

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA
GEOINFORMAÇÃO

THAISA MANOELA SILVA FRANÇA

**ESTRUTURA GEODÉSICA INTEGRADA AO CADASTRO TERRITORIAL
MUNICIPAL**

Recife

2022

THAISA MANOELA SILVA FRANÇA

**ESTRUTURA GEODÉSICA INTEGRADA AO CADASTRO TERRITORIAL
MUNICIPAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de concentração: Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés.

Recife

2022

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

- F815e França, Thaisa Manoela Silva.
 Estrutura geodésica integrada ao cadastro territorial municipal / Thaisa Manoela Silva França. 2022.
 159 f: il.
- Orientador: Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnês.
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2022.
 Inclui referências e apêndices.
1. Ciências geodésicas. 2. Estrutura geodésica. 3. Cadastro territorial. 4. Soluções mobile. I. Garnês, Silvio Jacks os Anjos (Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG / 2023 - 80

THAISA MANOELA SILVA FRANÇA

**ESTRUTURA GEODÉSICA INTEGRADA AO CADASTRO TERRITORIAL
MUNICIPAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovado em: 29/08/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Andréa de Seixas (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Karoline Paes Jamur (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Aprendi a silenciar na balbúrdia;
Aprendi a amar com o tempo;
Aprendi a ser calma no Caos;
Aprendi a conviver com as hipocrisias e
demagogias que vejo no espelho;
Aprendi que caridade é o mínimo;
E, que pra mudar o mundo primeiro
preciso mudar-me.
(AUTORA, 2022)

AGRADECIMENTOS

A meus guias e orixás e toda falange espiritual que cuida de mim, pois em tempos difíceis a fé é um alicerce.

Aos meu pais por todo o apoio durante essa existência.

A Eva por toda a paciência, cuidado, afeto e incentivo.

A Universidade Federal de Pernambuco por proporcionar momentos sublimes de expansão do conhecimento.

A Prefeitura de Jaboatão dos Guararapes - PE, representada pela gerente do Cadastro Michelly que sempre se mostrou voluntariosa para que a pesquisa fluísse.

A coordenação da pós-graduação que esteve disponível durante esse processo de aprendizagem.

A Elizabeth Galdino e Ana Paula por toda atenção, amabilidade, acessibilidade e humanidade.

Aos professores que passaram por minha vida e contribuíram para minha formação sociopolítica.

A professora Andréa de Seixas que participou de toda minha formação acadêmica e contribuiu para minha formação profissional e pessoal.

A professora Karoline Paes Jamur por suas contribuições durante a pesquisa.

Ao professor comendador Sílvio Jacks Garnés por sua generosidade ao compartilhar o software de sua autoria Astgeotop que foi fundamental para as análises e por sua acessibilidade durante a pesquisa.

RESUMO

O atendimento de insumos cartográficos ao Cadastro e a Regularização Fundiária nos municípios, passa pela implantação de uma estrutura geodésica otimizada que permita obter as acurácias necessárias para as mais diversas aplicações. Assim, construiu-se nesse trabalho uma análise e complemento de informações de uma estrutura geodésica já implantada no município de Jaboatão dos Guararapes/Pernambuco, com um arcabouço metodológico que pode nortear outros municípios que não possuem uma estrutura geodésica ou que precisam de complementos existente. Para a análise usou-se pontos de controles que foram fornecidos pelo IBGE e pelo município que contratou uma empresa especializada para execução. Os produtos disponibilizados, além dos pontos de controle foram o mapa geoidal, rede de referência, modelos digitais de terreno e ortofotos. Objetivou-se verificar as acurácias com base em densificação de pontos aleatórios em qualquer parte do município e que usa a estrutura em rede existente, com a pré-análise por métodos clássicos de triangulação, e com ajuste de rede GNSS, contando com o mínimo necessário de ocupação, visando termos econômicos e satisfatórios dentro das premissas das normas da ABNT, NBR 13133/21, NBR 14166/22 e NBR 17047/22. Também foi analisado dados de altimetria e proposto um modelo quase geoidal local, baseado na altitude normal recentemente adotada como altitude do Sistema Geodésico Brasileiro. As ortofotos puderam ser verificadas quanto ao padrão de exatidão cartográfica de produtos cartográficos digitais e receberam num contexto municipal total, uma classificação conforme resultados encontrados. A integração com o cadastro imobiliário vem se tornando evidente nos dias de hoje, pois do cadastro tem-se melhor detalhamento do território, e como a informatização e integração é o arrimo para construção de um sistema de administração de terra robusto e eficiente, no qual é imprescindível o trabalho holístico desde a produção de uma estrutura geodésica até suas aplicabilidades, e com base na regularização fundiária em processos de Reurb-s, que efetivamente vem se desenvolvendo no município de Jaboatão dos Guararapes, apresenta-se soluções mobile a partir de softwares livres que permitiram a construção de um boletim digital para coleta de informações sociais, cartográficas e inserção na base cadastral municipal com preceitos de qualidade de dados de acordo com o decreto nº 89.817/84 e acurácia posicional urbana de acordo com que a lei 13465/17 e decreto 9310/18.

Palavras-chave: estrutura geodésica; cadastro territorial; soluções mobile.

ABSTRACT

The attendance of cartographic inputs to the Cadastre and the Land Regularization in the municipalities, goes through the implantation of an optimized geodesic structure that allows to obtain the necessary accuracy for the most several applications. Thus, it was built in this work an analysis and complement of information of a geodesic structure already implanted in the Jaboatão dos Guararapes municipality, with a methodological framework that can guide other municipalities that do not have a geodesic structure or that need existing complements. For the analysis we used control points that were provided by IBGE and by the municipality that hired a specialized company to do this. The products available, besides the control points, were the geoidal map, reference network, digital terrain models and orthophotos. The objective was to verify the accuracy based on densification of random points anywhere in the city and using the existing network structure, with pre-analysis by classical methods of triangulation, and with GNSS network adjustment, counting on the minimum necessary occupation, aiming at economic and satisfactory terms within the premises of the ABNT standards, NBR 13133/21, NBR 14166/22 and NBR 17047/22. Altimetry data was also analyzed and a local quasi-geoidal model proposed, based on the normal altitude recently adopted as the altitude of the Brazilian Geodesic System. The orthophotos could be verified as to the cartographic accuracy standard of digital cartographic products and received in a total municipal context, a classification according to the results found. The integration with the real estate cadastre is becoming evident today, because the cadastre has better detailing of the territory, and as the computerization and integration is the foundation for building a robust and efficient land administration system, in which it is essential to work holistically from the production of a geodetic structure to its applicability, and based on the land regularization in Reurb-s processes, that has been effectively developed in the municipality of Jaboatão dos Guararapes, we present mobile solutions from free software that allowed the construction of a digital bulletin for collecting social and cartographic information and insertion in the municipal cadastral base with precepts of data quality according to the decree no. 89. 817/84 and urban positional accuracy according to that the law 13465/17 and decree 9310/18.

Keywords: geodesic structure; territorial cadastre; mobile solutions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ligação entre sistema de referência.....	33
Figura 2 - Altitude RN.....	34
Figura 3 - Superfícies Equipotenciais	36
Figura 4 - Altitude Normal	38
Figura 5 - Elementos para definição das altitudes físicas.....	40
Figura 6 - Modelo hgeoHNOR.....	41
Figura 7 - Sistema Gnss.....	43
Figura 8 - Modelo de Marco Geodésico.....	46
Figura 9 - Modelo de Marco Geodésico implantado em Jaboatão dos Guararapes	46
Figura 10 - Fuso UTM.....	48
Figura 11 - Exemplo de alvo artificial.....	64
Figura 12 - Pontos de Controle (alvo natural) para análise 2D dos insumos.	65
Figura 13 - Pontos de Controle para análise altimétrica.....	65
Figura 14 - Insumos disponibilizados pelo Projeto	70
Figura 15 - Produtos Contratados pela Prefeitura Municipal de Jaboatão	71
Figura 16 - Localização Jaboatão dos Guararapes	83
Figura 17 - Metodologia Rede de Referência.....	87
Figura 18 - Distribuição dos Marcos Geodésicos.....	90
Figura 19 - Método para seleção de amostra aleatória	91
Figura 20 - Representação do ponto P1.....	92
Figura 21 - Representação do ponto P15.....	92
Figura 22 - Representação dos pontos de controle Projeto PTCON	93
Figura 23 - Representação dos pontos de controle fornecido pelo Município.	94
Figura 24 - Representação dos pontos de controle fornecido pelo ITEP.	94
Figura 25 - Distribuição dos Pontos sob o MDT.....	98
Figura 26 - Distribuição dos Pontos	99
Figura 27 - Projeto desenvolvido no Qgis.....	105
Figura 28 - Densidade de Vértices de acordo com a NBR14166.....	107
Figura 29 - Densidade de Vértices de acordo com a NBR14166/22.....	108
Figura 30 - Resultado da análise considerando o equipamento mais preciso -	110
Figura 31 - Resultado da análise considerando o equipamento menos preciso.....	112
Figura 32 - Dados de entrada no Astgeotop para pequena distância.....	113

Figura 33 - Resultado da análise considerando o equipamento mais preciso	113
Figura 34 - Dados de entrada no Astgeotop para pequena distância.....	114
Figura 35 - Resultado da análise considerando o equipamento mais preciso	115
Figura 36 - Dados de Entrada para pequena.....	116
Figura 37 - Resultado do desvio padrão para linha de base menor - Ponto P15	116
Figura 38 - Resultado do desvio padrão para linha de base maior - Ponto P1	116
Figura 39 - Distância do município para borda do fuso.	117
Figura 40 - Mapa geoidal gerado pela empresa contratada a partir dos pontos em destaque	122
Figura 41 - Análise para o modelo $N=A_x+By+C$	123
Figura 42 - Resultado das Estatísticas por Modelo Matemático	125
Figura 43 - Representação espacial dos pontos Validados.....	126
Figura 44 - Primeiro ajustamento da RAAP.....	127
Figura 45 - Resultado do modelo gerado com pontos fixos	128
Figura 46 - Resultado estatístico do modelo gerado.....	129
Figura 47 - Dados de Entrada para análise	132
Figura 48 - Análise Estatística.....	132
Figura 49 - Tendência apresentada antes da calibração	133
Figura 50 - Teste t-STUDENT pós da calibração	133
Figura 51 - Teste estatístico pós da calibração	133
Figura 52 - Resultado da Classificação	134
Figura 53 - Distribuição Espacial dos pontos de Controle	135
Figura 54 - Análise para determinar tamanho da amostra.....	135
Figura 55 - Dados de Entrada	136
Figura 56 - Análise Estatística.....	136
Figura 57 - Classificação PEC/PCD.....	137
Figura 58 - Dados de Entrada	138
Figura 59 - Resultado e análise do Teste T-student.....	138
Figura 60 - Análise Estatística.....	139
Figura 61 - Classificação PEC/PCD.....	140
Figura 62 - Dados de Entrada	141
Figura 63 - Análise Estatística das Ortofotos	141
Figura 64 - Classificação PEC/PCD - Ortofoto.....	142
Figura 65 - Tela da aplicação Mobile – Visualização dos temas	145

Figura 66 - Tela da Aplicação Mobile Visualização das camadas	145
Figura 67 - Tela da Aplicação Mobile visualização do detalhe	147
Figura 68 - Tela da Aplicação Mobile formulário digital	148

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 - Evolução histórica do cadastro.....	24
Fluxograma 2 - Metodologia	82
Fluxograma 3 - Estrutura Geodésica	86
Fluxograma 4 - Análise Geodésica	86
Fluxograma 5 - Modelo geoidal.....	96
Fluxograma 6 - Análise fator de escala para projeção UTM	98
Fluxograma 7 - Metodologia para verificação da qualidade das Ortofotos.....	102
Fluxograma 8 - Metodologia para verificação da qualidade do MDT.....	103
Fluxograma 9 - Metodologia para aplicação mobile	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo dos Métodos de Posicionamento	44
Tabela 2 - Especificações IBGE	47
Tabela 3 - Municípios Contemplados pelo projeto Pe3d com ortofotos em escala 1:1000 em seu perímetro urbano	66
Tabela 4 - Resolução Espacial e Radiométrica dos Produtos na Escala 1:5000 e 1:000...	68
Tabela 5 - Serviços entregues no Projeto PE3D	69
Tabela 6 - PEC	73
Tabela 7 - Normas Técnicas/CONCAR.....	74
Tabela 8 - PEC – Planimétrica, produtos cartográficos digitais	75
Tabela 9 - PEC – Altimétrica, produtos cartográficos digitais	75
Tabela 10 - PEC – Altimétrica/Curvas de Nível, produtos cartográficos digitais.....	75
Tabela 11 - Tipos de Grades.....	76
Tabela 12 - Amostragem de grade Regular	77
Tabela 13 - Amostragem de grade dirigida	77
Tabela 14 - Precisão do posicionamento Relativo em função do Tempo de observação, equipamento utilizado e comprimento da linha de base	87
Tabela 15 - Precisão do posicionamento Relativo em função do Tempo de observação, comprimento da linha de base e tipo de receptor.	88
Tabela 16 - Pontos da Rede de Referência	89
Tabela 17 - Pontos de Controle Origem x aplicação	93
Tabela 18 - Pontos utilizados para gerar e analisar modelo com seus desvios padrões	96
Tabela 19 - Pontos de Controle utilizados para analisar o fator de quadrícula	99
Tabela 20 - Dados de Entrada com as observações das distâncias inclinadas x acurácia .	109
Tabela 21 - Dados de Entrada com as observações dos ângulos horários x Precisão	109
Tabela 22 - Dados de Entrada com as observações dos ângulos Zenitais x Precisão	109
Tabela 23 - Dados de Entrada com as observações das injunções das posições em coordenadas geocêntricas	110
Tabela 24 - Comparação entre valor Calculado e teórico para P1	111
Tabela 25 - Dados de Entrada com as observações das distâncias inclinadas x acurácia .	111
Tabela 26 - Dados de Entrada com as observações dos ângulos horários x Precisão	111
Tabela 27 - Dados de Entrada com as observações dos ângulos Zenitais x Precisão	112
Tabela 28 - Comparação entre valor Calculado e teórico para P1 usando equipamento	

menos preciso	112
Tabela 29 - Comparação entre valor Calculado e teórico para P15 usando equipamento	
menos preciso	114
Tabela 30 - Comparação entre valor Calculado e teórico para P15 usando equipamento	
menos preciso	115
Tabela 31 - Resultado da análise do fator de quadricula.....	118
Tabela 32 - Resultado da análise para distâncias diferentes.....	119
Tabela 33 - Resultado das distorções	120
Tabela 34 - Comparação entre modelos adotados	121
Tabela 35 - Pontos validados pós análise estatística	125
Tabela 36 - Comparação entre os modelos.....	130

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
RAAP	Rede Altimétrica de Alta Precisão
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
FIG	Federação Internacional de Geômetras
CIATA	Convênio de Incentivo ao Aperfeiçoamento Técnico-Administrativo das Municipalidades
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
PMAT	Programa de Modernização das Administrações Tributárias
PNAFM	Programa Nacional de Apoio à Administração Fiscal
PNCC	Programa Nacional de Capacitação Das Cidades
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
CONCAR	Comissão Nacional de Cartografia
Sicart	Sistema de Cadastro e Registro Territorial
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
CTM	Cadastro Técnico Municipal
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RRNN	Estações de Referência de Nível
EP	Estações de Poligonal
VT	Vértices de Triangulação
MAPGEO	Modelo de Ondulação Geoidal do Brasil
SGR	Sistema Geodésico de Referência
IAG	Infraestrutura Altimétrica de Referência Internacional
IHRS	Sistema Altimétrico de Referência Internacional
SRT	Sistema de Referência Terrestre

VLBI	<i>Very-long-baseline interferometry</i>
SRL	<i>Satellite Laser Ranging</i>
GNSS	<i>Sistema Global de Navegação Por Satélites</i>
GRS80	<i>Geodetic Reference System, 1980</i>
H ^c	Altitude Científica
W	Geopotencial
U	Esferopotencial
W ₀	A Superfície de Referência
BDG	Bancos de Dados Geodésicos
DoD	<i>Department Of Defense</i>
RBMC	Rede Brasileira De Monitoramento Contínuo
CSRS-PPP	<i>Canadian Spatial Reference System Desenvolvido Pelo Nrcan</i>
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
PTCON	Pontos de Controle
MDS	Modelo Digital da Superfície
MDT	Modelo Digital do Terreno
SRHE	Secretaria de Recursos Hídricos E Energéticos
ITEP	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
PSHPE	Programa de Sustentabilidade Hídrica de Pernambuco
SDEC	A Secretaria de Desenvolvimento Econômico
EP	Erro-Padrão
DP	Desvio Padrão
EMQ	Erro Médio Quadrático
APA	Acurácia Posicional Absoluta
EC	Exatidão Cartográfica
IDW	<i>Inverse Distance Weighted</i>
WMS	<i>Web Map Service</i>
WFS	<i>Web Feature Service</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PMJG	Prefeitura Municipal de Jaboatão Dos Guararapes
PPP	Parte Por Milhão
PDOP	Diluição da Precisão de Posição
RRCM	Rede de Referência Cadastral Municipal

Reurb	Regularização Fundiária Urbana
BIC	Boletim De Informação Cadastral
QT5	<i>Framework 5</i>
APP	Aplicativo
REURB-S	Regularização Fundiária Urbana social

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	JUSTIFICATIVA.....	20
1.2	OBJETIVOS.....	21
1.2.1	Objetivo geral	21
1.2.2	Objetivo Específicos	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1	CADASTRO APLICADO AO GERENCIAMENTO DE TERRAS	23
2.1.1	Cadastro Técnico Municipal	25
2.1.2	Cadastro 2014 – FIT-FOR - PURPOSET	28
2.2	REDE DE REFERÊNCIA CADASTRAL.....	28
2.3	SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA E REDES	30
2.3.1	Sistema Geodésico Brasileiro e seus referenciais.....	33
2.3.2	Geopotencial e Altitudes Científicas	35
2.3.3	Sistema Geodésico de Referência Vertical – Reajustamento Altimétrico 2018.....	38
2.4	POSICIONAMENTO POR SATÉLITE	42
2.4.1	Sistemas GNSS.....	42
2.4.2	Erros Incidentes Sobre as Navegações	43
2.4.3	Métodos de Posicionamento	44
2.4.4	Marco Geodésico	45
2.5	SISTEMA DE PROJEÇÃO E FATOR DE QUADRÍCULA	47
2.6	AJUSTAMENTO E TESTES ESTATÍSTICOS.....	49
2.6.1	Teste das hipóteses.....	52
2.6.2	Ajustamento por Trilateração.....	53
2.6.3	Injunções	55
2.6.4	Teste Estatístico de hipótese	57
2.7	PONTOS DE CONTROLE.....	64
2.8	PROJETO PE3D	65
2.9	INSUMOS JABOATÃO.....	70
2.10	QUALIDADE DE DADOS	72
2.10.1	Normas Padrões e Especificações	73
2.10.2	Calibração	76

2.11	INTERPOLADOR IDW	76
2.12	SOFTWARE LIVRE COMO SOLUÇÃO MOBILE	78
3	METODOLOGIA	82
3.1	ÁREA DE ESTUDO	82
3.2	MATERIAIS	83
3.3	MÉTODO	84
3.3.1	Estrutura Geodésica.....	85
3.3.2	Fator de escala e Fator de quadrícula - Projeção UTM	97
3.3.3	Classificação dos insumos – PEC/PCD.....	101
3.3.4	Aplicação mobile para integração e gerenciamento territorial.....	103
4	ANÁLISES E RESULTADOS	107
4.1	REDE DE REFERÊNCIA.....	107
4.1.1	Análise da Rede de acordo com a NBR 14166/22	107
4.1.2	Análise da Rede de Referência por Rede Clássica 3D	109
4.1.2	Análise da Rede de Referência por Ajustamento da Linha de base	115
4.2	FATOR DE ESCALA E FATOR DE QUADRÍCULA PARA PROJEÇÃO UTM.....	117
4.3	MODELO GEOIDAL	121
4.4	CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM PEC-PCD.....	131
4.4.1	Classificação do MDT – Projeto PE3D.....	131
4.4.2	Classificação das Ortofotos – Projeto PE3D.....	135
4.4.3	Classificação do MDT – Insumo Municipal.....	137
4.4.4	Classificação das Ortofotos – Insumo Municipal.....	140
4.5	APLICAÇÃO MOBILE PARA GERENCIAMENTO TERRITORIAL	142
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	149
5.1	CONCLUSÕES.....	149
5.2	RECOMENDAÇÕES	150
6	REFERÊNCIAS	151
	APÊNDICE A - MODELO DE MONOGRAFIA UTILIZADO NO MUNÍCIOPIO DE JABOATÃO DOS GUARARAPES.....	157
	APÊNDICE B – ROTINA DESENVOLVIDA PARA ANÁLISE DE LINHA DE BASE.....	158

1 INTRODUÇÃO

A construção de uma rede de referencial cadastral é primordial para apoio cartográfico a projetos de engenharia e arquitetura permitindo confiabilidade nos dados espaciais que serão referenciados a uma rede de alta precisão, por isso é primordial a construção de uma estrutura espacial para cidade em sua mancha urbana, trazendo avanço geotecnológico, qualidade nos insumos cartográficos, além de fornecer confiabilidade a equipe técnica para análises. Desta forma, a implantação de uma estrutura de referência faz parte do processo de pensar na cidade urbana com o olhar técnico e acurado. A partir dos avanços globais da navegação por satélite, o sistema Global Navigation Satellite System – GNSS, que revolucionou a geodesia, tornando possível determinar a posição geográfica de um ponto em qualquer parte do mundo, resolvendo o problema de acurácia, velocidade e tempo, tendo em vista que é possível com o uso dos receptores geodésicos determinar com precisão as coordenadas de qualquer ponto da superfície da Terra conciliado a topografia. O processo de disseminação da estrutura geodésica está diretamente vinculado ao processo de popularização do uso dos sistemas GNSS, onde as componentes tridimensionais são diretamente associadas a uma rede geodésica, no entanto a obtenção da componente vertical não é trivial sem a determinação de um modelo geoidal, já que o Brasil não possui uma rede gravimétrica densificada. A superfície matemática utilizada para determinar o posicionamento horizontal é o elipsoide de revolução, já para determinar a altitude ortométrica utiliza-se o geóide e altitude normal para o quase geóide, logo tem-se duas superfícies diferentes que não são coincidentes e essa separação entre as superfícies denomina-se de ondulação geoidal quando se trata do geóide e de anomalia de altitude para o quase geóide. Gerar o modelo geoidal que melhor se adeque ao município é um dos pilares para consolidação da estrutura geodésica.

O IBGE disponibiliza para conversão das altitudes o Mapgeo2015 e recentemente viabilizou o modelo hgeoHNOR2020 diferenciado pela melhor adaptação as altitudes da Rede Altimétrica de alta Precisão (RAAP), neste contexto é importante desenvolver uma análise do modelo geoidal adotado no município de Jaboatão dos Guararapes e propor um modelo referenciado ao quase geóide com as altitudes obtidas do nivelamento geométrico de alta precisão. A cartografia permite conhecer o território, ajudando a reconhecer como reproduzimos ou não a subjetividade dominante, atrelado a disputa de forças sociais. Desta maneira, a cartografia retrata o dinamismo que percorre “os pontos, as linhas e os polígonos”, construindo uma rede de rizoma, sendo possível aplicar análises rizomáticas abrangendo o conceito interpretativo dos dados espaciais percorrendo e relatando trajetórias sociais e

geopolíticas, (PRADO FILHO; TETI, 2013, p.53).

A metodologia desenvolvida consiste na análise da rede de referência, análise do modelo geoidal adotado, validação dos insumos cartográficos e propor modelo geoidal que melhor se adeque ao município. Para aplicação e disseminação da estrutura geodésica integrada ao cadastro é utilizado soluções mobile. Na perspectiva da intervenção urbana, a estrutura geodésica torna-se um instrumento de avaliação dos insumos cartográficos quanto a acurácia, logo será possível aquilatar determinados projetos proporcionando celeridade nas análises urbanística, pois a partir da consolidação dessa estrutura é exequível corporificar produtos cartográficos como as ortofotos, modelos digitais proporcionando uma análise acurada através da PEC-PCD.

Portanto é primordial aspirar o uso dessa estrutura aos usuários disseminando sua aplicação no corporativos em análise diária e a disponibilização destas informações em ambientes mobile para gerenciamento territorial integrado ao cadastro multifinalitário e utilização em projetos de regularização fundiária.

1.1 JUSTIFICATIVA

Diante da escassez de informações espaciais disponíveis nos municípios, a falta de estrutura tecnológica e de equipe técnica qualificada que examine os insumos cartográficos produzidos; como exemplo o Projeto PE3D no Estado de Pernambuco que disponibilizou dados espaciais. Desenvolver uma metodologia que auxilie os técnicos da área de cartografia dos municípios determinar a qualidade dos produtos a partir da acurácia posicional utilizando os pontos de controle integrado a rede de referência e um modelo geoidal adequado ao município.

A informatização nesta era digital se torna indispensável no processo da comunicação cartográfica e na difusão da estrutura geodésica, no qual permitirá aos gestores visualizar as informações espaciais inseridas sob uma base cartográfica acurada e possibilitará tomadas de decisões e otimização e gerenciamento de trabalhos técnicos alinhado ao uso de Apps no sistema Open Service que conceberá governança e inteligência organizacional.

Com a evolução do conceito de cadastro que hoje não só tem a finalidade fiscal, mas também é pensado para planejamento e governança fundiária; com o advento das ferramentas e softwares livres proporcionando popularização do sistema de informação geográfica; a construção de estruturas integrativas que seja utilizado para o desenvolvimento de políticas públicas é complexa e exige comunicação entre todos os atores envolvidos, além de aplicação

de técnicas de aquisição e processamento de dados.

1.2 OBJETIVOS

Segue abaixo os objetivos proposto nesta dissertação

1.2.1 Objetivo geral

Propor uma estrutura geodésica para fins de gerenciamento territorial.

1.2.2 Objetivo Específicos

- Analisar a Rede de Referência Cadastral do município de Jaboatão dos Guararapes com base na NBR 14166/2022;
- Verificar os modelos Geoidais produzidos para o município;
- Propor modelo para o quase geoide com base nas altitudes Normais;
- Classificar os insumos existentes pelo PEC-PCD;
- Aplicar soluções mobile no cadastro.

1.3 ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi estruturada em 5 (cinco) capítulos que tem por finalidade desenvolver o tema proposto.

No capítulo 1 é apresentado a base introdutória do trabalho com o objetivo de introduzir o trabalho, relatando a justificativa e os objetivos gerais e específicos.

No capítulo 2 é realizada a contextualização teórica com os tópicos sobre cadastro, rede de referência, sistema geodésico de referência e rede, posicionamento por satélite, sistema de projeção para definir os cálculos que determinar o fator de quadricula, ajustamento e teste estáticos para fundamentar as análises desenvolvidas, pontos de controle, insumos do projeto PE3D e do município de Jaboatão dos Guararapes, qualidade de dados, proposta do interpolador IDW e uma introdução sobre software livre.

No capítulo 3 é apresenta a metodologia para aplicações e execução das análises de acordo com os objetivos específicos do trabalho, onde nesta etapa é apresentado a área de estudo, materiais e método.

No capítulo 4 é realizado as análises e demonstrados os resultados obtidos aplicando a metodologia definida no capítulo anterior.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões e recomendações, considerando as análises desenvolvidas na dissertação. Finaliza-se com as referências bibliográficas e apêndices.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica é o ponto de partida para contextualizar o projeto e demonstrar o embasamento teórico que construiu a metodologia proposta.

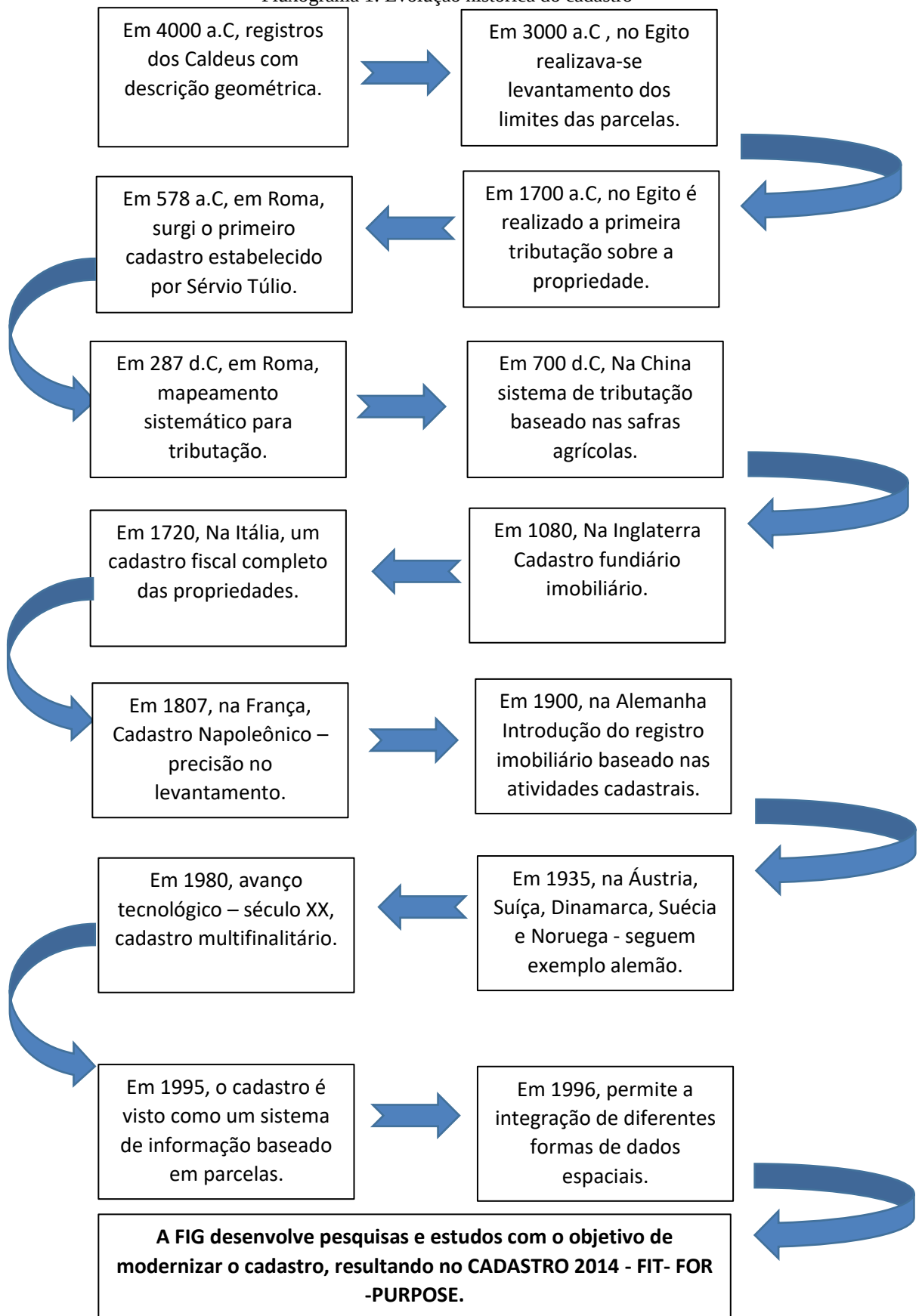
2.1 CADASTRO APLICADO AO GERENCIAMENTO DE TERRAS

Em 4000 a.C, de acordo com Loch e Erba (2007), o cadastro já era aplicado para fins fiscais pelos Caldeus, onde as propriedades eram descritas geometricamente proporcionando o conhecimento territorial para cobrança de tributos. A história nos mostra o uso do cadastro territorial para tributação, desenvolvido pelos indianos, gregos, romanos, egípcios, demonstrando a importância do cadastro na descrição geométrica e alfanumérica no sistema fundiário, vale ressaltar que a relação terra-pessoa começa a ser arquitetada a partir dessas estruturas, pois os tributos deveriam ser cobrados a alguém, daí surge a relação que até hoje é usada no cadastro moderno relacionando a parcela territorial a uma pessoa física ou jurídica.

Com advento do cadastro Napoleônico, de acordo com Philips (2003), o cadastro passa a ser construído como um instrumento que proporcione segurança da propriedade, o cadastro napoleônico torna-se famigerado pela precisão no levantamento e na elaboração das cartas topográficas, utilizando o cadastro como uma ferramenta de gerenciamento do territorial, introduzindo codificação nas parcelas e toponímias, tornando-o cadastro napoleônico modelo para século XIX.

Em 1980 inicia-se a popularização da tecnologia dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que se perpetua até os dias atuais, implementando no cadastro as técnicas de sensoriamento remoto, geodesia, aerofotogrametria e topografia, no processo de modernização do cadastro territorial. A Federação Internacional de Geômetras (FIG) é destaque por suas pesquisas e estudos com a finalidade de desenvolver e modernizar o cadastro em âmbito mundial, o resultado desse empenho é a publicação do Cadastro 2014 onde Kaufman e Steudler (1998), define como o fim da separação entre mapas e registros, os recursos digitais são inseridos de forma pragmática para modelagem e representação cartográfica digital, possibilitando o fim da era analógica, parcerias público/privado e investimentos em novas tecnologias. Segue o fluxograma 1 como uma representação sucinta dos principais acontecimentos históricos para o desenvolvimento do cadastro:

Fluxograma 1: Evolução histórica do cadastro



Fonte: autora (2021)

2.1.1 Cadastro Técnico Municipal

O projeto CIATA foi responsável por elaborar uma metodologia em âmbito nacional seguindo padrões sistemáticos para implantação de um cadastro técnico municipal com a finalidade de arrecadação tributária, conveniado entre os três níveis de governo: Federal, Estadual e Municipal, com objetivo de aperfeiçoamento técnico.

O projeto em princípio é desenhado para atender municípios de pequeno porte, no entanto, acabou sendo implantado em grande parte dos municípios brasileiros, pois foi observado que o cadastro imobiliário era semelhante na maioria dos municípios. O projeto é implementado a partir de 5 bases: Assistência jurídica, Assistência Administrativa, Cadastro Imobiliário Urbano, Cadastro Fiscal Mobiliário e Receita.

O Cadastro imobiliário deve ter informações registradas por unidade imobiliária, atreladas as informações das quadras/logradouro, distrito/setor, contidas no Boletim de Cadastro Imobiliário e sua devida representação cartográfica, acarretando nos lançamentos do IPTU, taxas e serviços urbanos.

O projeto CIATA, para fins de cadastro imobiliário é constituído por duas fases: Execução e Atualização. A execução do Cadastro é construída em cinco etapas: Coleta de Informações Disponível, Preparação, Cadastramento, Atividade Complementares, Processamento e Revisão. O projeto foi sendo implantado de forma progressiva, tendo execução acelerada em municípios de maior porte com o objetivo de aumentar a receita, pois a metodologia era simples e sistemática, de fácil aplicação pelo corpo técnico. No entanto, a desorganização a administrativa torna-se o calcanhar de Aquiles do projeto.

O CIATA foi responsável por orientar os municípios na produção de um sistema cadastral eficiente, prático, lógico, flexível, de fácil implantação nos diversos municípios existentes, com o objetivo de promover o aumento de insumos fiscais, visando autonomia financeira.

Todas as informações urbanas das áreas que deveriam ser mantidas atualizadas continuamente, como: as informações do valor do imóvel, identificação do contribuinte, obras públicas e particulares, serviços urbanos e ocupação do espaço urbano. Todas as informações eram registradas por unidade, contendo a quadra, logradouro, distrito ou setor.

O Projeto CIATA de forma geral se popularizou e alcançou números expressivos a partir dos adquirentes da metodologia pelo país, alcançando reconhecimento internacional. No entanto não houve investimento necessário para continuidade do projeto pelo Governo Federal

limitando-o ao que já havia sido implantado retirando o viés de inovação e inserção de novos conceitos ao projeto, causando a descontinuidade de políticas públicas.

O Programa de Modernização das Administrações Tributárias (PMAT) gerido pelo BNDS, é inserido com o objetivo de aumentar a eficiência fiscal dos municípios e fornecer autonomia financeira. Outro programa criado é Programa Nacional de apoio à Administração Fiscal (PNAFM) para os municípios, com o intuito de melhorar a eficiência administrativa da gestão pública, logo existe o interesse do governo federal em fornecer independência aos municípios a partir da capacitação técnica e desenvolvimento de metodologias eficientes para atualização cadastral.

Com o advento da Constituição Federal de 1988, percebemos um avanço no quesito legislativo para a questão do ordenamento e gerenciamento urbano, acarretando a construção de um sistema cadastral atualizado que retratasse o dinamismo urbano. Em 2001 surge a Lei 10.257 - Estatuto da Cidade que regulamenta a política urbana citada na constituição em seus artigos 182 e 183, inovando ao conceder autonomia aos municípios sobre o ordenamento e desenvolvimento urbano, ressaltando a importância da elaboração e atualização do Plano Diretor e Lei de Uso e Parcelamento do Solo.

A criação do Programa Nacional de Capacitação das Cidades (PNCC) que tinha por objetivo capacitação técnica inserindo ao cadastro territorial um novo conceito, o multifinalitário, apresentando uma nova metodologia para o cadastro recheado de novas perspectivas e diversidade.

As Diretrizes Nacionais para implantação do Cadastro Multifinalitário surgem a partir das análises técnicas, considerando a perspectiva do Decreto nº 6666/2008, que institui a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). As diretrizes são apresentadas à Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR), que consolida a proposta, sendo estas expostas a partir de uma portaria Ministerial nº 511/2009, estruturada em sete capítulos:

- Disposições Gerais
- Cadastro Territorial Multifinalitário
- Cartografia Cadastral
- Gestão e Financiamento do Cadastro
- Multifinalidade do Cadastro
- Avaliação de imóveis
- Marco Jurídico e Disposições Finais

As diretrizes retratam os principais conceitos para a implantação dessa nova estrutura cadastral, trazendo a integração do Cadastro com o Registro Geral de imóveis, prevendo a construção de um sistema, o Sicart – Sistema de Cadastro e Registro Territorial. O conceito do Cadastro Territorial Multifinalitário é trazido para atender as necessidades sociais, ambientais e econômicas da Administração Pública e de segurança jurídica da sociedade, no qual a parcela é retratada como menor unidade do cadastro. Em relação a cartografia cadastral são apresentadas recomendações básicas e normalização da Cartografia Nacional, em especial no que se refere à adoção do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), as recomendações do IBGE e os padrões estabelecidos pela INDE, é recomendável o uso sistema de projeção Universal Transversa de Mercator.

O município é o responsável pelo processo de financiamento e gerenciamento do CTM, capacitando a equipe municipal para atualização permanente do sistema, investindo em recursos que forneçam sustentabilidade. A implantação do CTM é tratada como um processo evolutivo, integrativo, que necessita de uma modelagem eficiente de dados, com base em um sistema de referência único.

Portanto o CTM é um sistema integrativo que visa atender o viés multifinalitário, com uma perspectiva inovadora e dinâmica para o ordenamento urbano, diferente do projeto CIATA que apresentou uma metodologia simplificada para implantação do cadastro técnico territorial. Portanto os dois projetos se completam e devem ser integrados. As diretrizes descrevem no aspecto jurídico o CTM como um sistema de patrimônio público municipal, sujeito aos princípios da administração pública.

Segundo (LOCH,2005), o cadastro multifinalitário engloba as medições, representações cartográficas, avaliação socioeconômica da população, legislações vigentes para o local, parte econômica, considerando toda a parte racional da ocupação do espaço em toda extensão do território, considerando os perímetros rurais e urbanos.

O ministério das Cidades (BRASIL, 2009) nos diz que o cadastro multifinalitário quando implantado pelo município deve conter todo o inventário fundiário e sistemático, baseados nos limites das parcelas. O cadastro multifinalitário é um sistema de informação territorial, aglutinando todos os dados analíticos que permitam identificar a parcela com suas características físicas, suas propriedades imobiliárias, utilizando uma base cartográfica atualizada que permita visualização espacial integrada a um banco de dados, fornecendo uma análise holística, utilizando dados completos, atualizados e digitais.

2.1.2 Cadastro 2014 – FIT-FOR - PURPOSET

A Federação Internacional de Geômetras (FIG) desenvolve um trabalho eficiente a partir do apoio a estudos e análises dos cadastros aplicados no mundo, incentivando a inquirição sobre o tema entre os países desenvolvidos e subdesenvolvidos, produzindo publicações que forneça homogeneidade para aplicação de um cadastro para todos, exemplo é o Cadastro 2014 (FIG,1998). O cadastro 2014 traz conceitos importantes com a inserção da situação legal do terreno, seus direitos e restrições, proporcionando integração entre bases espaciais e banco de dados, promovendo o uso de novas tecnologias para geração de modelos 2d e 3d havendo contribuição dos setores público e privado, rendendo a recuperação do investimento a partir do uso de um cadastro tecnológico e atualizado.

Propondo uma mudança efetiva no gerenciamento do território pelo poder público, neste contexto o termo adequado à finalidade, é novo no quesito de pensar na construção de um sistema sustentável de administração de terras, desenvolvidos de forma flexível e focados na necessidade dos cidadãos, incluindo os seguintes elementos (FIG,2014):

- Flexível
- Inclusivo
- Participativo
- Acessível
- Confiável
- Alcançável
- Atualizável

2.2 REDE DE REFERÊNCIA CADASTRAL

A NBR 14166 de agosto de 1998, trata da Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento, dos principais objetivos para implantação da Rede:

- a) apoiar a elaboração e a atualização de plantas cadastrais municipais;
- b) amarrar, de um modo geral, todos os serviços de topografia, visando as incorporações às plantas cadastrais do município;

c) referenciar todos os serviços topográficos de demarcação, de anteprojetos, de projetos, de implantação e acompanhamento de obras de engenharia em geral, de urbanização, de levantamentos de obras como construídas e de cadastros imobiliários para registros públicos e multifinalitários. (NBR 14166, pág. 2)

A NBR 13133 de maio de 1994, trata sobre a execução de Levantamento Topográfico, logo na implantação de uma Rede de Referência as duas normas se completam, pois, a NBR 14166 relata os procedimentos e a NBR 13133 retrata como se sucede a execução dos levantamentos utilizando a topografia clássica, tendo como principal objetivo:

- a) conhecimento geral do terreno: relevo, limites, confrontantes, área, localização, amarração e posicionamento;
- b) informações sobre o terreno destinadas a estudos preliminares de projetos;
- c) informações sobre o terreno destinadas a anteprojetos ou projetos básicos;
- d) informações sobre o terreno destinadas a projetos executivos. (NBR 13133, pág. 1)

Sobre a definição de Rede de Referência, as NBR's 13133 e a 14166 trazem conceitos:

NBR 13133/94: Rede de apoio básico de âmbito municipal para todos os levantamentos que se destinem a projetos, cadastros ou implantação de obras, sendo constituída por pontos de coordenadas planialtimétricas materializados no terreno, referenciados a uma única origem (Sistema Geodésico Brasileiro - SGB) e a um mesmo sistema de representação cartográfica, permitindo a amarração e consequente incorporação de todos os trabalhos de topografia num mapeamento de referência cadastral. Compreende, em escala hierárquica quanto à exatidão, os pontos geodésicos (de precisão e de apoio imediato), pontos topográficos e pontos referenciadores de quadras ou glebas, todos codificados, numerados e localizados no mapeamento de referência cadastral.

