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

MARCIO BEZERRA DA SILVA

IMPLANTAÇÃO E ANÁLISE DE ESTRUTURAS GEODÉSICAS
ALTIMÉTRICAS PARA O LEVANTAMENTO GEODÉSICO DE PRÉDIOS
HISTÓRICOS LOCALIZADOS NO MUNICÍPIO DE OLINDA-PE

Recife

2019

MARCIO BEZERRA DA SILVA

**IMPLANTAÇÃO E ANÁLISE DE ESTRUTURAS GEODÉSICAS
ALTIMÉTRICAS PARA O LEVANTAMENTO GEODÉSICO DE PRÉDIOS
HISTÓRICOS LOCALIZADOS NO MUNICÍPIO DE OLINDA-PE**

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

Área de concentração: Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Orientadora: Profa. Dra. Andréa de Seixas.

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S586i	Silva, Marcio Bezerra da. Implantação e análise de estruturas geodésicas altimétricas para o levantamento geodésico de prédios históricos localizados no município de Olinda-PE / Marcio Bezerra da Silva. - 2019. 136 folhas, il., gráfs., tabs. Orientadora: Profa. Dra. Andréa de Seixas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2019. Inclui Referências, Apêndice e Anexos. 1. Engenharia Cartográfica. 2. Nivelamento geométrico de alta precisão. 3. Ajustamento das observações. 4. Nível digital. 5. Método dos mínimos quadrados. 6. Acurácia de redes altimétricas e edificações prediais históricas. I. Seixas, Andréa de. (Orientadora). II. Título. UFPE 526.1 CDD (22. ed.) BCTG/2019-464
-------	--

MARCIO BEZERRA DA SILVA

**IMPLANTAÇÃO E ANÁLISE DE ESTRUTURAS GEODÉSICAS
ALTIMÉTRICAS PARA O LEVANTAMENTO GEODÉSICO DE PRÉDIOS
HISTÓRICOS LOCALIZADOS NO MUNICÍPIO DE OLINDA-PE**

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

Aprovada em: 02/09/2019.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Andréa de Seixas (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Francisco Jaime Bezerra Mendonça (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Silvio Jakcs dos Anjos Garnés (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Daniel Carneiro da Silva (Examinador Externo)
Plonus - Soluções em Engenharia e Meio Ambiente LTDA-EPP

Aos meus pais, irmãos e esposa.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades no decorrer do curso.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo, apoio incondicional e de me fazer entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação.

Aos meus irmãos pelos maravilhosos momentos de incentivo à continuação deste mestrado.

À minha esposa Amanda que me fez perceber que vale a pena persistir num sonho, para ter um futuro melhor.

A todos os meus familiares que de forma simples me apoiaram, sendo sempre compreensíveis.

À Universidade Federal de Pernambuco, em especial ao Departamento de Engenharia Cartográfica por ter a oportunidade de realizar este mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, ao corpo docente, coordenação e administração pelo apoio e ajuda neste curso e pelo tratamento amigável que me foi proporcionado. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes pela oportunidade e realização do Mestrado.

Aos projetos de Pesquisa: Controle e Monitoramento de Recalques - Edifício em Construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis – LITPEG/CTG/UFPE – PROPESQ/UFPE, processo número 3076.040512/2015-15; A Geodésia Aplicada à Discretização de Edificações Prediais e o Estabelecimento de Padrões de Referência Metrológica PROPESQ/UFPE, processo número 23076.011861/2017-91.

A minha orientadora, Profa. Dr. Techn. Andréa de Seixas, pelas orientações, empenho, confiança, grandiosa dedicação e enorme apoio à elaboração desta dissertação.

Aos professores Francisco Jaime e Silvio Jacks pelo aprendizado nas disciplinas e nesta dissertação. Ao Prof. Daniel Carneiro da Silva pelas contribuições trazidas durante a banca de defesa.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar conhecimentos que levarei por toda a minha vida profissional.

Aos amigos: Wellison, Priscilla, Lucas Gonzales, Luiz Canto, Carla Barbosa, Vanessa Nunes, Marcella, José Paulo, Diogo Weyller, Edson e Tatiane Silva que me ajudaram na coleta de dados durante esta dissertação.

Ao Comando Geral da Polícia Militar de Recife-PE, em especial à Tenente Tânia pelo acesso a Referência de Nível 3640L do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) localizada na calçada, próxima ao lado da escadaria do acesso central do Quartel do Derby.

Aos meus colegas de trabalho da Prefeitura Municipal do Recife por serem compreensíveis durante todo o curso.

A todos os meus colegas da graduação em Engenharia Cartográfica e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação pelo grande respeito durante esses anos.

Agradeço aos amigos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta dissertação.

RESUMO

A Cidade de Olinda-PE fundada no ano de 1537 e em particular seu Sítio Histórico tombado pelo Patrimônio Histórico e Cultural da Humanidade requer um cuidado especial para a sua preservação e sustentabilidade das edificações prediais históricas de riquezas imensuráveis. Neste sentido e em especial o Sítio Histórico de Olinda vem sendo contemplado em pesquisas acadêmicas da UFPE, dentre outras, nas áreas das Ciências Geodésicas e Cartográficas, no que diz respeito à implantação de infraestruturas de dados geodésicos de caráter global, regional e local, vinculadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Dentre as edificações, integram-se as igrejas, forte, casarios antigos e outros monumentos, os quais são envolvidos durante todo o ano por diversas atividades culturais. Estas necessitam ter uma organização dentro do espaço urbano, a qual exige o conhecimento de parâmetros de ocupação, infraestrutura viária, atividades e instrumentos da política urbana, que devem obedecer a específicas normas da área do planejamento urbano. No contexto das Ciências Geodésicas o levantamento de prédios históricos se dá a partir da implantação de uma infraestrutura de dados geodésicos que permitem o posicionamento geoespacial dos bens edificados por meio de pontos de referência. Entre os instrumentos de medição utilizados para o levantamento das edificações prediais, os receptores *Global Navigation Satellite System* (GNSS) com o emprego de métodos de posicionamento por satélites, assim como a Estação Total e o Nível Digital, com o emprego de métodos terrestres de medição geodésica/topográfica, além das Estações Fotogramétricas e do LASER Scanner. Os pontos de referência são formados por um conjunto de pontos materializados na superfície terrestre com valores posicionais conhecidos e proporcionam a vinculação das edificações ao SGB, tendo assim um caráter unidimensional, bidimensional e/ou tridimensional. Esta dissertação teve como objetivo abordar uma metodologia para implantar e analisar a qualidade de dados de estruturas geodésicas altimétricas materializadas no Sítio Histórico de Olinda-PE e entre os trechos de nivelamento contidos entre os municípios de Recife e Olinda. Para isso foram levantados circuitos de nivelamento vinculados ao SGB através da Referência de Nível RN 3640L, localizada no Comando Geral da Polícia Militar de Recife-PE, ao lado esquerdo da escadaria do acesso central do Quartel do Derby, com precisão conhecida, e da RN 394D, localizada no lado esquerdo da porta principal da Igreja de São Pedro Mártir em Olinda, sem precisão conhecida, esta por se tratar de um ramal de nivelamento, ambas Referências de

Nível (RRNN) do IBGE. Utilizando-se o método de nivelamento geométrico de alta precisão com emprego de Nível Digital de altíssima precisão de acordo com a ISO 17123-parte 2 (ISO, 2001). Dessa forma foram aperfeiçoados, a metodologia de medição, o processamento dos dados geodésicos pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) e a avaliação dos dados levantados e resultados alcançados. Assim, foram implantadas novas estruturas geodésicas altimétricas de qualidade no Sítio Histórico de Olinda e no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo e entre os trechos de nivelamento que interligam os municípios de Recife e Olinda pelas principais vias de acesso.

Palavras-chave: Nivelamento geométrico de alta precisão. Ajustamento das observações. Nível digital. Método dos mínimos quadrados. Acurácia de redes altimétricas e edificações prediais históricas.

ABSTRACT

The City of Olinda-PE founded in 1537 and in private its Historic Site listed by the Historical and Cultural Heritage of Humanity requires special care for its preservation and sustainability of historical building buildings of immeasurable wealth. In this sense, and in particular, the Olinda Historical Site has been included in UFPE's academic research, among others, in the areas of Geodetic and Cartographic Sciences, with regard to the implementation of global, regional and local geodetic data infrastructures. To the Brazilian Geodetic System (GBS). Among the buildings are the churches, fort, old houses and other monuments, which are involved throughout the year by various cultural activities. These need to have an organization within the urban space, which requires knowledge of occupation parameters, road infrastructure, activities and instruments of urban policy, which must obey specific norms of the urban planning area. In the context of Geodetic Sciences the survey of historical buildings is based on the implementation of a geodetic data infrastructure that allows the geospatial positioning of the built goods through reference points. Among the measuring instruments used for the survey of building buildings, Global Navigation Satellite System (GNSS) receivers employing satellite positioning methods, as well as Total Station and Digital Level, using terrestrial measurement methods. geodetic / topographic, in addition to the Photogrammetric Stations and the LASER Scanner. The reference points are formed by a set of materialized points on the earth surface with known positional values and provide the linkage of the buildings to the GBS, thus having a one-dimensional, two-dimensional and / or three-dimensional character. This dissertation aimed to approach a methodology to implement and analyze the data quality of altimetric geodetic structures materialized in the Olinda-PE Historic Site and between the leveling stretches contained between the municipalities of Recife and Olinda. For this, leveling circuits linked to the GBS were raised through Level Reference RN 3640L, located at the General Command of the Military Police of Recife-PE, on the left side of the Derby Barracks central access staircase, with known accuracy, and the RN 394D, located on the left side of the main door of St. Peter Martyr Church in Olinda, without known accuracy, is a leveling branch, both IBGE Level References (RRNN). Using the high precision geometric leveling method employing the highest precision Digital Level according to ISO 17123-part 2 (ISO, 2001). Thus, the measurement methodology, the processing of geodetic data by the Least Squares Method (MMQ) and the evaluation of the

surveyed data and results achieved were improved. Thus, new quality altimetric geodetic structures were installed in the Olinda Historic Site and around Our Lady of Carmel Church and between the leveling sections that connect the municipalities of Recife and Olinda by the main access roads.

Keywords: High precision geometric leveling. Observation adjustment. Digital level. Least squares method. Accuracy of altimetric networks and historical building buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Superfícies de referência.....	30
Figura 2 - Método do Nivelamento Geométrico.	36
Figura 3 - Método para correção do erro de colimação C.	37
Figura 4 - Nivelamento Geométrico por trecho entre RRNN.	40
Figura 5 - Duplo nivelamento.....	41
Figura 6 - Vista dos pontos pré-existentes em torno da Igreja de Nossa Senhora do Carmo.....	52
Figura 7 - Vista das fachadas da Igreja Nossa Senhora do Carmo.....	53
Figura 8 - Referências de nível e as linhas de nivelamento.....	54
Figura 9 - Percurso do nivelamento Recife-Olinda.	55
Figura 10 - Fluxograma da metodologia da dissertação.....	56
Figura 11 - Referências de Nível do IBGE, Implantadas e Pré-existentes.....	58
Figura 12 - As RRNN 3640L, 3640J e 394D.	59
Figura 13 - (a) RN 3640L próximo à porta principal do Quartel da Polícia Militar do Recife. (b) RN 3640J junto a porta da copa dos vigilantes na Empresa de Urbanização do Recife (URB). (c) RN 394D lado esquerdo da porta de entrada da Igreja de São Pedro Mártir.	59
Figura 14 - Localização da RNISS, RN PO e RN EG.....	63
Figura 15 - Estátua Monsenhor Fabrício e Estação Gravimétrica nº 8132784.	66
Figura 16 - (c) a (l) Referências de Nível entre o trecho Recife e Olinda.....	66
Figura 17 - Referência de Nível 3640L.	67
Figura 18 - Procedimento do nivelamento geométrico com colocação da mira na Referência de Nível RN 3640L e RN PRCP.	68
Figura 19 - Esquema das linhas de levantamento.....	69
Figura 20 - Nivelamento Geométrico com colocação da mira nas Referências de Nível RN PRCP e RN PRSHELL.....	70
Figura 21 - Procedimento do nivelamento geométrico referente ao dia 30/07/2018.	71
Figura 22 - Nivelamento Geométrico entre as RRNN: RN PRJB e RN PRSA.	71
Figura 23 - Procedimento do nivelamento geométrico referente ao dia 23/08/2018.	72
Figura 24 - Visada Ré na RN PRSA e Visada Vante na RN PTAC.	72

Figura 25 - Mira na RN PTAC e Mira na RNPRSA.	73
Figura 26 - Procedimento do nivelamento geométrico referente ao dia 23/08/2018. Terceiro dia de campo.....	73
Figura 27 - Visada entre as RRNN: PMAR e PTAC.	74
Figura 28 - Conclusão do trecho RN PMAR e RN PTBE.	75
Figura 29 - Levantamento entre as RRNN no Sítio Histórico de Olinda.	76
Figura 30 - Trechos de nivelamento e contranivelamento compreendido entre a RN PTBE e RNISS (trecho sete), RN ISS e RN EG (trecho oito) e RN EG e RN 394D (trecho nove).	77
Figura 31 - Referências de Nível: Pré-existentes.	79
Figura 32 - Referências de Nível levantadas no entorno da INSC.	80
Figura 33 - Layout do AstGeoTop - Nivelamento Geométrico.....	84
Figura 34 - Modelo de Caderneta de Campo do Nivelamento- AstGeoTop.	84
Figura 35 - Modelo de Caderneta de Campo do Contranivelamento- AstGeoTop.....	85
Figura 36 - Planilha do Ajustamento - AstGeoTop.	86
Figura 37 - Perfil do Nivelamento e Contranivelamento - AstGeoTop.	86
Figura 38 - Linhas de nivelamento e fixação da RN 3640L.....	87
Figura 39 - Chapa da RN 394D. Data: 25/01/2017.	95
Figura 40 - Linhas de nivelamento e fixação da RN 394D (IBGE).	97
Figura 41 - Fixação da RN394D ajustada no Circuito 1.	100
Figura 42 - Circuito 3 com 22 linhas de nivelamento com a fixação da RN 3640L.	103
Figura 43 - AstGeoTop (2019).	131
Figura 44 - AstGeoTop (2019).	131
Figura 45 - AstGeoTop (2019).	132
Figura 46 - AstGeoTop (2019).	132
Figura 47 - AstGeoTop (2019).	133
Figura 48 - AstGeoTop (2019).	133
Figura 49 - AstGeoTop (2019).	134
Figura 50 - AstGeoTop (2019).	134
Figura 51 - AstGeoTop (2019).	135
Figura 52 - AstGeoTop (2019).	135
Figura 53 - AstGeoTop (2019).	136
Figura 54 - AstGeoTop (2019).	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de níveis Ópticos.	36
Tabela 2 - Classificação de Níveis Ópticos.	36
Tabela 3 - Especificações para o nivelamento geométrico.....	43
Tabela 4 - Referência de Nível 3640L do IBGE – Altitude normal.....	60
Tabela 5 - Referência de Nível 3640L do IBGE – Altitude ortométrica.....	60
Tabela 6 - Referência de Nível 3640J do IBGE – Altitude normal.....	60
Tabela 7 - Referência de Nível 3640J do IBGE – Altitude ortométrica.....	61
Tabela 8 - Referência de Nível 394D do IBGE.....	61
Tabela 9 - Referência de Nível 394D do IBGE.....	62
Tabela 10 - Primeira verificação e ajuste do equipamento.....	64
Tabela 11 - Segunda verificação e ajuste do equipamento.....	64
Tabela 12 - Terceira verificação e ajuste do equipamento.	64
Tabela 13 - Quarta verificação e ajuste do equipamento.....	64
Tabela 14 - Quinta verificação e ajuste do equipamento.....	65
Tabela 15 - Trechos, Desnível Bruto, Comp. do Percurso, Erro de fechamento, Precisão e Tolerância.	78
Tabela 16 - Circuito 1 – nivelamento.	82
Tabela 17 - Circuito 1 - contranivelamento.....	82
Tabela 18 - Erro de fechamento, Perímetro, Tolerância e Precisão.	83
Tabela 19 - Linhas, número de lances, desnível bruto e distâncias.....	91
Tabela 20 - Precisão do nivelamento do trecho III.....	91
Tabela 21 - Altitudes ortométricas ajustadas das RRNN entre Recife e Olinda (Circuito 1) e seus respectivos desvios padrão.....	93
Tabela 22 - Diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.....	93
Tabela 23 - Altitudes normais ajustadas das RRNN entre Recife e Olinda (Circuito 1) e seus respectivos desvios padrão.....	94
Tabela 24 - Diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.....	94
Tabela 25 - Linhas de nivelamento no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo.	96
Tabela 26 - Erro de fechamento, precisão, percurso e tolerância.....	96
Tabela 27 - Altitudes ortométricas ajustadas das RRNN no entorno da Igreja e seus respectivos desvios padrão.	98

Tabela 28 - Diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.....	98
Tabela 29 - Altitudes normais ajustadas das RRNN em Olinda no entorno da Igreja e seus respectivos desvios padrão.	99
Tabela 30 - Diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.....	99
Tabela 31 - Altitudes ortométricas ajustadas das RRNN no entorno da Igreja em Olinda e seus respectivos desvios padrão.....	101
Tabela 32 - Diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.....	101
Tabela 33 - Altitudes normais ajustadas das RRNN no entorno da Igreja em Olinda e seus respectivos desvios padrão.	101
Tabela 34 - Diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.....	101
Tabela 35 - Discrepâncias das Referências de Nível com altitudes normais ajustadas entre os circuitos (1) e (2).....	102
Tabela 36 - Discrepâncias das Referências de Nível com altitudes ortométricas ajustadas entre os circuitos (1) e (2).....	102
Tabela 37 - Valores coletados das 22 linhas de todo o percurso – Circuito 3.....	104
Tabela 38 - Altitudes ortométricas ajustadas e seus respectivos desvios padrão.	106
Tabela 39 - Diferenças de nível ajustadas entre Recife e Olinda e no entorno da Igreja e seus respectivos desvios padrão.....	106
Tabela 40 - Altitudes normais ajustadas das RRNN do Circuito 3 e seus respectivos desvios padrão.	107
Tabela 41 - Diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.....	107
Tabela 42 - Discrepâncias das Referências de Nível das altitudes normais entre o Circuito 1 – 18 linhas e Circuito 3 – 22 linhas.	108
Tabela 43 - Discrepâncias das Referências de Nível das altitudes ortométricas entre o Circuito (1) – 18 linhas e Circuito 3 – 22 linhas.	108
Tabela 44 - Discrepâncias das Referências de Nível das altitudes normais entre as RRNN do Circuito 2 (processamento 1) – 4 linhas e do Circuito 3 – 22 linhas.....	109
Tabela 45 - Discrepâncias das Referências de Nível das altitudes ortométricas entre as RRNN do Circuito 2 (processamento 1) – 4 linhas e do Circuito 3– 22 linhas...	109
Tabela 46 - Discrepâncias das Referências de Nível das altitudes normais entre as RRNN do Circuito 2 (processamento 2) – 4 linhas e do Circuito 3 – 22 linhas.....	109
Tabela 47 - Discrepâncias das Referências de Nível das altitudes ortométricas entre as RRNN do Circuito 2 (processamento 2) – 4 linhas e do Circuito 3 – 22 linhas..	109

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
MTM	Métodos Terrestres de Medição
LST	Laser Scanner Terrestre
RGB	Rede Geodésica Brasileira
RRCM	Rede de Referência Cadastral Municipal
RGAL	Rede Geodésica Altimétrica
RRNN	Referências de Nível
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
RGAL	Rede Geodésica Altimétrica Local
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
SGRB	Sistema Geodésico de Referência Brasileiro
RAAP	Rede Altimétrica de Alta Precisão
IAGS	Serviço Geodésico Interamericana
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
NBR	Norma Brasileira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCD	<i>Charge Coupled Device</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
PRCP	Praça da Capunga
PRJB	Praça João de Barros
PRSA	Praça de Santo Amaro
PTAC	Ponto Tacaruna
PTMAR	Ponto Marinha
PTBE	Ponto Beberibe

PRSHELL	Praça do Posto SHELL
ISS	Igreja de São Sebastião
E.G	Estação Gravimétrica
MVC	Matriz Variância Covariância
IGRM	Igreja da Misericórdia
MR	Mercado da Ribeira
INSC	Igreja Nossa Senhora do Carmo
NSC	Nossa Senhora do Carmo
COR	Correio
ISS	Igreja de São Sebastião
PO	Prefeitura de Olinda
SP	São Pedro
FIDEM	Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife

LISTA DE SÍMBOLOS

ζ	Anomalia de altura;
H	Altitude ortométrica;
H^N	Altitude normal;
h	Altitude elipsoidal;
N	Ondulação geoidal;
U	Potencial normal;
W	Potencial de gravidade;
c	Geopotencial;
$\vec{\gamma}$	Vetor gravidade;
C	Erro de colimação;
Δh_{AB}	Desnível entre os pontos A e B;
a_1	Leitura efetuada na mira posicionada no ponto A, no momento em que o nível estava estacionado entre A e B;
a_2	Leitura efetuada na mira posicionada no ponto A, no momento em que o nível estava estacionado a 40 metros de distância da mira posicionada em A;
b_1	Leitura efetuada na mira posicionada no ponto B, no momento em que o nível estava estacionado entre A e B;
b_2	Leitura efetuada na mira posicionada no ponto B, no momento em que o nível estava estacionado a 40 metros de distância da mira posicionada em A e a 20 metros de distância da mira posicionada em B;
$a'_1; b'_1$	Leituras que teoricamente teriam de ser observadas nos pontos A e B, sem a influência do erro de colimação do nível, no momento em que a régua está estacionada entre A e B;
$a'_2; b'_2$	Leituras que teoricamente teriam de ser observadas nos pontos A e B, sem a influência do erro de colimação do nível, no momento em que a régua está estacionada a 40m de A e a 20m de B;
s	Precisão do nivelamento dado em mm/km;
e_n	Erro de fechamento do nivelamento em mm;
d	Comprimento do trecho nivelado em km;
Ta	Tolerância aplicada;

Pr	Precisão do equipamento;
K	Distância nivelada em quilômetros;
Se	Sapata esquerda;
Sd	Sapata direita;
$s1, s2,$	Posicionamento das sapatas;
$s3, s4$	Posicionamento das sapatas;
L_b	Vetor (nx1) de observações;
V	Vetor (nx1) de resíduos;
L_a	Vetor (nx1) dos valores observados ajustados;
L_0	Parâmetros aproximados;
P	Matriz peso;
V	Matriz resíduo
σ_0^2	Variância da unidade de peso a priori;
$\sigma_0^{\wedge 2}$	Variância da unidade de peso a posteriori;
X^{*2}	Teste Qui-Quadrado;
H_0	Hipótese nula;
H_a	Hipótese alternativa;
v	Grau de liberdade;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	OBJETIVOS.....	25
1.1.1	Objetivo geral	25
1.1.2	Objetivos específicos.....	25
1.2	ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	26
2	SISTEMAS DE REFERÊNCIA PARA O LEVANTAMENTO GEODÉSICO DE PRÉDIOS HISTÓRICOS	27
2.1	SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA	27
2.1.1	Superfícies de referências altimétricas e tipos de altitudes	29
2.1.2	Rede altimétrica de alta precisão - RAAP.....	31
2.2	ESTADO DA ARTE DAS TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO DAS EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS	31
3	IMPLANTAÇÃO E ANÁLISE DE ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS.....	35
3.1	MÉTODO DO NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DE ALTA PRECISÃO	35
3.1.1	Verificação e ajustes de níveis	37
3.1.2	Transporte de altitude: nivelamento, contranivelamento e nivelamento duplo – instrumentação e metodologia de medição	39
3.2	ESPECIFICAÇÕES PARA O NIVELAMENTO GEOMÉTRICO	42
3.3	AJUSTAMENTO DAS OBSERVAÇÕES - MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS (MMQ)	46
3.3.1	Modelo Paramétrico para o ajustamento de Redes Altimétricas	46
3.4	ANÁLISE DA QUALIDADE DO AJUSTAMENTO – ANÁLISE DA ACURÁCIA	48
4	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	50
4.1	ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO.....	50
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS	55
4.2.1	Materiais.....	56
4.2.2	Métodos	56
4.3	METODOLOGIA APLICADA PARA VINCULAÇÃO DAS ESTRUTURAS GEODÉSICAS AO SGB.....	57

4.4	MEDIÇÕES COM O NÍVEL DIGITAL	63
4.4.1	Rede altimétrica trecho Recife – Olinda: materialização e medição da rede	65
4.4.2	Rede Altimétrica no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo: materialização e medição da rede	78
5	RESULTADOS E ANÁLISES	81
5.1	REDE ALTIMÉTRICA ENTRE RECIFE E OLINDA – CIRCUITO 1	81
5.1.1	Resultados dos levantamentos de campo.....	82
5.1.2	Processamento do Circuito 1: MMQ – Modelo Paramétrico.....	87
5.1.2.1	Processamento 1: RN 3640L (IBGE) fixa e dados do nivelamento e contranivelamento – 18 linhas de nivelamento	87
5.1.2.1.1	<i>Ajustamento de altitudes ortométricas</i>	<i>89</i>
5.1.2.1.2	<i>Ajustamento de altitudes normais</i>	<i>94</i>
5.2	REDE ALTIMÉTRICA NO ENTORNO DA IGREJA NOSSA SENHORA DO CARMO – CIRCUITO 2	95
5.2.1	Resultados dos nivelamentos de campo.....	95
5.2.2	Processamentos: MMQ – Modelo Paramétrico.....	96
5.2.2.1	CIRCUITO 2: FIXAÇÃO DA RN 394D (IBGE) – 4 LINHAS DE NIVELAMENTO	96
5.3	REDE ALTIMÉTRICA COMPOSTA PELO TRECHO RECIFE-OLINDA - IGREJA NOSSA SENHORA DO CARMO: PROCESSAMENTOS: MMQ – MODELO PARAMÉTRICO – CIRCUITO 3	103
5.3.1	Processamento 1: fixação da RN3640L (IBGE) – 22 linhas de nivelamento ...	103
6	CONCLUSOES E RECOMENDAÇÕES	110
6.1	CONCLUSÕES.....	110
6.2	RECOMENDAÇÕES	112
	REFERÊNCIAS	113
	APÊNDICE A - MEMORIAIS DESCRITIVOS DAS RRNN IMPLANTADAS	119
	ANEXO A - RELATÓRIO DE ESTAÇÃO GEODÉSICA 3640L	125
	ANEXO B - RELATÓRIO DE ESTAÇÃO GEODÉSICA 3640L	126
	ANEXO C - RELATÓRIO DE ESTAÇÃO GEODÉSICA 3640J	127
	ANEXO D - RELATÓRIO DE ESTAÇÃO GEODÉSICA 3640J	128
	ANEXO E – RELATÓRIO DE ESTAÇÃO GEODÉSICA 394D.....	129

ANEXO F - RELATÓRIO DE ESTAÇÃO GEODÉSICA 394D	130
ANEXO G - RELATÓRIO DO AJUSTAMENTO DO NIVELAMENTO E DO CONTRANIVELAMENTO DO TRECHO ENTRE AS REFERÊNCIAS DE NÍVEL: RN3640L E RNPRCP, através do software AstGeoTop.	131
ANEXO H - RELATÓRIO DO AJUSTAMENTO DO NIVELAMENTO E DO CONTRANIVELAMENTO DO TRECHO ENTRE AS REFERÊNCIAS DE NÍVEL: RNPRCP E RNPRJB, através do software AstGeoTop.	132
ANEXO I - RELATÓRIO DO AJUSTAMENTO DO NIVELAMENTO E DO CONTRANIVELAMENTO DO TRECHO ENTRE AS REFERÊNCIAS DE NÍVEL: RNPRJB E RNPRSA, através do software AstGeoTop.	133
ANEXO J - RELATÓRIO DO AJUSTAMENTO DO NIVELAMENTO E DO CONTRANIVELAMENTO DO TRECHO ENTRE AS REFERÊNCIAS DE NÍVEL: RNPRSA E RNPTAC, através do software AstGeoTop.	134
ANEXO K - RELATÓRIO DO AJUSTAMENTO DO NIVELAMENTO E DO CONTRANIVELAMENTO DO TRECHO ENTRE AS REFERÊNCIAS DE NÍVEL: RNPTAC E RNPTBE, através do software AstGeoTop.	135
ANEXO L - RELATÓRIO DO AJUSTAMENTO DO NIVELAMENTO E DO CONTRANIVELAMENTO DO TRECHO ENTRE AS REFERÊNCIAS DE NÍVEL: RNPTBE E RN394D, através do software AstGeoTop.	136

1 INTRODUÇÃO

Uma parte do Município de Olinda-PE contempla uma área de preservação histórica tombada pelo Patrimônio Histórico e Cultural da Humanidade. Dentre outros monumentos e edificações históricas, ressaltam-se as igrejas e casarios antigos. Estas edificações são envolvidas durante todo o ano por diversas atividades culturais. Necessitando assim, de uma organização dentro do espaço urbano, a qual exige o conhecimento de parâmetros de ocupação, infraestrutura viária, atividades e instrumentos da política urbana, que devem obedecer a específicas normas da área do planejamento urbano.

