_{TOP}$ (A) e do $MDT_{SRTM}$ (B).....                                               | 64 |
| Figura 25: MDTs do setor Centro - $MDT_{TOP}$ (A) e do $MDT_{SRTM}$ (B).....                                                   | 64 |
| Figura 26: Traçado da rede de distribuição de água do setor Vila Nova. ....                                                    | 68 |
| Figura 27: Traçado da rede de distribuição de água do setor João Paulo. ....                                                   | 69 |

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 28: Traçado da rede de distribuição de água do setor Centro + Berro + Paraúba.....                                                        | 70 |
| Figura 29: Análise comparativa entre as cotas de cada nó a partir dos MTDs do SAA do Setor Vila Nova. ....                                       | 70 |
| Figura 30: Análise comparativa entre as cotas de cada nó a partir dos MTDs do SAA do Setor João Paulo.....                                       | 71 |
| Figura 31: Análise comparativa entre as altitudes de cada nó a partir dos MTDs do SAA do Setor Centro-Berro-Paraúba. ....                        | 72 |
| Figura 32: Comparativos das pressões obtidas na simulação com dados altimétricos da estação total e da imagem SRTM para o setor Vila Nova. ....  | 73 |
| Figura 33: Comparativos das pressões obtidas na simulação com dados altimétricos da estação total e da imagem SRTM para o setor João Paulo. .... | 74 |
| Figura 34: Comparativos das pressões obtidas na simulação com dados altimétricos da estação total e SRTM para o setor Centro. ....               | 74 |
| Figura 35: Microbacias de drenagem com o $MDT_{TOP}$ .....                                                                                       | 76 |
| Figura 36: Microbacias de drenagem com dados altimétricos do $MDT_{SRTM}$ ....                                                                   | 77 |
| Figura 37: áreas alagáveis as regiões de menor altitude dos MDTs.....                                                                            | 78 |

## ÍNDICE DE QUADROS

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1: Evolução do equipamento de levantamento topográfico .....                                                        | 20 |
| Quadro 2: Principais parâmetros e aplicações obtidos a partir do MDT.....                                                  | 30 |
| Quadro 3: Aplicações da Topografia nos projetos de abastecimento água, esgoto sanitário e drenagem urbana. ....            | 32 |
| Quadro 4: Aplicações da topografia nas propriedades físicas da bacia hidrográfica.....                                     | 33 |
| Quadro 5: Índice de Desenvolvimento Humano .....                                                                           | 40 |
| Quadro 6: Classificação e interpretação do desempenho do índice de concordância.....                                       | 45 |
| Quadro 7: Coeficiente de escoamento referente ao tipo de cobertura .....                                                   | 48 |
| Quadro 8: Características dos setores de Ipixuna do Pará. ....                                                             | 50 |
| Quadro 9: Resultados do levantamento altimétrico da Sede de Ipixuna do Pará. ....                                          | 53 |
| Quadro 10: Resultado das altitudes dos pontos em cada setor de Ipixuna do Pará.....                                        | 56 |
| Quadro 11: Comparativo entre os dados altimétricos para as duas fontes de levantamento.....                                | 58 |
| Quadro 12: Desempenho dos métodos de estimativa de correlação entre dados altimétricos segundo o índice de Desempenho..... | 59 |
| Quadro 13: Número de residência. ....                                                                                      | 65 |
| Quadro 14: Dados adotados para o dimensionamento o SAA. ....                                                               | 65 |
| Quadro 15: Demanda de consumo de água do SAA. ....                                                                         | 66 |
| Quadro 16: Volume e dimensões dos reservatórios de cada Setor. ....                                                        | 66 |
| Quadro 17: Altura mínima da lamina d'água nos reservatórios de cada Setor. ....                                            | 66 |
| Quadro 18: dados iniciais do SAA de Ipixuna. ....                                                                          | 72 |
| Quadro 19: Análise morfométricas das microbacias MB2. ....                                                                 | 78 |
| Quadro 20: Classificação do uso e ocupação do solo.....                                                                    | 79 |
| Quadro 21: Variáveis hidrológicas para os dados da estação total e SRTM....                                                | 80 |
| Quadro 22: Vazões máximas das MB- 02.....                                                                                  | 80 |

## LISTA DE SIGLAS

|          |                                                                             |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|
| ART      | Anotação de Responsabilidade Técnica                                        |
| ASTER    | <i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>       |
| CBERS    | <i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i>                               |
| CODEM    | Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém |
| CRF      | Comissão de Regularização Fundiária                                         |
| EMBRAPA  | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                                 |
| EU       | European Union                                                              |
| EUA      | <i>United States of America</i>                                             |
| CNES     | <i>Centre national d'études spatiales</i>                                   |
| GPS      | <i>Global Positioning System</i>                                            |
| IBGE     | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                             |
| IDH      | Índice de Desenvolvimento Humano                                            |
| INCRA    | Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária                         |
| Landasat | <i>Land Remote Sensing Satellite</i>                                        |
| MED      | Medidor Eletrônico de Distância                                             |
| MDT      | Modelos Digitais de Terreno                                                 |
| NASA     | <i>National Aeronautics and Space Administration</i>                        |
| NBR      | Normas Brasileiras                                                          |
| PA       | Pará                                                                        |
| SAA      | Sistema de abastecimento de água                                            |
| SIG      | Sistema de Informações Geográficas                                          |
| SINAPI   | Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil        |
| SIRGAS   | Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas                          |
| SRTM     | <i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>                                    |
| SWIR     | <i>Shortwave infrared</i>                                                   |
| USGS     | <i>United States Geological Survey</i>                                      |
| UTM      | Universal Transversa de Mercator                                            |

## SUMÁRIO

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                        | <b>15</b> |
| <b>1 OBJETIVOS .....</b>                                                       | <b>17</b> |
| 1.1 GERAL.....                                                                 | 17        |
| 1.2 ESPECÍFICOS.....                                                           | 17        |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>                                            | <b>18</b> |
| 2.1 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO .....                                             | 18        |
| 2.1.1 Tipos de levantamento topográfico. ....                                  | 21        |
| 2.2 COLETA DE DADOS ALTIMÉTRICOS.....                                          | 22        |
| 2.2.1 Global Navigation Satellite System (GNSS) .....                          | 23        |
| 2.2.2 Estação Total .....                                                      | 23        |
| 2.2.3 Imagem Orbitais e suborbital .....                                       | 24        |
| 2.2.4 SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) .....                           | 25        |
| 2.2.5 Modelo Digital de Terreno - MDT .....                                    | 26        |
| 2.3 APLICAÇÃO DA TOPOGRAFIA EM PROJETOS DE SANEAMENTO .....                    | 31        |
| 2.4 DELIMITAÇÃO DE BACIA HIDROGRÁFICA.....                                     | 32        |
| 2.5 CUSTOS DOS LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS.....                                 | 34        |
| 2.6 UTILIZAÇÃO DA ESTATÍSTICA COMO FERRAMENTA DE<br>CORRELACIONAR OS MDTs..... | 35        |
| <b>3 METODOLOGIA.....</b>                                                      | <b>37</b> |
| 3.1 MATERIAIS.....                                                             | 38        |
| 3.1.1 Área de estudo.....                                                      | 38        |
| 3.1.2 Levantamento topográfico e elaboração do MDT .....                       | 41        |
| 3.2 MÉTODOS.....                                                               | 41        |
| 3.1.3 MDT com estação total - MDT <sub>TOP</sub> .....                         | 41        |
| 3.1.4 MDT com imagem SRTM – MDT <sub>SRTM</sub> .....                          | 42        |
| 3.2.1 Sistematização dos dados dos MDTs.....                                   | 43        |

|              |                                                                       |           |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.2.2</b> | <b>Análise estatística dos resultados .....</b>                       | <b>43</b> |
| <b>3.3</b>   | <b>PROJETO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....</b>                         | <b>46</b> |
| <b>3.3.1</b> | <b>Concepção do projeto .....</b>                                     | <b>46</b> |
| <b>3.4</b>   | <b>MORFOMETRIA DAS SUB-BACIAS .....</b>                               | <b>48</b> |
| <b>4</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                                  | <b>50</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>                 | <b>50</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>ETAPA 2: DADOS ALTIMÉTRICOS .....</b>                              | <b>52</b> |
| <b>4.3</b>   | <b>ETAPA 3: EXECUÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL.....</b>                     | <b>60</b> |
| <b>4.4</b>   | <b>ETAPA 4: MODELOS DIGITAIS DE TERRENO.....</b>                      | <b>62</b> |
| <b>4.5</b>   | <b>ETAPA 5: DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA. ....</b> | <b>65</b> |
| <b>4.5.1</b> | <b>Demanda populacional.....</b>                                      | <b>65</b> |
| <b>4.5.2</b> | <b>Determinações das variáveis para o SAA .....</b>                   | <b>65</b> |
| <b>4.5.3</b> | <b>REDE DE ABASTECIMENTO.....</b>                                     | <b>67</b> |
| <b>4.6</b>   | <b>ETAPA 6: SISTEMA DE DRENAGEM NATURAL .....</b>                     | <b>75</b> |
| <b>4.6.1</b> | <b>Delimitação das microbacias de drenagem .....</b>                  | <b>75</b> |
| <b>4.6.2</b> | <b>Morfometria das microbacias .....</b>                              | <b>78</b> |
| <b>4.6.3</b> | <b>Variáveis hidrológicas.....</b>                                    | <b>79</b> |
| <b>5</b>     | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                      | <b>82</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                | <b>83</b> |
|              | <b>ANEXOS .....</b>                                                   | <b>89</b> |
|              | <b>APÊNDICE.....</b>                                                  | <b>91</b> |

## INTRODUÇÃO

Conhecer as informações superficiais dos terrenos torna-se uma ferramenta que auxilia na gestão territorial, no entanto, no Brasil, quando trata-se de informações sobre característica do relevo terrestre, principalmente nas regiões Norte, depara-se com carência de dados planialtimétricos, o que dificulta a gestão e o planejamento das cidades. Do mesmo modo, essa insuficiência de informações também emperra a elaboração de projetos de saneamento.

De acordo com Tuler (2014), a finalidade da topografia é representar os contornos, dimensões e posições limitadas de uma porção da superfície terrestre, sem levar em consideração a curvatura do planeta. Segundo Oliveira *et al* (2014), antes de elaborar e executar projeto de infraestrutura, por exemplo, faz-se necessário a realização do levantamento topográfico para obtenção de mapeamento e análise dos dados apurados em campo para posteriormente subsidiar o planejamento e gestão do uso do solo, visto que descrevem as características do espaço, dimensões, condições do relevo e permite a definição de onde serão alocados os empreendimentos.

Na região amazônica, várias prefeituras enfrentam dificuldades para captar recursos e executar projetos de saneamento em decorrência da ausência de informações cartográficas. O baixo investimento do poder público e as condições financeiras precárias da maioria dos municípios desta região, são alguns dos fatores que contribuem para déficit de informações topográficas, visto a dificuldade em custear levantamentos topográficos convencionais ou aerofotogrametria das localidades, serviços que possuem custos significativos.

Segundo McCORMAC (2014), é possível utilizar diversos equipamentos e métodos, possibilitando visualizar as imperfeições, declives, necessidade de aterros, a viabilidade de implementação e de escolha do melhor traçado para sistema de abastecimento de água, rede de drenagem e rede coletora de esgoto, por exemplo, evitando desperdício de recursos financeiros.

De acordo com Frau *et al* (2011) e Santiago *et al* (2018), nas últimas décadas, desenvolveu-se tecnologias mais rápidas e precisas para aumentar a eficiência do levantamento topográfico, sendo observadas em alguns

instrumentos, como o uso da Estação Total, uso de RPAs para aerofotogrametria, utilização de imagens por sensoriamento remoto, e outros. Com isso, Volge *et al* (2011) e (McCORMAC, 2014), reforçam que os avanços tecnológicos vêm aperfeiçoando e melhorando a obtenção de dados de medições, sejam eles convencionais ou por uso de imagens orbitais, incluindo a expedição *Shuttle Radar Topographic Mission – SRTM*. Consequentemente, que contribuiu para a elaboração de Modelos Digitais de Terreno - MDT e apresentação de informações com maior precisão e representatividade do relevo (FERREIRA,2011).

Para Elkhachy (2015) um MDS (Modelo Digital de Superfície) mostra a representação tridimensional da superfície terrestre com a visualização de edificações, plantas e outros atributos físicos, onde a cota sofre influência da vegetação e das edificações. A sistematização desses dados é, normalmente, através de Sistema de informações geográficas – SIG, que permitem a produção de mapas digitais, além de ser utilizado para detectar área de inundação e estudo do uso do solo.

Segundo Li (2004), o MDT pode ser gerado por meio de técnicas de aquisição por extração de mapas topográficos, fotogrametria, radarmetria e interferência, escaneamento e laser aerotransportado, sistema de posicionamento global e digitalização cartográfica. Dentre eles, Zerbielle *et al* (2014) destacam o uso de sensores remotos orbitais como uma alternativa promissora, a considerar o menor tempo e o custo. Nessa linha de raciocínio, Oliveira (2005) e Freitas (2011) complementam que há forte tendência para que os profissionais de topografia tenham cada vez menos contato com os locais a serem levantados

Assim, o presente trabalho teve o objetivo de analisar e comparar, por meio de estatísticas descritiva e o índice de concordância de Willmott, os MDTs elaborados a partir do levantamento topográfico convencional (MDT-TOPO) e os obtidos através de imagens SRTM (MDT-SRTM) com resolução de 30m, onde terá a finalidade de quantificar a viabilidade da aplicação dos MDTs em delimitação e morfometria de bacia hidrográfica, consequentemente, possibilitando os órgãos municípios utilizarem na gestão e planejamento dos projetos de saneamento.



# 1 OBJETIVOS

## 1.1 GERAL

Comparar os Modelos Digitais de Terreno - MDT elaborados por imagem SRTM e por levantamento topográfico convencional e analisar as implicações desses no dimensionamento de abastecimento de água e drenagem urbana.

## 1.2 ESPECÍFICOS

- Elaborar os MDTs da sede municipal de Ipixuna do Pará, usando Levantamento topográfico à Estação Total -  $MDT_{TOP}$  e levantamento por Imagens SRTM -  $MDT_{SRTM}$  e avaliar sua correlação através da estatística descritiva e índice de concordância de Willmott;
- Determinar a morfometria da área, os parâmetros superficiais a partir das curvas de nível, amplitude, desvio padrão e aplicando estatística descritiva para analisar e correlacionar as implicações dos MDTs nos projetos de saneamento;
- Delimitar e caracterizar as morfometrias das sub-bacias, com os diferentes MDTs gerados;
- Avaliar as implicações no dimensionamento da rede de abastecimento de água e na drenagem pluvial da bacia na área de estudos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

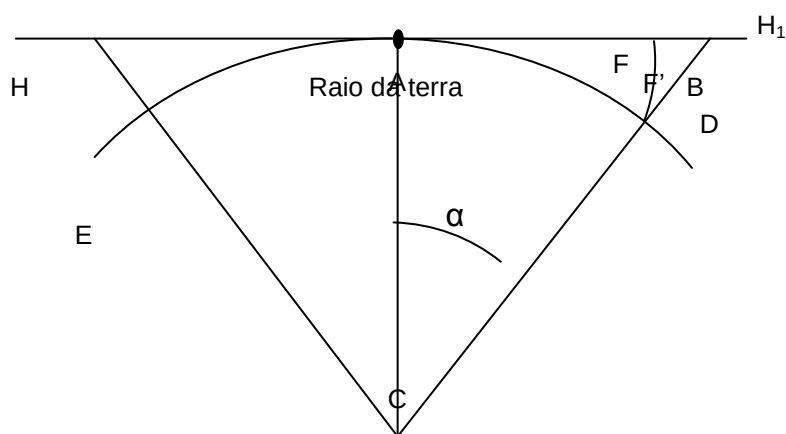
### 2.1 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

É importante destacar que o surgimento da topografia, na sua forma mais simples, é certamente mais antigo que a história da civilização, desde que houve a necessidade do direito à propriedade, relatado no livro do velho testamento sobre o direito de propriedade (McCORMAC, 2014).

A topografia surge com a finalidade de representar graficamente o relevo da superfície terrestre, com seus contornos, dimensões e posição relativa de uma determinada porção da superfície terrestre, dos mares, além de compreender a locação de terreno, medição de área, volume e outras atividades que subsidiem projetos de engenharia, e que de acordo com Borges (2013) não se considera a esfericidade do planeta.

Comastri (1998) & McCormac (2014), ainda acrescenta que o levantamento é realizado por meios de medições lineares e angulares, coletando os pontos e processando através de cálculos matemáticos simples, e reforça que devem ser realizados em áreas pequenas para evitar os efeitos da curvatura da terra (Figura 1).

**Figura 1: Extensão do campo topográfico.**



Fonte: Gómez, 2008.

“HH<sub>1</sub>” = Plano horizontal tangente em “A”;

“EAD” = Arco da terra;

“AC” = CF – Raio da terra

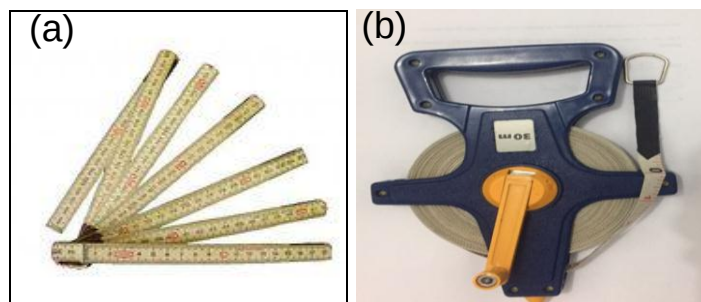
“AF” = Arco com ângulo  $\alpha$ .

A diferença da distância entre os trechos “AB” e “AF” é o erro horizontal, assim como a distância “FB” é o erro vertical, causados pela esfericidade da terra.

O erro da esfericidade pode ser considerado desprezível no levantamento em decorrência da precisão dos equipamentos usados. De acordo com Gómez (2008), o limite para que não seja preciso fazer correção do erro é em um raio 55 km, já para McCormac (2014), esse limite seria de 25 km.

Para as medições no levantamento topográfico é necessário citar a evolução dos instrumentos de medição e as grandezas lineares utilizadas, desde as primeiras unidades conhecidas, que tinham como ferramenta o próprio corpo humano, com pé, braçada, palmo, polegada e jarda (SANTIAGO *et al*, 2018). Outros equipamentos importantes no processo de levantamento topográfico são: a Corrente de Agrimensor, a trena de bambu e a fita de aço (Figura 2).

**Figura 2: Instrumentos de medição de distância, metro de bambu (a) e trena plástica (b)**



Fonte: Autor, 2017.

Como instrumentos de precisão, usou-se por muito tempo os teodolitos, níveis e taquímetros (Figura 3), que dominaram o levantamento topográfico por cerca de 450 anos, até o surgimento da informática, que incorporou novos instrumentos na execução dos serviços de topografia (GÓMEZ, 2008).

**Figura 3: Nível ótico(a) e Imagem do Teodolito mecânico(b).**



Fonte: autor, 2017.

Ainda de acordo com JUNIOR *et al* (2014), o surgimento da informática e da microeletrônica, os equipamentos mecânicos foram sendo substituídos a partir da década de 1940 com o aparecimento do medidor eletrônico de distância – MED. Que tem como princípio básico a emissão de onda de luz, que permite calcular a distância em função do tempo e velocidade da luz. Essa tecnologia proporciona mais agilidade no levantamento de grandes distâncias e permite a medição em locais de difícil acesso, além de garantir alta precisão na medição. No entanto, é fundamental verificar a pressão, temperatura e umidade, condições que podem interferir na precisão.

Os MED foram incorporados no levantamento topográfico e hoje são indispensáveis para os novos equipamentos que revolucionaram o campo da topografia (PEREIRA *et al*, 2017). O Quadro 1 apresenta um resumo dos avanços dos equipamentos e sua respectiva descrição.

**Quadro 1: Evolução do equipamento de levantamento topográfico**

| <b>EQUIPAMENTO</b>                         | <b>DESCRIÇÃO</b>                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Pé, Passo, polegada, braçada, palmo</b> | Primeiras unidades de medição de distância, muito imprecisa, motivo de fraude no comércio.                                                                                                                                  |
| <b>Corrente de Agrimensor</b>              | Medição de distância, facilidade de articulação e rusticidade, tem 20 metros de comprimento, uso limitado.                                                                                                                  |
| <b>Bússola</b>                             | Utilizado para orientação, levantamento preliminar e medidas de ângulo.                                                                                                                                                     |
| <b>Trena de Pano/Lona/Plástica/Aço</b>     | É uma fita graduada, maior precisão na fita metálica, mas tornar imprecisa com o desgaste por uso.<br>Grande utilidade e facilidade no manuseio na construção civil, porém indicada para medidas de pouca responsabilidade. |
| <b>Hodômetro</b>                           | Instrumento que utiliza uma roda girando ao longo de uma linha e contando as voltas. Pouco precisa para terrenos irregulares.                                                                                               |
| <b>Nível Taquímetro</b>                    | Medição rápida na horizontal com uso de uma barra e o aparelho em extremos opostos e cálculo de semelhanças de triângulos.                                                                                                  |
| <b>Medidor eletrônico de distância</b>     | Medição de levantamento de terra e trabalho de construção, medição de grandes distâncias reduzindo o tempo de medição em campo. Sua precisão é em milímetro, podendo ser alterada pela pressão, temperatura e umidade.      |
| <b>Nível</b>                               | Consiste em uma luneta com a objetiva, a ocular e a retícula, utilizada para levantamento altimétrico e nivelamento.                                                                                                        |
| <b>Teodolito</b>                           | Medição de ângulo                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Estação Total</b>                       | Unificação do MED, teodolito e armazenamento de dados. Além de                                                                                                                                                              |

|                                                   |                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                   | efetuar cálculos e descarregar informações para o computador.                                                                                       |
| <b>GNSS – Sistema de Informações por Satélite</b> | Eficiência e acurácia na determinação do posicionamento, através de satélites orbitais.                                                             |
| <b>RPA – Aeronave Remota Pilotada</b>             | Voo controlado com uso de câmera, precisão visual, podendo ser habilitada de GPS, além de integrar a softwares de processamento de vídeo e imagens. |

Fonte: Adaptado de COMASTRI (1999), GÓMEZ (2008), GIONES (2017) & SANTIAGO *et al* (2018)

A evolução dos métodos e tecnologias de execução dos serviços de topografia contribuiu para o aprimoramento de outras áreas, principalmente de Sistemas de Informações Geográficas – SIG, Sistemas de Informações Territoriais e Sistemas de Posicionamento Globais por Satélites – GNSS, expandindo significativamente o campo de atuação do termo topografia de forma significativa, surgindo o termo Geomática (SANTIAGO *et al*, 2018 & FRAU *et al*, 2011).

### 2.1.1 Tipos de levantamento topográfico.

O Levantamento topográfico é normatizado pela Norma Brasileira - NBR 13133 – Execução de Levantamentos Topográficos, que define diretrizes e parâmetros para topografia e divide-se em 3 tipos de levantamento: Planimétrico, Altimétrico e Planialtimétrico (GOMES *et al*, 2007).

O levantamento planimétrico ou perimétrico consiste em representar os limites territoriais, confrontantes de uma propriedade e determinar o seu perímetro, incluindo as informações pertinentes, como sistema viário, vegetação, corpos hídricos, etc, projetados ortogonalmente em um datum horizontal 2-D (NBR 13133)

O levantamento altimétrico tem por objetivo, exclusivamente, determinar a elevação do relevo, por meio das alturas relativas (cotas e altitudes ortométricas) da superfície, pressupondo o conhecimento das posições planimétricas dos pontos, visando ilustradas a superfície terrestre por meios linhas de contorno conhecidas como curva de nível (JUNIOR, 2014 & GOMES *et al*, 2007). Para Faggion (2013), o levantamento planialtimétrico consiste na união dos dois levantamentos anteriormente citados, proporcionando a

representação tridimensional da superfície, nas coordenadas latitude, longitude e altitude. O levantamento pode ser feito com uso de equipamento sobre a superfície terrestre (aparelhos eletrônicos) ou com equipamentos acima da superfície terrestre, através do uso de imagens orbitais.

O avanço obtido com o uso de imagens orbitais é perceptível no trabalho de Freitas (2011), que demonstrou a utilização de Laser Scanning Terrestre para realizar determinado levantamento planialtimétrico, em que o scanner efetua uma varredura das feições de interesse, por intermédio do registro e da geração de modelos tridimensionais, apresentando maior eficiência na relação custo-benefício no ramo da mineração, com intervalo menor e maior número de pontos levantados, em relação ao levantamento convencional com Estação total.

Já Zerbielli *et al* (2015) obtiveram resultado favorável ao usar imagem do Google Earth®, que permite visualizar as características físicas do terreno, área de vegetação, sistema viário existente, corpo hídrico, edificações e divisas físicas de propriedade. Essa visualização permite representar o relevo do terreno sem a visita *in loco*, além de constatar que há diferença mínima entre a área calculada no Google Earth e a área determinada com o uso de GPS para uma determinada superfície, desta forma, pode-se ser aplicado o método, por exemplo, na fiscalização ambiental.

Para Verdin (2007), Granemann (2010) & Pereira *et al* (2017), todo levantamento topográfico deve ser planejado e avaliado, visando determinar o nível de dificuldade para execução, considerando tempo e custo, bem como definir as características básicas a serem obtidas, possibilitando determinar a escolha adequada dos equipamentos e métodos, evitando erros grosseiros e prejuízos financeiros. O autor também complementa que é indispensável o profundo conhecimento do profissional responsável para definir a metodologia mais viável.

## 2.2 COLETA DE DADOS ALTIMÉTRICOS

Os tópicos a seguir abordam as características e a aplicação dos métodos de aquisição de dados altimétrico.