NBR 14166/98: Rede de apoio básico de âmbito municipal para todos os serviços que se destinem a projetos, cadastros ou implantação e gerenciamento de obras, sendo constituída por pontos de coordenadas planialtimétricas, materializados no terreno, referenciados a uma única origem (Sistema Geodésico Brasileiro - SGB) e a um mesmo sistema de representação cartográfica, permitindo a amarração e consequente incorporação de todos os trabalhos de topografia e cartografia na construção e manutenção da Planta Cadastral Municipal e Planta Geral do Município, sendo esta rede amarrada ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB); fica garantida a posição dos pontos de representação e a correlação entre os vários sistemas de projeção ou representação.

NBR 13133/21: Apoio básico de âmbito municipal para todos os levantamentos destinados a projetos, cadastros ou implantação de obras, sendo constituídos por pontos materializados no terreno com coordenadas planialtimétricas, referenciados a uma única origem [Sistema Geodésico Brasileiro (SGB)] e a um mesmo sistema de representação cartográfica, permitindo a amarração e consequente incorporação de todos os trabalhos de topografia em um mapeamento de referência cadastral.

NBR 14166/22: A RRCM é implantada em primeiro plano por meio dos vértices superiores. Os demais vértices (principais e de apoio) são realizados no processo de densificação da RRCM. Na implantação dos Vértices superiores, devem-se considerar as etapas de planejamento; de nomenclatura dos vértices de materialização e de métodos de medição (levantamento).

O IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2017 desenvolveu as Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos Associados ao Sistema Geodésico Brasileiro, a norma técnica retrata os requisitos mínimos de precisão, demonstrando os procedimentos e orientações a serem adotados com o objetivo de estabelecer, densificar e fornecer manutenção para as Redes Geodésicas de Referência que materializam o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), já a NBR 17047/2022 especifica o levantamento cadastral territorial para registro público, utilizando como referência a NBR 14166/2022 E 13133/2022. A NBR 14166/2022 define a metodologia para densificação, ajustamento e controle da Rede Geodésica utilizando os receptores geodésicos trazendo avanço na normatização dos levantamentos geodésicos. No contexto da modernização das técnicas e dos métodos de posicionamento, com advento de equipamentos sofisticados de alta precisão elevando a qualidade na aquisição de dados essa norma técnica busca homogeneizar os procedimentos para aquisição e processamento de dados geodésicos.

Segundo o IBGE as Redes de Referências Geodésicas são classificadas em decorrência da diversidade das informações obtidas a partir dos levantamentos geodésicos, são elas:

1)Redes GNSS/GPS

- Monitoramento Contínuo - RBMC

2) Redes Clássicas Horizontais

- Estações SAT - Doppler e SAT - GPS; Vértices de Triangulação (VT) e Estações de Poligonal (EP)

3)Redes de Referência Vertical

- Estações de Referências de Nível (RRNN) e Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP)

4)Redes de densificação gravimétrica do IBGE

- Estações Gravimétricas e Modelo de Ondulação Geoidal do Brasil (MAPGEO) e modelo quase geoidal (hgeoHNOR)

2.3 SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA E REDES

O SGR é definido por uma base num conjunto de parâmetros e convenções em um elipsoide ajustado às dimensões da terra e devidamente orientado, constituindo um referencial adequado. Mônico, traz que um referencial adotado e definido é caracterizado pela coleta de observações a partir de pontos sobre a superfície terrestre construindo uma rede, devidamente

materializada (Mônico, 2000). A materialização do sistema geodésico de referência moderno sucede a partir de pontos implantados sobre a superfície, onde suas coordenadas são conhecidas e os vetores de velocidade.

O conjunto de estações com posições conhecidas constitui o que chamamos de malhas ou redes geodésicas, acarretando numa representação pontual da superfície física, as redes são divididas em três categorias, a saber (CASTAÑEDA, 1986, p. 24):

- Redes Verticais;
- Redes Horizontais;
- Redes Tridimensionais.

Onde as Redes Verticais retratam apenas a altitude ortométrica, a resolução nº 1 da IAG, de julho de 2015, estabelece que o Sistema Altimétrico de Referência Internacional (IHRs), deve ser realizado pela Infraestrutura Altimétrica de Referência Internacional (IAG, 2015a). Por meio deste referencial as altitudes do GGRF deverão ser expressas pelo geopotencial, adicionalmente a alguma altitude física (FREITAS, 2017). As Redes Horizontais são conhecidas a latitude e longitude e essa diferença se dá, pois, a rede horizontal está definida no sistema geométrico enquanto a rede vertical está referida ao geoide. É adotado diferentes pontos de origem, pois as redes horizontais e verticais estão referenciadas à superfícies diferentes, além dos métodos e procedimentos da geodesia clássica como: a triangulação, a poligonação, a trilateração, o nivelamento geométrico; Estes não possibilitam a obtenção das três coordenadas simultâneas, que são aplicados no estabelecimento das redes de referência que materializam o SGB (IBGE, 2017). Existem estudos na proposição de utilizar o ajustamento de rede clássica 3D para grandes áreas que tenham distâncias entre os vértices superior a 10 km (FREITAS, 2019).

Os avanços tecnológicos possibilitaram a caracterização de um Sistema Geodésico Global, onde sua origem está localizada no centro de massa da terra e a representação passa a ser no espaço Tridimensional, (IBGE, 2017), a geodesia espacial passa por duas fases: a definição e a materialização. Na definição adota-se o Sistema Geodésico de Referência, na qual são estabelecidas as constantes físicas e geométricas derivadas de extensas observações do campo da gravidade terrestre a partir de observações a satélites.

A materialização de um Sistema de Referência Terrestre (SRT) é dada através do estabelecimento de redes geodésicas utilizando diferentes técnicas de posicionamento, como: VLBI, SRL e o GNSS. Logo, devido à precisão imprimida por essas técnicas, as coordenadas estão associadas a uma época origem, no Brasil o SIRGAS2000, época 2000, 4. (IBGE, 2017).

Um Sistema Geodésico de Referência (SGR), do ponto de vista prático, permite que se faça a localização espacial de qualquer feição sobre a superfície terrestre. O SGR é definido a partir da adoção de um elipsoide de referência, posicionado e orientado em relação à superfície terrestre. A definição de um SGR caracteriza-se por um conjunto de convenções junto a um elipsoide ajustado às dimensões da Terra e devidamente orientado; já por realização entende-se um conjunto de pontos implantados sobre a superfície física da Terra com coordenadas conhecidas. Sob este ponto de vista, tanto as instituições e empresas voltadas à produção cartográfica quanto os usuários de dados georreferenciados utilizam informações baseadas nos diferentes sistemas de referência e suas realizações que coexistem no Brasil. Logo, é de extrema importância o conhecimento das características e restrições de cada um destes sistemas. (UFPR. Sistema Geodésico de Referência e sua evolução no Brasil. Curitiba: [S.d.], p.7.).

As coordenadas determinadas utilizando o sistema GPS são referenciadas ao sistema geocêntrico, no entanto ao compatibilizar a um sistema de referência local, as mesmas têm suas precisões degradadas. Os sistemas de referência são diferentes a partir do sistema de: coordenada superior, coordenada do aparelho e coordenada do objeto (Seixas et al., 2006).

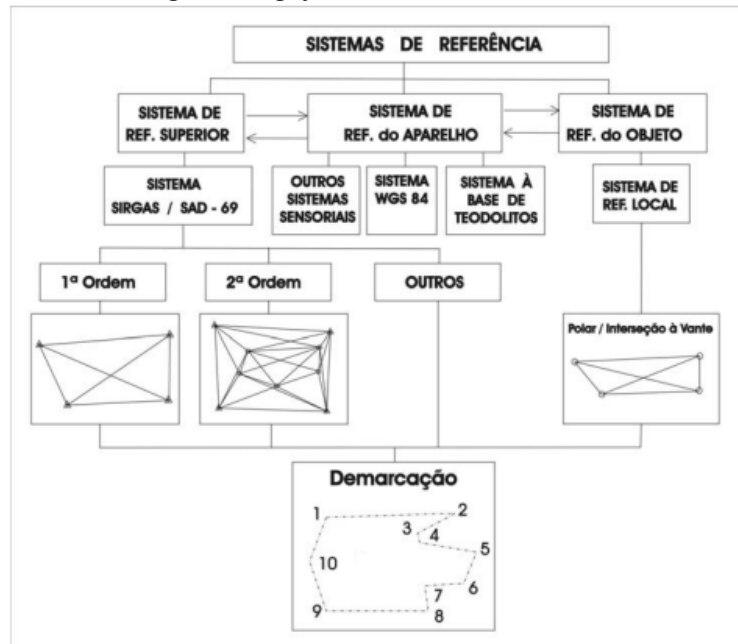
O sistema de Referência Superior é constituído por um Sistema de Coordenadas e por diversos pontos no espaço geométrico, os pontos de referência e o espaço geodésico ou cartesiano que aprecia (SEIXAS et al., 2006):

- Os aspectos de otimização geométrica das estruturas geodésicas envolvidas;
- Os aspectos físicos de sua materialização;
- Os aspectos estocásticos das realizações das variáveis aleatórias envolvidas nos processos de medição;
- Aspectos de estabilização dos seus pontos na definição do Sistema de Referência de Medição. Campo de Pontos Objeto é o espaço geodésico ou cartesiano agregado aos aspectos (Silva et al., 2004);
- De otimização geométrica da superfície que representará o objeto, sob o enfoque, por exemplo, da teoria dos elementos finitos;
- Físicos de sua materialização;
- E estocásticos das realizações das variáveis aleatórias envolvidas no processo de medição empregado, quer de natureza geodésica, topográfica e procedentes de outras fontes como: medições elétricas de grandezas não elétricas, medições interferométricas, etc. (SEIXAS, et al, 2006):

O Sistema de Referência de Medição é o elemento de interligação entre os diferentes sistemas calculados, com objetivo de obter os valores das observações definidos a partir do Sistema de Referência Superior. Segue a figura 1 como o esquema de Sistema de Referência

(SEIXAS, et al, 2006):

Figura 1- Ligação entre sistema de referência



Fonte: seixas, et al., 2006

2.3.1 Sistema Geodésico Brasileiro e seus referenciais

O sistema Geodésico Brasileiro caracteriza-se pelo conjunto de estações para controle vertical e horizontal, que são essenciais para localização e representação cartográfica; o IBGE é responsável por seu estabelecimento e manutenção através do seu Departamento de Geodesia. Com o advento da tecnologia de observação por satélites artificiais houve a modernização na aquisição de dados geodésicos proporcionando uma grande revolução no desenvolvimento do SGB. O sistema geodésico é composto pelas redes: Planimétrica (coordenadas geodésicas (ϕ , λ), Altimétrica, (altitudes) e gravimétrica (valores da gravidade e anomalias). (IBGE,2010).

O projeto SIRGAS2000, surgiu a partir de observações utilizando o sistema GPS realizadas em marcos geodésicos durante 10 dias do mês de maio de 2000. As 21 estações brasileiras foram utilizadas no projeto SIRGAS e integradas como estações de referência no ajustamento da Rede Geodésica Brasileira consolidando a materialização do sistema de referência. (IBGE, 2010).

Em 25 de fevereiro de 2005 a Resolução N° 1/2005, estabelece o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, que foi realizado no ano 2000, o SIRGAS2000 torna-se o Sistema de Referência Geodésico Brasileiro.

O Sistema Geodésico Brasileiro é composto por um Sistema Geocêntrico para as

Américas, sendo este definido por elipsoide de referência o GRS80 (Geodetic Reference System, 1980), recomendado pela Associação Geodésica Internacional (IAG).

A superfície equipotencial que coincide com o nível médio do mar corresponde ao referencial altimétrico definido pelas observações maregráficas. Os parâmetros do elipsoide de referência GRS80, (IBGE, RPR, 2005):

$$a = 6.378.137 \text{ m}$$

$$f = 1/298,257222101$$

$$\omega e = 7.292.115 \times 10^{-8} \text{ rad/s}$$

$$GM = 3.986.005 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$$

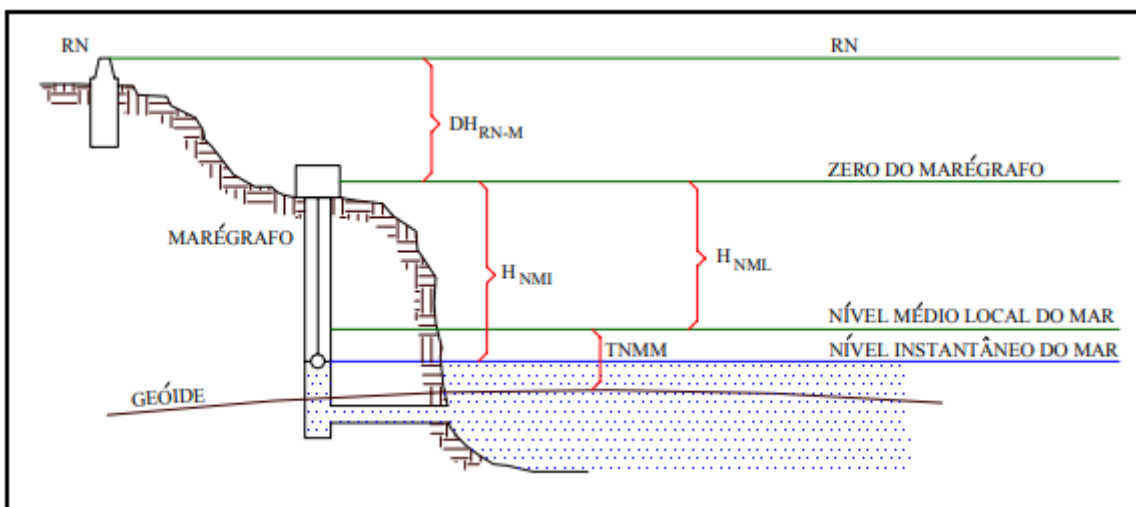
Existem dois referenciais altimétricos, Imbituba e Santana, que foram definidos a partir de levantamentos clássicos e observações maregráficas, considerando a variação do nível do mar instantâneo em respeito ao zero do marégrafo. Logo, a partir dessas observações, onde calcula-se o nível do mar local e determina-se a altitude de um RN, situada próximo ao marégrafo.

Onde,

O NMM é definido por observações do nível do mar, através dos marégrafos;

O H_{NMI} é proposto através do zero do marégrafo que é monitorado; e a partir dos dados obtidos determina-se o nível médio do mar local (H_{NML}) e as altitudes da RN próxima ao marégrafo $H_{NML} + DH_{RN-M}$.

Figura 2 - Altitude RN



Fonte: adaptado de vanicek; krakiwsky, 1986, p. 424.

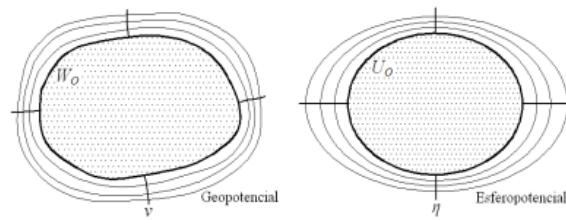
As coordenadas horizontais eram determinadas pelas técnicas de triangulação, trilateração e poligonação; com o surgimento dos métodos de posicionamento por satélite foi proporcionado a obtenção direta de coordenadas Tridimensionais e as redes Tridimensionais passaram a ser obtidas de duas formas, (VANICEK; KRAKIWSKY, 1986, p. 100):

- a) A partir da combinação das coordenadas horizontais (φ, λ) e a altitude ortométrica (H) de pontos homólogos para obter as coordenadas tridimensionais, conhecido a ondulação geoidal.
- b) Utilizando Técnicas de posicionamento que sejam capazes de fornecer diretamente as três coordenadas.

2.3.2 Geopotencial e Altitudes Científicas

A rede altimétrica Brasileira não satisfaz o sistema vertical moderno com o significado físico das altitudes e o geopotencial global, (BURŠA et al., 2002; IHDE, 2007). Ao utilizar o nivelamento geométrico a partir da metodologia clássica, os desníveis e respectivas diferenças de altitudes medidas são variáveis de acordo com o campo gravitacional e topografia da região, a execução do nivelamento geométrico deve ser efetuada ao longo do horizonte local do eixo óptico do instrumento; as miras devem estar alinhadas de acordo com o vetor da força da gravidade. São tomadas diversas precauções no nivelamento geométrico para mitigar os erros da refração atmosférica e da influência da curvatura terrestre como a equidistância no nivelamento. Superfícies equipotenciais descrevem superfícies de níveis com o valor do potencial gravimétrico, o comportamento está atrelado ao modelo terrestre adotado, sendo a terra real – geopotencial (W) e a terra normal – esferopotencial (U), onde o espaçamento das superfícies equipotenciais varia com latitude (φ) e com a distribuição de massas da crosta da terra, tendo com a superfície de referência (W_0) o geoide que é a superfície equipotencial que melhor se ajusta ao nível médio das marés em repouso. O esferopotencial varia com a latitude e sua superfície de referência (U_0) é o elipsoide de revolução que é o modelo matemático com distribuição de massa homogênea (SEVERO, T. C. et al., 2013). Segue representação na figura 3 abaixo:

Figura 3 - Superfícies Equipotenciais



Fonte: severo, t. c. et al, 2013

É importante estabelecer as definições de gravidade e de potencial da gravidade que são os principais elementos para caracterização das altitudes físicas, onde g é a grandeza física que relaciona o potencial e a altitude ortométrica, tratando a força da gravidade como o resultado de uma mudança de potencial em uma separação finita, já o geopotencial é o valor físico calculado pela diferença de potencial entre a superfície de referência da terra real, o geoide (W_0) e de um ponto na superfície terrestre o (W_p). Segue as expressões, (HEISKANEN E MORITS,1967):

$$g = -\frac{\partial W}{\partial H} \quad (1)$$

$$-\delta W = g\delta H \quad (2)$$

$$C = W_0 - W_p = \int_0^P g dn = \sum_{i=0}^P g_i \delta n_i \quad (3)$$

A altitude científica (H^c) é utilizada para determinar uma solução unívoca para altitude de um ponto P, onde G é o valor particular de gravidade:

$$H^c = \frac{C}{G} \quad (4)$$

Os tipos de altitudes físicas mais empregadas são: altitude dinâmica, altitude ortométrica de Helmert e altitude normal. O sistema de altitude dinâmica é relacionado ao número de geopotencial (C) e a constante da gravidade normal (γ_0), que é calculada sobre o esferopotencial e em uso prático não é recomendada, pois os valores das altitudes nestes sistemas variam com relação a gravidade de referência γ_0 arbitrada. A altitude dinâmica é calculada pela seguinte

expressão (HEISKANEN E MORITZ, 1967):

$$H^D = \frac{C}{\gamma_0} \quad (5)$$

A altitude ortométrica de Helmert (H) é a distância da superfície do geoide até um ponto na superfície terrestre ao longo da linha vertical, onde $\bar{g}$ é o valor médio da força da gravidade ao longo da vertical do ponto na superfície terrestre, como $\bar{g}$ não pode ser obtido no interior da crosta, a altitude ortométrica tem uma finalidade puramente teórica e só pode ser obtida com hipóteses simplificadas sobre a densidade do material que compõe a litosfera, existe diversas reduções gravimétrica que variam segundo as massas topográficas externas ao geoide para determinar o $\bar{g}$ causando a pluralidade de altitudes ortométricas (HEISKANEN E MORITZ, 1967). Segue as expressões da altitude ortométrica e da redução do valor médio da força da gravidade abaixo:

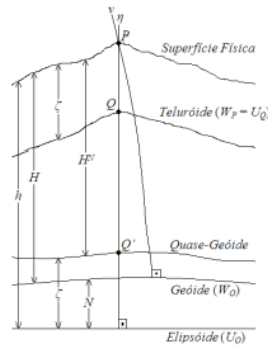
$$H = \frac{C}{\bar{g}} \quad (6)$$

$$\bar{g} = g_p + 0,0424(H_p) \quad (7)$$

Onde g_p (Gals) é o valor da gravidade observada no ponto P sobre a superfície terrestre, e H_p (km) é a altitude ortométrica de P.

A altitude Normal surgiu com intenção de contornar o problema de determinar o $\bar{g}$, a gravidade real, logo Molodensky em 1945 propôs a concepção do sistema de altitude normal, que consiste na substituição do $\bar{g}$ pelo valor médio da gravidade normal ao longo da normal entre a elipsoide de referência e o teluróide. O teluróide não representa uma superfície equipotencial, tendo em vista que não apresenta potenciais diferentes, o potencial (W_p) medido no ponto P na superfície terrestre teria um determinado potencial normal U_p em geral $W_p \neq U_p$, no entanto o potencial do ponto Q ao longo da normal é igual ao W_p medido na superfície. A distância calculada entre P (superfície terrestre) e Q (ao longo da normal, teluróide) representa a anomalia de altitude ζ , onde contada do elipsoide de referência, materializa o quase geoide, portanto a altitude normal do ponto P, pode ser definida como a distância entre o quase geoide e a superfície física, contada sobre a linha normal passante pelo ponto P.

Figura 4 - Altitude Normal



Fonte: Severo, T. C. et al, 2013

Segue a expressão da altitude normal, onde C é número de geopotencial e $\bar{\gamma}$ é linha normal entre o teluróide e o elipsoide de referência, conforme Heiskanen e Moritz, (1967):

$$H^N = \frac{C}{\bar{\gamma}} \quad (8)$$

2.3.3 Sistema Geodésico de Referência Vertical – Reajustamento Altimétrico 2018

Os geopotenciais são tomados com base para determinar as altitudes físicas (H), usadas para o posicionamento vertical, pois são vinculadas ao campo de gravidade. As altitudes geométricas (h) que são obtidas a partir dos levantamentos com receptores geodésicos utilizando o sistema global de navegação por satélites (GNSS), não possuem vínculo com o campo da gravidade terrestre são referenciadas ao elipsoide de revolução.

Mesmo com todo o rigor do nivelamento geométrico, haverá resíduo não aleatório, pois diferentes superfícies equipotenciais não são paralelas entre si nas posições dos níveis, no qual as linhas de colimação são tangentes à respectiva superfície equipotencial do campo da gravidade (IBGE,2019). Se for medida ao longo do nivelamento de cada ponto a gravidade, o geopotencial pode ser obtido pela seguinte fórmula:

$$C_P = W_0 - W_P = \int_0^P g dH \approx \sum_{i=1}^K (g_m^{\text{obs}} \Delta H^{\text{obs}}) \quad (9)$$

Onde C_p é o número geopotencial de um ponto P qualquer e o W_0 é a superfície de referência. Na prática é usado o cálculo das diferenças de geopotencial, considerando que

a distância entre os pontos A e B seja bem pequenas:

$$\Delta C_{AB} = C_B - C_A = -(W_B - W_A) \approx g_{AB}^{obs} \Delta H_{AB}^{obs} \quad (10)$$

Para que as altitudes físicas sejam expressas em metros utiliza a seguinte expressão:

$$H^{física} = \frac{C}{G} \quad (11)$$

sendo G o valor específico de gravidade associado a cada tipo de altitude física e C o número do geopotencial.

A altitude ortométrica é a linha vertical medida entre o geoide e o ponto de interesse, essa linha é ortogonal as superfícies equipotenciais do campo da gravidade, ou seja, é uma curva reversa das irregularidades da distribuição de massas no planeta, logo para obter o geopotencial ajustado é necessário utilizar o valor médio da gravidade real ao longo da vertical (g_{vert}), conforme equação abaixo (IBGE,2019):

$$C_P = \int g dH = g_m \int dH \therefore H_P^{ort} = \frac{C_P}{g_{vert}} \quad (12)$$

É importante ressaltar que a observação da gravidade no interior da crosta não é viável na maioria dos casos, sendo utilizada apenas em casos peculiares, a maioria das estações altimétricas é impossível o conhecimento da gravidade média na vertical resultando na determinação da altitude ortométrica, logo a altitude ortométrica é baseada nas aproximações do valor médio da gravidade. A distribuição deficiente de observações da gravidade em determinadas regiões compromete a obtenção dos números dos geopotenciais, concluindo que se utiliza a gravidade teórica ou normal para não alterar a qualificação das altitudes resultantes. Atualmente as altitudes obtidas são denominadas de normais-ortométricas ou ortométricas-normais e a partir do reajustamento altimétrico - 2018 os bancos de dados geodésicos – BDG vem disponibilizando as altitudes normais, seguindo as recomendações do Sistema de Referencia Geocêntrico para las Américas - SIRGAS. (IBGE, 2019)

Para obter a altitude normal é necessário obter o valor da gravidade normal (gravidade teórica) obtida pelo modelo terra normal:

$$H^N = \frac{C}{\gamma_{vert}} \quad (13)$$

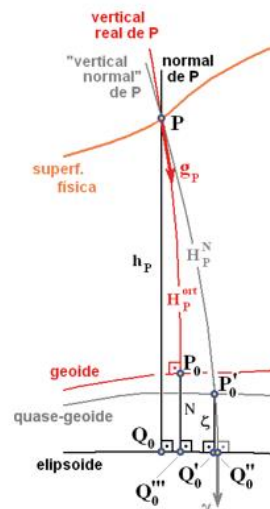
$$\gamma_{\text{vert}} = \gamma_0 \left[1 - \frac{H^N}{a} (1 + \alpha + m - 2\alpha \sin^2 \varphi) + \left(\frac{H^N}{a} \right)^2 \right] \quad (14)$$

$$\gamma_0 = \gamma_a \frac{1 + k \sin^2 \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}, k = \frac{b\gamma_b}{a\gamma_a} - 1 \quad (15)$$

Onde, γ_{vert} , $\gamma_{m,a,b}$, γ_a , γ_b são parâmetros associados ao sistema geodésico de referência, (IBGE, 2019).

A altitude normal não se refere ao geoide e sim a uma superfície próxima a ele que se chama de quase geoide, em resumo a diferença conceitual entre as altitudes ortométricas, normal e normal-ortométrica está relacionada ao tipo de gravidade (real ou teórica) que são utilizadas no cálculo das diferenças de geopotencial conforme equação (02) e na conversão do número do geopotencial final em altitude física. Para altitudes normais utiliza-se a gravidade real para o cálculo das diferenças de geopotencial, e a gravidade normal para obter a altitude, já para obter a ortométrica utiliza-se a gravidade real nas duas etapas e para a altitude ortométrica-normal utiliza-se a gravidade normal em ambas as etapas, segue imagem abaixo ilustrando os elementos das altitudes estudadas (IBGE, 2019):

Figura 5- Elementos para definição das altitudes físicas



Fonte: IBGE, 2019

As altitudes físicas se relacionam a partir das seguintes expressões,

$$N = h - H^{\text{ort}} \quad (16)$$

$$\zeta = h - H^N \quad (17)$$

$$\zeta = N - \frac{g_m - \gamma_m}{\gamma_m} H^{\text{ort}} \approx N - \frac{\Delta g_B}{\gamma_m} H^{\text{ort}} \quad (18)$$

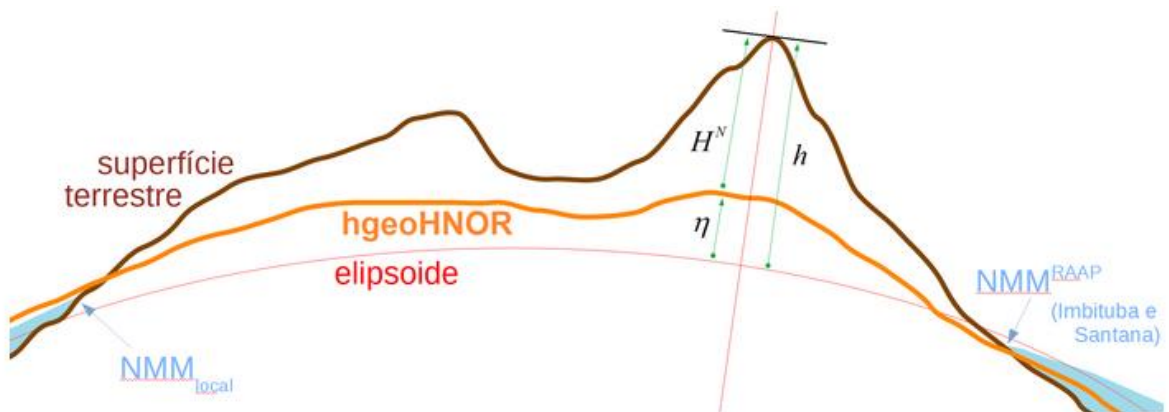
$$H^N \approx \left(1 + \frac{\Delta g_B}{\gamma_m}\right) H^{\text{ort}} \quad (19)$$

Onde:

N é a altura geoidal; ζ , a anomalia de altitude; e Δg_B , a anomalia Bouguer, aproximada pela diferença entre os valores médios na vertical da gravidade real e normal (IBGE, 2019).

O IBGE lançou a página web onde é possível utilizar o interpolador do modelo hgeoHNOR2020, a partir das coordenadas geodésicas, convertendo a altitude geométrica em altitude Normal modelada. O modelo hgeoHNOR2020 municiona a separação entre o elipsoide de referência e as superfícies da REALT-2018, logo a partir das altitudes geométricas resultante de medições por GNSS, considerando a deficiência da cobertura da rede altimétrica de alta precisão, é possível obter a altitude normal modelada, conforme esquema abaixo:

Figura 6 - Modelo hgeoHNOR



Fonte: ibge, 2021

Onde: H^N é altitude normal modelada, h é a altitude geométrica e o η é o fator conversão extraído do modelo, logo a altitude normal modelada é fornecida a partir da seguinte equação:

$$H^N = h - \eta \quad (20)$$

É importante observar que o modelo hgeoHNOR2020 resulta do cálculo dos resíduos através dos mínimos quadrados das ondulações geoidais do MAPGEO2015, utilizando a diferenças das altitudes geométricas e altitudes Normais, nas estações SAT e RN. Portanto considerando diversos composições de erros, a influência e tratamento da maré, o fator de conversão η é resultado da soma das influências intrínsecas (Δ) aos valores de separação entre quase-geoide global e elipsoide (ζ , anomalias de altitude): $\eta = \zeta + \Delta$. (IBGE, 2021)

2.4 POSICIONAMENTO POR SATÉLITE

Com o advento de diversas técnicas de posicionamento ocorre a popularização do uso do sistema GNSS para aquisição de dados geodésicos. Neste contexto, construir uma metodologia que garanta acurácia e precisão certificando a qualidade posicional é o que vai definir a finalidade do uso dos insumos gerados por esses tipos de levantamento.

O princípio básico do posicionamento está na solução de um Sistema Linear envolvendo medidas lineares entre o usuário/receptor e a constelação de satélite, ao menos 4 (quatro) satélites com coordenadas, as informações são obtidas a partir dos dados de observação e navegação transmitidos pelo satélite. O sistema NAVSTAR – GPS é um sistema de radionavegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América - DoD (Department of Defense), com o objetivo de desenvolver um sistema de navegação de abrangência global, com motivação militar, porém, em razão da alta acurácia proporcionada pelo sistema e o desenvolvimento dos receptores, disponibilizado para sociedade Civil (Mônico, 2008).

2.4.1 Sistemas GNSS

O IBGE lançou uma norma técnica que trata das especificações e normas para o posicionamento com GNSS, retratando os sistemas de navegações, os tipos de receptores, os erros que incidem sobre as observações, os métodos de posicionamento, as especificações sobre os levantamentos e a homologação de marcos geodésicos ao SGB. Os Principais sistemas de navegação são:

Figura 7 - Sistema Gnss

Sistemas GNSS	Declarado Operacional	Nº de satélites operacionais ^s	Sistema Geodésico de Referência – SRG	Parâmetros do Elipsoide	País
GPS	27 de abril de 1995	31 satélites	WGS 84	$a = 6.378.137,0 \text{ m}$ $f = 1/298,257223563$	EUA
GLONASS	Dezembro de 2011	23 satélites	PZ-90	$a = 6.378.136,0 \text{ m}$ $f = 1/298,25784$	Rússia
Galileo	A partir de 2020	14 satélites	GTRF	$a = 6.378.137,0 \text{ m}$ $f = 1/298,257222101$	UE
BeiDou	Na China desde 27/12/11 Previsão de cobertura global em 2020.	14 satélites	BDC (CGCS 2000)	$a = 6.378.137,0 \text{ m}$ $f = 1/298,257222101$	China

Fonte: Ibge, 2017

Os receptores são caracterizados de acordo com os códigos e as fases das ondas portadoras, denominados de receptores geodésicos de dupla frequência que rastreiam códigos e fase. A estrutura do GPS é dividida em três segmentos:

- Segmento Espacial: constituído pelos satélites;
- Segmento de Controle: responsável pelos cálculos das efemérides e coeficientes de correção dos relógios.
- Segmento dos Usuários: conjunto de usuários civis e militares.

2.4.2 Erros Incidentes Sobre as Navegações

Toda medição está inerente ao erro por diversas fontes, logo não é diferente para o posicionamento pelo sistema GNSS, diminuir as influências desses erros se torna fundamental para obter coordenadas precisas. Portanto a combinação entre equipamento, método de posicionamento e processamento possibilitam a redução dos erros, resultando na obtenção de coordenadas com precisão centimétricas (IBGE,2017). As principais fontes de erros são:

- Satélites: Causados pelos efeitos do Relógio, Centro de fase, Atraso instrumental de interferência do satélite.
- Propagação do Sinal: Causados pelos efeitos da refração troposférica, refração ionosférica, perdas de ciclos e Multicaminho.
- Receptor/Antena: Causados pelos efeitos do Relógio, Centro de fase e Atraso instrumental de interferência do satélite.

- Local: Causados pelos efeitos das Coordenadas, Influência Magnética, Marés terrestres, Carga oceânica, Carga atmosférica e Parâmetros de orientação da Terra (movimento do pólo).
- Humana: Causados pelos efeitos Centragem da antena e Medição da altura da antena.

2.4.3 Métodos de Posicionamento

A determinação do método de posicionamento está diretamente relacionando a acurácia dos dados geodésicos obtidos, segue abaixo o resumo dos métodos utilizados para determinar o posicionamento geodésico a partir do sistema GNSS:

Tabela 1 - Resumo dos Métodos de Posicionamento

Método	Descrição	Precisão
Posicionamento por Ponto	Observações por código C/A	Métrica
Posicionamento por Ponto Preciso	Código e Fase da Portadora – Método Absoluto	Centimétrica - Dependendo do tempo de Rastreio (mínimo de 2 horas)
Posicionamento Relativo	Código e Fase da Portadora – Utiliza 2 receptores – Observações Simultâneas -Método Relativo (estático ou cinemático)	Centimétrica

Fonte: Autora, 2021

Para processamento dos dados o IBGE disponibiliza alguns serviços e rede; a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), consiste em um conjunto de estações geodésicas distribuídas nacionalmente. O uso da RBMC está conectado ao posicionamento relativo, pois a estação desta rede executa a função de estação base, no qual o usuário na etapa de processamento fornece os dois outros pontos rastreados. A RBMC fornece dois serviços, o das observações para pós processamento e o para levantamento em tempo real, denominado RBMC-IP, onde é fornecido as correções e efemérides das estações RBMC em tempo real, através do protocolo NTRIP – Networked Transport of RTCM via internet Protocolo (IBGE,2017).

O IBGE fornece o serviço de processamento por PPP que possibilita a determinação de coordenadas de levantamentos GNSS utilizando o método absoluto, integrando o

posicionamento ao SGB através da aplicação de parâmetros de transformação e atualização das coordenadas para época de referência SIRGAS2000, utilizando o CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System desenvolvido pelo Nrcan). (IBGE,2017).

2.4.4 Marco Geodésico

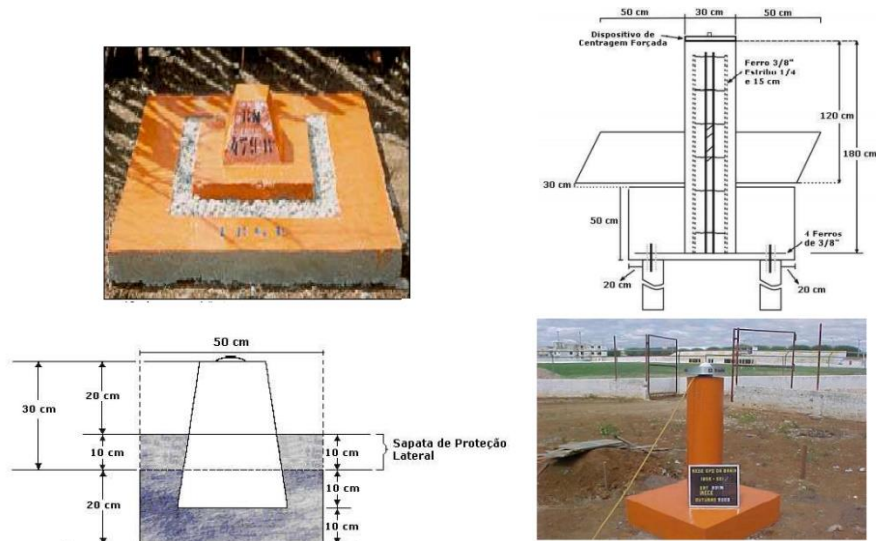
A NBR 14166 define marco geodésico como o ponto geodésico da Rede de Referência Cadastral implantado e materializado no Terreno, segue a definição de marco geodésico de precisão, seção 3.15:

Marco geodésico de precisão: Marco geodésico obtido por poligonação, triangulação, trilateração, dupla irradiação, rastreamento de satélites do sistema GPS-NAVSTAR no método diferencial ou outro método geodésico que vier a ser desenvolvido, com a finalidade de transportar o apoio geodésico básico do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB - às proximidades e/ou ao interior da área municipal. (NBR 14166, pag 3.).

Para a homologação, o IBGE exige metodologia descrita na tabela 2 e que os marcos estejam implantados de acordo com a Padronização de Marcos Geodésicos de Agosto de 2008, que foi elaborada com o objetivo de subsidiar as etapas de construção, manutenção, reconstrução e reparo, nas quais as estações podem ser feitas de três formas descritas abaixo:

- Chapa cravada em superfície estável já existente no local;
- Marco ou pilar de concreto com chapa incrustada no seu topo;
- Pilar de concreto com dispositivo de centragem forçada incrustado no topo e chapa cravada na lateral.

Figura 8 - Modelo de Marco Geodésico



Fonte: IBGE, 2008.

O modelo utilizado no município de Jaboatão dos Guararapes foi o de chapa cravada em superfície conforme monografia inserida no apêndice A e figura abaixo:

Figura 9 - Modelo de Marco Geodésico implantado em Jaboatão dos Guararapes



Fonte: Prefeitura de Jaboatão dos Guararapes, 2016.

Tabela 2 - Especificações IBGE

Item	Atividade Geodésica Planialtimétrica para determinação de um SAT		
	Controle Geodésico	Estação RBMC	Processamento Contínuo
1.Objetivo	Vincular as RRNN dos circuitos de nivelamento de CGEM à estação RBMC.	Determinação das coordenadas de referência de novas estações da RBMC.	Determinação contínua das coordenadas de estações ativas (RBMC / SIRGAS-CON) e monitoramento diário.
2.Tipo de Equipamento	Geodésico		
3.Tempo mínimo de observação (horas/sessão)	6	24	24
4.Número mínimo de sessões	4	10	Diárias
5.Número mínimo de estações de referência	3	3	> 7
6.Solução do processamento	Fixa, dupla diferença de fase.		
7.Solução final	Ajustamento injuncionado.		Depende do tipo de solução (livre, injuncionada ou injunção mínima).
8.Injunção	Desvio padrão das coordenadas das estações de referência.		Depende do tipo de solução (livre, injuncionada ou injunção mínima).
9.Tipo de Marco	Marco	Pilar	
10.Tipo de Levantamento	Estático		
11.Correção do Centro de Fase da Antena	IGS		
12.Altura da Antena	Vertical		
13.Orientação da Antena	Norte		
14.Montagem da Antena	Pino de centragem forçada		
15.Fixação da Antena	Pino de centragem forçada		
16.Precisão das Coordenadas	Plan: < 1 cm Alt: < 1 cm		

Fonte: IBGE, 2017.

2.5 SISTEMA DE PROJEÇÃO E FATOR DE QUADRÍCULA

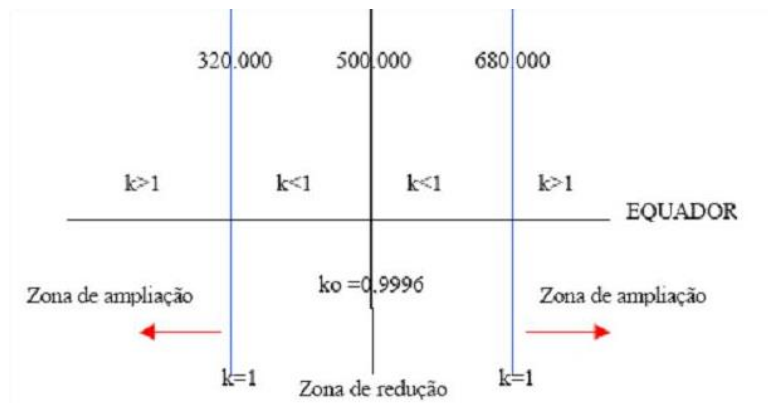
2.6 AJUSTAMENTO E TESTES ESTATÍSTICOS

A representação dos pontos da superfície de referência no plano se dar por uma correspondência biunívoca. A Projeção Universal Transversa de Mercator, ganhou popularidade e hoje é a projeção mais usada no Brasil, por recomendação da união de geodésica e geofísica na busca por padronização, a projeção torna o cilindro secante ao elipsoide pela imposição do fator de escala no meridiano central, determinando o valor $k_0 = 0,9996$. O sistema UTM descrito pela agência de Mapeamento de defesa Americana DMA, possui as seguintes Características:

- I) $k_0 = 0,9996$: fator de escala no meridiano central;
- II) longitude origem no meridiano central;
- III) latitude origem o equador;

- IV) unidade metro;
- V) falso norte: 0m para o hemisfério norte; 10.000.000m para o hemisfério sul;
- VI) falso leste: 500.000m no meridiano central;
- VII) numeração dos fusos: iniciando com 1 entre os meridianos 180° W e 174° W e continuando para leste até o fuso 60 entre os meridianos 174°E e 180°E.
- VII) limites da latitude: 84° N e 80°S; i) amplitude do fuso: 6° em longitude.

Figura 10 - Fuso UTM



Fonte: Cruz (2002).

Para obter a distância na superfície do elipsoide correspondente a projetada na superfície do cilindro transversal, deve-se levar em conta o fator de escala (k), expresso pela equação abaixo:

$$K = \frac{d_{utm}}{s} \quad (21)$$

Onde,

d_{utm} é a distância no cilindro transversal do sistema de projeção UTM; e s é a distância na superfície do elipsoide de revolução.

Existe uma gama de fórmulas aproximadas para obtenção do fator de escala UTM, no entanto a mais precisa é a desenvolvida por Paul D. Thomas (1852), representada a seguir: (GARNÉS, 2014)

$$k = k_0 \left[1 + \frac{\Delta\lambda^2}{2} \cos^2 \varphi (1 + \eta^2) + \Delta\lambda^4 \frac{\cos^4 \varphi}{24} (5 - 4t^2 + 14\eta^2 + 13\eta^4 - 28t^2\eta^2 + 4\eta^6) - 48t^2\eta^4 - 24t^2\eta^6 + \Delta\lambda^6 \frac{\cos^6 \varphi}{720} (61 - 148t^2 + 16t^4) + \dots \right] \quad (22)$$

O fato de quadrícula (fQ), é a composição do fator de elevação (f_e) com o fator de escala UTM (k), para uma distância plana na superfície da Terra (d_{top}) numa altitude média (h), obtém-se a distância em UTM, aplicando a seguinte expressão;

$$fQ = \frac{k}{f_e} \quad (23)$$

Logo, à distância UTM, a partir da topografia é obtida por:

$$d_{utm} = fQ * d_{top} \quad (24)$$

A distância topográfica a partir da UTM é dada por:

$$d_{top} = \frac{d_{UTM}}{fQ} \quad (25)$$

2.7 AJUSTAMENTO E TESTE ESTÁTICOS

A falta de confiabilidade nas medidas obtidas resulta no conjunto de diversas amostras mensuradas para obter o melhor resultado mesurando o erro. Diante deste contexto surge o ajustamento das observações, com o objetivo de a partir das pluralidades das observações, conhecidos os erros de acordo com as discrepâncias calculadas deve-se extrair o resultado único e que represente a máxima confiança na grandeza medida. (GEMAEL, 1994).