Como a estruturação das Prefeituras quanto ao planejamento e execução das obras para benfeitorias da população são escassas ao cadastramento e controle construtivo dos imóveis, dentre outros, inclui-se o município de Olinda por apresentar seus dados cartográficos desatualizados. Tal fato requer uma modernização do Cadastro com a necessidade real das informações das edificações para registrar a situação legal dos imóveis para uma possível representação tridimensional.

Uma realidade da ausência do emprego dos métodos e técnicas de medição da Geodésia/Topografia encontra-se nos Centros Históricos das cidades brasileiras, a exemplo dos Centros Históricos de Olinda e João Pessoa, caracterizados pela presença marcante de edificações prediais históricas. Essas edificações são relevantes pelo valor histórico que representam para as cidades e integram o patrimônio histórico e cultural do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) (SEIXAS *et al.*, 2014).

Entre os métodos utilizados para o levantamento das edificações prediais localizadas em áreas urbanas, os métodos de posicionamento por satélites com o emprego de receptores *Global Navigation Satellite System* (GNSS), ainda são poucos contemplados, assim como o emprego de outras técnicas de medição geodésica/topográfica que se baseiam nas observações de campo com estação total e nível digital. Essas observações são essenciais para a discretização e reconstrução 3D de superfícies e de objetos.

Na maioria dos casos, levando em consideração o custo/benefício, a utilização de Métodos Terrestres de Medição (MTM) com emprego de estações totais e níveis automáticos é bastante viável. Além dos métodos tradicionais de medição outro tipo de levantamento que está crescendo no mercado é a utilização do LASER Scanner Terrestre (LST) na reconstrução 3D realizada em prédios históricos, assim como a Fotogrametria Terrestre.

Utilizando métodos geodésicos/topográficos uma das dificuldades na execução de levantamentos é a escassez de pontos de referência planialtimétricos nas proximidades dos

imóveis urbanos por apresentar certa carência quanto a Rede Geodésica Brasileira (RGB) e a Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM). Neste contexto, evidencia-se a situação da Rede Geodésica Altimétrica (RGA) do município de Olinda, a qual dentro da área do Sítio Histórico possuía até 2011 apenas uma Referência de Nível (RN) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (RN 394D) em bom estado físico, a qual não possui precisão altimétrica vinculada a Rede Geodésica Altimétrica brasileira, por se tratar a mesma de um ramal de nivelamento realizado na década de 50.

Desde 2011 vem sendo realizadas pesquisas nesta área com a implantação e densificação de novas RRNN distribuídas ao longo de todo o Sítio Histórico. Desta forma, torna-se necessário vincular esta Rede Geodésica Altimétrica implantada à RRNN do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) com precisões fornecidas e homologadas pelo IBGE.

Neste contexto, pretende-se abordar o estado da arte dos métodos de levantamentos geodésicos/topográficos para a discretização 3D de edificações prediais históricas e apresentar uma metodologia para vinculação de Rede Geodésica Altimétrica Local (RGAL) ao SGB e determinação da acurácia da Rede Geodésica Altimétrica, buscando o aperfeiçoamento dos métodos e técnicas de medição aplicados aos levantamentos geodésicos altimétricos para o levantamento de benfeitorias da área de um modo geral. Ressaltando-se os problemas relacionados às medições e transporte de altitudes em áreas urbanas e a interligação de redes altimétricas vinculadas ao SGB.

A Rede Geodésica Altimétrica será tratada nesta dissertação como estrutura geodésica altimétrica, termo este denominado em Santos (1999). Segundo o mesmo autor, uma estrutura geodésica constitui-se em uma malha de vértices, materializados no terreno, conectados entre si através de observações. A estrutura geodésica altimétrica representa, nesta dissertação, pontos de referência altimétrica fundamentais para o estabelecimento do Cadastro 3D de edificações prediais históricas, que precisam ser determinados com acurácia adequada para os trabalhos de engenharia em centros históricos.

No centro histórico de Olinda vem sendo densificadas RRNN desde 2011 a partir dos trabalhos desenvolvidos em Souza (2012), Gomes e Seixas (2013), Seixas *et al.* (2014), Santana Neto (2015), Gomes (2016), Santana Neto e Seixas (2017), Santos (2017) e Santana Neto (2018), totalizando até a presente data 21 RRNN distribuídas ao longo do Sítio Histórico. Estes trabalhos estão vinculados aos projetos de pesquisa: “Reconstrução tridimensional de edificações por meio de métodos técnicos ópticos de medição geodésica para diagnóstico de movimentos verticais”; “A contribuição da Geodésia Aplicada para a Discretização de Edificações Prediais” e “A contribuição da Geodésia Aplicada para a

Discretização de Edificações Prediais e Estabelecimento de Padrões de Referências Metrológicas” cadastrados na UFPE.

Nesta dissertação são abordados os dados geodésicos altimétricos e Redes Geodésicas Altimétricas (estruturas geodésicas altimétricas) vinculadas ao SGB, continuando os trabalhos e as pesquisas desenvolvidas em Olinda. Assim, as metodologias de medição e infraestruturas geodésicas altimétricas da área do Sítio Histórico e entre os municípios de Olinda e Recife são aperfeiçoadas.

1.1 OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos geral e específicos que constituem partes essenciais para o desenvolvimento desta dissertação.

1.1.1 Objetivo geral

Esta dissertação tem como objetivo geral abordar uma metodologia para implantação e análise da qualidade de dados de estruturas geodésicas altimétricas aplicadas para o levantamento da área do Sítio Histórico de Olinda vinculados ao SGB, utilizando o método de nivelamento geométrico de alta precisão.

1.1.2 Objetivos específicos

São os objetivos específicos desta pesquisa:

- a) implantar novas Referências de Nível à Rede Geodésica Altimétrica Local pré-existente no Sítio Histórico de Olinda;
- b) interligar Referências de Nível do IBGE, localizadas nos Municípios do Recife (Bairro do Derby) e Olinda (Centro Histórico de Olinda);
- c) analisar a qualidade das estruturas geodésicas altimétricas implantadas com base no Método dos Mínimos Quadrados, integrando-as às RRNN pré-existentes na área de estudo.

1.2 ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação é composta por seis capítulos. O primeiro é a introdução, no qual são apresentados os objetivos e justificativas desta dissertação. O segundo capítulo aborda o Sistema Geodésico Brasileiro: Rede Altimétrica, Estado da Arte, Métodos Terrestres de Medição, Método Interferométrico a LASER e Método Fotogramétrico Terrestre. Detalhando-se os tipos de altitudes, métodos, normalizações e suas aplicações.

O terceiro capítulo trata da implantação e análise de estruturas geodésicas altimétricas, como: o método do nivelamento geométrico de alta precisão, a verificação e ajustes de níveis, o transporte de altitude, o ajustamento, o modelo paramétrico das observações pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) e a análise da acurácia.

O quarto capítulo descreve a Metodologia da Pesquisa. Apresenta a escolha da área de estudo; os materiais e métodos; o percurso metodológico aplicado para vinculação das estruturas geodésicas ao SGB; medição com o nível digital; a rede altimétrica trecho Recife-Olinda (materialização e medição da rede; análises dos dados de campo; o MMQ - modelo paramétrico); a rede altimétrica no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo (materialização e medição da rede).

O quinto capítulo apresenta os resultados e discussões das redes altimétricas: entre Recife e Olinda; no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo; composta pelo trecho Recife-Olinda e no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo.

O sexto capítulo traz as conclusões e recomendações. Finalizando-se em seguida com as referências bibliográficas, e a apresentação dos anexos e apêndices.

2 SISTEMAS DE REFERÊNCIA PARA O LEVANTAMENTO GEODÉSICO DE PRÉDIOS HISTÓRICOS

Segundo Torge (2001), as redes geodésicas e gravimétricas têm a finalidade de realizar um campo de pontos materializados com acurados valores planimétricos, altimétricos e da gravidade (geopotenciais). Estes campos de pontos fixos conFiguram a referência para as determinações do posicionamento e das medições gravimétricas de abrangência global, regional e local. Segundo o mesmo autor, as Redes Globais realizam o sistema de referência definido através da convenção internacional. Redes nacionais conFiguram a base para o levantamento territorial nacional ou continental. As mesmas são as bases para os sistemas de informações geográficas como também das cartas topográficas e temáticas. Redes locais são implantadas principalmente para projetos de engenharia, investigações geofísicas, entre outras, e para a determinação de procedimentos geodinâmicos espacialmente limitados.

O Sistema Geodésico de Referência é constituído por um conjunto de parâmetros geodésicos fundamentais adquiridos nas observações realizadas na Terra, propondo um modelo da forma e dimensões do elipsóide de referência e um campo de gravidade externo da Terra (DE FREITAS, 2005).

2.1 SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA

O Sistema Geodésico de Referência Brasileiro (SGRB) é o SIRGAS2000, que é um sistema geocêntrico. A definição, implantação e manutenção do SGRB são constituídas pelas redes planimétrica, altimétrica e gravimétrica que, por sua vez, são de responsabilidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), assim como o estabelecimento das especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos (IBGE, 2005 e IBGE, 2015). No contexto desta dissertação, aborda-se o aperfeiçoamento da Rede Geodésica Altimétrica Local do Sítio Histórico de Olinda com a vinculação da rede a outras RRNN do IBGE além da RN 394D.

Segundo Blitzkow e Matos (2002), para a implantação de pontos de densificação é necessário que os mesmos componham as redes de referência continentais, nacionais ou regionais, como por exemplo, a rede do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS). Neste contexto, a resolução PR nº 01/2015, art. 1º, define que a partir 25 de fevereiro de 2015 tem seu término o período de transição para adoção no Brasil do SIRGAS,

em sua realização de 2000,4 (IBGE, 2015). O que significa dizer que Todos os trabalhos desenvolvidos no Brasil relacionados às Ciências Geodésicas e Cartográficas deverão estar vinculados ao Sistema Geodésico de Referência SIRGAS2000. No que diz respeito ao tema abordado nesta dissertação, as altitudes geodésicas (altitudes elipsoidais) estão relacionadas ao elipsoide de referência GRS80.

Em Silva e Segantine (2015), um Sistema Geodésico de Referência é formado por um conjunto de pontos geodésicos descritores da superfície topográfica (física) da Terra, implantados e materializados na porção da superfície terrestre, com vistas às finalidades de sua utilização, que vão desde o atendimento a projetos internacionais de cunho científico, passando pelas amarrações e controles de trabalhos geodésicos e cartográficos, até o apoio aos levantamentos no horizonte topográfico, onde prevalecem os critérios de exatidão sobre as simplificações para a Figura da Terra.

Segundo Monico (2000), quando um referencial é definido e adotado por convenções, a etapa seguinte é caracterizada pela coleta de observações a partir de pontos sobre a superfície terrestre (rede), devidamente materializados. Fazem parte, ainda, o processamento e análise, bem como a divulgação dos resultados, que é, essencialmente, um conjunto de coordenadas associado a uma época em particular. As coordenadas podem vir acompanhadas de suas respectivas velocidades. Segundo o mesmo autor, esse conjunto materializa o sistema de referência.

A definição e implantação de estruturas geodésicas são dependentes da evolução tecnológica. Por isso, visualizam-se diferentes procedimentos de medição, materialização e detecção de pontos. As estruturas geodésicas tem assim um caráter unidimensional, bidimensional e/ou tridimensional. Em função disso são executados métodos para a sua definição. Com isso as coordenadas de um campo de pontos fixos, podem ser determinadas altimetricamente, planimetricamente e planialtimetricamente (KAHMEN, 2006).

Nesta dissertação, abordam-se as estruturas geodésicas altimétricas, que têm um caráter unidimensional, a partir do levantamento da rede altimétrica com emprego de nível digital, utilizando o método de nivelamento geométrico de alta precisão, e sua vinculação a Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do IBGE.

A seguir são descritas as superfícies de referências altimétricas e os tipos de altitudes.

2.1.1 Superfícies de referências altimétricas e tipos de altitudes

A superfície que se vincula ao elipsóide através da anomalia de altura (ζ) é o quase-geóide. Ou ainda, se a anomalia de altura (ζ) for definida a partir da superfície física, obtém-se o teluróide. Contrariamente ao geóide, o quase-geóide e o teluróide não são superfícies equipotenciais (DE FREITAS; BLITZKOW, 1999).

As altitudes do tipo elipsoidal (geométrica) ocorrem quando as respectivas altitudes são obtidas por métodos conduzidos sem a consideração da influência gravitacional da Terra (GEMAEL, 1999). Conforme Luz *et al.* (2008), em contraposição as altitudes físicas são contadas a partir de certa superfície de nível (equipotencial) do campo da gravidade, materializada de forma aproximada pelo Nível Médio dos Mares (NMM), e seu cálculo se dá por meio da associação de informações gravimétrica.

O modelo geoidal se coaduna com a altitude ortométrica (H), enquanto a anomalia de altura (ζ) está vinculada ao quase-geóide e à altitude normal (H^N) (BLITZKOW *et al.*, 2004). Através da Figura 1, deduz-se que (Equação 1 e Equação 2):

$$h = H^N + \zeta \quad (1)$$

$$h = H + N \quad (2)$$

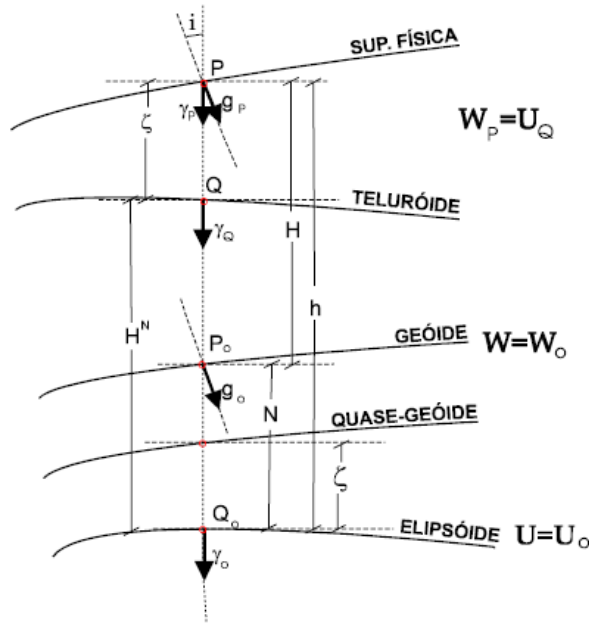
Em que h é a altitude elipsoidal.

Das Equações (1) e (2), tem-se a Equação 3:

$$N - \zeta = H^N - H \quad (3)$$

Conclui-se que a diferença entre a ondulação geoidal (N) e a anomalia de altura (ζ) é igual à diferença entre a altitude normal (H^N) e a altitude ortométrica (H).

Figura 1- Superfícies de referência.



Fonte: FREITAS & BLITZKOW (1999).

De acordo com Ghilani e Wolf (1996), podem-se usar diversos métodos para a obtenção das altitudes, como: o nivelamento geométrico, nivelamento trigonométrico, nivelamento hidrostático, nivelamento barométrico e nos últimos anos o GNSS.

A superfície de referência teluróide, trata-se de uma superfície cujo potencial normal U em um ponto Q é igual ao potencial de gravidade W em um P da superfície física, $W_P = U_Q$. A altitude normal H^N é obtida a partir do número geopotencial C , equação 4 (DE FREITAS & BLITZKOW, 1999).

$$H^N = \frac{C}{\gamma Q_0} \left[1 + (1 + f + m - f \sin^2 \varphi) \frac{C}{\alpha \gamma Q_0} + \left(\frac{C^2}{\alpha^2 \gamma^2 Q_0^2} \right) \right] \quad (4)$$

Onde a anomalia de gravidade pela solução: $\Delta g = \vec{g}(P) - \vec{\gamma}(Q)$, sendo $\vec{g}(P)$ é o vetor gravidade num ponto P da Terra real e $\vec{\gamma}(Q)$ o vetor da gravidade num ponto Q da Terra normal. No caso da ζ ser representada a partir do elipsoide, resultará em uma superfície denominada por Molodenskii de quase-geoide com as relações expressas nas Equações 1 a 3. Logo, a superfície do quase-geoide não é uma superfície equipotencial do campo de gravidade.

Entretanto, de Freitas e Blitzkow (1999), mostram que a definição de redes de controle vertical, em geral, é mediante o nivelamento geométrico, sendo materializado por marcos de alvenaria ou chapas metálicas colocadas em local considerado estável.

2.1.2 Rede altimétrica de alta precisão - RAAP

Segundo IBGE (2005), em 1958, quando a Rede Altimétrica contava com mais de 30.000 quilômetros de linhas de nivelamento, o *Datum* de Torres foi substituído pelo *Datum* de Imbituba, definido pela estação maregráfica do porto da cidade de mesmo nome, em Santa Catarina. Tal substituição ensejou uma sensível melhoria de definição do sistema de altitudes, uma vez que a estação de Imbituba contava na época com nove anos de observações, bem mais que o alcançado pela estação de Torres no Rio Grande do Sul.

O Serviço Geodésico Interamericano (IAGS), a determinação das altitudes da Rede Vertical de 1º ordem do Brasil, foi definido a partir do Nível Médio dos Mares (NMM) acima de zero da régua do marégrafo de Imbituba entre os anos de 1949 a 1957 (GEMAEL, 1999).

A Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do Brasil é composta por, aproximadamente, 69000 RRNN disponibilizadas e distribuídas no território nacional, das quais 104 referências altimétricas (2016), onde dessas: 3 estão destruídas (vistas realizadas em 2006 ou 2009), 42 não foram localizadas (de acordo com o banco de Dados Geodésicos, entre os anos 2004, 2006, 2009 e 2014 foram os anos que as referências foram visitadas) e apenas 59 estão em bom estado (os anos que ocorreram as visitas 1958, 1984, 1987, 2006, 2009, 2013 e 2014) estão distribuídas no Município de Olinda e Recife no estado de Pernambuco.

2.2 ESTADO DA ARTE DAS TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO DAS EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS

Para o levantamento de prédios históricos os pontos de referência e pontos-objeto são interligados aos vértices de uma Rede de Referência Geodésica. Os pontos de referência são formados por um conjunto de pontos materializados na superfície terrestre com valores posicionais conhecidos.

Os métodos a serem empregados na aquisição de dados geodésicos/topográficos em campo estão voltados para o cadastro tridimensional dos prédios históricos no Município de Olinda – PE, ressaltando os métodos de posicionamento GNSS e Métodos Terrestres de Medição com emprego de estação total e nível automático. Além destes também é empregado o método interferométrico a LASER e o método fotogramétrico terrestre.

A seguir é apresentado o estado da arte das técnicas de levantamento de edificações históricas, as quais são interligadas aos pontos de referência materializados no entorno das edificações.

a) Métodos de Posicionamento GNSS

Os métodos de posicionamento GNSS relativo estático, estático rápido, semicinemático, relativo cinemático (pós-processado, em tempo real e em redes) são utilizados em diversas aplicações no Cadastro 3D de prédios históricos. Como exemplo, pode-se citar os trabalhos desenvolvidos em (GAMA, 2008; GAMA; SEIXAS e SOUZA, 2012; GAMA et al., 2015).

O uso dos métodos precisos de posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) está alterando a forma de gestão dos órgãos em relação aos levantamentos cadastrais e de coleta de dados, com uma diversidade de métodos de levantamento. Este método possibilita aplicações no Cadastro 3D obtendo uma qualidade posicional de pontos de referência e dos pontos-objeto.

O posicionamento GNSS melhora o desempenho geométrico da obra. É usado no Cadastro 3D, garantindo uma confiabilidade posicional e uma exatidão compatível com as tolerâncias expressas nas normas NBR 14166 (ABNT, 1998) e Decreto Lei nº 9.310, de 15 de março de 2018 (BRASIL, 2018).

b) Métodos Terrestres de Medição

Os Métodos Terrestres de Medição executados com estação total estão divididos em: irradiação, bilateração, interseção a vante, interseção a ré (medições combinadas de ângulo e distância, medições de distâncias, medições de ângulos), poligonação, trilateração, triangulação, triangulateração e nivelamento trigonométrico. Estes são utilizados para a implantação de redes clássicas de poligonação, trilateração, triangulação e triangulateração, implantação de pontos de apoio imediato próximo às edificações e determinação de pontos-objeto das estruturas e limites das edificações. Como exemplos de trabalhos aplicados em edificações históricas pode-se citar: (Tenório e Seixas, 2008), (Silva, Nascimento e Seixas, 2016), (Gama et al., 2015), (Seixas, Souza e Gama, 2013), Santana Neto (2015), Gomes (2016), (Melo e Seixas, 2018) e (Santos, Seixas e Santos, 2019)

Os métodos Terrestres de Medição executados com nível digital (método de nivelamento geométrico) e empregados nesta dissertação estão divididos em simples e composto e estão descritos no item 3.1. Como exemplos de trabalhos aplicados em centros históricos envolvendo o método do nivelamento geométrico de alta precisão, pode-se citar:

Souza (2012); Gomes e Seixas (2013); Seixas et al. (2014); Gama et al. (2015); Gama, Silva e Seixas (2016); Nascimento, Silva e Seixas (2016); Santana Neto e Seixas (2017); Santos et al. (2018).

c) **Método a LASER**

O LASER Scanner possui um campo vasto de aplicações como: arqueologia, estudos de restauração em edificações, medição de túneis e estradas, modelagem urbana, projetos de mineração e infraestrutura, entre outros. Essa variedade de usos requer diferentes configurações, geometrias e potências (MATEUS, 2012).

O princípio de funcionamento de um dispositivo de varredura a LASER é bastante simples, sendo composto por uma unidade óptica que emite o feixe LASER, um dispositivo óptico-mecânico que reflete o feixe de LASER e um sensor que captura e registra o raio refletido pelo ambiente. Assim, as informações capturadas pelo *scanner* permitem calcular o posicionamento de cada ponto de reflexão, em relação ao sistema de coordenadas do equipamento (AMORIM, 2012).

Ainda segundo Amorim (2012), na varredura a LASER, para cada feixe emitido são conhecidos seu ângulo horizontal e vertical e, sabendo-se que esse feixe viaja à velocidade da luz, medindo-se o tempo de retorno do raio após atingir o alvo é possível determinar a distância do ponto de reflexão ao centro de emissão, origem do sistema de coordenadas esféricas.

Há dois tipos de sistemas de varredura a LASER terrestres: os sistemas estáticos e os sistemas cinemáticos ou dinâmicos. Em ambos os casos as nuvens densas de pontos 3D são obtidas em um sistema de coordenadas cartesianas 3D e, possivelmente, um valor de refletividade é registrado para cada ponto observado (ANDRADE, 2012).

Ainda segundo Andrade (2012), no sistema estático as nuvens de pontos se referem ao sistema de coordenadas da respectiva estação. Para que as nuvens de pontos obtidas a partir de estações diferentes estejam em um sistema único, elas têm que ser registradas entre si. Tendo em vista que a posição e orientação são estáveis durante o tempo da varredura, as nuvens de pontos possuem uma boa qualidade geométrica. Nos sistemas cinemáticos, objetos longos tais como: estradas, ferrovias ou fachadas de edifícios são observados mais rapidamente do que nos sistemas estáticos. Devido ao movimento contínuo do LASER *scanner*, cada ponto observado refere-se a um sistema de coordenadas cartesianas 3D individual (da estação). Para vincular matematicamente todos esses sistemas em um único sistema de referência espacial (Sistema Geodésico Global), como o SIRGAS2000 ou algum

sistema geodésico nacional, devem ser observadas as respectivas posições e orientações usando-se equipamentos adequados como receptores GNSS e *Inertial Measurement Unit* (IMU), respectivamente. Além disso, todos os sensores em uso têm que ser sincronizados precisamente em uma referência de tempo única.

d) Método Fotogramétrico Terrestre

A aquisição de imagens fotogramétricas pelo método terrestre obtém-se através de câmaras métricas ou não métricas, onde o equipamento é acoplado em um tripé em uma determinada distância do objeto a ser levantado para que possa realizar a varredura e gerar uma nuvem de pontos.

A utilização da câmara métrica tem por sua vez uma maior confiabilidade nas coordenadas da câmara e conta com parâmetros já definidos em um certificado de calibração (MAULONI, 2012).

Atualmente é cada vez mais frequente a utilização de drones para medição de fachadas e de prédios. A facilidade de uso de VANT têm permitido que profissionais com pouca ou nenhuma experiência cartográfica utilizem o VANT para geração de produtos cartográficos diversos (COLOMINA e MOLINA, 2014).

3 IMPLANTAÇÃO E ANÁLISE DE ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS

As Estruturas Geodésicas em área urbana proporcionam a vinculação das edificações ao SGR. Nesta dissertação foi contemplada a implantação de estruturas geodésicas altimétricas, onde estão sendo implantadas com o método do nivelamento geométrico de alta precisão para a vinculação da Igreja Nossa Senhora do Carmo em Olinda ao SGB.

3.1 MÉTODO DO NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DE ALTA PRECISÃO

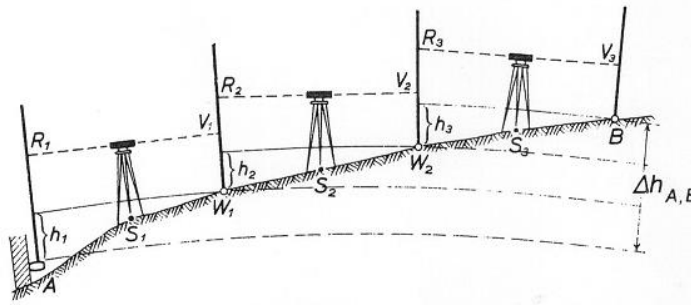
O nivelamento geométrico é a operação que visa à determinação da diferença de nível entre dois pontos em relação a um mesmo referencial a partir de leituras em miras efetuadas com níveis analógicos ou digitais. Este procedimento pode ser executado para fins geodésicos ou topográficos (KAHMEN e FAIG, 1998).

Há duas possibilidades de execução do nivelamento geométrico: simples ou composto. O método composto são sucessões de nivelamento geométrico simples, devidamente amarrados uns aos outros pelos chamados pontos de mudanças. Este processo é empregado quando se trata de nivelamento em terreno de desnível acentuado (KAHMEN, 2006; SILVA e SEGANTINE, 2015).

Em circuitos de nivelamento geométrico a influência dos efeitos de curvatura terrestre e refração atmosférica são eliminados ao realizar visadas equidistantes entre os respectivos pontos de ré e vante. A determinação dessa diferença de nível associa-se ao menos uma Referência de Nível (RN) de coordenadas conhecidas. Partindo desta RN é possível determinar as demais altitudes dos pontos seguintes, bem como as altitudes dos planos de referência ou planos de visadas. Na Figura 2, tem-se um nivelamento geométrico partindo de um ponto A até B, os valores R_i e V_i são as respectivas leituras de ré e vante de cada lance, w_1 e w_2 são os pontos que marcam os desníveis h_1 , h_2 e h_3 que resultam na diferença de nível entre os pontos A e B ($\Delta h_{A,B}$), calculada pela equação 5.

$$\Delta h_{A,B} = \sum h_{ré} - \sum h_{vante} \quad (5)$$

Figura 2 - Método do Nivelamento Geométrico.