### **2.2.1 Global Navigation Satellite System (GNSS)**

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é o sistema que permite determinar o posicionamento geo-espacial autônomo de qualquer ponto da superfície terrestre através do uso de satélites artificiais (SANTIAGO *et al*, 2018). Dentre os principais sistemas de posicionamento, destaca-se o estadunidense, NAVstar GPS, o russo GLONASS, o chinês COMPASS e outros, tais sistemas gradativamente tornam-se mais utilizados em diversas áreas da ciência, atendendo aos critérios de precisão e acurácia das medições (NASCIMENTO *et al*, 2017).

O uso do sistema GNSS para elaboração das plantas topográficas oferece vantagens em relação ao modelo convencional, realizado à estação total, seja na coleta de dados ou na sistematização dos dados, não necessitando da visibilidade entre vértices, ou do transporte coordenadas e, principalmente, quando comparados com outros métodos. Para Corseuil (2002) avaliou que o tempo mínimo para rastreamento tridimensional de um ponto pela literatura são de 30 minutos, mas podendo ser de 5, 10 e 15 minutos com precisão de centímetros.

### **2.2.2 Estação Total**

De acordo com Worf e Brinker (1994) e Borges (2013), a estação total é um dos equipamentos promissores no levantamento topográfico, basicamente é constituído de 3 elementos: um medidor eletrônico, um teodolito eletrônico e um microprocessador. Segundo Veiga (2000), a tecnologia desse instrumento permite a medição automática de ângulos horizontais e verticais, medição de distâncias inclinadas e cálculo rápido dos resultados que são mostrados no display, além de armazenar as informações na memória interna. Há estações totais que já possuem GNSS embutido possibilitando determinar as coordenadas, além da busca automática do prisma e/ou não utilização do prisma refletor, agilizando o trabalho de campo (FAGGION *et al*, 2013).

De acordo com Faggion (2013) os avanços introduzidos pelo uso de estação total, em geral, reduziram ou eliminaram os erros cometidos nas anotações de campo, evitando gastos gerados pelo retrabalho em função desses erros. Os dados são armazenados automaticamente na memória

interna da estação total, e o processamento e a apresentação do trabalho são realizados mais rapidamente, otimizando o tempo e o custo, de maneira a garantir uma melhora significativa na qualidade do produto (GOMES *et al*, 2007).

De acordo com Verdin (2007), o descarregamento dos dados armazenados na estação total ou no cartão de memorial podem ser transferidos e sistematizados manualmente, digitando-se os valores no display da estação total ou por *software* topográficos, entre os mais usuais estão: TOPOGRAFH, TOPOEVN e DATAGeosis (RODRIGUES *et al* ,2006).

Apesar da eficiência do levantamento topográfico, as estações totais também apresentam algumas desvantagens, não fornecem o conjunto de dados escritos nas anotações de campo, o que dificulta o trabalho de escritório (JUNIOR *et al*, 2014).

### **2.2.3 Imagem Orbitais e suborbital**

A utilização de imageamento orbital e suborbital através de satélites foi um grande avanço na área de sensoriamento remoto, sendo usado para construir modelos 3-D, por intermédio de viagens espaciais e satélite artificiais na órbita do planeta. Entre os modelos comumente usados estão os ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) e SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), produto da expedição espaciais realizada em 11 dias pelo ônibus espacial Endeavour, da NASA, em fevereiro de 2000. com objetivo de capturar imagem de baixa resolução com sensores ótico, permitindo visualizar tridimensionalmente o terreno (OLIVEIRA, 2014).

Quanto maior a resolução espacial dos sensores, melhor será a visibilidade do detalhamento dos objetos na superfície, capturando a variedade e estrutura do solo urbano, enquanto que os sensores de menor resolução espacial irão permitir uma visão mais genérica da superfície terrestre, estando visível e distinguindo as áreas urbanizadas de não urbanizadas ou áreas de alta e baixa densidades (HIRYE,2017).

Zerbielli et al (2015), analisaram a comparação do levantamento *in loco* com uso do GPS e por análise de imagem orbitais em 3 municípios, na área urbana, para fins de fiscalização do uso e ocupação do solo, onde foi possível constatar que os resultados para ambos os levantamentos apresentaram



valores de área semelhantes. Sendo que uso de imagens de sensoriamento remoto pode ser útil na visualização de atributos físicos.

Para Pereira *et al* (2017), o levantamento planimétrico, realizado por estação total e com imagem SRTM de 15, 30, 60 e 90 metros de resolução, apresenta maior precisão e produtividade quando associada a outras metodologias e instrumentos de levantamento topográfico.

Sobrinho *et al* (2010), delimitaram automaticamente a rede de drenagem utilizando base de dados SRTM, apresentando precisão e acurácia compatível com as cartas topográficas da região. A precisão no SRTM também é comprovada por Jarvis *et al*, (2004) e Rodriguez *et al* (2006). Por outro lado, a precisão dos dados SRTM depende do relevo local, visto que em terreno íngreme ou montanhoso a tendência de erro é maior. (FALORNI *et al*, 2005) e (KAAB, 2005).

#### **2.2.4 SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission)**

SRTM é o produto da expedição espacial americana do ano de 2000 (FUCKNER *et al*, 2009), quando foi lançado nave terrestre Terra da *National Aeronautics and Space Administration* – NASA (Elkhrachy 2017). A bordo foram três bandas espectrais no Visible Near-Infrared (VNIR), seis bandas no infravermelho de ondas curtas (SWIR) e nas Regiões de infravermelho térmico (TIR), com 15, 30 e 90 m de resolução do solo, respectivamente, com objetivo de levantar informações sobre o relevo terrestre da Terra.

Os MDTs gerados a partir de radar da expedição estão disponíveis gratuitamente no site da USGS (POLIDORI, 2014). A disponibilidade de imagens orbitais possibilitou o monitoramento da superfície da terra e inovação na área de sensoriamento remoto com sensores ativos, melhorando a sistematização das informações (OLIVEIRA, 2014).

A questão do uso de imagem SRTM em relação à precisão da altimetria, de acordo com Elkhrachy (2017) indica que para os modelos a partir de SRTM podem auxiliar a elaboração de mapa topográfico com intervalos de curva mínimo de 16m.

Talon e Kuntschik (2011) em seu trabalho de delimitação automática de rede de drenagem utilizando base de dados SRTM, obtiveram precisão e

acurácia satisfatórias. A precisão de dados SRTM são comprovadas de diferentes formas por outros autores (JARVIS *et al.*, 2004; RODRIGUEZ *et al.*, 2006;), já Falorni *et al* (2005) e Kaab (2005) apontam que a acurácia dos dados SRTM depende do relevo local, visto que em terreno íngreme ou montanhoso a tendência de erro é maior.

Já Fuckner (2009), avaliou a qualidade da utilização de imagens de satélite para representar a superfície da cidade de São Paulo e Rio de Janeiro, verificando que o MDT apresentou elevado grau de correlação com as cartas topográficas oficiais do Brasil.

### 2.2.5 Modelo Digital de Terreno - MDT

Primeiramente, deve-se entender a definição do termo MDT, pois segundo (PETRIE E KENNIE, 1987), vários outros termos são usados para descrever modelos de terreno digitais e frequentemente usado de forma sinônima, porém, às vezes diferem no produto final.

- **Modelo de Superfície Digital – DSM**, termo referente a um produto recebido de dados de terreno de forma bruta, não processado o seu conteúdo, por exemplo, vegetação e alturas de estrutura feitas pelo homem.
- **Modelo de Elevação Digital - DEM**, refere-se à elevação de um ponto, enfatizando a diferença de altura de ponto a uma referência fixa, sendo a altitude ou elevação absoluta do ponto no modelo.
- **Modelo de Altura Digital – DHM**, o Termo é sinônimo do termo DEM, pois altura e elevação tem o mesmo significado aqui. Porém o termo DHM se originou na Alemanha.
- **Modelo Digital de Elevação do Terreno - DTEM**, termo é usado pela USGS e Defense Mapping Agency (DMA) e descreve essencialmente os dados de altura e características naturais.

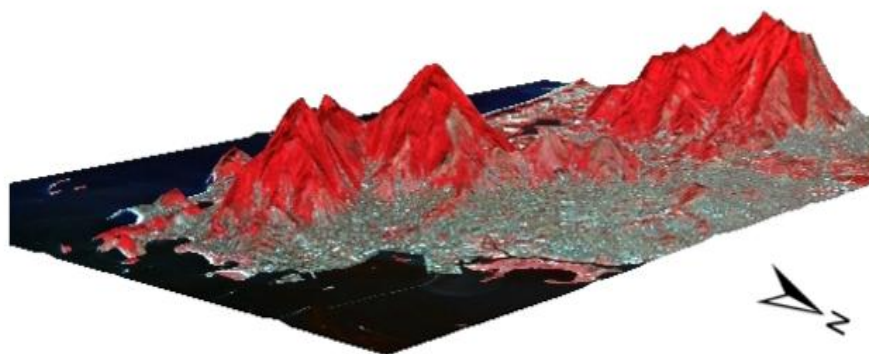
Para Li (2005), o MDT significa uma representação matemática da superfície da terra por um grande número de pontos selecionados por “X”, “Y” e de cota Z, espacializados de forma irregular ou regular. Então, os modelos são

um conjunto ordenado de pontos com coordenadas (x, y, z) amostral que representam a distribuição real, possuindo as seguintes características:

- Uma variedade de formas de representação e animação em 3-D;
- Durabilidade da informação e precisão devido ao uso do meio digital;
- Automação e processamento em tempo real e flexível a atualizações;
- Representação e organização em multi-escalas.

Os Modelos Digital de Terreno representam as características do terreno, permitindo conhecer características morfométricas sobre a elevação, forma de declive, contorno, dimensões (PINHEIROS *et al*, 2012 & AUGUSTO, 2017), características hidrográficas, rede de transporte, assentamentos, recursos naturais e ambientais, sobre solo e vegetação (LI, 2005). Na Figura 4, apresenta o MDT da cidade do Rio de Janeiro.

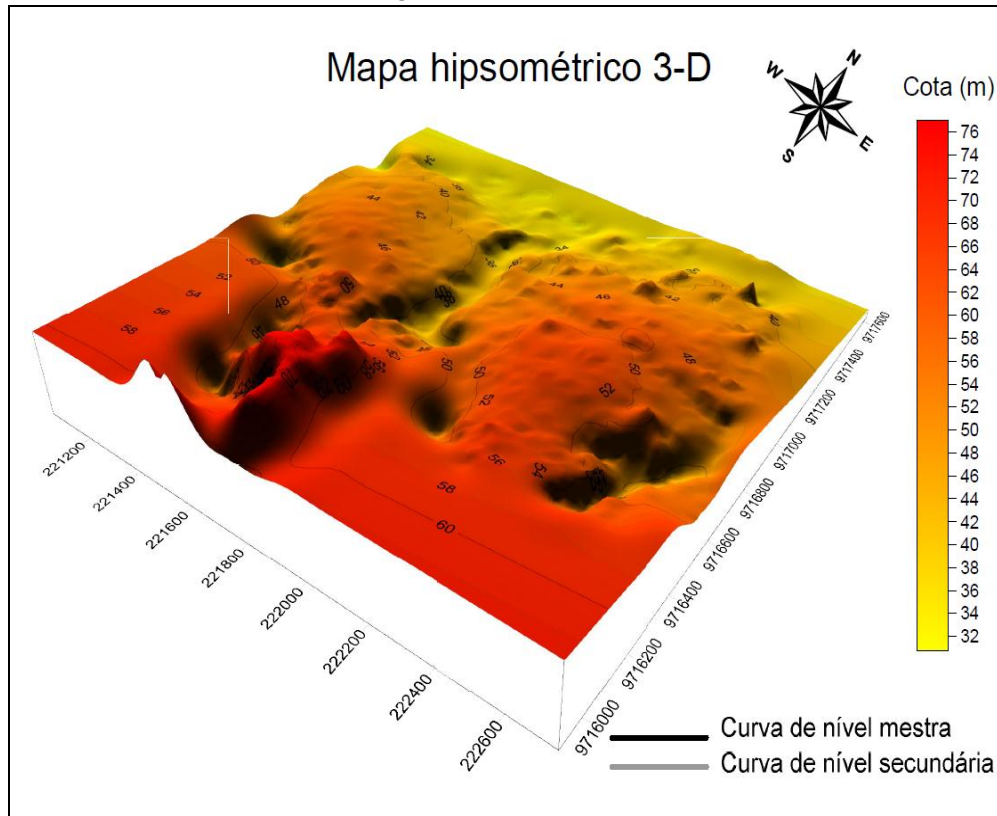
**Figura 4: Representação tridimensional do MDT do Rio de Janeiro gerado a partir de imagens de 2004.**



Fonte: Fuckner, 2009

O uso de computador tornou-se um marco na representação da superfície terrestre, permitindo fazer a modelagem digital do terreno (Figura 5), levando em consideração aspectos de precisão, densidade e distribuição dos pontos amostras para poder aplicar a interpolação e formar o MDT sem a necessidade de visualização *in loco* (LI, 2005 & FERRAZ, 2014).

Figura 5: Modelo 3-D.



Fonte: Autor, 2017

Para Arum (2013), a melhor visualização de entidades geoespaciais depende dos modelos digitais que são obtidos através da interpolação, então é de relevância entender e adotar o melhor método de interpolação: Interpolação geral, através da Distância Inversa Ponderada, Krigagem, ANUDEM, Vizinho Mais Próximo e entre outros (CASALLAS,2008).

Diversas áreas utilizam este tipo de tecnologia para a geração de modelos 3-D do relevo, segundo Li (2005), Ferraz (2014) e Junior *et al* (2014), o MDT tem inúmeras aplicações na geociência e engenharia, seja para:

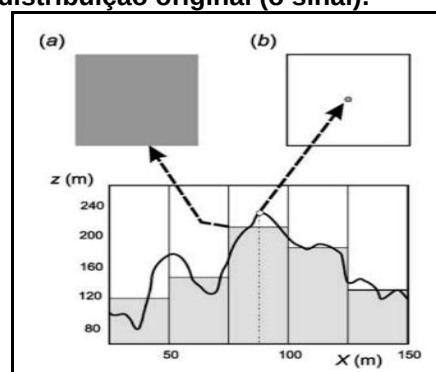
- Subsidiar análise de bacia hidrográfica e simulação hidráulica;
- Planejamento e projeto de engenharia;
- Planejamento urbanístico e zoneamento;
- Análise de terreno e cálculo de volume;
- Análise geomorfológica, erosão do solo e áreas de deslizamento;
- Análise geográfica;
- Programas de conservação de floresta e de solo.

Já Oliveira (2005), avaliou o uso de imagem SRTM e ASTER em um terreno montanhoso da cidade de Carajás e constatou resultado satisfatório para precisão altimétrica, considerando o Padrão de Exatidão Cartográfica Brasileira. Rodrigues *et al* (2006), comparou o levantamento altimétrico executado por três diferentes modelos de receptores GPS e validou com uma estação total, aplicando o Teste “t”, onde constatou resultado favorável para uso do GPS geodésico Trimble, modelo 4600LS, 8 canais, com o método estático relativo. Da mesma forma, Elkhachy (2017) demonstrou que há fortes correlações entre as elevações obtidas através de imagens SRTM e de GPS.

Joannidis *et al* (2014), avaliaram quantitativa e qualitativamente a precisão da altitude do MDT elaborados por imagem SRTM e ASTER para uma área da Grécia, recomendando a necessidade em considerar as especificações técnicas de cada projeto, visto a ampla aplicação do MDT.

De acordo com Hengl e Evans (2009) e Arum (2013), devem ser considerados métodos de interpolação, parâmetros de precisão, confiabilidade, integridade e características morfológica, pois os autores citam que ao selecionar a resolução de SRTM deve-se observar as diferenças entre a elevação superficial interpolada e a elevação real, visto que alguns picos e canais podem ser ignorados (Figura 6).

**Figura 6: A distinção entre o tamanho do pixel e o tamanho do suporte em relação à distribuição original (o sinal):**



Fonte: Hengl e Evans, 2009.

Então, para modelar uma porção da superfície terrestre é necessário a aquisição de dados amostrais que apresentem precisão, densidade e distribuído uniformemente na área estudada.

De acordo com Li (2005) & Pereira *et al* (2017), a aquisição dos pontos pode ser obtida digitalizando as informações, quando não estão disponibilizadas em mapas ou plantas topográficas, uso de fotografias aéreas

ou de imagens de satélites, como supracitados. Ressaltando a distribuição uniforme da área estudada e pontos de altitude, ponto mais alto, baixo e mudança de declive.

O ponto em coordenadas tridimensionais permitirá fazer a interpolação automatizada pelo método do quadrado da distância, Krigagem, curvatura mínima e triangulação de *delaunay* (LI, 2005 & JUNIOR *et al*, 2014) E assim construir o MDT, os quais podem ser representados em plantas de cores hipsométricas, onde as altitudes ortométricas ou cotas dos pontos são representadas por cores. As cores mais claras representam as alturas mais baixas e as cores escuras as mais altas, Tuler (2014).

Além disso, os modelos digitais de terreno têm suas aplicações em:

- Extração de perfis para estimar o volume de terra;
- Análise de intervisibilidade entre pontos;
- Extração de formas do relevo;
- Estudos de tendências dos atributos (análise de erosão).

No Quadro 2, constam os principais parâmetros, definições e possíveis aplicações que podem ser extraídos do MDT e modelados em *software* de SIGs.

**Quadro 2: Principais parâmetros e aplicações obtidos a partir do MDT.**

| Parâmetros                                        | Definição                                                          | Prováveis aplicações                                                                                                        |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Hipsometria</b>                                | Altitude ortométrica e curva de nível                              | Climatologia, tipo vegetal, potencial hidrelétrico, etc                                                                     |
| <b>Declividade</b>                                | Relação entre a diferença de nível e a distância horizontal.       | Velocidade e taxa de escoamento superficial e subsuperficial, vegetação, definição de área de risco, geomorfologia, erosão. |
| <b>Aspecto</b>                                    | Azimute da inclinação das encostas.                                | Sombreamento, Insolação, evapotranspiração, distribuição da fauna e flora, análise de segurança do talude.                  |
| <b>Curvatura do perfil</b>                        | Perfil dos taludes.                                                | Aceleração do fluxo, erosão/deposição.                                                                                      |
| <b>Área de contribuição à montante da encosta</b> | Área de contribuição do montante da região que capta água.         | Taxa de escoamento permanente, características do solo, geomorfologia.                                                      |
| <b>Área de dispersão do talude</b>                | Área a jusante da encosta                                          | Área de inundação e alagamento, taxa de drenagem do solo.                                                                   |
| <b>Extensão da trajetória do fluxo</b>            | Distância máxima do fluxo de água em relação ao local de captação. | Taxa de erosão, deslocamento de sedimentos, tempo de concentração.                                                          |

Fonte: adaptado de TULER (2014), *apud* adaptado de Silva(2006)

Com relação à comparação entre os MDT desenvolvidos por diferentes fontes de dados, Li (2005) e Polidori *et al* (2014) salienta que cada método de aquisição de dados tem vantagens e desvantagem, para escolher um método é importante comparar requisitos de precisão, condições de equipamentos, o propósito e a disponibilidade de materiais. No caso de precisão da medição em milímetros podem ser obtidos dados por pesquisa *in loco*, já em centímetros, fotogrametria ou digitalização de mapas.

### 2.3 APLICAÇÃO DA TOPOGRAFIA EM PROJETOS DE SANEAMENTO

Conforme exposto até o presente tópico, o levantamento de informações sobre a superfície terrestre é de suma importância para os projetos de engenharia. Segundo Verdín (2007) a topografia é fundamental para concepção e execução de obra de engenharia, visto a necessidade de conhecer os elementos naturais e artificiais do local da construção, sendo indispensável a planta topográfica, para implantação de projetos de saneamento, como por exemplo, Sistema de Abastecimento de Água - SAA.

Entre as inúmeras aplicações da topografia, seja no urbanismo como ferramenta para planejar a cidade, para criação de sistema viário, ou para estudo e projeto geológicos como a demarcação de jazidas, cálculo de volume, controle de assoreamento, etc. Também há aplicabilidade nas ciências florestais e agrárias com levantamento para o gerenciamento de florestas, projetos de irrigação, georreferenciamento de imóveis rurais, loteamento, etc.

O papel da Topografia na engenharia civil, construção civil, e no meio ambiente, como destaque a área de saneamento e meio ambiente, onde é primordial para os projetos de abastecimento de água, esgoto sanitário, controle de aterro de sanitário, estudos hidrológicos, mapeamento e outros (VERDÍN, 2007).

Nessa percepção, o Quadro 3 relaciona a Topografia e suas aplicações na concepção e dimensionamento de projetos de abastecimento água, esgoto sanitário e drenagem urbana.

**Quadro 3: Aplicações da Topografia nos projetos de abastecimento água, esgoto sanitário e drenagem urbana.**

| Projetos                     | Aplicações da Topografia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Abastecimento de Água</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Locação da Estação de Tratamento, estação elevatória e reservatórios.</li> <li>• Construção de Adutoras, Traçado da rede de água</li> <li>• Cotas de montante e jusantes</li> <li>• Pressões disponíveis em montante e jusante</li> <li>• Sistema viário (eixo das ruas, cruzamentos, etc)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Esgoto Sanitário</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Traçado da rede coletora (Reduzir a profundidade e custo)</li> <li>• Sistema viário (eixo das ruas, cruzamentos, etc)</li> <li>• Lançamento das Cota de montante e jusante</li> <li>• Declividade mínima, pontos de mudança, velocidade de escoamento.</li> <li>• Divisão da área do projeto em bacias e sub-bacias.</li> <li>• Numeração e medição do comprimento de cada trecho.</li> <li>• Locação de estação elevatória</li> <li>• Profundidade e recobrimento do coletor</li> <li>• Indicação dos corpos d'água (córregos, rios)</li> </ul> |
| <b>Drenagem</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Traçado da rede de drenagem, Retificação de cursos d'água</li> <li>• Barragem</li> <li>• Divisão da área do projeto em bacias e sub-bacias.</li> <li>• Profundidade</li> <li>• Declividade da rede de drenagem</li> <li>• Velocidade de escoamento</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

Fonte: Adaptação de Pereira e Da Silva (2010); Tuler (2014); Netto (2002); Tsutiya (2005);

## 2.4 DELIMITAÇÃO DE BACIA HIDROGRÁFICA.

O uso de imagens SRTM para delimitação de área é muito difundido e utilizado em decorrência de apresentar precisão compatível com cartas topográficas, podendo ser utilizados em área que não tem registro topográfico (SOBRINHO, 2010; TALON e KUNTSCHEK, 2011 & RIBEIRO e FERREIRA, 2014). A princípio, os modelos de terrenos eram realizados a partir de levantamento topográfico *in loco*, porém a metodologia a partir de dados altimétrico de SRTM (FERRAZ, 2014) representou uma alternativa mais eficiente em relação a tempo e custo, além disso, apresenta resultados satisfatórios para valores de áreas em relação à topografia local (OLIVEIRA, 2014 & AUGUSTO, 2017).

O uso de SRTM mostrou-se eficaz em escala compatível para a gestão e planejamento do uso e ocupação do solo, agricultura, delimitação e manejo de bacia hidrográfica, zoneamento, entre outros (LANDAU e GUIMARÃES, 2011).



O levantamento topográfico e geração das curvas de nível possibilitam a delimitação de uma determinada bacia hidrográfica e a subdivisão em micro bacias de drenagem (COMASTRI, 1999 & SANTIAGO *et al*, 2018).

Segundo Chandrashekar *et al.* (2015), Mioto (2014), Ribeiro & Ferreira (2014) e Massoud (2015), a obtenção das delimitações da bacia, permite avaliar as características morfométricas da bacia: geometria, área, comprimento do rio principal, perímetro, índice de compacidade, índice de conformidade, índice de circularidade, rede de drenagem, declividade equivalente, altitude, além do tempo de concentração e o tempo de retorno, Quadro 4.

**Quadro 4: Aplicações da topografia nas propriedades físicas da bacia hidrográfica.**

| Parâmetros Morfométricas                            | Formulação                                     | Referência             |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------|
| Geometria da Bacia                                  |                                                |                        |
| Área de Drenagem (A)                                | Definido pelo SIG                              | Schumm (1956).         |
| Comprimento do rio principal (L)                    | Definido pelo SIG                              | Schumm (1956).         |
| Comprimento total dos cursos d'água (Lc)            | Definido pelo SIG<br>$L_c = 100 (L / L_B) / L$ | Mansikkaniemi (1970)   |
| Perímetro (P)                                       | Definido pelo SIG                              | Schumm (1956).         |
| Largura média                                       | Definido pelo SIG                              | Schumm (1956).         |
| <b>Forma da bacia</b>                               |                                                |                        |
| Índice de compacidade (Kc)                          | $K_c = 0,28 \cdot P / \sqrt{A}$                | Villela & Mattos 1975  |
| Índice de conformidade (Kf)                         | $K_f = A / L^2$                                | Villela & Mattos 1975  |
| Índice de circularidade (Ic)                        | $I_c = 4\pi A / P^2$                           | Miller (1953)          |
| <b>Rede de Drenagem</b>                             |                                                |                        |
| Rede de drenagem (Rd)                               | $R_d = \sum L_c / A$                           | Horton (1932, 1945)    |
| Número de cursos d'água (Nc)                        | $N_c = \sum L$                                 | Horton (1932, 1945)    |
| Densidade de drenagem (Dd)                          | $D_d = L / A$                                  | Horton (1932, 1945)    |
| Ordem dos cursos d'água                             | Nível hierárquico                              | Strahler (1952, 1964). |
| <b>Declividade</b>                                  |                                                |                        |
| Diferença de nível da nascente a foz ( $\Delta H$ ) | Definida pelo SIG com o uso do MDE             | Strahler (1952)        |
| Declividade equivalente (Ieq)                       | Definida pelo SIG com o uso do MDE             |                        |
| Tempo de concentração                               | $T_c = 5,3 (L^2 / I_{eq})^{1/3}$               | Picking (1951)         |

## 2.5 CUSTOS DOS LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS.

O objetivo de utilizar-se outras alternativas de fontes de dados para elaboração de MDT, dá-se em virtude do elevado custo para o levantamento topográfico convencional, considerando custo e o tempo do levantamento. Segundo, o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, de setembro de 2018, o custo por metro quadrado é de R\$ 0,33 para levantamento planialtimétrico cadastral. Já para McCormac (2014), o custo diário da equipe topográfica podia chegar a R\$ 800 (McCORMAC, 2014).