- **Método dos Mínimos Quadrados**

O MMQ utiliza o modelo paramétrico com o objetivo de melhor estimar um valor, produzindo um conjunto de resíduos. Logo, a soma dos quadrados dos resíduos deve ser mínima (GEMAEL, 1994). Deve-se aplicar as equações abaixo, para análise por MMQ:

$$\sum_{i=1}^n (v_i)^2 = \min \quad (26)$$

$$\sum_{i=1}^n (p_i v_i)^2 = \min \quad (27)$$

Onde:

v_i = Resíduo entre o valor tido como correto e o valor observado;

p_i = Peso atribuído a cada observação.

- **Método Paramétrico**

Os parâmetros usados neste método são grandezas que não são obtidas diretamente, cuja aplicação envolve a obtenção de grandezas como ângulo e distância. Os valores observados ajustados são expressos em concordância com parâmetros ajustados, (GEMAEL, 1994). Segue equação abaixo:

$$L_a = F(X_a) \quad (28)$$

Onde:

L_a = Vetor dos valores observados ajustados;

X_a = Vetor dos parâmetros ajustados.

- **Equações de Observações**

Cada observação terá um conjunto de incógnitas que define a equação, numa relação diretamente proporcional quanto mais observações mais equações, e inversamente proporcional ao número de incógnitas, desta forma determina-se o valor provável para cada incógnita utilizada (GHILANI, 2010). As equações desenvolvidas por Gemael estão representadas a seguir:

$$L_a = L_b + V \quad (29)$$

$$X_a = X_0 + X \quad (30)$$

Onde:

L_a = Vetor das observações ajustadas;

X_a = Vetor dos parâmetros ajustados;

V = Vetor dos resíduos.

Desenvolve-se a linearização por série de Taylor e obtém-se a Equação a seguir:

$$L_b + V = F(X_0 + X) = F(X_0) + \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_a = X_0} X \quad (31)$$

Onde:

L_b = Vetor dos valores observados;

L_0 = Vetor das observações iniciais em função dos parâmetros iniciais; X = Vetor correção;

X_0 = Vetor dos parâmetros iniciais.

Os parâmetros aproximados, L_0 e a matriz das derivadas parciais chamada de A , tem-se:

$$L_0 = F(X_0) \quad (32)$$

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_a = X_0} \quad (33)$$

Inserindo as Equações 28 e 29 na equação 27, obtém-se:

$$L_b + V = L_0 + AX \quad (34)$$

Obtemos o modelo matemático linearizado do método dos parâmetros, expresso abaixo:

$$L = L_0 - L_b \quad (35)$$

$$V = AX + L_0 - L_b \quad (36)$$

$$V = AX + L \quad (37)$$

- **Equações Normais**

Minimizando a forma quadrática fundamental, tem-se:

$$\left. \begin{aligned} X_a &= X_0 + X \\ V &= AX - L \cong -L \\ \sigma^2 &= \frac{V^T P V}{gl}, \text{ gl} = \text{graus de liberdade} \\ \emptyset &= V^T P V = (AX + L)^T P (AX + L) = \min \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

Derivando em relação a X, tem-se:

$$X = -(A^T P A)^{-1} (A^T P L) \quad (39)$$

Logo,

$$N = A^T P A \quad (40)$$

$$U = A^T P L \quad (41)$$

$$X = -N^{-1} U \quad (42)$$

Os parâmetros e as observações ajustadas são vistos respectivamente, abaixo:

$$X_a = X_0 + X \quad (43)$$

$$L_a = L_b + V. \quad (44)$$

2.6.1 Teste das hipóteses

A partir do Teste da hipótese é possível verificar e validar resultados obtidos no ajustamento. Segundo (Gemael, 1994) para se comprovar que os resíduos são aleatórios provenientes de uma distribuição normal usa-se:

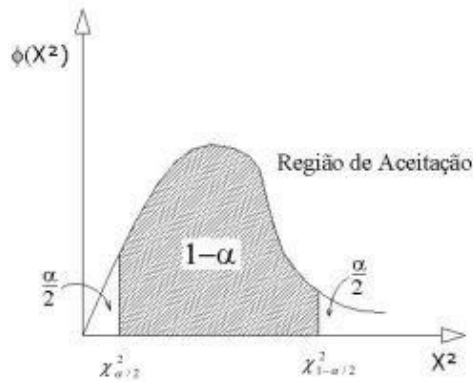
$$H_0: \hat{\sigma}^2 = \sigma^2 \quad (45)$$

$$(46) \\ H_1: \hat{\sigma}^2 \neq \sigma^2$$

Onde o H_0 corresponde a hipótese Nula e H_1 corresponde a hipótese alternativa.

O ajustamento é aceito no teste de hipótese a partir da análise dos valores de mínimo e máximo, conforme gráfico abaixo:

Figura 10 – Aceitação e Rejeição de uma distribuição



Fonte: Mendonça et al. (2010).

O teste do qui-quadrado verifica se a função V^tP_v está dentro da distribuição do qui-quadrado, comprovando que os resíduos aleatórios estão dentro de uma distribuição normal. O H_0 não é rejeitada ao nível de significância (5%), aplicando o teste $X^{**} = V^tP_v/\sigma^2$ e não havendo rejeição da hipótese nula, interpreta-se que há rejeição da hipótese nula e conclui-se que há consistência (Garnés et al, 1998).

2.6.2 Ajustamento por Trilateração

A trilateração é o método clássico disseminado por ser prático em sua execução se comparado aos métodos de triangulação, triangulateração e poligonação. A trilateração permite determinar a partir de medições de distâncias as coordenadas de determinado ponto, utilizando a distância inclinada para resolução em 3D e horizontais para resolução em 2D. Para obter a distância inclinada entre dois pontos de coordenadas tridimensionais usa-se a seguinte fórmula:

$$l_k = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (47)$$

Onde “i” e “j” são vértices da poligonal e “k” varia 1 até a quantidade máxima de distância entre os vértices existentes.

Como “L” é uma variável m-dimensional representando as observações de distâncias, em

conjunto com as funções das coordenadas dos n parâmetros, constrói-se um sistema linear conforme equação abaixo:

$$L = F(x), \quad F: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m \quad (48)$$

Para efetuar a linearização das observações utiliza-se o modelo paramétrico de trilateração por MMQ, (GEMAEL; MACHADO E WANDRESEN, 2015) e os elementos não nulos da matriz jacobiana. Segue as fórmulas a baixo:

$$L_a = L_b + v = F(x_0) + \left. \frac{\partial F}{\partial x} \right|_{x_0} (x - x_0) = F(x) \quad (49)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial l_k}{\partial x_i} &= \frac{(x_i - x_j)}{l_k}; & \frac{\partial l_k}{\partial x_j} &= \frac{(x_j - x_i)}{l_k}; \\ \frac{\partial l_k}{\partial y_i} &= \frac{(y_i - y_j)}{l_k}; & \frac{\partial l_k}{\partial y_j} &= \frac{(y_j - y_i)}{l_k}; \end{aligned} \quad (50)$$

O vetor dos resíduos é obtido a partir da seguinte equação:

$$v = Ax - [L_b - F(X_0)] \quad (51)$$

Para definir o desvio padrão dos medidores, variâncias, matriz dos pesos e o sigma posteriores das distâncias inclinadas, usa-se as seguintes fórmulas:

$$\begin{cases} \sigma = \pm(a + bxD) \\ \sigma = \pm(a \text{ mm} + b \text{ ppm}) \end{cases} \quad (52)$$

$$\sigma_d^2 = a^2 + b^2 \left(\frac{D}{1000} \right)^2 \quad (53)$$

$$P = \sigma_0^2 \text{diag} \left(\frac{1}{\sigma_{d_k}^2} \right)^2, \quad k = 1, \dots, 9 \quad (54)$$

$$e_d = \sqrt{Z^2 + (kxD)^2} \quad (55)$$

Onde, e_d é a acurácia da distância medida, Z é a acurácia da constante aditiva do instrumento, expressa em milímetros, k é a acurácia do fator de escala, expressa em ppm e D é a acurácia medida, expressa em quilômetros (km).

2.6.3 Injunções

São uma ou mais condição imposta para resolução dos Método dos Mínimos quadrados além da soma dos quadrados dos resíduos. Para efetuar o ajustamento da rede clássica 3D é necessário utilizar as injunções no ajustamento da rede. As principais injunções utilizadas para análise da rede nesta dissertação são as injunções funcionais e injunção de Peso.

2.6.3.1 Injunções Funcionais

Quando existe entre os parâmetros uma relação funcional obedecendo a uma condição geométrica, com valores conhecidos ou não. (Camargo,2010), expressa com a seguinte equação para a rede clássica 3D:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Minimizar } V^T P V \\ \text{Sujeito a: } G(X_a) = t \end{array} \right\} \quad (56)$$

Onde V é os Resíduos, P é a matriz dos pesos, G(X_a) representa as injunções, o vetor X_a são os parâmetros a ser definidos e t é o vetor de constantes. O processo linearização da ocorre a partir das seguintes equações:

$$V = V(X_0); L = L_b - L_0; L_0 = F(X_0); A = \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_a=X_0}; X = X_a - X_0. \quad (57)$$

$$BX - f = 0 \quad (58)$$

$$B = \left. \frac{\partial G}{\partial X_a} \right|_{X_a=X_0}; f = t - G(X_0); \quad (59)$$

Logo rescrevendo a equação função das demonstrada anteriormente temos:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Minimizar } (AX - L)^T P (AX - L) \\ \text{Sujeito a: } BX - f = 0 \end{array} \right\} \quad (60)$$

Utilizando a função Lagrangeana que é uma estratégia adotada para resolver o problema anterior (Freitas, 2019) temos:

$$\min \mathcal{L}(X, K, \lambda) = (AX - L)^T P (AX - L) - 2K^T (BX - f) \quad (61)$$

Onde k é o vetor dos multiplicadores de Lagrange. E a partir do vetor gradiente da função lagrangeana, obtém-se o sistema de equações normais de MMQ, Conforme equação abaixo em formato hipersistema (Freitas, 2019)

$$\begin{bmatrix} A^T P A & -B^T \\ -B & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^T P L \\ -f \end{bmatrix} \quad (62)$$

Determinado as injunções necessárias que darão rigidez a trilateração, por sua vez no processo iterativo pode não haver a convergência global, possibilitando a divergência, logo é necessário resolver o vetor $[XK]^T$ esse método é conhecido como Gauss-Newton, podem ser encontrados na bibliografia de Garnés (1996) e Garnés (2001). Logo uma entre diversas soluções aplica-se a norma mínima:

$$\begin{aligned} &\text{minimizar } (AX - L)^T P (AX - L) \\ &\text{sujeito a: } BX - f = 0 \\ &||X||_2 = \text{minima} \end{aligned} \quad (63)$$

Logo como demonstrado por Garnés e Dalmolin (1998), sendo $||x||_2$ a norma euclidiana de vetor tem-se a seguinte expressão:

$$\begin{bmatrix} X \\ K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^T P A & -B^T \\ -B & 0 \end{bmatrix}^+ \begin{bmatrix} A^T P L \\ -f \end{bmatrix} \quad (64)$$

O superescrito denota a matriz pseudoinversa, sendo a responsável por cumprir as condições do Pensore, Realizando a última iteração temos as seguintes equações (Freitas, Glauco Leite de, 2019):

$$||\text{grad } \mathcal{L}(X, K)||_2 \rightarrow 0 \quad \text{e} \quad ||X||_2 \rightarrow 0 \quad (65)$$

$$X_a = X_0 + X \quad (66)$$

$$V = AX - L \cong -L \quad (67)$$

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{g!} \quad (68)$$

$$gl=n_{obs}+n_{inj}-n_{par} \quad (69)$$

2.6.3.2 Injunções de Peso

Quando fixamos observações associando a ela um peso com um valor excessivo teremos as injunções de peso, pois esse valor excessivo estorva a variação das observações diretamente relacionadas. Nas injunções de posição são fixadas as coordenadas dos pontos de apoio como observações e devem ser associados um valor excessivo no peso para que as coordenadas não modifiquem após a conclusão do ajustamento. Segue abaixo as equações minimizando a partir $F(X_a)$:

$$\min f(X) = (AX - L)^T P (AX - L) \quad (70)$$

$$X = [A^T P A]^{-1} A^T P L \quad (71)$$

Com a lei de propagação das covariâncias obtém-se a matriz variância-covariância dos parâmetros estimados diretamente das equações normais, (GEMAEL; MACHADO e WANDRESEN, 2015), segue abaixo a equação:

$$\sigma_{Xa} = \hat{\sigma}_0^2 [A^T P A]^{-1} \quad (72)$$

2.6.4 Teste Estatístico de hipótese

O MMQ é o critério mais utilizado para o ajustamento de observações, este método adota uma solução única para um sistema de equações, no entanto o método do mínimo quadrados pressupõe que apenas erros aleatórios afeta as observações. Com o passar do tempo foram desenvolvidas várias técnicas para detecção e identificação de erros não aleatórios, umas das técnicas para identificação após o ajustamento pelo MMQ, é o β – Method (data snooping), proposto por Baarda (1968).

2.6.4.1 Data Snooping

O data snooping prognosticar que apenas uma observação está com erro e necessita

realizar repetições do teste para localização de todas as observações suspeitas. No procedimento para cada observação l_i ($i=1,2, 3, \dots, n$), testam-se as seguintes hipóteses, (Klein, I. et al, 2011):

$$\begin{aligned} H_0 : E\{L_{nx1}\} &= A_{nxu} X_{ux1} \\ \text{vs.} \\ H_A : E\{L_{nx1}\} &= (A:c_{li})_{nxu+1} \begin{pmatrix} X \\ \nabla_i \end{pmatrix}_{u+1 \times 1}, \nabla_i \neq 0 \end{aligned} \quad (73)$$

X_{ux1} é o vetor dos u parâmetros incógnitos que se deseja estimar, A_{nxu} é a matriz jacobiana que relaciona linearmente as observações com os parâmetros, c_{li} é o vetor unitário contendo a unidade na linha da i -ésima das observações l_i e zero nas demais, ou seja, $c_{li} = [0 \dots 0 \dots 1 \dots 0 \dots 0]^T_{nx1}$, e ∇_i corresponde em módulo, a um possível erro grosseiro, diferente de zero na observação l_i .

Logo a H_0 assume que nenhuma observação será afetada por erro grosseiro e na hipótese alternativa (H_A), assume que o erro grosseiro ∇_i contamina a observação l_i . O critério é dado por:

$$\text{Rejeitar } H_0 \text{ se: } w_i < -Z_{\alpha/2} \text{ ou } w_i > Z_{\alpha/2} \quad (74)$$

$Z_{\alpha/2}$ é valor tabelado para distribuição normal padronizada (bi-lateral) com o nível de significância α assumido para o teste.

Para cada observação l_i , a estatística de teste W_i é dada por (Baarda,1968) :

$$w_i = \frac{c_{li}^T \Sigma_L^{-1} V}{\sqrt{c_{li}^T \Sigma_L^{-1} \Sigma_V \Sigma_L^{-1} c_{li}}} \quad (75)$$

$$\begin{cases} |w_i| > |Z_{\alpha/2}| \\ |w_i| > |w_j|, \forall i \neq j \end{cases} \quad (76)$$

Σ_L é a matriz de covariância do vetor das observações L_{nx1} , V é o vetor dos resíduos obtido na solução por MMQ, e Σ_V é a matriz de covariância do vetor dos resíduos, obtido pela lei de propagação de variâncias e covariâncias (Klein, I. et al, 2011).

Logo identificado a observação sujeita a erro grosseiro, retira-se a mesma do modelo e repete o ajustamento e o procedimento de teste, repetindo até que todas sejam identificadas e retiradas.

2.6.4.2 Teoria de Confiabilidade Convencional

A redundância local r_i são obtidos pelos elementos da diagonal principal da matriz $R_{n \times n}$ dada por (KAVOURAS,1982):

$$R = \frac{1}{\sigma_0^2} \sum_V P \quad (77)$$

Onde $\sum_V$ é a matriz de covariância do vetor dos resíduos ajustados V , p é a matriz peso das observações, e σ_0^2 é o fator de variância a priori, que é arbitrário. Para cada observação l_i de $L_{n \times 1}$, terá um número de redundância local r_i é dado pelo respectivo elemento $r(i,i)$ da diagonal principal da matriz $R_{n \times n}$, definida por:

$$R_{n \times n} = [I_{n \times n} - A_{n \times u} (A_{n \times u}^T P_{n \times n} A_{n \times u})^{-1} A_{n \times u}^T P_{n \times n}] \quad (78)$$

Como a matriz $I_{n \times n}$ é a matriz identidade $n \times n$ e $A_{n \times u}$ a matriz jacobiana, tem-se o traço:

$$\text{traço}[\sum_V P] = \text{rank}[\sum_V P] = n - u \quad (79)$$

Logo designando os elementos da diagonal principal da matriz $R_{n \times n}$ por $r_i (i=1,2,3,\dots,n)$ e os graus de liberdade é dado por $n-u$, tem-se:

$$\sum_{i=1}^n r_i = r \quad (80)$$

Sendo o número de redundância local r_i de uma observação l_i indica a fração de um possível erro grosseiro na observação l_i que é refletida no resíduo obtido pelo MMQ, A matriz $U_{n \times n} = I_{n \times n} - R_{n \times n}$ é dada por:

$$U_{n \times n} = A_{n \times u} (A_{n \times u}^T P_{n \times n} A_{n \times u})^{-1} A_{n \times u}^T P_{n \times n} \quad (81)$$

$$\text{traço}[U] = \text{rank}[A] = u \quad (82)$$

$$\sum_{i=1}^n u_i = u \quad (83)$$

Logo aos números de redundância local, para cada observação l_i de $L_{n \times 1}$, o seu número de absorção local (u_i) pelo respectivo elemento $u(i,i)$ da diagonal principal da matriz $U_{n \times n}$. Portanto quando a matriz peso das observações é uma matriz diagonal, a seguinte condição é satisfeita

(KAVOURAS, 1982):

$$r_i + u_i = 1 \quad (84)$$

A redundância e absorção local estão restritos aos intervalos fechados:

$$0 \leq r_i \leq 1, 0 \leq u_i \leq 1 \quad (85)$$

2.6.4.3 Confiabilidade Interna e Externa

A confiabilidade interna de uma observação l_i é o módulo do menor erro detectável desta observação, segundo os níveis de probabilidade que foram assumidos para o teste estatístico. O módulo $|\nabla l_i|$ do seu menor erro detectável é dado por (Klein, I. et al, 2011):

$$|\nabla l_i| = \sqrt{\frac{\lambda_0}{c_{l_i}^T \Sigma_L^{-1} \Sigma_V \Sigma_L^{-1} c_{l_i}}} \quad (86)$$

Onde λ_0 é o parâmetro de não centralidade do modelo que expressa a separação entre a hipótese nula (ausência de erros grosseiros na observação l_i) e a hipótese alternativa considerada (presença de erros grosseiros na observação l_i).

A confiabilidade externa expressa a influência de um possível erro não detectado na observação l_i , logo substituindo o vetor das observações L_{nx1} pelo modelo de erro c_{l_i} $|\nabla l_i|$, utilizando o MMQ dos parâmetros ajustados X .

$$\nabla X_i = (A^T P A)^{-1} A^T P c_{l_i} |\nabla l_i| \quad (87)$$

∇X_i é um vetor de dimensão $ux1$ que quantifica a influência do modelo da observação l_i , para cada parâmetros estimados, portanto para cada observação l_i , tem-se um modelo de erro associado e uma confiabilidade externa ∇X_i associada.

2.6.4.4 Teste Tau

Introduzido por Pope em 1976 é um dos métodos para identificação de erros grosseiros e baseia-se em teste estatístico empregando a distribuição tau, o teste é realizado a partir das hipóteses: Hipótese nula (H_0) (o resíduo da observação tem média nulo – sem erro grosseiro); e a hipótese alternativa (H_1) (o resíduo não é nulo – com erro grosseiro), segue as fórmulas de validação:

$$H_0: v_i = 0 \text{ contra } H_1: v_i \neq 0 \quad (88)$$

$$t_i = v_i / \sigma v_i \quad (89)$$

Onde t_i é a comparação dos resíduos, com $1 \leq i \leq n$, n é o número de observações; v_i é o resíduo e σv_i é o desvio padrão.

Na distribuição Tau a hipótese nula não é rejeitada a um determinado nível de significância α_0 , com graus de liberdade onde, $t_i \sim \tau_{gl}$. Segue a condição:

$$-\tau_{gl} < t_i < \tau_{gl} \quad (90)$$

$$\tau_{gl} = \sqrt{\frac{gl \cdot t_{gl,1}^2}{gl - 1 + t_{gl,1}^2}} \quad (91)$$

Logo é permitido analisar as observações por vez dependendo da magnitude do erro, detectando mais de uma observação com erro e a que se encontrar fora do intervalo crítico deve ser excluída e o teste deve ser repetido até que todas as observações com erro sejam eliminadas.

2.6.4.5 Test T student

A distribuição normal (univariada e multivariada) e o Teorema Central do limite têm sido fundamentações básicas para aplicação do modelo normal na análise estatística de dados contínuos. Quando o dado provém de uma distribuição com caudas mais pesada do que a distribuição normal, a vulnerabilidade da inferência baseada no modelo normal com respeito a valores extremos (outliers) tem sido motivo de estudo, pois os dados são obtidos por sistema de medição e estão sujeitos a erros, a presença de valores extremos (outlier) é natural. Os modelos alternativos ao normal baseados em distribuições simétricas permitem reduzir a influência dos valores extremos e Taylor, Little e Lange em 1989, propõem o modelo t-student e usam os graus de liberdade como uma extensão paramétrica. (Neves, 2004).

A distribuição t de student é utilizada para amostras inferior a 30, onde duas médias obtidas são comparadas pela relação abaixo (92). O nível de significância é de 90% $(1-\alpha)$, onde $\alpha = 0,10$, o limite a partir dos pontos coletados é $t(n-1, \alpha/2)$ que é obtido por tabela bilateral, logo se valor t calculado for menor que o tabelado, para variável analisada (translação, escala e

rotação) não haverá erros sistemáticos segue as fórmulas a baixo:

$$t = (A - B) / (se^2 / Va) + (se^2 / Vb), \quad (92)$$

$$|t_{calc}| \leq t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})} \quad (93)$$

$$t_{calc} = \frac{\bar{d} * \sqrt{n}}{S_d} \quad (94)$$

Onde: $\bar{d}$ é a média das discrepâncias, se^2 é a variância do resíduo, n é número de amostra e S_d é o desvio padrão das discrepâncias.

2.6.4.6 Test de Shapiro & Wilk

O test de Shapiro & Wilk de 1965 é utilizado para verificar se o conjunto de dados independentes segue uma distribuição normal, é utilizado específico para distribuição normal e possui um alto poder de decisão, é limitado a amostras entre 3 e 50 observações.

A hipótese nula do teste é que os dados seguem a distribuição normal e a hipótese alternativa é que os dados não seguem a distribuição normal. Para testar a hipótese do teste precisamos estimar o teste e compara-lo ao valor tabelado para determinado nível de confiança, logo se o valor calculado da estatística de shapiro-wilk for menor que o valor tabelado, a hipótese nula de normalidade é rejeitada.

Pearson em 1972 definiu o teste como o quadrado do coeficiente de Pearson entre as observações ordenadas e coeficientes, onde o numerado é proporcional ao quadrado do melhor estimador linear do desvio padrão e o denominador é a soma dos quadrados das observações ao redor da média das amostras, segue a fórmula abaixo:

$$W = \frac{(\sum a_i \nu_i)^2}{\sum (\nu_i - \bar{\nu})^2}, \quad (95)$$

2.8 PONTOS DE CONTROLE

Pontos coletados em solo que podem ser identificáveis nos insumos cartográficos, como objetos alvos. São utilizados para fazer a relação entre o sistema de coordenadas das ortofotos ou imagens com o sistema de coordenadas do terreno.

Os pontos de Controle são oriundos de alvos Naturais ou alvos Artificiais. Os alvos Naturais são pontos foto identificáveis que são encontrados no próprio solo, quina de edificação, tampa de bueiro, meio fio, monumentos e etc. Os alvos artificiais são pontos foto identificáveis materializados no solo e existem diversos tipos de alvos produzidos para essa finalidade com diferentes tipo de material como isopor, madeira, plásticos, metal e etc.

Os pontos de Controle para fins de análise 3D devem ser adquiridos a partir de alvos permanentes como quina de edificações, monumentos históricos com o objetivo de reconhecimento dessas feições nos insumos que se deseja analisar temporalmente.

A implantação de pontos de Controle em eixo de Ruas ou em terrenos sem limites visíveis nas ortofotos permite apenas a avaliação altimétrica.

O IBGE desenvolveu várias campanhas pelo Brasil realizando o rastreo GNSS e uma dessas resultou nos projetos PTCON. Estes pontos foram medidos em 2015 para atender ao projeto Avalia Orbisar. Os pontos não são foto identificáveis para avaliação de ortofotos, sendo utilizados pelo IBGE para avaliação altimétrica de MDS/MDT do mencionado projeto. A avaliação da qualidade geométrica de imagens com esses pontos pode ser realizada através da identificação do cruzamento de eixos de estradas (melhor alvo identificável para os pontos desta campanha). Aplicáveis para avaliações de imagens de média/ baixa resolução espacial e modelos. (DGC/IBGE,2015).

Figura 11 - Exemplo de alvo artificial



Fonte: <https://www.geosensori.com.br>

Figura 12 - Pontos de Controle (alvo natural) para análise 2D dos insumos.



Fonte: Relatório de Validação ITEP – Jaboatão dos Guararapes, 2017

Figura 13 - Pontos de Controle para análise altimétrica



Fonte: Relatório PTCON-PE IBGE – Jaboatão dos Guararapes, 2014

2.9 PROJETO PE3D

O projeto PE3D desenvolvido pela Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE) do Estado de Pernambuco, correspondeu a varredura a laser permitindo a obtenção com rapidez e qualidade, as informações altimétricas para elaboração dos projetos das barragens para controle de cheias, além de desenvolver sistema de prevenção e alerta de inundações, o programa custou em torno de 21,5 milhões de reais financiado pelo banco mundial, contemplando 184 municípios correspondendo a 98146 km² resultando em 75 bilhões de pontos coletados, no entanto nem todos os insumos gerados foram validados pelo ITEP –

Instituto de Tecnologia de Pernambuco, o que ocasiona a necessidade da validação dos produtos. O Perfilamento laser consiste no levantamento da altura de pontos sobre uma superfície através da emissão de raios laser. Hoje a Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDEC) gerência o Programa de Sustentabilidade Hídrica de Pernambuco (PSHPE), financiado pelo Banco Mundial; que tem por objetivo ampliar o acesso da população à água potável e ao esgotamento sanitário (PE3D, 2016).

Com objetivo de obter insumos com maior precisão para nível de cadastro urbano, a Compesa realizou o mapeamento de áreas urbanas na escala 1:1000, no qual foram contemplados 15 municípios: Goiana e todos os municípios da Região Metropolitana; já os serviços contratados pelo projeto tridimensional abrangeram 26 municípios em escala 1:1000. A escolha destes municípios foi determinada a partir dos critérios de população, localização geográfica e a necessidade de uma base cartográfica para o desenvolvimento de abastecimento e esgotamento. Segue abaixo a lista dos municípios beneficiados com ortofotos em escala 1:1000 pelo projeto PE3D, lembrando que todos os municípios da região metropolitana também foram beneficiados, mas pelo voo realizado pela Compesa.

Tabela 3 - Municípios Contemplados pelo projeto Pe3d com ortofotos em escala 1:1000 em seu perímetro urbano

Município	
Arcoverde	Petrolina
Belo Jardim	Pombos
Brejo da Madre de Deus	Ribeirão
Carpina	Sanharó
Caruaru	Santa Cruz do Capibaribe
Chã Grande	São Bento do Una
Escada	São Caetano

Continuação da Tabela 3: Municípios Contemplados pelo projeto Pe3d com ortofotos em escala 1:1000 em seu perímetro urbano

Garanhuns	Surubim
Lajedo	Tacaimbó
Limoeiro	Timbaúba
Nazaré da Mata	Toritama
Paudalho	Tracunhaém
Pesqueira	Vitória de Santo Antão

Fonte: <http://www.pe3d.pe.gov.br/>

Todos os insumos passam por três etapas de validação: Análise de Completude, Análise de Consistência e Análise Estatística da Precisão Planialtimétricas. A precisão planimétrica das ortofotos e a precisão altimétrica do perfilamento a laser são analisadas por amostragem. As ortofotos atendem ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), referente à Classe A nas escalas 1:5.000 e 1:1.000. Nas Análises de Completude e Consistência, todos os arquivos disponibilizados são abertos, analisados e têm seu conteúdo verificado em relação à conformidade com as especificações técnicas exigidas no contrato do Pernambuco Tridimensional.

Tabela 4 - Resolução Espacial e Radiométrica dos Produtos na Escala 1:5000 e 1:000

ITEM	RESOLUÇÃO ESPACIAL 1:1000	RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA 1:1000	RESOLUÇÃO ESPACIAL 1:5000	RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA 1:5000
ORTOFOTO	50 cm	8 Bits	12 cm	8 Bits
MDE ASCII	-	-	-	-
MDE RASTER	1 m	32 Bits	50 cm	32 Bits
MDT ASCII	-	-	-	-
MDT RASTER	1 m	32 Bits	50 cm	32 Bits
COMPOSIÇÃO	1 m	8 Bits	50 cm	8 Bits

Fonte: <http://www.pe3d.pe.gov.br/>

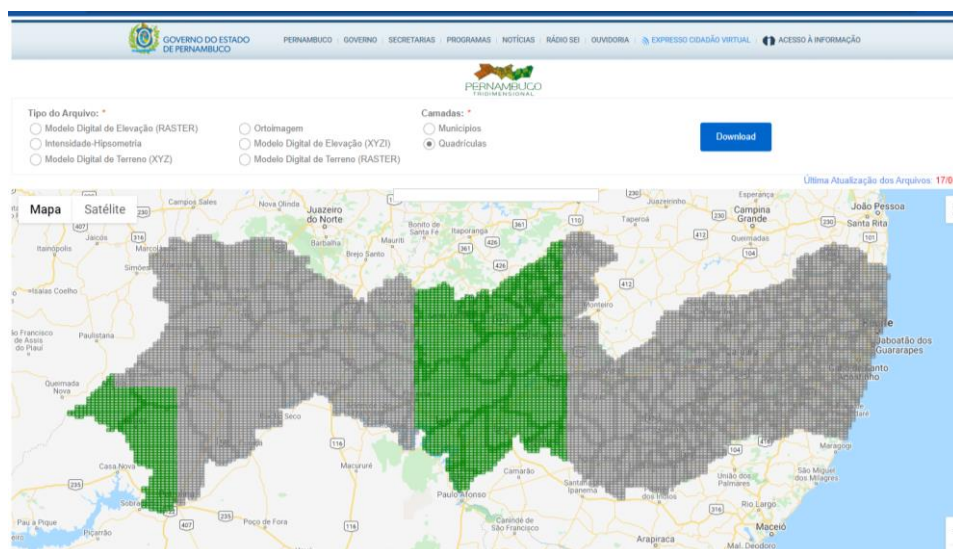
Tabela 5 - Serviços entregues no Projeto PE3D

QUANTIDADES REALIZADAS			
Item	Descrição dos Serviços	Quant.	Unid. Med.
1	Recobrimento aerofotogramétrico digital com GSD 50 cm e geração de ortoimagem na escala de 1:5.000 atendendo ao PEC classe A	98.146	km ²
2	Recobrimento aerofotogramétrico digital com GSD 12 cm e geração de ortoimagem na escala de 1:1.000 atendendo ao PEC classe A	870	km ²
3	Perfilamento a Laser e geração do Modelo Digital do Terreno com erro máximo altimétrico melhor que 25 cm.	98.146	km ²
4	Perfilamento a Laser e geração do Modelo Digital do Terreno com erro máximo altimétrico melhor que 10 cm.	870	km ²
5	Implantação de marcos geodésicos.	40	Unid.

Fonte: <http://www.pe3d.pe.gov.br>

Logo, diante do exposto, nem todos os dados foram validados e disponibilizado pelo projeto, no qual só estão disponíveis os dados das mesorregiões do Sertão e São Francisco, portanto a validação dos insumos adquiridos torna-se importante, pois nem todos os produtos foram verificados pela empresa contratada.

Figura 14 - Insumos disponibilizados pelo Projeto



Fonte: <http://www.pe3d.pe.gov.br/>

2.10 INSUMOS JABOATÃO

Em 2016 o município de Jaboatão dos Guararapes com o objetivo de desenvolver o conceito de um cadastro multifinalitário, inserido na secretaria de planejamento urbano, viabilizou a contratação de uma empresa com know how para produção de insumos que viesse a compor a base cartográfica municipal, onde todos os produtos foram validados pelo ITEP (Instituto de Tecnologia de Pernambuco). Os insumos produzidos deveriam obedecer as seguintes descrições, conforme o termo de referência (TERMO DE REFERÊNCIA JABOATÃO,2014):

- O recobrimento aerofotogramétrico digital com GSD (Ground Sample Distance) de 12 cm e geração de ortofoto em 1:1000 atendendo a PEC A para o perímetro urbano.
- O recobrimento aerofotogramétrico digital com GSD (Ground Sample Distance) de 60 cm e geração de ortofoto em 1:5000 atendendo a PEC A para o perímetro rural.
- O perfilamento a Laser Aerotransportado com GSD de 12 cm, com erros máximos altimétricos melhor que 50 cm (cinquenta centímetros) e planimétrico melhor que 1 m (um metro) com geração do modelo digital do terreno e modelo digital de elevação, atendendo a PEC classe A, de uma área de 257 km² que corresponde a todo o município de Jaboatão com acréscimo de 500 m.
- Implantação de 30 Vértices geodésicos dentro do município de Jaboatão dos Guararapes.

- Cadastramento Imobiliário de 148.000 unidades através da restituição e dados do imageamento de fachada.
- Cadastramento Imobiliário de 100.000 unidades através de coleta de dados em campo do proprietário e endereço, considerando fornecimento de estrutura operacional.
- Restituição Estereofotogramétrica para as respectivas escalas dos aerolevantamentos (1:5000 e 1:1000).
- Estruturação do Cadastro Técnico Municipal.

Os serviços contratados foram os descritos a baixo:

Figura 15 - Produtos Contratados pela Prefeitura Municipal de Jaboatão

PRODUTO	DESCRIÇÃO
1º	Cobertura Aerofotogramétrica
	Recobrimento Aerofotogramétrico
	Apoio Terrestre Básico e Suplementar
	Implantação de Rede de Referência Cadastral
	Aerotriangulação
	Edição e Revisão
	Ortofotos Digitais
2º	Perfilamento a Laser
	Modelo Digital de Elevação (MDE)
	Modelo Digital de Terreno (MDT)
	Curvas de Nível Digitais
	Mapa Hipsométrico
	Mapa de Intensidade
	Mapa de Composição
3º	Restituição e Obtenção de polígonos em 2D e em 3D das edificações
	Reambulação (Estrutura operacional de campo da Administração Municipal)
	Restituição Estereofotogramétrica para escalas de 1:1000 (157km²) e 1:5000 (100km²)
	Malha completa das edificações em 2D e em 3D
	Malha das edificações em 2D e em 3D separada por quadras
	Edição e Revisão
	Ortofotocartas Digitais
4º	Estruturação do Cadastro Municipal
	Recadastramento por imageamento de fachadas (148.000 unidades)
	Recadastramento com visitas de campo (100.000 unidades)
	Atualização do SIAT

Fonte: termo de referência – contratação de serviços de engenharia para cobertura aerofotogramétrica, perfilamento laser aerotransportado, restituição estereofotogramétrica e estruturação de cadastro imobiliário Jaboatão dos guararapes, 2014.

2.11 QUALIDADE DE DADOS

A qualidade posicional é avaliada utilizando o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC que foi constituída a partir do Decreto N° 89.817 de 20 de junho de 1984, que estabelece as instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartográfica Nacional. No Capítulo II, seção I, considera-se a classificação de uma carta quanto à exatidão, estabelece os seguintes Critérios:

1. Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico - estabelecido.
 2. Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas-de-nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico - estabelecido.
- § 1º - Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos.
- § 2º - A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro-Padrão - $PEC = 1,6449 EP$.
- § 3º - O Erro-Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.
- § 4º - Para efeito das presentes Instruções, consideram-se equivalentes as expressões Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro-Médio-Quadrático.

Na seção II, é relatado na referida lei a classificação das cartas em A, B e C, apresentado no quadro a seguir:

Tabela 6 - PEC

CLASSE	PEC - PLANIMÉTRICO	PEC- ALTIMÉTRICO
A	0,5 mm * denominador da escala da carta Erro padrão: 0,3 mm * denominador da escala da carta	1/2 da equidistância entre as curvas de nível Erro padrão: 1/3 da equidistância entre as curvas de nível
B	0,8 mm * denominador da escala da carta Erro padrão: 0,5 mm * denominador da escala da carta	3/5 da equidistância entre as curvas de nível Erro padrão: 2/5 da equidistância entre as curvas de nível
C	1,0 mm * denominador da escala da carta Erro padrão: 0,6 mm * denominador da escala da carta	3/4 da equidistância entre as curvas de nível Erro padrão: 1/2 da equidistância entre as curvas de nível

Fonte: Decreto 89817/84 - Seção II

2.10.1 Normas Padrões e Especificações

A INDE – Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais, traz uma série de normas que tem por finalidade definir padrão para o controle de qualidade dos insumos cartográficos. O IBGE, em seu manual técnico de Avaliação da Qualidade de Dados Geoespacial, retrata a importância da aplicabilidade das normas para classificação dos produtos gerados. Segue abaixo o quadro com as especificações técnicas elaboradas pela CONCAR/DSG:

Tabela 7 - Normas Técnicas/CONCAR

Sigla	Finalidade
ET-EDGV Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais	Define um modelo conceitual para dados vetoriais para garantir sua consistência lógica, abrange a consistência conceitual e de domínios.
ET-ADGV Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais	Define regras de aquisição dos dados vetoriais para garantir sua consistência lógica, prevista no modelo conceitual, abrange a aquisição da geometria, atributos e relacionamentos topológicos.
ET-PCDG Especificação Técnica de Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais	Define padrões para produtos de dados geoespaciais vetoriais e matriciais
ET-RDG Especificação para a Representação de Dados Geoespaciais	Abrange a consistência da representação das classes de feições geográficas
ET-CQDG Especificação Técnica para o Controle de Qualidade dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais	Abrange procedimentos para o controle de qualidade dos produtos de dados geoespaciais
Perfil MGB Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil	Define um conjunto básico e necessário de elementos para retratar as características de um conjunto de dados geoespaciais.

Fonte: IBGE, 2017

A ET-ADGV, estabelece o padrão de exatidão cartográfica. Sabemos que a maioria dos produtos cartográficos foram adquiridos de forma analógica e tais processos ocasionam diferentes componentes de erro posicional, com a evolução tecnológica dos equipamentos e nas metodologias de aquisição de dados, melhorando a qualidade dos insumos adquiridos a partir da eliminação de diversas fontes de erros inerentes ao processo arcaico de aquisição de dados. Logo surgiu a necessidade de estabelecer novos padrões de qualidade, as especificações técnicas (ET-PCDG), que definiram os elementos da qualidade para os tipos de produto, observando a Norma Internacional ISO 19.115, trazendo os conceitos relativos à acurácia posicional. Portanto, a acurácia absoluta consta como elemento de qualidade.

Os termos descritos no Decreto nº 89817/1984, de Desvio Padrão (DP), Erro Padrão (EP) e Erro Quadrático Médio (EQM), devem ser considerados como sinônimos. As novas especificações técnicas para produtos cartográficos digitais utilizam os termos: Acurácia e Exatidão.

A especificação traz que a definição original de Gauss para acurácia relaciona os efeitos sistemáticos e aleatórios dos erros das medições, enquanto que a precisão se relaciona apenas com seus efeitos aleatórios, afirmando que: “**o termo acurácia por si só envolve a medida de precisão**”, portanto não seria necessário a análise conjunta da acurácia e precisão de produtos cartográficos, sendo suficiente somente a análise da acurácia. Neste termo a referida especificação utiliza-se dos termos Acurácia Posicional Absoluta (APA) e Exatidão

Cartográfica (EC).

Para análises dos insumos digitais de escala 1:1000; 1:2000; 1:5000; 1:10000; 1:25000; 1:100000 e 1:250000, foram realizadas classificação em quatro classes (A, B, C e D), tendo como base o decreto 89817/84. A seguir, podemos visualizar os quadros abaixo considerando as novas especificações de padrão de exatidão cartográfica para produtos em escalas cadastrais:

Tabela 8 - PEC – Planimétrica, produtos cartográficos digitais

PEC (1)	PEC - PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
-	A ⁽²⁾	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70
A	B ⁽¹⁾	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00
B	C ⁽¹⁾	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00
C	D ⁽¹⁾	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00

Fonte: ET-ADGV, 2016

Tabela 9 - - PEC – Altimétrica, produtos cartográficos digitais

PEC -PCD (3)	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66	2,50	1,67
C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00
D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50

Fonte: ET-ADGV, 2016

Tabela 10 - PEC – Altimétrica/Curvas de Nível, produtos cartográficos digitais

PEC ⁽¹⁾	PEC- PCD	1:1.000 (Eqd = 1 m)		1:2.000 (Eqd = 1 m)		1:5.000 (Eqd = 2 m)		1:10.000 (Eqd = 5 m)	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	A	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,67	2,50	1,67
B	B	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00
C	C	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50
	D ⁽⁴⁾	1,00	0,60	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00

Fonte: ET-ADGV, 2016

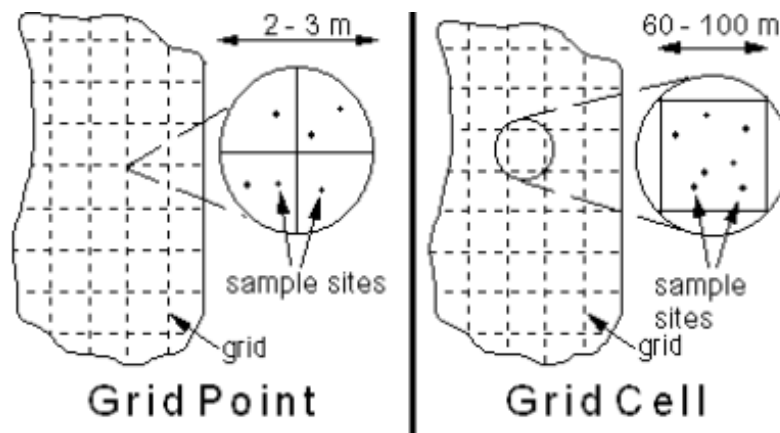
2.11.2 Calibração

Na dissertação de Pestana (2020) é demonstrada a importância do procedimento de calibração inserido no processo da análise de qualidade dos insumos do software o ASTEGEOTOP, no módulo cartografia -PEC/PCD, análise do MDT (GARNÉS,2020). A calibração consiste na eliminação do desvio médio que corresponde a um Shift que separa os pontos analisados do geoide, método utilizado na classificação modelo digital do terreno. (PESTANA,2020).