Fonte: KAHMEN (2006).

De acordo com a NBR 13333 (ABNT, 1994), em redes de nivelamento é recomendado o emprego do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).

Os valores obtidos no nivelamento geométrico estão sujeitos a erros sistemáticos e aleatórios. Os erros aleatórios consistem em erros provocados pela curvatura da Terra e refração atmosférica e os sistemáticos consistem nos desajustes que ocorrem no nivelamento do nível, da mira e descalibração do equipamento (KAHMEN e FAIG, 1988).

Em Kahmen e Faig (1988), Steiger e Deumilich (2002) e ISO (2001) estão descritos os métodos de verificação de níveis de luneta e os procedimentos para a verificação da qualidade destes equipamentos de medição.

Segundo a NBR 13333 (ABNT, 1994), os níveis são classificados entre precisões baixas a muito alta, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de níveis Ópticos.

Classes de Níveis	Desvio Padrão
Precisão Baixa	$>\pm 10\text{mm/km}$
Precisão Média	$\leq\pm 10\text{mm/km}$
Precisão Alta	$\leq\pm 3\text{mm/km}$
Precisão Muito Alta	$\leq\pm 1\text{mm/km}$

Fonte: ABNT (1994).

Segundo a ISO 17123-parte 2 (ISO, 2001), os níveis são classificados entre precisões baixa a altíssima de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação de Níveis Ópticos.

Classes de Níveis	Desvio Padrão
Baixa Precisão	$>\pm 10\text{mm/km}$
Média Precisão	$\leq\pm 10\text{mm/km}$
Alta Precisão	$\leq\pm 3\text{mm/km}$
Muito Alta Precisão	$\leq\pm 1\text{mm/km}$
Altíssima Precisão	$\leq\pm 0,5\text{mm/km}$

Fonte: DEUMLICH (1982, p. 184).

O nível utilizado nesta dissertação é o Nível Digital *Leica* DNA03 com precisão de $\pm 0,3\text{mm/km}$ de duplo nivelamento (com mira de ínvar). Portanto, classificado como muita alta precisão de acordo com a NBR 13133 (ABNT, 1994) e altíssima precisão de acordo com a ISO 17123-parte 2 (ISO, 2001).

Dois elementos distinguem o nível digital: a mira de código de barras ao invés da mira métrica e a câmera *Charge Coupled Device* (CCD) para as leituras (ANDOLFATO, 2010). Os níveis digitais possuem os mesmos componentes mecânicos e ópticos de um instrumento óptico automático, mas diferem destes a respeito à forma de leitura. Esta se fundamenta na decodificação de um código de barras (VEIGA, 2002).

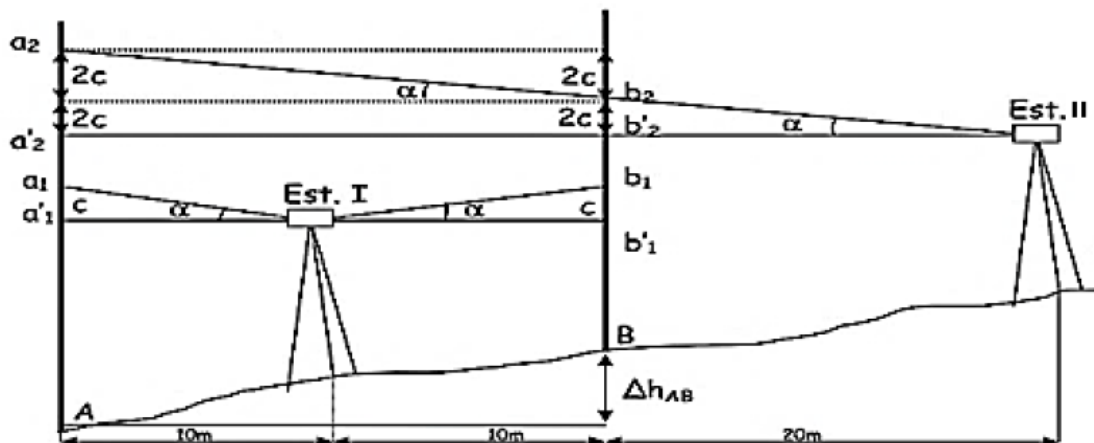
Em Seixas *et al.* (2007) é apresentada uma abordagem geodésica de técnicas ópticas de medição tridimensional para determinação e transporte de alturas em áreas de risco.

O erro de fechamento no nivelamento geométrico de alta precisão considera uma tolerância de $\leq \pm 1\text{mm}\sqrt{l}$, sendo l o perímetro do circuito durante a medição em km (TORGE, 2001), considerada para levantamento de primeira ordem. Para valores de fechamento que ultrapassam esta tolerância, recomenda-se um novo levantamento.

3.1.1 Verificação e ajustes de níveis

Uma metodologia para a obtenção do erro de colimação C é o Método de *Kukkamaeki* (KAHMEN e FAIG, 1988). Este método visa à correção do erro de colimação C , cujo erro ocorre quando a linha de colimação do nível não está exatamente no plano horizontal. A Figura 3 ilustra o procedimento de verificação do nível quanto ao erro de colimação.

Figura 3 - Método para correção do erro de colimação C .



Fonte: KAHMEN E FAIG (1988).

Para a obtenção do erro de colimação C , deve-se proceder aos seguintes passos descritos nos itens a a e (KAHMEN e FAIG, 1988):

a) O nível é instalado entre dois pontos A e B, com distância de 10m para ré e vante e procede-se com as respectivas leituras. Estas conterão o erro de colimação vertical do nível igual, por estarem a distâncias iguais, representado por C ;

b) No passo seguinte, instala-se o nível a 20m de B e 40m de A, e procede-se as leituras. As leituras obtidas conterão erros proporcionais à distância do nível a mira;

c) Percebe-se pela Figura 3 que o erro embutido na leitura a_2 será equivalente a $4C$, enquanto que a leitura b_2 terá um erro embutido de $2C$ e com base nessas informações é possível determinar o valor do erro C , conforme Equações 6 a 8;

$$a_2 = \Delta h_{AB} + b_2 + 2C \quad (6)$$

$$a_1 = \Delta h_{AB} + b_1 \quad (7)$$

$$\Delta h_{AB} = a_1 - b_1 \quad (8)$$

Em combinação das equações (6) e (7), obtém-se as equações (9) e (10):

$$a_2 = a_1 - b_1 + b_2 + 2C \quad (9)$$

$$2C = (a_2 - b_2) - (a_1 - b_1) \quad (10)$$

Sabendo que,

C = Erro de colimação;

Δh_{AB} = Desnível entre os pontos A e B.

a_1 = Leitura efetuada na mira posicionada no ponto A, no momento em que o nível estava estacionado entre A e B;

a_2 = Leitura efetuada na mira posicionada no ponto A, no momento em que o nível estava estacionado a 40 metros de distância da mira posicionada em A;

b_1 = Leitura efetuada na mira posicionada no ponto B, no momento em que o nível estava estacionado entre A e B;

b_2 = Leitura efetuada na mira posicionada no ponto B, no momento em que o nível estava estacionado a 40 metros de distância da mira posicionada em A e a 20 metros de distância da mira posicionada em B.

d) Em seguida deverá ser deslocado de modo que às leituras fiquem em conformidade com as seguintes equações (11) e (12);

$$a'_1 = a_2 - 4C \quad (11)$$

$$b'_2 = b_2 - 2C \quad (12)$$

Onde:

a'_1 e b'_1 = Leituras que teoricamente teriam de ser observadas nos pontos A e B, sem a influência do erro de colimação do nível, no momento em que a régua está estacionada entre A e B;

a'_2 e b'_2 = Leituras que teoricamente teriam de ser observadas nos pontos A e B, sem a influência do erro de colimação do nível, no momento em que a régua está estacionada a 40m de A e a 20m de B.

e) Após realizar as sequências de a até e, os valores obtidos deverão ser checados a partir da equação (13).

$$a_1 - b_1 = a_2 - b_2 = \Delta h_{AB} \quad (13)$$

3.1.2 Transporte de altitude: nivelamento, contranivelamento e nivelamento duplo – instrumentação e metodologia de medição

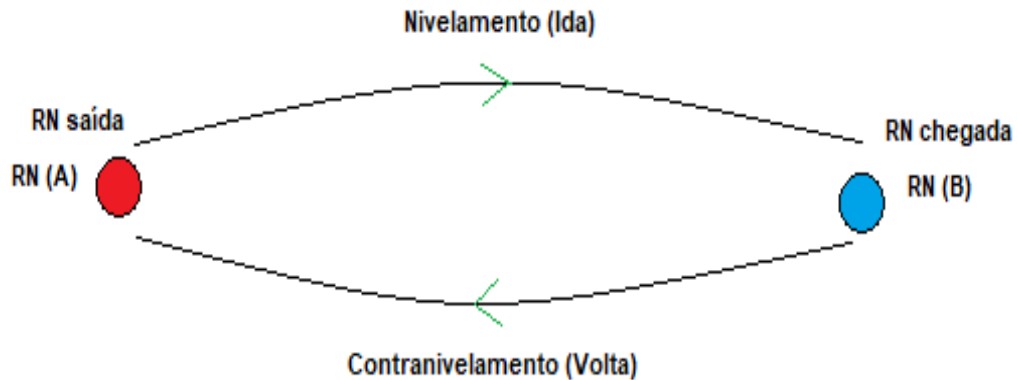
Neste item será descrito sobre a instrumentação e metodologia de medição para a execução do nivelamento e contra nivelamento de linhas de nivelamento geométrico, assim como a instrumentação e metodologia de medição para a execução do nivelamento duplo de linhas de nivelamento geométrico.

a) Nivelamento e Contranivelamento

Este tipo de procedimento consiste em realizar um nivelamento de ida, ou seja, saindo da RN inicial e chegando a outra RN de chegada e posterior nivelamento de volta, ou seja, partindo da RN de chegada até a RN inicial. A Figura 4 mostra em um esboço um exemplo do nivelamento geométrico de um trecho compreendido entre a RN (A) e RN (B). A diferença entre a altitude da RN(A) calculada e a RN(A) conhecida é o erro de fechamento (e_n). A equação 14 mostra o cálculo deste erro:

$$e_n = H_{A \text{ (calculado)}} - H_{A \text{ (conhecido)}} \quad (14)$$

Figura 4 - Nivelamento Geométrico por trecho entre RRNN.



Fonte: O Autor (2019).

Para que o nivelamento seja aceito, o erro de fechamento (e_n) deverá ser comparado com a tolerância permitida pela norma vigente ou com as exigências do projeto. Se o erro de fechamento for menor que a tolerância permitida, o nivelamento será aceito, caso contrário ele deverá ser refeito (SILVA e SEGANTINE, 2015).

Uma das maneiras de avaliar a qualidade do trabalho é considerar o resultado do nivelamento e contranivelamento e aplicar o conceito das medições duplas da Teoria dos Erros para se calcular a precisão do nivelamento. Neste caso, considerando o inverso da distância em quilômetros ($1/d$) para matriz peso P para as observações, tem-se a precisão do nivelamento dado em mm/km pela equação 15 (SILVA e SEGANTINE, 2015).

$$s = \sqrt{\frac{e_n^2}{2d}} \quad (15)$$

Sendo,

s = precisão do nivelamento dado em mm/km;

e_n = erro de fechamento do nivelamento em mm;

d = comprimento do trecho nivelado em km.

A tolerância é usada para analisar o possível erro de fechamento de cada circuito levantado, caso o erro de fechamento encontrado tenha valor inferior ou igual à tolerância calculada, significa que os resultados estão dentro do esperado, logo o erro poderia ser corrigido segundo a metodologia adequada, em caso contrário o levantamento deveria ser realizado novamente (Silva e Segantine, 2015).

O Cálculo da Tolerância aplicada para circuitos da Rede de Referência Vertical (R.R.V). Com intuito de verificar possíveis erros grosseiros nas observações, Equação 16.

$$Ta = 3pr \times \sqrt{K} \quad (16)$$

Sendo:

Pr = precisão do equipamento ou uma precisão definida. Sendo, portanto, para está dissertação adotada uma precisão para o fechamento dos circuitos.

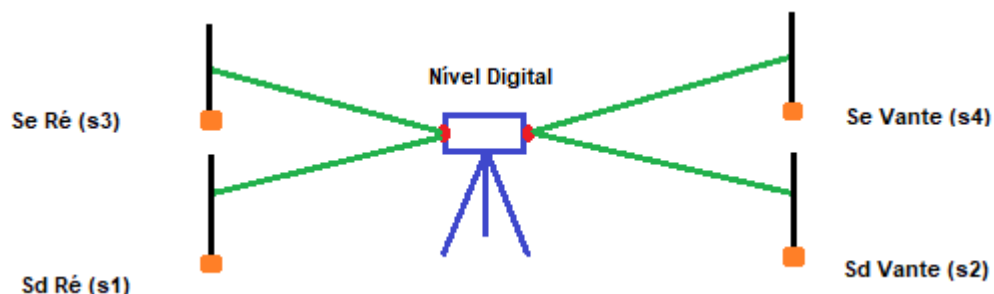
K = Distância nivelada em quilômetros.

O nivelamento e contranivelamento foram realizados nos primeiros quatro trechos de 1 km cada compreendido entre as RN 3640L e RN PRCP, RN PRCP e RN PRJB, RN PRJB e RN PRSA até o trecho RN PRSA e RN PTAC (cf. capítulo 4). Para melhorar o tempo de aquisição de dados foi então aplicado o nivelamento duplo, descrito a seguir.

b) Nivelamento Duplo

Nesta dissertação, na implantação da rede altimétrica entre Recife-Olinda, realizou-se o nivelamento duplo a partir do quinto trecho compreendido entre a RN PTAC e a RN PMAR, RM PMAR e RN PTBE, RN PTBE e RN ISS, RN ISS e EG 8132784, EG 8132784 até chegar à Referência de Nível final conhecida como RN 394D (cf. capítulo 4). A Figura 5 ilustra o procedimento de medição com a utilização de 4 sapatas para a definição de dois lances distintos de nivelamento, o primeiro formado pela sapata de ré (s1) e sapata de vante (s2) e o segundo formado pela sapata de ré (s3) e sapata de vante (s4).

Figura 5 - Duplo nivelamento.



Fonte: O Autor (2019).

Sendo,

Se = Sapata esquerda;

Sd = Sapata direita;

s1, s2, s3, s4 = Posicionamento das sapatas.

Esse procedimento de campo permite medir duplamente um mesmo trecho de nivelamento e diminuir o tempo de medição em campo, aumentando assim, a aquisição de dados e trechos nivelados por dia de trabalho. Ressalta-se o cuidado para o preenchimento da caderneta de campo.

c) Instrumentação e Metodologia de Medição

Foi utilizada uma Mira com código de barras, quatro sapatas, e um nível digital, da referência inicial RN 3640L até a chegada da RN PTAC, localizado no Shopping Tacaruna, realizou-se o nivelamento e o contranivelamento e a partir daí, seguiu-se o duplo nivelamento até chegar na RN 394D.

Após instalação do nível no meio do lance, lê-se a mira instalada na sapata Ré (s1) e em seguida, lê-se a mira instalada na sapata Ré (s3). Na sequência, sem retirar as sapatas da posição Ré, é colocada a mira na sapata Vante (s2) e em seguida instala-se a mira na sapata Vante (s4). Em cada leitura a mira é observada duas séries de quatro observações consecutivas, registrando-se o valor médio para cada série observada, quando a amplitude entre as quatro observações é igual ou menor que 0,06mm. A mira de invar permanece apoiada na sapata Vante (S4), enquanto o nível é deslocado para a execução do próximo lance. Após instalação do nível, procede-se as leituras nas sapatas de Ré, que ocupavam as posições de Vante no lance anterior, em seguida deslocam-se as sapatas de Ré do lance anterior para as posições de Vante deste novo lance. E assim sucessivamente até completar o trecho a ser nivelado.

3.2 ESPECIFICAÇÕES PARA O NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Nas especificações para a execução do método do nivelamento geométrico descritas em (IBGE, 2017) são citados dois tipos de nivelamento: o de alta precisão, com a finalidade de densificação da RAAP; e o científico, para controle geodésico e vinculação entre as Estações Maregráficas que o IBGE estabelece e opera. De acordo com a norma para evitar a ocorrência e propagação dos erros sistemáticos, tão comuns nas operações de nivelamento, alguns cuidados usuais devem ser empregados na sua execução, tais como a adoção do

comprimento das visadas de ré e vante serem aproximadamente iguais, de modo a se compensar o efeito da curvatura terrestre e da refração atmosférica.

Recomenda-se também para o nivelamento geométrico duplo a utilização de visadas de até 60 metros de comprimento. Para evitar os efeitos da reverberação, as leituras das miras deverão situar-se acima da marca de 50 cm. No entanto, em caso de terrenos acidentados, com comprimento das visadas inferiores a 10 m, são aceitáveis leituras acima de 20 cm (IBGE, 2017), conforme descrição na Tabela 3.

Cabe ressaltar, que o IBGE até o ano de 1990 utilizou o valor de $4\text{ mm}\sqrt{km}$ para o controle da qualidade do fechamento das seções de nivelamento da RAAP e partir de tal época foi alterado para $3\text{ mm}\sqrt{km}$. De acordo com a Tabela 3 este valor foi atualizado, sendo apresentadas tolerâncias considerando o levantamento quando tem um propósito científico e quando tem um propósito fundamental.

Tabela 3 - Especificações para o nivelamento geométrico.

Item	Levantamentos Altimétricos de Alta Precisão		
	Científico		Fundamental
Objetivo	Controle geodésico de estações maregráficas	Vinculação entre estações maregráficas	Densificação da Rede Altimétrica
Geometria da Rede			
1. Perímetros máximo dos circuitos	1,5 km	400 km	800 km
2. Comprimento das seções	450 m	até 2 km	até 3 km
Medição de desníveis			
Nivelamento Duplo (N e CN)			
1. Visadas	Manter a homogeneidade de cada par de visada ré-vante para evitar as diferenças atmosféricas entre as visadas em cada estação do nível		
2. Leituras	Iniciar cada lance pela leitura da mira mestra		
3. Estacionamento do aparelho	Instalar e nivelar o aparelho, tendo o cuidado de calçar as três pernas do tripé, principalmente em terreno arenoso ou lamacento, diminuindo a possibilidade de abaixamento do instrumento durante as observações		

4. Condições ambientais	Evitar executar o nivelamento em horários de alta incidência de Sol para evitar a reverberação		
5. Cuidados adicionais	Deve-se evitar o desenvolvimento das medições de nivelamento geométrico posicionando as miras e o aparelho diretamente sobre o pavimento asfáltico, visando evitar o efeito do afundamento da camada sobre as observações coletadas		
6. Instrumental	Nível digital com miras de ínvar de código de barras ou nível automático ou de bolha provido de micrômetro ótico de placas plano-paralelas. Miras de ínvar c/ dupla graduação		
7. Precisão nominal do nível	Melhor que 0,4 mm por quilômetro nivelado		
8. Colimação do nível ótico (C) - mm/m			
a) Não precisa ser retificado	$ C \leq 0,01$	Idem	Idem
b) Poderá ser retificado	$0,01 < C \leq 0,03$	Idem	Idem
c) Deverá ser retificado	$ C > 0,03$	Idem	Idem
9. Colimação do nível digital (C) - mm/m	Sempre habilitar no equipamento a função de correção da colimação durante o nivelamento		
10. Limites e tolerâncias para leitura			
a) Visada mínima da mira	0,5 m ¹	Idem	Idem
b) Visada máxima da mira	2,80 m	Idem	Idem
c) Comprimento máximo da visada	30 m	45 m	60 m
d) Tolerância de leitura para nível ótico			
• divergência de leituras entre duas graduações em unidades da mira	0,0001 m	0,0002 m	0,0002 m
• uso dos três fios – divergência entre 1º e 2º, 2º e 3º	0,001 m	0,002 m	0,002 m
e) Tolerância de leitura para nível digital			
• diferença das medições das duas visadas a ré/vante	0,0001 m	0,0002 m	-
• diferença do desnível entre medidas consecutivas (ré-vante ~ ré- vante)	0,0002 m	0,0004 m	-
f) Diferença máxima tolerável entre os comprimentos das visadas de ré e vante, acumulada para a seção	1 m	3 m	3 m

g) Diferença máxima tolerável por estação individual	1 m	1,5 m	3 m
--	-----	-------	-----

Controles para a qualidade

1. Diferença máxima aceitável entre o nivelamento e o contra-nivelamento de uma seção (k = comprimento da seção em km)	$1,5 \text{ mm}\sqrt{k}$	$2 \text{ mm}\sqrt{k}$	$3 \text{ mm}\sqrt{k}$
2. Diferença máxima aceitável entre o nivelamento e o contra-nivelamento de uma linha (k = comprimento da linha em km)	$1,5 \text{ mm}\sqrt{k}$	$3 \text{ mm}\sqrt{k}$	$4 \text{ mm}\sqrt{k}$
3. Valor máximo aceitável para fechamento de circuito	$1,5 \text{ mm}\sqrt{k}$	$3 \text{ mm}\sqrt{k}$	$5 \text{ mm}\sqrt{k}$

Fonte: IBGE (2017).

¹ Para terrenos acidentados, com visadas inferiores a 10 metros é aceitável o valor de 0,2 m para a leitura mínima da mira.

3.3 AJUSTAMENTO DAS OBSERVAÇÕES - MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS (MMQ)

As observações caracterizam inevitáveis erros de medição, tanto por falhas humanas, mas também por influências das condições ambientais e com problemas nos equipamentos utilizados.

As observações realizadas são caracterizadas pela presença de erros nas leituras. Estes erros são ocasionados não somente por falhas humanas, mas também por falta de manutenção e calibração dos equipamentos utilizados, bem como alterações nas condições climáticas, onde a mensuração está sendo realizada. Por isso se mostra necessário, à existência de redundância nas observações, a fim de que o ajustamento tenha por finalidade estimar os resultados, mediante aplicação de modelos funcionais e estocásticos adequados ao MMQ e ao resultado das precisões (GEMAEL,1994).

Com a aplicação do MMQ utilizando o modelo paramétrico, consegue-se uma melhor estimativa para determinado valor (GEMAEL,1994).

3.3.1 Modelo Paramétrico para o ajustamento de Redes Altimétricas

No ajustamento das observações, são chamadas de parâmetros, as grandezas que não são obtidas diretamente, ou seja, aquelas que são calculadas em função de outras medidas observadas. O modelo matemático envolve tanto o modelo funcional quanto o modelo estocástico. Segundo Ghilani e Wolf (2012), o modelo funcional é um conjunto de equações que definem as condições do ajustamento, devendo ser conhecidas ou estipuladas e o modelo estocástico consiste na determinação da Matriz Variância Covariância (MVC) e dos pesos.

Matriz do ajustamento:

L_b – vetor (nx1) de observações;

V – vetor (nx1) de resíduos;

L_a – vetor (nx1) dos valores observados ajustados.

A seguir é apresentado o modelo do ajustamento paramétrico (Equação 17) descrito em Gemael (1994).

$$L_a = L_b + V \quad (17)$$

Seja $L_a = F(X_a)$ um modelo funcional que relaciona observações ajustadas com parâmetros ajustados. Ao substituir-se na Equação 17 o primeiro membro da Equação 18:

$$F(X) = F(X^0) + \frac{\partial F}{\partial X} \big|_{X^0} \Delta X \quad (18)$$

Obtém-se a Equação 19,

$$L_b + V = F(X_0 + X) = F(X^0) + \frac{\partial F}{\partial X} \big|_{X^0} \Delta X \quad (19)$$

Designando a função dos parâmetros aproximados por L_0 , tem-se a Equação 20:

$$L_0 = F(X_0) \quad (20)$$

A matriz das derivadas parciais por A é apresentada na Equação 21:

$$A = \frac{\partial F}{\partial X} \big|_{X^0} \quad (21)$$

Logo, originam as Equações 22 e 23:

$$L_b + V = L_0 + AX \quad (22)$$

$$V = AX + L_0 - L_b \quad (23)$$

Resultando na Equação 24:

$$L = L_0 - L_b \quad (24)$$

Obtém-se assim, o modelo linearizado do MMQ - modelo paramétrico, Equação 25:

$$V = AX + L \quad (25)$$

Matriz variância-covariância (MVC)

O ajustamento estima a precisão das medidas efetuadas para que se possa compor a matriz MVC dos valores observados $\sum L_b$, considerados linearmente independentes, que juntamente com a variância da unidade de peso a priori (σ_0^2), compõem a Matriz Peso apresentada nas Equações 26 e 27 (GEMAEL, 1994):

$$P = \sigma_0^2 \sum Lb^{-1} \quad (26)$$

$$P = \sigma_0^2 \begin{pmatrix} 1/\sigma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sigma_n^2 \end{pmatrix} \quad (27)$$

É importante que a unidade da variância da unidade de peso a priori (σ_0^2) possa ser arbitrada pelo usuário, tendo em vista que, não há influência no vetor das incógnitas como pode ser conferido nas Equações 28, 29 e 30 (GEMAEL, 1994):

$$X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (28)$$

$$X = \frac{1}{\sigma_0^2} (A^T \Sigma_{Lb}^{-1} A)^{-1} A^T \Sigma_{Lb}^{-1} L \sigma_0^2 \quad (29)$$

$$X = (A^T \Sigma_{Lb}^{-1} A)^{-1} A^T \Sigma_{Lb}^{-1} L \quad (30)$$

No caso de observações diretas as incógnitas são valores observados ajustados. Já no caso de observações indiretas, se quer estimar grandezas que se vinculam às observações. Para distingui-las das primeiras é usual designá-las de parâmetros, o que explica a denominação, mais corrente de modelo paramétrico (GEMAEL, MACHADO e WANDRESEN, 2015).

A seguir é apresentado o modelo do ajustamento paramétrico (GEMAEL, 1994).

O método de ajustamento utilizado é o MMQ, por meio do modelo paramétrico. Em ajustes de mínimos quadrados, não importa se condicional ou paramétrico, as verificações geométricas no final do ajustamento são satisfeitas e obtêm-se as mesmas observações ajustadas (GHILANI, 2010).

3.4 ANÁLISE DA QUALIDADE DO AJUSTAMENTO – ANÁLISE DA ACURÁCIA

A análise da qualidade do ajustamento consiste na comparação entre as variâncias das unidades de peso unitário a priori, σ_0^2 , e a posteriori $\sigma_0^{\wedge 2}$. Para esta análise é utilizado o teste Qui-Quadrado χ^2 é conhecido também como Teste Global do Modelo ou Teste n-dimensional (MIKHAIL e GRACIE, 1981; FRASER, 2003; MONICO e SILVA, 2003; MENDONÇA *et al.*, 2010). O teste pode ser considerado em duas hipóteses, sendo a hipótese nula H_0 , e a hipótese alternativa H_a , equações (31) e (32) mostram os cálculos destas hipóteses:

$$H_0 : E\{\sigma_0^{\wedge 2}\} = \sigma_0^2 \quad (31)$$

$$H_a : E\{\sigma_0^{\wedge 2}\} > \sigma_0^2 \quad (32)$$

Testa-se a hipótese de que a variância da unidade de peso a posteriori, estimada no ajustamento, é a mesma que a variância da unidade de peso a priori, preestabelecida, contra a variância da unidade de peso a posteriori (equação 34) ser maior do que a variância da unidade de peso a priori (SEIXAS *et al.*, 2014).

Para validar o teste de uma das hipóteses, deve-se comparar o valor calculado dado pela equação 33:

$$\chi^2 = \frac{\sigma_0^{\wedge 2}}{\sigma_0^2} v \quad (33)$$

$$\sigma_0^2 = \frac{V^T P V}{gl} \quad (34)$$

No qual: χ^2 , Qui-Quadrado calculado, tem distribuição χ^2 , com graus de liberdade igual a $n-u$, como os valores teóricos da distribuição $\chi^2_{v,1-\frac{\alpha}{2}}$. A hipótese nula H_0 não é rejeitada, ao nível de significância α , no teste estatístico, se: $\chi^2 < \chi^2_{v,1-\frac{\alpha}{2}}$. Caso contrário, $\chi^2 > \chi^2_{v,1-\frac{\alpha}{2}}$, significa que há problemas no ajustamento, ou seja, a hipótese alternativa é rejeitada ao nível de significância de α .