Outra referência é na contratação de empresa de levantamento topográfico, dependendo dos requisitos a serem levantados em campo o custo do trabalho pode variar R\$ 0,32 a R\$ 0,49 o metro quadrado. Parece ser um valor pequeno, porém, se considerarmos a área estudada, de 173 hectares, o custo do levantamento convencional será de R\$ 553.600,00 a R\$ 847.700,00, conforme referência de valores do pregão de licitação nº 018/2016 para levantamento topográfico em Belém (CODEM, 2016). Enquanto que o custo com uso de imagens SRTM, é praticamente zero, visto que as imagens com resolução de 30m. estão disponíveis gratuitamente por Institutos governamentais. Por outro lado, existem imagens com melhor resolução, mas estão disponíveis gratuitamente INPE, EMBRAPA e outros (FERREIRA, 2011) e (HENGL e EVANS, 2009)

Outro ponto a ser considerado no levantamento convencional de acordo com Souza (2001) é o tempo de trabalho, pois a execução é *in loco*, depende de variáveis: tempo, dificuldade de acesso ao local, vegetação, tipo de equipamento, velocidade do trabalho.

A Comissão de Regularização Fundiária da Universidade Federal do Pará – CRF/UFGPA (2017) demandou de 66 dias para realizar levantamento da área de 173 hectares, trabalhando 8 horas por dia. Para outra área de 73 hectares foram necessários 40 dias. Nessas atividades foram locados os limites de lotes, sistema viário, edificação, curso d'água, pontes e postes.

No que se refere ao tempo para obtenção dos dados por imagens, a sistematização é realizada em um tempo razoavelmente curto, pois só é necessário processar as imagens em alguns *softwares* de SIG, para se obter os MDTs. No caso do exemplo anterior, o tempo é de aproximadamente um

dia. Sobrinho *et al* (2010) informam que a metodologia com uso de imagem SRTM pode ser empregada a estudos em diversas localidades, por apresentar precisão compatível em comparação com cartas topográficas, além da gratuidade, proporcionam economia no tempo e de recursos para realização de pesquisas e diagnósticos ambientais.

Enquanto que Zerbielli *et al* (2015) recomendam que independentemente do método e tecnologia utilizados nos trabalhos topográficos, sensoriamento remoto, ambas substituem totalmente uma ou outra, a escolha deverá ser exclusiva do profissional, das condições financeiras e métodos disponíveis e para quais fins o produto servirá.

## 2.6 UTILIZAÇÃO DA ESTATÍSTICA COMO FERRAMENTA DE CORRELACIONAR OS MDTs.

Para analisar a comparação entre MDTs será usada estatística descritiva (FERREIRA, 2011; ELKHRACHY, 2017), calculando a média simples, amplitude, máxima, mínima e desvio padrão permitindo, compatibilizar os MDTs e a qualidade dos dados.

Nesta mesma perspectiva, Neter *et al* (1996), utilizaram a estatística descritiva, principalmente da regressão linear, pois a existência de uma relação estatística entre a variável resposta Y e a variável explicativa ou a variável preditora X não implica de forma alguma que Y dependa causalmente de X. Assim, a variável Y pode ser explicada pela variável X, a partir do modelo com a entrada de X para estimar o valor de Y.

Então, Fuckner *et al* (2009) aplicaram a regressão linear para modelos digitais de terreno elaborados a partir de diferentes fontes, com o objetivo de avaliar a altimetria de MDE com uso de imagens ASTER em áreas urbanas de São Paulo e Rio de Janeiro com relevos diversos.

A aplicação da regressão linear simples consiste na previsão de valores de uma variável de resposta ou dependente através de uma variável explicativa ou independente, por meio da equação de regressão linear simples, permitindo realizar a correlação entre um ou mais MDTs para se obter a equação do modelo (ELKHRACHY, 2017), (LOANNIDIS, 2014).

Nesse propósito Alba (2010) investigou diferentes fontes de levantamento de altitudes ortométricas, por estação (Leica 3000), sistema GPS RTK (base e rover) da STARA, receptor GPS GARMIN Etrex vista HCx, imagem SRTM e Imagem ASTER, para uma área rural de 16 hectares aplicando equação de regressão linear e avaliando o resultado do R-quadrado entre os diferentes tipos de fontes de dados.

Willmont *et al* (1985), aplicaram além da estatística descritiva, o índice de concordância ( $d$ ) de Willmontt, para avaliar o desempenho de correlação entre as duas fontes de levantamento. O referido índice foi proposto na década de 90 e tornou-se aplicável a diversos problemas de performance de modelos.

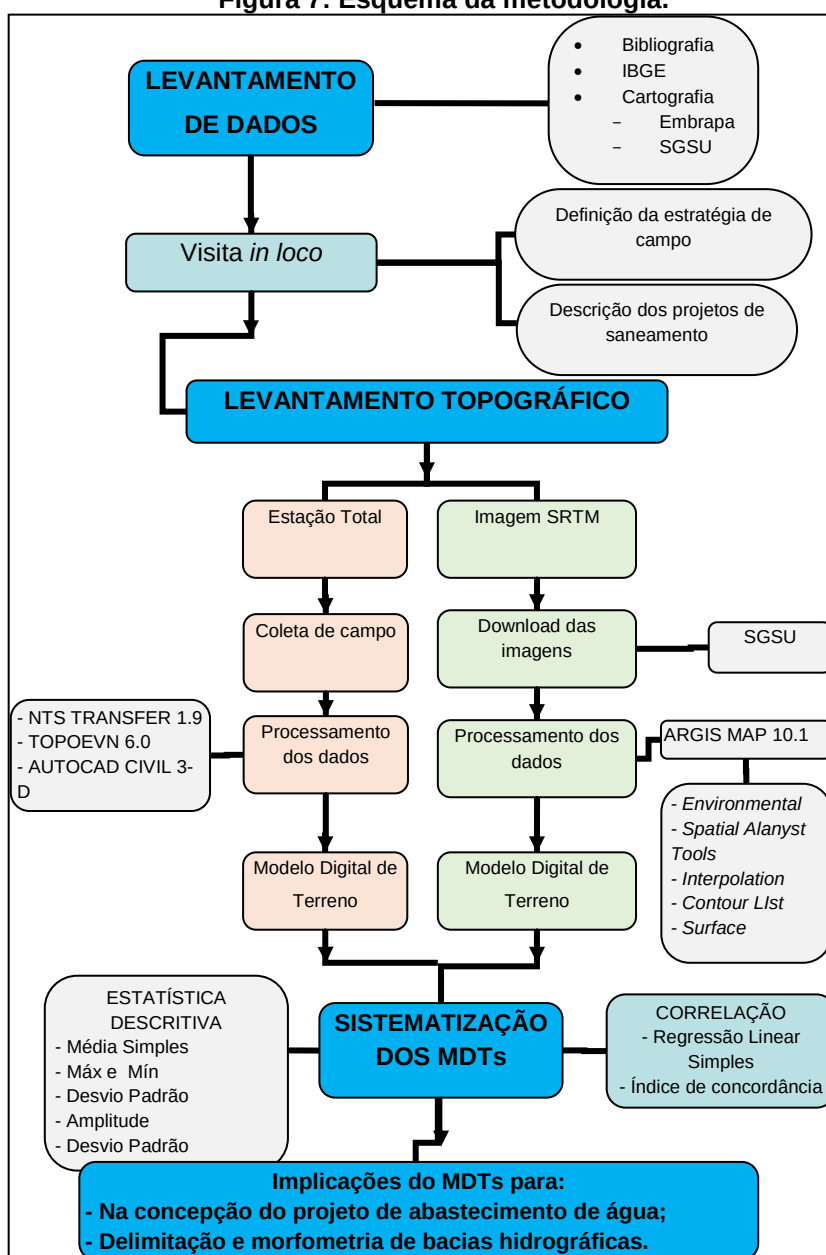
Então, para Willmont *et al* (1985) e Willmont *et al* (2012) o índice de concordância quantifica matematicamente a dispersão dos dados em relação ao método considerado padrão, interpretando através de um coeficiente de exatidão e precisão dos valores da variável Y em reação aos valores da variável X que podem ser facilmente comparados com a classificações de concordância proposta por Camargo & Sentelha (1997)

### 3 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos desta investigação foram realizadas revisão bibliográfica sobre a temática abordada, visita *in loco*, levantamento topográfico, elaboração de MDT, aplicação de métodos matemáticos, elaboração do projeto da rede de abastecimento de água, delimitação territorial e morfometria das microbacias.

Conforme a sequência de passos, elaborou-se um Fluxograma (Figura 7), com objetivo de sistematizar todas as etapas para alcançar os objetivos da pesquisa.

**Figura 7: Esquema da metodologia.**



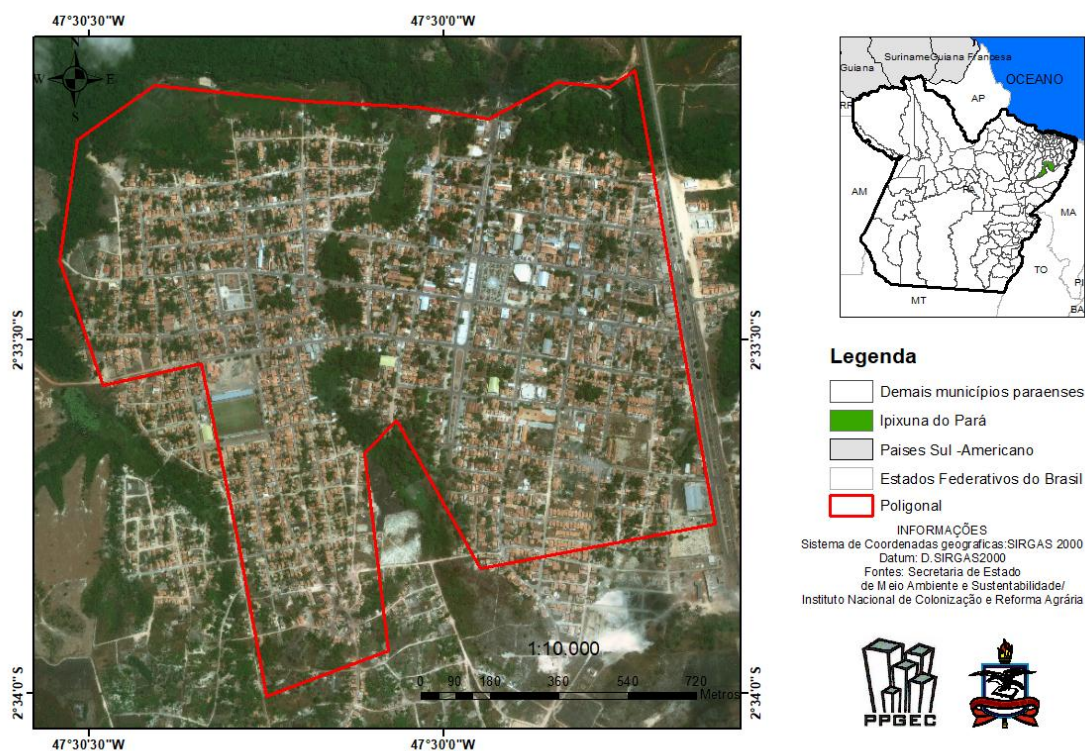
## 3.1 MATERIAIS

### 3.1.1 Área de estudo

A escolha da área de estudo, deve-se ao fato dela estar inserida no projeto de extensão Moradia Cidadã, que tem o objetivo a regularização fundiária das terras doadas pela União para prefeitura de Ipixuna do Pará.

O município de Ipixuna do Pará está situado nas coordenadas geográficas: 02°33'03" de latitude Sul e 47°30'06" de longitude Oeste. Os vértices limítrofes das áreas estão georreferenciados pelo sistema geodésico brasileiro, com coordenadas na projeção Universal Transverso de Mercator – UTM, datum SIRGAS-2000, meridiano central 45° W. (Figura 8).

**Figura 8: Localização do município de Ipixuna do Pará.**



A área de estudo foi delimitada pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, com o objetivo de atender ao preceito constitucional da função social da propriedade urbana e o acesso à terra urbana regularizada, principalmente às famílias de menor renda, com isso criando o Programa Terra Legal. Em continuidade foi assinado um termo de cooperação entre o Ministério das Cidades, Universidade Federal do Pará e as prefeituras dos municípios de

Ipixuna do Pará, Mãe do Rio, Concórdia do Pará, Nova Esperança do Piriá, Capitão Poço e Tomé-Açu e implantado o projeto Moradia Cidadã.

O projeto Moradia Cidadã tornou-se um projeto de extensão da Universidade Federal do Pará que visa realizar ações de regularização fundiária nas dimensões urbanística, jurídica e ambiental na poligonal de estudo de Ipixuna do Pará.

A poligonal corresponde, aproximadamente, a totalidade da sede municipal, com área de 173,34 hectares e perímetro de 6,601km. A poligonal está dividida em 5 setores que correspondem aos bairros de Ipixuna do Pará: Bairro Vila Nova, Bairro Berro D'água, João Paulo e Bairro Paraubá. Apresenta áreas urbanas que se encontram fora da poligonal cedida ao município pelo Ministério das Cidades, conforme a Figura 9.

**Figura 9: Limite dos Setores da poligonal de Ipixuna do Pará.**



Fonte: Autor, 2017.

A população residente no município é de 51.309 habitantes, com aumento de 104% em relação ao ano de 2000 (IBGE, 2010). Sendo predominantemente rural, somente 23% residem na área urbana, praticamente corresponde à população da área de estudo.



Com relação ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município, houve uma diminuição no IDH - Médio, principalmente do IDH renda, conforme o Quadro 5.

**Quadro 5: Índice de Desenvolvimento Humano**

| IDH               | Ano   |       |
|-------------------|-------|-------|
|                   | 2000  | 2010  |
| IDH – M           | 0,622 | 0,489 |
| IDH – Renda       | 0,490 | 0,757 |
| IDH – Educação    | 0,633 | 0,508 |
| IDH – Longevidade | 0,743 | 0,757 |

Fonte: IPEA, PNUD/ Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, com dados do IBGE/2010.

Posteriormente foram catalogadas referências bibliográficas sobre a temática abordada, destacando os avanços tecnológicos e métodos de levantamento topográfico considerando as vantagens e desvantagens.

Em seguida, foram coletados e analisados dados censitários do IBGE de 2010 sobre população, Índice de desenvolvimento humano e entre outras informações para subsidiar a caracterização da área, assim com as informações referentes à cartografia na prefeitura municipal, plantas e mapas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e *United States Geological Survey* (USGS) para descrever as características morfométricas.

Desempenhadas as atividades citadas, foram realizadas visitas *in loco*, nos setores, para determinar a estratégia de campo a ser adotada, equipamento para realização do levantamento topográfico e os requisitos a serem levantados (edificações, sistema viário, hidrologia), além das características físicas, uso e ocupação do solo, aspectos sociais e econômicos, sistema de infraestrutura e condições sanitárias e análise do sistema existente de abastecimento de água, para a concepção e sistema de drenagem como alternativa de projetos de saneamento básico.



## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Levantamento topográfico e elaboração do MDT

Esta atividade foi dividida em duas etapas: Levantamento topográfico à estação total e através da sistematização das imagens SRTM, onde foram gerados 2 modelos digitais de terreno, seguindo os passos.

### 3.2.2 MDT com estação total - MDT<sub>TOP</sub>

O levantamento partiu dos marcos do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA (Anexo 01) georreferenciados utilizando além da estação total, 1 tripé de alumínio e prisma refletor com bastão graduado pelo Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000, UTM – ZONA – 23 (E=222.498,497m e N=9.717.656,609m), posteriormente foram coletados pontos referentes ao sistema viário, edificações, corpos hídricos.

Para realização do levantamento topográfico, com a estação total, foi necessária uma equipe de 4 pessoas (1 topógrafo + 2 auxiliares + supervisor de campo) trabalhando 8 hs por dia (Figura 10), durante 3 meses.

**Figura 10: Levantamento topográfico com estação total.**



**Fonte:** Autor, 2017.

Essa etapa também constituiu um dos resultados do projeto de pesquisa e extensão Moradia Cidadã da CRF\_UFPA, em que se realizou o levantamento

planialtimétrico, sendo coletados 9.675 pontos por irradiação, os quais estavam distribuídos uniformemente na poligonal fechada, sobre Anotação de Responsabilidade Técnica - ART PA201600121716.

A estação total foi disponibilizada pelo laboratório de topografia da Universidade Federal do Pará, modelo GEODETIC D2+, cujas especificações são: precisão com prisma fino de 2 mm + 2 ppm, tempo de medição < 1.8s, precisão angular de 2"/5", alcance de 2.500 metros com 1 prisma e 3km (com boas condições de tempo, precisão  $\leq 0,4\%$ , coletor de dados interno com memória para 16.000 pontos).

Os dados coletados foram armazenados na memória interna do equipamento, transferidas para o computador pelo programa NTS TRANSFER 9.1. Esse programa importa os dados do equipamento para o computador, acessando o banco de dados da estação, em seguida transforma e calcula as coordenadas Latitude, Longitude e Altitudes para poder salvar no formato \*.txt.

Os pontos georreferenciados foram exportados para do *Software* TOPOGHAF e salvo no formato de texto ASC II. No Autocad Civil 3-D onde foram feitos os desenhos, plantas e perfis topográficos, curvas de níveis.

Já sistematizados os desenhos, foram exportados para o *software* QGIS, em seguida para o *software específico* em gerar curvas de nível através do método *kriging* de interpolação e pôr fim a geração de MDTs (FERRAZ, 2014 & SILVEIRA e SILVEIRA, 2015).

### **3.2.3 MDT com imagem SRTM – MDT<sub>SRTM</sub>**

A imagem SRTM da região de estudo, com resolução espacial de 30 metros, foi obtida no site United States Geological Survey – USGS. (ELKHRACHY, 2017)

Para analisar a comparação dos MDTs, foram importados os pontos georreferenciados da estação Total para o QGIS, onde se sobrepôs à imagem SRTM e determinou-se a altitude ortométricas de cada ponto.

O processo de delimitação automática da área e elaboração das curvas de nível foi desenvolvido no *software* de QGIS, sobre os marcos georreferenciados do INCRA, com auxílios das extensões (“plugins”) disponíveis 10.1 no endereço eletrônico da “*Environmental*” e da extensão “*Data Managment Tools*”, elaborando imagem TIF\*, permitindo gerar as curvas

de níveis, por meio das ferramentas “*interpolation*” e “*Kriging*” (CASALLAS, 2007), com planos de equidistância de 1 metro, resultando nas curvas de nível da imagem SRTM (OLIVEIRA, 2014).

Para geração MDT foram exportados os pontos cotados para o *software* QGIS para gerar curvas de nível. O método de interpolação escolhido foi o *Kriging*, devido ao melhor desempenho na representação fiel do terreno como indicado por (ARUM, 2013), por fim, a geração de MDTs pelo método *surface*, assim apresentando o MDT em três dimensões.

#### **3.2.4 Sistematização dos dados dos MDTs**

Os mapas hipsométricos a partir do

s MDTs com o objetivo de representar em 3-D, demonstrando as regiões de vale, pontos de alagamento os divisores de água e descrição do relevo da sede de Ipixuna do Pará e dos setores e assim poder analisar o perfil topográfico no sentido norte-sul e Oeste-Leste (OLIVEIRA, 2014 & SILVEIRA e SILVEIRA, 2015).

Após elaboração do MDT, foi realizada a compatibilidade entre as altitudes de obtidas com levantamento convencional e SRTM, com o intuito de verificar a diferença de valores para relevo plano e acidentado. Exportou-se os pontos coletados pela estação total e sobrepôs MDT<sub>SRTM</sub>, para poder determinar as altitudes na imagem SRTM. Nessa atividade utilizou o *software* de QGIS, que permite determinar a altitude de cada ponto em planilha, método similar aplicado por Fuckner et al (2009) e Ferreira *et al* (2011), na comparação das altitudes entre MDT de ASTER e SRTM com carta topográfica.

#### **3.2.5 Análise estatística dos resultados**

Com o objetivo avaliar as altitudes entre as duas fontes para elaboração dos MDTs utilizou a análise de regressão linear simples (RODRIGUES *et al*, 2006), foram selecionados os mesmos pontos de referência para a avaliação dos dois MDTs, permitindo a comparação dos resultados. Para a análise da relação estatística entre as variáveis foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson (*r*) (POLIDORI, 2014).

Os dados foram organizados em planilhas, onde se aplicou a estatística descritiva, determinando a média simples, mediana, desvio padrão, amplitude, permitindo determinar o grau correlação entre os valores de altitude dos MDTs.

Em seguida foi determinado o grau de correlação entre o MDT<sub>TOP</sub> MDT<sub>SRTM</sub> e determinou-se a equação do modelo através da regressão linear simples (POLIDORI, 2014).

A utilização da Equação (1) de regressão simples consiste no uso de uma variável explicativa (Valores de altitude da Estação total) para prever valores de variáveis de resposta (valores de altitude da imagem SRTM).

$$\hat{y} = ax + b \quad (1)$$

Onde:

$\hat{y}$  = valor estimado da variável resposta (altitude SRTM);

$a$  = Coeficiente linear;

$b$  = Coeficiente angular da correção;

$x$  = Valor da variável independente (altitude estação total).

Enquanto que para determinar a qualidade da equação estimada obtida pode ser realizada pelo  $R^2$  da regressão simples que irá variar de  $0 \leq R^2 \leq 1$ , Equação (2), quanto mais próximo de 1 maior será a correlação entre os modelos digitais de terreno.

$$r^2 = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

Em que:

$\hat{y}_i$  - Valor estimado da variável resposta;

$\bar{y}$  - Média da variável resposta observada;

$y_i$  - Valor calculado da variável resposta.

Para validar os dados descritivos e a regressão linear, adotou-se o índice de concordância e o índice de desempenho.

De acordo com Willmott *et al* (2012), o índice  $d$  pode assumir valores entre 0 e 1, para  $d = 1$  indica que há perfeita concordância entre as fontes, já para  $d = 0$  indica uma total discordância entre as variáveis dependentes e observadas. Ainda de acordo com o autor, este índice é baseado nas somas de

quadrados, onde o numerador tem-se a soma dos quadrados dos erros e no denominador a soma dos quadrados da soma dos valores absolutos das duas variáveis em relação à média observada. Tal índice de concordância é determinado pela Equação 3:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|Y_i - \bar{X}| + |X_i - \bar{X}|)^2} \quad (3)$$

Onde:

d = coeficiente de concordância;

X<sub>i</sub>= valores altimétricos obtidos com a imagem SRTM, em “m”;

Y<sub>i</sub>= valores altimétricos obtidos com a Estação Total, em “m”;

$\bar{X}$  = média dos valores observados pela imagem SRTM, em “m”.

O critério de interpretação para o índice de concordância foi avaliado pelo índice de desempenho, proposto por Camargo & Sentelhas (1997), que avalia o estudo de dois métodos, a saber: a precisão dada pelo coeficiente de correlação (r), que indica o grau de dispersão dos dados em relação à média, enquanto a exatidão indicada pelo índice de concordância de Willmott expressa o grau de afastamento dos valores preditos em relação aos dados observados e a confiança ou desempenho do modelo pelo índice c, sendo determinado pela Equação 4:

$$c = r \cdot d \quad (4)$$

Desta forma, o valor obtido na Equação 4, índice de desempenho dos métodos é interpretado na classificação apresentado no Quadro 6.

**Quadro 6: Classificação e interpretação do desempenho do índice de concordância.**

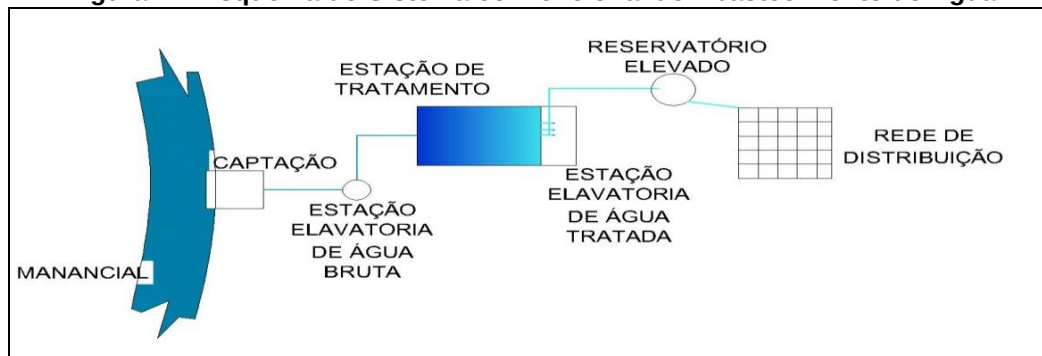
| Valor de c  | Desempenho |
|-------------|------------|
| >0,85       | Ótimo      |
| 0,75 – 0,85 | Muito Bom  |
| 0,65 – 0,75 | Bom        |
| 0,60 – 0,65 | Mediano    |
| 0,50 – 0,60 | Sofrível   |
| 0,40 – 0,50 | Mau        |
| <0,40       | Péssimo    |

### 3.3 PROJETO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Desenvolveu-se um projeto de abastecimento de água para cada um dos MDTs obtidos, visando-se a comparação da viabilidade da concepção cada projeto. Verificando o impacto no dimensionamento do projeto e a viabilidade o MDT<sub>SRTM</sub> para subsidiar a concepção e dimensionamento do sistema de abastecimento de água.