2.12 INTERPOLADOR IDW

Para construção do raster a partir de um determinado grid contendo as informações que se deseja representar é necessário a utilização de interpoladores, neste trabalho vamos utilizar o interpolador IDW. Segundo Pockne et al (1996) as amostragens podem ser do tipo grade regular ou grade dirigida que são geradas a partir de pontos ou quadrados, segue a figura abaixo com a demonstração das grades:

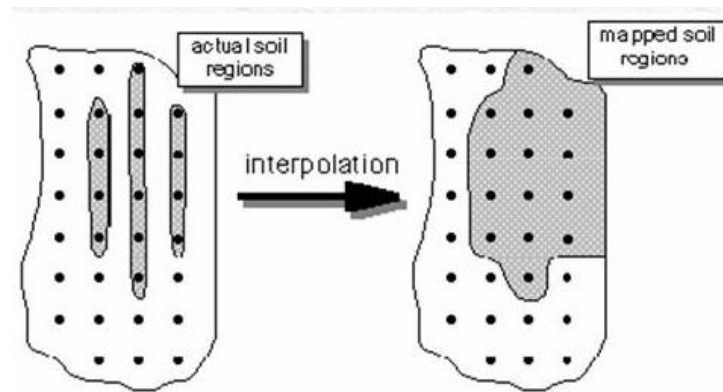
Tabela 11– Tipos de Grades



Fonte: Varela et al, 2008

As amostras são associadas a uma determinada área em forma de quadrado. Essa área é filiada a um valor que é o atributo relacionado a célula ou grid do mapa, é importante observar que a amostragem do tipo grades regulares podem apresentar a erros sistemáticos, por que a variabilidade espacial é aleatória e esse tipo de amostragem não considera o princípio da casualização, conforme imagem abaixo: (VARELA ET AL, 2008).

Tabela 12 – Amostragem de grade Regular



Fonte: Varela et al, 2008

A grade dirigida é utilizada quando se tem conhecimento sobre a variabilidade espacial do atributo, consiste numa amostra de acordo com a região, ou seja, a área é dividida por região que são amostradas individualmente e a forma e tamanho da região está relacionada a variabilidade espacial, segue figura abaixo:

Tabela 13 – Amostragem de grade dirigida



Fonte: Varela et al, 2008

Definida amostra utiliza-se o interpolador que consiste em procedimento estatístico para determinar informações do atributo em áreas que não é conhecida. Os interpoladores são utilizados para espacialização de dados pontuais, segundo Li et al. (2004). Os interpoladores são classificados de acordo com:

- Modelagem matemática, ou seja, o determinístico, que utiliza formulações matemáticas para o cálculo dos valores interpolados em função dos pontos vizinhos.

- Geoestatístico, que usa a formulação matemática e estatística para a predição de valores desconhecidos. Baseados em pontos, que possuem a alta correlação entre os valores de altitudes dos pontos vizinhos e em Regiões, que usam todos os pontos de referência conhecidos dentro da área para construir a superfície. (GIACOMIN.G ET AL, 2014).

O interpolador IDW está atrelado a dependência espacial, é a combinação linear dos pontos, onde o peso de cada ponto é o inverso da função da distância. É definido um raio de busca dos pontos amostrados para sua aplicação, portanto o ponto mais próximo tem mais influência de que pontos mais distantes (MACUZZO ET AL, 2011)., logo é atribuído um peso maior aos pontos mais próximos e o peso é diminuído de acordo com a distância Segue abaixo a fórmula adotada no IDW (VARELLA ET AL,2008):

$$x_p = \frac{\sum_{i=1}^n (\frac{1}{d_i^2} x_i)}{\sum_{i=1}^n (\frac{1}{d_i^2})} \quad (96)$$

Onde, x_p = valor interpolado; x_i = valor da i-ésimo ponto vizinho; d_i = distância entre o i-ésimo ponto de vizinho e o ponto de interesse.

2.13 SOFTWARE LIVRE COMO SOLUÇÃO MOBILE

O Qgis é um software SIG livre e gratuito, que possui interface gráfica bem intuitiva de fácil manipulação, escrito em C++ e Python, baseado nas bibliotecas Qt4. O Qt é um framework no qual é possível desenvolver aplicativos e bibliotecas de uma única vez e compilá-los para diversas plataformas sem que seja necessário alterar código fonte, o qgis já vem integrado ao Qt no qual é possível desenvolver formulários e app integrado ao QGIS.

O desenvolvimento do projeto que deu origem ao Quantum GIS teve início no ano de 2002 e tinha como objetivo criar um visualizador gratuito para a base de dados PostGIS que funcionasse em sistemas operacionais livres (GNU/Linux). Atualmente, o QGIS é uma aplicação multiplataforma que funciona também no macOS e no Windows. O QGIS trabalha com mapaweb onde pode ser usado para exportar dados para um mapfile e publicá-los na Internet usando um servidor web com UMN MapServer instalado. Também pode ser usado como um cliente WMS (Web Map Service) ou WFS (Web Feature Service) e como servidor WMS. O QGIS pode ser adaptado às necessidades do usuário com a arquitetura expansível de

plugin e o software fornece bibliotecas que podem ser usadas para criar novos plugins. As funcionalidades do QGIS são ampliadas e diversificadas através de plugins, além dos instalados automaticamente com o programa. Os voluntários disponibilizam em média um novo plugin Python a cada semana e atualmente existem mais de 160 plugins à disposição dos usuários. (ALMEIDA,2011).

Atualmente o Qgis é mantido por seus membros e seus patrocinadores a nível mundial e em 2019 lançou o upgrade do projeto mobile chamado Qfield projetado para atividade de campo onde é possível conectar usuários, melhorar a acurácia do posicionamento horizontal e vertical, pois é possível conectar antena Gnss via Bluetooth. O Qfield é baseado no QGIS utiliza as bibliotecas, o mecanismo de renderização, logo é possível acessar o projeto em Desktop no mobile, onde é possível editar vetores, interagir com mapas, edição de formulário, anexar imagens, rastrear elementos e etc.

No contexto desta dissertação o Qfield será utilizado com uma ferramenta de gerenciar e planejar o território onde é possível acessar os dados geodésicos agregados ao cadastro e aplicar em projetos na gestão pública. realizando a integração em ambiente mobile para atividades de campo, popularizando insumos cartográficos. A versão mobile permite executar as seguintes ações:

- Recolher elementos
- Eliminar elementos
- Editar elementos
- Conectar ao GNSS - melhorar posicionamento
- “Tempo Real” Atualização de valores padrão quando os elementos são editados
- Interagir com os mapas
- Alterar temas de mapa
- Usando um projeto como Mapa Base
- Abrindo dados de forma individual
- Imprimir em PDF
- Abrir um Projeto
- Pesquisar
- Pesquisa na lista de valores
- Pesquisa nas camadas
- Rastrear linhas e polígonos
- Variáveis Globais

5.0 GERENCIAMENTO TERRITORIAL

A taxa de urbanização no país nos últimos 50 anos saltou de 45% para 85%, o que acarretou diversos problemas sociais, ambientais e urbanísticos, logo desenvolver um plano estratégico integrado ao território é primordial para o planejamento e gerenciamento urbano sustentável.

O território é o limite espacial onde o Estado exerce de modo efetivo e exclusivo o poder de império sobre bens e pessoas, pode-se definir território também como a porção do espaço geográfico onde são projetadas relações de poder, independentemente se ele é ou não territorialidade por um ou mais agentes (MAGDALENO, 2005). Ora se através do território é mantida essa relação de poder e submissão, descrever e conhecer o território de forma espacial é fundamental para garantir direitos. A gestão do território é a prática estratégica que faz uso das ferramentas científicas e tecnológicas, do poder controlador, nas escalas espaciais e temporal, onde deverá interpretar os fatores sociais, políticos, econômicos e ambientais para desenvolver uma estrutura equilibrada e integrada, é indispensável relacionar natureza (a terra) aos processos sociais e econômicos.

A construção de uma inteligência territorial estratégica está diretamente associada ao compreender o território proporcionando o desenvolvimento, logo a cartografia, o sistema de informações geográficas, geodesia, cadastro, topografia e fotogrametria se torna instrumentos que devem integrar essa plataforma de monitoramento e gerenciamento do território permitindo a devida aplicação em sínteses e diagnósticos sobre a porção territorial.

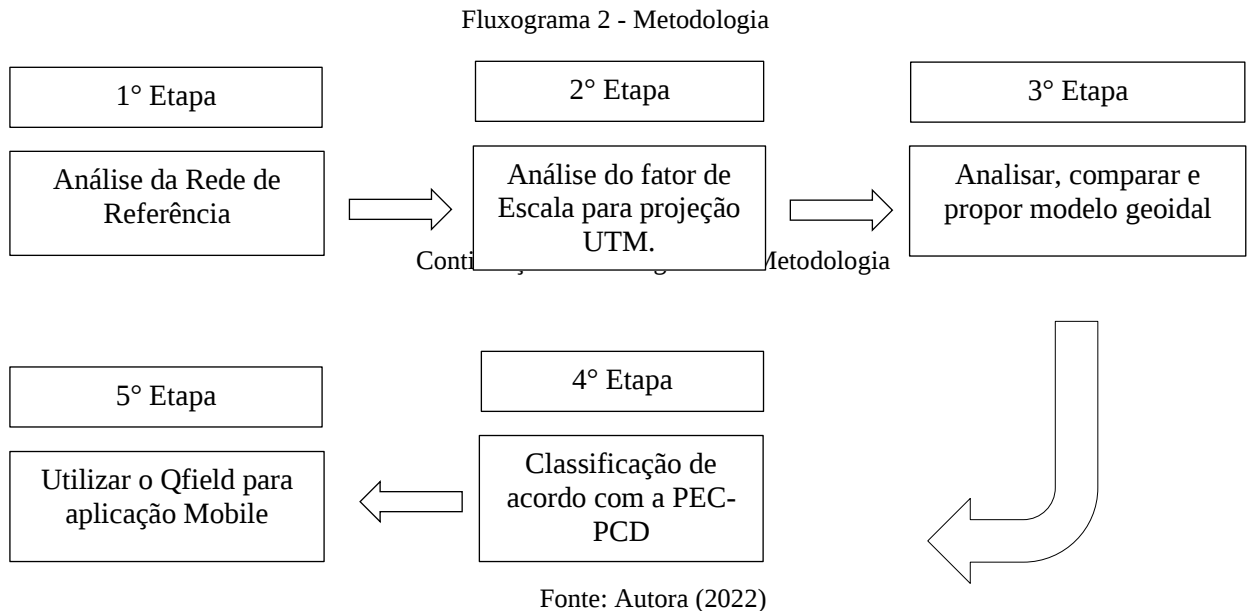
A gestão territorial deve partir de informações confiáveis, precisas e atualizadas; considerar as questões econômicas, sociais e ambientais, inserindo neste processo modelos de simulação, potentes ferramentas de análise, sistemas de informações geográficas que permitam a produção de insumos espaciais, identificações das áreas e suas multi características. Os SIGS devem permitir análises integrada de dados espaciais de diferentes fontes e temas. Em seu sistema dados e sua disponibilização deve seguir as normas e padrões da Inde.

No contexto de gerenciamento do território, a aplicação de políticas públicas voltadas para garantir o direito constitucional de moradia tem recebido destaque no município de Jaboatão dos Guararapes, portanto é importante a construção de um sistema de gerenciamento desde da aquisição de dados a integração no cadastro imobiliário que garanta a informatização. A Lei Federal 13465/2017, dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana, o decreto 9310/2018, institui normas gerais e os procedimentos aplicáveis à regularização Urbana, estabelecendo os procedimentos necessário para realização de um projeto de regularização

fundiária, em aspectos gerais é o processo de incluir medidas jurídicas, urbanísticas, ambientais e sociais com a finalidade de incorporar os núcleos urbanos informais ao ordenamento territorial e titulação dos seus ocupantes. Na perspectiva urbanística se torna uma ferramenta potente para garantir o direito a cidade e neste quesito é fundamental a informatização e integração com o cadastro territorial e com a estrutura geodésica proposta, potencializando o gerenciamento territorial.

3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos foram divididos em etapas para o desenvolvimento dos objetivos proposto nesse estudo aplicando o embasamento teórico, seguindo o fluxograma 2:



3.1 ÁREA DE ESTUDO

Município situado na mesorregião metropolitana do Recife, microrregião Recife e região de desenvolvimento metropolitana. Limitado ao Norte com os municípios de São Lourenço da Mata e Recife, a Leste limita-se com o Oceano Atlântico, ao Sul com Cabo de Santo Agostinho e a Oeste com Moreno, conforme figura 16. O município possui um potencial turístico e cultural imenso, é o terceiro município com o maior PIB (Produto Interno Bruto), juntamente com Recife e Cabo de Santo Agostinho concentra mais que a metade da Economia estadual (FIDEM, 2016).

- Dados espaciais da cartografia municipal, fornecido pelo município.

Softwares:

- Software Astgeotop, produzido pelo professor Sílvio Jacks Garnés;
- Software Livre Qgis;
- Software Mobile Qfield integrado ao Qgis.

3.3 MÉTODO

O método desenvolvido neste trabalho consistiu em construir uma estrutura geodésica utilizando os insumos disponíveis para o município de Jaboatão do Guararapes com o objetivo de validação, otimização e proposição. A metodologia foi dividida em:

1. Análise da estrutura geodésica
 - 1.1 Análise da rede de referência de acordo com a NBR 14166/2022;
 - 1.2 Identificação dos pontos de controles homólogos que possam ser utilizados para validação dos insumos em 2D;
 - 1.3 Verificação do PTCON para validação altimétrica dos insumos oriundos do PE3D e da prefeitura municipal de Jaboatão dos Guararapes;
 - 1.4 Análise do Mapa geoidal desenvolvido pela empresa contratada a partir do nivelamento geométrico e do rastreo GNSS da rede de referência;
2. Análise do fator de escala para projeção UTM, para mensurar as distorções quando aplicada essa projeção.
3. Modelo quase geoide
 - 3.1 Análise do mapa geoidal apresentado, definição do modelo matemático;
 - 3.2 Comparação do Modelo estudado com os modelos adotados pelo IBGE;
 - 3.3 Proposição do modelo quase geoide local.
4. Classificação dos insumos existentes quanto a PEC/PCD
 - 4.1 Aplicação dos pontos de Controle fornecido pelo município e pelo ITEP para classificação das ortofotos do PE3D e dos insumos municipais;

4.2 Aplicação do PTCON para classificação do MDT fornecido pelo município e oriundo do projeto PE3D.

5. Aplicação Mobile para gerenciamento territorial

5.1 Construção do projeto (.qgs) integrando os dados espaciais do cadastro imobiliário, cartografia municipal, estrutura geodésica e projeto de Reurb-s desenvolvida no município;

5.2 Construção do boletim digital para captação de informações: cadastral, social e cartográfica;

5.3 Integração ao google forms a partir da implantação de Link no boletim digital;

5.4 Integração aos dados geodésicos permitindo a visualização das monografias dos vértices ao clicar na rede de referência.

5.5 Desenvolvimento de pesquisa a partir de sequencial imobiliário, número de cadastro etc.

5.6 Construção de Mapa digital em ambiente mobile dividido em quatro temas: Cadastro imobiliário, Cartografia, geodesia e Reurb-s.

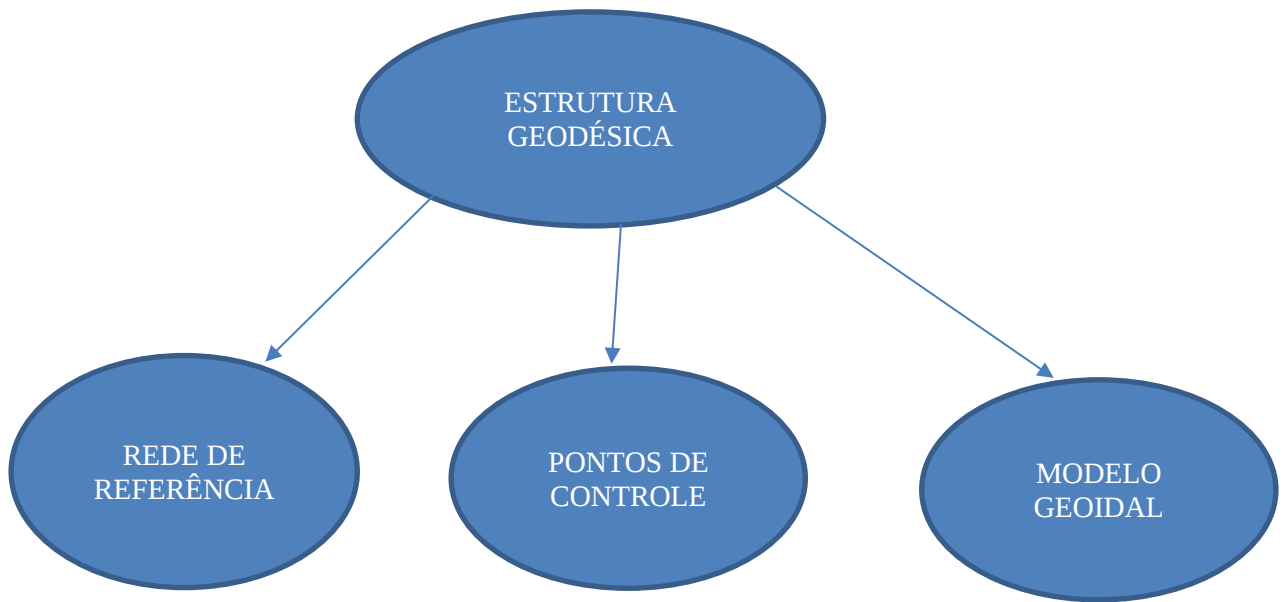
3.3.1 Estrutura Geodésica

A estrutura geodésica analisada neste trabalho está estruturada a seguir:

- Análise da Rede de Referência
- Validação dos Pontos de Controle para mensurar acurácia de insumos existentes
- Análise e proposição de modelo geoidal.

A Rede de referência analisada é formada por 30 (trinta) marcos geodésicos que foram implantados no perímetro urbano e rural do município de Jaboatão dos Guararapes. Os pontos de controles foram oriundos: do ITEP, o instituto contratado para realizar a validação dos insumos do Município de Jaboatão dos Guararapes, e do IBGE resultante do projeto orbisar e são utilizados apenas para validação dos insumos existentes. O modelo geoidal foi desenvolvido e analisado a partir dos dados brutos da rede de referência cedidos pelo município do nivelamento geométrico e do rastreamento por GNSS. Segue fluxograma 3 abaixo com a estrutura proposta.

Fluxograma 3 - Estrutura Geodésica

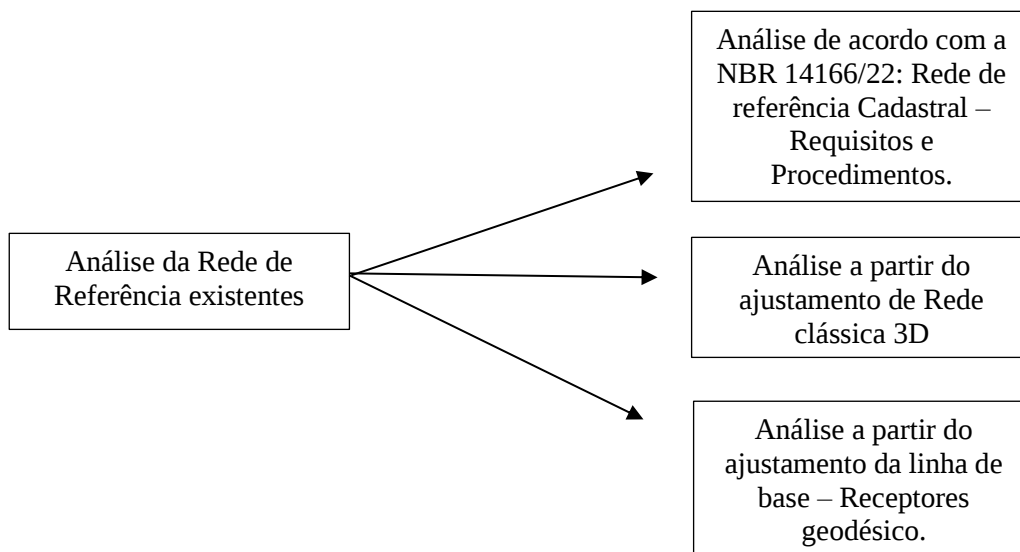


Fonte: autora (2022)

3.3.1.1 Rede de Referência

A análise da Rede de Referência é primordial para definir a confiabilidade na rede de apoio aos projetos que serão realizados no município. A metodologia para a análise de Rede está descrita no fluxograma 4 abaixo:

Fluxograma 4 - Análise Geodésica



Fonte: autora (2021)

Se Considerarmos um círculo que contenha todo o perímetro do município obtém-se um raio de 11,5 km, portanto com base no que se conhece sobre precisão em rastreo GNSS, um receptor base nas proximidades do centroide (coordenadas: $-8^{\circ}9'13.45''$, $-34^{\circ}59'45.62''$) apenas com a portadora L1, já seria o suficiente para rastreo e obter precisão centimétrica, segue ilustração na Figura 17.

Figura 17 - Metodologia Rede de Referência



Fonte: autora (2022)

O IBGE traz nas recomendações para Levantamentos Relativos de abril de 2008, que no levantamento por posicionamento relativo, em linhas de base inferior a 10 Km, a solução das ambiguidades deu-se em 20 minutos. Todavia, quando vamos aumentando a linha de base para linhas maiores que 20 Km se recomenda a utilização de receptores de dupla frequência, a utilização de efemérides e do erro do relógio do IGS. Mônico traz que a precisão conseguida com esta técnica de posicionamento varia de 0,1 a 1ppp. (IBGE,2008). Segue abaixo na tabela 11 a precisão em função da linha de base:

Tabela 14 - Precisão do posicionamento Relativo em função do Tempo de observação, equipamento utilizado e comprimento da linha de base

Linha de Base	Tempo de observação	Equipamento Utilizado	Precisão
00 – 05 Km	05 – 10 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
05 – 10 Km	10 – 15 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
10 – 20 Km	10 – 30 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
20 – 50 Km	02 – 03 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm
50 – 100 Km	mínimo. 03 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm
> 100 Km	mínimo. 04 hr	L1/L2	5 mm + 1 ppm

Fonte: IBGE (2008)

A NBR 14166/22 no item 5.6 traz informações sobre o método de levantamento, os principais requisitos para análise neste trabalho estão descritos abaixo:

- Posicionamento relativo estático, com receptor GNSS de simples ou multifrequência será realizado para linha de base de até 20 km.
- O PDOP médio igual ou inferior a 3 e PDOP máximo igual ou inferior a 5, durante a sessão de rastreo.
- O tempo mínimo de rastreo é determinado em função do tamanho da linha de base, segue a tabela abaixo:

Tabela 15 - Precisão do posicionamento Relativo em função do Tempo de observação, comprimento da linha de base e tipo de receptor.

Extensão da linha de base km	Tempo mínimo de rastreo min	Tipo de receptor do GNSS
0 – 10	20	Simple ou multifrequências
10 – 20	40	Simple ou multifrequências
20 – 50	60	Multifrequências
50 – 100	90	Multifrequências
100 – 200	180	Multifrequências
200 – 500	240	Multifrequências

Fonte: NBR 14166 (2022)

Portanto de acordo com a NBR 14166/2022 e IBGE com apenas um receptor base no centroide da área do município já seria suficiente para rastreo e obtenção de precisão centimétrica com um tempo de rastreo de 40 minutos, considerando o raio de 11,5 km, ou seja, é importante a densificação da rede para execução do posicionamento relativo, pois seria possível diminuir o tempo de rastreo e permite maior acessibilidade.

Em relação a implantação dos vértices a NBR 14166/22 no item 5.2 traz que deve ser considerada a estabilidade da superfície, a segurança do local e a facilidade de acesso, além de considerar as obstruções dos sinais e o efeito do multicaminho no posicionamento do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS). Onde no planejamento da Rede deve atender as seguintes Características:

- A Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM) deve possuir no mínimo 4 vértices;
- Em áreas urbanas deve haver 1 vértice a cada 50 km²;
- O município pode densificar a rede de acordo com a necessidade;
- Em áreas rurais deve haver 1 vértice a cada 200 km²;

- Em caso de houver mais de 20 vértices na área urbana, fica a critério do município a densidade da rede;
- Em núcleos urbanizados ou de características urbanas em áreas rurais devem atender os requisitos de áreas urbanas.

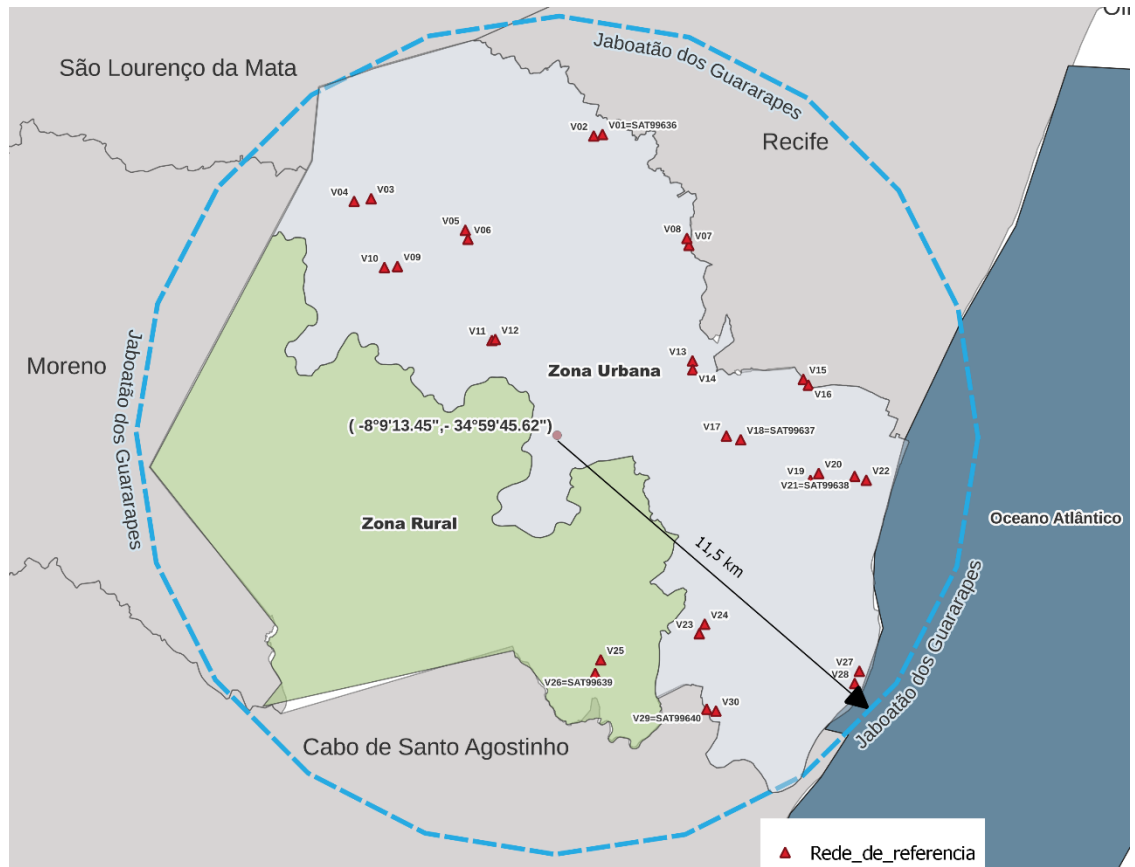
A rede de referência foi implantada em 2016 no município de Jaboatão dos Guararapes e comporta 30 pontos em pares para transporte de coordenada por topográfica clássica e estão situadas no perímetro urbano e rural. Em todos os pontos foram executados nivelamento geométrico e rastreamento por GNSS. Estão referenciados ao sistema de referência sirgas2000, segue a tabelas dos pontos (Tabela 16) e sua distribuição geométrica (Figura 18).

Tabela 16 – Pontos da Rede de Referência

Ponto	E (m)	N (m)	Alt, geodésica
V01	281281,365	9106425,233	21,493
V02	281042,413	9106380,855	28,547
V03	274967,928	9104629,1	52,316
V04	274503,561	9104553,713	54,613
V05	277546,19	9103778,156	48,556
V06	277619,113	9103533,613	41,812
V07	283657,701	9103395,721	60,75
V08	283603,758	9103585,408	51,488
V09	275695,165	9102774,95	46,977
V10	275339,984	9102743,012	51,558
V11	278287,643	9100758,314	45,153
V12	278380,14	9100784,961	44,623
V13	283771,187	9100225,009	53,072
V14	283779,402	9099983,568	47,809
V15	286802,847	9099729,824	5,411
V16	286941,656	9099574,734	4,828
V17	284707,619	9098164,737	1,856
V18	285099,703	9098065,438	8,624
V19	287011,162	9096959,845	4,382
V20	287235,245	9097152,371	3,922
V21	288217,446	9097075,277	2,27
V22	288536,608	9096973,636	-0,344
V23	283993,839	9092739,648	0,991
V24	284140,937	9093002,328	1,139
V25	281304,273	9092007,497	-0,682
V26	281156,014	9091634,463	4,723
V27	288373,718	9091730,371	-1,193
V28	288246,476	9091394,482	-1,269
V29	284207,333	9090669,713	-3,239
V30	284459,065	9090620,719	-3,35

Fonte: Prefeitura Jaboatão dos Guararapes (2016)

Figura 18 - Distribuição dos Marcos Geodésicos

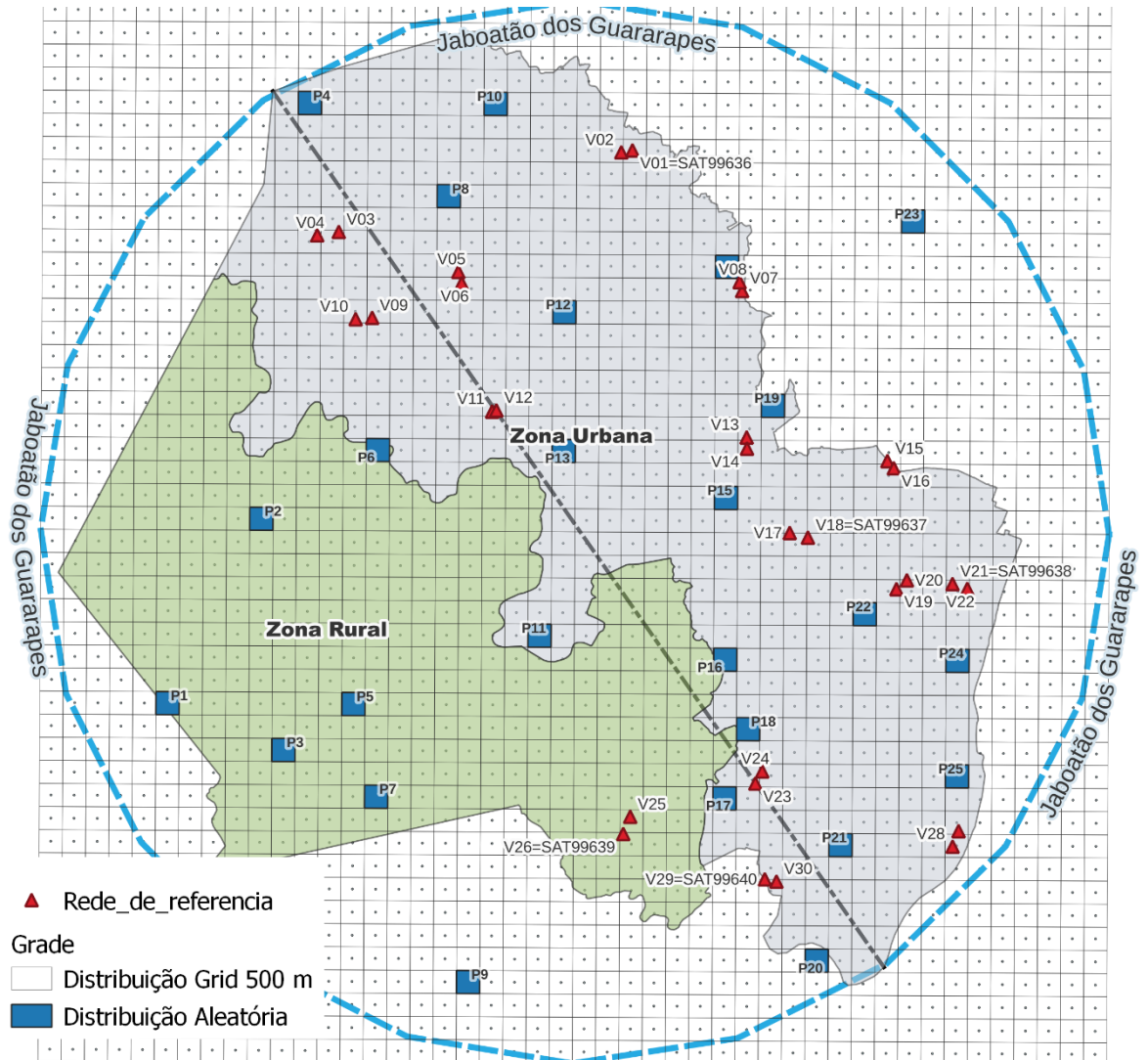


Fonte: autora (2022)

As Análises da Rede de Referência provenientes dos dados fornecidos pela prefeitura será realizada pelo ASTGEOTOP produzido pelo professor Sílvio Jacks Garnés em seu módulo Geodesia – Ajustamento de Rede Clássica 3D, e para análise da linha de base dos receptores geodésicos será desenvolvido um script para análise do desvio padrão, variância e covariância.

A metodologia desenvolvida para definir a amostra mais próxima e mais distante dos pontos da rede sucedeu através da criação de uma malha de 500 m (metros) X 500 m (metros), onde os pontos foram definidos pelo centroide das quadrículas e realizou-se uma seleção aleatório, com o objetivo de determinar aleatoriamente os pontos próximos e distantes dos pares da rede de referência, para executar análise otimizada da rede, ou seja a partir da seleção aleatório definimos os pontos que seriam analisados, conforme figura 19 abaixo:

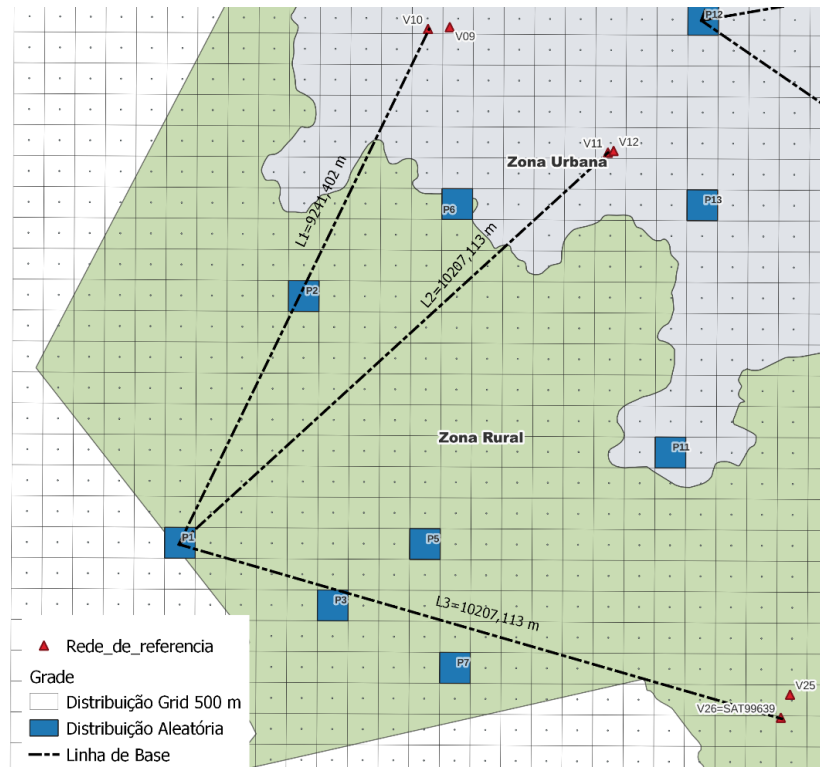
Figura 19 - Método para seleção de amostra aleatória



Fonte: autora (2022)

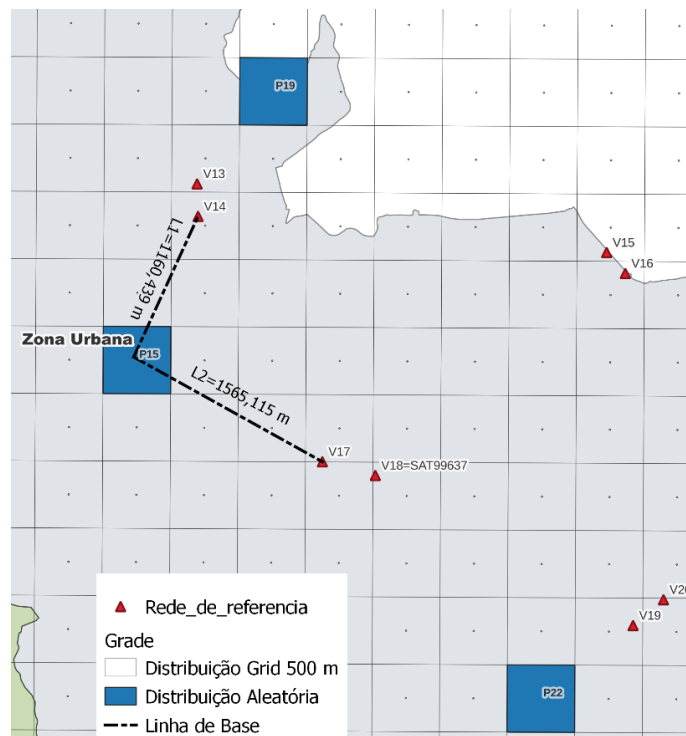
Portanto foram selecionados dois pontos o “P1” e o “P15” para o ajustamento utilizando a geodesia clássica 3D segue a abaixo a representação:

Figura 20 - Representação do ponto P1



Fonte: autora (2022)

Figura 21 - Representação do ponto P15



Fonte: autora (2022)

3.3.1.2 Pontos de controle

Os pontos de controle utilizados nesta dissertação foram oriundos: do projeto PTCON – IBGE para o município de Jaboatão dos Guararapes e os pontos de controle fornecidos pelo município, produzidos pelo ITEP e pela empresa contratada em 2016. Os pontos de controles foram implantados através de rastreamento por GNSS das quinas de edificações e eixos de vias e serão utilizados no processo de análises e validação dos insumos, onde serão validados o MDT e as ortofotos do PE3D e dos insumos municipais.

Nos pontos de controle nativo do ITEP (Instituto responsável por realizar a validação dos insumos fornecido pela empresa contratada), observou – se uma má distribuição espacial para análise de toda a área municipal (figura 24), logo será necessário mesclar com os pontos da empresa contratada para melhorar a distribuição espacial dos pontos sob o município; e realizar uma análise espacial para identificar os pontos homólogos as ortofotos para classificação dos insumos de acordo com PEC/PCD. Segue abaixo na tabela 17 a quantidade de pontos de controle e as distribuições espaciais dos pontos figuras conforme figura 22 e 23:

Tabela 17 – Pontos de Controle Origem x aplicação

Quantidade dos Pontos de Controle	Origem	Descrição da aplicação dos pontos
16	PTCON – IBGE	Análise altimétrica
120	ITEP	Análise planimétrica
317	EMPRESA	Análise planimétrica

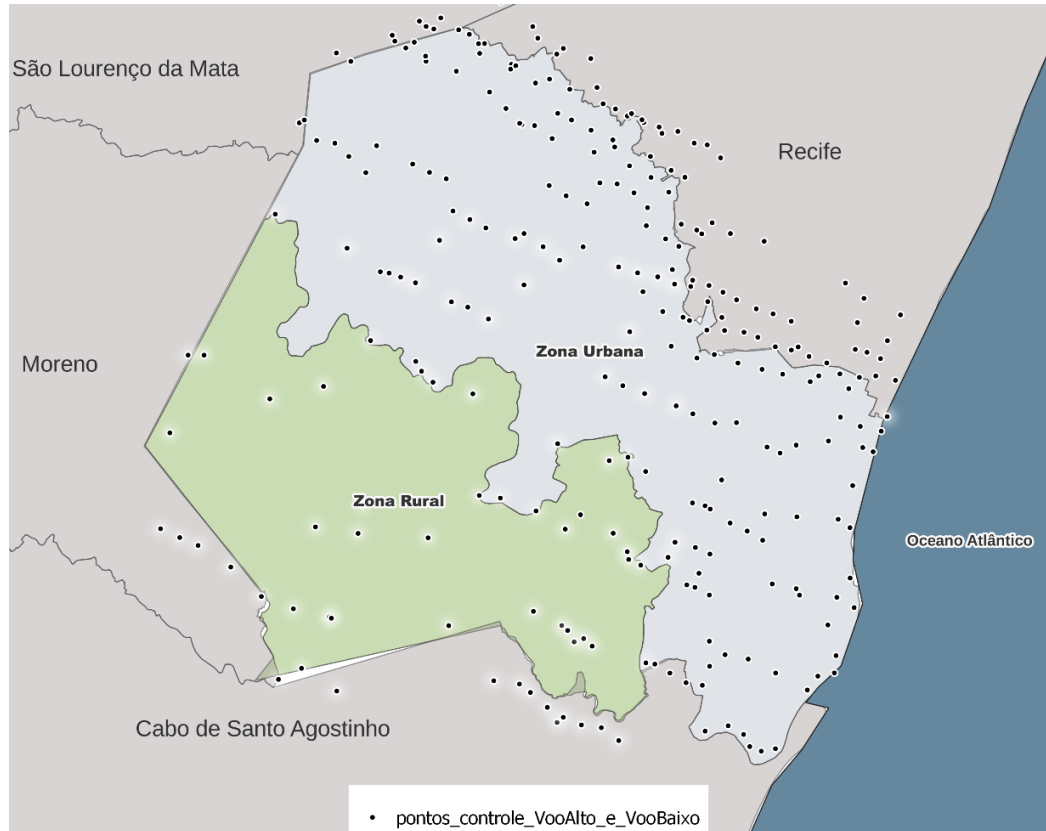
Fonte: autora (2022)

Figura 22 - : Representação dos pontos de controle Projeto PTCON



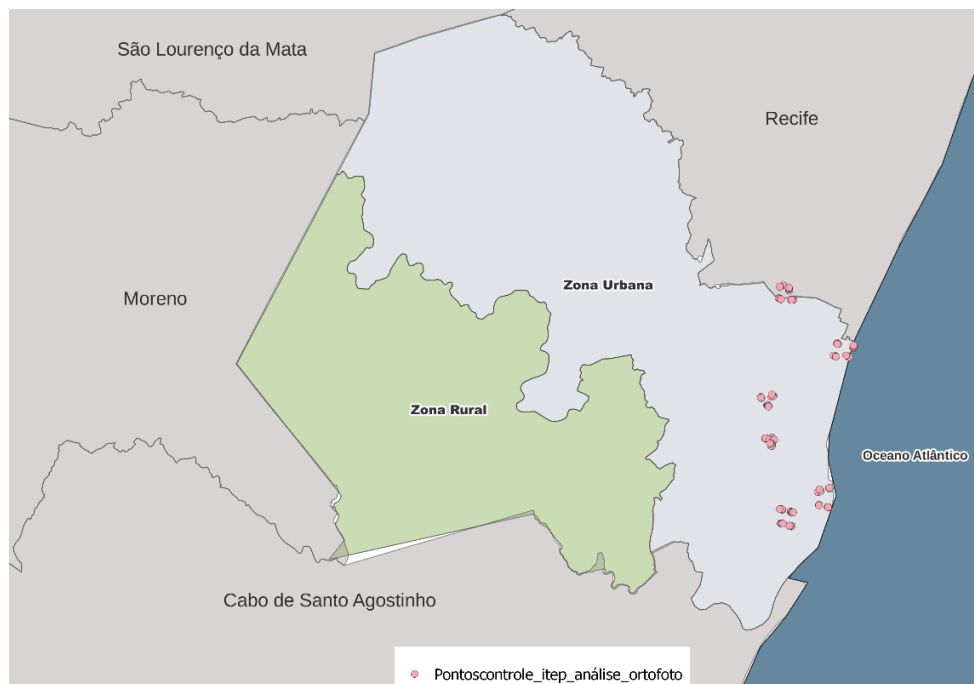
Fonte: autora (2022)

Figura 23 - Representação dos pontos de controle fornecido pelo Município.