Desta forma, o ajustamento não é aceito, pois existem erros envolvidos. O nível de confiabilidade baseia-se com o resultado do ajustamento a matriz Covariância dos parâmetros ajustados ΣX_a , é obtida. Além desta, também são estimadas as matrizes Covariâncias das observações ajustadas ΣL_a , e dos resíduos ΣV (GEMAEL, 1994).

Pelo método MMQ através do modelo paramétrico, as equações de observações, são escritas relacionando os valores observados aos seus erros residuais e aos parâmetros desconhecidos (GEMAEL *et al.*, 2015).

Exemplos de trabalhos, nos quais são abordadas as definições e implantações de Redes Geodésicas Altimétricas Locais e a utilização do MMQ para a obtenção das altitudes ajustadas e respectivas análises de qualidade são descritos em: SEIXAS *et al.* (2014); GAMA *et al.* (2015); GAMA, SILVA e SEIXAS (2016); LUNA *et al.* (2017); SILVA e SEIXAS (2017).

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo, são descritas a medição e a metodologia aplicada para os dois trechos de levantamentos. O primeiro foi o levantamento efetuado a partir do Quartel da Polícia Militar de Pernambuco, no Derby – Recife, saindo da RN 3640L, percorrendo a Av. Agamenon Magalhães, Av. Marques de Olinda, Rua 15 de Novembro, Rua de São Bento, Rua 27 de janeiro até chegar na Igreja de São Pedro Martir em Olinda na RN 394D. O segundo levantamento é o circuito de nivelamento realizado no Sítio Histórico de Olinda, saindo da RN 394D e contornando a Igreja Nossa Senhora do Carmo e voltando para a RN 394D. Este último complementando as linhas de nivelamento pré-existentes no Sítio Histórico e descritas em: Souza (2012), Seixas *et al.* (2014), Gomes e Seixas (2013), Santana Neto (2015), Santana Neto e Seixas (2017), Gomes (2016), Santos (2017) e Santana Neto (2018).

A determinação da altitude ortométrica e/ou altitude normal (cf. capítulo 2) foi realizada a partir dos desníveis medidos entre as RRNN implantadas e observadas por meio do método de nivelamento geométrico de alta precisão e ajustadas utilizando o MMQ – modelo paramétrico (cf. capítulo 3).

O nível de confiança de 95 % foi adotado como indicador da qualidade dos levantamentos com nível digital.

A descrição das características das áreas de levantamento, dos materiais e da metodologia de medição é apresentada a seguir.

4.1 ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO

O Sítio Histórico de Olinda foi escolhido para a área de estudo para complementar as estruturas geodésicas altimétricas implantadas desde 2011, conforme os trabalhos citados anteriormente. A interligação destas estruturas a altitude da RAAP do IBGE com precisão conhecida contribui para avaliar a Rede Geodésica Altimétrica Local implantada no Sítio Histórico de Olinda, além da inclusão do trecho de levantamento altimétrico entre Recife e Olinda, trazendo benefícios para a amarração de levantamentos às RRNN confiáveis e implantadas ao longo do percurso de nivelamento, envolvendo as localidades no entorno das mesmas e entre os dois municípios.

O circuito de nivelamento implantado no Sítio Histórico está interligado a circuitos de nivelamento pré-existentes e envolve a edificação histórica da Igreja do Antigo Convento de Nossa Senhora do Carmo, que está localizada na Praça da Liberdade, s/n. Carmo – Olinda/PE.

O antigo convento foi construído no século XVII e foi projetado pelos arquitetos portugueses para a celebração de cultos religiosos. A igreja faz parte da Província Carmelitana de Pernambuco, tombada pelo IPHAN pelo processo nº 148-T, inscrição nº 108, Livro História, fls. 19, e Inscrição nº 217, Livro Belas-Artes, fls. 38. Data: 05.10.1938.

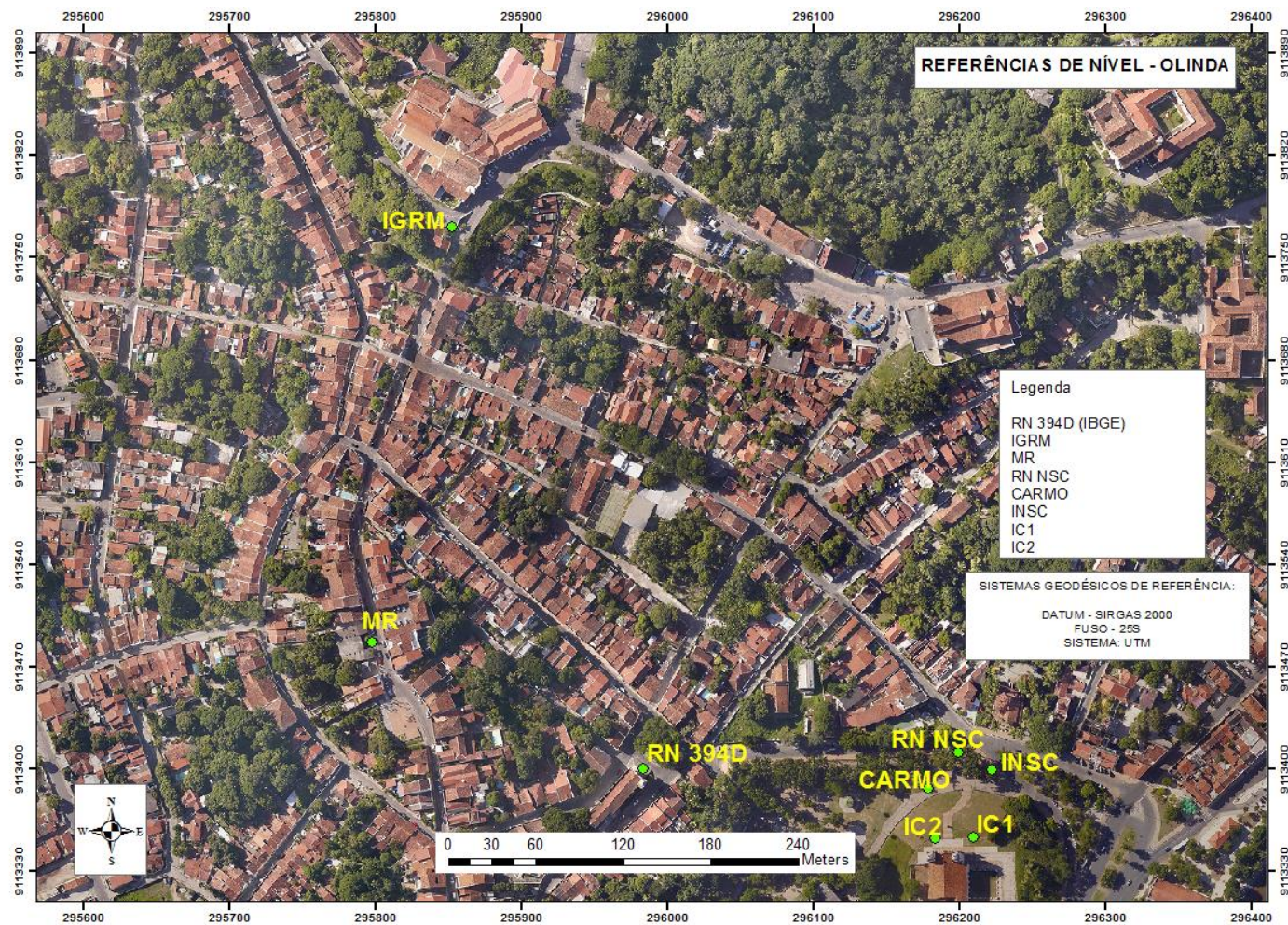
Documentos de 1630 já registram a existência da igreja e do convento, este ainda inacabado. Incendiada por ocasião da Invasão Holandesa, a igreja foi muito danificada, desaparecendo um terço da construção da mesma. As obras de reconstrução foram feitas em épocas diferentes. Em 1704, estando já concluído o frontispício, foram feitas obras internas, sendo também erguido o cruzeiro fronteiro. A torre do lado sul foi concluída em 1726. Várias obras foram realizadas, depois, sem alterar a sua originalidade. Em 1897, frei Marinho do Monte Carmelo Gordon fez obras de restauração na capela-mor e mandou construir sólido e esbelto camarim com suas arcadas, pilastras e abóbada. Sofreu restauração em 1966 e 1968 pela IPHAN (CARRAZZONI, 1980). O restauro da Igreja Nossa Senhora aconteceu em três partes: A primeira foi em 1995, com a estabilização da colina onde se ergueu a igreja. No monte, colocaram-se 176 estacas de concreto com oito metros de comprimento para corrigir o desaprumo. A segunda etapa começou em 2002, com prospecção arqueológica e, paralelamente, recuperação dos bens móveis, como o altar da Capela do Santíssimo. A terceira etapa foi iniciada em 2010 com muitas minúcias. Os arcos de três das oito capelas laterais exigiram a atividade de três restauradoras na época. A terceira parte foi concluída entre os anos de 2012 e 2013.

O entorno da Igreja de Nossa Senhora do Carmo está contemplado com pontos de referência pré-existentes levantados com nível digital, estação total e receptores GNSS. São eles:

- a)** IGRM, MR, INSC – vértices GNSS (GAMA, 2008; SOUZA, 2012);
- b)** RNNSC – Referência de Nível (SOUZA, 2012);
- c)** CARMO e INSC – vértices de poligonação (SANTANA NETO, 2015; GOMES, 2016);
- d)** IC1 e IC2 – vértices de interseção a ré e RTK/GNSS (SANTOS, 2017);
- e)** RN 394D – Referência de Nível do IBGE (IBGE, 2011; IBGE, 2016; IBGE, 2018).

Na Figura 6, retirada da ortofoto 2013/2014 (Olinda), tem-se a localização aproximada dos vértices pré-existentes implantados.

Figura 6 - Vista dos pontos pré-existent em torno da Igreja de Nossa Senhora do Carmo.



Fonte: PREFEITURA DE OLINDA (2019)

Nota: Ortofoto 2013/2014 (Olinda) elaborada na plataforma ArcMap versão 10.4.1.

Na Figura 7, tem-se as vistas das fachadas da Igreja Nossa Senhora do Carmo. O transporte altimétrico foi realizado no entorno da Igreja sobre as RRNN: RN 394D, RNNSC, RNCOR e RNFIDEM.

Figura 7 - Vista das fachadas da Igreja Nossa Senhora do Carmo.



Fonte: Autor (2017).

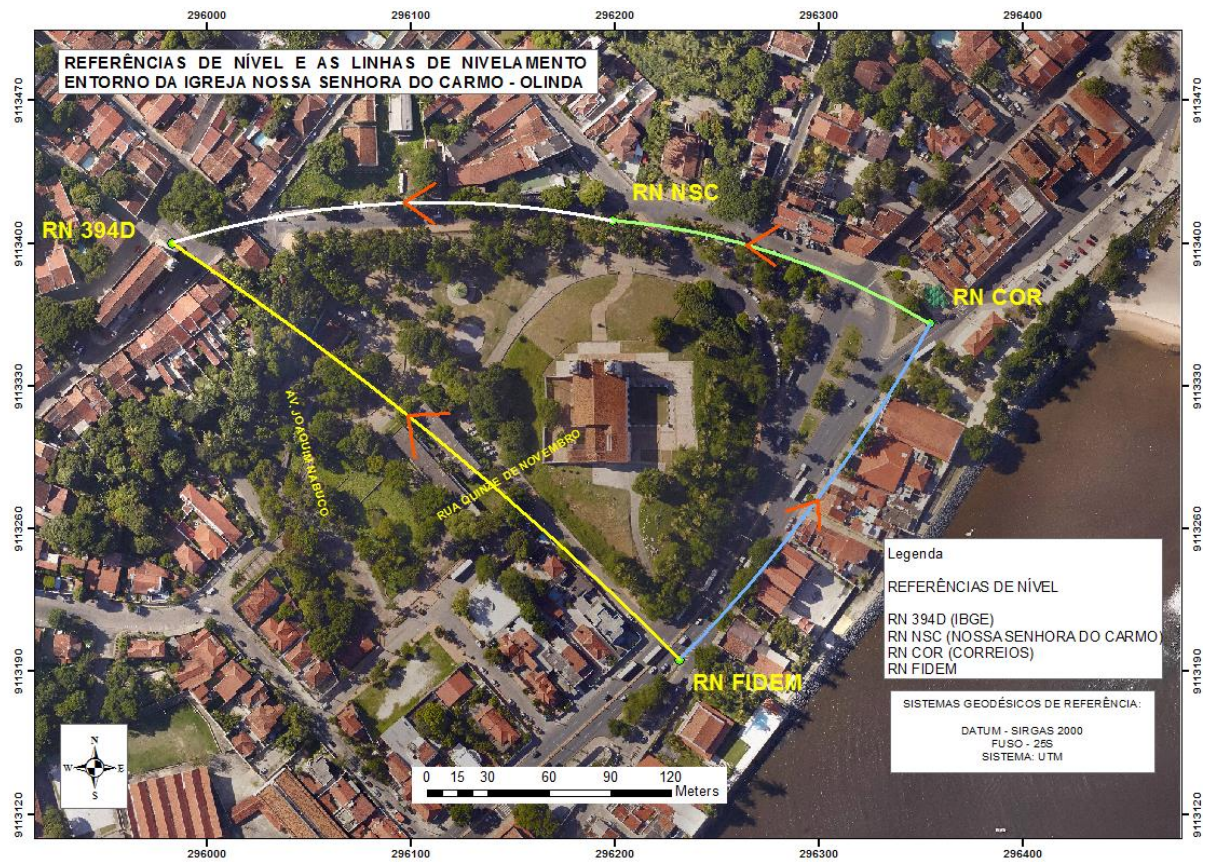
Nessa dissertação foram medidas as RRNN: RN 394D; Referência de Nível Nossa Senhora do Carmo (RN NSC); Referência de Nível Correio (RN COR); RN FIDEM – nº 0701. Foram remedidas as Linhas de nivelamento pré-existentes entre as RRNN (RN 394D e RN NSC; RN NSC e RN COR) e mediu-se duas novas linhas de nivelamento (RNCOR e RN FIDEM; RN FIDEM e RN 394D) localizadas no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo.

Para vincular a Rede Geodésica Altimétrica Local de Olinda a uma Referência de Nível com precisão conhecida e mais próxima da área, nessa dissertação, foram implantadas seis novas RRNN: Referência de Nível Praça da Capunga (RN PRCP); Referência de Nível João de Barros (RNPRJB); Referência de Nível Santo Amaro (RN PRSA); Referência de Nível Shopping Tacaruna (RN PTAC); Referência de Nível Marinha (RN PMAR); Referência de Nível Ponte do Rio Beberibe (RN PTBE).

Além disso, outras RRNN pré-existentes foram utilizadas: Referência de Nível Igreja São Sebastião (RN ISS); Referência de Nível Prefeitura de Olinda (RN PO); Referência de Nível Estação Gravimétrica – EG 8132784 (RN EG), contempladas entre o trecho de levantamento entre Recife e Olinda e entre as RRNN 3640L e 394D do IBGE, medindo-se novas linhas de nivelamento (RN 3640L e RN PRCP; RN PRCP e RN PRJB; RN PRJB e RN PRSA; RN PRSA e RN PTAC; RN PTAC e RN PMAR; RN PMAR e RN PTBE; RN PTBE e RN ISS) e remedindo-se linhas de nivelamento pré-existentes entre as RRNN (RN ISS e RN PO; RN PO e RN EG; RN EG e RN 394D).

A Figura 8 ilustra em uma vista aérea as RRNN e as linhas de nivelamento levantadas no entorno da Igreja de Nossa Senhora do Carmo.

Figura 8 - Referências de nível e as linhas de nivelamento.

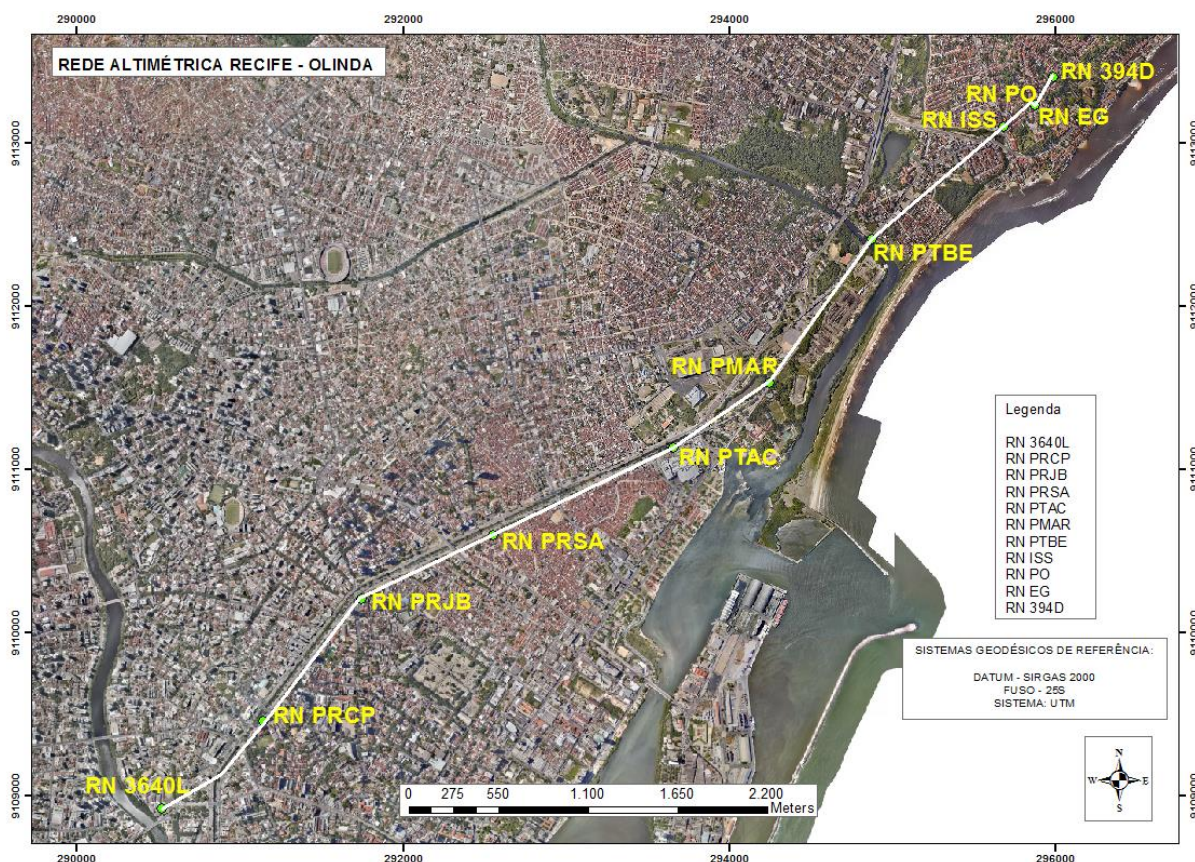


Fonte: PREFEITURA DE OLINDA (2019)

Nota: Ortofoto 2013/2014 (Olinda) elaborada na plataforma ArcMap versão 10.4.1.

A Figura 9 ilustra em vista aérea as RRNN do trecho entre Recife e Olinda levantado.

Figura 9 - Percurso do nivelamento Recife-Olinda.



Fonte: PREFEITURA DE RECIFE E OLINDA (2019)

Nota: Ortofoto 2013/2014 (Recife e Olinda) elaborada na plataforma ArcMap versão 10.4.1.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, realizou-se na área de estudo o levantamento altimétrico no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo com o método de nivelamento geométrico de alta precisão.

Após o nivelamento no entorno da Igreja, deram-se início aos procedimentos de reconhecimento, implantação e medição das linhas de nivelamento dos trechos de nivelamento entre Recife e Olinda empregando-se o método de nivelamento geométrico de alta precisão, envolvendo nivelamento, contranivelamento e /ou duplo nivelamento entre os trechos observados. As análises foram realizadas com ênfase na avaliação do desempenho de estruturas geodésicas realizadas pelo método de nivelamento, considerando a análise de qualidade (análise de acurácia) de redes altimétricas.

4.2.1 Materiais

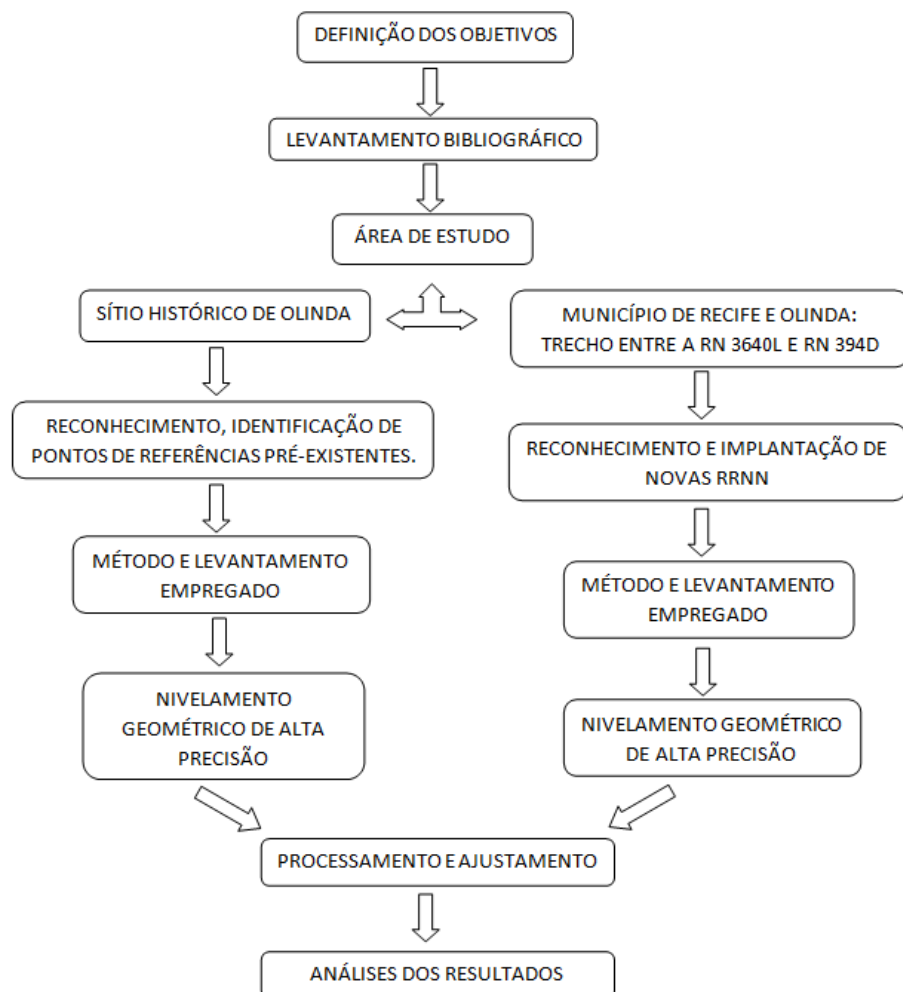
Para a obtenção dos dados de campo e o processamento e ajustamento das observações foram utilizados:

- um Nível Digital Leica DNA03 com precisão de 0,3mm/km duplo nivelado;
- uma mira de ínvar de 2 m de código de barras;
- Apoio logístico: guarda-sol, trena, tripés, fio a prumo, pinos de superfícies semiesféricas, dentre outros;
- Softwares*: AstGeoTop (GARNÉS, 2019), Excel e ArcGis 10.4.1 e/ou QGis.
- Google Earth 2019.

4.2.2 Métodos

A metodologia aplicada nesta dissertação está representada no fluxograma da Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma da metodologia da dissertação.



Fonte: O Autor (2019).

As áreas de estudo foram escolhidas de forma a contemplar uma edificação histórica no Centro Histórico de Olinda, nesta dissertação foi escolhida a Igreja Nossa Senhora do Carmo, e uma Referência de Nível da RAAP com precisão conhecida, em bom estado e localizada o mais próximo possível do Centro Histórico (cf. item 4.1).

A próxima etapa foi reconhecer a área no entorno da igreja e identificar os pontos de referência pré-existent e descritos em trabalhos anteriores, verificando-se o estado de conservação destes *in loco*. O reconhecimento das RRNN da RAAP mais próximas ao Centro Histórico deu-se inicialmente através do banco de dados do IBGE. Observou-se a existência de várias RRNN no Município do Recife em bom estado e localizadas no antigo porto do Recife e nos Bairros da Boa Vista e no Derby. Deste conjunto foram escolhidas duas RRNN, cujas localizações foram mais propícias para o transporte altimétrico, levando-se em consideração a segurança e o percurso do levantamento compreendido entre os municípios do Recife e Olinda (cf. item 4.1).

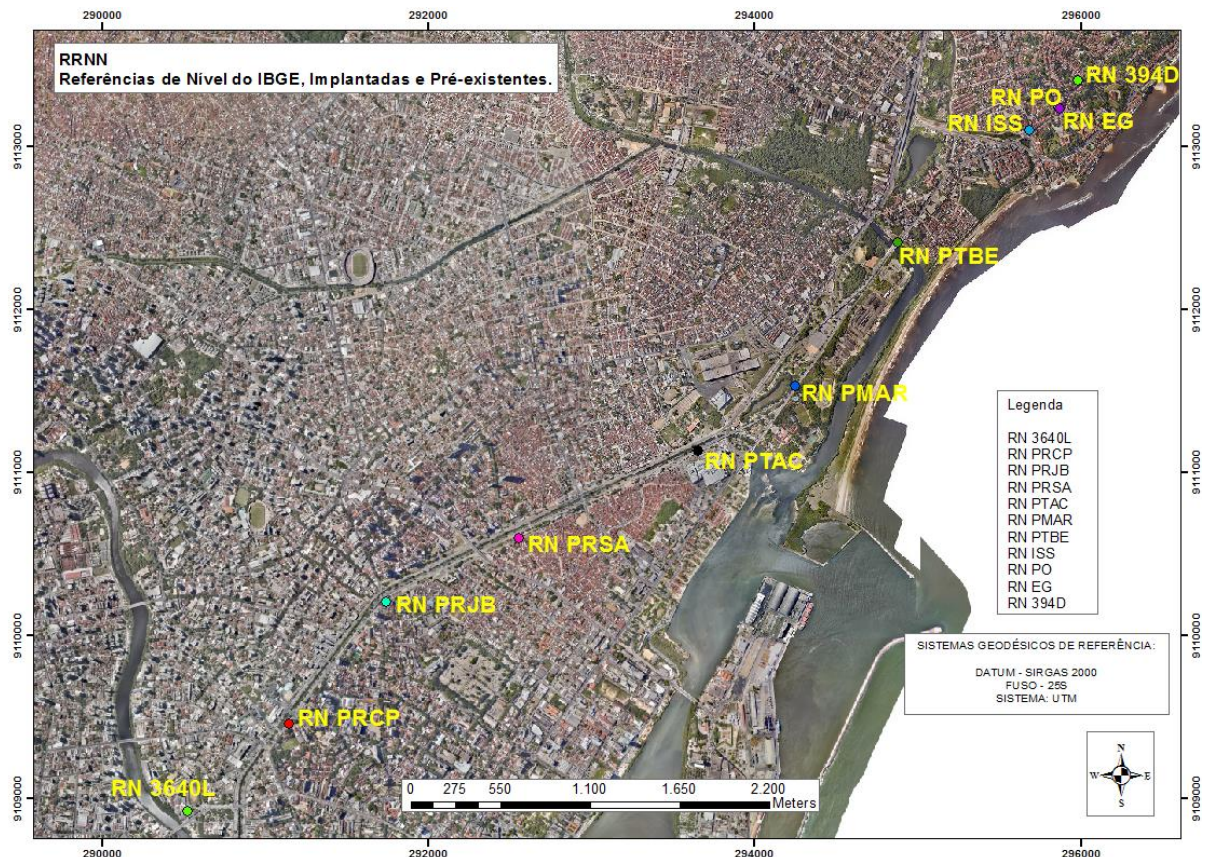
Reconhecidas as áreas de estudo, deu-se início a implantação das novas RRNN e ao levantamento geodésico, empregando-se o método de nivelamento geométrico de alta precisão no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo e ao longo do trecho Recife e Olinda, percorrendo-se as principais vias. Após o levantamento de campo e a aquisição dos dados, os mesmos foram processados e analisados conforme os objetivos específicos propostos (cf. item 1.1.2).