Adotou-se o sistema convencional de abastecimento de água, segundo Tsutiya (2006) mais empregado no Brasil e de grande eficiência, compostas das seguintes etapas: O manancial, captação, adutora, ETA, reservatório e distribuição. No entanto, na pesquisa foram realizadas locação do reservatório e o dimensionamento da rede de abastecimento (Figura 11).

**Figura 11: Esquema do Sistema convencional de Abastecimento de Água**



Fonte: Autor, 2018

#### 3.3.1 Concepção do projeto

Para o dimensionamento do projeto de abastecimento de água utilizou-se as informações obtidas na Etapa 1, população da área de estudo planta topográfica, nesse caso foi aplicado em ambos os MDTs; consumo per capita; coeficiente de demanda diária máxima e demanda horária máxima.

- A vazão média foi calculada pela Equação (5):

$$Q_m = P \times q / n \times 3600 \quad (5)$$

Em que:

P = População de projeto (hab)

q = Consumo per capita de água (L/hab.dia)

- Vazão de captação ( $Q_{cap}$ )

Corresponde à vazão máxima diária sendo dada em L/s, utiliza somente o coeficiente de demanda diária máxima (K1) e considerou-se o tempo (n) de captação de apenas 16 horas (Equação 6).

$$Q_{cap} = P \times q \times K1 / n \times 3600 \quad (6)$$

A vazão de distribuição ( $Q_{dist}$ ) confere a vazão máxima horária, dada em L/s, que vai do reservatório a rede de distribuição, utiliza também o coeficiente da hora de maior consumo (K2) e o tempo de distribuição abrange n=24 horas, conforme a equação 7.

$$Q_{dist} = Q_{cap} \times K2 \quad (7)$$

onde:

$$Q_{dist} = \text{Vazão distribuição (L/s)}$$

$$Q_{cap} = \text{Vazão de captação}$$

Os reservatórios foram locados nos pontos de maior altitude, considerando a área de abrangência. Para determinar o volume dos reservatórios foi adotada a recomendação de Tsutiya (2006) que corresponde a 1/3 do volume do consumo médio diário.

Segundo Tsutiya (2006), a altura do reservatório é determinada com base no ponto mais desfavorável da rede de distribuição, com pressão dinâmica mínima disponível de 10 metros de coluna d'água (mca), as perdas de carga nos trechos da rede de distribuição de água, onde se utilizou a Equação 8 de Hazen Williams.

$$H_f = 10,643 \times Q^{1,85} \times L / C^{1,85} \times D^{4,87} \quad (8)$$

Onde:

$H_f$  = Perda de carga (m);

$Q$  = Vazão do trecho ( $m^3/s$ );

$C$  = Coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams;

$D$  = Diâmetro (m);

$L$  = Comprimento do trecho (m).

Para o dimensionamento da rede de abastecimento foi utilizado o método do *Hardy-Cross* para área de estudo, com a determinação da perda de carga de Hazen Williams (Equação 8). As vazões estimadas atenderam as diretrizes da NBR12.218/94, em que foi adotado diâmetro mínimo de 50 mm

para malha secundária e para malha primaria foi adotado os critérios de vazão de Martins (1976).

Os cálculos foram realizados em planilha eletrônica, além de utilizar os *softwares* AUTOCAD 2016 e EPANET2.0 para definir o traçado da rede, de acordo com as curvas de níveis dos modelos digitais de terreno, e o cálculo e o orçamento da rede de abastecimento de água.

O programa EPANET foi realizado para executar simulações estática e dinâmica, visando a avaliação dos componentes hidráulicos da rede.

### 3.4 MORFOMETRIA DAS MICROS-BACIAS

A partir das curvas de nível e elaboração dos MTDs para cada tipo de fonte delimitou-se as sub-bacias, através dos divisores de água, utilizando *software* topográficos para determinar a área de contribuição e o *runoff* da bacia (PEREIRA *et al*, 2017 & AUGUSTO, 2017).

Para aplicação do método racional foi necessário determinar o coeficiente de escoamento superficial. No entanto, na área de estudo há variabilidade de uso e ocupação do solo, portanto necessitou-se calcular o coeficiente de escoamento médio ponderado (C), conforme a Equação 9.

$$C_p = \frac{C_1 \times A_1 + C_2 \times A_2 + C_3 \times A_3 + \dots + C_i \times A_i}{A_t} \quad (9)$$

Onde:

C<sub>i</sub>= Coeficiente escoamento do solo especificado (i)

A<sub>i</sub>= Área (i) referente a cada tipo de solo

Sendo que as áreas de cada tipo de superfície foram determinadas através da planta topográfica (Anexo 02), em seguida foram determinados os seus respectivos coeficientes de escoamento de acordo o Quadro 7.

**Quadro 7: Coeficiente de escoamento referente ao tipo de cobertura**

| Tipo de superfície                                                  | "C" médio |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| Telhado                                                             | 0,85      |
| Concreto e Calçadas (passarelas)<br>Asfalto (vias e estacionamento) | 0,80      |
| Gramma, solo pesado (Plano 0-2%)                                    | 0,20      |

Fonte: ASCE, 1969, citado por Azevedo Neto, 2002 (adaptada pelo autor, 2018).



Para a determinação do tempo de concentração ( $t_c$ ) aplicou a Equação (10) de Picking, pois segundo Sampaio *et al* (2016) indicam a expressão para áreas urbanas e bacias pequenas. Onde o “ $T_c$ ” é expresso em horas, O comprimento (L) em Km<sup>2</sup> e a declividade (S) em m/m.

$$i = 5,3 \times \left(\frac{L^3}{S_1}\right)^{0,333} \quad (10)$$

Para determinação da intensidade de chuva, segundo Tucci (2010) para projetos de condutos que conduzem água pluvial o tempo de retorno deverá ser de 2,5 a 10 anos. Dessa forma, a Equação 11 foi adotada para o cálculo da chuva intensa de Ipixuna do Pará (SOUZA, 2012)

$$i = \frac{(1106,19 \times TR^{0,10})}{(t_c + 9,79)^{0,72}} \quad (11)$$

Onde:

I = Intensidade de chuva, em mm/h;

Tr = Tempo de retorno, em anos;

$t_c$  = tempo de concentração, em minutos.

A determinação da vazão máxima será através do método racional, aplicando a Equação (12).

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3,6} \quad (12)$$

Onde:

C= Coeficiente de escoamento

I = Intensidade de chuva, em mm/h

A = Área de contribuição em km<sup>2</sup>

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

De acordo com informações da prefeitura de Ipixuna do Pará e visita *in loco*, há concentração dos serviços nas áreas mais centrais e considerável escassez nas áreas periféricas, com destaque para o agravamento dos problemas decorrentes da ausência de sistema de drenagem, esgotamento sanitários, pavimentação e abastecimento de água, principalmente.

O Quadro 8 apresenta as dimensões dos setores e sua descrição baseado nas informações obtidas na prefeitura, visita *in loco*, planta topográfica (Anexo 02).

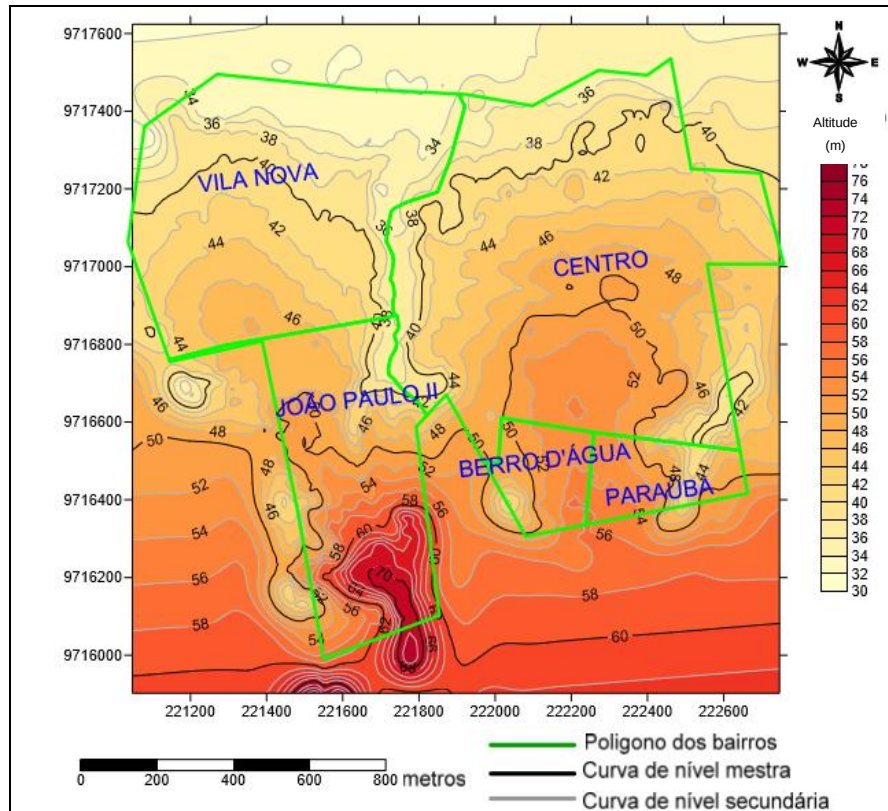
**Quadro 8: Características dos setores de Ipixuna do Pará.**

| Setores      | Área (ha) | Perímetro (km) | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------|-----------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vila Nova    | 51,87     | 2,93           | <ul style="list-style-type: none"><li>Existência de áreas de inundação ao oeste do setor;</li><li>O arruamento não regular e tem dimensões diversas;</li><li>Média angulações e modulações do relevo;</li><li>Caráter residencial, ocupação de área de várzea e vazios urbanos;</li></ul>               |
| João Paulo   | 30,52     | 3,02           | <ul style="list-style-type: none"><li>Declividade pouco acidentada</li><li>Balneário próximo à BR-010, faixa de APP.</li><li>Terreno muito acidentado, encostas com casas em situação de risco de deslizamento</li><li>Ausência de infraestrutura</li><li>Vias não pavimentadas e irregulares</li></ul> |
| Berro D'água | 6,96      | 1,08           | <ul style="list-style-type: none"><li>Apresenta traçado viário regular</li><li>Predominantemente residencial, e vazios urbanos</li><li>Terreno pouco acidentado</li><li>Áreas de várzea</li></ul>                                                                                                       |
| Paraubá      | 7,85      | 1,23           | <ul style="list-style-type: none"><li>Predominantemente residencial, e vazios urbano;</li><li>Terreno pouco acidentado</li></ul>                                                                                                                                                                        |
| Centro       | 76,14     | 3,88           | <ul style="list-style-type: none"><li>Caráter residencial e comercial.</li><li>Balneário próximo à BR-010, faixa de APP.</li></ul>                                                                                                                                                                      |

O relevo local, segundo o levantamento topográfico e conforme a Figura 12, apresentou regiões montanhosas nos setores Paraubá, Berro D'água e, principalmente, o setor João Paulo na região periférica com topografia

extremamente acidentada e declividades acentuadas de 8,18%, conforme valores apresentados a seguir, através do uso da estatística descritiva. Já na porção nordeste (setor centro) tem relevo com declinação suave.

**Figura 12: Mapa do relevo de Ipixuna e os limites de setores.**



A porção Sudoeste da área, correspondente ao setor João Paulo, encontra-se em fase de desenvolvimento urbano, com a maior amplitude de 33 metros e acidentes naturais, com ausência de infraestrutura, vias não pavimentadas, tendo áreas de difícil acesso (Figura 13).

**Figura 13: Registro fotográfico do setor João Paulo.**



Enquanto que ao Nordeste apresenta área consolidada, vias pavimentadas e topografia plana, em virtude do valor da amplitude altimétrica obtido ser de 17 metros. A região Noroeste permanece pouco antropizada, com baixa presença de vegetação (Figura 14).

**Figura 14: Registro fotográfico do setor centro.**



Observa-se a delimitação dos setores e que suas áreas têm alguma característica semelhante, de relevo, vegetação, uso e ocupação do solo, ocupação. No caso da ocupação do setor Vila Nova, semelhante ao setor centro.

As próximas etapas da pesquisa serão a sistematização dos resultados para o  $MDT_{TOP}$  e  $MDT_{SRTM}$ . Uma análise geral da área total e para cada Setor.

## 4.2 ETAPA 2: DADOS ALTIMÉTRICOS

A partir do levantamento topográfico com estação total, ressaltando-se que o levantamento de pontos de detalhes ocorreu, principalmente, ao longo do sistema viário, já que o intuito da pesquisa é avaliar as implicações do uso de SRTM nos projetos de saneamento. Dos 9735 pontos coletados com a estação total, foram selecionados 7163 pontos cotados, pois houve a necessidade de eliminar pontos que continham erro de levantamento, ou que estavam fora da área de estudo, ou duplicação de pontos na planta topográfica. A Figura 15 apresenta a distribuição dos pontos coletados.

**Figura 15: Espacialização dos pontos coletados pela estação total.**



A partir dos pontos cotados obtidos pela estação total e georreferenciados e utilizando a rede altimétrica do IBGE, foram sobrepostos na imagem SRTM e determinou as suas respectivas cotas na imagem de satélite, visto que a resolução é de 30 metros. Assim, foi possível analisar e comparar os valores obtidos com aplicação da estatística descritiva na área inteira, e posteriormente, de cada setor. No Quadro 9, são apresentados os valores de altitude máximas, mínima, média, amplitude, desvio padrão para cada fonte de levantamento, considerando a área de estudos total.

**Quadro 9: Resultados do levantamento altimétrico da Sede de Ipixuna do Pará.**

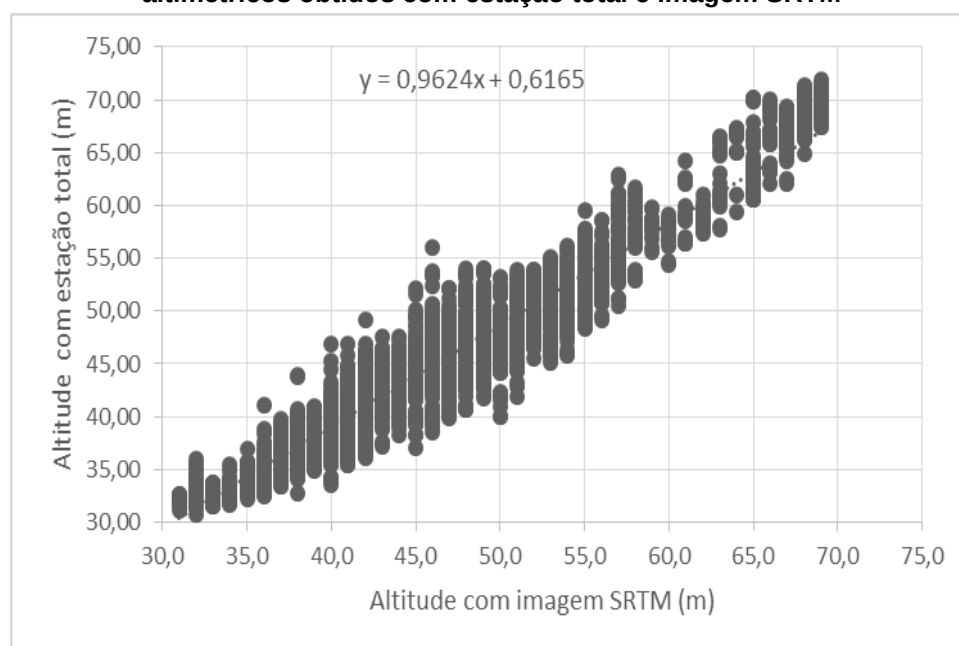
| <b>Variáveis Estatísticas</b> | <b>SRTM (m)</b> | <b>Estação Total (m)</b> |
|-------------------------------|-----------------|--------------------------|
| Tamanho da amostra =          | 7163            | 7163                     |
| Mínimo                        | 31              | 30,783                   |
| Máximo                        | 69              | 71,93                    |
| Amplitude Total               | 38              | 41,147                   |
| Primeiro Quartil (25%)        | 42              | 40,863                   |
| Terceiro Quartil (75%)        | 52              | 50,2355                  |
| Média Aritmética              | 46,998          | 45,846                   |
| Variância                     | 56,859          | 56,808                   |
| Desvio Padrão                 | 7,541           | 7,537                    |
| Erro Padrão                   | 8,91%           | 8,91%                    |
| Coeficiente de Variação       | 16,04%          | 16,44%                   |
| Média Geométrica              | 46,4075         | 45,2544                  |
| Variância (geom.)             | 1,011           | 1,0112                   |

Conforme os valores apresentados no Quadro 9, e depois do filtro, o tamanho da amostra foi de 7163 pontos, representando quase 75% da totalidade de pontos cotados na planta topográfica (Anexo 02), espacializados uniformemente na área de estudo. Identificou-se que as mínimas e máximas para altitude foram, respectivamente, de 31,0 e 69,0 metros com uso da imagem SRTM, já a para o uso da estação total os valores foram de 30,783 e 71,73 metros. A margem percentual de diferença foi de aproximadamente 1,01% entre as duas fontes.

Verifica-se que, praticamente, todos os dados estatísticos apresentaram valores próximos para os pontos cotados da estação total e da imagem SRTM. No caso do erro padrão, apresentaram valores iguais de 8,91%, representando que há ótima relação entre as duas fontes de levantamento altimétrico com a possibilidade de aplicação em projetos de engenharia (ELKHRACHY,2017), sendo reforçado pelos valores resultados do desvio padrão (7,541 e 7,537), média aritmética (46,998 e 45,846), mínimo (31,0 e 30,783), máximo (69,0 e 71,93) e variância (56,859 e 56,808), respectivamente, para  $MDT_{SRTM}$  e  $MDT_{TOP}$ .

Nesse sentido, tal similaridade entre os valores é confirmada com a análise por regressão linear simples, onde o índice de correlação de Pearson obtido entre os MDTs foi de 0,85, conforme a Figura 16.

**Figura 16: Representação da correlação linear simples entre os dados altimétricos obtidos com estação total e imagem SRTM**





A partir do gráfico pode-se determinar a Equação 13, com isso, foi possível aplicá-la para determinar a altitude da superfície, equivalente aos dados altimétricos da estação total, a partir dos dados altimétricos da SRTM de um determinado ponto.

$$y = 0,9624x + 0,6165 \quad (13)$$

Onde:

y = altitude da superfície *in loco* (estação total);

x = altitude de um determinado ponto a partir da imagem SRTM;

O índice de correlação é validado pelo índice de concordância de Willmontt de 0,975, apresentando excelente concordância entre as duas fontes. Além do índice de desempenho de concordância de 0,82, significando um ótimo desempenho.

Ao analisar os setores individualmente, com o mesmo objetivo de identificar a altitude *in loco* através dados altimétricos obtidos pela imagem SRTM de um determinado ponto, obteve-se as seguintes equações para cada setor, possibilitando aplicar o modelo para cada setor, visto que há particularidades diferentes de relevos planos e acidentados

Para o setor Vila Nova obteve-se a Equação 14. O modelo é aplicável em locais com relevo plano.

$$y = 0,9958x - 0,3389 \quad (14)$$

Para setor João Paulo obteve-se a Equação 15. O modelo é aplicável em locais com relevo mais acidentado.

$$y = 0,9979x - 0,3487 \quad (15)$$

Para setor Centro obteve-se a Equação 16. O modelo é aplicável em locais com regiões de ocupação densa, no caso de centros urbanos.

$$y = 0,8845x + 3,6062 \quad (16)$$

O valor do coeficiente apresentado é significativamente alto se comparado ao estudo de Alba *et al* (2010), onde obtiveram o R<sup>2</sup> igual a 0,25 para uma área de 16 hectares, com relevo pouco acidentado. Ainda segundo os autores, as imagens SRTM apresentaram valores acima dos pontos cotados com estação total.

A Figura 16 e o Quadro 10 representam o valor do desvio padrão de valor 7,541 metros, onde indica que grande parte da superfície tem características de relevo plano, no entanto, a amplitude para ambas fontes de dados altimétricos foram de 38,0 metros para cotas MDT<sub>SRTM</sub> e de 41,147 metros para altimetria do MDT<sub>TOP</sub>, tais valores significam que há locais com desnível de terreno, indicando que a estação forneceu valores maiores que MDT<sub>SRTM</sub>.

Essa amplitude, complementa a importância de dividir área de estudo, sendo correspondente aos setores, totalizando 5 setores ou áreas com características topográficas variadas, em que cada setor possui características topográficas uniforme em seu limite territorial. Assim, os setores serão avaliados separadamente visando identificar onde há a melhor correlação dos pontos cotados, se em terreno planos ou com declividade acentuada.

Desta forma, o Quadro 11 apresenta os resultados da estatística descritiva para cada setor, analisando a situação do terreno, identificando os pontos mais altos, baixos, declividade e a correlação entre os Modelos digitais de Terreno com o intuito de avaliar os dados altimétricos das SRTM (Li, 2005).

**Quadro 10: Resultado das altitudes dos pontos em cada setor de Ipixuna do Pará.**

|                         | Setor Vila Nova |       | Setor João Paulo |       | Setor Centro  |       | Setor Paraúba |       | Berro D'água  |       |
|-------------------------|-----------------|-------|------------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
| Área (ha)               | 51,87           |       | 30,52            |       | 76,14         |       | 7,85          |       | 6,96          |       |
| Fonte                   | Estação Total   | SRTM  | Estação Total    | SRTM  | Estação Total | SRTM  | Estação Total | SRTM  | Estação Total | SRTM  |
| Tamanho da amostra      | 1.646           | 1.646 | 2.087            | 2.087 | 2.495         | 2.495 | 480           | 480   | 456           | 456   |
| Mínimo                  | 30,78           | 30,00 | 35,95            | 36,00 | 32,82         | 34,00 | 46,40         | 48,00 | 38,94         | 41,00 |
| Máximo                  | 47,61           | 47,00 | 71,93            | 69,00 | 55,08         | 57,00 | 57,94         | 58,00 | 55,37         | 56,00 |
| Amplitude Total         | 16,82           | 17,00 | 35,98            | 33,00 | 22,26         | 23,00 | 11,53         | 10,00 | 16,44         | 15,00 |
| Primeiro Quartil (25%)  | 36,00           | 34,00 | 45,00            | 46,00 | 40,00         | 42,00 | 51,00         | 53,00 | 43,00         | 47,00 |
| Terceiro Quartil (75%)  | 44,00           | 42,00 | 54,00            | 56,00 | 47,00         | 50,00 | 53,00         | 56,00 | 51,00         | 52,00 |
| Média Aritmética        | 39,91           | 38,90 | 50,74            | 51,69 | 43,57         | 45,91 | 51,76         | 54,21 | 46,84         | 49,50 |
| Variância               | 18,93           | 20,97 | 69,90            | 64,94 | 23,47         | 29,28 | 35,67         | 52,37 | 21,38         | 12,52 |
| Desvio Padrão           | 4,35            | 4,79  | 8,36             | 8,06  | 4,84          | 5,41  | 1,89          | 2,29  | 4,62          | 3,54  |
| Erro Padrão             | 0,11            | 0,11  | 0,18             | 0,18  | 0,10          | 0,11  | 0,09          | 0,10  | 0,22          | 0,17  |
| Coeficiente de Variação | 10,9%           | 11,8% | 16,5%            | 15,6% | 11,1%         | 11,8% | 3,65%         | 4,22% | 9,87%         | 7,15% |

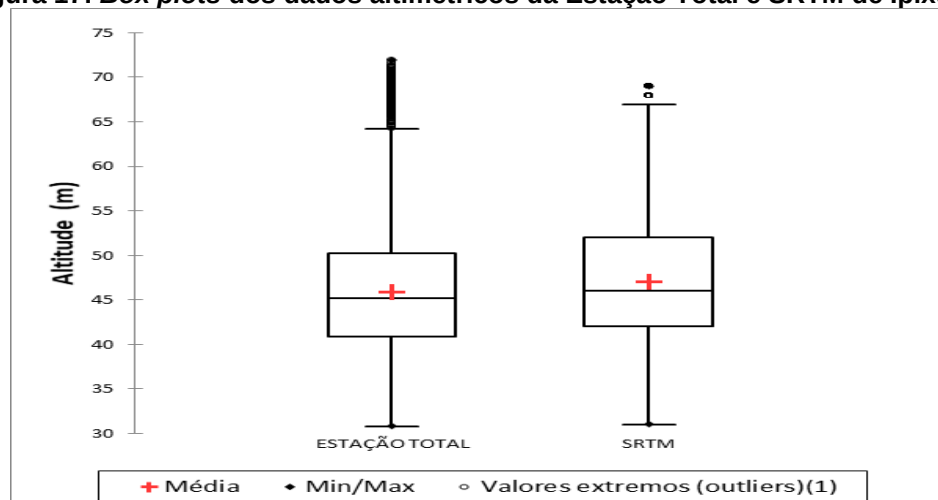


Para Alba *et al* (2010) há enorme diferença entre a precisão da estação total e imagem de satélite, pois o levantamento convencional há o contato direto com a superfície, enquanto que na imagem SRTM a resolução espacial influencia na qualidade das informações altimétricas. Porém os resultados expressos no Quadro 10 refletem um outro cenário, pois está perceptível a boa correlação entre os dados altimétricos da SRTM com os pontos cotados da estação total. Para os 5 setores avaliados, nota-se que os setores com declividade plana, já que as amplitudes foram menores, são os setores Vila Nova, Centro, Berro D'água e Paraúba.