Fonte: autora (2022)

Figura 24 -Representação dos pontos de controle fornecido pelo ITEP.



Fonte: autora (2022)

3.3.1.3 Modelo geoidal

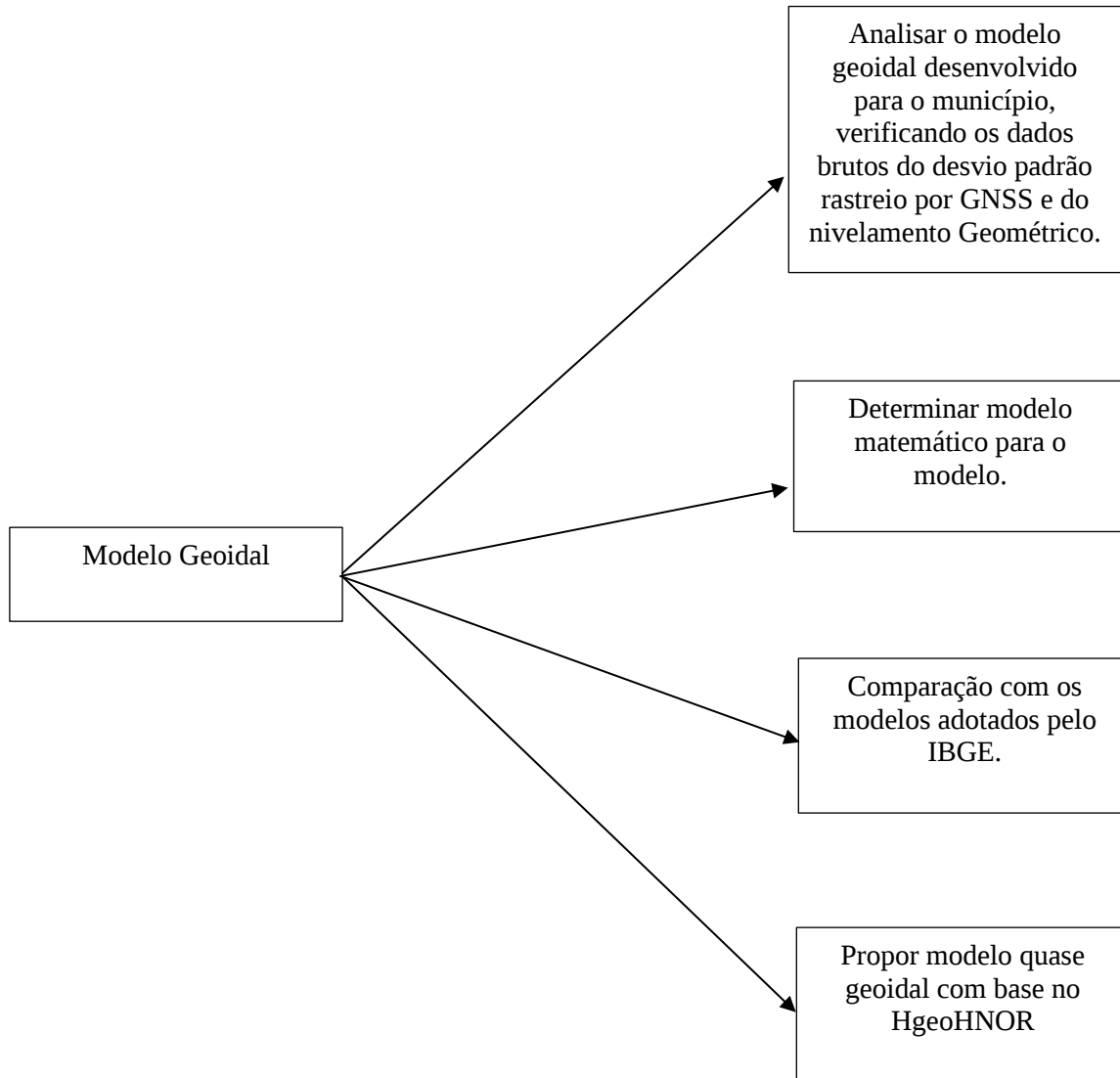
A NBR 14166/22 traz como indicação para implantação no município o modelo quase geoidal, que é o modelo matemático da superfície quase geoidal associada ao elipsoide do SGB (Sistema Geodésico Brasileiro), onde a anomalia de altitude é a terceira coordenada da posição Tridimensional. A determinação da altitude dos vértices superiores usando o modelo quase geoidal deve ser conforme indicado abaixo:

1. O município pode elaborar ou adotar modelo de acurácia conhecida, como o modelo do SGB. O desvio-padrão deve ser proveniente da propagação das variâncias das altitudes geodésicas e das altitudes normais dos pontos;
2. Se o município for elaborar seu próprio modelo, recomenda-se que os pontos utilizados no cálculo do modelo não estejam mais do que 5 km de distância entre si. E o modelo matemático para obtenção dos valores da anomalia fica a critério do município;
3. RRNN do SGB, pode ser utilizado como pontos conhecidos para a elaboração do modelo quase geoidal, desde que estejam em boas condições de rastreo.
4. É recomendado que o modelo adotado obtenha atualização periódica e as altitudes normais dos vértices da RRCM.

O modelo quase geoidal adotado para altimetria deve ter altitude normal determinada pelo nivelamento GNSS pelo método absoluto, conforme a NBR 13133. Quando o nivelamento geométrico for executado utilizando RRNN do SGB, o ajustamento das altitudes deve ser executado pelo MMQ, ou qualquer outro método de distribuição de erros, onde deve ser apresentado os resíduos dos desníveis ajustados e os desvios-padrão das altitudes normais e o erro de fechamento deve ser $6\text{mm} * \sqrt{k}$, com k em quilômetros.

Para análise do modelo geoidal existente foi verificado os dados brutos do nivelamento geométrico e do rastreo por GNSS fornecidos pelo município dos pontos geradores do modelo que são os pontos da rede de referência (tabela 16), segue o fluxograma 5 e os pontos que foram usados para gerar o modelo e seus desvios padrões abaixo:

Fluxograma 5 - Modelo geoidal



Fonte: autora (2022)

Tabela 18 - Pontos utilizados para analisar o modelo com seus desvios padrões

ID_Pto	Alt. Geodésica (m)	Sigma(m) Nativo dos dados brutos do rastreamento	Alt. Ortométrica (m)	sigma(m) Nativo dos dados brutos do Nivelamento geométrico
RN3640F	-2,269	0,028	3,2453	0,001
RN3640Z	20,179	0,028	25,6096	0,001
TRN391K	27,89	0,028	33,1421	0,001
TRN379H	90,19	0,028	95,5331	0,001
TRN390D	7,413	0,028	13,0664	0,001

Continuação da Tabela 18 – Pontos utilizados para analisar o modelo com seus desvios padrões

RN1815F	152,609	0,028	157,862	0,001
V02	28,547	0,018	33,9498	0,001
V03	52,316	0,007	57,7025	0,003
V05	48,556	0,01	53,9817	0,002
V07	60,75	0,117	66,2539	0,011
V09	46,977	0,015	52,365	0,003
V12	44,623	0,069	50,0776	0,003
V13	53,072	0,013	58,5953	0,016
V16	4,828	0,012	10,4718	0,013
V17	1,856	0,015	7,452	0,004
V20	3,922	0,023	9,6367	0,002
V22	-0,344	0,015	5,4227	0,001
V24	1,139	0,001	6,8143	0,004
V25	-0,682	0,003	4,9548	0,01
V27	-1,193	0,05	4,7331	0,012
V30	-3,35	0,035	2,4282	0,006

Fonte: autora (2022)

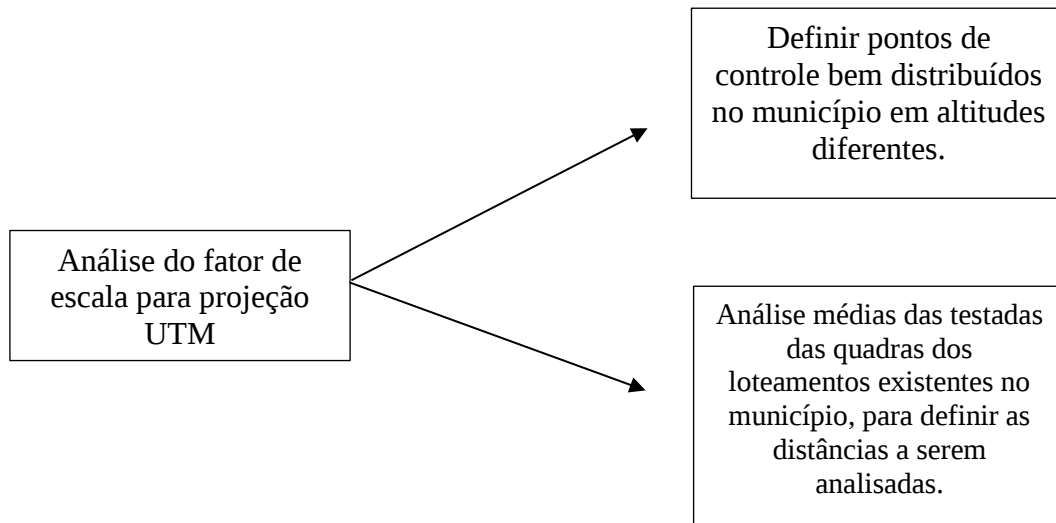
Todas as análises e modelo matemático proposto foram desenvolvidos utilizando o módulo - modelo geoidal do software ASTGEOTOP, criado pelo professor Garnés.

3.3.2 Fator de escala e Fator de quadrícula - Projeção UTM

Para realizar a análise do fator de escala para projeção UTM e análise do fator de quadrícula é importante considerar diferentes configurações espaciais no município, pois a altitude interfere no fator de elevação. Desenvolver essas análises é importante pela popularização em utilizar coordenadas no sistema de projeção UTM inclusive para transporte de coordenada, logo o objetivo é identificar as distorções para longas e pequenas distâncias e observar as distorções para altitudes diferentes, para executar essa análise foi utilizado o módulo do software ASTGEOTOP do professor Garnés, onde são utilizadas as fórmulas descritas no item 5.4.

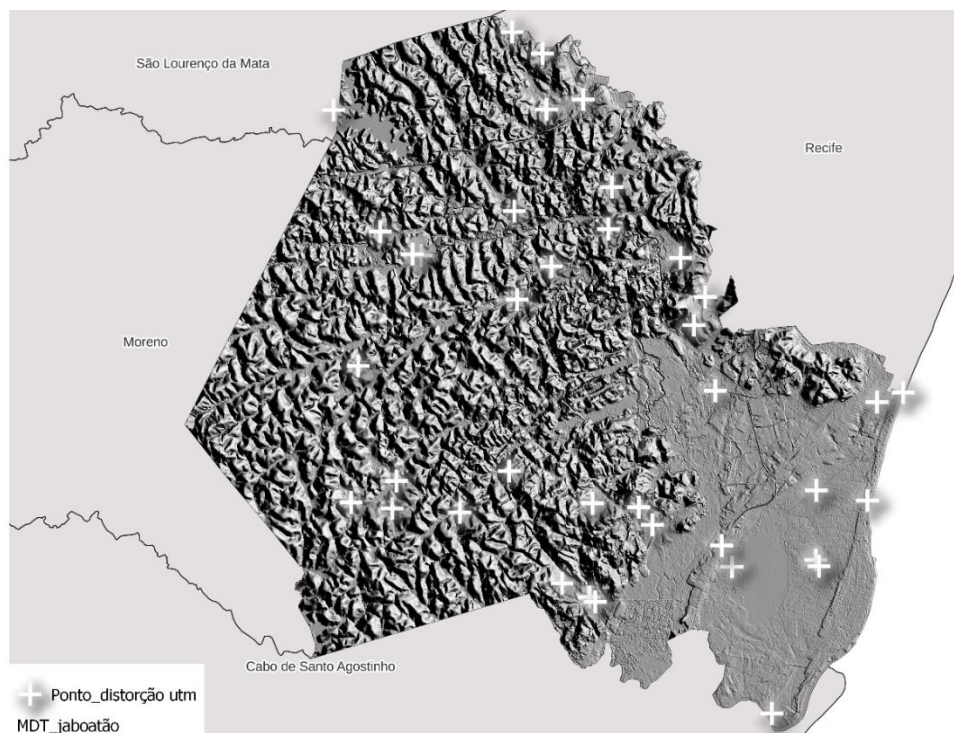
Para realizar análise foram utilizados os pontos de controle fornecido pela empresa contratada com as informações descritas na tabela 19, o sistema de referência geodésico é o sirgas2000 e datum vertical Imbituba/ Santa Catarina. A distribuição dos pontos de controle sob o MDT tem por objetivo observar se a diferença de altitude interfere nas distorções apresentadas no uso dessa projeção. Segue o fluxo desenvolvido para a análise e a distribuições dos pontos:

Fluxograma 6 - Análise fator de escala para projeção UTM



Fonte: autora (2022)

Figura 25 - Distribuição dos Pontos sob o MDT

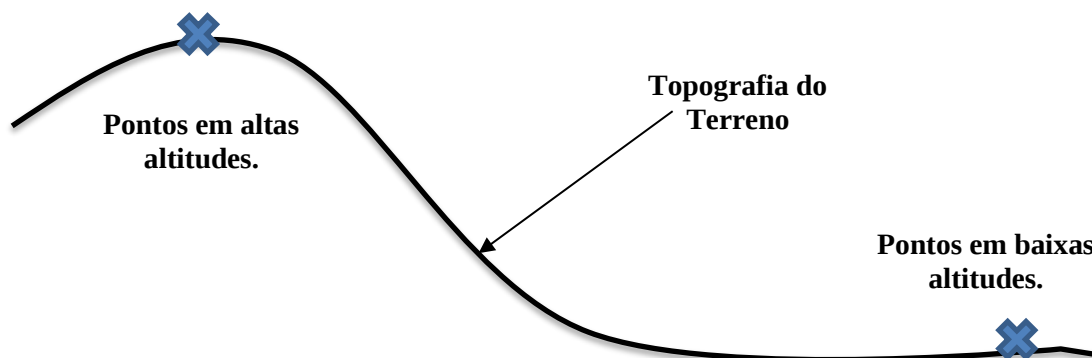


Fonte: autora (2022)

O método desenvolvido consistiu em considerar característica altimétricas diferentes; observar as distorções; e realizar uma comparação com o decreto 9310/2018 para Reurb Urbana, que traz o erro esférico tridimensional de 8 cm (art.º 29, § 3º). Os pontos de controle

foram obtidos a partir do rastreo em campo das quinas de edificações e eixos de vias, foram realizados pela empresa contratada e foram cedidos pelo município de Jaboatão dos Guararapes. Segue abaixo o modelo utilizado na análise, figura 26:

Figura 26 - Distribuição dos Pontos



Fonte: autora (2022)

Tabela 19 – Pontos de Controle utilizados para analisar o fator de quadrícula

Ponto	Latitude	Longitude	E (m)	N (m)	Alt. Orto.
HV_1_344	8° 14' 15.93787" S	34° 56' 37.56583" W	285.884,596	9.088.896,663	1,785
HV_1_144S	8° 11' 57.91657" S	34° 57' 14.41329" W	284.736,013	9.093.132,054	1,947
HV_1_323AS	8° 11' 58.00078" S	34° 55' 52.21542" W	287.252,333	9.093.141,639	2,327
V_1_316	8° 10' 46.64918" S	34° 55' 54.59776" W	287168,87	9.095.333,631	2,684
HV_1_323S	8° 11' 52.07161" S	34° 55' 55.18804" W	287.160,457	9.093.323,38	2,918
HV_1_102	8° 9' 15.30227" S	34° 54' 32.28803" W	289.675,407	9.098.152,33	3,992
HV139A	8° 11' 18.40170" S	34° 58' 29.18208" W	282.441,134	9.094.335,018	4,599
HV096	8° 9' 12.75354" S	34° 57' 29.39213" W	284.252,788	9.098.204,679	4,712
HV_1_319	8° 10' 56.47025" S	34° 55' 6.23431" W	288.650,908	9.095.038,953	5,44
HV158B	8° 12' 30.17249" S	34° 59' 23.48056" W	280.789,747	9.092.121,525	6,437

Continuação da Tabela 19 – Pontos de Controle utilizados para analisar o fator de quadrícula

HV158	8° 12' 25.70092" S	34° 59' 28.85769" W	280.624,455	9.092.258,106	7,319
HV_1_20	8° 11' 38.05806" S	34° 57' 23.88358" W	284.443,126	9.093.740,822	7,96
HV37	8° 9' 24.23325" S	34° 54' 56.83499" W	288.925,185	9.097.874,361	8,889
HV138A	8° 11' 1.60472" S	34° 58' 42.02908" W	282.045,294	9.094.849,201	9,521
HV02052	8° 6' 35.58549" S	34° 56' 24.38549" W	286.219,921	9.103.043,428	13,015
HV066	8° 7' 7.92901" S	34° 58' 1.45149" W	283.252,593	9.102.035,325	23,315
HV68A	8° 3' 39.81893" S	34° 59' 27.44232" W	280.588,305	9.108.417,039	26,756
HV48	8° 7' 44.79280" S	34° 57' 38.40453" W	283.963,756	9.100.906,053	27,865
HV024A	8° 4' 48.03238" S	35° 0' 7.27057" W	279.378,879	9.106.315,082	29,832
HV59	8° 4' 38.99923" S	34° 59' 32.56330" W	280.440,359	9.106.597,852	30,107
HV062	8° 6' 40.63417" S	34° 59' 9.41281" W	281.167,542	9.102.863,865	31,013
HV042	8° 6' 1.31636" S	34° 59' 5.82250" W	281.271,575	9.104.072,511	33,159
HV02083	8° 6' 25.32881" S	34° 57' 25.96140" W	284.332,962	9.103.349,528	35,188
HV005	8° 3' 35.34585" S	35° 0' 39.27263" W	278387,87	9.108.543,707	35,895
HV72A	8° 3' 55.59729" S	35° 0' 10.80509" W	279.262,729	9.107.925,725	38,743
HV008	8° 3' 45.01597" S	34° 59' 33.44138" W	280.405,368	9.108.256,455	40,439
HV507	8° 7' 15.32322" S	35° 0' 3.29818" W	279.522,806	9101789,87	41,283
HV086	8° 7' 46.38068" S	35° 0' 35.70769" W	278.535,163	9.100.830,652	49,82
HV079	8° 6' 41.81126" S	35° 2' 44.54660" W	274.580,146	9102794,98	54,819

Continuação da Tabela 19 – Pontos de Controle utilizados para analisar o fator de quadricula

HV47	8° 8' 11.15260" S	34° 57' 49.16115" W	283.638,332	9.100.094,516	57,057
HV157	8° 12' 12.75048" S	34° 59' 54.74811" W	279.829,886	9.092.652,095	59,392
HV002	8° 3' 12.00980" S	35° 1' 19.19983" W	277.161,562	9.109.254,726	60,316
HV080	8° 7' 4.52977" S	35° 2' 6.22191" W	275.757,198	9.102.102,793	61,688
HV080A	8° 7' 3.31772" S	35° 2' 14.27956" W	275510,28	9.102.138,798	63,178
HV137	8° 10' 57.87797" S	34° 59' 25.71280" W	280.707,361	9.094.957,117	65,546
HV137	8° 10' 57.87797" S	34° 59' 25.71280" W	280.707,361	9.094.957,117	65,55
HV002A	8° 3' 22.07779" S	35° 1' 25.46604" W	276.971,188	9.108.944,414	67,318
HV043	8° 4' 47.68258" S	35° 3' 28.05581" W	273.230,084	9.106.295,199	80,274
HV056	8° 6' 23.39516" S	35° 0' 38.09773" W	278449,34	9.103.380,203	81,24
HV154B	8° 11' 5.72598" S	35° 1' 30.73131" W	276.881,101	9.094.696,868	87,43
HV134	8° 10' 27.16656" S	35° 0' 44.11445" W	278.302,367	9.095.888,858	94,686
HV151	8° 10' 55.81532" S	35° 3' 13.37884" W	273.736,924	9.094.985,471	95,318
HV515	8° 8' 47.78886" S	35° 3' 6.03640" W	273.941,707	9098920,62	100,282
HV523	8° 10' 35.97670" S	35° 2' 30.50310" W	275.046,517	9095601,75	100,963
HV152	8° 11' 1.70642" S	35° 2' 34.51398" W	274.927,732	9.094.810,507	114,802

Fonte: Prefeitura de Jaboatão dos Guararapes (2016)

3.3.3 Classificação dos insumos – PEC/PCD

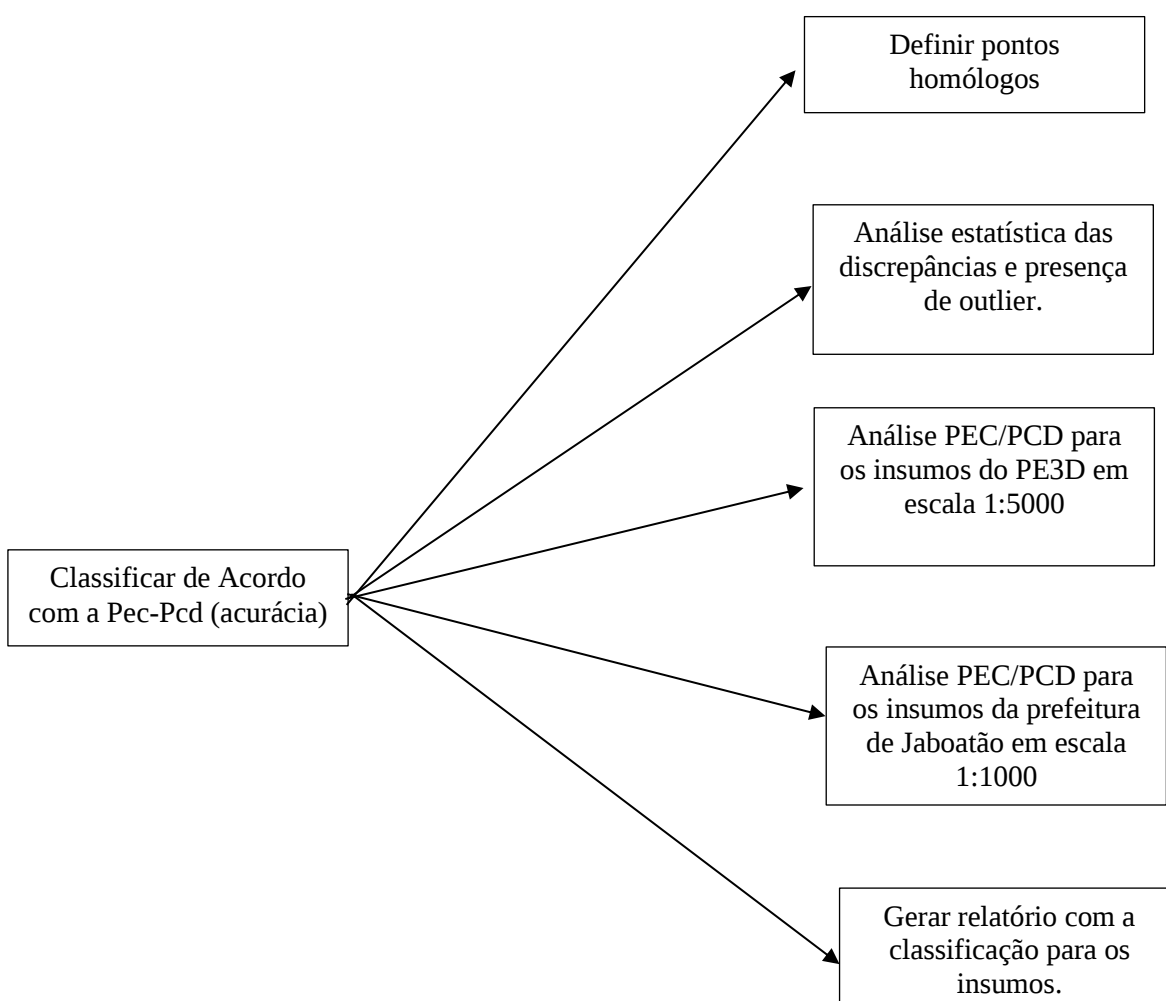
Nesta etapa será realizada a classificação dos Insumos do PE3D e dos insumos existentes na prefeitura municipal, os produtos avaliados serão as ortofotos e o MDT. Todas as análises serão desenvolvidas no ASTEGEOTOP utilizando o módulo de análise de Classificação

Cartográfica. Os pontos de controle foram fornecidos pelo IBGE e serão utilizados para análises altimétricas.

Os pontos de controle oriundo do IBGE foram adquiridos através dos rastreios de eixos de vias, logo será utilizado para realizar apenas a classificação altimétrica, pois é impossível identificar pontos homólogos as ortofotos. Para classificação das ortofotos serão identificados os pontos homólogos utilizando os pontos de controle fornecido pelo município e ITEP, que foram adquiridos através do rastreio de quinas de edificações, meio fio etc.

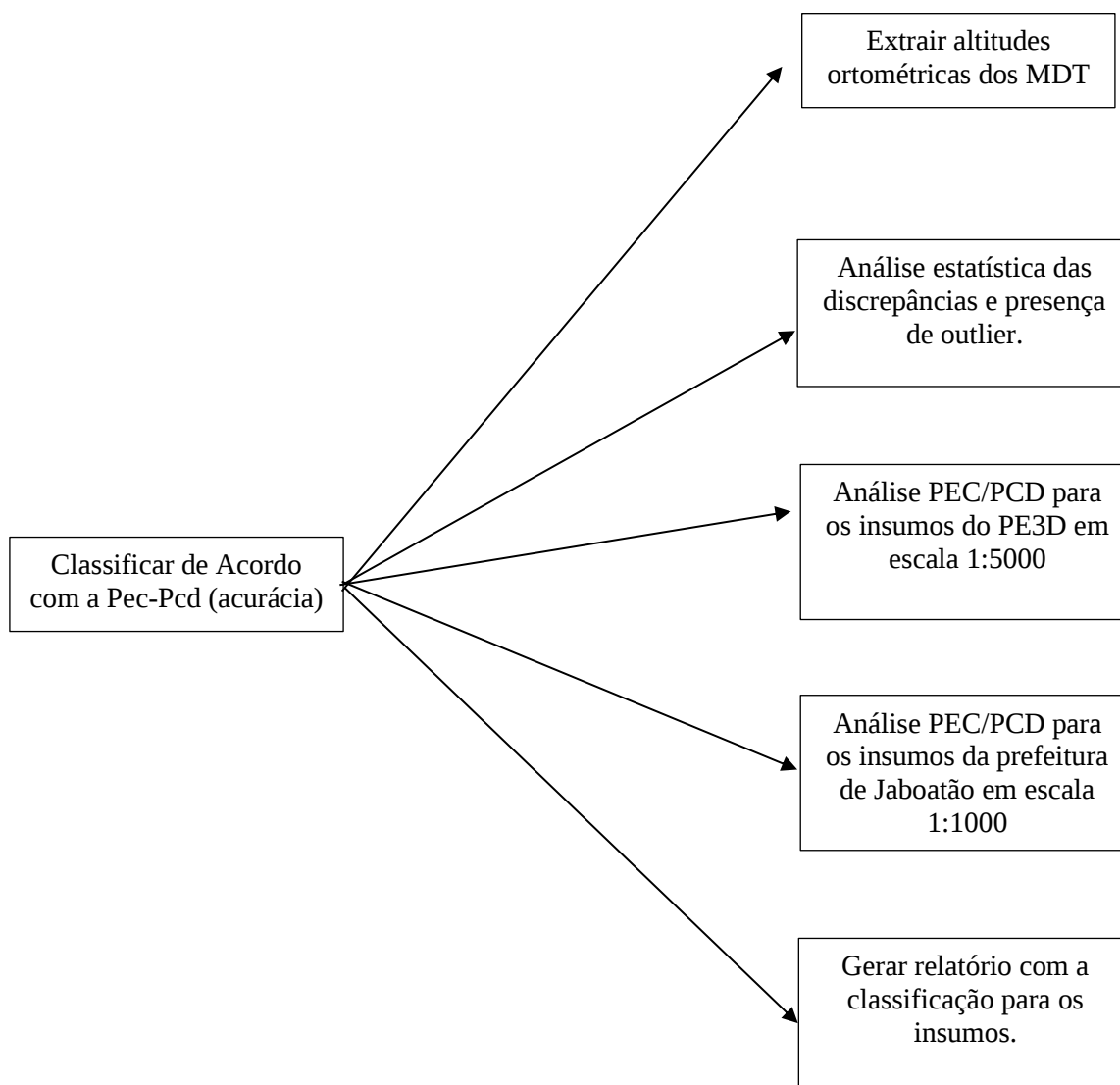
Para classificar o MDT serão extraídos do modelo digital do terreno as altitudes ortométricas para analisar as discrepâncias; comparando-a com as altitudes ortométricas dos pontos; classificando-os de acordo com a PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica. Segue os fluxogramas abaixo:

Fluxograma 7 - Metodologia para verificação da qualidade das Ortofotos



Fonte: autora (2022)

Fluxograma 8 -: Metodologia para verificação da qualidade do MDT



Fonte: autora (2022)

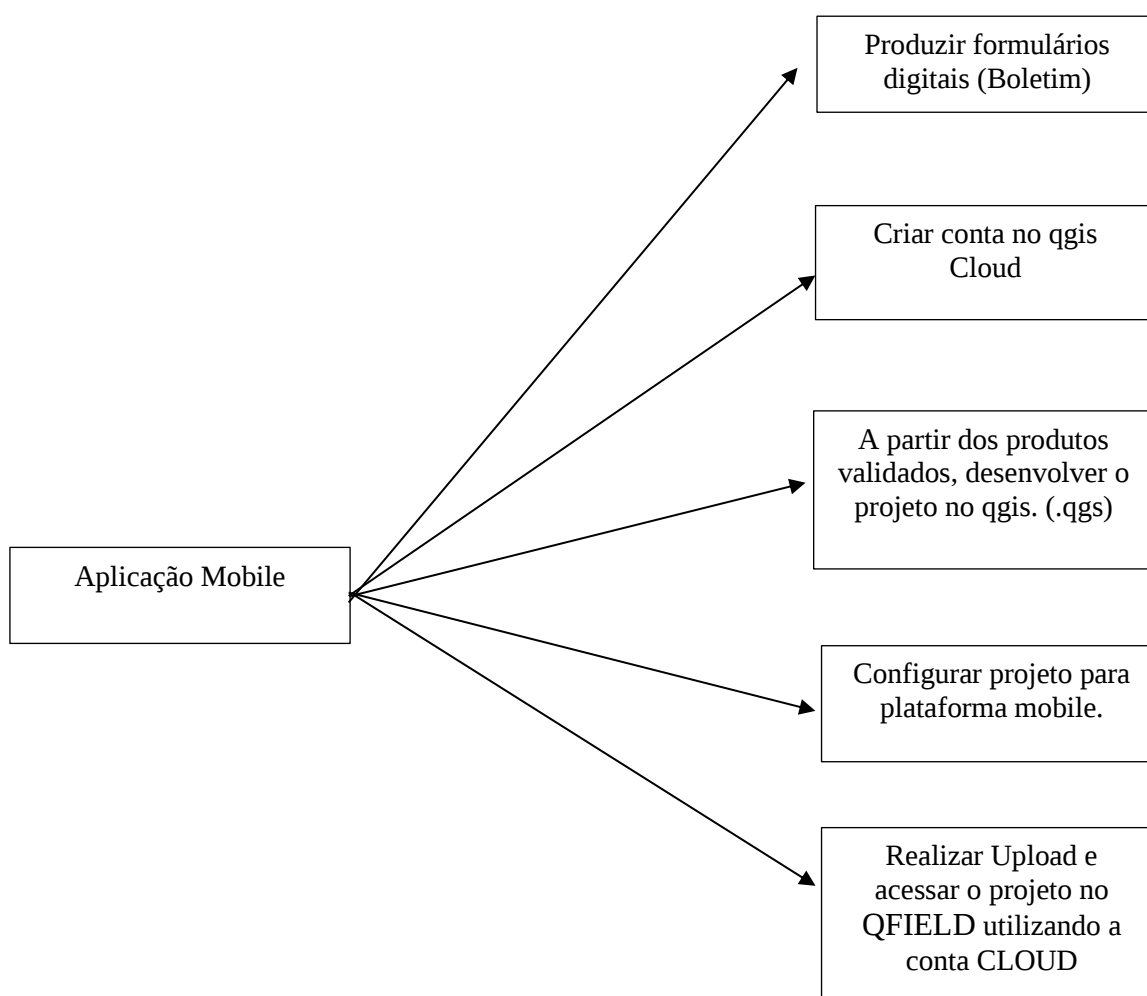
3.3.4 Aplicação mobile para integração e gerenciamento territorial

A aplicação Mobile é importante para integração e disponibilização de dados, além de ser possível desenvolver formulário digitais para atividades de campo como o Boletim de Informação Cadastral - BIC oriundo do projeto CIATA; formulário socioeconômicos para projetos de regularização fundiária. A proposta é utilizar as ferramentas disponíveis pelo software livre o Qgis e para a personalização de formulários através da framework QT5.

O formulário poderá ser preenchido a partir de um banco existente e ser implementado para coletar informações em Campo, usando o APP QFIELD, que é um projeto paralelo do Qgis para utilização de dispositivos móveis em atividade de campo, logo é possível linkar seu

projeto desktop ao móvel. A aplicação desenvolvida neste trabalho será voltada para integração de projetos desenvolvidos no município como de regularização fundiária integrada ao cadastro imobiliário, a estrutura geodésica e a base cartográfica. Os servidores municipais, poderá utilizar aplicativo offline e realizar o upload dos dados adquiridos em campo quando houver conexão com a Internet, pois é possível utilizar uma conta no qgis cloud que compartilha seu projeto nas nuvens. A utilização da plataforma mobile busca criar uma estrutura integrativa, atualizável e útil para gerenciar o território. Segue abaixo o fluxograma metodológico:

Fluxograma 9 - Metodologia para aplicação mobile

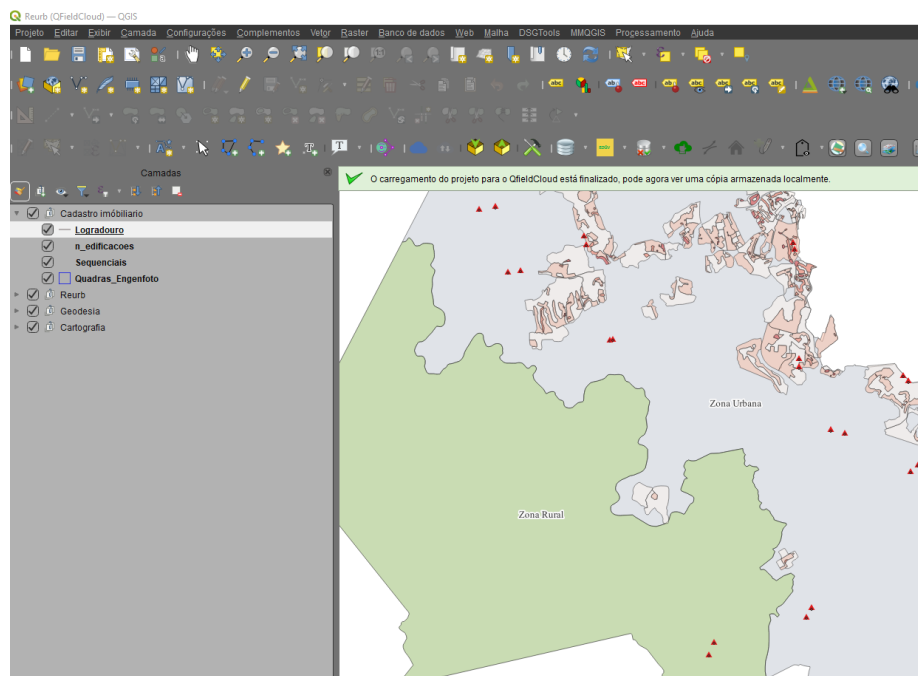


Fonte: autora (2022)

O projeto Qfield permitirá integração entre os dados espaciais em ambiente mobile, oriundo do cadastro imobiliário, do projeto de regularização fundiária, cartografia e geodésia. Para construção é necessário seguir as etapas abaixo:

1. O projeto para integração no Qfield é desenvolvido no software livre Qgis, conforme imagem abaixo:

Figura 27 - Projeto desenvolvido no Qgis



Autora (2022)

2. O projeto no desktop Qgis deve possuir versão (. qgs);
3. É necessário instalar o plugin Qfield no mobile compatível a partir do Android 5;
4. A sincronização do projeto ao dispositivo móvel ocorre a partir do plugin (Qfield Sync);
5. A integração única sucede com o uso do QFieldCloud;
6. Para realizar a customização é preciso conhecimento sobre o software e linguagem python;
7. No processo de customização para o APP foi utilizado as seguintes configurações:
 - Visualização por Tema: Cadastro imobiliário, Reurb, Geodésia e Cartografia;
 - Formulário Customizado;
 - Integração com links para google forms;
 - Pesquisas utilizando o localizador a partir das Camadas vetoriais;
 - Renderização a partir da escala de visualização;

- Customização para salvar os arquivos inseridos no formulário, exemplo:
`"n_selo" || '_' || 'selo' || '_' || Format date(now(),'dd_MM_yyyy') || '.jpg';`
- Criação de banco de dados;
- Edição de Camadas Vetoriais;
- QfieldCloud;
- A sincronização do Projeto Qgis com o Qfield, ocorre a partir da construção do package - compactação do projeto.

Na etapa de sincronização e upload todos os dados espaciais são transformados automaticamente para o formato geopackge. O geopackge é um formato desenvolvido em 2014 pela OGC e consiste em um banco de dados que suporta uso direto, ou seja, pode ser acessado e atualizado em um formato de armazenamento nativo, logo o geopackge pode ser composto por: vetores, arquivos raster e matrizes em várias escalas, tabelas, metadados e extensões, tornando mais leve os arquivos no processo de integração entre diferentes plataformas.

4 ANÁLISES E RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados as análises e os resultados de acordo com as metodologias propostas.

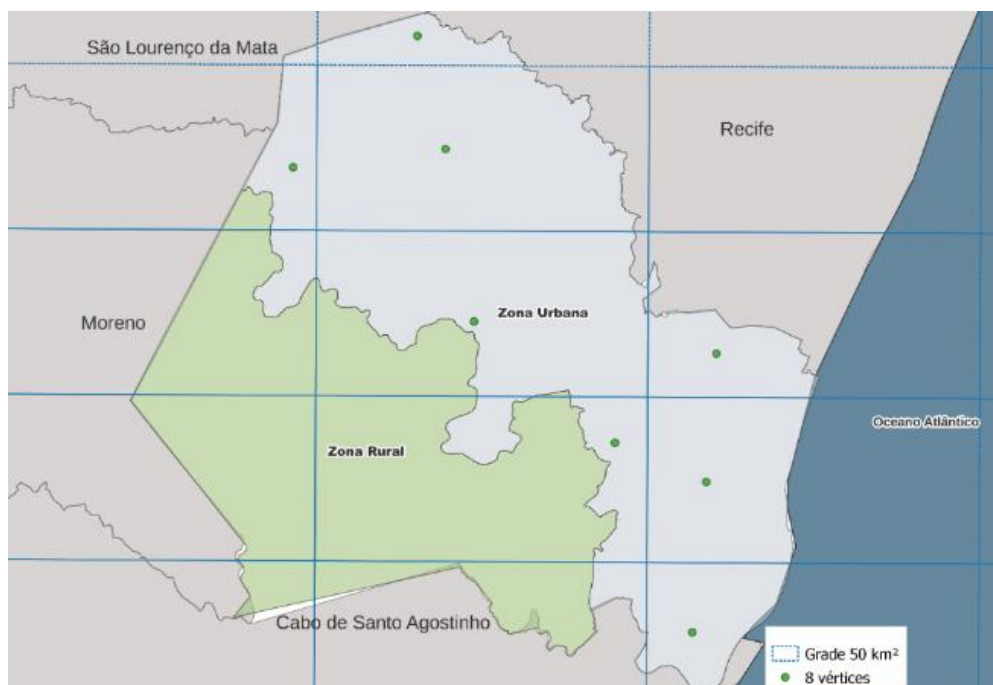
4.1 REDE DE REFERÊNCIA

Como já descrito a análise da rede referência consistiu segundo fluxo metodológico na análise de densidade da rede de acordo com a NBR 14166/22, análise de acordo com a rede clássica 3D e análise da linha de base para rastreamento por GNSS.

4.1.1 Análise da Rede de acordo com a NBR 14166/22

Seguindo o fluxograma apresentado no item 3.3.1, a primeira análise consistiu em verificar se a rede implantada estava condizente com o sugerido na norma atual 14166/22, referente ao planejamento e implantação da rede – densidade mínima de vértices. Segue a baixo a figura que demonstra a quantidade dos vértices que seriam necessárias dentro do perímetro urbano:

Figura 28 - Densidade de Vértices de acordo com a NBR14166



Fonte: autora (2022)

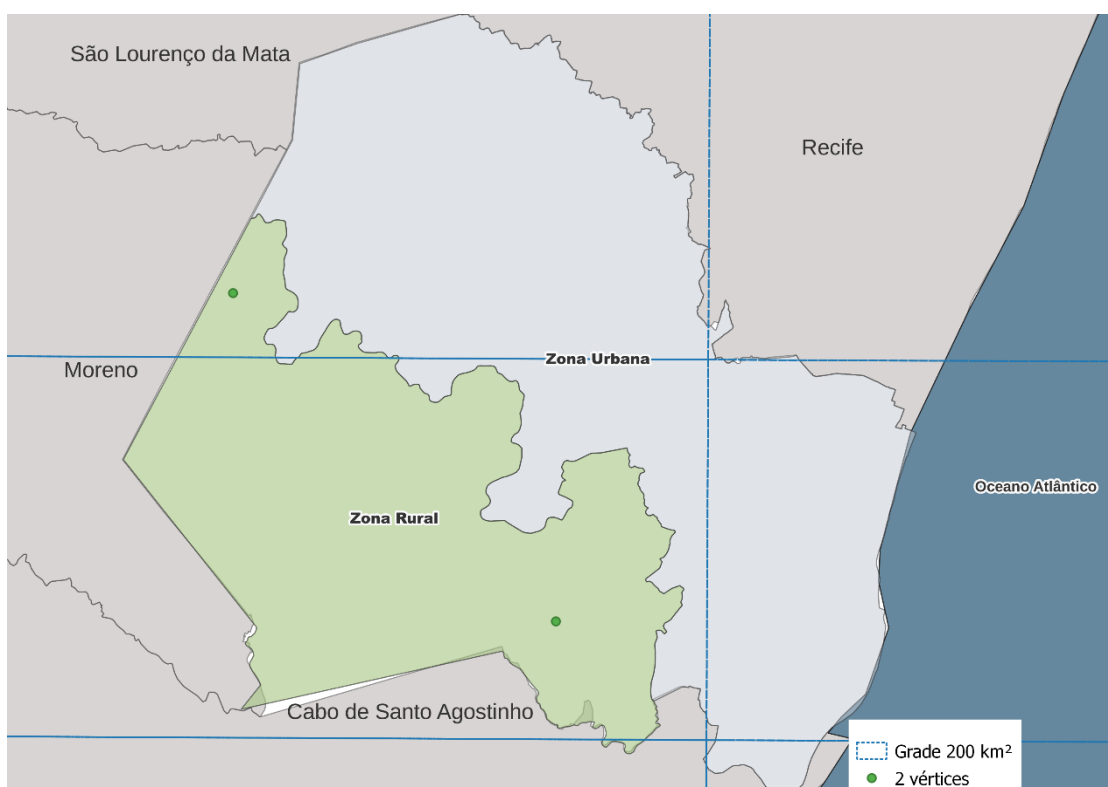
De acordo com figura 27, para análise conforme NBR 14166/22, foram criadas grades com 50 km² que cobrisse todo o município; e a cada grade de 50 km² consideramos a implantação de um vértice, logo teríamos que implantar 8 vértices no perímetro urbano do

município, seguindo a metodologia das grades, no entanto se fizemos uma regra de três simples considerando apenas as áreas teríamos que implantar só 3 vértices, tendo em vista que a área urbana do município é de aproximadamente 157 km², e segundo a NBR a densidade da rede é de 1 vértice a cada 50 km² para o perímetro urbano.