4.3 METODOLOGIA APLICADA PARA VINCULAÇÃO DAS ESTRUTURAS GEODÉSICAS AO SGB

Para cumprir o objetivo específico de interligação de RRNN do IBGE com precisões conhecidas, envolvendo os dois municípios (Recife e Olinda), utilizou-se a ferramenta disponibilizada no Banco de dados do IBGE para o acesso as monografias e dados geodésicos de RRNN (<http://www.bdg.ibge.gov.br/appbdg/>).

Na Figura 11 estão localizadas as RRNN implantadas e observadas entre as áreas de estudo RN 3640L, RN PRCP, RN PRJB, RN PRSA, RN PTAC, RN PMAR, RN PTBE, RN ISS, RN PO, RN EG, RN 394D localizadas na cidade do Recife (nos Bairros da Boa Vista e do Derby) e em Olinda.

Figura 11 - Referências de Nível do IBGE, Implantadas e Pré-existentis.



Fonte: PREFEITURA DE RECIFE E OLINDA (2019)

Nota: Ortofoto 2013/2014 (Recife e Olinda) elaborada na plataforma ArcMap versão 10.4.1.

Levando-se em consideração:

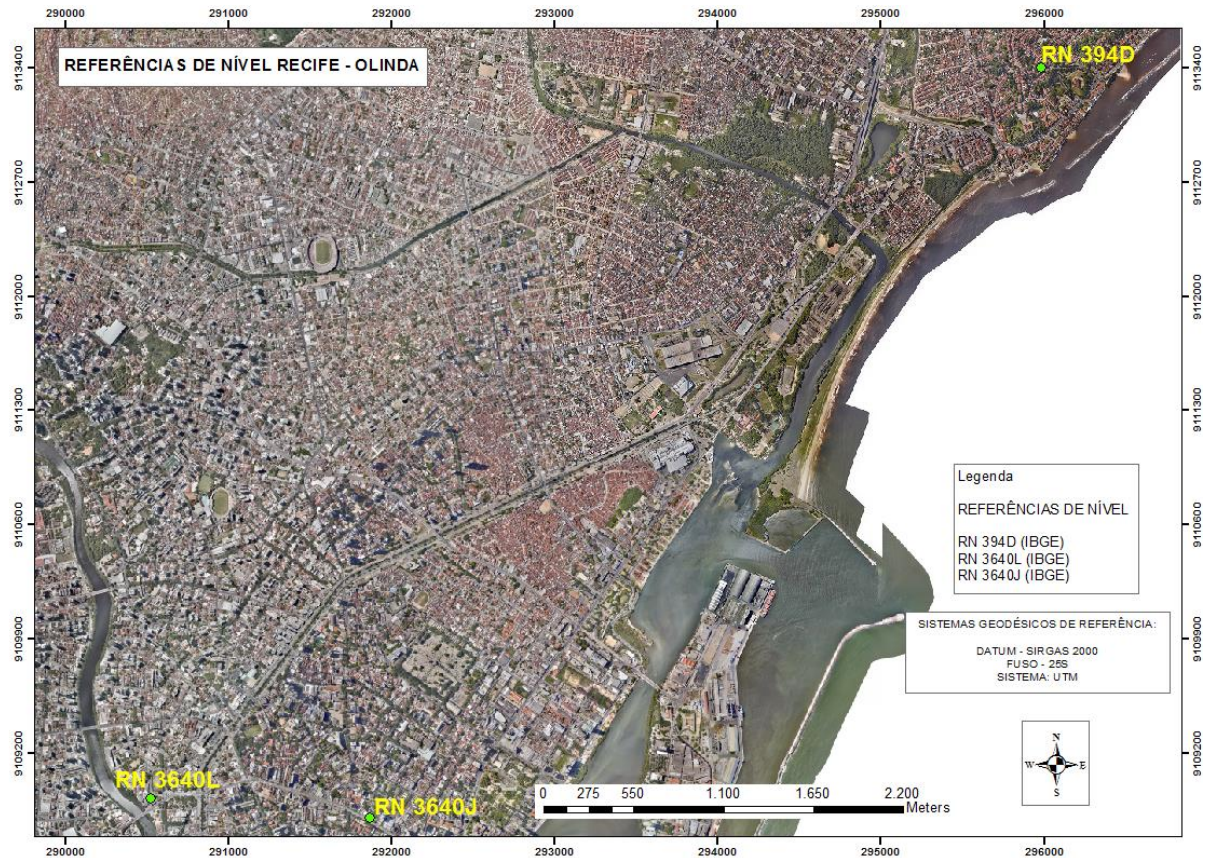
- A segurança para o levantamento de campo;
- Deslocamento de 1 km em 1 km em vias movimentadas;
- Estado de conservação das RRNN pré-existentis;
- Acesso as RRNN (as RRNN estão posicionadas em Quartel da Polícia Militar, praças, Shopping Center, Escola de Aprendizes da Marinha do Brasil, ponte, monumentos e igrejas).

Definiu-se as RRNN a serem investigas (RN 3640L e RN 3640J) para a interligação a RN 394D da Igreja de São Pedro Mártir de Olinda, cujas monografias estão apresentadas nos Anexos A, B, C, D, E e F.

Após a visita *in loco* e identificação do estado de conservação das RN 3640L e RN 3640J, definiu-se as melhores localizações para a implantação das novas RRNN e o espaçamento entre as mesmas, escolhida nesta dissertação aproximadamente de 1km em 1km, tendo em vista as dificuldades do transporte altimétrico, considerando também o levantamento em vias movimentadas com veículos e pedestres. A Figura 16 ilustra a

localização das RRNN existentes e na Figura 12 a localização das RN 3640L e RN 3640J e a RN 394D.

Figura 12 - As RRNN 3640L, 3640J e 394D.

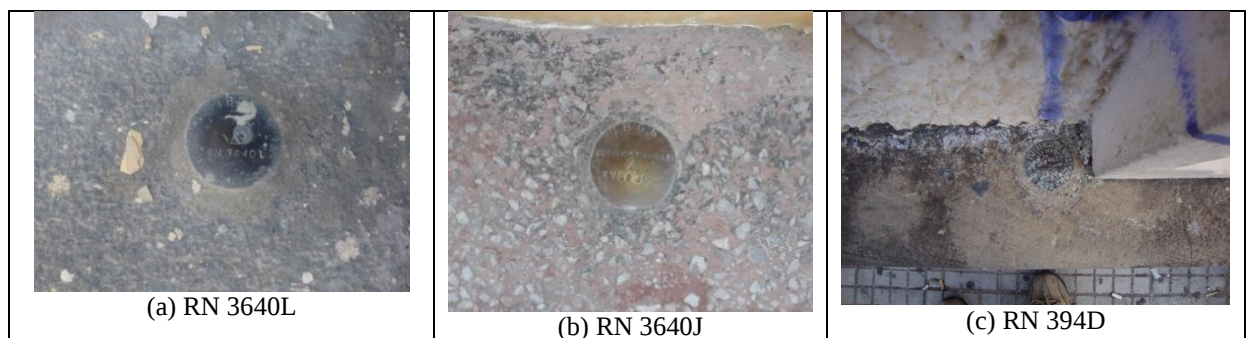


Fonte: PREFEITURA DE RECIFE E OLINDA (2019)

Nota: Ortofoto 2013/2014 (Recife e Olinda) elaborada na plataforma ArcMap versão 10.4.1.

A Figura 13 ilustra as RRNN 3640L, 3640J, 394D.

Figura 13 - (a) RN 3640L próximo à porta principal do Quartel da Polícia Militar do Recife. (b) RN 3640J junto a porta da copa dos vigilantes na Empresa de Urbanização do Recife (URB). (c) RN 394D lado esquerdo da porta de entrada da Igreja de São Pedro Mártir.



Fonte: O Autor, 2017.

*(a) e (b) Data da visita: 16/06/2018; (c) Data da visita: 25/01/2017.

A RN 3640L foi reconhecida nesta dissertação em 16 de junho de 2018. Os dados desta RN estão dispostos na Tabela 4 e Tabela 5 e sua monografia está apresentada no Anexo A e Anexo B.

Tabela 4 - Referência de Nível 3640L do IBGE – Altitude normal.

Referência de Nível	Altitude normal	Data do ajustamento simultâneo da rede altimétrica pelo IBGE	Desvio padrão
3640L	4,8933m	30/07/2018	$\pm 0,089\text{m}$

Fonte: IBGE (2018).

Tabela 5 - Referência de Nível 3640L do IBGE – Altitude ortométrica.

Referência de Nível	Altitude ortométrica	Data do ajustamento simultâneo da rede altimétrica pelo IBGE	Desvio padrão
3640L	4,6431m	15/06/2011	$\pm 0,09\text{m}$

Fonte: IBGE (2011) e IBGE (2016).

A diferença entre as duas altitudes (sendo a primeira é referenciada ao quase-geóide e a segunda é referenciada ao geóide), tem um valor de 0,2502m, mantendo-se a mesma ordem de qualidade de $\pm 0,09\text{m}$.

A RN 3640J foi reconhecida nesta dissertação em 16 de junho de 2018. Os dados desta RN estão dispostos na Tabela 6 e Tabela 7 e sua monografia está apresentada no Anexo C e Anexo D.

Tabela 6 - Referência de Nível 3640J do IBGE – Altitude normal.

Referência de Nível	Altitude normal	Data do ajustamento simultâneo da rede altimétrica pelo IBGE	Desvio padrão
3640J	3,6462m	30/07/2018	$\pm 0,089\text{m}$

Fonte: IBGE (2018).

Tabela 7 - Referência de Nível 3640J do IBGE – Altitude ortométrica.

Referência de Nível	Altitude ortométrica	Data do ajustamento simultâneo da rede altimétrica pelo IBGE	Desvio padrão
3640J	3,4000m	15/06/2011	$\pm 0,09\text{m}$

Fonte: IBGE (2011).

A diferença entre as duas altitudes (sendo a primeira referenciada ao quase-geóide e a segunda referenciada ao geóide), tem um valor de 0,2462m, mantendo-se a mesma ordem de qualidade de $\pm 0,09\text{m}$.

A Referência de Nível 3640J foi reconhecida nesta dissertação em 16 junho de 2018, está em bom estado de conservação, mas não fez parte do circuito de transporte altimétrico por estar localizada distante da linha do trajeto, escolhida pela Av. Agamenon Magalhães, conforme pode ser observada na Figura 12. A RN 394D foi identificada em 25 de janeiro de 2017. Os dados desta RN estão dispostos na Tabela 8 e Tabela 9 e sua monografia está apresentada no Anexo E e Anexo F. Esta não possui precisão altimétrica, pois trata-se de um ramal de nivelamento. Ressalta-se que todas as altitudes das RRNN implantadas em Olinda nas campanhas de nivelamento geométrico de alta precisão realizadas em 2011, 2013, 2015, 2016 e 2018 foram calculadas, considerando o valor da altitude ortométrica disponibilizado pelo IBGE com cálculo realizado em 15/06/2011.

Tabela 8 - Referência de Nível 394D do IBGE.

Referência de Nível	Altitude normal	Data do ajustamento simultâneo da rede altimétrica pelo IBGE	Desvio padrão
394D	16,159m	30/07/2018	Não se aplica

Fonte: IBGE (2018).

Tabela 9 - Referência de Nível 394D do IBGE.

Referência de Nível	Altitude ortométrica	Data do ajustamento simultâneo da rede altimétrica pelo IBGE	Desvio padrão
394D	15,9082m	15/06/2011	Não se aplica

Fonte: IBGE (2011).

A diferença entre as duas altitudes (sendo a primeira referenciada ao quase-geóide e a segunda referenciada ao geóide) tem um valor de 0,2508m. Esta RN está localizada no lado direito da porta principal de quem sai da Igreja de São Pedro Mártir, matriz da cidade de Olinda.

Assim, esta dissertação está contribuindo com a informação da altitude ortométrica da RN 394D fornecida a partir dos dados levantados nesta dissertação em 2018 e calculados a partir da RN 3640L com dados de (IBGE, 2011) e da altitude normal da RN 394 D fornecida a partir dos dados levantados nesta dissertação em 2018 e calculados a partir da RN 3640L com dados de (IBGE, 2018), determinando-se em ambos os cálculos a precisão alcançada com o levantamento realizado em 2018. Trazendo assim, uma análise de qualidade para a Rede Geodésica Altimétrica Local implantada no Sítio Histórico em Olinda e vinculada até então a RN 394D do IBGE. A linha de nivelamento entre a RN 3640L e a RN 394D foi dividida em nove (9) trechos de 1 km em 1 km, saindo da RN 3640L até chegar na RNISS, está última pré-existente e implantada em 2016 localizada na Av. Joaquim Nabuco (Figura14). A partir desta RNISS e até chegar na RN 394D passando pela RN PO pré-existente e implantada em 2016 e pela Estação Gravimétrica 8132784 implantada pelo IBGE em 2016, pôde-se assim, controlar o transporte altimétrico até a RN ISS e controlar os desníveis medidos anteriormente neste trecho entre a RNISS e a RN 394D.

Figura 14 - Localização da RNISS, RN PO e RN EG.



Fonte: PREFEITURA DE OLINDA (2019)

Nota: Ortofoto 2013/2014 (Olinda) elaborada na plataforma ArcMap versão 10.4.1.

4.4 MEDIÇÕES COM O NÍVEL DIGITAL

O procedimento de medição com nível digital exige que antes das campanhas de medição sejam realizadas as verificações e ajustes do nível digital (conforme item 3.1.1). Na verificação realiza-se o procedimento de campo e a medição do erro de colimação e no ajuste, considera-se o ajuste automático do nível com respeito ao erro de colimação. Considerando todas as campanhas realizadas, as Tabelas (10, 11, 12, 13 e 14) mostram os dados observados e os valores do erro de colimação C de cada verificação e ajuste realizado. Para o nivelamento realizado no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo foi feita uma verificação, cujos dados estão na Tabela 10 e para o nivelamento realizado ao longo do trecho entre Recife e Olinda foram feitas quatro verificações e ajustes do nível digital, conforme as Tabelas (11, 12, 13 e 14).

Tabela 10 - Primeira verificação e ajuste do equipamento.

Estação	Ponto Visado	Leitura (m)	ΔH	Distância (m)
E1	A	1,39582	-0,01579	9,97
	B	1,41161		9,96
E2	B	1,40735	-0,01577	19,97
	A	1,39158		39,97
Data: 16/01/2017				
Fórmula:				
$2*c = (a - b)_2 - (a - b)_1$				
c	0,000020	m		

Tabela 11 - Segunda verificação e ajuste do equipamento.

Estação	Ponto Visado	Leitura (m)	ΔH	Distância (m)
E1	A	1,38646	-0,0161	9,98
	B	1,40258		9,97
E2	B	1,39232	-0,0163	19,97
	A	1,37605		39,98
Data: 16/07/2018				
Fórmula:				
$2*c = (a - b)_2 - (a - b)_1$				
c	-0,000150	m		

Tabela 12 - Terceira verificação e ajuste do equipamento.

Estação	Ponto Visado	Leitura (m)	ΔH	Distância (m)
E1	A	1,46164	-0,01612	9,96
	B	1,47776		9,97
E2	B	1,50112	-0,01610	19,95
	A	1,48502		39,95
Data: 28/07/2018				
Fórmula:				
$2*c = (a - b)_2 - (a - b)_1$				
c	0,000020	m		

Tabela 13 - Quarta verificação e ajuste do equipamento.

Estação	Ponto Visado	Leitura (m)	ΔH	Distância (m)
E1	A	1,45935	-0,01624	9,97
	B	1,47559		9,97
E2	B	1,49474	-0,01596	19,97
	A	1,47878		39,97
Data: 18/08/2018				
Fórmula:				
$2*c = (a - b)_2 - (a - b)_1$				
c	0,00028	m		

Tabela 14 - Quinta verificação e ajuste do equipamento.

Estação	Ponto Visado	Leitura (m)	ΔH	Distância (m)
E1	A	1,41757	-0,01612	9,97
	B	1,43369		9,97
E2	B	1,44098	-0,01593	19,97
	A	1,42505		39,97
Data: 18/08/2018				
Fórmula:				
$2 \cdot c = (a - b)_2 - (a - b)_1$				
c	0,000190	m		

O processo de verificação e ajuste seguiu o método de Kukkamäki realizado a partir do procedimento de campo, utilizando-se os comandos embutidos do nível digital DNA-03 (item 3.1.1).

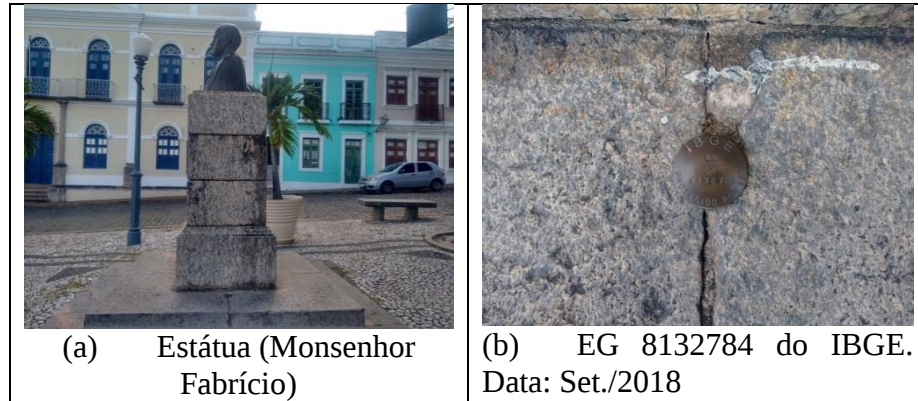
Após o ajuste do nível digital com respeito ao erro de colimação, o mesmo está apto a medir. Nos procedimentos de verificação a primeira e terceira avaliação do nível o erro de colimação obteve o valor de 0,02mm, sendo este valor considerado desprezível. Enquanto que na segunda, quarta e quinta verificação, o erro de colimação obteve o valor em módulo entre 0,15 mm e 0,28 mm. O erro de colimação nesta magnitude implicaria em erros sistemáticos, caso o método do nivelamento geométrico não fosse realizado com visadas iguais entre as miras de ré e vante. A partir da detecção deste erro o nível foi ajustado e considerado isento de erro de colimação.

4.4.1 Rede altimétrica trecho Recife – Olinda: materialização e medição da rede

Ao todo foram necessárias sete campanhas de medição, sendo: três campanhas para implantação e reconhecimento das Referências de Nível e quatro campanhas para medir a rede, partindo da RN 3640L no Recife até a RN 394D em Olinda, com o método de nivelamento e contranivelamento e/ou duplo nivelamento. Foram implantadas seis RRNN ao longo do trajeto entre Recife e Olinda, saindo da RN 3640L localizada no Quartel da Polícia Militar no Derby do Recife até a Referência de Nível final a RN 364D ao lado esquerdo da porta principal da Igreja de São Pedro Mártir em Olinda-PE, as quais definem as RRNN observadas por meio do nivelamento geométrico de alta precisão. Além destas, neste trecho entre a RN 3640L e RN 394D, incluem-se mais três RRNN pré-existentes denominadas de RNISS, RNPO e a estação gravimétrica do IBGE – EG 8132784, esta última localizada na

estátua Monsenhor Fabrício (Figura 15). As três RRNN pré-existentis estão descritas em SANTANA NETO (2018).

Figura 15 - Estátua Monsenhor Fabrício e Estação Gravimétrica n° 8132784.

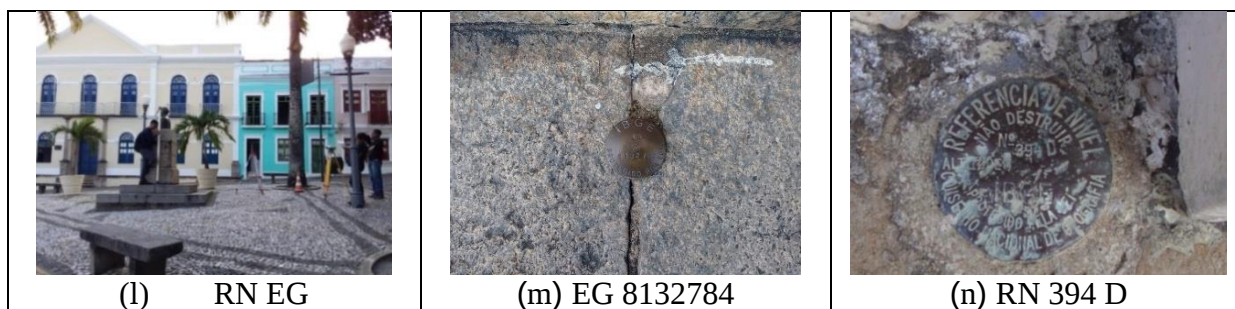


Fonte: O Autor (2018).

A Figura 16 mostra todas as RRNN compreendidas no percurso realizado entre a Referência de Nível inicial RN 3640L e a Referência de Nível final RN 394D.

Figura 16 - (c) a (l) Referências de Nível entre o trecho Recife e Olinda.





Fonte: O Autor (2018).

Os levantamentos foram realizados por trechos, o primeiro trecho inicia-se na Referência de Nível conservada à esquerda da porta principal do Comando Geral da Polícia Militar de Pernambuco em Recife, no Bairro do Derby (Figura 17).

Figura 17 - Referência de Nível 3640L.



Fonte: O Autor (2018).

Data da Foto: 16 de junho de 2018.

Além do cuidado necessário para o nivelamento geométrico de alta precisão, recomenda-se utilizar também um tripé para apoio do braço do operador que manipula a mira quando apoiadas nas RRNN e nas sapatas, assim poderá posicionar a mira verticalizada sem muita trepidação, onde qualquer grande oscilação poderá influenciar no resultado da medição e consequentemente no processamento dos dados.

Com o nível digital foram realizadas séries de quatro medições consecutivas, e usada a média dessas quatro leituras. Como controle foram aceitas como observações apenas as leituras médias, cuja amplitude das quatro observações consecutivas respeitasse o limite de 0,06mm, metodologia empregada desde as campanhas de nivelamento iniciadas em 2011 em Olinda.

No quarto trecho em diante do nivelamento geométrico, utilizou-se o duplo nivelamento (cf. item 3.1.2), com isso o trabalho ocorreu mais rápido e com um bom resultado, que irá ser apresentado no capítulo 5 Resultados e Análises.

A seguir são descritas as campanhas de medições realizadas.

Medições

As campanhas de medições foram realizadas em quatro eventos que ocorreram nos dias: 16/07/2018, 30/07/2018, 23/08/2018 e 29/09/2018, com um número mínimo de sete pessoas, duas na mira Ré, duas na mira vante, duas no instrumento e uma geral, observando a movimentação e o ambiente no entorno de cada lance e procedimento realizado em campo.

- Dia 16/07/2018

No primeiro dia transferiu-se a altitude da RN 3640L (Figura 18a) para a RN denominada PRCP (Praça da Capunga, localizada em frente à Igreja Batista da Capunga) (Figura 18c), realizando o nivelamento e o contra nivelamento perfazendo um trecho de ida de 952,575 m e de volta de 923,965 m, e um nivelamento e contranivelamento com lances (mínimo de 11,87m e máximo de 32,09 m). Na Figura 18 mostra o procedimento do nivelamento geométrico com colocação da mira na Referência de Nível RN 3640L (Figuras 18a e 18b) e RN PRCP (Figuras 18c e 18d).

Figura 18 - Procedimento do nivelamento geométrico com colocação da mira na Referência de Nível RN 3640L e RN PRCP.

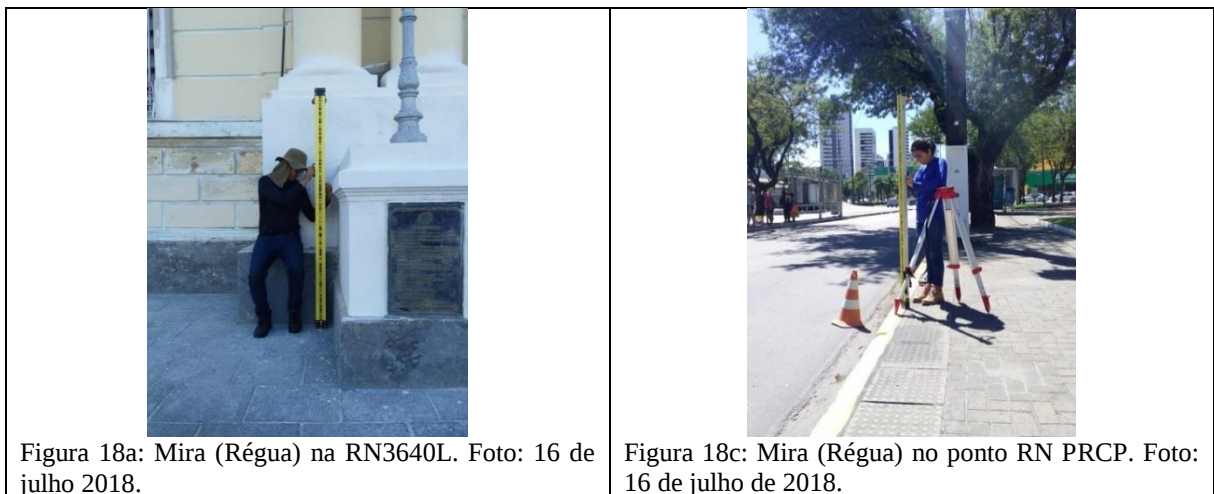




Figura 18b: Mira na Ré sobre a RN 3640L e a primeira estação de nivelamento. Foto: 16 de julho de 2018.

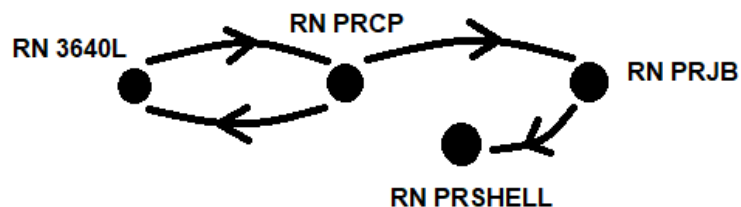


Figura 18d: Mira na Ré sobre a RN PRCP e a segunda estação de nivelamento. Foto: 16 de julho de 2018.

Fonte: O Autor (2018).

Após o nivelamento e o contranivelamento do primeiro trecho, deu-se procedimento ao segundo trecho partindo da RN PRCP (denominado Praça da Capunga) até a RN PRJB (denominado Praça João de Barros), neste trecho realizou-se o nivelamento e parte do contranivelamento até uma Referência de Nível pré-existente implantada próxima ao posto de combustível SHELL, denominada nessa dissertação como RN PRSHELL (denominado Praça do posto SHELL). A Figura 19 ilustra em um esboço os trechos nivelados e contranivelados. A seta indica o sentido do levantamento executado. Devido à medição à noite com pouca iluminação na volta do trajeto, decidiu-se encerrar as medições nesta RN PRSHELL.

Figura 19 - Esquema das linhas de levantamento.



Fonte: O Autor (2019).

Neste trecho foi realizado o nivelamento e o contra nivelamento perfazendo um trecho de ida de 968,245 m e de volta de 923,575 m, e um nivelamento e contranivelamento com lances (mínimo de 7,93 m e máxima de 33,90 m). A Figura 20 mostra o procedimento do nivelamento geométrico com colocação da mira na Referência de Nível RN PRCP (Figuras 20a e 20c) e RN PRSHELL (Figuras 20b e 20d).