Outro ponto a ser observado é que quando são analisados os dados altimétricos do setor Paraúba, respectivamente, da estação total e SRTM, que apresentou a segunda menor área, o valor de variação (35,67 e 52,73) e desvio padrão (1,89 e 2,29) foram diferentes. As divergências entre os valores podem ser explicadas em virtude da limitação de área para o uso de SRTM. Segundo Landau e Guimarães (2011), em função da resolução espacial de 30m, apresentam limitações de uso para dimensões territoriais pequenas, então sendo mais adequados para áreas de maior superfície.

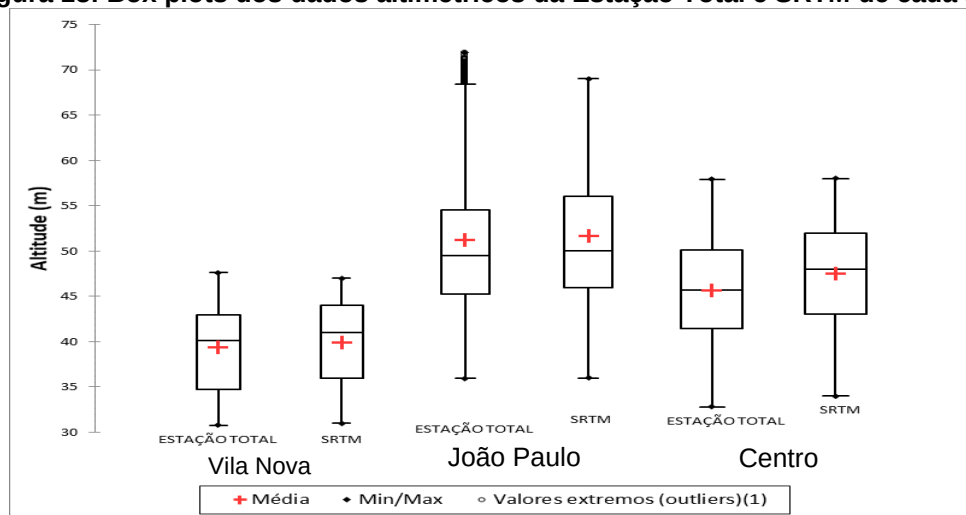
Os resultados altimétricos para Ipixuna do Pará, de forma geral, podem ser ilustrados na Figura 17, representados pelos gráficos *Box plots*, onde se verifica que os dados altimétricos obtidos pelo  $MDT_{SRTM}$  são mais elevadas do que o  $MDT_{TOP}$ , em termos de comparação absoluta, 5.195 pontos (72,53%) apresentaram cotas mais elevadas para  $MDT_{SRTM}$ , enquanto que 1.968 pontos (27,47%) tiveram os valores de cotas mais elevadas para  $MDT_{TOP}$ .

**Figura 17: Box plots dos dados altimétricos da Estação Total e SRTM de Ipixuna.**



Quando se analisa os dados altimétricos isoladamente, por setor, são gerados os *box plots* (Figura 18) para identificar em que tipo de relevo essa diferença de altitude entre as fontes são mais acentuada ou não.

**Figura 18: Box plots dos dados altimétricos da Estação Total e SRTM de cada setor.**



A Figura 18, que analisa os setores, reflete o exposto na Figura 19, onde a maioria dos pontos apresentam as maiores elevações para os dados obtidos com  $MDT_{SRTM}$ , afirmação interpretadas pelo 1° e 3° *quartis* do gráfico *box plots*, em que contêm 50% das amostras, demonstrando que há tendência dos valores da imagem SRTM serem maiores que os dados do  $MDT_{TOP}$ .

Também avaliou os erros absolutos e o percentual da diferença entre as cotas das duas fontes de levantamento para os 7.163 pontos, os resultados são apresentados em forma de percentual e valor absoluto, conforme o Quadro 11, onde são observados os valores dos erros quando os dados altimétricos do  $MDT_{SRTM}$  são maiores ou menores que os dados altimétricos do  $MDT_{TOP}$ .

**Quadro 11: Comparativo entre os dados altimétricos para as duas fontes de levantamento**

| Setor      | Quando as cotas $MDT_{SRTM} > MDT_{TOP}$ |                                |                   |                       | Quando as cotas $MDT_{SRTM} < MDT_{TOP}$ |                                |                   |                       |
|------------|------------------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------------|
|            | Quant. Pontos                            | Percentual ao total da amostra | Média do Erro (m) | Amplitude do Erro (m) | Quant. Pontos                            | Percentual ao total da amostra | Média do Erro (m) | Amplitude do Erro (m) |
| Ipixuna    | 5.195                                    | 72,5 %                         | 2,06              | 10,03                 | 1.968                                    | 27,5 %                         | 1,25              | 10,02                 |
| Vila Nova  | 1.090                                    | 66,2 %                         | 1,26              | 6,37                  | 556                                      | 33,8 %                         | 0,96              | 4,03                  |
| João Paulo | 1.231                                    | 58,9 %                         | 1,93              | 5,83                  | 856                                      | 41,1 %                         | 1,67              | 10,02                 |
| Centro     | 2.874                                    | 83,8%                          | 2,43              | 10,03                 | 556                                      | 16,2 %                         | 0,89              | 6,86                  |

Analisando-se o Quadro 11, no caso de Ipixuna, quando comparado qual tipo de levantamento apresentou altitudes mais elevadas para cada ponto, percebe-se que 72,5% (5.195) dos pontos cotados apresentaram valores de cotas superiores para o  $MDT_{SRTM}$ , enquanto que somente 27,5% (1.968) das amostras apresentaram cotas maiores para  $MDT_{TOP}$ . Observa-se que essa diferença entre dos dados gerou um erro médio de 2,06 metros para quando o  $MDT_{SRTM}$  for maior que os dados do  $MDT_{TOP}$ .

Quando analisados os erros absolutos para cada setor, ainda de acordo com o Quadro 11, nota-se que em todos os setores pontos levantados apresentaram altitudes maiores para o  $MDT_{SRTM}$ , sendo que no setor Vila Nova 66,2%, no setor João Paulo 58,9% e no setor Centro 83,8% da amostragem de ponto refletiram dados altimétricos para com o uso do  $MDT_{TOP}$ .

O maior percentual foi no setor Centro, pode ser explicado em virtude da referida área ser consolidada e adensada por comércio e edificações com mais de um pavimento, algo que poderia ter interferido na obtenção de informações de altimetria do  $MDT_{SRTM}$ , com a resolução da imagem de 30m x 30m.

Outro ponto verificado no Quadro 12, foi no setor Vila nova que apresentou a menor diferença de valores entre as fontes de levantamento topográfico, muito provavelmente, em decorrência de o terreno possuir o relevo mais plano, conforme citado anteriormente no Quadro 11.

Os resultados da estatística descritiva são validados pelo índice de correlação “ $r$ ”, o índice de concordância “ $d$ ” e o índice de desempenho “ $c$ ”, conforme o Quadro 12, que apresenta o valor para área em geral e para cada setor.

**Quadro 12: Desempenho dos métodos de estimativa de correlação entre dados altimétricos segundo o índice de Desempenho.**

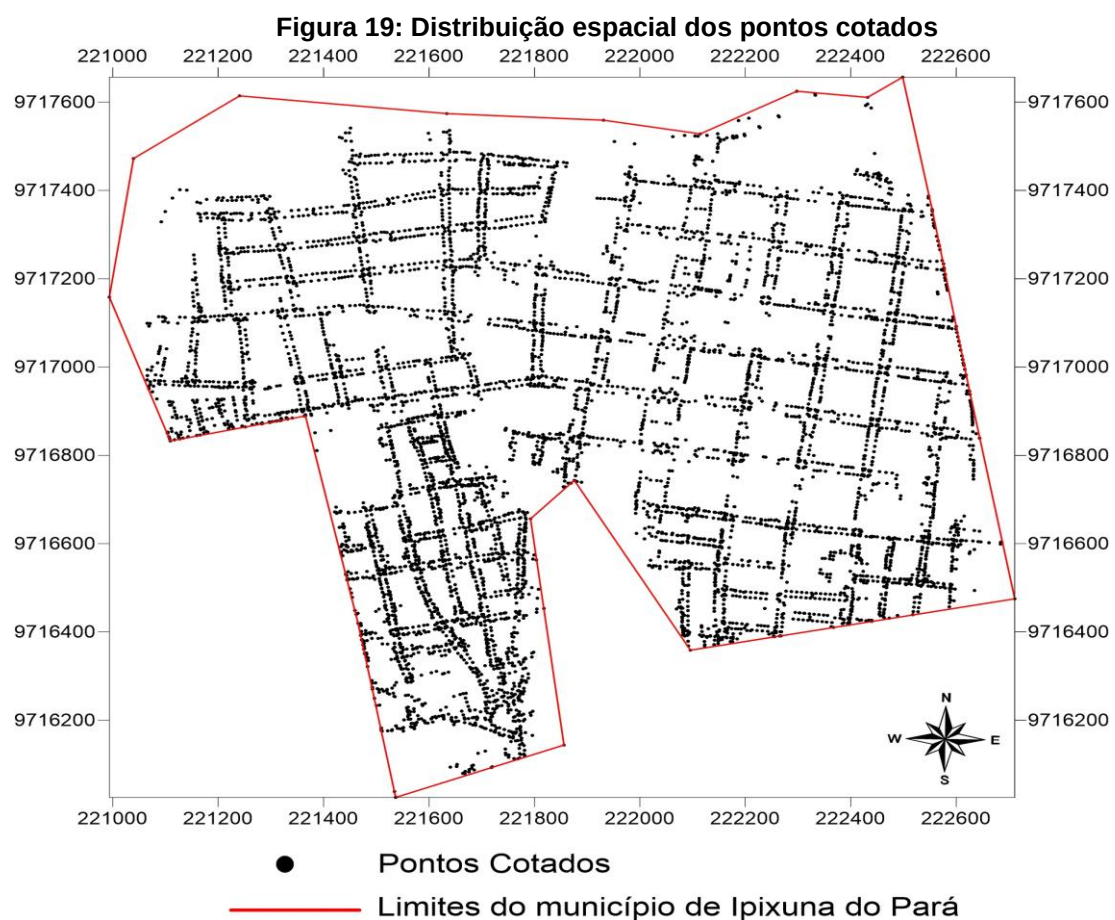
|                  | Índice de correlação<br>Pearson ( $r$ ) | Índice de<br>concordância ( $d$ ) | Índice de<br>Desempenho ( $c$ ) |
|------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Ipixuna          | 0,85                                    | 0,97                              | 0,82                            |
| Setor Vila Nova  | 0,87                                    | 0,91                              | 0,79                            |
| Setor João Paulo | 0,90                                    | 0,93                              | 0,84                            |
| Setor Centro     | 0,93                                    | 0,880                             | 0,82                            |

Os dados altimétricos do  $MDT_{SRTM}$  e  $MDT_{TOP}$  apresentaram correlação e desempenho muito bom, de acordo os índices expostos no Quadro 12. Para os

7.163 pontos, o índice de desempenho foi de 0,82, sendo considerado muito bom o desempenho, segundo a classificação de Camargo & Sentelha (1997), valor ( $d$ ) mais próximo de 1,00 significa que há um ótimo desempenho. Quando analisados os setores separadamente percebe-se também um desempenho muito bom entre a correlação das duas fontes, visto que o setor Vila Nova, com  $d$  igual a 0,79, o setor João Paulo, com  $d$  igual 0,84 e para o setor Centro, o valor de 0,82.

#### 4.3 ETAPA 3: EXECUÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL

A construção das curvas de nível é fundamental para a elaboração de modelo digitais de superfícies e terrenos. Desta forma, a Figura 19 apresenta a distribuição uniformemente espacializada do pontos, procurando cobrir totalmente a superfície da área, exceto a pequena área na porção noroeste, pela falta de acesso.

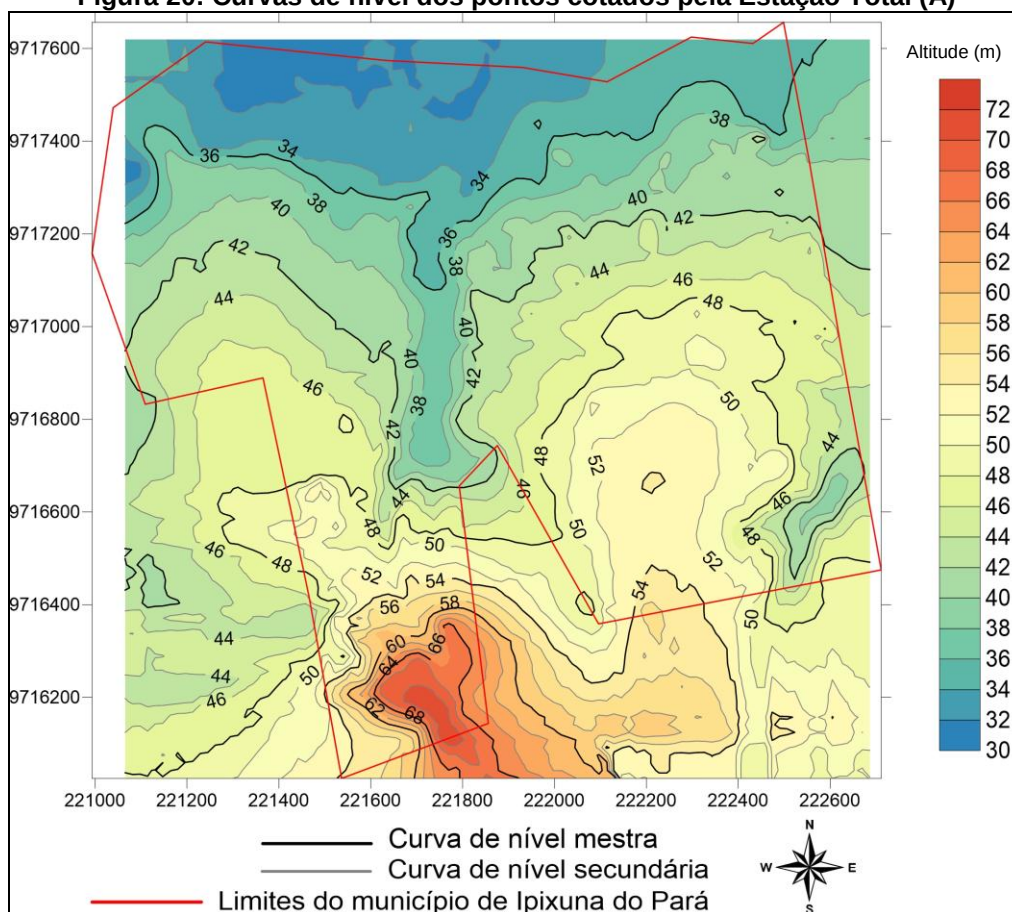


De acordo com Alba *et al* (2010) e Elkhachy (2017), afirmam a boa precisão e acurácia dos dados altimétricos da estação total, por tratar-se de levantamento direto *in loco*. Mesmo com as imagens SRTM serem elaboradas a partir de imagem de satélite, sendo susceptível a alteração de informações altimétricas. Consequentemente, haveria a possibilidade de ocorrer distorções por causa da presença de áreas verdes e cobertura de telhados.

Porém, os pontos coletados a partir da estação total foram referentes aos atributos de alinhamento de quadra, posição dos postes de energia e sistema viário existente, dessa maneira a maioria dos pontos cotados não estava próxima de árvores e telhados, conforme Elkhachy (2017) é a provável justificativa para os resultados apresentados nessa pesquisa entre a estação total e imagem SRTM serem satisfatórios.

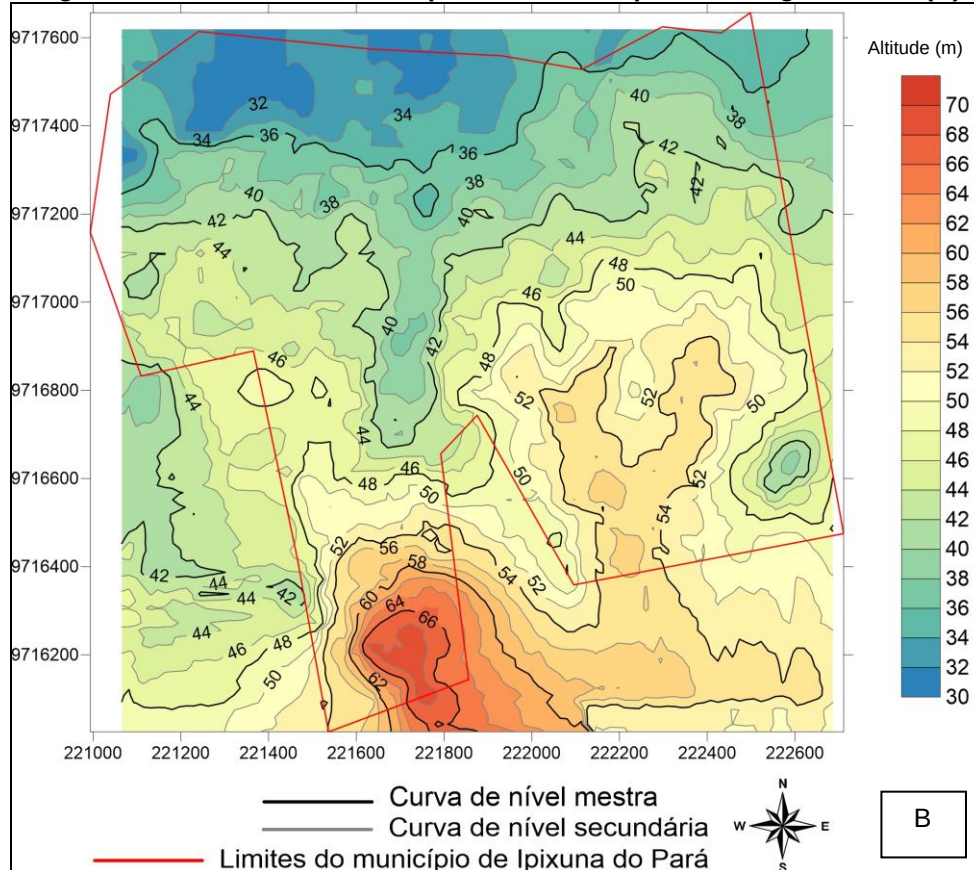
Vale ressaltar que Arum (2013) cita que há boa precisão da fonte de dados SRTM. Contudo, tais informações podem ser refletidas e identificadas no resultado das curvas de nível a partir dos pontos cotados, conforme a Figura 20.

**Figura 20: Curvas de nível dos pontos cotados pela Estação Total (A)**





**Figura 21: Curvas de nível dos pontos cotados pela da imagem SRTM (B)**

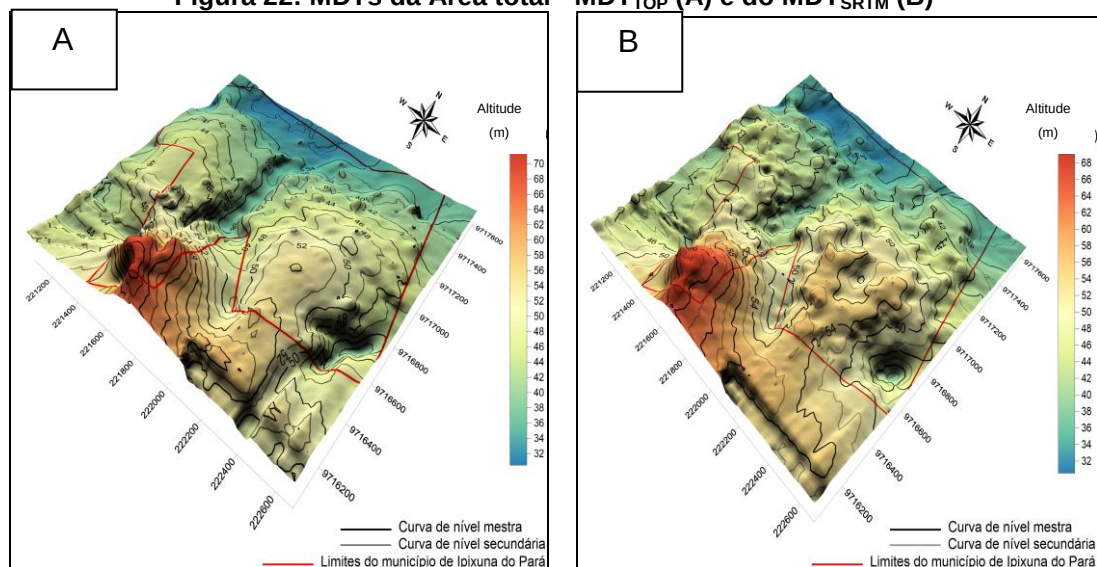


A partir das curvas de nível (Figura 21), pode-se verificar que nos dois casos as áreas de maior e menor altitude estão localizadas na mesma região. No entanto, é perceptivo que as curvas de nível, referente aos pontos cotados da estação representou a melhor continuidade e contornos das curvas em relação às curvas de nível geradas a partir do MDT<sub>SRTM</sub>, algo idêntico com que Elkharchy (2017) identificou, que a SRTM pode ser utilizada para desenvolver plantas topográficas com contorno não inferior a 16m.

#### 4.4 ETAPA 4: MODELOS DIGITAIS DE TERRENO

Realizada a interpolação de *Kriging* para os dois tipos de fonte de levantamento, gerou-se as curvas de nível, conforme visto na Figura 21. A geração das curvas de nível possibilitou a realização dos (MDT), sendo possível a visualização tridimensional do terreno da área de estudo, conforme a Figura 22.

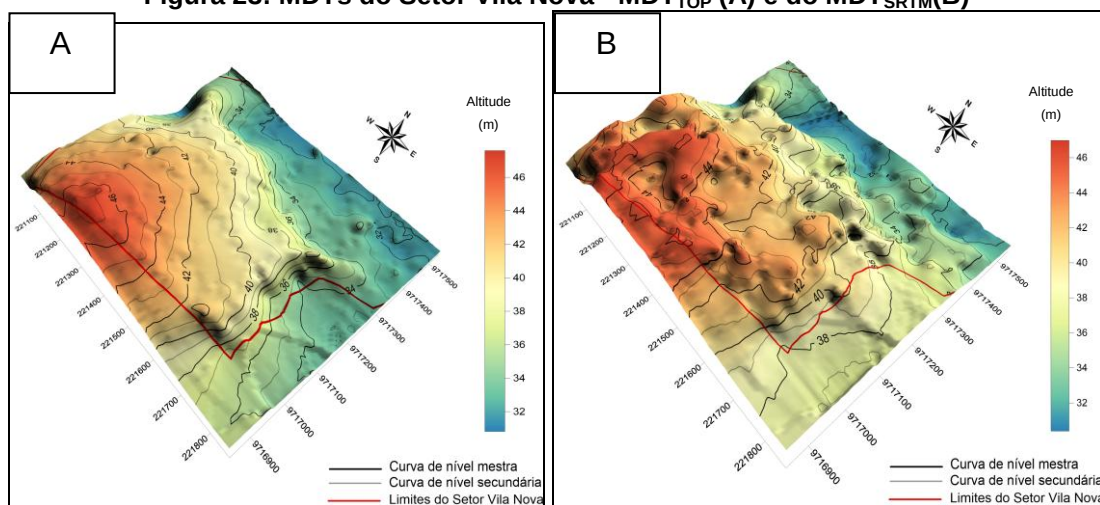
**Figura 22: MDTs da Área total - MDT<sub>TOP</sub> (A) e do MDT<sub>SRTM</sub> (B)**



Desta forma, a Figura 24, ilustra e reitera os resultados obtidos na estatística descritiva, identificando as porções de áreas com altitudes elevadas e as localidades com presença de cursos d'água. Assim como a boa correlação entre as duas fontes. No entanto, o MDT<sub>TOP</sub> descreve mais fielmente o terreno e a direção da declividade, devido à representação contínua dos contornos das curvas, enquanto que o MDT<sub>SRTM</sub> apresenta maior sinuosidade da declividade entre os pontos de maior e menor altitude.

Ao analisar os MDTs (Figura 23, 24 e 25) de cada setor ficam mais perceptíveis as informações das sinuosidades das declividades entre os pontos de maior e menor altitude.