No município de Jaboatão dos Guararapes foram implantados 28 vértices em pares para transportes de coordenadas por levantamentos convencionais no perímetro urbano e rural do município, ou seja, a rede encontra-se com densidade dentro das especificações da NBR para o perímetro urbano.

No perímetro rural a norma traz uma densidade de 1 vértice a cada 200 km², segue abaixo quantidade de vértice, considerando as grades que interceptam o perímetro rural:

Figura 29 - Densidade de Vértices de acordo com a NBR14166/22.



Fonte: autora (2022)

Seguindo a metodologia de grade apresentada nesta dissertação seria necessário a implantação de 2 vértices, no entanto a área aproximada da zona rural é 100 km², ou seja, considerando a norma não seria necessária implantação de vértices superiores, mas o município tem autonomia de definir a necessidade, na figura 28 é apresentado que já foram implantados 2 vértices no perímetro rural do município, portanto em relação a densidade para o perímetro rural a rede de referência implantada no município de Jaboatão dos Guararapes atende as

especificações da norma 14166/22.

4.1.2 Análise da Rede de Referência por Rede Clássica 3D

Realizada a análise sobre densidade dos vértices, iniciamos a análises a partir da rede clássica 3D, considerando linhas de base diferentes e categorizando os equipamentos em precisos e menos precisos. Nesta etapa foram utilizados os pontos oriundos de distribuição aleatória P1 e P15 conforme figura 20 e 21, onde no ponto P1 foram realizadas as análises para longas distâncias e no P15 foram realizadas as análises para pequenas distâncias, segue abaixo as análises e resultados:

Para o ponto P1 foram calculadas as acurácias de acordo com a fórmula de acurácia para os equipamentos do item 4.2.5.5 da NBR13133/21. Para inserção dos dados do ponto P1 no ASTEGEOTOP foram construídas as tabelas a seguir:

Tabela 20 -Dados de Entrada com as observações das distâncias inclinadas x acurácia

Acurácia para equipamento mais preciso					
Vértice	Ponto P1	Linha	Distância Inclinada	Acurácia distância ($Ed = \text{rais}(z^2 + (kxD^2))$ mm	Acurácia (m)
V11	VP	I1	9412,782	18,93150443	0,019
V26	VP	I2	10207,113	20,51196293	0,021
V10	VP	I3	9241,902	18,59169197	0,019

Fonte: autora (2022)

Tabela 21 – Dados de Entrada com as observações dos ângulos horários x Precisão

Pto Ré	Estação	Ponto P1	Ang(gg°mm`ss,ss")	Precisão(")
V12	V11	VP	153°41`47,8"	2
V25	V26	VP	264°07`05,6"	2

Fonte: autora (2022)

Tabela 22 - Dados de Entrada com as observações dos ângulos Zenitais x Precisão

Estação	Pto Vante (P1)	Direção	Ang(gg°mm`ss,ss")	Precisão(")
V11	VP	z1	89°39`21,70"	2
V26	VP	z2	89°27`45,41"	2

Fonte: autora (2022)

Tabela 23 — Dados de Entrada com as observações das injunções das posições em coordenadas geocêntricas

Estação	X(m)	Y(m)	Z(m)
V11	5171766	-3622946	-896043
V26	5172288	-3619867	-905080
V10	5170317	-3625517	-894065
V12	5171822	-3622872	-896017
V25	5172414	-3619771	-904711

Fonte: autora (2022)

Inserido os dados de entrada, considerando o equipamento mais preciso, com precisão angular de 2" e acurácia de 0,02 m, foram obtidos os seguintes resultados:

Figura 30 - Resultado da análise considerando o equipamento mais preciso -

RESULTADOS REFERENTES ÀS OBSERVAÇÕES

DE DISTÂNCIAS						
EST	PTO VISADO		Observações	Resíduos	Observações ajustadas	desv.padrão
V11	VP		9412,782	0,000717	9412,782717	0,008448
V26	VP		10207,113	-0,000256	10207,112744	0,012591
V10	VP		9241,902	-0,000775	9241,901225	0,009414
DE ÂNGULOS HORIZONTAIS						
RÉ	EST	PTO VISADO	Observações	Resíduos	Observações ajustadas	desv.padrão
V12	V11	VP	153°41' 47,8"	-0,008"	153°41' 47,8"	0,305"
V25	V26	VP	264°07' 05,6"	-0,074"	264°07' 05,5"	0,207"
DE ÂNGULOS ZENITAIS						
EST	PTO VISADO		Observações	Resíduos	Observações ajustadas	desv.padrão
V11	VP		89°39' 21,7"	1,750"	89°39' 23,5"	0,951"
V26	VP		89°27' 45,4"	-1,900"	89°27' 43,5"	0,877"

RESULTADOS REFERENTES AOS PARÂMETROS

EST	X	sigmaX	Y	sigmaY	Z	sigmaZ
VP	5167072,395910	0,037589	-3628187,026770	0,026811	-902296,372390	0,013713

Matriz Variância-Covariância dos Parâmetros Ajustados			Elipsoide dos Erros		Erro Esférico
Exa-----			Semieixos do elipsoide dos erros		Erro esférico (Ep)
0,001413	-0,000874	-0,000289	máximo =	0,04535	$Ep=raiz(sx^2+sy^2+sz^2)$
-0,000874	0,000719	0,000123	intermediário =	0,01384	Ep= 0,0482
-0,000289	0,000123	0,000188	mínimo =	0,00844	

Fonte: Astegeotop (2019)

Tabela 24 - Comparação entre valor Calculado e teórico para P1

Equipamento mais preciso							
Descrição	ID_Pto	Latitude	Longitude	Altitude	Discrepância Latitude (m)	Discrepância Longitude (m)	Discrepância Altitude(m)
Valor Teórico	P1	- 8°11'14,04336"	- 35°04'32,00165"	108,62191	0,0003088	0,012352	1,0529177
Valor calculado	P1	- 8°11'14,04335"	- 35°04'32,00205"	107,569			

Fonte: autora (2022)

A partir da utilização do equipamento mais preciso obtém-se um erro esférico de 0,0482 m, no entanto ao verificar o valor teórico de P1 e comparar com o valor calculado de P1 por triangulação, foi observado uma discrepância de 1,05 m na altitude, essa diferença está relacionada a precisão do equipamento e o arredondamento dos cálculos realizado pelo software.

Para análise em longa distância utilizando o equipamento menos preciso, foram consideradas apenas duas visada (l1 e l2) e não foram necessários pontos de junções, pois alteramos a precisão do equipamento. O equipamento adotado foi o menos preciso com acurácia de 0,03 m e precisão angular de 7 "e os resultados obtidos estão demonstrado na tabela 25, 26 e 27 abaixo:

Tabela 25 – Dados de Entrada com as observações das distâncias inclinadas x acurácia

Equipamento de Menor precisão					
Estação	Ponto P1	Linha	Distância Inclinada	Acurácia distância ($E_d = \text{rais}(z^2 + (k \times D^2))$ mm	Acurácia (m)
V11	VP	l1	9412,782	28,39725664	0,028
V26	VP	l2	10207,113	30,76794439	0,031

Fonte: autora (2022)

Tabela 26 – Dados de Entrada com as observações dos ângulos horários x Precisão

Pto Ré	Estação	Ponto P1	Ang(gg°mm'ss,ss")	Precisão(")
V12	V11	VP	153°41'47,8"	7
V25	V26	VP	264°07'05,6"	7

Fonte: autora (2022)

Tabela 27 – Dados de Entrada com as observações dos ângulos Zenitais x Precisão

Estação	Pto Vante (P1)	Direção	Ang(gg°mm`ss,ss")	Precisão(")
V11	VP	z1	89°39`21,70"	7
V26	VP	z2	89°27`45,41"	7

Fonte: autora (2022)

Figura 31 - Resultado da análise considerando o equipamento menos preciso

RESULTADOS REFERENTES ÀS OBSERVAÇÕES

DE DISTÂNCIAS						
EST	PTO VISADO		Observações	Resíduos	Observações ajustadas	desv.padrão
V11	VP		9412,782	-0,000145	9412,781855	0,006047
V26	VP		10207,113	0,000237	10207,113237	0,006469
DE ÂNGULOS HORIZONTAIS						
RÉ	EST	PTO VISADO	Observações	Resíduos	Observações ajustadas	desv.padrão
V12	V11	VP	153°41' 47,8"	-0,424"	153°41' 47,4"	0,186"
V25	V26	VP	264°07' 05,6"	-0,130"	264°07' 05,5"	0,164"
DE ÂNGULOS ZENITAIS						
EST	PTO VISADO		Observações	Resíduos	Observações ajustadas	desv.padrão
V11	VP		89°39' 21,7"	1,761"	89°39' 23,5"	1,118"
V26	VP		89°27' 45,4"	-1,907"	89°27' 43,5"	1,031"

RESULTADOS REFERENTES AOS PARÂMETROS

EST	X	sigmaX	Y	sigmaY	Z	sigmaZ
VP	5167072,397430	0,043554	-3628187,028060	0,030083	-902296,370487	0,011878

Matriz Variância-Covariância dos Parâmetros Ajustados			Elipsoide dos Erros		Erro Esférico
VP	Exa		Semieixos do elipsoide dos erros		Erro esférico (Ep)
	0,001897	-0,001278	máximo =	0,05325	$Ep=raiz(sx^2+sy^2+sz^2)$
	-0,001278	0,000905	intermediário =	0,00906	Ep= 0,0542
	-0,000350	0,000221	mínimo =	0,00508	

Fonte: Astegeotop (2019)

Tabela 28 – Comparação entre valor Calculado e teórico para P1 usando equipamento menos preciso

Equipamento menos preciso							
Descrição	ID_Pto	Latitude	Longitude	Altitude	Discrepância Latitude (m)	Discrepância Longitude(m)	Discrepância Altitude(m)
Valor Teórico	P1	- 8°11`14,04336"	- 35°04`32,00165"	108,621	0,00247	0,0127	1,0519177
Valor calculado	P1	- 8°11`14,04328"	- 35°04`32,00206"	107,570			

Fonte: Autora (2022)

Utilizando o equipamento menos preciso para longas distâncias foi observado um erro esférico de 0,0542 m, no entanto é importante apreciar que mesmo alterando a precisão do

equipamento continuamos com a discrepância de 1,05 m na altitude ao comparar o valor teórico de P1 ao valor calculado, demonstrando que a discrepância calculada na altitude está relacionada ao arredondamento dos cálculos no software, ao ângulo zenital teórico calculado e a precisão do equipamento admitida.

- ✓ Para o P15 foram calculadas as acurácias de acordo com a fórmula de acurácia para os equipamentos do item 4.2.5.5 da NBR13133/21. As tabelas seguiram o padrão de inserção de acordo com a apresentada para o ponto P1 no ASTEGEOTOP, segui os dados de entrada inserido no software:

Figura 32 - Dados de entrada no Astgeotop para pequena distância

Fonte: Astgeotop (2019)

Inserido os dados de entrada para o ponto P15, considerando o equipamento mais preciso, com precisão angular de 2" e acurácia de 0,006 m, foram obtidos os seguintes resultados:

Figura 33 - Resultado da análise considerando o equipamento mais preciso

RESULTADOS REFERENTES AOS PARÂMETROS						
EST	X	sigmaX	Y	sigmaY	Z	sigmaZ
P15	5174407,942580	0,003565	-3618650,009030	0,002995	-897888,696122	0,002501
Matriz Variância-Covariância dos Parâmetros Ajustados						
P15	Exa					
0,000013	-0,000006	-0,000002				
-0,000006	0,000009	0,000003				
-0,000002	0,000003	0,000006				
Elipsoide dos Erros						
Semieixos do elipsoide dos erros						
máximo	=	0,00425				
intermediário	=	0,00243				
mínimo	=	0,00199				
Erro Esférico						
Erro esférico (Ep)						
Ep = 0,0053						

Fonte: Astgeotop (2019)

Tabela 29 – Comparação entre valor Calculado e teórico para P15 usando equipamento menos preciso

Equipamento menos preciso							
Descrição	ID_Pto	Latitude	Longitude	Altitude	Discrepância Latitude (m)	Discrepância Longitude(m)	Discrepância Altitude(m)
Valor Teórico	P15	- 8°08'49,55611"	- 34°57'59,33159"	10,316	0	0,001544	0,018
Valor calculado	P15	- 8°08'49,55611"	- 34°57'59,33154"	10,298			

Fonte: Autora (2022)

Para pequenas distâncias e com equipamento mais preciso foi obtido um erro esférico de 0,005 m e as discrepâncias apresentadas estão dentro do esperado, ou seja, utilizando a triangulateração, as discrepâncias encontradas foram de 2 cm na altitude e de 1 mm na longitude, conforme tabela 25.

Realizada a análise para o equipamento mais preciso, foi alterada a precisão do equipamento para acurácia de 0,03 m e precisão angular de 7", segue os dados de entrada e resultados:

Figura 34 - Dados de entrada no Astgeotop para pequena distância

AJUSTAMENTO DE REDES GEODÉSICAS 3D

Arquivos Aplicativos Limpar Ajuda

Prof. Dr. Sílvia Jacks dos Anjos Garnês
Departamento de Eng. Cartográfica/UFPE
Ajustamento de Redes Geodésicas 3D © Versão 2019.02.26

☐ Coordenadas SGL(x,y,z) ☐ Coordenadas SCG(X,Y,Z) ☒ Coord. geodésicas (lat,long,h) ☒ Ativa Transformação

Observações de Distâncias Inclinadas

Linha	Estação	Pto Visado	Nome Lado	Dist. Inclinada(m)	Precisão(m)
1	V14	P15	I1	1160,439	0,03
2	V17	P15	I2	1565,115	0,03

Observações de Ângulos Horizontais Horários

Linha	Pto Ré	Estação	Pto Vante	Ang.(gg°mm' ss,ss")	Precisão(")
1	V13	V14	P15	204°35' 56,1"	7
2	V18	V17	P15	194°20' 36,7"	7

Observações de Ângulos Zenitais

Linha	Estação	Pto Vante	Direção	Ang.(gg°mm' ss,ss")	Precisão(")
1	V14	P15	Z1	91°51' 24,13"	7
2	V17	P15	Z2	89°41' 50,28"	7

Injunções de Posição

Linha	Estação	Lat+/- (gg°mm' ss,ssss")	Long+/- (gg°mm' ss,ssss")	h(m)
1	V14	-8°08' 14,78564"	-34°57' 44,57140"	47,809
2	V17	-8°09' 14,12515"	-34°57' 14,54305"	1,856
3	V18	-8°09' 17,41850"	-34°57' 01,75272"	8,624
4	V13	-8°08' 06,92674"	-34°57' 44,80147"	53,072

Injunções de direção

Linha	Estação	Pto visado	Az. Geodésico (gg°mm' ss,ss")
1			
2			

Parâmetros iniciais

Linha	Estação	Lat+/- (gg°mm' ss,ssss")	Long+/- (gg°mm' ss,ssss")	h(m)
1	P15	-8°08' 52,55611"	-34°57' 55,33159"	11,317

Método Solução

☒ Gauss-Newton

☐ GNMG (Garnês, 2001)

Cond. Armijo

Passo Lambda

Tol. convergência

Max erro **1e-6**

Max Iter **1000**

Aplicar Correção do Desvio da Vertical ☒

Fonte: Astgeotop (2019)

Figura 35 - Resultado da análise considerando o equipamento mais preciso

REFERENTES AOS PARÂMETROS					
X	sigmaX	Y	sigmaY	Z	sigmaZ
5174407,941790	0,003180	-3618650,009160	0,002928	-897888,696363	0,002815
Covariância-Covariância dos Parâmetros Ajustados			Elipsoide dos Erros		Erro Esférico
Exa			Semieixos do elipsoide dos erros		Erro esférico (Ep)
010	-0,000002	-0,000002	máximo	= 0,00367	$Ep=raiz(sx^2+sy^2+sz^2)$
002	0,000009	0,000002	intermediário	= 0,00267	Ep= 0,0052
002	0,000002	0,000008	mínimo	= 0,00244	

Fonte: Astegeotop (2019)

Tabela 30 – Comparação entre valor Calculado e teórico para P15 usando equipamento menos preciso

Equipamento menos preciso							
Descrição	ID_Pto	Latitude	Longitude	Altitude	Discrepância Latitude (m)	Discrepância Longitude(m)	Discrepância Altitude(m)
Valor Teórico	P15	- 8°08'49,55611"	- 34°57'59,33159"	10,316	0	0,001544	0,018
Valor calculado	P15	- 8°08'49,55611"	- 34°57'59,33154"	10,298			

Fonte: Autora (2022)

Em pequenas distâncias constatou-se que independente do equipamento utilizado as discrepâncias calculadas foram praticamente iguais.

4.1.2 Análise da Rede de Referência por Ajustamento da Linha de base

Seguindo o fluxograma metodológico para análise da Rede, o último item a ser analisado é o ajustamento da linha de base para execução de rastreamento por GNSS, nesta etapa foi realizada a análise da acurácia do ponto teórico calculado simulando as linhas de base, ou seja, definimos duas linhas base de maior e menor distância e determinamos o desvio padrão por mínimos quadrados, conforme rotina desenvolvida no matlab, disponível no apêndice B. Os pontos analisados foram os mesmos da rede clássica, P01 para longas distâncias e P15 para pequenas distâncias. Segue abaixo a análise e resultados:

Figura 36 - Dados de Entrada para pequena

```

13
14 % Primeiro Ponto de Análise linha de base maior
15 % Injunções posicionais
16 % X1=[5172288.284;-3619866.634;-905080.386] % V26
17 % X2=[5170316.637;-3625517.385;-894064.687] % V10
18 % Posicao do Ponto a estimar dentro grid Aleatorio
19 % Xp=[5167073.2559;-3628187.6157;-902296.5221] % VP1
20
21 % Primeiro ponto de Análise linha de base menor |
22 % Injunções posicionais
23 - X1=[5175317.0559;-3617134.9586;-898735.7811] % V18
24 - X2=[5174849.5327;-3618416.0357;-896598.3170] % V13
25 % Posicao do Ponto a estimar dentro grid Aleatorio
26 - Xp=[5174407.9571;-3618650.0209;-897888.6987] % VP15
27

```

Fonte: Autora (2022)

Figura 37 - Resultado do desvio padrão para linha de base menor - Ponto P15

```

desvpad =
    0.006731850442584
    0.006731850442584
    0.009620149314994
fx >>

```

Fonte: Autora (2022)

Figura 38 - Resultado do desvio padrão para linha de base maior - Ponto P1

```

desvpad =
    0.011377521572728
    0.011377521572728
    0.014266265113225
fx >>

```

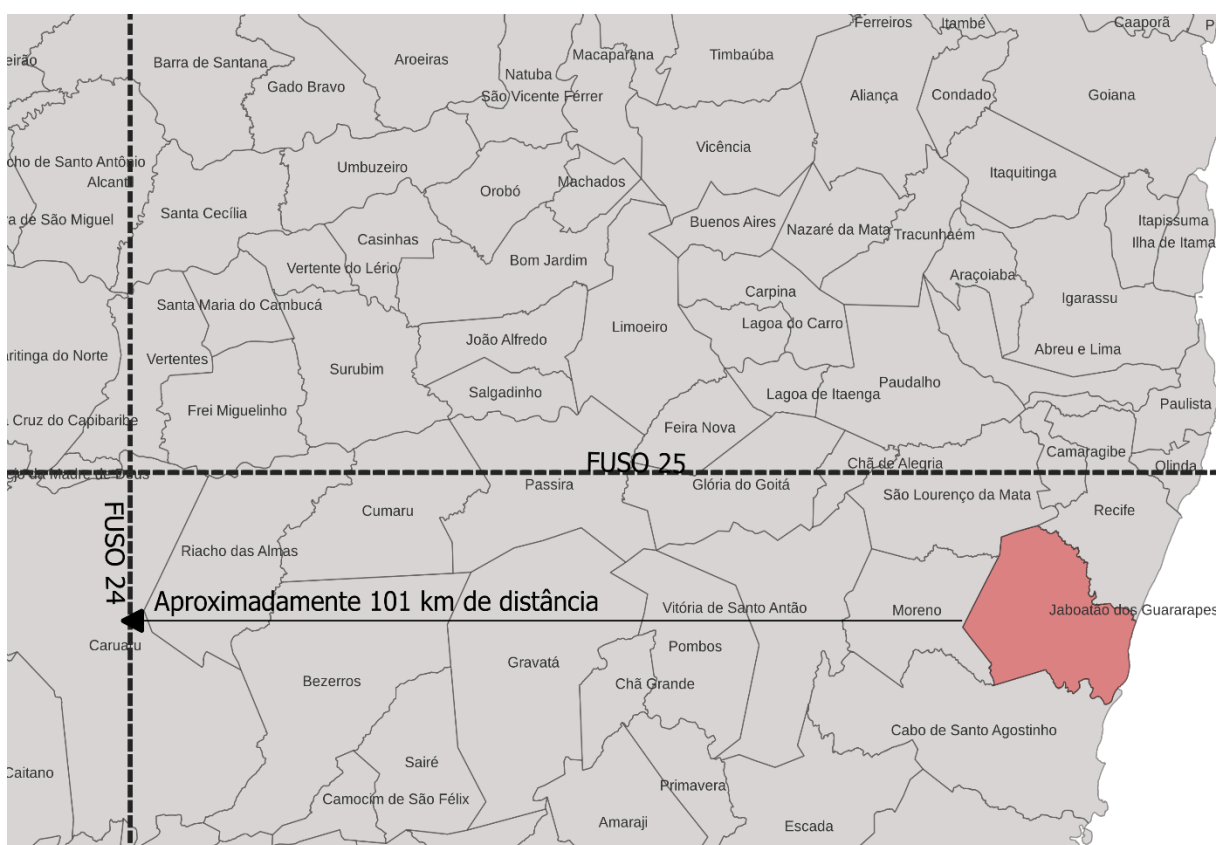
Fonte: Autora (2022)

De acordo com os resultados dos desvios padrões calculados conclui-se que quanto maior a linha de base, maior é o desvio padrão, pois obtivemos um desvio padrão de 7 mm para uma linha de base de aproximadamente 2000 m e para linha de base de aproximadamente 10,5 km obteve-se um desvio padrão de 1 cm, ou seja, quanto maior a linha de base, maior é o desvio padrão e menor é acurácia.

4.2 FATOR DE ESCALA E FATOR DE QUADRÍCULA PARA PROJEÇÃO UTM

Análise do fator de escala para projeção UTM sucedeu a partir de pontos bem distribuídos pelo município em diferentes altitudes para observar se a altitude interfere na determinação das distorções. Foram consideradas distância máxima de 1000 m e a média das testadas dos loteamentos de 250 m, essas análises são importantes pela popularização que a projeção teve no país, inclusive é muito casual o uso de transporte de coordenada em projeção UTM, portanto é imprescindível mensurar essas distorções. É importante observar que Jaboatão não se encontra na borda de fuso o que diminui a influência das distorções. Todas as fórmulas utilizadas estão descritas no item 2.5. O processamento deu-se pelo Astogeotop – módulo fator de quadrícula. Segue abaixo as análises e resultados:

Figura 39 - Distância do município para borda do fuso



Fonte: autora (2022)

Tabela 31 – Resultado da análise do fator de quadricula

Fator de escala	Fator de Elevação	Fator de Quadricula
1,000167403028850	0,999999355734363	1,000168047402750
1,000173508869500	0,999999409055404	1,000174099916980
1,000160177942200	0,999999450894974	1,000160727135490
1,000160618330390	0,999999516485261	1,000161101923020
1,000160661984490	0,999999545112626	1,000161116945160
1,000147490842310	0,999999723795514	1,000147767087610
1,000185803790410	0,999999844753120	1,000185959066160
1,000176088581980	0,999999862841505	1,000176225764640
1,000152837011000	0,999999940386445	1,000152896633670
1,000194730786160	1,000000133855120	1,000194596904990
1,000195628158940	1,000000273215470	1,000195354890100
1,000175070919940	1,000000358782240	1,000174712075020
1,000151403855610	1,000000495311990	1,000150908468870
1,000187937819590	1,000000621459490	1,000187316243690
1,000165631800150	1,000001176230150	1,000164455376570
1,000181444261300	1,000002803258570	1,000178640501960
1,000195830204190	1,000003360865140	1,000192468692180
1,000177634241740	1,000003514060080	1,000174119569790

1,000202416829930	1,000003842649180	1,000198573417700
1,000196633437440	1,000003884961100	1,000192747727520
1,000192686168640	1,000004020070710	1,000188665339480
1,000192123142000	1,000004356677300	1,000187765646670
1,000175662212510	1,000004668901150	1,000170992513010
1,000207842343610	1,000004801820340	1,000203039548300
1,000203051940450	1,000005247585860	1,000197803316600
1,000196824224010	1,000005512466620	1,000191310702790
1,000201629398670	1,000005642379340	1,000195985913500
1,000207031769450	1,000006990684570	1,000200039686470
1,000228909734830	1,000007776834420	1,000221131180710
1,000179375673350	1,000008105882850	1,000171268402220
1,000199951238010	1,000008465748130	1,000191483868820
1,000214589007970	1,000008645732200	1,000205941495260
1,000222358101430	1,000008856328060	1,000213499882550
1,000223729596250	1,000009091007870	1,000214636637110
1,000195178959880	1,000009440018730	1,000185737187780
1,000195178959880	1,000009440018730	1,000185737187780
1,000215639559020	1,000009747564340	1,000205889987760
1,000236467636970	1,000011786535990	1,000224678452800
1,000207503304930	1,000011923999070	1,000195576973790
1,000216131861830	1,000012884391480	1,000203244851670

1,000208306968050	1,000014028693470	1,000194275549150
1,000233621199830	1,000014130300230	1,000219487798170
1,000232476137570	1,000014920865770	1,000217552025730
1,000226307172580	1,000015017585460	1,000211286414110
1,000226968556110	1,000017192926080	1,000209772023440

Fonte: Astegeotop (2019)

Tabela 32 – Resultado da análise para distâncias diferentes

Latitude	Longitude	Alt. Orto.	Distância Topográfica	Distância UTM	Distorção em 1000 m	Testada Média Jaboatão	Distorção em 250 m
8° 14' 15.93787" S	34° 56' 37.56583" W	1,785	1000	1000,168	0,168	250	0,042
8° 11' 57.91657" S	34° 57' 14.41329" W	1,947	1000	1000,1741	0,1741	250	0,044
8° 11' 58.00078" S	34° 55' 52.21542" W	2,327	1000	1000,1607	0,1607	250	0,040
8° 10' 46.64918" S	34° 55' 54.59776" W	2,684	1000	1000,1611	0,1611	250	0,040
8° 11' 52.07161" S	34° 55' 55.18804" W	2,918	1000	1000,1611	0,1611	250	0,040

Continuação da Tabela 32 – Resultado da análise para distâncias diferentes

8° 9' 15.30227" S	34° 54' 32.28803" W	3,992	1000	1000,1478	0,1478	250	0,037
8° 11' 18.40170" S	34° 58' 29.18208" W	4,599	1000	1000,186	0,186	250	0,046
8° 9' 12.75354" S	34° 57' 29.39213" W	4,712	1000	1000,1762	0,1762	250	0,044
8° 10' 56.47025" S	34° 55' 6.23431" W	5,44	1000	1000,1529	0,1529	250	0,038
8° 12' 30.17249" S	34° 59' 23.48056" W	6,437	1000	1000,1946	0,1946	250	0,049
8° 12' 25.70092" S	34° 59' 28.85769" W	7,319	1000	1000,1954	0,1954	250	0,049
8° 11' 38.05806" S	34° 57' 23.88358" W	7,96	1000	1000,1747	0,1747	250	0,044
8° 9' 24.23325" S	34° 54' 56.83499" W	8,889	1000	1000,1509	0,1509	250	0,038
8° 11' 1.60472" S	34° 58' 42.02908" W	9,521	1000	1000,1873	0,1873	250	0,047
8° 6' 35.58549" S	34° 56' 24.38549" W	13,015	1000	1000,1645	0,1645	250	0,041
8° 7' 7.92901" S	34° 58' 1.45149" W	23,315	1000	1000,1786	0,1786	250	0,045
8° 3' 39.81893" S	34° 59' 27.44232" W	26,756	1000	1000,1925	0,1925	250	0,048
8° 7' 44.79280" S	34° 57' 38.40453" W	27,865	1000	1000,1741	0,1741	250	0,044
8° 4' 48.03238" S	35° 0' 7.27057" W	29,832	1000	1000,1986	0,1986	250	0,050
8° 4' 38.99923" S	34° 59' 32.56330" W	30,107	1000	1000,1927	0,1927	250	0,048
8° 6' 40.63417" S	34° 59' 9.41281" W	31,013	1000	1000,1887	0,1887	250	0,047
8° 6' 1.31636" S	34° 59' 5.82250" W	33,159	1000	1000,1878	0,1878	250	0,047
8° 6' 25.32881" S	34° 57' 25.96140" W	35,188	1000	1000,171	0,171	250	0,043
8° 3' 35.34585" S	35° 0' 39.27263" W	35,895	1000	1000,203	0,203	250	0,051
8° 3' 55.59729" S	35° 0' 10.80509" W	38,743	1000	1000,1978	0,1978	250	0,049
8° 3' 45.01597" S	34° 59' 33.44138" W	40,439	1000	1000,1913	0,1913	250	0,048
8° 7' 15.32322" S	35° 0' 3.29818" W	41,283	1000	1000,196	0,196	250	0,049

8° 7' 46.38068" S	35° 0' 35.70769" W	49,82	1000	1000,2	0,2	250	0,050
8° 6' 41.81126" S	35° 2' 44.54660" W	54,819	1000	1000,2211	0,2211	250	0,055
8° 8' 11.15260" S	34° 57' 49.16115" W	57,057	1000	1000,1713	0,1713	250	0,043
8° 12' 12.75048" S	34° 59' 54.74811" W	59,392	1000	1000,1915	0,1915	250	0,048
8° 3' 12.00980" S	35° 1' 19.19983" W	60,316	1000	1000,2059	0,2059	250	0,051
8° 7' 4.52977" S	35° 2' 6.22191" W	61,688	1000	1000,2135	0,2135	250	0,053
8° 7' 3.31772" S	35° 2' 14.27956" W	63,178	1000	1000,2146	0,2146	250	0,054
8° 10' 57.87797" S	34° 59' 25.71280" W	65,546	1000	1000,1857	0,1857	250	0,046
8° 10' 57.87797" S	34° 59' 25.71280" W	65,55	1000	1000,1857	0,1857	250	0,046
8° 3' 22.07779" S	35° 1' 25.46604" W	67,318	1000	1000,2059	0,2059	250	0,051
8° 4' 47.68258" S	35° 3' 28.05581" W	80,274	1000	1000,2247	0,2247	250	0,056
8° 6' 23.39516" S	35° 0' 38.09773" W	81,24	1000	1000,1956	0,1956	250	0,049
8° 11' 5.72598" S	35° 1' 30.73131" W	87,43	1000	1000,2032	0,2032	250	0,051
8° 10' 27.16656" S	35° 0' 44.11445" W	94,686	1000	1000,1943	0,1943	250	0,049
8° 10' 55.81532" S	35° 3' 13.37884" W	95,318	1000	1000,2195	0,2195	250	0,055
8° 8' 47.78886" S	35° 3' 6.03640" W	100,282	1000	1000,2176	0,2176	250	0,054
8° 10' 35.97670" S	35° 2' 30.50310" W	100,963	1000	1000,2113	0,2113	250	0,053
8° 11' 1.70642" S	35° 2' 34.51398" W	114,802	1000	1000,2098	0,2098	250	0,052

Fonte: Astgeotop (2019)

Tabela 33 – Resultado das distorções

Distorção em 1000 m		Distorção em 250 m	
Média	0,192	Média	0,048
Max	0,225	Max	0,056
Min	0,148	Min	0,037
Erro médio Quadrático	0,169	Erro médio Quadrático	0,042

Fonte: Autora (2022)

O fator de quadrícula é a composição do fator de escala e do fator de elevação, todos os cálculos foram executados no Astgeotop utilizando o módulo para determinação do fator de quadrículas, onde os resultados estão representados na tabela 26, destes resultados encontrado para o fator de quadrícula é possível determina as distorções para diferentes distâncias demonstrada na tabela 27.

Portanto foi observado que as maiores distorções estão relacionadas com altitude e longitude, como município se apresenta distante da borda do fuso, em uma visada de 1000 m foi encontrado como máxima distorção 22 cm e considerando a testada de quadra de 250 m foi observado uma distorção máxima de 5 cm, portanto considerando pequenas distâncias o efeito da distorção do fator de escala UTM é mínima.

4.3 MODELO GEOIDAL

Segundo o termo de referência produzido pelo município deveria ser gerado pela empresa contratada o mapa geoidal a partir do rastreamento de referências de nível (RRNN) de 1º ordem do IBGE ou dos vértices da rede de referência cadastral planialtimétricas, se fosse utilizar a rede de referência seria necessário realizar o nivelamento geométrico dos pontos. A empresa contratada gerou o mapa geoidal a partir de RN do IBGE e da rede de referência conforme tabela 14. Para geração do mapa geoidal foi preciso realizar o nivelamento geométrico dos pontos e o rastreio GNSS dos mesmos pontos, essa metodologia foi executada para os vértices da rede de referência.

A análise estatística dos dados e comparação do mapa geoidal desenvolvido pela empresa com os modelos desenvolvidos pelo IBGE, tem por objetivo determinar o modelo matemático e analisar se o mapa geoidal desenvolvido pela empresa foi oriundo dos modelos do IBGE. Realizado a análise estatística e validação do modelo geoidal a proposta é gerar um modelo quase geoide com base no HgeoHNOR e o comparamos com o mapgeo 2015, pois nas especificações do IBGE o mesmo relata que o HgeoHNOR surgir com base no mapgeo2015, segue abaixo as análises e resultados:

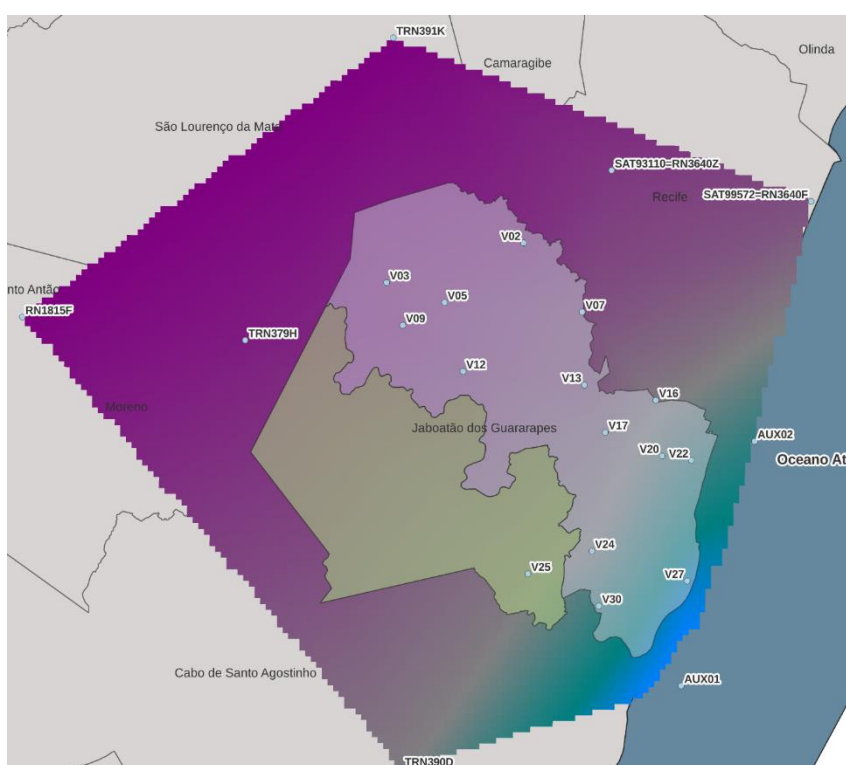
Tabela 34 – Comparação entre modelos adotados

EMPRESA CONTRATADA				Mapgeo2010		Mapgeo 2015	
PONTO	Latitude	Longitude	H ort. (m)	H.ort.(m)	Discrepância (m)	H.ort.(m)	Discrepância (m)
V02	-8,044615685	-34,59129381	33,9498	34,1119	0,1621	34,0602	0,1104
V03	-8,054218702	-35,02315821	57,7025	57,8495	0,147	57,7635	0,061
V05	-8,06102986	-35,01075267	53,9817	54,1279	0,1462	54,0531	0,0714
V07	-8,06237194	-34,57480064	66,2539	66,3993	0,1454	66,3406	0,0867
V09	-8,064264554	-35,02081376	52,365	52,5395	0,1745	52,4612	0,0962
V12	-8,074784258	-35,00407779	50,0776	50,2469	0,1693	50,172	0,0944
V13	-8,080692674	-34,57448015	58,5953	58,7791	0,1838	58,7189	0,1236
V16	-8,082858666	-34,56013556	10,4718	10,6114	0,1396	10,5761	0,1043
V17	-8,091412514	-34,57145431	7,452	7,6058	0,1538	7,5775	0,1255
V20	-8,094746846	-34,5552145	9,6367	9,7493	0,1126	9,7403	0,1036
V22	-8,09534876	-34,55096668	5,4227	5,5199	0,0972	5,5152	0,0925
V24	-8,120204407	-34,57338721	6,8143	6,9371	0,1228	6,9776	0,1633
V25	-8,123396639	-34,59066919	4,9548	5,0874	0,1326	5,0779	0,1231
V27	-8,124410587	-34,55158054	4,7331	4,7512	0,0181	4,7845	0,0514
V30	-8,131960295	-34,572386	2,4282	2,4887	0,0605	2,5297	0,1015

Fonte: Autora (2022)

A comparação entre os modelos que resultou nas análises das discrepâncias demonstradas na tabela 29, comprovou que o mapa geoidal desenvolvido pela empresa contratada representado por uma raster (figura 33), onde não é possível realizar interpolações não foi gerado a partir de nenhum modelo do IBGE, ou seja, foi desenvolvido um mapa geoidal local no qual não conseguimos identificar o modelo matemático utilizado. Neste contexto iniciamos uma análise com os modelos matemáticos mais utilizados a partir do módulo modelo geoidal do software ASTGEOTOP, com o objetivo de determinar o modelo matemático, realizar a validação estatísticas dos pontos e propor o modelo quase geoide. Segue abaixo a ilustração do mapa geoidal:

Figura 40 - : Mapa geoidal gerado pela empresa contratada a partir dos pontos em destaque



Fonte: Autora (2022)

O Astegeotop possui quatro modelos matemáticos para ajuste e realiza testes estatísticos para detecção de erros grosseiros, são os testes: Tau Pope (1976), Data Snopping Baarba (1968), critério dos 2xsigma e os elementos de confiabilidade (Redundância, Coeficiente Interno, N° de Absorção e Coeficiente externo). Os dados fornecidos pelo município detectou-se a presença de erros grosseiros para todos modelos matemáticos analisados, segue abaixo as análises:

Figura 41 - Análise para o modelo $N=Ax+By+C$

```

Estatísticas do modelo avaliado (N=Ax+By+C):
Média discrepância = 0,0122
Média absoluta = 0,0394
Discrepância máxima = 0,1718 --> V27
Discrepância mínima = -0,0458 --> V13
Amplitude = 0,2176
Erro médio quadrático = 0,0563

```

ELEMENTOS DE CONFIABILIDADE DO AJUSTAMENTO

Semi-eixos do Hiperelipsoide de Erros

semi-eixo 1 = 0,00622624724748756

semi-eixo 2 = 0,191698799815997

semi-eixo 3 = 0,103409928893525

Número de condição do Sistema Eq. Normais = 947,951378024285

Traço da matriz de redundância $tr(R) = 18$

ESTACAO	Nº.redund.	Conf.Int.	N.Absorção	Conf.Ext
RN3640F	0,7827	0,1267	0,0212	4,4411
RN3640Z	0,8987	0,1182	0,0019	1,8034
TRN391K	0,8904	0,1188	-0,0029	1,9690
TRN379H	0,9157	0,1171	-0,0013	1,4726
TRN390D	0,8466	0,1218	0,0082	2,8987
RN1815F	0,7422	0,1301	-0,0265	5,5577
V02	0,8978	0,0761	0,0042	1,8222
V03	0,5558	0,0409	-0,0052	12,7865
V05	0,8223	0,0450	0,0006	3,4584
V07	0,9980	0,4705	0,0000	0,0316
V09	0,9125	0,0641	0,0028	1,5337
V12	0,9975	0,2766	0,0001	0,0405
V13	0,9637	0,0840	0,0017	0,6018
V16	0,9122	0,0741	-0,0022	1,5396
V17	0,9439	0,0639	0,0009	0,9517
V20	0,9590	0,0943	-0,0023	0,6838
V22	0,8730	0,0644	-0,0124	2,3285
V24	0,2751	0,0314	0,0071	42,1649
V25	0,8362	0,0457	0,0031	3,1337
V27	0,9912	0,2066	-0,0015	0,1419
V30	0,9854	0,1431	-0,0009	0,2366

INTERPRETAÇÃO

- 1) O número de redundância vai de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1 mais ganho tem o ajustamento. Esse numero indica a contribuição da observação correspondente para os graus de liberdade do ajustamento
- 2) A confiabilidade interna indica uma probabilidade de 90% para detectar erros grosseiros acima dos valores mostrados ou a probabilidade de 10% em não detectar erros grosseiros abaixo dos valores mostrados.
- 3) O número de absorção indica o quanto um erro grosseiro na observação poderia afetar o cálculo do resíduo, então quanto menor esse valor, melhor.
- 4) A confiabilidade externa global indica o quanto os parâmetros estimados poderiam ser afetados na presença de erros grosseiros não detectados mostrados na confiabilidade interna, então quanto menor, melhor.