Figura 20 - Nivelamento Geométrico com colocação da mira nas Referências de Nível RN PRCP e RN PRSHELL.

 Figura 20a: Mira (Régua) na RNPRCP. Foto: 30 de julho 2018.	 Figura 20c: Mira (Régua) no ponto RN PRCP. Foto: 30 de julho de 2018.
 Figura 20b: Mira na Ré sobre a RN PRSHELL e a visada na ré. Foto: 30 de julho de 2018.	 Figura 20d: Mira no ponto RN PRSHELL. Foto: 30 de julho de 2018.

Fonte: O Autor (2018).

Durante uma campanha e outra além da verificação e ajuste do nível digital também foram feitos os cálculos dos desníveis e controle de fechamento altimétrico de cada trecho, determinando-se o erro de fechamento, a precisão do levantamento por trecho e respectiva tolerância. Seguindo-se essa metodologia para identificação de erros grosseiros nas observações e controle dos trechos levantados.

- Dia 30/07/2018

Na segunda campanha concluiu-se o segundo trecho saindo da RN PRSHELL e fechando na RN PRCP. Neste trecho 2 foi realizado o nivelamento e o contra nivelamento perfazendo um trecho de ida de 968,245 m e de volta de 923,575 m, e um nivelamento e contranivelamento com lances (mínimo de 21,28 m e máximo de 32,06 m). O trecho entre a RN PRSHELL e RN PRCP teve um percurso de 369,615 m. A Figura 21 mostra os trechos 2, 3 e 4 em um esboço e os trechos de nivelamento geométrico realizados durante esse dia de campo.

Figura 21 - Procedimento do nivelamento geométrico referente ao dia 30/07/2018.



Fonte: O Autor (2019).

Em seguida, iniciou-se o nivelamento geométrico e o contranivelamento do terceiro trecho partindo da RN PRJB (Figura 22b) a RNPRSA. Neste trecho foi realizado o nivelamento e o contra nivelamento perfazendo um trecho de ida de 899,865 m e de volta de 898,775 m e um nivelamento e contranivelamento com lances (mínimo de 11,17 m e máximo de 33,34 m). A Figura 22(d) mostra o procedimento do nivelamento geométrico com colocação da mira na Referência de Nível RN PRSA.

Figura 22 - Nivelamento Geométrico entre as RRNN: RN PRJB e RN PRSA.



Figura 22a: Mira (Régua) na RN PRSHELL. Foto: 30 de julho de 2018.



Figura 22c: Mira (Régua) no ponto RN PRCP. Foto: 16 de julho de 2018.



Figura 22b: Mira no ponto RN PRJB. Foto: 30 de julho de 2018.

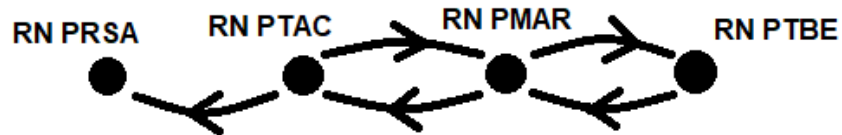


Figura 22d: Mira no ponto RN PRSA. Foto: 30 de julho de 2018.

Fonte: O Autor (2018).

O quarto trecho partiu do RN PRSA (Figura 24a) até a RN PTAC fixada em frente ao Shopping Tacaruna, denominada RN PTAC (Figura 24b). Neste trecho e na mesma segunda campanha só se realizou o nivelamento, devido à chuva que ocorreu no final do dia. A Figura 23 mostra fotos do trecho.

Figura 23 - Procedimento do nivelamento geométrico referente ao dia 23/08/2018.



Fonte: O Autor (2019).

Figura 24 - Visada Ré na RN PRSA e Visada Vante na RN PTAC.



Fonte: O Autor (2018).

A Figura 24 mostra os trechos três e quatro em um esboço e os trechos de nivelamento geométrico realizados durante esse dia de campo.

- Dia 23/08/2018

Neste dia realizou-se o contranivelamento do trecho RN PTAC (Figura 25a) (vértice em frente ao estacionamento do Shopping Tacaruna no lado da Av. Agamenon Magalhães) a RN PRSA (Figura 25b).

Figura 25 - Mira na RN PTAC e Mira na RNPRSA.



Figura 25a: Mira na RN PTAC. Foto: 23 de agosto de 2018.

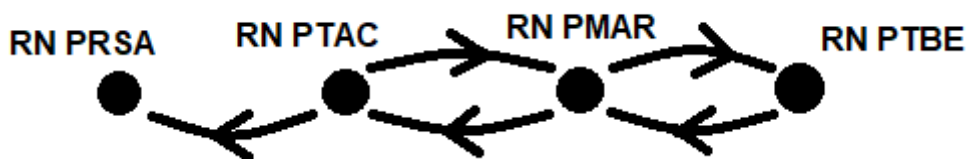
Figura 25b: Mira na RN PRSA. Foto: 23 de agosto de 2018.

Fonte: O Autor (2018).

Neste trecho quatro foi realizado o nivelamento e o contra nivelamento perfazendo um trecho de ida de 1233,155 m e de volta de 1242,655 m e um nivelamento e contranivelamento com lances (mínimo de 12,76 m e máximo de 36,22 m). As Figuras 25a e 25b mostram o procedimento do nivelamento geométrico com colocação da mira na Referência de Nível RN PTCA e RN PRSA.

A Figura 26 mostra os trechos quatro, cinco e seis em um esboço e os trechos de nivelamento geométrico e contranivelamento realizados durante esse dia de campo.

Figura 26 - Procedimento do nivelamento geométrico referente ao dia 23/08/2018. Terceiro dia de campo.



Fonte: O Autor (2019).

A partir do quinto trecho da RN PTAC e RN PMAR, iniciou-se o duplo nivelamento (cf. item 3.1.2), obtendo valores medidos através da marcação dos pontos auxiliares de passagem materializados temporariamente com quatro sapatas. As sapatas foram marcadas com adesivos nas cores amarelo e preta. No processamento escolheu-se as leituras obtidas sobre as sapatas de cor amarela, posicionadas à direita do percurso do nível, como o nivelamento e as leituras obtidas sobre as sapatas de cor preta, posicionadas à esquerda do percurso do nível, como o contranivelamento.

A vantagem deste procedimento de campo foi à redução do tempo de nivelamento entre os trechos e o avanço do procedimento de campo, evitando leituras de fechamento de

trechos no período noturno. Em detrimento disso, exigiu-se maior atenção e controle na transcrição dos dados para a caderneta de campo.

A Figura 27a apresenta uma visada a vante e a Figura 27c apresenta a mira apoiada na sapata de cor amarela à direita do procedimento e a sapata de cor preta ao seu lado. O lance foi feito em frente ao Shopping Tacaruna saindo da RN PTAC. A Figura 27b apresenta a mira apoiada na RN PMAR e a Figura 27d apresenta a visada vante à RN PMAR.

Figura 27 - Visada entre as RRNN: PMAR e PTAC.

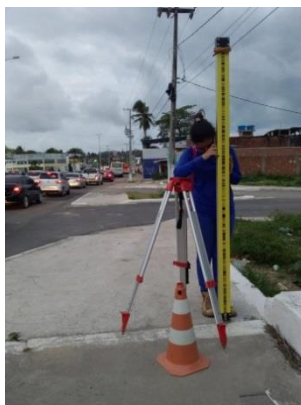


Fonte: O Autor (2018).

No trecho quinto entre a RN PTAC e RN PMAR foi realizado o duplo nivelamento perfazendo um trecho de ida de 858,740 m e de volta de 913,57 m, com lances (mínimo de 15,05 m e máximo de 33,19 m).

No trecho seis entre a RN PMAR e RN PTBE foi realizado o duplo nivelamento perfazendo um trecho de ida de 1077,405 m e de volta de 1023,41 m, com lances (mínimo de 15,05 m e máxima de 33,19 m). A Figura 28 mostra o procedimento do nivelamento geométrico com colocação da mira na Referência de Nível RN PTBE (visada vante).

Figura 28 - Conclusão do trecho RN PMAR e RN PTBE.



Fonte: O Autor (2018).

Data da Foto: 23 de agosto 2018.

Para conclusão desta campanha fechou-se o trecho seis entre a RN PMAR e RN PTBE (esta está localizada na ponte sobre o Rio Beberibe, e localizada na entrada do bairro do Varadouro – Olinda/PE) ilustrada na Figura 28.

No lance final deste trecho seis de nivelamento, obteve-se um pouco de dificuldade quanto à leitura do equipamento em relação à mira de ínvar. Isto porque a mira estava instalada sobre uma RN em uma ponte e com bastante fluxo de veículos em decorrência do horário de pico. O nível digital, que estava sobre a ponte do Rio Beberibe, obteve uma variação entre um a três milímetros. Como nesta dissertação, adotou-se uma amplitude nas séries de quatro leituras consecutivas o valor de 0,06mm, foi necessário repetir várias vezes a medição para a conclusão do nivelamento.

- Dia 29/09/2018

Quarta campanha para o fechamento da linha de nivelamento entre a RN 3640L e a RN 394D. Neste dia ,partiu-se da RN PTBE (Figura 29a) passando pela RN ISS (Figuras 29b e 29c) (localizada ao lado da Igreja São Sebastião), localizada na Av. Joaquim Nabuco, Varadouro, Olinda-PE, fechando este circuito, considerando a linha do levantamento proposto para essa dissertação. Do circuito saindo da RN ISS passando pela RN PO (em frente a Prefeitura Municipal de Olinda), localizada na Rua de São Bento, Varadouro, a RN PO foi integrada ao levantamento a uma estação pertencente ao IBGE, Estação Gravimétrica 8132784 (Figuras 29f e 29g), sendo esta denominada de RN IBGE, finalizando na RN 394D.

Figura 29 - Levantamento entre as RRNN no Sítio Histórico de Olinda.



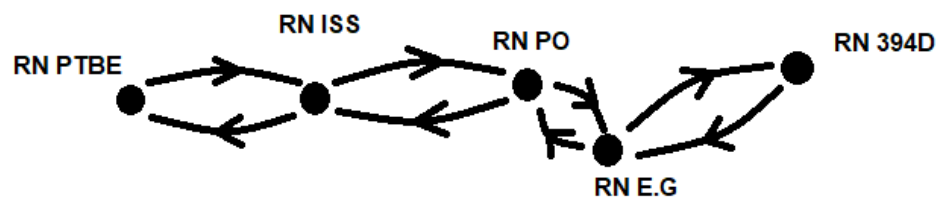
Fonte: O Autor (2018).

De forma resumida, pode-se dizer que a metodologia do levantamento teve início na RN 3640L (localizada no lado esquerdo da porta principal do Comando da Polícia Militar de Pernambuco, situado na Rua Amaro Bezerra, Derby, Recife-PE), passando pela RN PRCP (localizado na Praça Parque Amorim que fica em frente da Igreja Batista da Capunga, Localizada na Rua João Fernandes Vieira, Boa Vista) seguindo pela Av. Agamenon

Magalhães, até chegar ao cruzamento com a Av. João de Barros, na RN PRJB. Ao longo do trajeto passou pela RN PRSA até a RN PTAC, em frente ao estacionamento do Shopping Tacaruna, a partir da RN PTAC foi realizado um duplo nivelamento, seguindo até a RN PMAR passando pela RN PTBE. Logo em seguida foi levantado até a Igreja de São Sebastião pela RNISS, sempre realizando quatro leituras entre a visada de ré e vante (já que foi utilizado quatro sapatas) como ilustrado nas Figuras 29b e 29c. A configuração se repete até chegar a RN PO e a EG 8132784, finalizando no último trecho duplo nivelado entre a EG 8132784 e a RN 394D (Figura 29).

A Tabela 15 mostra os resultados dos trechos. A Figura 30 ilustra em um esboço os trechos sete, oito e nove nivelados. Considerando-se o trecho entre a RN ISS e RN EG incluindo a passagem na RN PO como um só trecho.

Figura 30 - Trechos de nivelamento e contranivelamento compreendido entre a RN PTBE e RNISS (trecho sete), RN ISS e RN EG (trecho oito) e RN EG e RN 394D (trecho nove).



Fonte: O Autor (2019).

A equação 35 apresenta o cálculo da tolerância aplicada para os circuitos da Rede de Referencia Vertical, com intuito de verificar possíveis erros grosseiros nas observações.

$$T_a = 3P_r \times \sqrt{K} \quad (35)$$

Sendo:

P_r = precisão do equipamento ou uma precisão definida para o trabalho. Sendo, portanto, para esta Dissertação adotado uma precisão para o fechamento dos circuitos de 0,3 mm / km duplo nivelado e 1,0 mm / km duplo nivelado. Está relacionada à precisão do equipamento utilizado.

K = Distância nivelada em quilômetros.

Feita a análise preliminar sobre a tolerância do nivelamento, a precisão do nivelamento foi calculada, conforme a equação 36.

$$s = \sqrt{\frac{e_n^2}{2d}} \quad (36)$$

Em que: o significado de cada termo está descrito na equação (15), pág. 38.

Tabela 15 - Trechos, Desnível Bruto, Comp. do Percurso, Erro de fechamento, Precisão e Tolerância.

TRECHOS		DESNÍVEL BRUTO (m)		COMP. DO PERCURSO (m)		ERRO DE FECHAMENTO (m)	PRECISÃO (±mm)	TOLERÂNCIA (±mm em duplo Km)
SAÍDA	VOLTA	IDA	VOLTA	IDA	VOLTA			
RN3640L	RNPRCP	-2,96347	-2,96335	952,575	923,965	0,00012	0,000061942	0,410960582
RNPRCP	RNPRJB	0,99811	0,99855	968,245	923,575	0,00044	0,000226203	0,412630343
RNPRJB	RNPRSA	-0,19094	-0,19267	899,865	898,775	0,00173	0,000912135	0,402340155
RNPRSA	RNPTAC	0,46417	0,46312	1233,155	1242,655	0,00104	0,000467369	0,472041206
RNPTAC	RNPMAR	0,31664	0,31710	858,740	859,475	0,00046	0,000156439	0,393242101
RNPMAR	RNPTBE	0,71370	0,71353	1077,405	1077,505	0,00017	0,000081888	0,440388351
RNPTBE	RNISS	-1,50256	-1,50174	1133,980	1134,715	0,00082	0,000549266	0,451865633
RNISS	EG8132784	21,02917	21,02934	258,250	259,075	0,00035	0,000344089	0,215775925
EG8132784	RN394D	-7,58679	-7,58661	249,755	253,160	0,00018	0,000179478	0,212749501

Neste levantamento o menor percurso de ida e volta foi entre os trechos da RN E G 8132784 e RN 394D no trecho da ida de 249,755 m e o maior trecho foi entre as RN PRSA e RN PTAC de 1242,655 m no trecho da volta.

O menor erro de fechamento foi entre RN 3640L e RN PRCP com o valor obtido de 0,00012 m e o maior valor no trecho RN PRJB e RN PRSA de 0,00173 m.

Com análise entre as precisões em milímetros o primeiro trecho RN 3640L e RN PRCP obteve-se um melhor resultado no percurso com o valor de 0,00006 mm e o maior valor de 0,00091 mm no trecho entre a RN PRJB e RN PRSA.

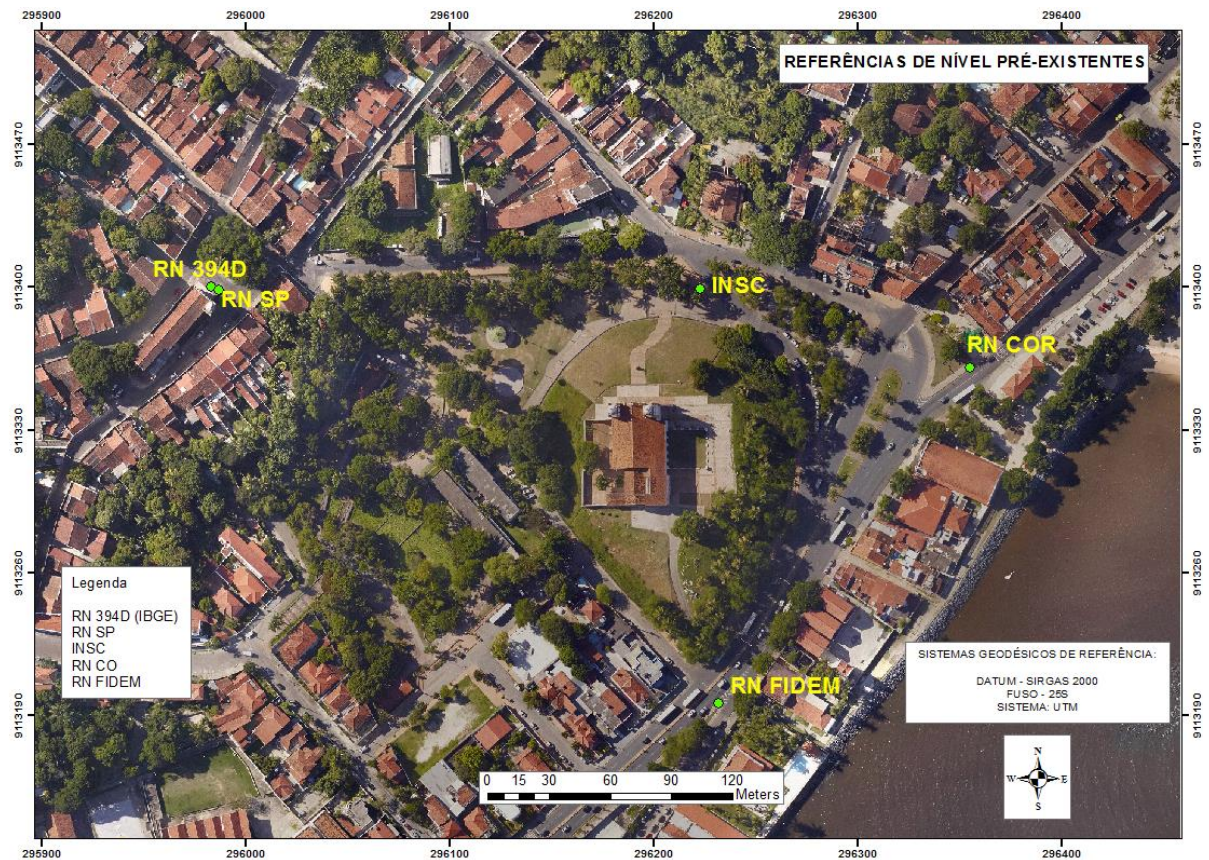
De acordo com os resultados obtidos e apresentados na Tabela 15 conclui-se que os resultados são excelentes e obedecem aos critérios estabelecidos para o nivelamento geométrico de alta precisão, constatando-se a qualidade e eficiência do nível digital utilizado para o levantamento altimétrico.

4.4.2 Rede Altimétrica no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo: materialização e medição da rede

Foi realizada uma campanha de medição em 25/01/2017, para medir as quatro linhas de nivelamento no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo, uma vez que nesta área já existiam RRNN implantadas (RN 394D, RN SP, RN NSC, RN COR e RN FIDEM) e reconhecidas em trabalhos anteriores.

O circuito de nivelamento partiu da RN 394D localizada na Igreja de São Pedro Mártir, com o método de nivelamento geométrico de alta precisão contornando a Igreja Nossa Senhora do Carmo como ilustrado em vista aérea na Figura 31.

Figura 31 - Referências de Nível: Pré-existentis.



Fonte: PREFEITURA DE OLINDA (2019)

Nota: Ortofoto 2013/2014 (Olinda) elaborada na plataforma ArcMap versão 10.4.1.

Neste circuito foram remedidos os trechos entre a RN 394D e RN SP, RN SP e RN NSC e RN NSC e RN COR. Também foram medidos os trechos entre a RNCOR e RNFIDEM e RN FIDEM e RN 394D, acrescentando-se assim, mais duas linhas de nivelamento para a Rede Geodésica Altimétrica Local do Sítio Histórico de Olinda. A Figura 32 ilustra as RRNN medidas (Figuras 32a a 32f).

Figura 32 - Referências de Nível levantadas no entorno da INSC.



5 RESULTADOS E ANÁLISES

Inicialmente foi feita uma análise dos dados de campo por trecho nivelado e contranivelado (RN 3640L a RN PTAC) ou duplamente nivelado (RN PTAC a RN 394D) ou por circuito em anel (RN 394D – RN NSC – RN COR – RN FIDEM – RN 394D), verificando-se o erro de fechamento, precisão do nivelamento, tolerância, comprimento do percurso de nivelamento e contranivelamento, desníveis das linhas de nivelamento formadas entre os trechos nivelados e número de lances em cada linha de nivelamento implantada.

O processamento do trecho de nivelamento entre Recife e Olinda (Circuito 1) foi realizado considerando a seguinte situação:

- Processamento 1: fixação da RN 3640L (IBGE) e dados do nivelamento e contranivelamento – 18 linhas de nivelamento.

O processamento do trecho de nivelamento no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo (Circuito 2) foi realizado considerando duas (2) situações:

- Processamento 1: fixação da RN 394D (IBGE) – 4 linhas de nivelamento;
- Processamento 2: fixação da RN 394D do atual ajustamento (processamento 1 do trecho Recife e Olinda) – 4 linhas de nivelamento.

O processamento do trecho de nivelamento entre Recife e Olinda e no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo (Circuito 3) foi realizado considerando a situação:

- Processamento 1: fixação da RN 3640L (IBGE) – 22 linhas de nivelamento.

A seguir são apresentados os resultados dos processamentos realizados e respectivas análises, finalizando com o estabelecimento das altitudes normais ajustadas e altitudes ortométricas ajustadas das RRNN, respectivos desníveis ajustados entre as RRNN e os trechos nivelados, apresentando também a qualidade dos resultados alcançados.

5.1 REDE ALTIMÉTRICA ENTRE RECIFE E OLINDA – CIRCUITO 1

Inicialmente foi feita uma análise dos dados de campo com emprego de planilhas *Excel*, controlando-se os resultados a partir do *software* AstGeoTop. Em seguida foi realizado o processamento pelo MMQ – Modelo Paramétrico nas situações indicadas anteriormente.

5.1.1 Resultados dos levantamentos de campo

A seguir são apresentadas as análises dos dados de campo, verificando-se: o erro de fechamento, precisão, tolerância, comprimento do percurso, desníveis das linhas de nivelamento, número de lances em cada linha de nivelamento entre o trecho nivelado e contranivelado e/ou duplamente nivelado entre Recife e Olinda e no trecho do entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo.

- Análise por trecho entre Recife e Olinda: RN 3640L e RN PRCP, RN PRCP e RN PRJB, RN PRJB e RN PRSA, RN PRSA e RN PTAC, RN PTAC e RN PMA, RN PMA e RN PTBE, RN PTBE e RN ISS, RN ISS e RN EG, RN EG e RN 394D.

A Tabela 16 apresenta os dados de nivelamento com o trecho nivelado, número de lances, desníveis brutos e distâncias do percurso do nivelamento.

Tabela 16 - Circuito 1 – nivelamento.

Linha	saída	chegada	número de lances	desnível bruto (m)	distâncias (m)
11	RN3640L	RNPRCP	17	-2,96347	952,575
12	RNPRCP	RNPRJB	16	0,99811	968,245
13	RNPRJB	RNPRSA	14	-0,19094	899,865
14	RNPRSA	RNPTAC	19	0,46417	1233,155
15	RNPTAC	RNPMAR	15	0,31664	858,740
16	RNPMA	RNPTBE	18	0,71370	1077,405
17	RNPTBE	RNSS	21	-1,50256	1133,980
18	RNISS	EG8132784	16	21,02917	258,250
19	EG8132784	RN394D	13	-7,58679	249,755

A Tabela 17 apresenta os dados de nivelamento com o trecho contranivelado, número de lances, desníveis brutos e distâncias do percurso do contranivelamento.

Tabela 17 - Circuito 1 - contranivelamento.

Linha	saída	chegada	número de lances	desnível bruto (m)	distâncias (m)
110	RN394D	EG8132784	13	-7,58661	262,480
111	EG8132784	RNISS	16	21,02934	281,635
112	RNISS	RNPTBE	21	-1,50174	1157,320
113	RNPTBE	RNPMAR	18	0,71353	1058,270
114	RNPMAR	RNPTAC	15	0,31710	874,215
115	RNPTAC	RNPRSA	24	0,46312	1244,770
116	RNPRSA	RNPRJB	15	-0,19267	897,190
117	RNPRJB	RNPRCP	21	0,99855	944,705
118	RNPRCP	RN3640L	18	-2,96335	895,695

A Tabela 18 apresenta o erro de fechamento, perímetro, tolerância, precisão e o número de lances dos trechos nivelado e contranivelado I, II, III e IV e dos trechos duplamente nivelado V, VI, VII, VIII e IX.

Tabela 18 - Erro de fechamento, Perímetro, Tolerância e Precisão.

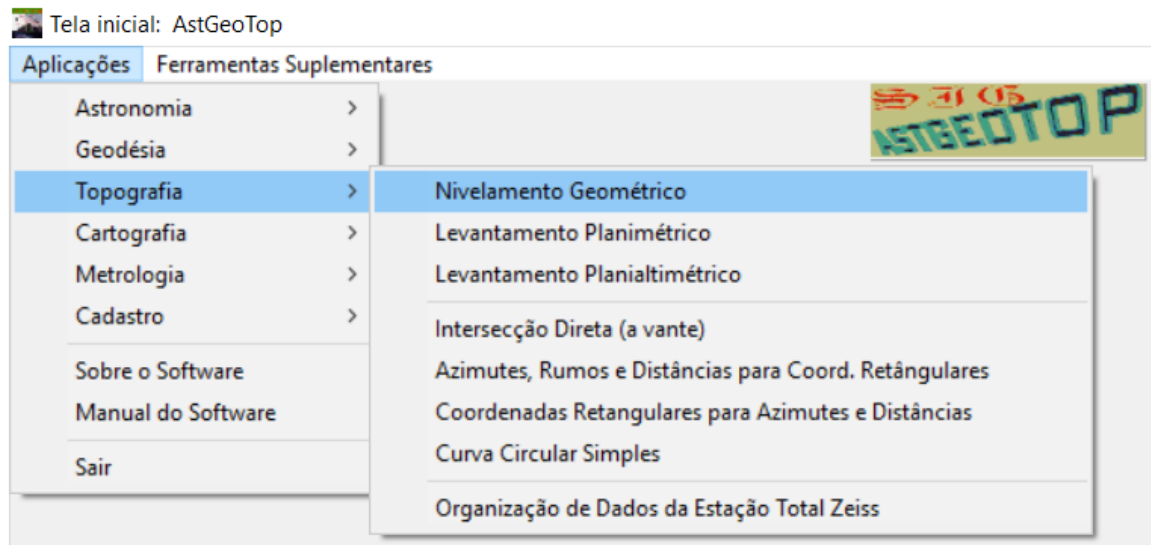
Trecho	Erro de fechamento (m)	Perímetro (km)	Tolerância ($\pm$ mm em duplo km)	Precisão ($\pm$ mm/km)	Número de lances
I	0,00012	1,87654	0,410960582	0,000061942	26
II	0,00044	1,89182	0,412630343	0,000226203	32
III	0,00173	1,79864	0,402340155	0,000912135	42
IV	0,00104	2,47581	0,472041206	0,000467369	36
V	0,00029	1,71822	0,393242101	0,000156439	30
VI	0,00017	2,15491	0,440388351	0,000081888	43
VII	0,00082	2,26870	0,451865633	0,000384956	29
VIII	0,00035	0,51733	0,215775925	0,000344089	37
IX	0,00018	0,50292	0,212749501	0,000179478	35

- Análise do trecho RN 3640L – RN 394D – RN 3640L no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo em Olinda

Todos os dados das cadernetas de campo foram inseridos em planilhas no *software Excel*. Em seguida foram processados os desníveis brutos entre os trechos nivelados e contranivelados, distâncias dos percursos nivelados e contranivelados, assim como o erro de fechamento de cada circuito realizado, precisão do nivelamento e tolerância do nivelamento, para depois realizar o processamento e ajustamento MMQ, descrito no item 5.1.3. Para o controle trecho a trecho e trecho total, cálculo das altitudes ajustadas e a visualização dos perfis topográficos, utilizou-se também o módulo “Nivelamento Geométrico” do *software AstGeoTop*.