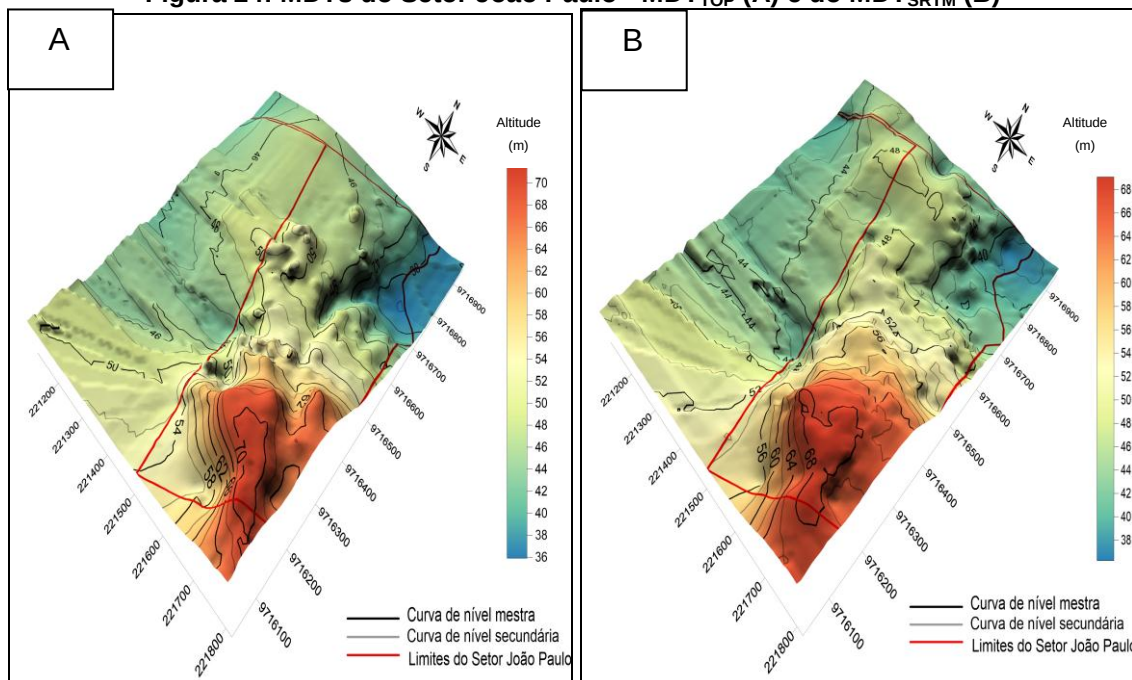
**Figura 23: MDTs do Setor Vila Nova - MDT<sub>TOP</sub> (A) e do MDT<sub>SRTM</sub>(B)**



Quando ponderado, os setores apresentaram resultados estatísticos semelhantes, porém ao verificar as Figuras 24 e 25 há a descontinuidade das

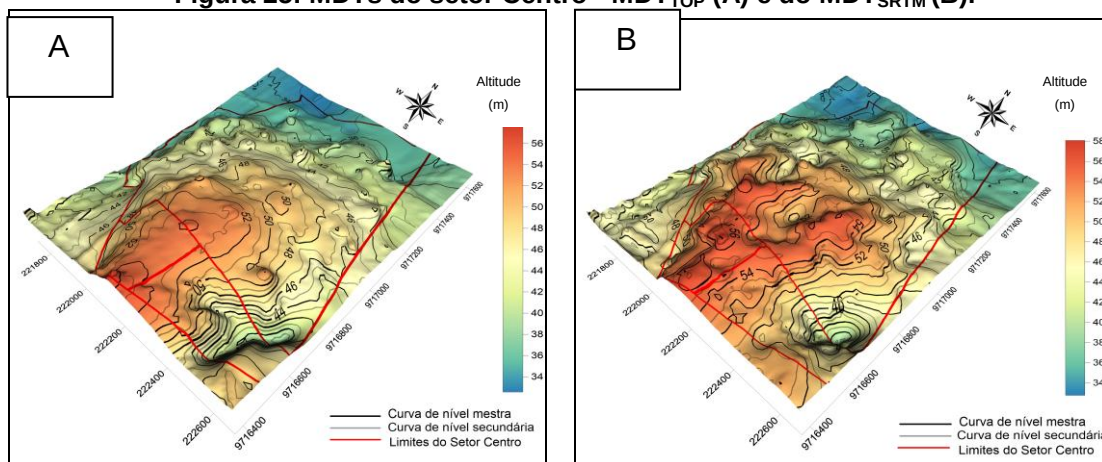
linhas de curvas nível no MDT<sub>SRTM</sub>, sendo acentuada e maior discordância entre os MDTs João Paulo (Figura 26).

**Figura 24: MDTs do Setor João Paulo - MDT<sub>TOP</sub> (A) e do MDT<sub>SRTM</sub> (B)**



Após a limitação da utilização da imagem SRTM, em virtude da resolução de 30m x 30m, onde as quantidades de pixels para os setores Paraúba e Berro D'água, além da somatória da área desses 2 (dois) setores correspondem a 3% do setor centro, nesse caso, optou-se por unir as 3 (três) áreas em um único setor, denominado de setor Centro, assim obtendo a nova configuração do setor, conforme a Figura 25. Na qual foram realizados os estudos.

**Figura 25: MDTs do setor Centro - MDT<sub>TOP</sub> (A) e do MDT<sub>SRTM</sub> (B).**



Conforme os MDTs apresentados acima, verificam que as aplicações do SRTM na engenharia estarão relacionadas com a resolução vertical e



horizontal, de acordo com Landau *et al* (2011), limitará a escala da área de estudo, assim, explica a necessidade de unificação de 3 setores em um (Figura 25), pois os setores Berro D'água e Paraúba possuem área de aproximadamente 1 (um) hectare. Condições que aparentemente poderia ter subestimado os dados altimétricos.

#### 4.5 ETAPA 5: DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.

##### 4.5.1 Demanda populacional

Fundamentos nos dados do IBGE de 2000, 2010 e nos dados disponibilizados pelo Projeto Moradia Cidadã de 2015, desta forma a população estimada para 20 anos de projeção são de 16.580 habitantes, com base no Quadro 13.

**Quadro 13: Número de residência.**

| SETORES                        | População Abastecida |
|--------------------------------|----------------------|
| João Paulo                     | 3.571                |
| Vila Nova                      | 5.743                |
| Centro, Berro D'água e Paraúba | 7267                 |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>16.580</b>        |

##### 4.5.2 Determinações das variáveis para o SAA

A sede de Ipixuna, por ser considerada área consolidada e majoritariamente de residências, optou-se por adotar os coeficientes recomendados por Tsutiya (2005) por ter “picos” de consumo. Além de optar por utilizar a per capita de 200 L/hab.dia. Portanto, as variáveis para o dimensionamento da rede de drenagem estão no Quadro 14.

**Quadro 14: Dados adotados para o dimensionamento o SAA.**

| Variável                                   | Unidade   | Valor |
|--------------------------------------------|-----------|-------|
| Coeficiente de demanda diária máxima (K1)  | -         | 1,3   |
| Coeficiente de demanda horária máxima (K2) | -         | 1,5   |
| População de projeto (P)                   | Hab       | 16580 |
| Consumo <i>per capita</i> (q)              | L/hab.dia | 200   |

O dimensionamento SAA foi dividido em setores: Vila Nova, João Paulo e Centro, de acordo com o Quadro 15.

**Quadro 15: Demanda de consumo de água do SAA.**

| Setor                    | População de Projeto (hab) | Vazão (m³/h)  |               |                | Reservatório (m³) |
|--------------------------|----------------------------|---------------|---------------|----------------|-------------------|
|                          |                            | Média         | Máxima Diária | Máxima Horária |                   |
| Vila Nova                | 5743                       | 47,85         | 57,43         | 86,14          | 153               |
| João Paulo               | 3571                       | 29,76         | 35,71         | 53,56          | 95,33             |
| Centro + Berro + Paraúba | 7267                       | 60,56         | 72,67         | 109,00         | 193,67            |
| <b>Total</b>             | <b>16580</b>               | <b>138,17</b> | <b>165,80</b> | <b>248,71</b>  | <b>1326</b>       |

Então, partindo-se da utilização das variáveis de entrada para o dimensionamento, pode-se determinar as vazões médias, vazão do dia de maior consumo e vazão da maior hora de consumo para cada setor, de acordo com o Quadro 16. Sendo que foi considerando o tempo de funcionamento de 18 horas.

Os Reservatórios foram dimensionados admitindo-se 1/3 do volume diário de maior consumo, sendo determinadas as dimensões dos reservatórios elevados e reservatórios enterrados, conforme o Quadro 16.

**Quadro 16: Volume e dimensões dos reservatórios de cada Setor.**

| SAA        | Volume Total Reservado | Reservatório Elevado |       |          | Reservatório Enterrado |       |       |          |
|------------|------------------------|----------------------|-------|----------|------------------------|-------|-------|----------|
|            |                        | Alt (m)              | Ø (m) | Vol (m³) | Alt (m)                | L (m) | C (m) | Vol (m³) |
| Vila Nova  | 45,90                  | 4,00                 | 4,00  | 50,24    | 4,00                   | 5,00  | 5,50  | 110,00   |
| João Paulo | 85,80                  | 4,50                 | 5,00  | 88,31    | 4,00                   | 4,00  | 4,50  | 72,00    |
| Centro     | 174,30                 | 5,00                 | 6,80  | 181,49   | 4,50                   | 5,10  | 6,00  | 137,70   |

As dimensões dos reservatórios, adotados a partir dos 2 (dois) MDTs terão as mesmas dimensões, porém, quando executado o dimensionamento da malha da rede pelo método de *Hardy Cross*, verificou-se que, apesar da localização dos reservatórios serem as mesmas nos MDTs, houve uma diferença considerável na altura mínima da lamina d'água nos reservatórios dos 3 setores, conforme o Quadro 17.

**Quadro 17: Altura mínima da lamina d'água nos reservatórios de cada Setor.**

| Setor                    | Altura do nível mínimo do elevado (m) |             | Percentual de diferença entre os MDTs |        |
|--------------------------|---------------------------------------|-------------|---------------------------------------|--------|
|                          | MDT Estação Total                     | MTD da SRTM | Metros                                | %      |
| Vila Nova                | 16,73                                 | 20,7        | 3,97                                  | 23,73  |
| João Paulo               | 14,05                                 | 15,43       | 1,38                                  | 9,82   |
| Centro + Berro + Paraúba | 18,29                                 | 15,13       | 3,16                                  | -17,28 |

Tais valores terão implicações diretas no dimensionamento da rede, pois alteraram as pressões em cada nó. No caso, dos setores Vila Nova e João Paulo, o sistema estará com pressões elevadas, mas de acordo com a NBR 12218/2017, as pressões estáticas máximas nas tubulações distribuidoras deve ser de 50 mca e a pressão dinâmica mínima de 10 mca. Por outro lado, o Setor Centro poderá apresentar pressões abaixo de 10 mca, visto que a diferença de cota entre os dois MDTs para altura do reservatório foi de 3,16 metros.

Quanto à composição do orçamento haveria uma grande chance de subdimensionar ou superdimensionar o do sistema de abastecimento de água baseado no relevo da imagem SRTM, posto que a diferença apresentada no Quadro 17 para cota mínima da lamina d'água do reservatório foi -17,3% a 23,7%. Fator que oneraria o custo de execução. Além de ter impacto na simulação da perda de carga.

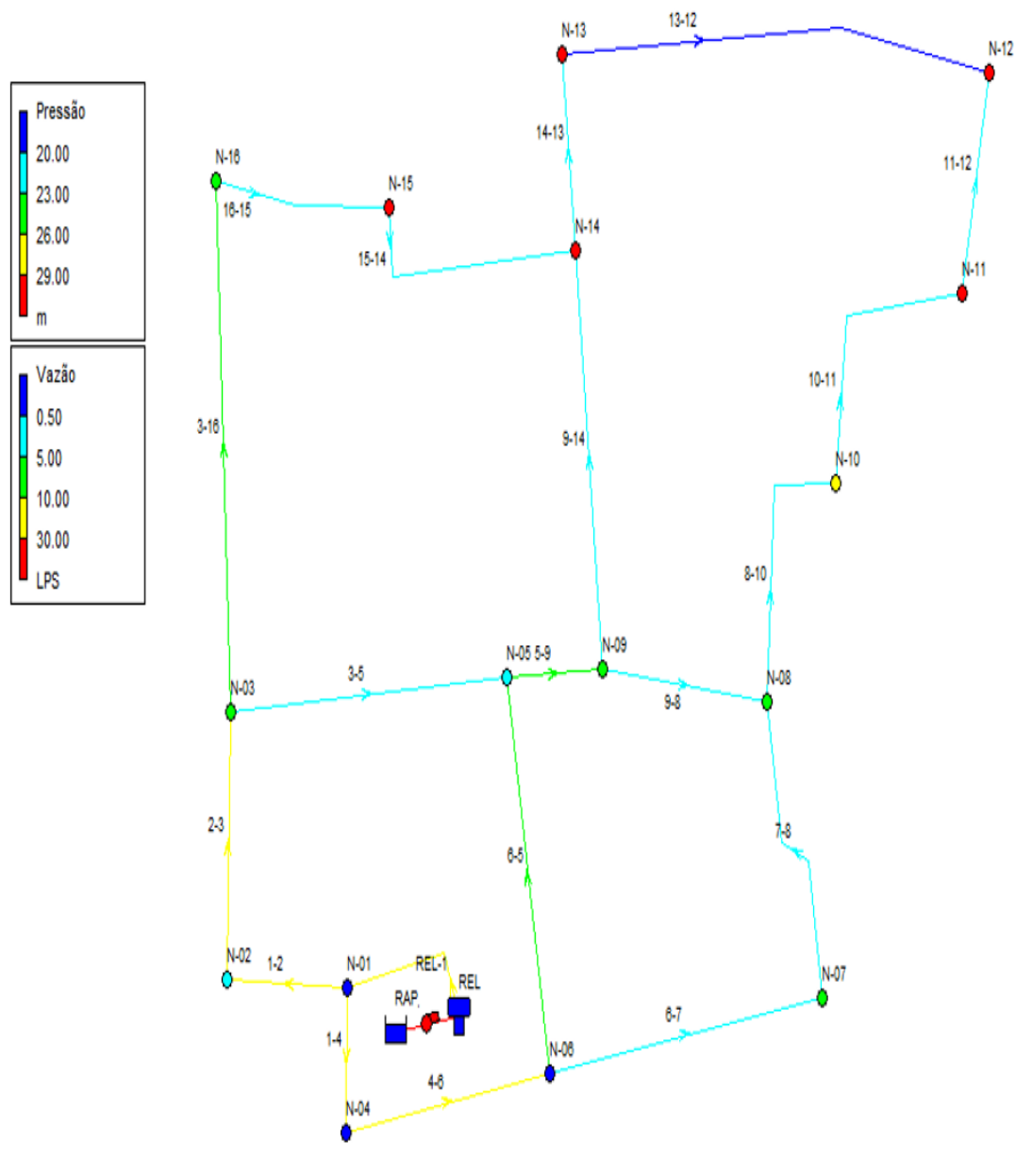
#### **4.5.3 REDE DE ABASTECIMENTO**

A rede de distribuição foi dividida em três etapas, corresponde ao dimensionamento do SAA para cada setor.

- **Setor do Vila Nova**

Para o setor do Vila Nova a rede principal terá a configuração de 4 (quarto) anéis e 16 (dezesseis) nós, constituindo uma malha de 19 trechos, interligados desde do reservatório elevado, de acordo com a Figura 26.

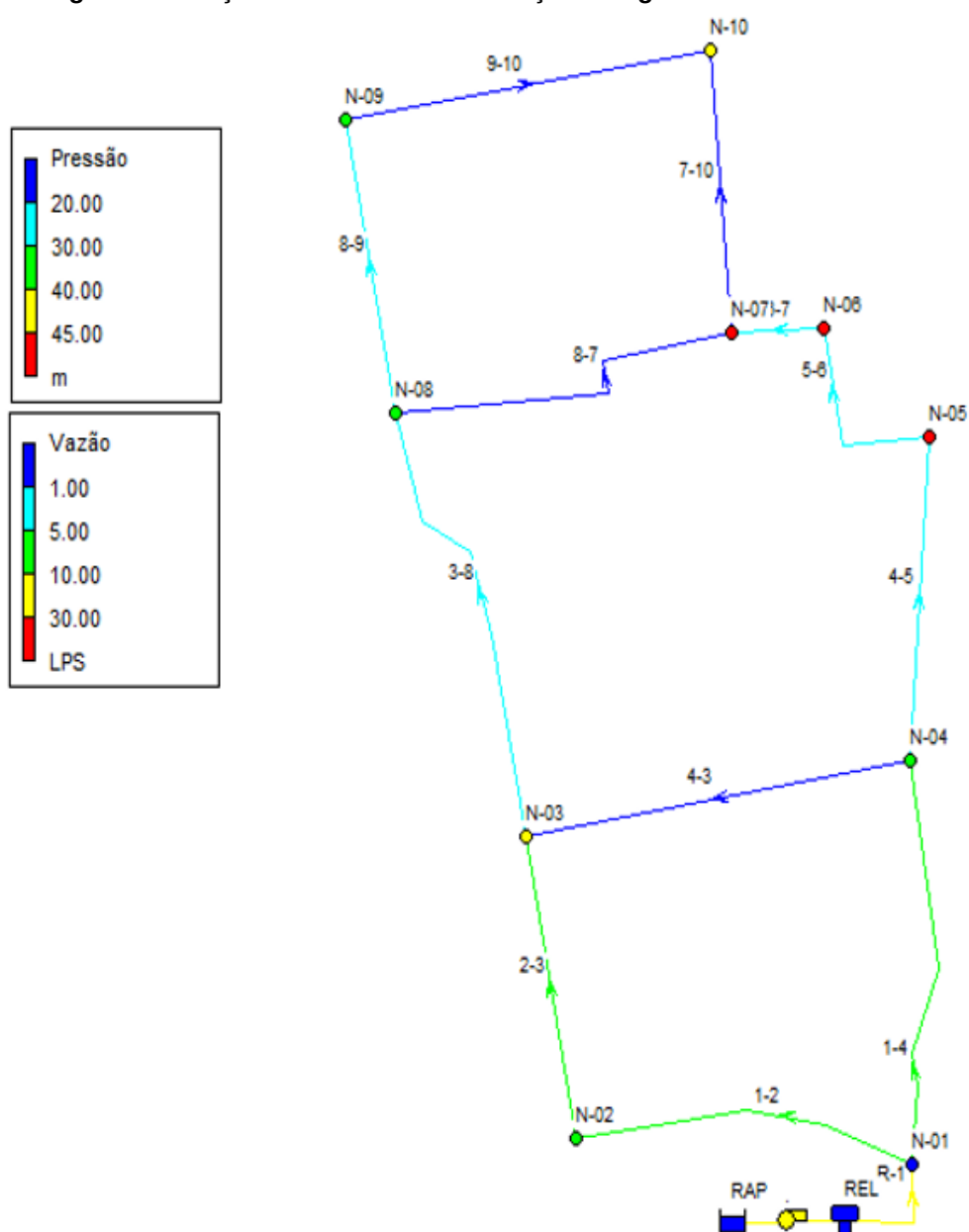
**Figura 26: Traçado da rede de distribuição de água do setor Vila Nova.**



- Setor do João Paulo**

Para o setor do Vila Nova a rede principal terá a configuração de 3 (quarto) anéis e 10 (dezesesseis) nós, constituindo uma malha de 12 trechos, interligados desde do reservatório elevado, conforme a Figura 27.

**Figura 27: Traçado da rede de distribuição de água do setor João Paulo.**

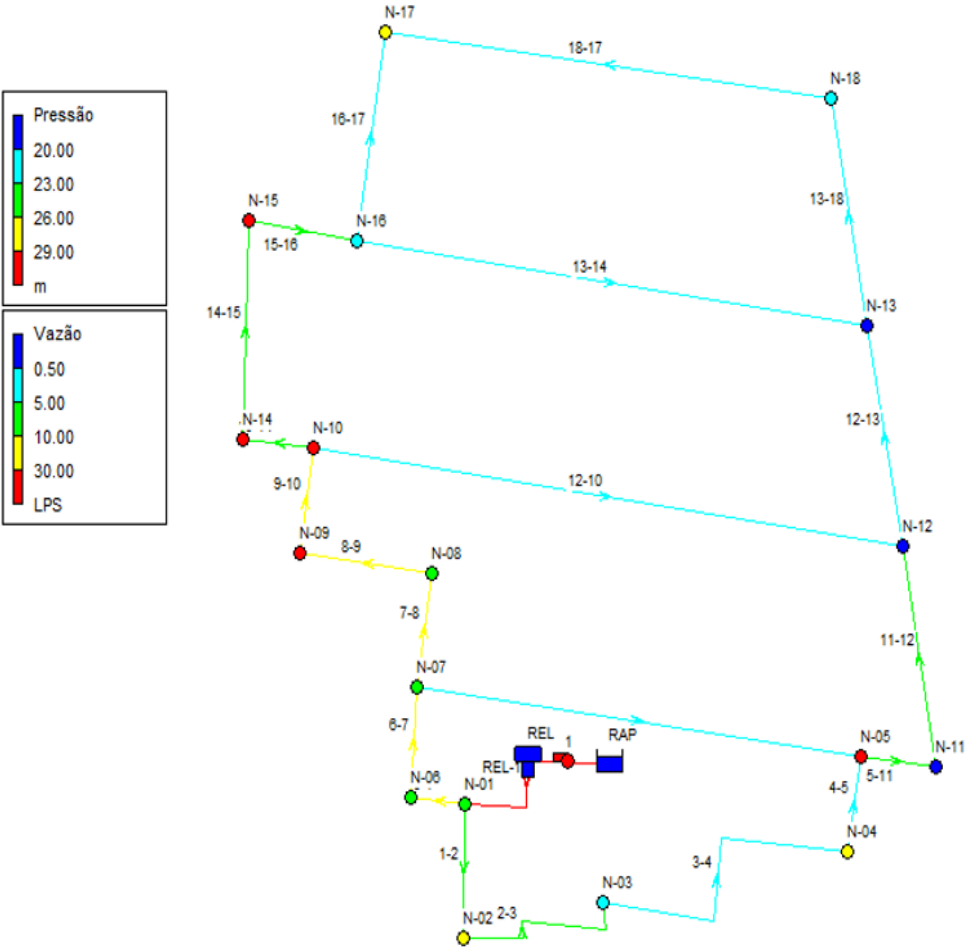


- **Setor do Centro + Berro + Paraúba**

Para o setor do Vila Nova a rede principal terá a configuração de 4 (quarto) anéis e 18 (dezesseis) nós, constituindo uma malha de 22 trechos.

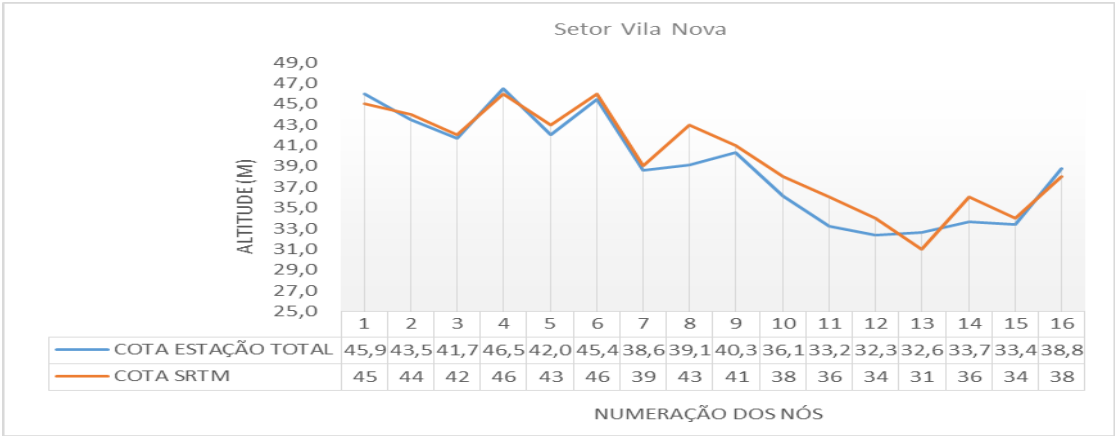
Para o dimensionamento, adotou-se os dados iniciais presente no Figura 28. Sendo que estão separados por setores.

Figura 28: Traçado da rede de distribuição de água do setor Centro + Berro + Paraúba.



A pressão na rede tem relação direta com a cota de montante e jusante de cada trecho, desta forma, após o traçado da malha de distribuição, comparou-se e avaliou-se altitudes obtidas a partir dos MDTs para cada nó, segundo as Figuras 29, 30 e 31.

Figura 29: Análise comparativa entre as cotas de cada nó a partir dos MDTs do SAA do Setor Vila Nova.



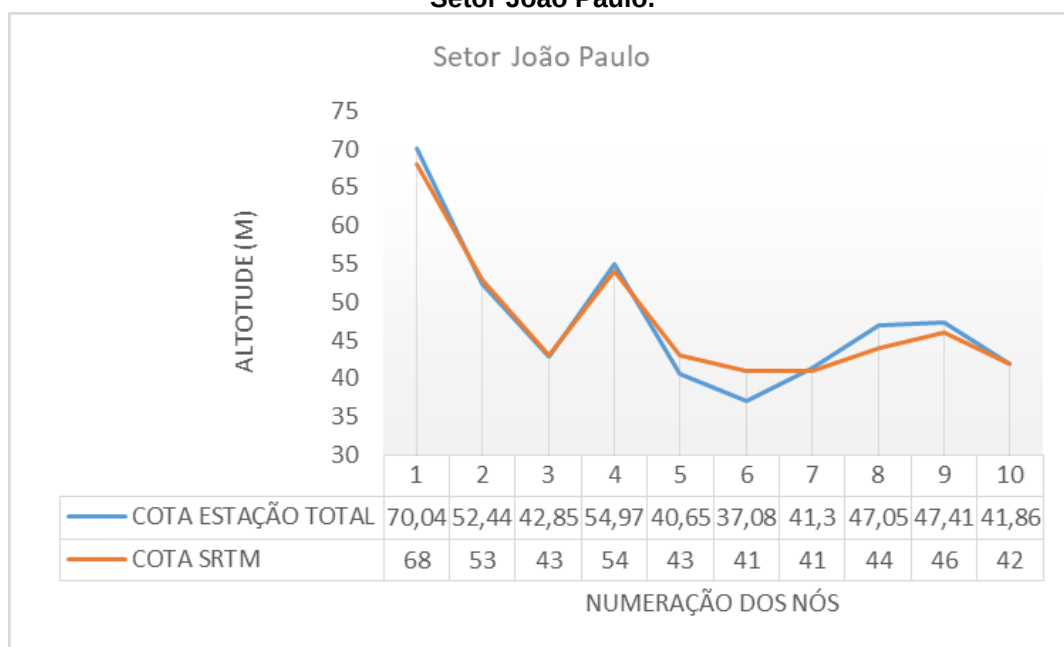
Na Figura 29 demonstra que as cotas dos nós tiveram uma diferença média de 1,27 metros entre os MDTs. Sendo que os menores desnivelamento

foram nos primeiros nós, localizados mais próximos do local destinado à implantação do reservatório elevado. Esse local apresenta as maiores elevações do setor Vila Nova e possuindo uma declividade suave tanto para o  $MDT_{TOP}$  e  $MDT_{SRTM}$ .