DETECÇÃO DE ERROS GROSSEIROS

1.Método: $|v_i| > 2 \cdot \text{sig}(v)$ [0,111661]

Observações que podem ter erros grosseiro!!

Critério $2 \times \text{sigma}$:

V27 Resíduo = 0,1703

2.Método: Data Snopping de Baarda(1968) para alfa=5%

ESTACAO	V(padronizado)	Decisão: $ V_p < 1,96$
RN3640F	-3,0856	Erro Grosseiro
RN3640Z	-0,6411	Ok
TRN391K	0,8980	Ok
TRN379H	0,5145	Ok
TRN390D	-1,7623	Ok
RN1815F	3,1587	Erro Grosseiro
V02	-2,1487	Erro Grosseiro
V03	1,1406	Ok
V05	-0,3052	Ok
V07	-0,1341	Ok
V09	-2,0010	Erro Grosseiro
V12	-0,4240	Ok
V13	-2,1827	Erro Grosseiro
V16	1,3293	Ok
V17	-0,9702	Ok
V20	2,3849	Erro Grosseiro
V22	6,0585	Erro Grosseiro
V24	-1,2442	Ok
V25	-1,6741	Ok
V27	3,3266	Erro Grosseiro
V30	1,7311	Ok

A observação de V22 é a mais indicada para ter erro gr
Desconsidere esse ponto como ponto de controle refaça

3.Método: tau de Pope(1976) para alfa=10%

ESTACAO	V(padronizado)	Decisão: $ V_p < 2,61$
RN3640F	-1,3885	Ok
RN3640Z	-0,2885	Ok
TRN391K	0,4041	Ok
TRN379H	0,2315	Ok
TRN390D	-0,7930	Ok
RN1815F	1,4214	Ok
V02	-0,9669	Ok
V03	0,5133	Ok
V05	-0,1373	Ok
V07	-0,0603	Ok
V09	-0,9004	Ok
V12	-0,1908	Ok
V13	-0,9822	Ok
V16	0,5982	Ok
V17	-0,4366	Ok
V20	1,0732	Ok
V22	2,7263	Erro Grosseiro
V24	-0,5599	Ok
V25	-0,7533	Ok
V27	1,4969	Ok
V30	0,7790	Ok

A observação de V22 é a mais indicada para ter erro grosseiro no modelo $N = Ax + By + C$.
Desconsidere esse ponto como ponto de controle refaça o ajustamento

Fonte: Astegeotop (2019)

Essas análises se postergaram por todos os modelos, segue na figura 42 os resultados finais e a discriminação dos pontos com a determinada exclusão dos que apresentaram erros grosseiros para execução do processamento novamente.

Figura 42 - Resultado das Estatísticas por Modelo Matemático

```

Estatísticas do modelo avaliado (N=Ax+By+Cxy+D):
Média discrepância = 0,0140
Média absoluta = 0,0325
Discrepância máxima = 0,1337 --> V27
Discrepância mínima = -0,0369 --> V24
Amplitude = 0,1706
Erro médio quadrático= 0,0461

```

```

Estatísticas do modelo avaliado (N=Ax+By+Cx^2+Dy^2+ E):
Média discrepância = 0,0110
Média absoluta = 0,0354
Discrepância máxima = 0,1618 --> V27
Discrepância mínima = -0,0490 --> V13
Amplitude = 0,2108
Erro médio quadrático= 0,0522

```

```

Estatísticas do modelo avaliado (N=Ax+By+Cxy+Dx^2+Ey^2+F):
Média discrepância = 0,0136
Média absoluta = 0,0293
Discrepância máxima = 0,1197 --> V27
Discrepância mínima = -0,0374 --> V24
Amplitude = 0,1571
Erro médio quadrático= 0,0410

```

Fonte: Astegeotop (2019)

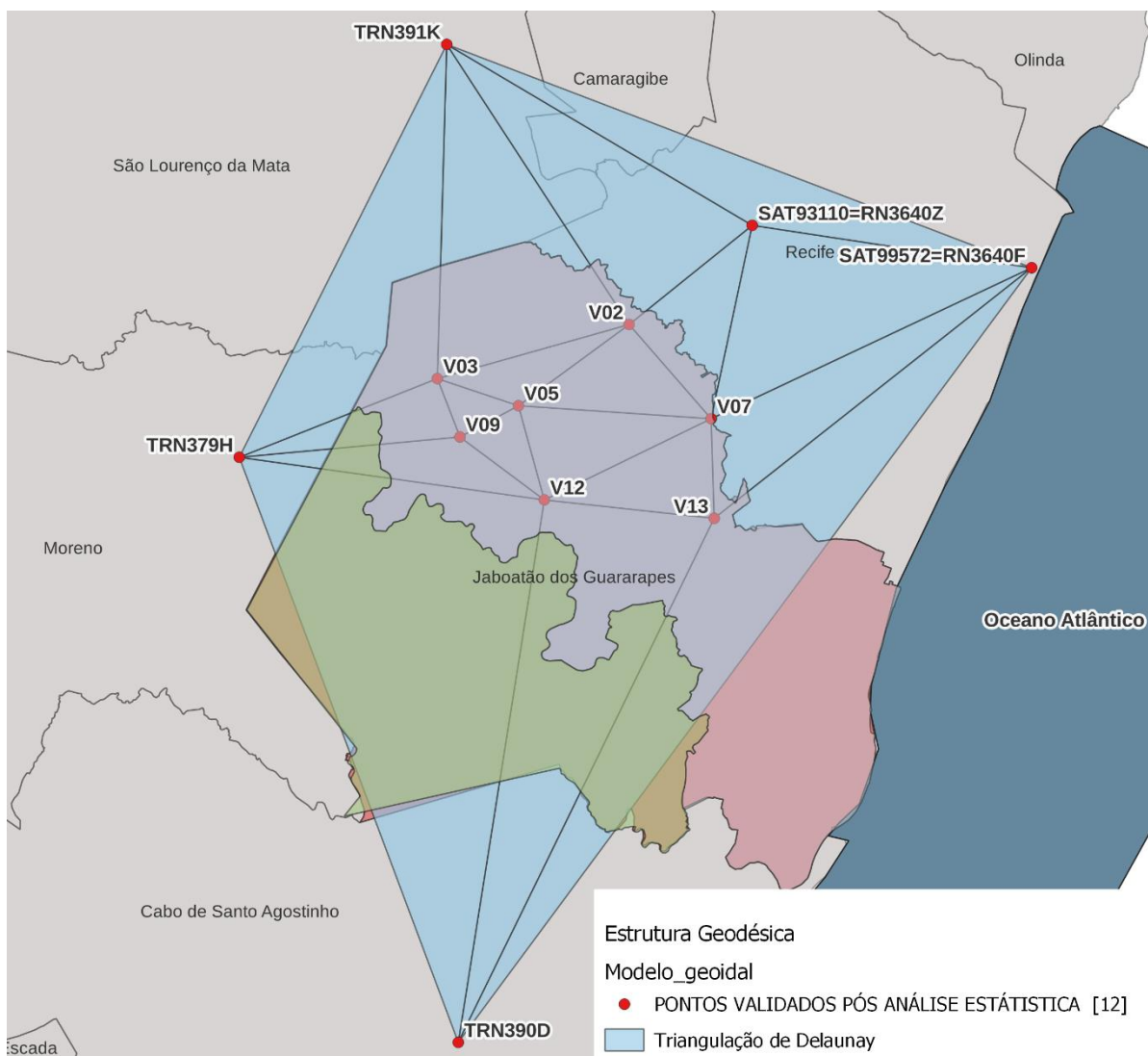
Concluída essa análise foram excluídos os pontos que apresentavam erros grosseiros, logo em um conjunto de 23 dados, pós análise estatística resultaram em 13 pontos. Segue os pontos validados na tabela 35:

Tabela 35 - Pontos validados pós análise estatística

,	Latitude	Longitude	Alt.Elíp.(m)
RN3640F	-8°03'47,38641"	-34°52'16,09960"	-2.269
RN3640Z	-8°03'03,46969"	-34°57'05,45911"	20.179
TRN391K	-7°59'56,05855"	-35°02'21,80570"	27.89
TRN379H	-8°07'03,71164"	-35°05'56,60250"	90.19
TRN390D	-8°17'09,73261"	-35°02'09,86489"	7.413
RN1815F	-8°06'30,91160"	-35°11'19,71752"	152.609
V02	-8°04'46,15685"	-34°59'12,93807"	28.547
V03	-8°05'42,18702"	-35°02'31,58209"	52.316
V05	-8°06'10,29860"	-35°01'07,52671"	48.556
V07	-8°06'23,71940"	-34°57'48,00643"	60.75
V09	-8°06'42,64554"	-35°02'08,13758"	46.977
V12	-8°07'47,84258"	-35°00'40,77787"	44.623
V13	-8°08'06,92674"	-34°57'44,80147"	53.072

Fonte: Autora (2022)

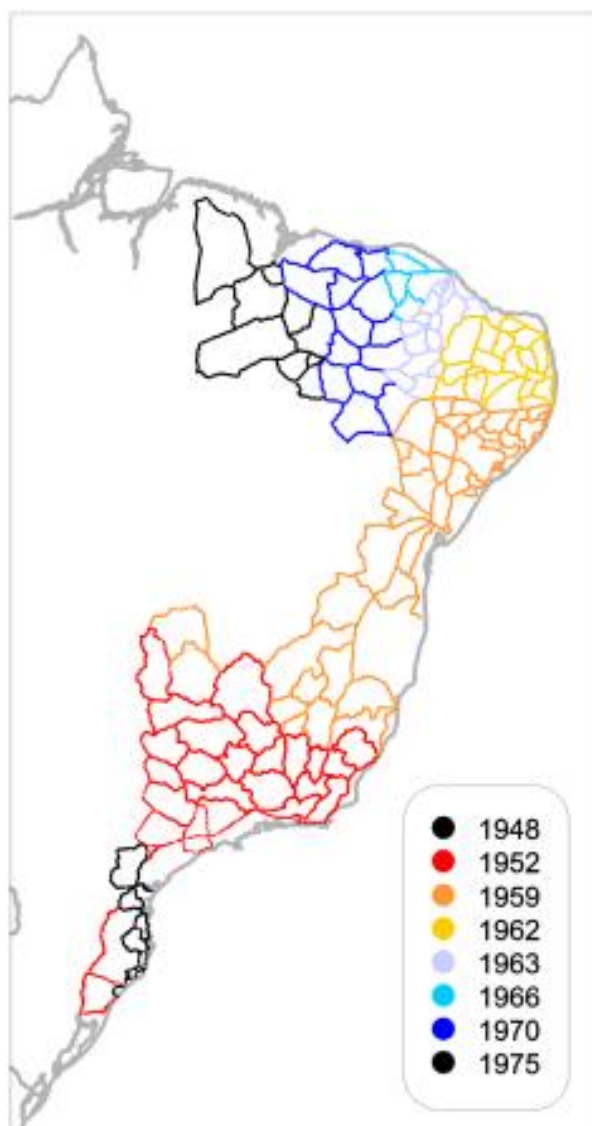
Figura 43- Representação espacial dos pontos Validados



Fonte: Autora (2022)

Os pontos que apresentaram erros grosseiros foram os próximos ao litoral do município, onde pode apresentar multicaminhos, no entanto para afirmar se essa foi a causa são necessários estudos mais aprofundados. Na Tese de doutorado de LUNA, Rejane Maria Rodrigues, foi realizado um estudo histórico dos nivelamentos geométricos feitos pelo IBGE de primeira ordem 2,5 mm/km e detectou a presença de subsidência, o objetivo da tese era detectar a subsidência, pois os lençóis freáticos tinham baixados 120 m, por conta dos poços artesianos construídos nos prédios do litoral, logo se foi detectado subsidência e o ajustamento da rede do IBGE (RAAP) de 1º ordem começou na campanha de 1943, em Pernambuco a campanha foi em 1962 (figura 37), seria interessante o IBGE executar uma nova campanha para validar a rede do litoral da região metropolitana do Recife.

Figura 44 - Primeiro ajustamento da RAAP



Fonte: IBGE (2019)

Realizado a validação dos pontos, foi gerado o modelo matemático $N = Ax + By + C$ utilizando a grade do HgeoHNOR2020, transformando as altitudes ortométricas em normal, de acordo com o modelo do HgeoHNOR. Segue abaixo os resultados para o modelo geoidal gerado para o município de Jaboatão dos Guararapes:

Figura 45 - Resultado do modelo gerado com pontos fixos

Estatísticas do modelo avaliado ($N=Ax+By+C$):

Média discrepância	=	-0,0034	
Média absoluta	=	0,0160	
Discrepância máxima	=	0,0250	--> V07
Discrepância mínima	=	-0,0272	--> V09
Amplitude	=	0,0522	
Erro médio quadrático	=	0,0176	

<					
Ptos->	TRN391K	TRN379H	TRN390D	RN1815F	V02
Tipo->	Fixo		Fixo	Fixo	

Fonte: Astegeotop (2019)

Figura 39: Resultado do modelo gerado sem pontos fixos

Estatísticas do modelo avaliado ($N=Ax+By+C$):

Média discrepância	=	-0,0009	
Média absoluta	=	0,0116	
Discrepância máxima	=	0,0250	--> V07
Discrepância mínima	=	-0,0272	--> V09
Amplitude	=	0,0522	
Erro médio quadrático	=	0,0143	

<					
Ptos->	TRN391K	TRN379H	TRN390D	RN1815F	V02
Tipo->					

Fonte: Astegeotop (2019)

É importante observar que o modelo gerado apresenta discrepância máxima de 2 cm no vértice da rede de referência V07 e discrepância mínima de 3 cm no vértice V09, resultando em um modelo com um ótimo comportamento estatístico (figura 40), no entanto esse modelo não atende a todo o município conforme figura 36.

Definido o modelo matemático a partir do software ASTGEOTOP foi calculado o modelo para o quase geoide a partir do grid do HgeoHNOR disponibilizado pelo IBGE.

Figura 46 - Resultado estatístico do modelo gerado

ELEMENTOS DE CONFIABILIDADE DO AJUSTAMENTO				
Semi-eixos do Hiperelipsoide de Erros				
semi-eixo 1 = 0,00364719102607805				
semi-eixo 2 = 0,097773654435629				
semi-eixo 3 = 0,0942783077365134				
Número de condição do Sistema Eq. Normais = 718,66529775735				
Traço da matriz de redundância $tr(R) = 8$				
ESTACAO	Nº.redund.	Conf.Int.	N.Absorção	Conf.Ext
TRN391K	0,7447	0,1299	0,0002	5,4839
TRN379H	0,8708	0,1201	0,0018	2,3740
TRN390D	0,2922	0,2073	-0,0032	38,7620
RN1815F	0,4425	0,1685	-0,0029	20,1576
V02	0,7830	0,0815	0,0041	4,4345
V03	0,5450	0,0413	-0,0034	13,3554
V05	0,7363	0,0475	-0,0031	5,7310
V07	0,9922	0,4719	-0,0002	0,1251
V09	0,8933	0,0647	0,0029	1,9121
V12	0,9911	0,2775	0,0001	0,1441
V13	0,7089	0,0979	-0,0015	6,5701

DETECÇÃO DE ERROS GROSSEIROS		
1.Método: $ v_i > 2 \cdot \text{sig}(v)$ [0,026223]		
Os resultados em análise preliminar estão dentro do esperado!		

2.Método: Data Snopping de Baarda(1968) para alfa=5%		
ESTACAO	V(padronizado)	Decisão: $ V_p < 1,96$
TRN391K	-0,0218	Ok
TRN379H	-0,4670	Ok
TRN390D	0,0886	Ok
RN1815F	0,1214	Ok
V02	-0,9247	Ok
V03	0,7194	Ok
V05	0,9759	Ok
V07	0,2117	Ok
V09	-1,6804	Ok
V12	-0,1098	Ok
V13	0,2149	Ok

3.Método: tau de Pope(1976) para alfa=10%		
ESTACAO	V(padronizado)	Decisão: $ V_p < 2,26$
TRN391K	-0,0291	Ok
TRN379H	-0,6252	Ok
TRN390D	0,1186	Ok
RN1815F	0,1625	Ok
V02	-1,2380	Ok
V03	0,9632	Ok
V05	1,3066	Ok
V07	0,2835	Ok
V09	-2,2497	Ok
V12	-0,1470	Ok
V13	0,2877	Ok

----- ANÁLISE PONTO A PONTO -----

ESTACAO	Latitude	Longitude	H.Contr.	H.Modelo	Discrep.
TRN391K	-7°59`56,05855"	-35°02`21,80570"	33,1421	33,1428	-0,0007
TRN379H	-8°07`03,71164"	-35°05`56,60250"	95,5331	95,5471	-0,0140
TRN390D	-8°17`09,73261"	-35°02`09,86489"	13,0664	13,0618	0,0046
RN1815F	-8°06`30,91160"	-35°11`19,71752"	157,8620	157,8569	0,0051
V02	-8°04`46,15685"	-34°59`12,93807"	33,9498	33,9686	-0,0188
V03	-8°05`42,18702"	-35°02`31,58209"	57,7025	57,6951	0,0074
V05	-8°06`10,29860"	-35°01`07,52671"	53,9817	53,9701	0,0116
V07	-8°06`23,71940"	-34°57`48,00643"	66,2539	66,2289	0,0250
V09	-8°06`42,64554"	-35°02`08,13758"	52,3650	52,3922	-0,0272
V12	-8°07`47,84258"	-35°00`40,77787"	50,0776	50,0852	-0,0076
V13	-8°08`06,92674"	-34°57`44,80147"	58,5953	58,5900	0,0053

Fonte: Astegeotop (2019)

Realizado a validação do modelo, onde a discrepância máxima foi de 3 cm, é proposto a comparação entre o modelo gerado para o Hgeohnor2020 e Mapgeo2015, de acordo com os resultados obtidos descrito na tabela 36, a diferença entre os modelos é de 13 cm comprovando que Hgeohnor2020 foi gerado a partir das campanhas para modelar o mapgeo2015. Segue a tabela 36, com as discrepâncias entre os modelos:

Tabela 36 - Comparação entre os modelos

Modelo HgeoHnor2020					Mapgeo 2015		Análise
Pto	Latitude	Longitude	η (m)	H.Normal(m)	N(m)	H.ort.(m)	Discrepâncias
RN3640F	-8°03`47,38641"	-34°52`16,09"	5,8706	3,6016	5,7511	3,4821	0,1195
RN3640Z	-8°03`03,46969"	-34°57`05,45911"	-5,667	25,846	5,5379	25,7169	0,1291
TRN391K	-7°59`56,05855"	-35°02`21,80570"	5,5097	33,3997	5,3799	33,2699	0,1298
TRN379H	-8°07`03,71164"	-35°05`56,60250"	5,6195	95,8095	5,4861	95,6761	0,1334
TRN390D	-8°17`09,73261"	-35°02`09,86489"	5,8355	13,2485	5,7149	13,1279	0,1206
RN1815F	-8°06`30,91160"	-35°11`19,71752"	-5,614	158,223	5,4729	158,0819	0,1411
V02	-8°04`46,15685"	-34°59`12,93807"	5,6965	34,2435	5,5649	34,1119	0,1316
V03	-8°05`42,18702"	-35°02`31,58209"	5,6699	57,9859	5,5335	57,8495	0,1364

Continuação da Tabela 36– Comparação entre os modelos

V05	-8°06`10,29860"	-35°01`07,52671"	- 5,7072	54,2632	- 5,5719	54,1279	0,1353
V07	-8°06`23,71940"	-34°57`48,00643"	- 5,7798	66,5298	- 5,6493	66,3993	0,1305
V09	-8°06`42,64554"	-35°02`08,13758"	- 5,7003	52,6773	- 5,5625	52,5395	0,1378
V12	-8°07`47,84258"	-35°00`40,77787"	- 5,7596	50,3826	- 5,6239	50,2469	0,1357
V13	-8°08`06,92674"	-34°57`44,80147"	- 5,8364	58,9084	- 5,7071	58,7791	0,1293

N° de Observação	13
Max	0,1411
Min	0,1195
Média	0,131546154
Desvio padrão	0,006250549
EMQ	0,13168316

Fonte: Autora (2022)

4.4 CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM PEC-PCD

A classificação de acordo com a PEC-PCD é importante para determinar a acurácia dos insumos, onde os pontos de controle serão utilizados para validar os produtos (Ortofoto e MDT) do projeto PE3D e os insumos existentes no município. O ponto de controle usado na análise do MDT do PE3D, foram os pontos de controle fornecido pelo IBGE, que permitem a verificação da acurácia do modelo digital do terreno, no entanto por ter sido adquirido em eixo de vias, esses pontos só são indicados para validação altimétrica. A validação planimétrica das ortofotos será realizada a partir da análise dos pontos homólogos do conjunto de 437 pontos, conforme tabela 17, item 3.3.1.2 . A Classificação foi realizada de forma unidimensional para o MDT e bidimensional para as ortofotos, os pontos de controle utilizados para realizar a classificação foram nativos de fontes diferentes

4.4.1 Classificação do MDT – Projeto PE3D

O insumo produzido pelo projeto PE3D estão em escala 1: 5000; no processo de análise foram utilizados os 16 pontos de controle nativos do IBGE e executada a extração das altitudes

ortométricas do produto analisado, segue na figura 47 a análise da PEC-PCD:

Figura 47 - : Dados de Entrada para análise

Pontos Cartográficos (Carta, Plantas, Ortofotos, MDS, MDT)			Pontos de Controle (GNSS, Geodésia clássica, Topografia)		
Linha	campanha	z_extract	Linha	campanha	altitude_o
1	LC421	56,6716554870605	1	LC421	56,9290
2	LC413	8,78061182403564	2	LC413	8,6850
3	LC413	5,06712419891357	3	LC413	5,0180
4	LC413	57,524	4	LC413	57,7080
5	LC413	100,071744750977	5	LC413	100,1110
6	LC413	32,4703844299316	6	LC413	32,4580
7	LC413	95,8707102050781	7	LC413	95,7430
8	LC413	9,81533129119873	8	LC413	9,8780
9	LC413	58,5356691589355	9	LC413	58,6100
10	LC413	58,3789995422363	10	LC413	58,3910
11	LC413	27,7639997711182	11	LC413	27,6840
12	LC413	70,5386179199219	12	LC413	70,5350
13	LC413	6,27790100479125	13	LC413	6,0230
14	LC413	61,5845392456055	14	LC413	61,5670
15	LC413	96,8747690429688	15	LC413	96,7150
16	LC413	6,20445711517333	16	LC413	6,3690

Fonte: Astegeotop (2019)

Figura 48 - Análise Estatística

DISCREPÂNCIAS MÁXIMAS E MÍNIMAS

Tipo	Id	=	dz_extract
Máxima :	dLC413	=	0,356
Mínima :	dLC421	=	-0,156

MÉDIA, DESVIO PADRÃO e EMQ DAS DISCREPÂNCIAS

campanha	=	dz_extract
Média	=	0,101
D.Padrão	=	0,1325
EMQ	=	0,1636

TESTE QUI-QUADRADO PARA VERIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO A MÉDIA

Análise por componente, distribuição Unicaudal

Aceita-se as observações quando: $Q_{cal} \leq Q_{sup}$

Nível de significância do teste alfa=10%

Graus de liberdade = 15

Elementos	dz_extract
$Q_{sup} \rightarrow$	22,310
$Q_{cal} \rightarrow$	0,264
Conclusão $\rightarrow$	Normal

Fonte: Astegeotop (2022)

Na primeira análise foi observado tendências pelo teste de t-STUDENT nas amostras,

portanto foi preciso calibrar conforme apresentado no item 2.10.2, seguindo o método adotado pelo software. Segue abaixo as análises de tendências antes e após calibração e o teste estatístico validado para classificação:

Figura 49 - Tendência apresentada antes da calibração

```
ANÁLISE DE TENDÊNCIA PELO TESTE DE HIPÓTESE t-STUDENT
Graus de liberdade = 15
Nível de significância do teste = 10%
t_Crítico bi-caudal: percentil inferior = -1,753
t_Crítico bi-caudal: percentil superior = 1,753

RESULTADO DA TENDENCIOSIDADE
-----
                                tz
                                Tendenciosa
Estatística do teste =          3,0603
-----
Média                      0,101
-----
```

Fonte: Astegeotop (2022)

Figura 50 - Teste t-STUDENT pós da calibração

```
ANÁLISE DE TENDÊNCIA PELO TESTE DE HIPÓTESE t-STUDENT
Graus de liberdade = 15
Nível de significância do teste = 10%
t_Crítico bi-caudal: percentil inferior = -1,753
t_Crítico bi-caudal: percentil superior = 1,753

RESULTADO DA TENDENCIOSIDADE
-----
                                tz
                                Não tendenciosa
Estatística do teste =          0,0123
-----
Média                      0,000
-----
```

Fonte: Astegeotop (2022)

Figura 51 - Teste estatístico pós da calibração

```
DISCREPÂNCIAS MÁXIMAS E MÍNIMAS
Tipo      Id      dz_extract
Máxima :   dLC413   =      0,255
Mínima :   dLC421   =     -0,257

MÉDIA, DESVIO PADRÃO e EMQ DAS DISCREPÂNCIAS
campanha      dz_extract
Média         =      0,000
D.Padrão      =      0,1325
EMQ           =      0,1283
```

TESTE QUI-QUADRADO PARA VERIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO A MÉDIA
 Análise por componente, distribuição Unicaudal
 Aceita-se as observações quando: $Q_{cal} \leq Q_{sup}$
 Nível de significância do teste $\alpha=10\%$
 Graus de liberdade = 15

Elementos	dz_extract
Qsup ->	22,310
Qcal ->	0,264
Conclusão ->	Normal

ANÁLISE DE OUTLIERS (ERROS GROSSEIROS)

Aplicação do Critério 3Sigma

Não foram detectados outliers ou erros grosseiros pelo critério 3Sigma!

se o teste estatístico ainda indicar tendenciosidade, recomenda-se fazer a calibração do referencial

TESTE DE NORMALIDADE DE SHAPIRO-WILK

Análise por componente

Aceita-se a normalidade quando: $W_{cal} > W$

Elementos	dz_extract
W ->	0,906
Wcal ->	0,9876
Conclusão ->	Normais

Fonte: Astegeotop (2022)

Realizada a validação estatística é feito a classificação de acordo com o padrão de acurácia PEC-PCD, norma ET- ADGV/2016, com base no decreto nº 89817/84. O erro padrão calculado foi de 0,333, logo comparando o resultado calculado com a tabela de classificação, o insumo produzido em escala 1:5000 é classificado como Classe A. Segue a baixo a classificação:

Figura 52 - Resultado da Classificação

PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA - PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DIGITAIS
 PEC-PCD

TABELA DE CLASSIFICAÇÃO (PEC-PCD) NA ESCALA 1/5000

Classe PEC	Planimetria		Altimetria	
	EM(m)	EP(m)	EM(m)	EP(m)
Classe A	1,40	0,85	0,54	0,33
Classe B	2,50	1,50	1,00	0,67
Classe C	4,00	2,50	1,20	0,80
Classe D	5,00	3,00	1,50	1,00

CLASSIFICAÇÃO DO PRODUTO CARTOGRÁFICO PELA PEC

CLASSIFICAÇÃO PEC - ALTIMETRIA

Equidistância vertical das curvas de nível = 2,00m

Percentual $|dz| \leq E_{Max_PEC} = 100,0\%$

$EM_{PEC} = 0,128$

$EP_{PEC} = 0,333$

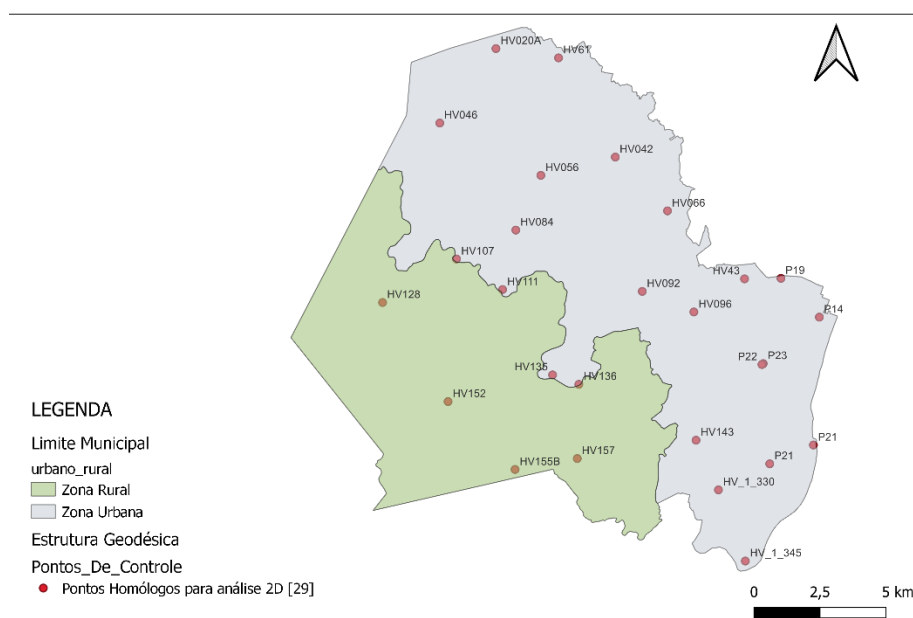
Conclusão: classe = A

Fonte: Astegeotop (2022)

4.4.2 Classificação das Ortofotos – Projeto PE3D

Para realizar a classificação das ortofotos foi apresentado um universo de 437 pontos de controle que foram rastreados em quinas de edificações, eixos de vias, meio fio, caixa de visita e dentre outros alvos. Realizada a análise de distribuição espacial e identificação de pontos homólogos; foi realizado uma fusão entre os pontos fornecido pelo ITEP e pela empresa contratada para obter uma distribuição homogênea e pontos foto identificáveis, desta forma foi selecionado 29 pontos para análise e classificação, pois de acordo com a análise de amostragem 20 pontos já seriam suficientes para executar a análise, segue a baixo a distribuição dos pontos, análises e resultados:

Figura 53 - Distribuição Espacial dos pontos de Controle



Fonte: Autora (2022)

Figura 54 - Análise para determinar tamanho da amostra

Amostragem

População: ☒ Finita ☐ Infinita

Intervalo de confiança: 90 %

$z(\alpha/2) = 1,65$

EQV: 2,00

Elementos da amostragem:

Planimetria CLASSE A

Erro Máximo (PEC): 1,40

Erro Padrão (PEC): 0,85 erro por amostra

Erro desejado da média: 0,281

N° Elemen. da População: 100

Escala: 1 / 5000

Tamanho amostra: 20

Fonte: Astegeotop (2022)

Dos 29 pontos analisados 6 apresentaram discrepâncias; foi detectado a presença de outliers e precisaram ser excluídos, logo o conjunto de dados analisado para executar a classificação foram de 23 pontos, segue a baixo a análise e classificação:

Figura 55 - Dados de Entrada

CLASSIFICAÇÃO CARTOGRÁFICA PELO PEC-PCD

Abrir Dados Relatório AMOST INT MDT ↑↓ Parear Discrep Outlier ~N(u,sig) Calibrar PEC-PCD Limpar

Tipo Entrada

☐ Unidimensional

☒ Bidimensional

☐ Tridimensional

Significância Estatística

Nível de significância

10 %

Escala Prod. Cartográfico

1 / 5000

Especifique a escala do produto para definir o PEC

Equidistância Vertical

EQV = 2,00

Especifique a diferença de nível entre curvas de nível

Pontos Cartográficos (Carta, Plantas, Ortofotos, MDS, MDT)

9	HV084	277499	9101305,699
10	HV135	278893,35	9095820,558
11	HV136	279890,161	9095461,975
12	HV042	281271,856	9104072,57
13	HV_1_330	285185,083	9091464,602
14	HV107	275247,744	9100212,679
15	P23	286882,381	9096248,159
16	P22	286836,667	9096213,658
17	P21	287130,421	9092452,024
18	HV_1_345	286205,821	9088769,912
19	P21_	288787,869	9093165,226
20	P39	288955,289	9097604,915
21	P14	289011,974	9098009,566
22	HV43	286175,396	9099459,177
23	HV155B	277469,646	9092239,139

Pontos de Controle (GNSS, Geodésia clássica, Topografia)

Linha	Ponto	Este_PT	Norte_PT
10	HV135	278892,919	9095820,331
11	HV136	279889,723	9095462,22
12	HV042	281271,575	9104072,511
13	HV_1_330	285184,633	9091464,769
14	HV107	275247,646	9100211,324
15	P23	286882,359	9096248,698
16	P22	286836,491	9096213,809
17	P21	287130,927	9092451,722
18	HV_1_345	286206,29	9088769,638
19	P21_	288787,715	9093164,753
20	P39	288954,45	9097604,48
21	P14	289012	9098009,25
22	HV43	286175,666	9099458,665
23	HV155B	277469,772	9092238,897

Fonte: Astegeotop (2022)

Figura 56 - Análise Estatística

MEDIA, DESVIO PADRAO e EMQ DAS DISCREPANCIAS

Ponto	dEste_Ort	dNorte_Ort	erro2D
Média	= 0,116	0,091	0,596
D.Padrão	= 0,4457	0,4829	0,2886
EMQ	= 0,4511	0,4809	0,6593

Obs1.: as tendências planimétrica e a planialtimétrica são as estimativas das médias dos erro2D e erro3D

Obs2.: as acurácias planimétrica e planialtimétrica dos pontos cartográficos são obtidas pelo Erro Médio Quadrático(EMQ)

Obs3.: a raiz quadrada da tendência ao quadrado mais o desvio padrão amostral ao quadrado resulta aproximadamente no EMQ

TESTE QUI-QUADRADO PARA VERIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO A MÉDIA

Análise por componente, distribuição Unicaudal

Aceita-se as observações quando: $Q_{cal} \leq Q_{sup}$

Nível de significância do teste $\alpha=10\%$

Graus de liberdade = 22

Elementos	dEste_Ort	dNorte_Ort	Erro2D
$Q_{sup} \rightarrow$	30,810	30,810	30,810
$Q_{cal} \rightarrow$	4,371	5,130	5,130
Conclusão $\rightarrow$	Normal	Normal	Normal

Obs1.: se houver alguma componente com conclusão anormal, verifique a possibilidade de outlier no ponto de máxima discrepância.

Obs2.: para uma verificação mais rigorosa quanto a normalidade das observações, execute o botão ~N(u,sig) na barra de ferramentas

ANÁLISE DE TENDÊNCIA PELO TESTE DE HIPÓTESE t-STUDENT

Graus de liberdade = 22

Nível de significância do teste = 10%

$t_{Crítico}$ bi-caudal: percentil inferior = -1,717

$t_{Crítico}$ bi-caudal: percentil superior = 1,717

RESULTADO DA TENDENCIOSIDADE

	tx	ty
	Não tendenciosa	Não tendenciosa
Estatística do teste =	1,2467	0,8999
Médias	0,116	0,091

Em havendo tendenciosidade, verifique possível diferença no referencial e calibre as coordenadas se necessário!

ANÁLISE DE OUTLIERS (ERROS GROSSEIROS)

Aplicação do Critério 3Sigma

Não foram detectados outliers ou erros grosseiros pelo critério 3Sigma!

se o teste estatístico ainda indicar tendenciosidade, recomenda-se fazer a calibração do referencial

TESTE DE NORMALIDADE DE SHAPIRO-WILK

Análise por componente

Aceita-se a normalidade quando: $W_{calc} > W$

Elementos	dEste_Ort	dNorte_Ort	Erro2D
W ->	0,928	0,928	0,928
Wcal ->	0,9632	0,9456	0,9477
Conclusão ->	Normais	Normais	Normais

Fonte: Astegeotop (2019)

Figura 57 - Classificação PEC/PCD

PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA - PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DIGITAIS
PEC-PCD

TABELA DE CLASSIFICAÇÃO (PEC-PCD) NA ESCALA 1/5000

Classe PEC	Planimetria		Altimetria	
	EM(m)	EP(m)	EM(m)	EP(m)
Classe A	1,40	0,85	0,54	0,33
Classe B	2,50	1,50	1,00	0,67
Classe C	4,00	2,50	1,20	0,80
Classe D	5,00	3,00	1,50	1,00

CLASSIFICAÇÃO DO PRODUTO CARTOGRÁFICO PELA PEC

CLASSIFICAÇÃO PEC - PLANIMETRIA

Escala do Produto Cartográfico = 1/5000

Percentual $err2D \leq E_{Max_PEC}$ = 100,0%

$EM_{0.95} = 0,659$

$EP_{PEC} = 0,850$

Conclusão: classe = A

Fonte: Astegeotop (2022)

Como demonstrado nos resultados estatísticos os dados apresentados estão dentro da distribuição normal, não apresenta tendências e não foi constatado presença de outlier. O erro padrão calculado foi de 0,85 m, que comparado a tabela de classificação PEC/PCD para planimetria, resultou na classificação do insumo como classe A.

4.4.3 Classificação do MDT – Insumo Municipal

O modelo digital do terreno fornecido pelo município de Jaboatão dos Guararapes, foi

analisado a partir da fusão dos pontos nativos do IBGE e da rede referência, resultando em 15 pontos bem distribuídos pelo município para validação do insumo que foi produzido em escala 1:1000 para o perímetro urbano e 1:5000 para o perímetro rural. A validação do insumo foi realizada apenas para o perímetro urbano em escala 1:1000. Segue a baixo as análises e resultado:

Figura 58- Dados de Entrada

CLASSIFICAÇÃO CARTOGRÁFICA PELO PEC-PCD

Abbr Dados Relatório AMOST INT MDT Parear Discrep Outlier ~N(u,sig) Calibrar PEC-PCD Limpar

Tipo Entrada

☒ Unidimensional

☐ Bidimensional

☐ Tridimensional

Significância Estatística

Nível de significância

10 %

Escala Prod. Cartográfico

1 / 1000

Especifique a escala do produto para definir o PEC

Equidistância Vertical

EQV = 1,00

Especifique a diferença de nível entre curvas de nível

Pontos Cartográficos (Carta, Plantas, Ortofotos, MDS, MDT)

Linha	campanha	Z
1	LC421:800	56,81329727
2	LC413:063	8,851920128
3	LC413:063	5,150072098
4	LC413:064	57,78696442
5	LC413:064	32,67925262
6	LC413:065	9,942304611
7	LC413:065	58,68619919
8	LC413:065	58,50791168
9	LC413:065	27,77016068
10	LC413:065	6,353092194
11	LC413:066	61,70432663
12	LC413:163	6,168932915
13	rede_refer	2,469556093
14	rede_refer	6,797952175
15	rede_refer	57,01833344

Pontos de Controle (GNSS, Geodésia clássica, Topografia)

Linha	campanha_n	altitude_o
1	LC421:8001	56,929
2	LC413:0638	8,685
3	LC413:0639	5,018
4	LC413:0641	57,708
5	LC413:0646	32,458
6	LC413:0654	9,878
7	LC413:0655	58,61
8	LC413:0656	58,391
9	LC413:0657	27,684
10	LC413:0659	6,023
11	LC413:0661	61,567
12	LC413:1638	6,369
13	rede_referencia	2,4282
14	rede_referencia	6,8143
15	rede_referencia	56,9647

Fonte: Astegeotop (2022)

Detectado tendências de acordo com o teste T-student, foi necessário executar calibração, segue abaixo o resultado das tendências:

Figura 59 - Resultado e análise do Teste T-student

ANÁLISE DE TENDÊNCIA PELO TESTE DE HIPÓTESE t-STUDENT

Graus de liberdade = 14

Nível de significância do teste = 10%

t_Crítico bi-caudal: percentil inferior = -1,761

t_Crítico bi-caudal: percentil superior = 1,761

RESULTADO DA TENDENCIOSIDADE

```

-----
                                tz
                                Tendenciosa
Estatística do teste =          2,3846
-----
Média                    0,078
-----

```

Em havendo tendenciosidade, verifique possível diferença no referencial e calibre as coordenadas se necessário!

Fonte: Astegeotop (2022)

Nota-se que a tendência apresentada foi de 7 cm, que representa a diferença dos pontos analisados para o geoide, a execução da calibração funciona como Shift para eliminar essa diferença. Segue abaixo os resultados e classificação pós calibração:

Figura 60 - Análise Estatística

```
DISCREPÂNCIAS MÁXIMAS E MÍNIMAS
Tipo      Id      dz_EXTRACT1
Máxima :   dLC413:0659 =      0,252
Mínima :   dLC413:1638 =     -0,278
```

```
MÉDIA, DESVIO PADRÃO e EMQ DAS DISCREPÂNCIAS
campanha_n      dz_EXTRACT1
Média           =      0,000
D.Padrão        =      0,1270
EMQ             =      0,1227
```

```
TESTE QUI-QUADRADO PARA VERIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO A MÉDIA
Análise por componente, distribuição Unicaudal
Aceita-se as observações quando: Qcal<=Qsup
Nível de significância do teste alfa=10%
Graus de liberdade = 14
```

```
Elementos      dz_EXTRACT1
Qsup ->        21,060
Qcal ->         0,226
Conclusão ->    Normal
```

RESULTADO DA TENDENCIOSIDADE

```
-----
tz
Não tendenciosa
Estatística do teste =      0,0063
-----
Média                0,000
-----
```

Em havendo tendenciosidade, verifique possível diferença no referencial e calibre as coordenadas se necessário!

ANÁLISE DE OUTLIERS (ERROS GROSSEIROS)

Aplicação do Critério 3Sigma

Não foram detectados outliers ou erros grosseiros pelo critério 3Sigma!

se o teste estatístico ainda indicar tendenciosidade, recomenda-se fazer a calibração do referencial

TESTE DE NORMALIDADE DE SHAPIRO-WILK

Análise por componente

Aceita-se a normalidade quando: Wcal<=W

```
Elementos      dz_EXTRACT1
W ->           0,901
Wcal ->         0,9526
Conclusão ->    Normais
```

Fonte: Astegeotop (2022)

Figura 61 - Classificação PEC/PCD

TABELA DE CLASSIFICAÇÃO (PEC-PCD) NA ESCALA 1/1000

Classe PEC	Planimetria		Altimetria	
	EM(m)	EP(m)	EM(m)	EP(m)
Classe A	0,28	0,17	0,27	0,17
Classe B	0,50	0,30	0,50	0,33
Classe C	0,80	0,50	0,60	0,40
Classe D	1,00	0,60	0,75	0,50

CLASSIFICAÇÃO DO PRODUTO CARTOGRÁFICO PELA PEC

CLASSIFICAÇÃO PEC - ALTIMETRIA

Equidistância vertical das curvas de nível = 1,00m

Percentual $|dZ| \leq E_{Max_PEC}$ = 93,3%

EM_{alt} = 0,123

EP_{PEC} = 0,167

Conclusão: classe = A

Fonte: Astegeotop (2022)

Realizado as análises estatísticas conclui-se que os dados amostrados são oriundos de uma distribuição normal, não apresenta erros grosseiro e a tendência detectada foi devidamente corrigida. Quanto a classificação o erro padrão calculado foi de 0,167 cm que comparada a planilha de classificação, resulta no insumo Classe A.