O módulo do nivelamento geométrico no AstGeoTop está contido nas aplicações de Topografia (GARNÉS, 2019). Neste módulo são preenchidas as cadernetas de campo do nivelamento e do contranivelamento. Em seguida, tem-se o ajustamento do nivelamento e contranivelamento realizados com o cálculo das altitudes ajustadas. Na Figura 33 está apresentada a tela inicial do *software AstGeoTop*.

Figura 33 - Layout do AstGeoTop - Nivelamento Geométrico.



Fonte: AstGeoTop – Garnés, 2019.

Na Figura 34 está ilustrado o preenchimento da caderneta com os dados de campo do nivelamento: Nomenclatura da Estação, dados de Ré, Mudança (dados de Vante), Distância. Neste foi utilizado a média das distâncias entre uma estação e outra, entrando com a altitude normal da RN 3640L.

Figura 34 - Modelo de Caderneta de Campo do Nivelamento- AstGeoTop.

NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Nivelamento Geométrico

Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés
Departamento de Eng. Cartográfica/UFPE
Nivelamento Geométrico © Versão 2016.03.18

Nivelamento Contranivelamento Ajustamento do Nivelamento e Contranivelamento Perfis do Terreno

CADERNETA DE CAMPO DO NIVELAMENTO

	Linha	Estação	RÉ	INTERM	MUDANÇA	DIST	H(cota)	OBSERVAÇÃO
	306	AUX45			1,46744	7,61	15,46971	
	307	AUX45	0,56196			6,19		
	308	AUX46			1,63057	6,10	14,40110	
	309	AUX46	0,23627			8,08		
	310	AUX47			1,76225	6,78	12,87512	
InV	311	AUX47	0,98250			10,81		
	312	AUX48			0,37290	9,68	13,48472	
	313	AUX48	1,69413			3,41		
	314	AUX49			0,09509	3,01	15,08376	
	315	AUX49	1,56295			3,985		
	316	RN394D			0,47541	4,235	16,17130	

Somatória de Ré = 204,38024m Somatória de Mudança = 193,10224m Desnível = 11,27800m Perímetro Nivelado = 7631,97m

Fonte: AstGeoTop – Garnés (2019).

Na Figura 35 tem-se o preenchimento dos mesmos campos do nivelamento. Neste caso trata-se dos dados do contranivelamento e a altitude normal da Referência de Nível RN 394D obtida no transporte altimétrico no preenchimento da caderneta de campo a partir da

altitude normal da RN 3640L do IBGE, inicialmente sem ajustar, ou seja, obtida com os dados brutos inseridos do nivelamento.

Figura 35 - Modelo de Caderneta de Campo do Contranivelamento- AstGeoTop.

NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Nivelamento Geométrico

Prof. Dr. Sílvia Jacks dos Anjos Garnés
Departamento de Eng. Cartográfica/UFPE
Nivelamento Geométrico © Versão 2016.03.18

Nivelamento Contranivelamento Ajustamento do Nivelamento e Contranivelamento Perfis do Terreno

CADERNETA DE CAMPO DO CONTRANIVELAMENTO

	Linha	Estação	RÉ	INTERM	MUDANÇA	DIST	H(cota)	OBSERVA
	1	RN394D	0,47535			4,24	16,17130	
	2	AUX49			1,55845	3,875	15,08820	
	3	AUX49	0,09050			3,08		
	4	AUX48			1,69115	3,32	13,48755	
	5	AUX48	0,36995			9,69		
InV	6	AUX47			0,94492	10,845	12,91258	
	7	AUX47	1,72460			7,12		
	8	AUX46			0,22003	8,32	14,41715	
	9	AUX46	1,61432			6,20		
	10	AUX45			0,52742	6,33	15,50405	
	11	AUX45	1,43290			7,67		

Somatória de Ré =211,54899m Somatória de Mudança =222,82625m Desnível =-11,27726m Perímetro Contranivelado =7601,47m

Fonte: AstGeoTop – Garnés (2019).

A Figura 36 mostra um relatório, gerado pelo *software* AstGeoTop, do processamento com a informação do desnível entre a RN 3640L e RN 394D com valor de 11,27763m. O erro de fechamento é de 0,00074m ou 0,74mm. O comprimento do circuito totalizou 7616,72m e a precisão obtida foi de $\pm 0,134\text{mm/km}$. O resultado obtido é excelente e comprova a qualidade do nivelamento para o trecho levantado. A Figura 37 ilustra o perfil do terreno do nivelamento e contranivelamento.

Figura 36 - Planilha do Ajustamento - AstGeoTop.

NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

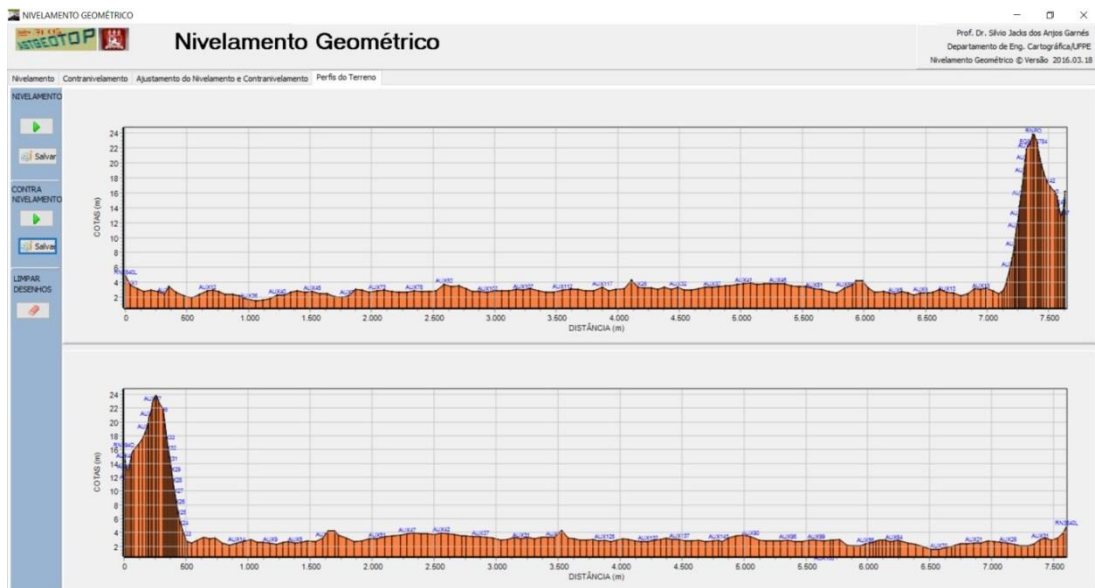
Nivelamento Geométrico

Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés
Departamento de Eng. Cartográfica/UFPE
Nivelamento Geométrico © Versão 2016.03.18

Nivelamento	Contranivelamento	Ajustamento do Nivelamento e Contranivelamento		Perfis do Terreno	
Gerar	AUX34	20,26630	20,26376	20,26503	1,27
Relatório	AUX35	21,81481	21,82144	21,81813	3,31
	AUX36	22,85353	22,81377	22,83365	19,88
	RNPO	23,81137	23,81041	23,81089	0,48
	EG8132784	23,75808	23,75717	23,75762	0,46
	AUX37	22,74072	22,83520	22,78796	47,24
	AUX38	21,42036	21,44377	21,43207	11,71
	AUX39	20,63761	20,63889	20,63825	0,64
	AUX40	19,80486	19,83194	19,81840	13,54
	AUX41	18,78192	18,78129	18,78160	0,32
	AUX42	17,58966	17,58608	17,58787	1,79
	AUX43	16,85388	16,81440	16,83414	19,74
	AUX44	16,07059	16,07353	16,07206	1,47
	AUX45	15,46971	15,50331	15,48651	16,80
	AUX46	14,40110	14,41641	14,40875	7,65
	AUX47	12,87512	12,91184	12,89348	18,36
	AUX48	13,48472	13,48681	13,48577	1,05
	AUX49	15,08376	15,08746	15,08561	1,85
	RN394D	16,17130	16,17056	16,17093	0,37
Desnível entre RN3640L e RN394D = 11,27763 m Erro de fechamento = 0,00074 m => 0,74000 mm Comprimento do circuito = 7616,72 m Precisão = 0,134 mm/km					

Fonte: AstGeoTop – Garnés (2019).

Figura 37 - Perfil do Nivelamento e Contranivelamento - AstGeoTop.



Fonte: AstGeoTop – Garnés (2019).

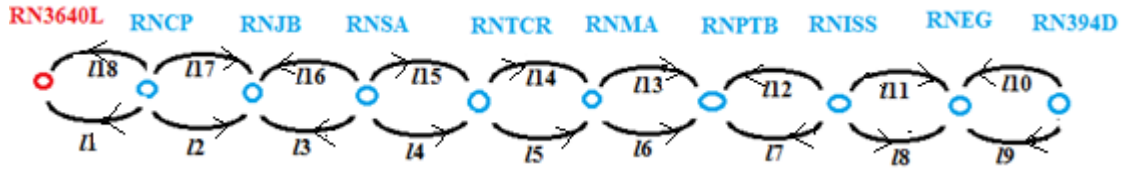
5.1.2 Processamento do Circuito 1: MMQ – Modelo Paramétrico

5.1.2.1 Processamento 1: RN 3640L (IBGE) fixa e dados do nivelamento e contranivelamento – 18 linhas de nivelamento

Este caso trata dos levantamentos entre Recife e Olinda a partir da RN 3640L considerada como fixa. O trecho foi composto por 18 linhas de nivelamento.

Para a análise dos resultados do nivelamento geométrico, considerando a ida e a volta, ou seja, partindo da RN 3640L até a RN 394D e a volta saindo da RN 394D até a RN 3640L obteve-se uma matriz A com 18 linhas de nivelamento (18 observações) e 9 parâmetros. A Figura 38 ilustra em um esboço os trechos do nivelamento e contranivelamento e respectivas linhas observadas. As setas indicam o sentido de elevação do terreno.

Figura 38 - Linhas de nivelamento e fixação da RN 3640L.



Fonte: O Autor (2019).

O ajustamento das observações pelo modelo paramétrico utiliza o vetor de observações L_b , o número de incógnitas u , neste caso igual a 9, e o grau de liberdade do sistema S , neste caso igual a 9. O modelo matemático que define a função do ajustamento, $F(b) = L_b$, é o valor observado para cada linha levantada e a matriz dos pesos (P) é a matriz diagonal composta pelo inverso das variâncias de cada linha observada e o valor da variância da unidade de peso *a priori* utilizado foram de $\sigma_0^2 = 9 \times 10^{-8}$ e $\sigma_0^2 = 10^{-6}$. A matriz denominada por A é composta pelos coeficientes das derivadas parciais do vetor de observações (L_b), a seguir, têm-se as equações de observação expressas na Equação 37:

$$l_1 = H_{RN\ 3640L} - H_{RN\ PRCP} - v_1 \quad (37)$$

$$l_2 = H_{RN\ PRCP} - H_{RN\ PRJB} - v_2$$

$$l_3 = H_{RN\ PRJB} - H_{RN\ PRSA} - v_3$$

$$l_4 = H_{RN\ PRSA} - H_{RN\ PTAC} - v_4$$

$$l_5 = H_{RN\ PTAC} - H_{RN\ PMAR} - v_5$$

$$l_6 = H_{RN\ PMAR} - H_{RN\ PTBE} - v_6$$

$$l_7 = H_{RN\ PTBE} - H_{RN\ NSS} - v_7$$

$$l_8 = H_{RN\ NSS} - H_{EG8132784} - v_8$$

$$l_9 = H_{EG8132784} - H_{RN\ 394D} - v_9$$

$$l_{10} = H_{RN\ 394D} - H_{EG8132784} - v_{10}$$

$$l_{11} = H_{EG8132784} - H_{RN\ NSS} - v_{11}$$

$$l_{12} = H_{RN\ NSS} - H_{RN\ PTBE} - v_{12}$$

$$l_{13} = H_{RN\ PTBE} - H_{RN\ PMAR} - v_{13}$$

$$l_{14} = H_{RN\ PMAR} - H_{RN\ PTAC} - v_{14}$$

$$l_{15} = H_{RN\ PTAC} - H_{RN\ PRSA} - v_{15}$$

$$l_{16} = H_{RN\ PRSA} - H_{RN\ PRJB} - v_{16}$$

$$l_{17} = H_{RN\ PRJB} - H_{RN\ PRCP} - v_{17}$$

$$l_{18} = H_{RN\ PRCP} - H_{RN\ 3640L} - v_{18}$$

A Matriz A é composta pelos coeficientes das derivadas parciais e está expressa na equação 38:

$$A = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (38)$$

Nesta situação realizaram-se dois processamentos com os nove trechos interligados nivelados e contra nivelados, totalizando 18 observações, tendo como fixa a Referência de Nível RN 3640L (RECIFE), com a altitude ortométrica de $4,6431\text{m} \pm 0,09\text{m}$ (IBGE, 2016) e determinando as altitudes das RRNN (nove) até chegar a Referência de Nível final RN 394D (OLINDA).

5.1.2.1.1 Ajustamento de altitudes ortométricas

No primeiro processamento considera-se como estimativa de precisão do Nível Digital Leica DNA 03, para todas as observações, o valor nominal de 0,3mm/km duplo nivelado.

Para a estimativa do desvio padrão: $\sigma = 0,3\text{mm}\sqrt{Km}$, a variância será: $\sigma_0^2 = (0,3 \times 10^{-3}\sqrt{Km})^2$, obtendo $\sigma_0^2 = 9 \times 10^{-8}$.

Definindo a matriz peso pela seguinte formulação: $P = \sigma_0^2 \sum Lb^{-1}$, tem-se a Equação (39):

$$P = \sigma_0^2 \begin{pmatrix} 1/\sigma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sigma_n^2 \end{pmatrix} \quad (39)$$

Considerando a variância *a priori* $\sigma_0^2 = 1 \times 10^{-6}$. Obteve-se o valor da matriz P expressa na equação 40:

$$P = \begin{pmatrix} 1E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9E+06 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10499316 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,3E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8926236 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,2E+07 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,2E+07 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,2E+07 & 0 \end{pmatrix} \quad (40)$$

Para o cálculo da variância da unidade de peso unitário *a posteriori*, utiliza-se a Equação 41.

$$\sigma_0^2 = \frac{V^T P V}{v} \quad (41)$$

Sendo:

V: vetor dos resíduos das observações ajustadas;

P: matriz dos pesos das observações, obtidos neste caso pela matriz inversa do comprimento das linhas niveladas;

v: grau de liberdade igual a $(n-u)$.

Obteve-se o valor da unidade de peso unitário *a posteriori* $\sigma_0^{\wedge 2} = 3,4179$ no cálculo do ajustamento.

A distribuição Qui-quadrada (χ^2) está relacionada a uma família de distribuição de probabilidade. Portanto, se a variável aleatória tiver uma distribuição normal, então a distribuição χ^2 será calculada pela equação 42.

$$\chi_{calculado}^2 = \frac{\sigma_0^{\wedge 2}}{\sigma_0^2} \times v \quad (42)$$

O valor do Teste do Qui-quadrado (χ^2) é apresentado na equação 43:

$$\chi_{calculado}^2 = (3,4179/1) \times 9 = 30,7617 \quad (43)$$

Sendo χ^2 o valor teórico para o Qui-quadrado.

O teste de hipótese consiste em amostrar uma população, decidindo entre rejeitar ou não rejeitar a hipótese estabelecida sobre a função densidade de probabilidade da população em estudo.

Os valores limites do intervalo, com nível de significância de $\alpha = 5\%$, para o teste bilateral com 9 graus de liberdade são expressos na equação 44:

$$0,5\alpha = 0,025 \rightarrow \chi_{9,0,025}^2 = 2,700 \quad (44)$$

$$1 - 0,5\alpha = 0,975 \rightarrow \chi_{9,0,975}^2 = 19,023$$

Com base no valor encontrado para o Qui-Quadrado calculado e nos intervalos de aceitação, pode-se constatar que o ajustamento apresenta um problema, visto que a hipótese nula (H_0) é rejeitada a um nível de significância de 5%, ou seja, Equação 45, onde o valor do Qui-Quadrado obtido não está contido no intervalo de aceitação:

$$\chi_{v,\alpha/2}^2 < \chi_{calculado}^2 < \chi_{v,1-\alpha/2}^2 \quad (45)$$

$$2,700 < 30,7617 < 19,023$$

Para análise dessa questão, da hipótese nula ser rejeitada, Gemael (1994, pg. 15) explicita: “Quando as observações não oferecem o mesmo grau de confiança são homogeneizadas através dos pesos p_i ”. “Mas como interpretar a discrepância? Talvez pudessemos dizer que a variância (*a priori*) foi avaliada para menos, ou seja, a qualidade das observações foi superestimada”.

A não aceitação do teste pode ser motivada, principalmente, por existir um erro sistemático, ou por um erro de estimativa que pode ser sobrestimar ou superestimar a precisão das observações ou ainda problemas de modelagem matemática. Analisando os dados de entrada no processo do ajustamento. Os 18 desníveis estão na Tabela 19, apresentados

anteriormente nas Tabelas 16 e 17, onde se encontra a precisão de cada trecho considerando a diferença entre o nivelamento e o contranivelamento (Tabela 19).

Tabela 19 - Linhas, número de lances, desnível bruto e distâncias.

Resultados das linhas, número de lances, desníveis e distâncias brutas do nivelamento e contranivelamento						
Linha	saída	chagada	número de lances	desnível bruto (m)	distâncias (m)	distâncias (km)
I1	RN3640L	RNPRCP	17	-2,96347	952,575	0,952575
I2	RNPRCP	RNPRJB	16	0,99811	968,245	0,968245
I3	RNPRJB	RNPRSA	14	-0,19094	899,865	0,899865
I4	RNPRSA	RNPTAC	19	0,46417	1233,155	1,233155
I5	RNPTAC	RNPMAR	15	0,31664	858,740	0,85874
I6	RNPMAR	RNPTBE	18	0,71370	1077,405	1,077405
I7	RNPTBE	RNSS	21	-1,50256	1133,980	1,13398
I8	RNSS	:G813278	16	21,02917	258,250	0,25825
I9	:G813278	RN394D	13	-7,58679	249,755	0,249755
I10	RN394D	:G813278	13	-7,58661	262,480	0,26248
I11	:G813278	RNSS	16	21,02934	281,635	0,281635
I12	RNSS	RNPTBE	21	-1,50174	1157,320	1,15732
I13	RNPTBE	RNPMAR	18	0,71353	1058,270	1,05827
I14	RNPMAR	RNPTAC	15	0,31710	874,215	0,874215
I15	RNPTAC	RNPRSA	24	0,46312	1244,770	1,24477
I16	RNPRSA	RNPRJB	15	-0,19267	897,190	0,89719
I17	RNPRJB	RNPRCP	21	0,99855	944,705	0,944705
I18	RNPRCP	RN3640L	18	-2,96335	895,695	0,895695

Refazendo uma análise da precisão do trecho identifica-se que no trecho entre o RN PRJB e RN PRSA a precisão estimada é de 0,000912135 (Tabela 20). Ou seja, uma indicação que para o trecho ocorreu uma superestimação ao considerar a precisão do nível 0,3mm/km duplo nivelamento, quando a indicação é para 1,0mm/km duplo nivelamento para o trecho. Essa estimativa deve ser para as observações de ida e volta, pois a precisão é do trecho.

Tabela 20 - Precisão do nivelamento do trecho III.

Erro de fechamento, parâmetros, tolerâncias dos trechos e precisão do nivelamento realizado.				
Trecho	Erro de fechamento (m)	Perímetro (km)	Tolerância (±mm em duplo km)	Precisão (±mm/km)
I	0,00012	1,87654	0,410960582	0,000061942
II	0,00044	1,89182	0,412630343	0,000226203
III	0,00173	1,79864	0,402340155	0,000912135
IV	0,00104	2,47581	0,472041206	0,000467369
V	0,00029	1,71822	0,393242101	0,000156439
VI	0,00017	2,15491	0,440388351	0,000081888
VII	0,00082	2,26870	0,451865633	0,000384956
VIII	0,00035	0,51733	0,215775925	0,000344089
IX	0,00018	0,50292	0,212749501	0,000179478

O ajustamento foi reprocessado considerando oito trechos com a precisão do Nível Digital Leica DNA03 de 0,3mm/km duplo nivelamento e para as observações do terceiro trecho considerou-se o valor de 1mm/km.

Para a estimativa do desvio padrão: $\sigma = 0,3\text{mm}\sqrt{Km}$, a variância será: $\sigma_0^2 = (0,3 \times 10^{-3}\sqrt{Km})^2$, obtendo $\sigma_0^2 = 9 \times 10^{-8}$.

E para a estimativa do desvio padrão: $\sigma = 1\text{mm}\sqrt{Km}$, a variância será: $\sigma_0^2 = (10^{-3} \times \sqrt{Km})^2$, obtendo e $\sigma_0^2 = (10^{-3} \times \sqrt{Km})^2$.

Logo: $\sigma_0^2 = 9 \times 10^{-8}$ e $\sigma_0^2 = 10^{-6}$. O Peso é definido $P = \sigma_0^2 \sum Lb^{-1}$. Com isso obteve-se a matriz peso apresentada na Equação 46:

$$P = \begin{pmatrix} 1E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1E+06 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9E+06 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10499316 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,3E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8926236 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 114531 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,2E+07 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,2E+07 \end{pmatrix} \quad (46)$$

Para o cálculo da variância da unidade de peso unitário *a posteriori*, utiliza-se a Equação 44.

Refazendo-se os cálculos, obteve-se o valor da unidade de peso unitário *a posteriori* $\sigma_0^2 = 1,5469$. E em seguida calcula-se o novo valor do Teste do Qui-Quadrado pela Equação 47.

$$\chi^2_{calculado} = (1,5469/1) \times 9 = 13,9222 \quad (47)$$

Sendo χ^2 o valor teórico para o Qui-Quadrado.

Os valores limites do intervalo, com nível de significância de $\alpha = 5\%$, para o teste bilateral com 9 graus de liberdade são expressos na Equação 48:

$$0,5\alpha = 0,025 \rightarrow \chi^2_{9;0,025} = 2,700 \quad (48)$$

$$1 - 0,5\alpha = 0,975 \rightarrow \chi^2_{9;0,975} = 19,023$$

Com base no novo valor encontrado para o Qui-Quadrado calculado, e nos intervalos de aceitação, pode-se constatar que o ajustamento apresenta resultados que atendem aos critérios de aceitação, visto que a Hipótese nula (H_0) não é rejeitada a um nível de significância de 5% (Equação 49).

$$\chi^2_{v,\alpha/2} < \chi^2_{calculado} < \chi^2_{v,1-\alpha/2} \quad (49)$$

$$2,700 < 13,9222 < 19,023$$

Desta forma, o ajustamento deve ser aceito a um nível de significância $\alpha = 5\%$, pois o Qui-Quadrado calculado está dentro do intervalo de aceitação e, com base nestes dados, foram gerados resultados das observações ajustadas (desníveis ajustados) para os circuitos de nivelamento realizados entre Recife e Olinda. Na Tabela 21 são apresentadas as altitudes ortométricas das RRNN e os respectivos desvios padrão.

Tabela 21 - Altitudes ortométricas ajustadas das RRNN entre Recife e Olinda (Circuito 1) e seus respectivos desvios padrão.

Referência de Nível	H_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
RN PRCP	1,67969	0,00020
RN PRJB	2,67802	0,00029
RN PRSA	2,48622	0,00073
RN PTAC	2,94986	0,00076
RN PMA	3,26673	0,00080
RN PTBE	3,98034	0,00082
RN ISS	2,47819	0,00085
RN E.G	23,50744	0,00086
RN 394D	15,92074	0,00086

Analisando os resultados pode-se afirmar que os desvios padrão das observações estão na ordem de décimos de milímetros, sendo o menor valor, em módulo, da RN PRCP e o maior valor foi obtido na Estação Gravimétrica (EG 8132784) e a RN 394D. Os resultados são baseados em uma única injunção, RN 3640L, logo todas as RRNN foram ajustadas em relação à altitude desta, unificando todas as campanhas em uma única. A Tabela 22 apresenta as diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 22 - Diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Observações	ΔH_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
l_1^a	-2,96341	0,00025
l_2^a	0,99833	0,00025
l_3^a	-0,19181	0,00083
l_4^a	0,46364	0,00029
l_5^a	0,31687	0,00024
l_6^a	0,71361	0,00027
l_7^a	-1,50215	0,00028
l_8^a	21,02925	0,00013
l_9^a	-7,58670	0,00013

5.1.2.1.2 Ajustamento de altitudes normais

Seguindo o mesmo modelo de ajustamento MMQ considerado para o cálculo das altitudes ortométricas ajustadas e para o cálculo dos respectivos desníveis ajustados (item 5.1.2.1.1), obtêm-se as altitudes normais ajustadas, assim como as respectivas diferenças de nível (desníveis) ajustadas (com seus respectivos desvios padrão). Para isso, deve-se utilizar a altitude normal da RN 3640L disponibilizada no banco de dados do IBGE (2018) e apresentada na Tabela 4 e Anexo A como fixa. As Tabelas 23 e 24 apresentam, respectivamente, as altitudes normais ajustadas e respectivas diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 23 - Altitudes normais ajustadas das RRNN entre Recife e Olinda (Circuito 1) e seus respectivos desvios padrão.

Referência de Nível	H_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
RN PRCP	1,92989	0,00020
RN PRJB	2,92822	0,00029
RN PRSA	2,73642	0,00073
RN PTAC	3,20006	0,00076
RN PMA	3,51693	0,00080
RN PTBE	4,23054	0,00082
RN ISS	2,72839	0,00085
RN E.G	23,75764	0,00086
RN 394D	16,17094	0,00086

Tabela 24 - Diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Observações	ΔH_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
l_1^a	-2,96341	0,00025
l_2^a	0,99833	0,00025
l_3^a	-0,19181	0,00083
l_4^a	0,46364	0,00029
l_5^a	0,31687	0,00024
l_6^a	0,71361	0,00027
l_7^a	-1,50215	0,00028
l_8^a	21,02925	0,00013
l_9^a	-7,58670	0,00013

A partir dos valores apresentados na Tabela 23, constata-se que a diferença em módulo entre a altitude normal da referência RN 394D disponibilizada no banco de dados do IBGE, que é de 16,1590m (Tabela 6 e Anexo E) comparando com a altitude normal ajustada da RN 394D obtida de 16,17094m $\pm$ 0,86mm (Tabela 23) determinada nesta dissertação a partir da RN 3640L é de 0,01194m.

A partir dos valores apresentados na Tabela 21, constata-se que a diferença em módulo entre a altitude ortométrica da referência RN 394D disponibilizada no banco de dados do

IBGE, que é de 15,9082m (Tabela 9 e Anexo F) comparando com a altitude ortométrica ajustada da RN 394D obtida de $15,92074\text{m} \pm 0,86\text{mm}$ (Tabela 21) determinada nesta dissertação a partir da RN 3640L é de 0,01254m.

5.2 REDE ALTIMÉTRICA NO ENTORNO DA IGREJA NOSSA SENHORA DO CARMO – CIRCUITO 2

Este caso trata dos levantamentos no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo a partir da RN 394D considerada como fixa. O trecho foi composto por 4 linhas de nivelamento.

A aplicação do nivelamento geométrico determinou a diferença de nível entre as RRNN implantadas em torno da área de estudo. Nesta dissertação inicialmente foi realizado o transporte de uma Referência de Nível a outra, partindo da RN 394D do IBGE, localizada na Igreja de São Pedro em Olinda-PE (Figura 39).

Figura 39 - Chapa da RN 394D. Data: 25/01/2017.



Fonte: O Autor, 2017.

A partir da RN 394D e com a utilização do nível digital, a mira de ínvar e sapatas de ferro foram determinadas as altitudes de primeira ordem das RRNN que circunscrevem a Igreja Nossa Senhora do Carmo.