Dos locais selecionados para instalação da rede de abastecimento no setor vila nova, constatou que 72% dos pontos apresentaram cotas maiores a partir do  $MDT_{SRTM}$  do que os  $MDT_{TOP}$ , onde o coeficiente de Pearson foi de 0,96. Além do mais, dos nós de 7 a 13 há uma diferença considerável entre as cotas obtidas, chegando até 3,89 metros no nó 8. Essa referida disparidade pode ser explicado por haver uma presença maior de árvores, visto que são os pontos próximos as margens do rio.

Enquanto que ao se analisar o setor João Paulo, o qual apresentou a maior amplitude (Figura 30), entre os 3 setores analisados, tanto para  $MDT_{TOP}$  (35,98 metros) e  $MDT_{SRTM}$  (33 metros), o setor obteve a melhor correlação, com o valor do coeficiente de Pearson de 0,98, entre os dados altimétricos nos nós, com uma diferença média de 1,49 metros. Sendo que a maior divergência foi no nó 06, com 3,92 metros.

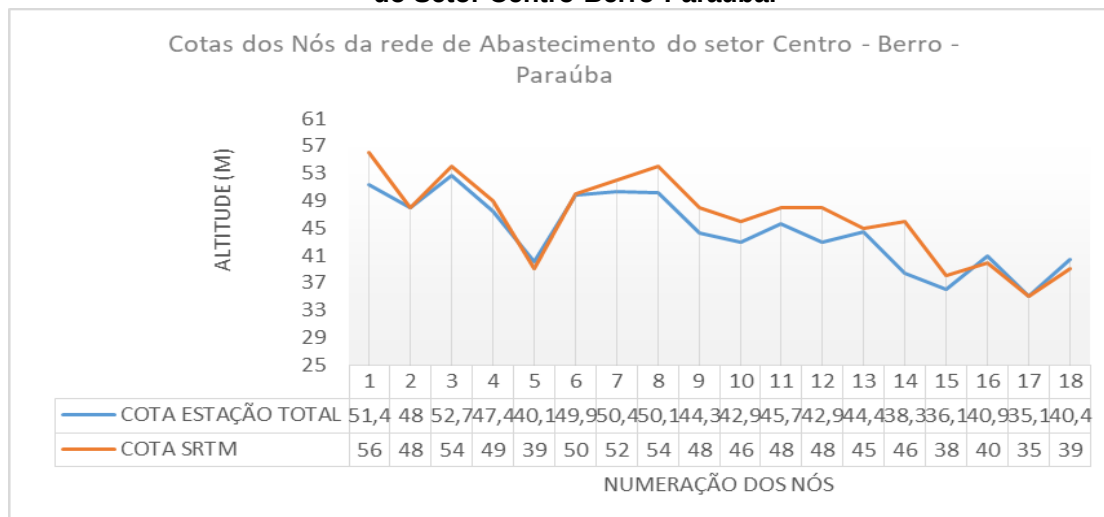
**Figura 30: Análise comparativa entre as cotas de cada nó a partir dos MTDs do SAA do Setor João Paulo.**



A Figura 31 refere-se ao setor centro, que apresentou a maior disparidade entre as altitudes, pois observou-se que nó 01 o valor foi de 4,62 metros e a média da diferença de cota entre os dados do  $MDT_{TOP}$  e  $MDT_{SRTM}$

foi de 2,15 metros, além de que 72% das altitudes SRTM foram superiores as altitudes dos dados da estação total, consequentemente, a correlação entre as informações foi a menor, com o valor do coeficiente de Pearson de 0,91

**Figura 31: Análise comparativa entre as altitudes de cada nó a partir dos MTDs do SAA do Setor Centro-Berro-Paraúba.**



Essas diferenças podem estar relacionadas com a superfície do setor por ser o mais denso, com edificações de mais de um pavimento, e com coberturas nas calçadas, podendo interferir na obtenção de dados por imagens de satélite.

Com os dados de entrada (Quadro 18), principalmente das altitudes dos nós, aplicou-se o método de *Hardy Cross*, para isso foram enumerados os nós e trechos no sentido do fluxo da água, depois foram aplicadas as vazões de projetos para cada trecho da rede, considerando as vazões nodais até o momento em os anéis fiquem equilibrados com parcela de correção das vazões  $\Delta Q \leq 0.1 \text{ L/s}$  e somatória das perdas de cargas  $\Sigma H_f \leq 0,05 \text{ m}$ .

**Quadro 18: dados iniciais do SAA de Ipixuna.**

| Setor                    | Vazão de Distribuição (L/s) | Área do projeto (ha) | Vazão Específica (L/s.ha) | Comprimento total da rede principal (m) |
|--------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------------------|
| Vila nova                | 23,93                       | 32,81                | 0,729                     | 3706,51                                 |
| João Paulo               | 14,88                       | 27,61                | 0,539                     | 2575,61                                 |
| Centro + Berro + Paraúba | 30,28                       | 71,33                | 0,424                     | 5419,23                                 |

Após constatar que as interações de vazões atenderam os condicionantes da NBR 12.218/2017, onde o valor da perda de carga  $\Sigma H_f \leq$

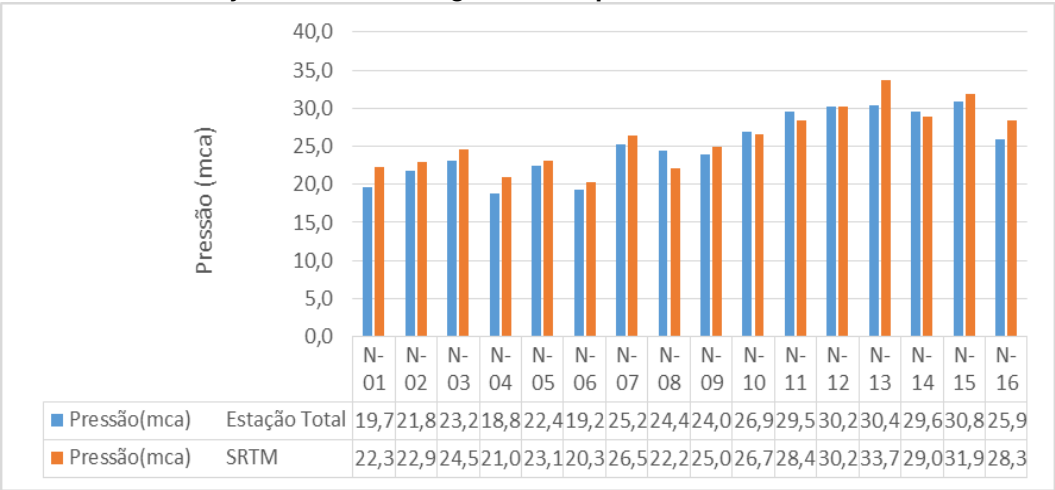


0,05 m e  $\Delta Q \leq 0.1L/s$ . No Apêndice 01, são apresentadas as planilhas com os resultados obtidos pelo método de *Hardy Cross* e diâmetros adotados.

Com relação os diâmetros, os maiores diâmetros foram encontrados sempre nos trechos entre o reservatório e o primeiro nó devido à vazão máxima: No Vila Nova e João Paulo II o maior diâmetro foi de 200mm, no caso do centro de 250 mm. Em todos os SAA o menor diâmetro foi de 50mm (Apêndice 01).

Baseado nas recomendações da NBR 12218/2017, referentes às pressões dinâmicas na tubulação, as quais foram determinadas por meio da simulação da rede no *software* EPANET2.0, utilizando as altitudes obtidas nos  $MDT_{TOP}$  e  $MDT_{SRTM}$ , verificou-se que para todas as simulações demonstraram que os nós estão normatizados, conforme as Figuras 32, 33 e 34.

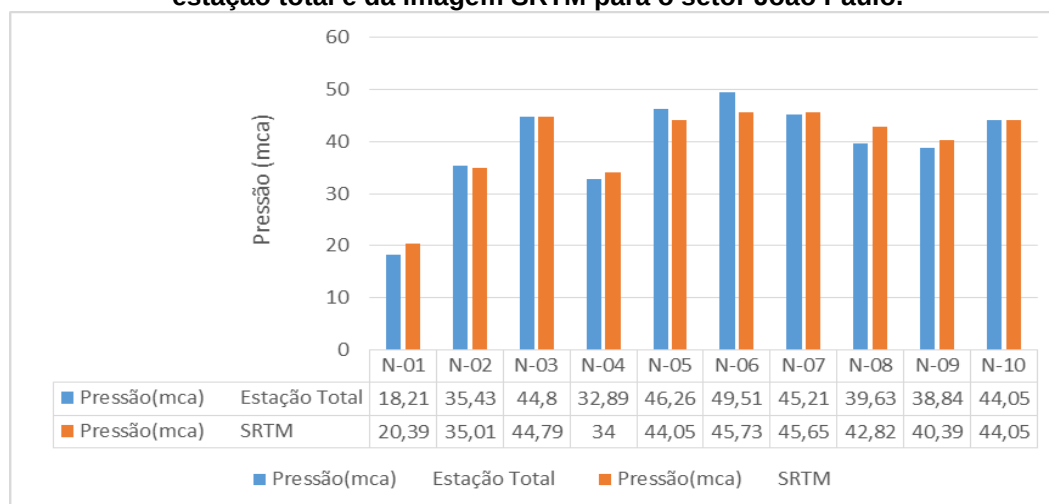
**Figura 32: Comparativos das pressões obtidas na simulação com dados altimétricos da estação total e da imagem SRTM para o setor Vila Nova.**



Ao analisar a Figura 32 percebe-se que as pressões atingidas a partir dos  $MDT_{SRTM}$  foram 61,11% maiores do que as pressões obtidas na simulação com dados do  $MDT_{TOP}$ . Sendo que a maior discordância foi no N-13, com uma diferença de 3,2 mca. Já no N-12 a pressão foi igual, mesmo com uma diferença de cota de 1,64 metros entre os MDTs.

Os valores divergentes entre os resultados podem ser explicados em decorrência das cotas obtidas pelo  $MDT_{SRTM}$  serem maiores, assim como, a altura mínima da lâmina de o reservatório com o uso das altitudes no  $MDT_{SRTM}$  ser 3,97 metros maior do que o  $MDT_{TOP}$ .

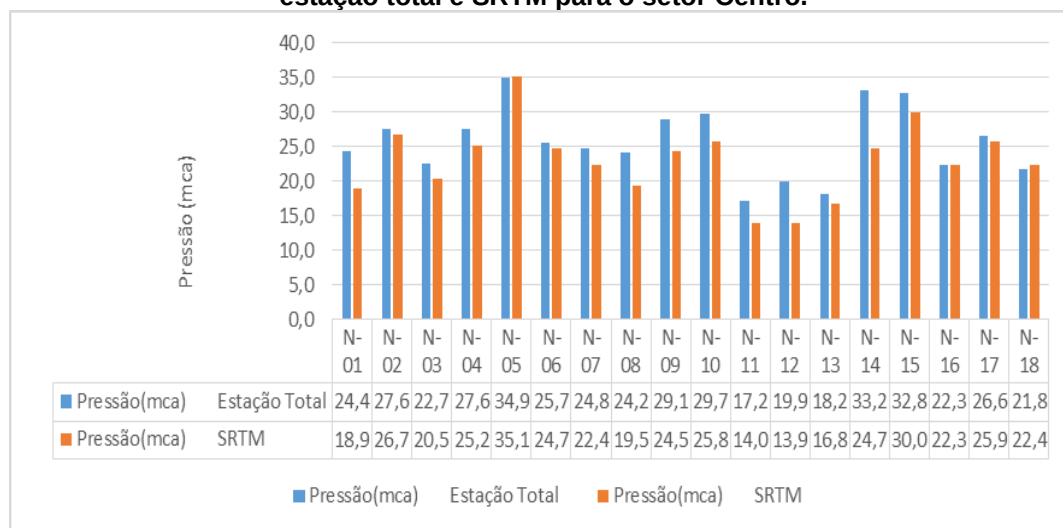
**Figura 33: Comparativos das pressões obtidas na simulação com dados altimétricos da estação total e da imagem SRTM para o setor João Paulo.**



Na Figura 33, percebe-se que as pressões atingidas a partir dos dados do MDT<sub>SRTM</sub> foram 50,0% maiores do que as pressões obtidas na simulação com dados do MDT<sub>TOP</sub>. As maiores diferenças foram no N-06 (3,78 mca) e N-08 (3,19 mca). Já no 1º os valores foram iguais, independentemente de possuir a maior amplitude de altitude para dados MDT<sub>TOP</sub> (35,98 metros) e da MDT<sub>SRTM</sub> (33,0 metros)

Para o setor Centro, por apresentar as maiores diferenças de cotas entre os MDTs, consequentemente dos dados de pressões foram os mais discrepantes. Ao contrário dos demais setores analisados, no setor centro 72% das pressões foram maiores para o uso do MDT<sub>TOP</sub>, conforme a Figura 34.

**Figura 34: Comparativos das pressões obtidas na simulação com dados altimétricos da estação total e SRTM para o setor Centro.**



É perceptível a diferença brusca, principalmente no N-7 que foi de 7,66m. Os maiores valores de pressão foram para os dados obtidos a partir do MDT<sub>TOP</sub>, demonstrando que os MDT<sub>SRTM</sub> podem interferir no dimensionamento da rede, com a possibilidade de não atender às exigências mínimas de pressão na tubulação.

Ao se analisar os resultados referentes aos dados altimétrico, nota-se que a validação do uso do MDT<sub>SRTM</sub> para a elaboração de projeto de sistema de abastecimento de água torna-se viável, tanto a superfície plana quanto para uma localidade mais acentuada, de acordo com os valores de amplitudes e das pressões simuladas.

Apesar da rejeição em adotar a metodologia como intuito de melhora o custo benefício da elaboração e execução, todavia, o MDT<sub>SRTM</sub>, podem ser aplicadas no pré-projeto, admitindo-se uma diferença de 2 mca na tubulação, valor que não comprometeria a eficácia do sistema, pois nos 3 setores estudados, nenhum apresentou pressão inferior a 10 mca, nesse caso, todos os trechos e nós atenderam a normativa vigente.

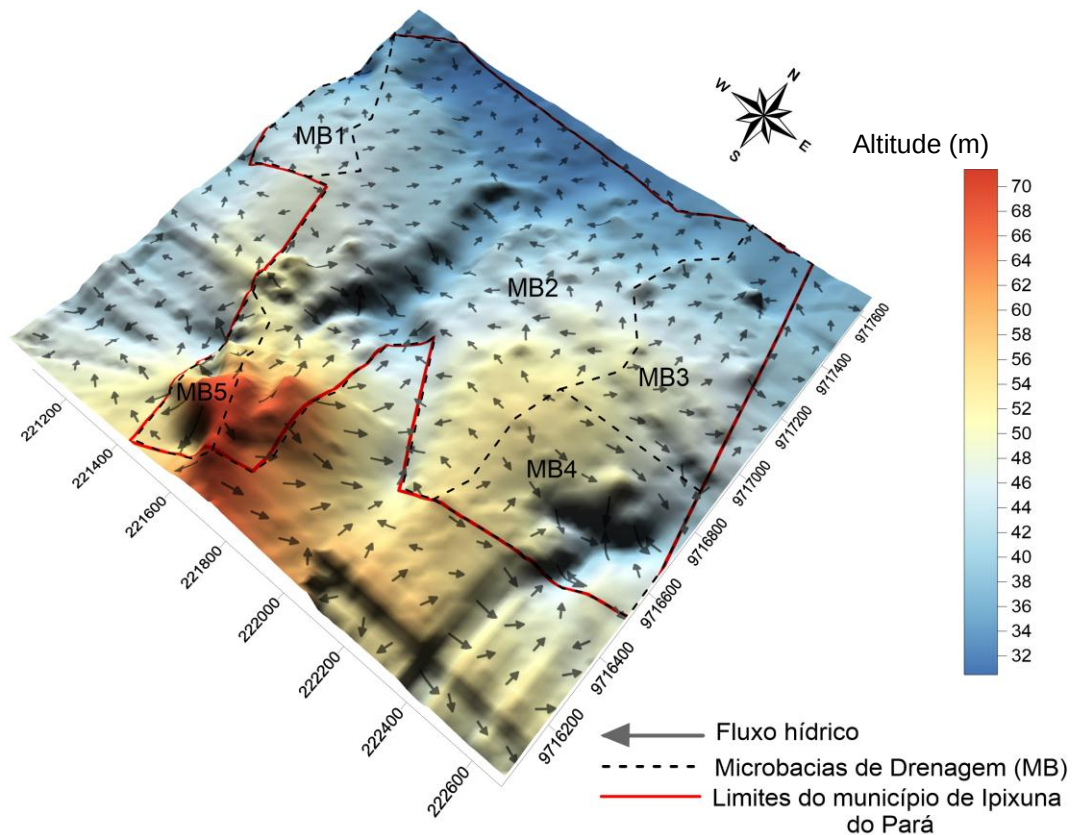
#### 4.6 ETAPA 6: SISTEMA DE DRENAGEM NATURAL

Nessa etapa realizou-se estudos a partir dos MDTs e das curvas de nível para delimitar as sub-bacias (MIOTO, 2014), posteriormente a caracterização morfométricas e, conseqüentemente, a análise para determinar se as sub-bacias podem estar suscetíveis à enchente, logo, a implicação de utilizar a imagem SRTM para gestão e planejamento das águas pluviais (SAMPAIO *et al*, 2017).

##### 4.6.1 Delimitação das microbacias de drenagem

Consistiu em avaliar as curvas de níveis do levantamento topográfico e da imagem SRTM e comparar os limites de cada sub-bacias. Segundo, Talon Kuntschik (2011) compararam e obtiveram resultados satisfatórios para uso de imagem SRTM (resolução 30m x 30m) na delimitação automática de grandes bacias hidrográficas e de relevância à gestão do local. Desta forma, para área de estudo obteve-se as seguintes delimitações, conforme a Figura 35.

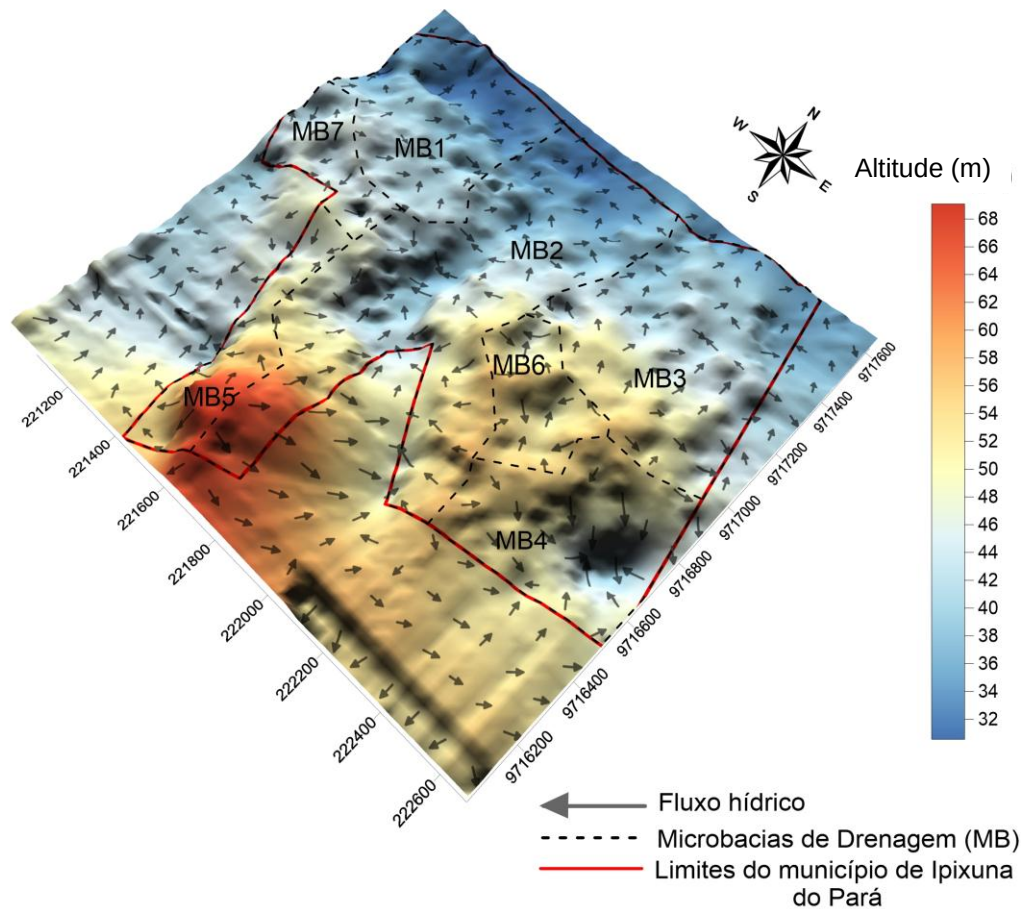
**Figura 35: Microbacias de drenagem com o MDT<sub>TOP</sub>.**



Ainda de acordo com a Figura 35, identificou-se, na área de estudo, 5 microbacias – MB, a partir dos dados de altitudes da estação total. Sendo que todas têm o *runoff* em direção ao rio Ipixuna, o qual contorna a área de estudo. Entre as MBs tem destaque para MB2 por ser a maior em superfície e está inserida em todos os setores da área de estudo. Nela há um “braço” do rio Ipixuna, que tem sua nascente no setor João Paulo, e, dessa forma, essa MB2 tem uma declividade acentuada conforme sua morfometria.

Já os limites das MB de drenagem a partir da imagem SRTM apresentaram a existência de 7 microbacias, ou seja, a presença de mais 2 microbacias em relação ao MDT da estação total. No entanto, também apresentou a MB2 correspondente ao “braço” do rio Ipixuna, conforme a Figura 36.

**Figura 36: Microbacias de drenagem com dados altimétricos do MDT<sub>SRTM</sub>**



De acordo com Figura 38, praticamente todas MB tem seu escoamento superficial (*runoff*) em direção ao rio Ipixuna, com exceção a MB5, localizada entre o setor Centro e Vila Nova, que apresenta característica de alagamento, em virtude de as setas de fluxos hídricos estarem direcionadas para o centro da MB. Nesse caso, o sistema de drenagem de águas pluvial deverá ser eficaz para não permitir alagamento.

Fazendo uma análise entre as imagens de delimitações de bacias, os 2(dois) MDTs apresentaram uma região mais ao norte com cotas baixas (cor azul da legenda), sendo que *in loco* há ocorrências de enchentes do rio Ipixuna, elevando a lamina d'água, atingindo e desapropriando os moradores mais ao norte do setor Vila Nova.

Na Figura 37, apresenta as áreas alagáveis que coincidem com os pontos mais baixos da área de estudo.

**Figura 37: áreas alagáveis as regiões de menor altitude dos MDTs**



Fonte: Projeto Moradia Cidadã e Prefeitura de Ipixuna, 2016

Outro ponto que foi investigado é que há uma MB similar entre os dois MDTs. Seria a MB2, tanto para delimitação das bacias apoiada nos MDTs, sendo assim, possibilita avaliar a utilização do MDT<sub>SRTM</sub> para o planejamento de drenagem urbana.

#### 4.6.2 Morfometria das microbacias

Em função da diferença do número de microbacias entre os dois MDTs só foi realizada a análise e comparação entre a maior bacia de cada modelo, ou seja, a MB2 do MDT<sub>TOP</sub> e do MDT<sub>SRTM</sub>.

A microbacia MB2 foi classificada de ordem 1, pois deriva de uma nascente e é um dos contribuintes do rio Ipixuna. Os dados físicos da MB2 são apresentados no Quadro 19.

**Quadro 19: Análise morfométricas das microbacias MB2.**

| <b>Parâmetros Morfométricas</b>                     | <b>MDT<sub>TOP</sub></b> | <b>MDT<sub>SRTM</sub></b> |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Área de Drenagem (A), em "km <sup>2</sup> "         | 1,08                     | 0,57                      |
| Comprimento do rio principal (L), em "km"           | 1,56                     | 1,43                      |
| Perímetro (P), em "km"                              | 5,46                     | 4,76                      |
| Largura média                                       | 0,93                     | 0,41                      |
| <b>Forma da bacia</b>                               |                          |                           |
| Índice de compactidade (Kc)                         | 1,47                     | 1,76                      |
| Índice de conformidade (Kf)                         | 0,44                     | 0,28                      |
| Índice de circularidade (Ic)                        | 0,45                     | 0,32                      |
| <b>Rede de Drenagem</b>                             |                          |                           |
| Rede de drenagem (Rd)                               | 1,45                     | 2,50                      |
| Densidade de drenagem (Dd)                          | 1,45                     | 2,50                      |
| <b>Declividade</b>                                  |                          |                           |
| Diferença de nível da nascente a foz ( $\Delta H$ ) | 41,15                    | 38,00                     |
| Declividade                                         | 0,0264                   | 0,0266                    |
| <b>Tempo de concentração (min)</b>                  | <b>27,66</b>             | <b>25,37</b>              |

Conforme os dados supracitados, para ambos MDTs, o comprimento do rio foi de aproximadamente 1,5 km, no entanto área e largura média da MB2 do MDT<sub>TOP</sub> foram o duplo da MB2 do MDT<sub>SRTM</sub>, mas os resultados da forma da bacia foram próximos. Tanto o índice de compacidade (Kc) que foram de 1,47 e 1,76 implicando numa forma irregular da bacia, resultando que há uma pequena tendência de cheia (MIOTO,2014). Essa afirmativa pode ser reforçada pelos índices de conformidade (Kf) e índices de circularidade (Ic) que apresentando que as micro-bacias têm a rede de drenagem com características alongadas, isso quer afirmar que a bacia tem baixo risco de ocorrer inundação.