4.4.4 Classificação das Ortofotos – Insumo Municipal

Para executar a classificação das ortofotos foi realizado uma análise para eliminação de erros grosseiros, como já dito no item 4.4.2 foram utilizados 29 pontos para classificação das ortofotos com distribuição homogênea, deste universo foram eliminados 2 pontos por apresentar erros grosseiros, resultando em 27 pontos homólogos. Segue as análises e resultados:

Figura 62 - Dados de Entrada

CLASSIFICAÇÃO CARTOGRÁFICA PELO PEC-PCD

Abre Dados Relatório AMOST INVT MDT Parcial Discrep Outlier ~ N(u,sig) Calibrar PEC-PCD Limpar

Pontos Cartográficos (Carta, Plantas, Ortofotos, MDS, MDT)

Tipo Entrada
☐ Unidimensional
☒ Bidimensional
☐ Tridimensional

Significância Estatística
 Nível de significância: 10 %

Escala Prod. Cartográfico
 1 / 1000

Especifique a escala do produto para definir o PEC
 Equidistância Vertical
 EQV = 1,00

Especifique a diferença de nível entre curvas de nível

Id	Id	dEste_Cartografia	dNorte_Cartografia	erro2D
5	HV084	277498,900	9101306,82	
6	HV135	278892,887	9095820,27	
7	HV136	279889,712	9095462,20	
8	HV066	283252,626	9102035,33	
9	P17	287536,698	9099486,98	
10	HV_1_330	285184,658	9091464,76	
11	HV107	275247,629	9100211,36	
12	P23	286882,362	9096248,69	
13	P21	287130,954	9092451,72	
14	HV_1_345	286206,261	9088769,63	
15	HV143	284334,473	9093346,85	
16	P39	288954,461	9097604,48	
17	HV43	286175,575	9099458,66	
18	HV_1_331	285830,207	9091344,40	
19	P06	287493,399	9092352,98	
20	P36	287458,064	9091901,83	
21	HV02071	285077,166	9101612,89	
22	P20	287501,591	9099481,32	
23	P23	289582,414	9097889,07	
24	P06	286839,566	9094795,01	

Pontos de Controle (GNSS, Geodésia clássica, Topografia)

Linha	Ponto	Este_PT	Norte_PT
1	HV046	274614,063	9105362,35
2	HV020A	276744,217	9108182,89
3	HV111	276995,923	9099053,52
4	HV096	284252,788	9098204,67
5	HV084	277498,903	9101306,80
6	HV135	278892,919	9095820,33
7	HV136	279889,723	9095462,22
8	HV066	283252,593	9102035,32
9	P17	287536,784	9099486,97
10	HV_1_330	285184,633	9091464,76
11	HV107	275247,646	9100211,32
12	P23	286882,359	9096248,69
13	P21	287130,927	9092451,72
14	HV_1_345	286206,290	9088769,63
15	HV143	284334,570	9093346,85
16	P39	288954,450	9097604,48
17	HV43	286175,666	9099458,66
18	HV_1_331	285830,162	9091344,40
19	P06	287493,399	9092352,98

Fonte: Astegetop (2022)

Figura 63 - Análise Estatística das Ortofotos

DISCREPÂNCIAS MÁXIMAS E MÍNIMAS

Tipo	Id	dEste_Cartografia	Id	dNorte_Cartografia	Id	erro2D
Máxima	dP22	0,067	dHV143	0,071	HV143	0,120
Mínima	dHV143	-0,097	dHV135	-0,055	HV046	0,006

MÉDIA, DESVIO PADRÃO e EMQ DAS DISCREPÂNCIAS

Ponto	dEste_Cartografia	dNorte_Cartografia	erro2D
Média	-0,010	0,001	0,038
D.Padrão	0,0399	0,0262	0,0299
EMQ	0,0404	0,0257	0,0479

TESTE QUI-QUADRADO PARA VERIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS EM RELAÇÃO A MÉDIA

Análise por componente, distribuição Unicaudal

Aceita-se as observações quando: $Q_{cal} \leq Q_{sup}$ Nível de significância do teste $\alpha=10\%$

Graus de liberdade = 26

Elementos	dEste_Cartografia	dNorte_Cartografia	Erro2D
$Q_{sup} \rightarrow$	35,560	35,560	35,560
$Q_{cal} \rightarrow$	0,041	0,018	0,018
Conclusão $\rightarrow$	Normal	Normal	Normal

ANÁLISE DE TENDÊNCIA PELO TESTE DE HIPÓTESE t-STUDENT

Graus de liberdade = 26

Nível de significância do teste = 10%

 $t_{Crítico\ bi-caudal: percentil\ inferior} = -1,706$ $t_{Crítico\ bi-caudal: percentil\ superior} = 1,706$

RESULTADO DA TENDENCIOSIDADE

	tx	ty
Estatística do teste	-1,2875	0,1765
Médias	-0,010	0,001

ANÁLISE DE OUTLIERS (ERROS GROSSEIROS)

Aplicação do Critério 3Sigma

Não foram detectados outliers ou erros grosseiros pelo critério 3Sigma!

se o teste estatístico ainda indicar tendenciosidade, recomenda-se fazer a calibração do referencial

TESTE DE NORMALIDADE DE SHAPIRO-WILK

Análise por componente

Aceita-se a normalidade quando: $W_{calc} > W$

Elementos	dEste_Cartografia	dNorte_Cartografia	Erro2D
W ->	0,935	0,935	0,935
Wcal ->	0,9492	0,9654	0,8863
Conclusão ->	Normais	Normais	Anormais

Fonte: Astegeotop (2022)

Figura 64 - Classificação PEC/PCD - Ortofoto

TABELA DE CLASSIFICAÇÃO (PEC-PCD) NA ESCALA 1/1000					
Classe PEC	Planimetria			Altimetria	
	EM(m)	EP(m)		EM(m)	EP(m)
Classe A	0,28	0,17		0,27	0,17
Classe B	0,50	0,30		0,50	0,33
Classe C	0,80	0,50		0,60	0,40
Classe D	1,00	0,60		0,75	0,50

CLASSIFICAÇÃO DO PRODUTO CARTOGRÁFICO PELA PEC	

CLASSIFICAÇÃO PEC - PLANIMETRIA	
Escala do Produto Cartográfico = 1/1000	
Percentual err2D<=EMax_PEC = 100,0%	
EMOplan = 0,047	
EP_PEC = 0,170	
Conclusão: classe = A	

Fonte: Astegeotop (2022)

Como demonstrado nos resultados estatísticos os dados apresentados estão dentro da distribuição normal conforme teste qui quadrado, apresenta tendências que corresponde a diferença entre os sistemas de coordenadas georreferenciadas ao sirgas2000 dos pontos na cartografia para os pontos de controles, no entanto essa tendência apresentada para o eixo X foi de 1 cm e para o eixo Y foi de 1 mm, ou seja valores pequenos que podem ser desprezados e não foi constatado presença de outlier. O erro padrão calculado foi de 0,17 m, que comparado a tabela de classificação PEC/PCD para planimetria, resultou na classificação do insumo como classe A.

4.5 APLICAÇÃO MOBILE PARA GERENCIAMENTO TERRITORIAL

É extremamente importante em pleno século 21, dos tempos líquidos e fluídos o uso de

aplicações mobile para integração e acessibilidade de dados, diante da popularização do Open Service e o desenvolvimento cada vez mais robustos dos softwares livres é primordial corporificar os insumos cartográficos, geodésicos e fotogramétricos nesse mundo digital, a partir da integração de dados.

Para aplicação mobile buscou-se produzir um projeto integrado ao cadastro imobiliário aplicado a projetos de regularização fundiária, logo foram utilizados dados oriundos da geodesia, cartografia, cadastro e reurb-s. A partir do software livre Qgis e sua aplicação mobile Qfield foi possível montar essa aplicação que tem como principal objetivo proporcionar acessibilidade, integração, segurança e produção de dados espaciais atualizáveis.

A partir do aplicativo é possível rastrear vetor, obter localização em tempo real, realizar pesquisa dos dados descritivos das camadas vetoriais. A aplicação resultou em um mapa digital integrando as informações descritivas e espaciais, os temas do mapa inseridos na aplicação foram os seguintes:

1. Cadastro imobiliário, neste Tema foram inseridas as camadas vetoriais nativas do cadastro descritas abaixo:
 - 1.1 Logradouro
 - 1.2 N° das edificações
 - 1.3 Sequenciais imobiliários
 - 1.4 Quadra
2. Reurb, neste tema foram inseridos os dados oriundo do projeto de regularização fundiária e o boletim cadastral desenvolvido, a partir de informações da superintendência de habitação do município, segue abaixo a descrição:
 - 2.1 Lotes nativo do cadastro para áreas de Reurb
 - 2.2 Edificações
 - 2.3 Poligonal que representa a área da Reurb
 - 2.4 Boletim cadastral associado ao vetor ponto
 - 2.5 Tabelas para configuração da lista suspensa inseridas no boletim
3. Geodesia, neste tema foram inseridos os seguintes vetores:
 - 3.1 Os pontos de controle
 - 3.2 Rede de referência associado as monografias do marco, ou seja, ao clicar no ponto

é possível visualizar a monografia.

4. Cartografia, neste tema foram inseridos os seguintes vetores:

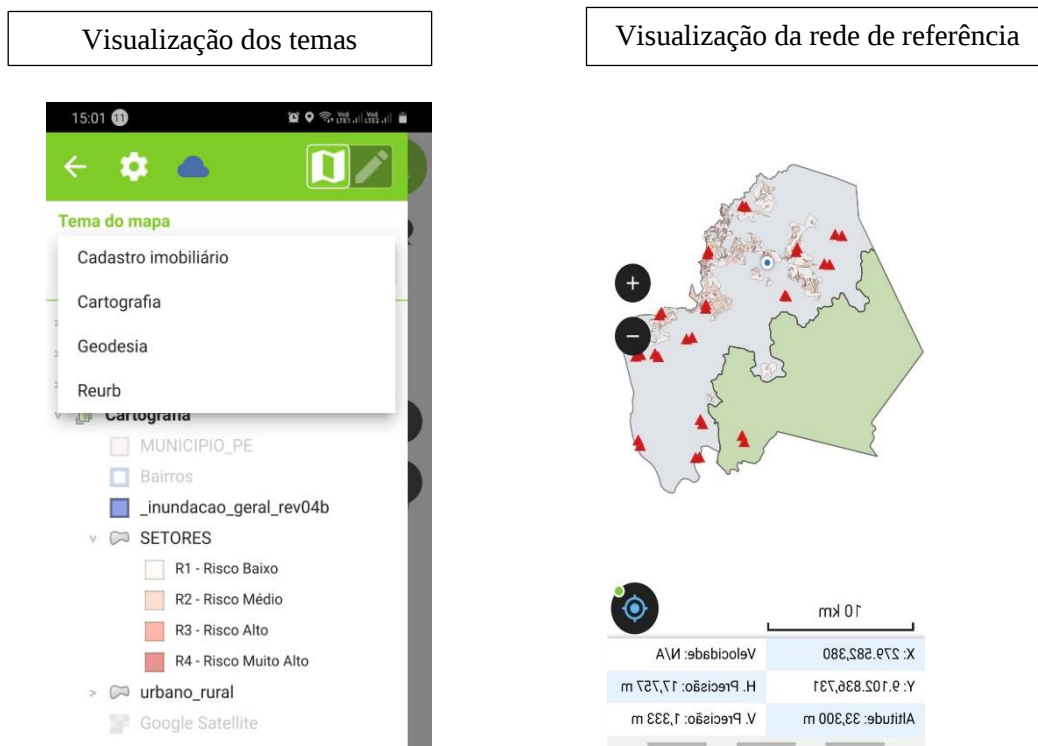
- 4.1 Municípios
- 4.2 Bairros
- 4.3 Setores de Risco
- 4.4 Mancha de Inundação
- 4.5 Limite Municipal
- 4.6 Imagem de satélite

O boletim Cadastral criado contém informações do imóvel e é possível linkar com o google forma para inserir os dados do cadastro no google drive, o boletim foi estruturado conforme item abaixo:

- ✓ Descrição do imóvel
- ✓ Chefe da família
- ✓ Informações do Cônjuge
- ✓ Serviços de Infraestrutura disponível
- ✓ Caracterização básica do imóvel
- ✓ Informações sobre coleta de lixo
- ✓ Caracterização da área do entrono
- ✓ Modo de Locomoção da família
- ✓ Saúde da família
- ✓ Observações

É notável o potencial dessa aplicação que pode ser manipulada de acordo com a necessidade do usuário, segue abaixo o exemplo das telas para operação da operação da app:

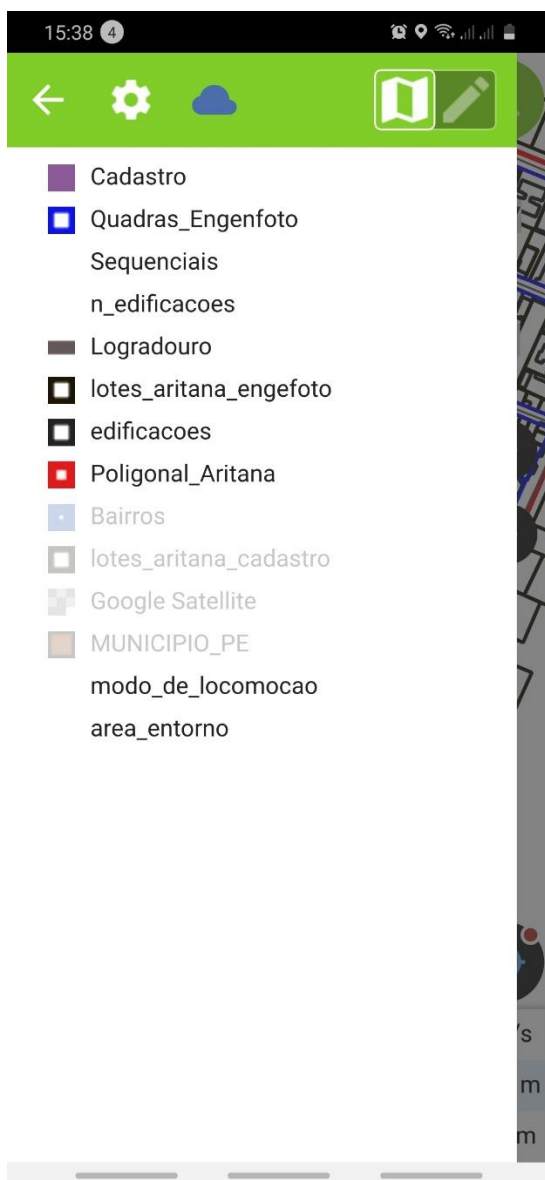
Figura 65 – Tela da aplicação Mobile – Visualização dos temas



Fonte: Autora (2022)

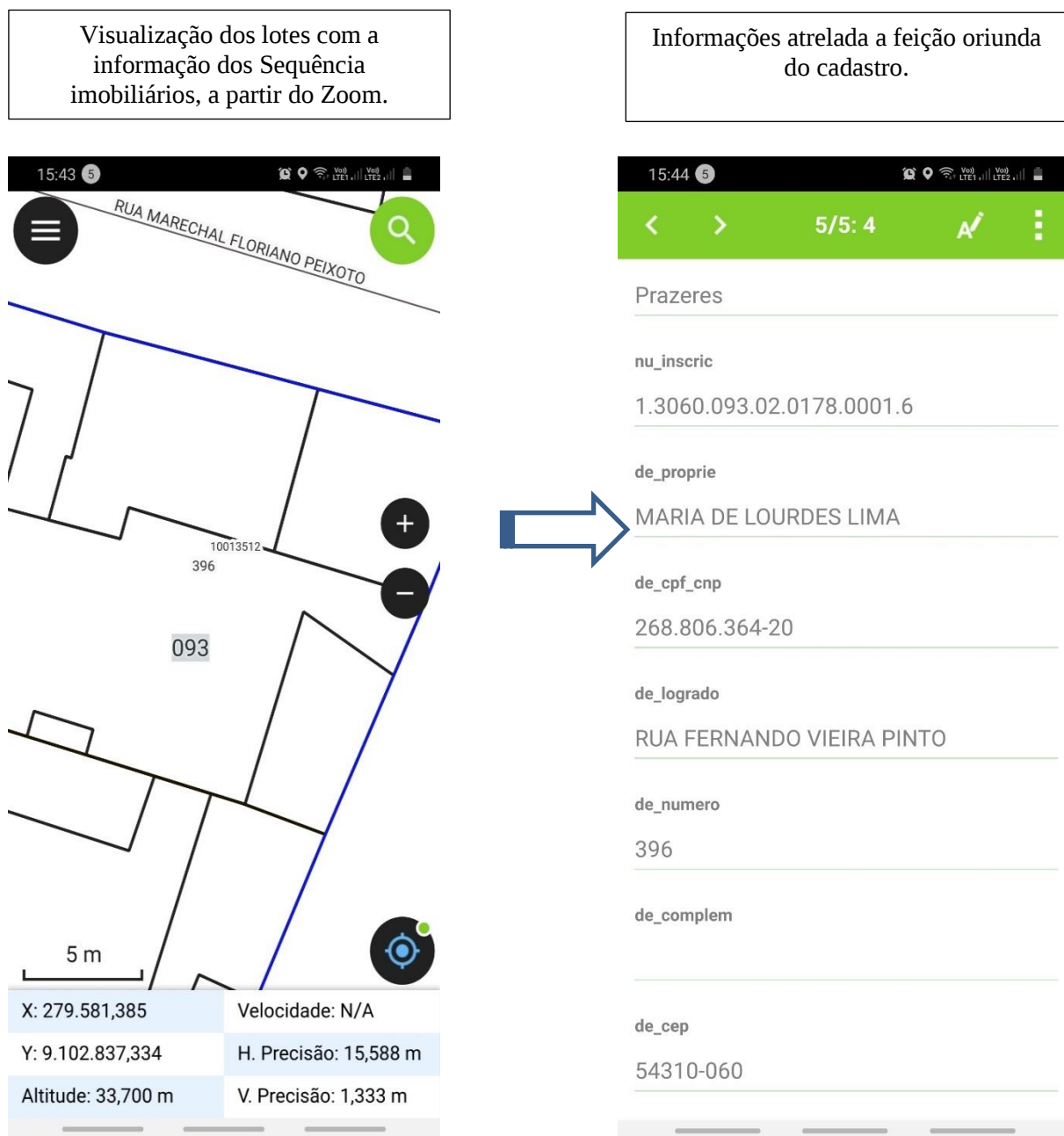
Figura 66 – Tela da Aplicação Mobile Visualização das camadas





Fonte: Autora (2022)

Figura 67 – Tela da Aplicação Mobile visualização do detalhe

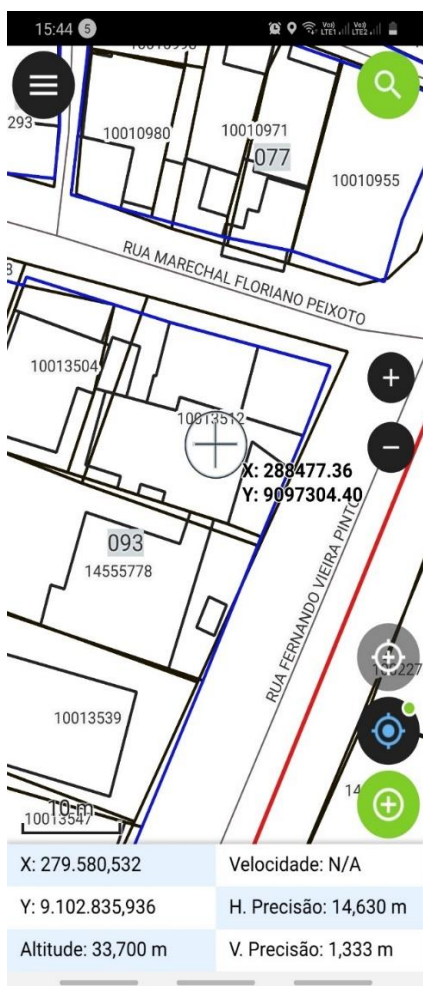


Fonte: Autora (2022)

Figura 68 – Tela da Aplicação Mobile formulário digital

Adicionar feição linkada a formulário

Formulário para preenchimento.



The screenshot shows a form titled 'Adicionar elemento em Cadastro'. The form contains several fields and options:

- Nome do inquilino**: A text input field.
- Possue outro imóvel**: A toggle switch labeled 'Não'.
- Documentação que o ocupante possui**: A dropdown menu.
- Foto da Documentação**: A section for uploading a photo, with a camera icon and a gallery icon.
- Uso do imóvel**: A dropdown menu.
- Nº de famílias no imóvel**: A numeric input field with minus and plus buttons.
- Nº de Moradores do Imóvel**: A numeric input field.

Fonte: Autora (2022)

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo é apresentado as conclusões do e recomendações desta dissertação.

5.1 CONCLUSÕES

Nesta dissertação foi proposto uma estrutura geodésica composta pela rede de referência, pontos de controle e modelo geoidal. A análise de rede de acordo com a NBR 14166/2022 permitiu verificar a densidade dos vértices, o estudo a partir do ajustamento da rede clássica 3D e linha de base dos receptores geodésicos proporciona confiabilidade nos insumos gerados a partir da rede, assim como a validação do modelo geoidal. Os pontos de controle são importantes no processo de validação e classificação dos insumos existentes e assim é possível determinar sua aplicabilidade.

Diante de todas as análises e validação, construir uma aplicação para a utilização desses insumos é fundamental no processo de elaboração de uma estrutura integrativa que proporcione gestão territorial, aplicabilidade e otimização, portanto a aplicação mobile surgiu como uma ferramenta útil neste circuito.

A partir da análise de rede no item 4.1, foi possível constatar que a rede implantada no município de Jaboatão dos Guararapes encontra-se densificada e possui uma estrutura confiável que resulta das análises a partir do ajustamento da rede clássica e da linha de base, todos os insumos classificados pela PEC/PCD obtiveram classe A de acordo com item 4.4, indicando que o município possui produtos cartográficos confiáveis e acurados. De acordo com análise de linha de base realizada no item 4.1.2 conclui-se que quanto menor a linha de base, mais acurada são as observações. Quanto a análise de rede realizada no item 4.1.1 foi observado discrepâncias na altitude considerando a diferença do valor teórico para o valor calculado, logo a variabilidade na precisão do equipamento a determinação do ângulo zenital teórico e o arredondamento do software para análise contribui para construção dessa discrepância métrica na altitude mesmo com erro esférico pequeno.

Em relação a análise do fator de quadrícula que é a composição do fator de escala e de elevação, foi possível concluir que para o município de Jaboatão dos Guararapes as distorções provenientes do uso da projeção UTM não possui relevâncias para pequenas distâncias, onde numa distância de 1000 m obteve-se uma distorção máxima de 22 cm.

O mapa geoidal apresentado pela empresa contratada ao município de Jaboatão dos Guararapes representado por um raster, onde não é possível executar as interpolações, não

passou nos testes estatísticos apresentando erro grosseiros; e não conseguimos determinar o modelo matemático utilizado para gerar o modelo local, conforme item 4.3, logo foi necessário validar um novo modelo para o quase geoide partir da equação matemática: $N = Ax + By + C$, no entanto como foi necessário eliminar os erros grosseiros o modelo criado não cobre todo o município.

A partir da construção e validação da estrutura geodésica a elaboração de uma aplicação integrativa para gerenciamento de terras é fundamental dentro das perspectivas fundiárias discutidas atualmente, com o objetivo de proporcionar condições acuradas para análises e aplicações voltadas para um cadastro flexível integrativo e acessível.

5.2 RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados apresentados e conclusões é importante considerar as seguintes recomendações:

- Implementar um olhar holísticos e transformador, compreender que o processo não é só produzir o insumo e sim aplica-lo em estudos que transforme através de produtos com potencial de análise e assim cumprir seu papel social e agregador na sociedade;
- Observar e monitorar a rede de nivelamento geométrico (RAAP) do litoral da região metropolitana do recife;
- Desenvolver um grid conforme item 2.11 para construção de uma superfície interpoladora do modelo quase geoide calculado;
- A utilização do Mobile – Qfield deve ser realizada em ambiente corporativo para atividade de campo e controlar os usuários que acessão o projeto.
- Para disponibilização de dados ao público o melhor sistema é através do SIG web (Sistema de Informação Geográfica).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.C. **Análise Espacial de dados com Quantum Gis: exercícios realizados durante tópicos especiais do programa de pós-graduação em geografia na UFSC.** Revista eletrônica de geografia, v.3, n.8, p. 173-198. Santa Catarina - SC, 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14166: Rede de Referência Cadastral Municipal- Procedimento.** Rio de Janeiro – RJ, 1998

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14166: Rede de Referência Cadastral Municipal- Procedimento.** Rio de Janeiro – RJ, 2022

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico.** Rio de Janeiro – RJ, 1994.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico.** Rio de Janeiro – RJ, 2021.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 17047: Levantamento Cadastral Territorial para registro público.** Rio de Janeiro – RJ, 2022.

BASSO.S; **Compatibilização da Rede Geodésica da Refap S.A para o Sistema Geodésico de Referência Sirgas2000 e Geração de Carta-imagem.** Porto Alegre-RS, 2010

BRASIL. Decreto nº 6666, de 27 de novembro de 2008. **Institui, no âmbito do Poder Executivo federal, a Infra-Estrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE, e dá outras providências.** Brasília- DF.

BRASIL. **Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.** Brasília- DF, 1984.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 20 de julho de 2001. **Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.** Brasília- DF.

BRASIL. Portaria nº 511, de 8 de dezembro de 2009. **Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros.** Brasília- DF.

BRASIL. Lei nº 131465 de 11 de julho de 2017. **Dispõe sobre regularização Fundiária e Rural,** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/Lei/L13465.htm> Acesso em 20.01.2019.

BRASIL. Decreto nº 9310 de 15 de março de 2018. **Dispõe sobre a regularização Fundiária Urbana.** Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9310.htm> Acesso em 20.01.2019.

BURŠA, M.; KENYON, S.; KOUBA, J.; RADĚJ, K; VATRT, V.; VOJTŠKOVÁ, M.; ŠIMEK, J. **World Height System Specified by Geopotential at Tide Gauge Stations. Proceedings of**

IAG Symposium, Vertical Reference System, Cartagena, Columbia, pp.291-296, Springer Verlag, Berlin, 2002.

CALDEIRA, C.R.T; CALDEIRA, M.C.O; FERREIRA; W, D.Q. **Implantação da Rede de Referência Cadastral na área Urbana do Município de Abaetetuba-PA**. Florianópolis -SC, 2018.

CASTAÑEDA, R.M. **Ensaio para definição de parâmetros de transformação entre sad69 NSWS**, Universidade Federal do Paraná, dissertação de Mestrado, 1986.

CUNHA, E. M. P.; ERBA, D. A. **Manual de Apoio – CTM: Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial Multifinalitário nos municípios brasileiros**. Brasília: Ministério das Cidades, 2010.

CPRM/FIDEM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Fundação de desenvolvimento da região metropolitana. **Atlas do meio físico do município do Jaboatão dos Guararapes - estado de Pernambuco**. Recife, 1997.

CRUZ, C.B.M; PINA, M.F. **Fundamentos de Cartografia**. CEGEOP Unidades didáticas 29 a 41. Volume 2. Rio de Janeiro: LAGEOP /UFRJ, 2002

EXÉRCITO. DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO. **Norma da especificação técnica para controle de qualidade de dados geoespaciais (ET-CQDG)**. 2. ed. Brasília, DF, 2016.

EXÉRCITO. DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO. **Norma da especificação técnica para estruturação de dados geoespaciais vetoriais (ET-EDGV)**. 2. ed. Brasília, DF, 2016.

EXÉRCITO. DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO. **Norma da especificação técnica para aquisição de dados Geoespacial Vetoriais (ET-ADGV)**. 2. ed. Brasília, DF, 2016.

EXÉRCITO. DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO. **Norma da especificação técnica para produtos de conjuntos de dados geoespaciais (ET-CQDG)**. 2. ed. Brasília, DF, 2016.

FERREIRA, W.D.Q. **Implantação da Rede de Referência Cadastral Municipal na área Urbana do Município de Abaetetuba-PA**. Belém-PA, 2018.

FIDEM. **Principais Destaques sobre os Resultados do PIB dos Municípios de Pernambuco**. Recife-PE, 2018.

FIG – INTERNATIONAL FEDERATION OF SURVEYORS. **Cadastre 2014- A vision for a future cadastral system**. FIG Publication, 1998.

FIG – INTERNATIONAL FEDERATION OF SURVEYORS - 2014. Disponível em <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/cadastre2014/index.asp>. Acesso em 23/08/2021.

FORTUNA, C.M; MATUMOTO, S; MESQUITA, L.P; CINTRA, A.M.S. **Cartografia nas Pesquisas Científicas: Uma revisão integrativa**. São Paulo -SP, 2017 – Revista de Psicologia.

FREITAS, G.L. **Ajustamento de Rede Geodésica 3D por Trilateração**. Recife-PE, 2010 -

Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Pernambuco.

FREITAS, S.R.C. **Perspectivas de actividades de SIRGAS – GT III en vista del IHRS/IHRF. Simpósio SIRGAS 2016.** Instituto Geográfico Militar de Ecuador. Quito, 16-18 nov 2016. Disponível em: Acesso em: 23 jan 2017.

GARNÉS, S. J. A. **Programa AstGeoTop 2017.** Software de cálculo, Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2017.

GARNÉS, S. J. A. **Modelo digital do terreno – guia do usuário. Software AstGeoTop.** Versão 2020. Recife: UFPE, 2020.

GARNÉS, S. J. A. **Software AstGeoTop. Software de cálculo. Versão 2019.** Recife: UFPE, 2019.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas.** Curitiba: Editora UFPR, 1994.

GEOPEC, Disponível em <http://www.geopec.com.br/p/software-geopec.html>. Acesso em 25/05/2021

GIACOMIN. G; CARVALHO. M. B; SANTOS A.P, MEDEIROS. G. N; FERRAZ. A.S. **Análise comparativa entre métodos interpoladores de modelos de superfícies.** Revista Brasileira de Cartografia Nº 66/6: 1315-1329,2014.

HEISKANEN, W A. MORITZ, H. **Physical geodesy. San Francisco and London:** W. H. Freeman and Company, 364 p., 1967.

IAG - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY. **IAG Resolution (No. 1) for the establishment of a global absolute gravity reference system.2015a.** Disponível em: . Acesso em: 24 agosto 2022.

IAG. INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY. **Global Geodetic Observing System (GGOS). 2106a.** Disponível em: Acesso em: 24 agosto 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Avaliação da Qualidade de Dados Geoespaciais.** Rio de Janeiro – RJ, 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/geociencias/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/31283-hgeohnor2020-modeloconversaoaltitudesgeometricasgnss-datumverticalsgb.html?=&t=sobre>. Acesso em 05/06/2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos Associados ao Sistema Geodésico Brasileiro.** Rio de Janeiro – RJ, 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Padronização de Marcos Geodésicos.** Rio de Janeiro – RJ, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais**. Rio de Janeiro – RJ, 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Recomendações Para Levantamentos Relativos estáticos-GPS**. Rio de Janeiro – RJ, 2008.

IHDE, J. **Realization of a Global Vertical Reference System 2007**. In: **Proceedings of the 1st IGFS Symposium Gravity Field of the Earth, Istanbul, Harita Dergisi, Special Issue 18, 2007**.

ITEP - Instituto de Tecnologia de Pernambuco. **Termo de referência – contratação de serviços de Engenharia para cobertura aerofotogramétrica, Perfilamento laser aerotransportado, restituição Estereofotogramétrica e estruturação de cadastro**. Pernambuco – PE, 2014.

INTERNATIONAL STANDARD. ISO 19115: **Geographic information - Metadata**. First edition, Geneva, ISO, 2003.

KLEIN, I; MATSUOKA, M. T; SOUZA, S. F. **Teoria de confiabilidade generalizada para múltiplos outliers: apresentação, discussão e comparação com a teoria convencional**. Curitiba, 2011 – Artigo: Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, v. 17, no 1, p.519-548.

KAVOURAS, M. **On the Detection of Outliers and the Determination of Reliability in Geodetic Networks**. Canadá: Fredericton. University of New Brunswick, Department of Surveying Engineering. Technical Repot, n. 87, 1982.

KAUFMANN, J. AND STEUDLER, D. (1998) **Cadastre 2014: A Vision for a Future Cadastral System**. FIG 167-173.

LINS, T.S. **Controle de qualidade de dados de MDT adquiridos por perfilamento a laser**. Recife-PE, 2018 – Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Cartográfica UFPE.

LOCH, C. A.; ERBA, D. A. **Cadastro Técnico Multifinalitário: rural e urbano**. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy, 2007.

LOCH, C. **Cadastro e a Gestão Publica Municipal**. In. **Seminário de Cadastro Territorial Multifinalitário**. Brasília, Ministério das Cidades, 2005.

LUNA, R M R. **Investigação da ocorrência de subsidência do solo em região de exploração de aquíferos na planície costeira da cidade do Recife em Pernambuco**. Recife, 2017 – Tese de Doutorado Universidade Federal de Pernambuco.

MAGDALENO, F.S; **O Território nas constituições republicanas brasileiras. Investigadores Geográficos**, 57 – pág 114-132, 2005.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. **Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso**. Revista Brasileira de Geografia Física, 2011. v-4, p. 793-804.

MENDONÇA, F. J. B.; GARNÉS, S. J. A.; PEREIRA, C. M.; NETO, J. A. B.; MELO, W. D.

A. Análise do Ajustamento por Mínimos Quadrados de Uma Trilateração Topográfica com Injunções nos Planos UTM e Topocêntrico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010, Recife. **Anais [...]**. Recife: SBCGTG, 2010. p. 001-009.

MELO, W.D.A; NETO, J.A.B; PEREIRA, C.M; GARNÉS, S.J.A; JAIME, F.J.B. **Análise do Ajustamento por Mínimos Quadrados de uma Trilateração Topográfica com Injunções nos Planos Utm e Topocêntrico.** Recife-PE, 2010 - Artigo: III Simpósio Brasileiro de Ciências geodésicas e tecnologias da Geoinformação.

MINISTÉRIO DA FAZENDA. **Manual do Cadastro Imobiliário.** Brasília - DF.

MIRANDA, R.C; CARNEIRO, A.F.T. **Evolução e tendências nas pesquisas em administração territorial e cadastro.** Recife – Artigo: Revista Brasileira de Cartografia.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo Navstar-gps: Descrição, fundamentos e aplicação** Ed. Unesp, 2000.

NEVES, F M R. **Aplicação do modelo t-student para análise dos resultados de ensaios de proficiência.** São Paulo, 2004 - Dissertação de Mestrado Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, G, K; GALO, M. **Extração de Contornos de Telhados de Edificações através da Combinação de Dados Lidar e Imagens Aéreas.** São Paulo, 2018 - Artigo: Rev. Bras. de Cartografia, vol. 70, n. 4, outubro/dezembro. pp. 1378 – 1408.

PEARSON, A. V., & HARTLEY, H. O. (1972). **Biometrika Tables for Statisticians**, Vol 2. Cambridge University Press.

POCKNEE S., B.C. BOYDELL, H.M. GREEN, D.J. WATERS AND C.K. KVIEN,. **Directed Soil Sampling.** In P.C. Roberts et al. (eds.) **Proceedings of the 3rd Intl. Conference on Precision Agriculture Queensland Sugar Corporation, Queensland sugar in focus**, Brisbane, Australia. 1996

SEVERO, T. C; SOUZA, S. F. S; MATSUOKA, M. T. M; GEHLEN, A. **Estudo das correções gravimétricas para altitudes físicas aplicadas aos desníveis da raap.** Curitiba, 2013- Artigo: - Boletim de Ciências Geodésicas sec. Artigos v. 19, nº 3, p.472-497.

PE3D, Disponível em <http://www.pe3d.pe.gov.br/>. Acesso em 25/05/2021.

PHILIPS, J. **Conceito de um Novo Cadastro de Bens Imobiliários - Moderno e Público.** In: **Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura**, 6., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: UFBA, 1996.

PESTANA, P. O.N. **Determinação do referencial altimétrico de Olinda-PE como base para classificar e calibrar nuvens de pontos.** Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE, 2020

PRADO FILHO, K.; TETI, M. M. **A Cartografia como método para as ciências humanas e sociais.** Barbarói, Santa Cruz do Sul, n. 38, p. 45-59, jan./jun. 2013. Disponível em: . Acesso em: 12 fev. 2015.

QFIELD, Disponível em Tutorial QField: o QGIS para campo - QGISBrasil. Acesso em 25/05/2021.

QUEIROZ, G.R; VINHAS, L; JÚNIOR, C.A.D; CÂMARA, G; CASANOVA, M.A. **Bancos de dados geográficos**. Curitiba – PR, 2005.

RORATO, G.H. **Definição de um Banco de Dados Geográfico para Arquitetura Agrromobile**. Santa Rosa-RS, 2014.

ROBERTO TEIXEIRA LUZ. **Cálculo de altitudes científicas e sua aplicação no reajustamento da rede altimétrica de alta precisão do sistema geodésico brasileiro**. Rio de Janeiro, 2016 – Artigo: Revista Brasileira de Geografia, v. 61, n. 1, p. 79-97.

SÁ, L.A.C.M; SEIXAS, A; BONIFÁCIO, M.B. **Utilização de redes geodésicas para cadastro rural**. Campo Grande-MS. Anais do 1º simpósio de Geotecnologias no Pantanal-2006.

SHAPIRO, A. S. S., & WILK, M. B. (1965). **An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples)**. *Biometrika*, 52(3/4), 591–611.

VANICEK, P. & KRAKIWSKY, E. **Geodesy: the concepts**. North - Holand, Amsterdam, 1986.

VARELLA, A. A. C.; JUNIOR, S. G. D. **Estudo de interpolador IDW do arquivo para utilização em agricultura de precisão**. Departamendo de engenharia. Universidade Rural do Rio de Janeiro, p.5-6, 2008.

APÊNDICE A - MODELO DE MONOGRAFIA UTILIZADO NO MUNICÍPIO DE JABOATÃO DOS GUARARAPES

MONOGRAFIA DE VÉRTICE		
Nome da Estação: V24	Vértice Intervisível: V23	Obra / Ano: 1072/16
DADOS GERAIS	SISTEMA DE PROJEÇÃO-UTM	COORDENADAS
Município: Jaboatão dos Guararapes - PE Data: 06/2016 Referências Utilizadas: - SAT93991 - SAT93110 - RN3642F - RN3642H	Meridiano Central = 33° W Origem N (Equador) = 10000000 m Origem E (MC 33° W) = 500000 m K0 = 0,9996 DATUM H SIRGAS-2000 DATUM V Imbituba/SC	LAT = 08° 12' 02,04407" S LONG = 34° 57' 33,87212" W N = 9093002,328 m E = 284140,937 m H (GEOM) = 1,139 m H (ORTO) = 6,814 m
Descrição: Chapa metálica implantada em calçada, contendo a inscrição: V24, PROTEGIDO POR LEI – ENGEFOTO CURITIBA; DATA 06/16.		
IMAGEM PANORÂMICA	LOCALIZAÇÃO	
	O vértice encontra-se no bordo direito da Rodovia Antiga, sentido Recife, na esquina com a Rua Cajar.	
	MÉTODO DE LEVANTAMENTO	
	Planimetria/Altitude Geométrica: Levantamento GNSS diferencial estático, pós-processado. Altitude Ortométrica: Nivelamento Geométrico.	
IMAGEM LOCAL	FOTO	
		

APÊNDICE B – ROTINA DESENVOLVIDA PARA ANÁLISE DE LINHA DE BASE

```

format long
clear all
disp('=====')
disp('=====')
fprintf('Universidade Federal de Pernambuco\n')
fprintf('Departamento de Engenharia Cartográfica\n')
fprintf('Programa de Pós-graduação em ciências geodésicas e tecnologia da geoinformação \n')
fprintf('Dissertação de Mestrado\n')
fprintf('Orientador: Silvio Jacks Garnés\n')
fprintf('Aluna: Thaisa Manoela Silva França\n')
fprintf('Apresentação: 10/10/2014\n')
fprintf('ANALISE DE PONTOS EM PROCESSAMENTO DO LINHA DE BASE\n')

disp('=====')
disp('=====')

% Ponto de Analise base maior
% Injunções posicionais
% X1=[5172288.284;-3619866.634;-905080.386] % V26
% X2=[5170316.637;-3625517.385;-894064.687] % V10
% Posicao do Ponto a estimar dentro grid Aleatorio
% Xp=[5167073.2559;-3628187.6157;-902296.5221] % VP1

% Ponto de Analise base menor
% Injunções posicionais
X1=[5175317.0559;-3617134.9586;-898735.7811] % V18
X2=[5174849.5327;-3618416.0357;-896598.3170] % V13
% Posicao do Ponto a estimar dentro grid Aleatorio
Xp=[5174407.9571;-3618650.0209;-897888.6987] % VP15

% Comprimento da linha de Base
d=norm(X1-Xp) % Dist V18 - VP15
sighor1=(10+d*1/1000)/1000
sigvert1=(15+d*1/1000)/1000

d=norm(X2-Xp) % Dist V13 - VP15
sighor2=(10+d*1/1000)/1000
sigvert2=(15+d*1/1000)/1000

% Numerod e equações
n=6
% numero de parametros
u=3

% Vetor de observações = Linhas de base GNSS
dX=[X1-Xp;X2-Xp];
Lb=dX
% inserindo erros na linha de base
Lb(1)=Lb(1)-sighor1/2; %/2
Lb(2)=Lb(2)+sighor1/2; %/2
Lb(3)=Lb(3)-sigvert1
Lb(4)=Lb(4)+sighor2/2; %/2
Lb(5)=Lb(5)-sighor2/2; %/2

```

```
Lb(6)=Lb(6)-sigvert2
```

CONTINUAÇÃO DO APÊNDICE B – ROTINA PARA ANÁLISE DE LINHA DE BASE

```
% Vetor de Constantes com as Coordenadas
```

```
L0=[X1;X2]
```

```
% Matriz dos coeficientes
```

```
A=-[eye(3);eye(3)]
```

```
L=Lb-L0
```

```
ELb=[(sighor1)^2 0 0 0 0 0
      0 (sighor1)^2 0 0 0 0
      0 0 (sigvert1)^2 0 0 0
      0 0 0 (sighor2)^2 0 0
      0 0 0 0 (sighor2)^2 0
      0 0 0 0 0 (sigvert2)^2]
```

```
% Matriz Variância Covariância Completa
```

```
ELb(1,2)=0.5*sqrt(ELb(1,1))*sqrt(ELb(2,2));
```

```
ELb(2,1)=ELb(1,2);
```

```
ELb(1,3)=0.5*sqrt(ELb(1,1))*sqrt(ELb(3,3));
```

```
ELb(3,1)=ELb(1,3);
```

```
ELb(2,3)=0.5*sqrt(ELb(2,2))*sqrt(ELb(3,3));
```

```
ELb(3,2)=ELb(2,3);
```

```
ELb(4,5)=0.5*sqrt(ELb(4,4))*sqrt(ELb(5,5));
```

```
ELb(5,4)=ELb(4,5);
```

```
ELb(4,6)=0.5*sqrt(ELb(4,4))*sqrt(ELb(6,6));
```

```
ELb(6,4)=ELb(4,6);
```

```
ELb(5,6)=0.5*sqrt(ELb(5,5))*sqrt(ELb(6,6));
```

```
ELb(6,5)=ELb(5,6);
```

```
sig2pri=1;
```

```
P=sig2pri*pinv(ELb)
```

```
% Estimativa por mínimos quadrados
```

```
X=inv(A'*P*A)*A'*P*L % Vetor dos parâmetros ajustados
```

```
V=A*X-L % Vetor dos resíduos
```

```
gl=n-u % graus de liberdade
```

```
VTPV=V'*P*V % forma quadrática
```

```
sig2pos=VTPV/gl % variância de referência estimada a posteriori
```

```
Ex=sig2pos*inv(A'*P*A) % Matriz variância covariância dos parâmetros aproximados
```

```
desvpad=sqrt(diag(Ex)) % desvios padrão do ponto estimado
```