Segundo Villela e Matos *apud* Miotto (2014) a densidade de drenagem de uma bacia pode variar entre 0,5 km/ km<sup>2</sup> (bacias com drenagem pobre) e 3,5 km/km<sup>2</sup> (bacias excepcionalmente bem drenadas). Então, a densidade de drenagem, para ambos os modelos estudados, em que os valores obtidos foram de e 1,45 e 2,50 km/km<sup>2</sup>, indicam que a região apresenta boa drenagem, complementada pela presença de áreas permeável e vegetal em torno da extensão do corpo hídrico.

Sendo difundido o uso do MDT<sub>SRTM</sub> para delimitar bacias de drenagem, conforme Talon e Kuntschik (2010), Sobrinho (2010), Landau *et al* (2011), Miotto (2014) e Sampaio *et al* (2017). Desta forma, o presente estudo convalidou o uso do MDT<sub>SRTM</sub> com o MDT<sub>TOP</sub>, porém identificou certa limitação quanto à dimensão da superfície estudada, em virtude da divergência na quantidade de microbacias delimitadas no presente estudo que foram diferentes.

#### 4.6.3 Variáveis hidrológicas

Para determinação do coeficiente de escoamento superficial realizou-se a determinação do uso do solo diretamente sobre a planta, obtido os referidos dados apresentados no Quadro 20. Onde a determinação foi por intermédio do percentual de áreas superficiais.

**Quadro 20: Classificação do uso e ocupação do solo.**

| Tipo de superfície                                               | Percentual |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| Telhado                                                          | 15%        |
| Concreto e Calçadas (passarelas) Asfalto (vias e estacionamento) | 27%        |
| Área Verde, grama, solo pesado (Plano 0-2%)                      | 58%        |



A taxa de urbanização da área estudada é similar ao crescimento populacional, que, na última década, manteve-se inalterada. Portanto, a superfície da área apresenta percentual alto de área impermeável, reafirmando dados coletados *in loco*. Essa constatação se reflete no cálculo do coeficiente de escoamento superficial igual a 0,45.

Para a área estudada o tempo de retorno adotado no projeto de drenagem urbana foi de 5 anos. Os valores das variáveis hidrológicas da micro bacia 02 estão expostas no Quadro 21.

**Quadro 21: Variáveis hidrológicas para os dados da estação total e SRTM**

| Fonte do levantamento | Tr (anos) | S (m/m) | Área (km <sup>2</sup> ) | Tc (min) | I (mm) | C    |
|-----------------------|-----------|---------|-------------------------|----------|--------|------|
| Estação Total         | 5         | 0,0264  | 1,08                    | 27,66    | 95,68  | 0,45 |
| SRTM                  | 5         | 0,0266  | 0,57                    | 25,37    | 100,13 | 0,45 |

Ao considerar o Quadro 21, averigua-se as implicações da utilização do  $MDT_{SRTM}$  para avaliar o sistema de drenagem da bacia hidrográfica, constatando-se que a diferença dos valores é pequena em relação ao cálculo de declividade, com valores de 0,0264m/m para o  $MDT_{TOP}$  e 0,0266m/m para o  $MDT_{SRTM}$ , assim como o tempo de concentração de 27,66 e 25,37 minutos, razões pelas quais a declividade do terreno favorece a infiltração no solo, assim como o uso e ocupação do solo, constatado pelo coeficiente de escoamento de 0,45, também contribui para o aumento do tempo de concentração que levará para a água precipitada chegar ao exutório.

Logo após a obtenção dos dados de entradas para estimar as vazões máximas da MB-02 a partir dos dois MDTs, por meio da efetuação do método racional, tomando como variáveis a área de contribuição, o coeficiente de escoamento superficial e a intensidade de chuva da respectiva micro bacia, em função do tempo de retorno de 5 anos, de acordo com o Quadro 22. Diante disso, as vazões máximas estão apresentadas na Figura 39.

**Quadro 22: Vazões máximas das MB- 02**

| Fonte do levantamento topográfico e MDT | Vazão (m <sup>3</sup> /h) |
|-----------------------------------------|---------------------------|
| $MDT_{TOP}$                             | 11,48                     |
| $MDT_{SRTM}$                            | 6,37                      |



Indaga-se a dissonância nos resultados de vazão, em razão de que com base nos dados altimétricos do MDT<sub>SRTM</sub>, a vazão que é de 6,37 m<sup>3</sup>/h, corresponde à metade da vazão estimada, quando baseada nos dados gerados pelo MDT<sub>SRTM</sub>, que foi de 11,48 m<sup>3</sup>/h.

Diante disso, constata-se que o principal fator de discordância é a área da bacia e, por conseguinte, a área da MB-2 do MDT<sub>TOP</sub> foi o dobro do MDT<sub>SRTM</sub>.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em decorrência da tendência em encontrar métodos e técnicas com maior eficiência na coleta de dados altimétricos para fins de utilização em projetos de engenharia para regiões ausente de dados altimétricos, sendo assim a imagem SRTM demonstrou resultados satisfatórios, quando comparados e avaliados em relação ao levantamento topográfico planialtimétrico à estação total.

Os MDT<sub>SRTM</sub> apresentaram qualidade estatisticamente satisfatória em no que concerne aos MDTs da estação total, assim como a validação da correlação entre os pontos preditos e observados que resultou em índices de correlação de Pearson (0,88 a 0,97), índices de concordância (0,88 a 0,97) e índices de desempenho (0,82 a 0,84).

Quanto à implicação do uso de MDTs de SRTM para concepção do projeto de abastecimento de água, este demonstrou ser satisfatório para o dimensionamento da rede, pois todas as pressões nos nós da rede atenderam à pressão mínima exigida por norma, contudo, houve uma diferença de 9,82% a 23,73% na altura do reservatório elevado. Desta forma o MDT<sub>SRTM</sub> pode ser aplicado no pré-projeto do SAA.

Para delimitação de bacias hidrográficas o MDT<sub>TOP</sub> é o modelo mais adequado para representar a superfície em plantas e mapas de área com 1,73 hectares, pois foram obtidos cinco micros bacias na área de estudo, enquanto que o MDT<sub>SRTM</sub> apresentou sete micros bacias. Portanto, pode-se inferir que o propósito de empregar o MDT<sub>SRTM</sub> para os projetos de microdrenagem e macrodrenagem em área pequenas, seria inviável, principalmente em função da resolução espacial da imagem ser de 30m, assim sendo, o projeto de drenagem ficaria subdimensionado ou superdimensionado.

Importante ressaltar a continuidade em obter técnicas e métodos que viessem auxiliar a gestão do território por partes dos governantes, principalmente em regiões carentes de recursos e corpo técnico. Pode-se aplicar e comparar a metodologia e resultados em outras regiões, além de abordar a utilização dos dados do TOPODATA ou de rede altimétricas regionais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\_\_\_\_\_. NBR 12217: **Projetos de reservatório de distribuição de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. NBR 13133: **Execução de levantamento topográfico. Comissão de Estudo de Serviços Topográficos**. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. NBR 12218: **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 1994.

ALBA, P. J.; AMADO, T. J. C., NICOLoso, R. S.; SCHOSSLER, D. S.; TRINDADE, B. S. **Comparação de Modelos de Altitudes com Diferentes Fontes de Dados. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (Anais)**, Ribeirão Preto/SP, 2010.

ARUM, P.V. **A comparative analysis of different DEM interpolation methods**. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences (2013) 16, 133–139

AUGUSTO, R. C. & SEABRA, V. S. **Mapeamento dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio caceribu – RJ**. Revista Brasileira de Cartografia (2017) nº69/2: pag. 315-326. ISSN: 1808-0936

AZEVEDO NETTO, J.M. **Manual de Hidráulica**. 8. Ed. 2ª Reimpressão. São Paulo - SP: Edgard Blucher Ltda., p. 2002. 669p.

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

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. **Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração pontencial no estado de São Paulo, Brasil**. Revista Brasileira de agrometeorologia, Campia Grande, v. 5, n. 5, p. 89-97, 1997.

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 (2008), 2, 18-24.

CHANDRASHEKAR, H., LOKESH, K.V., SAMEENA, M., JYOTHIROOPA, RANGANNA, G. **GIS – based morphometric analysis of two reservoir catchments of arkavati river, Ramanagaram District, Karnataka**. In: Proceedings of the International Conference On Water Resources. Elsevier, p. 1345–1353, 2015.

COMASTRI, J. A.; GRIP Jr., J. **Topografia Aplicada – medição, divisão e demarcação**. Viçosa, Editora UFV, 1998

COMASTRI, J. A.; TULER, J. C. **Topografia – Altimetria**. 3ª Edição. Viçosa, Editora UFV, 1999.

ELKHRACHY, I. **Flash flood hazard mapping using satellite images and GIS tools: a case study of Najran city**, The Kingdom of Saudi Arabia (KSA). Egypt J Remote Sens Space Sci 2015.

ELKHRACHY, I. **Vertical accuracy assessment for SRTM and ASTER Digital Elevation Models: A case study of Najran city, Saudi Arabia**, In Ain Shams Engineering Journal, 2017, ISSN 2090-4479,

FAGGION, P. L.; VEIGA, L. A. K.; SILVA, T. F. & ANDOLFATO, S. H. D. **Estudo da aplicação de estações totais para a Determinação de deslocamentos relativos em laboratório**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 19, no 1, p.34-44, jan-mar, 2013.

FALORNI, G.; TELES, V.; VIVONI, E.R.; BRAS, R.L.; AMARATUNGA, K.S. **Analysis and characterization of the vertical accuracy of digital elevation models from the Shuttle Radar Topography Mission**. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v.110, n.F2, p.1-20, 2005.

FERRAZ, R. da S. **Avaliação de modelos digitais de terreno para delimitação de áreas de bacias hidrográficas**. V Simpósio Brasileiro de Ciência Geodésicas e Tecnologias da Informação. Recife-Pe, nov. de 2014.

FERREIRA, G. F. **Análise comparativa de Modelos Digitais de Elevação**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.2324.

FRAU, C. M.; PINO, L. M.; ROJAS, Y. O. & HERNÁNDEZ, Y. M. **Generalización de Modelo Digital de Elevación condicionada por puntos críticos de terreno**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 17, no 3, p.439-457, jul-set, 2011.

FREITAS, E. **Imagens Invadem o Campo. Dados de satélite, nuvem de pontos 3D e fotos aéreas cada vez mais presentes nos levantamentos**. Editora MundoGEO. Revista InfoGNSS. Ano 6, Edição nº 35, 2011.

FUCKNER, M. A. **Avaliação altimétrica de modelos digitais de elevação extraídos de imagens ASTER em áreas com configuração topográficas distinta**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 683-690.

GIONES, F. & BREM, A. **The Co-Evolution of Technological and Entrepreneurial Developments in the Drone Industry**. Business Horizons. 2017, In Press. doi: 10.1016/j.bushor.2017.08.001

GOMES, J. P. et al. **Determinação de desníveis de precisão com nivelamento trigonométrico utilizando estação total**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 13, no 1, p.127-150, jan-jun, 2007.

GÓMEZ, W. D. F. **Calidad de datos en levantamientos topográficos**. *Revista De Topografía AZIMUT*(2008), 2, 5-17.

GRANEMANN, D. C. **Identificação e análise de riscos em levantamentos topográficos de barragens de usinas hidrelétricas: estudo de caso na UHE salto caxias**, Bol. Ciênc. Geod., sec. Comunicações/Trab. Técnicos, Curitiba, v. 16, no 4, p.609-622, out-dez, 2010.

HENGL, T. e EVANS, I. S. **Mathematical and Digital models of the Land Surface**. In **Geomorphometry: concepts, software, applications**, T. Hengl, and H. I. Reuter (eds), pp. 31-63 2009)

HIRYE, M. C. M; ALVES, D. S; KUX, H. J. H. **O modelo VIS (Vegetação-Imperbilização-Solo) para análises urbanas a partir de dados de sensoriamento remoto**. XVII ENAPUR, Sessão Temática 8. 2017.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. <https://cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?codmun=150345> acesso em 10/10/2017.

JARVIS, A.; RUBIANO, J.; NELSON, A.; FARROW, A.; MULLIGAN, M. **Practical use of SRTM data in the tropics - comparisons with digital elevation models generated from cartographic**. *International Center for Tropical Agriculture*, Palmira, n.198, p.1-32, 2004.

JUNIOR, J. B. T; FERREIRA, L; SANTOS, D. R. **Uso do autocad como recurso didático no ensino de interpretação do relevo da superfície topográfica representada por curvas de nível**. *Revista Brasileira de Cartografia* (2014) n°64/4: pag. 877-884. ISSN: 1808-0936

KÄÄB, A. **Combination of SRTM3 and repeat ASTER data for deriving alpine glacier flow velocities in the Bhutan Himalaya**. *Remote Sensing of Environment*, New York, v.94, n.4, p. 463-474, 2005.

LANDAU, A.C. e GUIMARÃES, D.P. **Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4003

LI, Z; ZHU Q. e GOLD, C. **Digital terrain modeling: principles and methodology**. CRC PRESS, 323 pag, 2005.

LOANNIDIS C, XINOGLAS E, SOILE S. **Assessment of the global digital elevation models ASTER and SRTM in Greece**. *Surv Rev* 2014;46(338):342–54.

MASOUD, M. H. **Rainfall-runoff modeling of ungauged Wadis in arid environments (case study WadiRabigh - Saudi Arabia)**. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 8, n. 5, p. 2587–2606, 2015.

McCORMAC, J. **Topografia**. 5º ed. (Reimpr) – Rio de Janeiro: LTC,2014

MIOTO, C.L. *et al.* **Morfometria de Bacias Hidrográficas Através de SIGs Livres e Gratuitos.** Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 37 - 2 / 2014 p. 16-22

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

OLIVEIRA, C. G. **Avaliação de modelos digitais de elevação gerados a partir de sensores remotos orbitais óptico (ASTER) e radar (RADARSAT-1, SRTM): um estudo para a região da Serra dos Carajás (PA)** / C. G. Oliveira. – São José dos Campos: INPE, 2005.

OLIVEIRA, E. A. **Métodos para análise de concordância: estudo de simulação e aplicação a dados de evapotranspiração.** Tese, 177 p. Piracicaba, São Paulo, 2016.

OLIVEIRA, R. M *et al.* **Métodos de identificação do divisor de drenagens entre o arroio Chuí e o arroio Pastoreio, região sul do Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Cartografia (2014) nº66/5: pag. 1067-1073. ISSN: 1808-0936

PEREIRA, E. O.; ABREU, L. G. A. C. & MAILLARD, P. **Altimetria por Satélite RADAR aplicada a hidrologia no Brasil.** Revista Brasileira de Cartografia (2017) nº69/2: pag. 347-360. ISSN: 1808-0936

PERREIRA, J. A. R; DA SILVA, J. M. S. **Rede coletora de esgoto sanitário: projeto, construção e operação.** 2. Ed. ver. e ampl. Belém, 2010.

PETRIE, G. & KENNIE T. **An introduction to terrain modeling: applications and terminology.** In: Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering: A Short Course. University of Glasgow, 1987.

PINHEIROS, H. S. K *et al.* **Modelos de elevação para obtenção de atributos topográficos utilizados em mapeamento digital de solos.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.47, n.9, p.1384-1394, set. 2012.

POLIDORI, L.; HAGE, M. & VALERIANO, M. M. **Digital Elevation Model validation with no ground control: Application to the topodata DEM in Brazil.** Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 20, no 2, p.467-479, abr-jun, 2014.

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, no 4, p.784-805, out-dez, 2014.

RODRIGUES V. A. **Receptores GPS de três precisões e estação total na caracterização de cotas básicas para projetos rurais.** Eng.Agrí. Jaboticabal. v.26, n.1, p.208-214, jan/abr. 2006.

RODRIGUEZ, E.; MORRIS, C.S.; BELZ, J.E. **A global assessment of the SRTM performance. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Bethesda, v.72, n.3. p. 249-260, 2006.**

SAMPAIO, A.S. *et al.* **Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias rurais.** XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 2016.

SANTIAGO, H., RAMÍREZ, J.J., BRETON, M., & GARCÍA, R. **Plaza de toros La Petatera: el trazo topográfico tradicional y la era satelital.** Revista de Topografía Azimut (2018), (9), 26-36.

SERBIELLI *et al.* **Applied Research & Agrotechnology** v8 n2 may/aug. (2015).

SILVEIRA, R. M. P. & SILVEIRA, C. T. **Análise comparativa entre modelos digitais de elevação com distintas características de processamento e aquisição.** Bol. geogr., Maringá, v. 33, número especial, p. 106-121, 2015

SINAPE - **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**, Relatório de Insumos e Composições de setembro de 2018

SOBRINHO, T, A; OLIVEIRA, P, T, S; RODRIGUES, D, B, B; AYERS F, M, A. **Delimitação automática de hidrográficas utilizando dados STRM.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v 30, n.1, p. 46-57, jan/fev. 2010 .

SOUZA, G.C. **Análise de metodologia no levantamento de dados espaciais para cadastro urbano.** São Carlos, 2001, 111 pag. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SOUZA, R. O. R. de M. **Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina grande-PB, v. 16, n. 9, p. 999 - 1005, jun. 2012.

TALON, G. C. e KUNTSCHIK, G. **Delimitação da rede de drenagem utilizando dados SRTM.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4210.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água:** Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2ª Ed. São Paulo. 2005. 643p.

TULER, M. **Fundamentos de topografia.** Ed. Bookman, 380 pag. Porto Alegre, 2014.

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

VERDÍN, R. G. **El ingeniero topógrafo en su especialidad de perito.** Revista De Topografía AZIMUT (2007), 1, 23-29.

VOGEL, E. *et al.* **Estudo de caso de um levantamento topográfico altimétrico realizado com estação total e laser scanning terrestre.** <http://mundogeo.com/blog>, publicado em 02/09/2011. Acesso em 10/06/2017.

WILLMOTT, C. J. *et al.* **Short Communication: A Refined Index of Model Performance.** *Journal of Climate*, Malden, v. 32, p. 2088-2094, 2012

WILLMOTT, C. J. *et al.* **Statistics fro the evaluation of model performance.** *Journal of Geophysical Research*, Washington, v. 90, n C5, p. 8995-9005, 1985



## **ANEXOS**

## Anexo 01: Registro da área de estudo georreferenciado



## **APÊNDICE**

**Apêndice 01: Balanço de vazões na aplicação do método *Hardy Cross*:**

| SETOR VILA NOVA  |        |       |        |                |        |
|------------------|--------|-------|--------|----------------|--------|
| ANEL             | TRECHO | D(m)  | L(m)   | H(m)           | Q(L/s) |
| I                | R-1    | 0,200 | 129,59 | -              | 23,93  |
|                  | 1-2    | 0,150 | 109,80 | 0,33           | 10,62  |
|                  | 2-3    | 0,150 | 145,69 | 0,40           | 10,14  |
|                  | 3-5    | 0,100 | 244,30 | 0,47           | 2,87   |
|                  | 5-6    | 0,150 | 220,70 | -0,20          | -5,57  |
|                  | 6-4    | 0,150 | 183,53 | -0,67          | -11,83 |
|                  | 4-1    | 0,150 | 82,70  | -0,33          | -12,32 |
| Σ                | -      | -     | -      | <b>0,00</b>    |        |
| II               | 6-5    | 0,150 | 220,70 | 0,20           | 5,57   |
|                  | 6-7    | 0,100 | 252,18 | -0,17          | -4,68  |
|                  | 7-8    | 0,100 | 200,10 | -0,52          | -3,37  |
|                  | 8-9    | 0,075 | 152,36 | 0,40           | 1,60   |
|                  | 9-5    | 0,150 | 87,48  | 0,08           | 5,66   |
| Σ                | -      | -     | -      | <b>0,00</b>    |        |
| III              | 8-9    | 0,075 | 152,36 | -0,40          | -1,60  |
|                  | 8-10   | 0,100 | 184,63 | -0,57          | -3,69  |
|                  | 10-11  | 0,100 | 204,57 | -0,30          | -2,47  |
|                  | 11-12  | 0,075 | 122,81 | -0,19          | -1,19  |
|                  | 12-13  | 0,050 | 389,77 | 0,20           | 0,23   |
|                  | 13-14  | 0,075 | 107,29 | 0,29           | 1,61   |
|                  | 14-9   | 0,075 | 231,28 | 0,97           | 2,06   |
| Σ                | -      | -     | -      | <b>0,00</b>    |        |
| IV               | 14-9   | 0,075 | 231,28 | -0,97          | -2,06  |
|                  | 14-15  | 0,075 | 206,10 | 0,85           | 2,03   |
|                  | 15-16  | 0,100 | 159,42 | 0,47           | 3,60   |
|                  | 16-03  | 0,150 | 292,22 | 0,21           | 4,94   |
|                  | 3-5    | 0,100 | 244,30 | -0,47          | -2,87  |
|                  | 9-5    | 0,150 | 87,48  | -0,08          | -5,66  |
| Σ                | -      | -     | -      | <b>0,00</b>    | -      |
| SETOR JOÃO PAULO |        |       |        |                |        |
| ANEL             | TRECHO | D(m)  | L(m)   | H(m)           | Q(L/s) |
| I                | R-1    | 0,200 | 31,45  | -              | 14,88  |
|                  | 1-2    | 0,150 | 272,39 | <b>0,3945</b>  | 7,16   |
|                  | 3-4    | 0,050 | 306,85 | <b>-0,2535</b> | -0,29  |
|                  | 2-3    | 0,150 | 213,43 | <b>0,2369</b>  | 6,20   |
|                  | 1-4    | 0,150 | 301,55 | <b>-0,3778</b> | -6,63  |
| Σ                | -      | -     | -      | <b>0,0000</b>  | -      |
| II               | 3-8    | 0,100 | 313,58 | <b>1,0763</b>  | 3,93   |
|                  | 4-5    | 0,100 | 222,57 | <b>-0,8958</b> | -4,28  |

|                                       |               |             |             |             |               |
|---------------------------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
|                                       | 5-6           | 0,100       | 151,75      | -0,2917     | -2,87         |
|                                       | 6-7           | 0,100       | 43,18       | -0,2887     | -2,64         |
|                                       | 8-7           | 0,050       | 310,43      | 0,3987      | 0,37          |
|                                       | 3-4           | 0,050       | 306,85      | 0,0012      | 0,29          |
| $\Sigma$                              |               |             |             | 0,0000      |               |
| III                                   | 8-7           | 0,050       | 151,75      | -0,3987     | -0,37         |
|                                       | 7-10          | 0,050       | 204,30      | -0,5111     | -0,53         |
|                                       | 8-9           | 0,075       | 223,21      | 0,4709      | 1,42          |
|                                       | 9-10          | 0,050       | 291,36      | 0,4390      | 0,41          |
|                                       | -             | -           | -           | 0,0000      | -             |
| <b>SETOR CENTRO + BERRO + PARAÚBA</b> |               |             |             |             |               |
| <b>ANEL</b>                           | <b>TRECHO</b> | <b>D(m)</b> | <b>L(m)</b> | <b>H(m)</b> | <b>Q(L/s)</b> |
| I                                     | R-1           | 0,250       | 133,17      | -           | 30,28         |
|                                       | 1-2           | 0,150       | 152,93      | -0,4324     | -10,29        |
|                                       | 2-3           | 0,150       | 226,46      | -0,5883     | -9,83         |
|                                       | 3-4           | 0,150       | 418,02      | -0,8462     | -8,59         |
|                                       | 4-5           | 0,150       | 99,71       | -0,1827     | -8,14         |
|                                       | 5-7           | 0,150       | 579,72      | 1,6500      | 10,32         |
|                                       | 7-6           | 0,200       | 125,91      | 0,2562      | 18,36         |
|                                       | 6-1           | 0,200       | 69,35       | 0,1434      | 18,52         |
| $\Sigma$                              |               |             |             | 0,0000      |               |
| II                                    | 7-8           | 0,150       | 132,19      | 1,1095      | 6,37          |
|                                       | 8-9           | 0,150       | 170,42      | 0,9653      | 5,15          |
|                                       | 9-10          | 0,150       | 120,43      | 0,6292      | 4,93          |
|                                       | 10-12         | 0,075       | 771,46      | -0,5068     | -1,61         |
|                                       | 12-11         | 0,200       | 254,71      | -0,3874     | -15,69        |
|                                       | 11-5          | 0,200       | 98,51       | -0,1597     | -16,24        |
|                                       | 5-7           | 0,150       | 579,72      | -1,6500     | -10,32        |
| $\Sigma$                              |               |             |             | 0,0000      |               |
| III                                   | 10-12         | 0,075       | 771,46      | 0,5068      | 1,61          |
|                                       | 10-14         | 0,100       | 91,95       | 0,1786      | 2,89          |
|                                       | 14-15         | 0,100       | 248,12      | 0,3877      | 2,57          |
|                                       | 15-16         | 0,075       | 142,01      | 0,6641      | 2,18          |
|                                       | 16-13         | 0,100       | 665,84      | -1,1212     | -2,67         |
|                                       | 13-12         | 0,150       | 257,78      | -0,6160     | -9,39         |
| $\Sigma$                              |               |             |             | 0,0000      |               |
| IV                                    | 16-13         | 0,150       | 665,84      | 1,1212      | 2,67          |
|                                       | 16-17         | 0,050       | 241,76      | 0,4604      | 0,46          |
|                                       | 17-18         | 0,075       | 580,96      | -1,0156     | -1,28         |
|                                       | 18-13         | 0,100       | 263,48      | -0,5659     | -3,05         |
| $\Sigma$                              |               |             |             | 0,0000      |               |