Neste circuito foi utilizada uma rede pré-existente, em torno do objeto de estudo, as Referências de Nível: RNNSC, RNCOR e RNFIDEM, sendo as duas primeiras implantadas em projetos anteriores e a RNFIDEM – nº 0701/2000 implantada pela FIDEM.

5.2.1 Resultados dos nivelamentos de campo

- ANÁLISE DO TRECHO RN 394D – RNNSC – RNCOR – RNFIDEM – RN 394D

A Tabela 25 apresenta os dados de nivelamento com o trecho nivelado, número de lances, desníveis brutos e distâncias do percurso do nivelamento.

Tabela 25 - Linhas de nivelamento no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo.

Resultados das linhas, número de lances, desníveis e distâncias brutos do nivelamento					
Linha	saída	chagada	número de lances	desnível bruto (m)	distâncias (m)
l19	RN394D	RNNSC	7	-7,18881	253,615
l20	RNNSC	RNCO	4	-3,61378	166,375
l21	RNCO	RNFIDEM	3	-0,17723	206,780
l22	RNFIDEM	RN394D	10	-10,98078	393,370

A Tabela 26 apresenta o erro de fechamento, precisão, comprimento do percurso nivelado e tolerância.

Tabela 26 - Erro de fechamento, precisão, percurso e tolerância.

Erro de fechamento (m)	Precisão ($\pm$ mm/km)	Comp. do percurso (m)	Tolerância ($\pm$ mm/km)
0,00096	0,00002	1122,990	1,01002

5.2.2 Processamentos: MMQ – Modelo Paramétrico

No processamento deste circuito em anel, considerou-se a situação da injeção absoluta do valor de altitude da RN 394D fornecida pelo IBGE (Tabela 21 e Tabela 23) e disponibilizada no banco de dados geodésicos *on line* e indicadas nos Anexos E e F. Assim como, a altitude da RN 394D fornecida no processamento de ajustamento 1 discutida no item 5.1.2, considerando os dois tipos de altitudes ajustadas: ortométrica e normal.

5.2.2.1 CIRCUITO 2: FIXAÇÃO DA RN 394D (IBGE) – 4 LINHAS DE NIVELAMENTO

O ajustamento das observações pelo modelo paramétrico utiliza o vetor de observações Lb , o número de incógnitas u e o grau de liberdade do sistema. O modelo matemático que define a função do ajustamento, $F(b) = Lb$, é o valor observado para cada linha levantada. A matriz dos pesos (P) é a matriz diagonal considerada o inverso da distância de cada linha observada com valor nominal de 1,0mm/km duplo nivelamento e o valor da variância da unidade de peso *a priori* utilizado foi $\sigma_0^2 = 1 \times 10^{-6}$, respeitando os valores obtidos e apresentados na Tabela 26 e a discussão das situações de ajustamento apresentadas no item 5.1.2. A Figura 40 ilustra as linhas de nivelamento, onde as setas

indicam o sentido de elevação do terreno. A seguir, têm-se as equações de observação expressas na Equação 50:

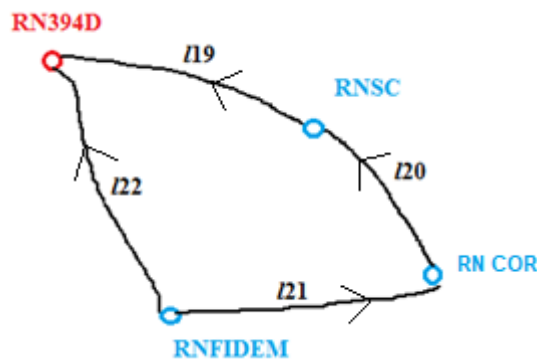
$$l_{19}^a = H_{RN\ 394D} - H_{RN\ NSC} - v_{19} \quad (50)$$

$$l_{20}^a = H_{RN\ NSC} - H_{RN\ COR} - v_{20}$$

$$l_{21}^a = H_{RN\ COR} - H_{RN\ FIDEM} - v_{21}$$

$$l_{22}^a = H_{RN\ FIDEM} - H_{RN\ 394D} - v_{22}$$

Figura 40 - Linhas de nivelamento e fixação da RN 394D (IBGE).



Fonte: O Autor (2019).

A Equação 51 expressa a Matriz A.

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (51)$$

Após finalizar o ajustamento foi realizado o teste de qualidade pelo Qui-Quadrado para verificar a qualidade do ajustamento, resultados estes obtidos pelos valores da variância da unidade de peso *a priori* $\sigma_0^2 = 1 \times 10^{-6}$ e *a posteriori* $\sigma_0^{\wedge 2} = 0,9034$ (Equação 52).

$$\chi_{calculado}^2 = \frac{\sigma_0^{\wedge 2}}{\sigma_0^2} \cdot v = 0,9034 \quad (52)$$

Sendo χ^2 teórico com 5% tem-se que para o teste bilateral os intervalos de aceitação (Equações 53 e 54):

$$0,5\alpha = 0,025 \rightarrow \chi_{1;0,025}^2 = 0,001 \quad (53)$$

$$1 - 0,5\alpha = 0,975 = \chi_{1;0,975}^2 = 5,024$$

$$\chi^2_{v,\frac{\alpha}{2}} < \chi^2_{calculado} < \chi^2_{v,1-\frac{\alpha}{2}} \quad (54)$$

$$0,001 < 0,9034 < 5,024$$

Logo, a Hipótese básica (Hipótese Nula) não é rejeitada a um nível de significância $\alpha = 5\%$, pois o Qui-Quadrado calculado está dentro do intervalo de aceitação e, com base nestes dados, foram gerados resultados das observações ajustadas para os circuitos de nivelamento realizados em Olinda-PE no entorno da Igreja. Na Tabela 27 são apresentadas as altitudes ortométricas ajustadas das RRNN e os respectivos desvios padrão.

Tabela 27 - Altitudes ortométricas ajustadas das RRNN no entorno da Igreja e seus respectivos desvios padrão.

Referência de Nível	H_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
RNNSC	8,71915	0,00041
RNCOR	5,10521	0,00047
RNFIDEM	4,92779	0,00047

Analisando os resultados, percebe-se que os desvios padrão das observações estão na ordem de décimos de milímetros, sendo o menor valor, na RNNSC e o maior valor está nas RNCOR e RNFIDEM. Os resultados foram ajustados em relação à altitude ortométrica da RN 394D com o valor de 15,9082m (Tabela 9 e Anexo F). A Tabela 28 apresenta as diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 28 - Diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Observações	ΔH_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
l_1^a	-7,18905	0,00041
l_2^a	-3,61394	0,00035
l_3^a	-0,17742	0,00039
l_4^a	4,92779	0,00047

Seguindo o mesmo modelo de ajustamento MMQ considerado para o cálculo das altitudes ortométricas ajustadas e das diferenças de nível ajustadas obtém-se as altitudes normais ajustadas, assim como as diferenças de nível ajustadas com seus respectivos desvios padrão (lembrando que para isso, deve-se utilizar a altitude normal da RN 394D (Tabela 23 e Anexo E) disponibilizada no banco de dados do IBGE (2018)). As Tabelas 29 e 30 apresentam, respectivamente, as altitudes normais ajustadas e respectivas diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 29 - Altitudes normais ajustadas das RRNN em Olinda no entorno da Igreja e seus respectivos desvios padrão.

Referência de Nível	H_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
RNNSC	8,96995	0,00041
RNCOR	5,35601	0,00047
RNFIDEM	5,17859	0,00047

Analisando os resultados, percebe-se que os desvios padrão das observações estão na ordem de décimos de milímetros, sendo o menor valor, na RNNSC e o maior valor está nas RNCOR e RNFIDEM. Os resultados dos desvios padrão são os mesmos resultados apresentados na Tabela 30, como era de se esperar, pois se trata do mesmo circuito 2 nivelado e os mesmos dados observados. A atenção se dá nos dois tipos de altitudes para as mesmas RRNN niveladas.

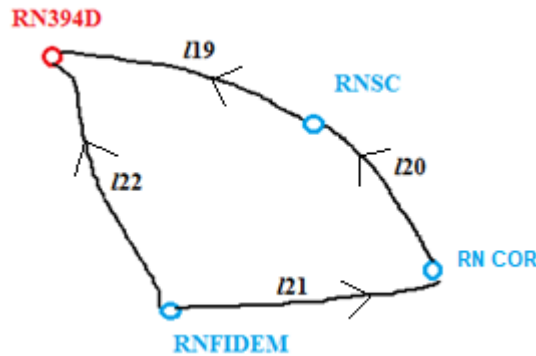
Tabela 30 - Diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Observações	ΔH_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
l_1^a	-7,18905	0,00041
l_2^a	-3,61394	0,00035
l_3^a	-0,17742	0,00039
l_4^a	5,17859	0,00047

CIRCUITO 2: FIXAÇÃO DA RN394D DO ATUAL AJUSTAMENTO (CIRCUITO 1 DO TRECHO ENTRE RECIFE E OLINDA) – 4 LINHAS DE NIVELAMENTO

Considerando o novo valor da RN 394D de altitude ortométrica de $15,92074m \pm 0,00086m$ (calculada no circuito 1 apresentada no item 5.1.2), obtida no ajustamento, a matriz dos pesos (P) (que é a matriz diagonal considerada como o inverso da distância de cada linha observada com valor nominal de 1,0mm/km duplo nivelamento) e o valor da variância da unidade de peso *a priori* utilizado foi $\sigma_0^2 = 1 \times 10^{-6}$ foram aplicadas no Circuito 2. A Figura 41 ilustra a linha do nivelamento.

Figura 41 - Fixação da RN394D ajustada no Circuito 1.



Fonte: O Autor (2019).

A Equação 55 expressa a Matriz A.

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (55)$$

Após finalizar o ajustamento foi realizado o teste de qualidade pelo Qui-Quadrado para verificar a qualidade do ajustamento, resultados estes obtidos pelos valores da variância da unidade de peso *a priori* $\sigma_0^2 = 1 \times 10^{-6}$ e *a posteriori* $\hat{\sigma}_0^2 = 0,9034$, obteve-se o mesmo valor apresentado na Equação 52 (Equação 55).

$$\chi_{calculado}^2 = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \cdot v = 0,9034 \quad (55)$$

Sendo χ^2 teórico com 5%, tem-se que para o teste bilateral os intervalos de aceitação, Equações 56 e 57:

$$0,5\alpha = 0,025 \rightarrow \chi_{1;0,025}^2 = 0,001 \quad (56)$$

$$1 - 0,5\alpha = 0,975 = \chi_{1;0,975}^2 = 5,024$$

$$\chi_{v,\frac{\alpha}{2}}^2 < \chi_{calculado}^2 < \chi_{v,1-\frac{\alpha}{2}}^2 \quad (57)$$

$$0,001 < 0,9034 < 5,024$$

Logo, a Hipótese básica (Hipótese Nula) não é rejeitada a um nível de significância $\alpha = 5\%$, pois o valor do Qui-Quadrado calculado está dentro do intervalo de aceitação. Com base nestes dados, foram gerados resultados das observações ajustadas para o circuito 2 de nivelamento realizado no entorno da Igreja em Olinda-PE. Na Tabela 31 são apresentadas as altitudes das RRNN e os respectivos desvios padrão.

Tabela 31 - Altitudes ortométricas ajustadas das RRNN no entorno da Igreja em Olinda e seus respectivos desvios padrão.

Referência de Nível	H_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
RNNSC	8,73169	0,00041
RNCOR	5,11775	0,00047
RNFIDEM	4,94033	0,00047

Analizando os resultados, percebe-se que os desvios padrão das observações estão na ordem de décimos de milímetros, sendo o menor valor, na RNNSC e os maiores valores estão com nas RNCOR e RNFIDEM. Os resultados foram ajustados em relação à altitude ortométrica da RN 394D com o valor de $15,92074m \pm 0,00086m$ (Circuito 1 no item 5.1.2 e ajustamento da altitude ortométrica). A Tabela 32 apresenta as diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 32 - Diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Observações	ΔH_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
l_1^a	-7,18905	0,00041
l_2^a	-3,61394	0,00035
l_3^a	-0,17742	0,00039
l_4^a	4,94033	0,00047

Seguindo o mesmo modelo de ajustamento MMQ considerado para o cálculo das altitudes ortométricas ajustadas e das diferenças de nível, obtém-se as altitudes normais ajustadas, assim como as respectivas diferenças de nível ajustadas com seus respectivos desvios padrão, lembrando que para isso, deve-se utilizar a altitude normal ajustada de $16,17094 \pm 0,00086m$ da RN 394D (circuito 1 no item 5.1.2 e ajustamento da altitude normal). As Tabelas 33 e 34 apresentam, respectivamente, as altitudes normais ajustadas e diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 33 - Altitudes normais ajustadas das RRNN no entorno da Igreja em Olinda e seus respectivos desvios padrão.

Referência de Nível	H_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
RN NSC	8,98189	0,00041
RN COR	5,36795	0,00047
RN FIDEM	5,19053	0,00047

Tabela 34 - Diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Observações	ΔH_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
l_1^a	-7,18905	0,00041
l_2^a	-3,61394	0,00035
l_3^a	-0,17742	0,00039
l_4^a	5,19053	0,00047

Analisando a discrepância entre as altitudes normais ajustadas da primeira situação (altitude normal da RN 394D do IBGE fixa) e da segunda situação (altitude normal da RN 394D do resultado do ajustamento do Circuito 1 fixa), obtém-se como resultado o valor, em módulo, de 0,01194m ou, aproximadamente, 12mm. Comparando com o resultado do banco de dados do IBGE da RN 394D e o valor ajustado da altitude normal, conclui-se que o valor de 12mm representa um valor maior que o valor absoluto da altitude normal ajustada em relação ao valor fornecido pelo IBGE. Isto repercute no mesmo sentido para as altitudes das RRNN RNNSC, RNCOR e RNFIDEM comparadas entre as duas situações de ajustamento para as altitudes normais ajustadas.

Na prática isso equivale a dizer que os levantamentos altimétricos realizados com o valor de altitude normal fornecida pelo banco de dados do IBGE estarão 12mm abaixo do valor verdadeiro e absoluto fornecido pela RN 394D, Tabela 35.

Tabela 35 - Discrepâncias das Referências de Nível com altitudes normais ajustadas entre os circuitos (1) e (2).

Referência de nível	H_a (m) – circuito (2)	H_a (m) – circuito (1)	Discrepância (m)
RNNSC	8,98189	8,96995	0,01194
RNCOR	5,36795	5,35601	0,01194
RNFIDEM	5,19053	5,17859	0,01194

Analisando a discrepância entre as altitudes ortométricas ajustadas da primeira situação (altitude ortométrica da RN 394D do IBGE fixa) e da segunda situação (altitude ortométrica da RN 394D do resultado do ajustamento do Circuito 1 fixa), obtém-se como resultado o valor, em módulo, de 0,01254m ou, aproximadamente, 12mm. Comparando com o resultado do banco de dados do IBGE da RN 394D e o valor ajustado da altitude ortométrica, conclui-se que o valor de 12mm representa um valor maior que o valor absoluto da altitude ortométrica ajustada em relação ao valor fornecido pelo IBGE. Isto repercute no mesmo sentido para as altitudes das RRNN: RN NSC, RN COR e RN FIDEM comparadas entre as duas situações de ajustamento para as altitudes ortométricas ajustadas.

Discrepâncias das Referências de Nível com altitudes ortométricas ajustadas entre a situação (1) e (2), Tabela 36.

Tabela 36 - Discrepâncias das Referências de Nível com altitudes ortométricas ajustadas entre os circuitos (1) e (2).

Referência de nível	H_a (m) – circuito (2)	H_a (m) – circuito (1)	Discrepância (m)
RNNSC	8,73169	8,71915	0,01254
RNCOR	5,11775	5,10521	0,01254
RNFIDEM	4,94033	4,92779	0,01254

Na prática isso equivale a dizer que os levantamentos altimétricos realizados com o valor de altitude ortométrica fornecida pelo banco de dados do IBGE estarão 12mm abaixo do valor verdadeiro e absoluto fornecido pela RN 394D.

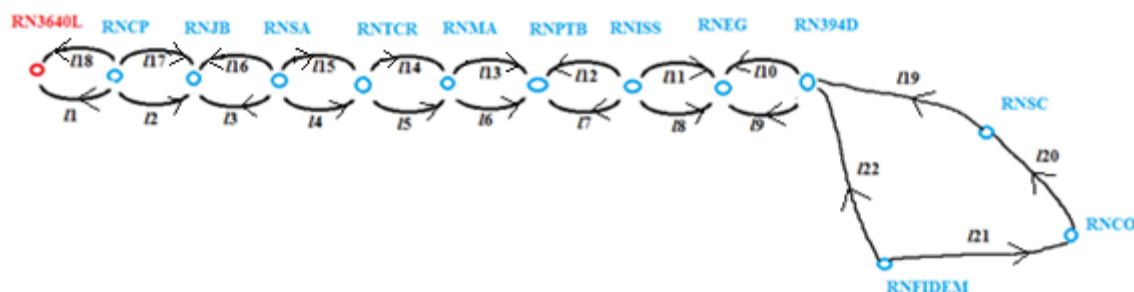
5.3 REDE ALTIMÉTRICA COMPOSTA PELO TRECHO RECIFE-OLINDA- IGREJA NOSSA SENHORA DO CARMO: PROCESSAMENTOS: MMQ – MODELO PARAMÉTRICO – CIRCUITO 3

Este caso trata dos levantamentos entre Recife e Olinda a partir da RN 3640L considerada como fixa e no entorno da Igreja Nossa Senhora do Carmo. O trecho foi composto por 22 linhas de nivelamento, envolvendo o Circuito 1 e Circuito 2 apresentados anteriormente.

5.3.1 Processamento 1: fixação da RN3640L (IBGE) – 22 linhas de nivelamento

A Figura 42 ilustra as linhas do circuito 3 com 22 linhas de levantamento com a fixação da RN 3640L com altitude ortométrica do IBGE no valor de $4,6431\text{m} \pm 0,09\text{m}$ (Anexo B). Para o processamento deste Circuito 3 foi necessário considerar na matriz peso com respeito a precisão do levantamento, ou seja, considerando 1mm/km duplo nivelamento em toda a matriz P, pois ao considerar a precisão de 0,3mm/km duplo nivelamento não passou no teste do Qui-Quadrado. A Figura 42 ilustra um esboço dos trechos de nivelamento e contranivelamento, duplo nivelamento e circuito em anel e respectivas linhas observadas. As setas indicam o sentido de elevação do terreno.

Figura 42 - Circuito 3 com 22 linhas de nivelamento com a fixação da RN 3640L.



Fonte: O Autor (2019).

A Tabela 37 apresenta as linhas, número de lances, desníveis brutos e distâncias percorridas.

Tabela 37 - Valores coletados das 22 linhas de todo o percurso – Circuito 3.

Resultados das linhas, número de lances, desníveis e distâncias brutas					
Linha	saída	chagada	número de lances	desnível bruto (m)	distâncias (m)
I1	RN3640L	RNPRCP	17	-2,96347	952,575
I2	RNPRCP	RNPRJB	16	0,99811	968,245
I3	RNPRJB	RNPRSA	14	-0,19094	899,865
I4	RNPRSA	RNPTAC	19	0,46417	1233,155
I5	RNPTAC	RNPMAR	15	0,31664	858,740
I6	RNPMAR	RNPTBE	18	0,71370	1077,405
I7	RNPTBE	RNISS	21	-1,50256	1133,980
I8	RNISS	EG8132784	16	21,02917	258,250
I9	EG8132784	RN394D	13	-7,58679	249,755
I10	RN394D	EG8132784	13	-7,58661	262,480
I11	EG8132784	RNISS	16	21,02934	281,635
I12	RNISS	RNPTBE	21	-1,50174	1157,320
I13	RNPTBE	RNPMAR	18	0,71353	1058,270
I14	RNPMAR	RNPTAC	15	0,31710	874,215
I15	RNPTAC	RNPRSA	24	0,46312	1244,770
I16	RNPRSA	RNPRJB	15	-0,19267	897,190
I17	RNPRJB	RNPRCP	21	0,99855	944,705
I18	RNPRCP	RN3640L	18	-2,96335	895,695
I19	RN394D	RNNSC	7	-7,18881	253,615
I20	RNNSC	RNCO	4	-3,61378	166,375
I21	RNCO	RNFIDEM	3	-0,17723	206,780
I22	RNFIDEM	RN394D	10	10,98100	393,370

Com a realização do teste do Qui-Quadrado com o valor da precisão de 1,0mm/km duplo nivelamento, ou seja, o valor da variância da unidade de peso *a priori* é de $1,0 \times 10^{-6}$. A matriz A é composta pelos coeficientes das derivadas parciais do vetor de observações (Lb) em relação a cada incógnita do sistema, RRNN levantadas, Equação 58.

$$A = \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} \quad (58)$$

O cálculo do Qui-Quadrado teórico, obteve-se a partir da Equação 59:

$$\chi^2_{calculado} = (0,41334/1) \times 10 = 4,13347 \quad (59)$$

Sendo χ^2 o valor teórico para o Qui-Quadrado.

Os valores limites do intervalo, com nível de significância de $\alpha = 5\%$, para o teste bilateral com 10 graus de liberdade são expressos na Equação 60:

$$0,5\alpha = 0,025 \rightarrow \chi^2_{10;0,025} = 3,247 \quad (60)$$

$$1 - 0,5\alpha = 0,975 \rightarrow \chi^2_{10;0,975} = 20,483$$

Com base no valor encontrado para o Qui-Quadrado calculado, e nos intervalos de aceitação, pode-se constatar que o ajustamento apresenta resultados que atendem aos critérios de aceitação, visto que a Hipótese nula (H_0) não é rejeitada a um nível de significância de 5%, ou seja, o intervalo do teste está expresso na Equação 61:

$$\chi^2_{v,\alpha/2} < \chi^2_{calculado} < \chi^2_{v,1-\alpha/2} \quad (61)$$

$$3,247 < 4,1334 < 20,483$$

Desta forma, o ajustamento deve ser aceito a um nível de significância $\alpha = 5\%$, pois o Qui-Quadrado calculado está dentro do intervalo de aceitação e, com base nestes dados, foram gerados resultados das observações ajustadas para o circuito 3 de nivelamento realizado entre o trecho Recife e Olinda e no entorno da Igreja. Na Tabela 38 são apresentadas as altitudes ortométricas ajustadas RRNN e os respectivos desvios padrão.

Tabela 38 - Altitudes ortométricas ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Referência de Nível	H_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
RN PRCP	1,67969	0,00067
RN PRJB	2,67802	0,00096
RN PRSA	2,48622	0,00117
RN PTAC	2,94986	0,00141
RN PMA	3,26673	0,00156
RN PTBE	3,98034	0,00172
RN ISS	2,47819	0,00188
RN E.G	23,50744	0,00191
RN 394D	15,92074	0,00195
RN NSC	8,73163	0,00200
RN COR	5,11766	0,00201
RN FIDEM	4,94019	0,00201

Analisando os resultados, pode-se perceber que os valores dos desvios padrão das altitudes ortométricas ajustadas estão na ordem em décimos de milímetros, sendo o menor valor entre as RRNN apresentado na RN PRCP de $1,67969m \pm 0,00067m$ e o maior valor está nas RNCOR e RNFIDEM de, respectivamente, $5,11766m \pm 0,00201m$ e $4,94019m \pm 0,00201m$. Os resultados são baseados em uma única injunção absoluta, a RN 3640L (IBGE).

Logo, todas as RRNN foram ajustadas em relação à altitude ortométrica da Referência de Nível de saída 3640L. A Tabela 39 mostra as observações ortométricas ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 39 - Diferenças de nível ajustadas entre Recife e Olinda e no entorno da Igreja e seus respectivos desvios padrão.

Observações	ΔH_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
l_1^a	-1,67969	0,00043
l_2^a	0,99833	0,00044
l_3^a	-0,19181	0,00043
l_4^a	0,46364	0,00050
l_5^a	0,31687	0,00042
l_6^a	0,71361	0,00046
l_7^a	-1,50215	0,00048
l_8^a	21,02925	0,00023
l_9^a	-7,58670	0,00023
l_{10}^a	-7,58670	0,00023
l_{11}^a	21,02925	0,00023
l_{12}^a	-1,50215	0,00048
l_{13}^a	0,71361	0,00046
l_{14}^a	0,31687	0,00042
l_{15}^a	0,46364	0,00050
l_{16}^a	-0,19181	0,00043
l_{17}^a	0,99833	0,00044
l_{18}^a	-1,67969	0,00043
l_{19}^a	-7,18910	0,00028
l_{20}^a	-3,61397	0,00023
l_{21}^a	-0,17747	0,00026
l_{22}^a	10,98054	0,00031

As linhas $l_1^a, l_2^a, l_3^a, l_4^a, l_5^a, l_6^a, l_7^a, l_8^a, l_9^a$ são iguais aos valores das linhas $l_{10}^a, l_{11}^a, l_{12}^a, l_{13}^a, l_{14}^a, l_{15}^a, l_{16}^a, l_{17}^a, l_{18}^a$ que correspondem o nivelamento e o contranivelamento entre Recife e Olinda e as linhas $l_{19}^a, l_{20}^a, l_{21}^a$ e l_{22}^a correspondem ao nivelamento do circuito em anel no entorno da Igreja.

Seguindo o mesmo modelo de ajustamento MMQ considerado para o cálculo das altitudes ortométricas ajustadas e das diferenças de nível ajustadas, obtêm-se as altitudes normais ajustadas, assim como as diferenças de nível ajustadas com seus respectivos desvios padrão, lembrando que para isso, deve-se utilizar a altitude normal da RN 3640L disponibilizada no banco de dados do IBGE (2018) e apresentada no Anexo A. As Tabelas 40 e 41 apresentam, respectivamente, as altitudes normais ajustadas e diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 40 - Altitudes normais ajustadas das RRNN do Circuito 3 e seus respectivos desvios padrão.

Referência de Nível	H_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
RN PRCP	1,92989	0,00067
RN PRJB	2,92822	0,00096
RN PRSA	2,73642	0,00117
RN PTAC	3,20006	0,00141
RN PMA	3,51693	0,00156
RN PTBE	4,23054	0,00172
RN ISS	2,72839	0,00188
RN E.G	23,75764	0,00191
RN 394D	16,17094	0,00195
RN NSC	8,98183	0,00200
RN COR	5,36786	0,00201
RN FIDEM	5,19039	0,00201

Tabela 41 - Diferenças de nível ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Observações	ΔH_a (m)	Desvio Padrão ($\pm m$)
l_1^a	-1,92989	0,00043
l_2^a	0,99833	0,00044
l_3^a	-0,19181	0,00043
l_4^a	0,46364	0,00050
l_5^a	0,31687	0,00042
l_6^a	0,71361	0,00046
l_7^a	-1,50215	0,00048
l_8^a	21,02925	0,00023
l_9^a	-7,58670	0,00023
l_{10}^a	-7,58670	0,00023
l_{11}^a	21,02925	0,00023
l_{12}^a	-1,50215	0,00048
l_{13}^a	0,71361	0,00046
l_{14}^a	0,31687	0,00042
l_{15}^a	0,46364	0,00050
l_{16}^a	-0,19181	0,00043
l_{17}^a	0,99833	0,00044
l_{18}^a	-1,92989	0,00043

l_{19}^a	-7,18910	0,00028
l_{20}^a	-3,61397	0,00023
l_{21}^a	-0,17747	0,00026
l_{22}^a	10,98054	0,00031

Analisando a discrepância entre as altitudes ajustadas do Circuito 1 com 18 linhas e a situação com 22 linhas, tanto em relação as altitudes normais e ortométricas não há discrepância como mostram as Tabelas 42 e 43.

Tabela 42 - Discrepâncias das Referências de Nível das altitudes normais entre o Circuito 1 – 18 linhas e Circuito 3 – 22 linhas.

Referência de nível	H_a – Circuito (1) – 18 linhas	H_a (m) – Circuito 3 – 22 linhas	Discrepância (m)
RN PRCP	1,92989	1,92989	0,00000
RN PRJB	2,92822	2,92822	0,00000
RN PRSA	2,73642	2,73642	0,00000
RN PTAC	3,20006	3,20006	0,00000
RN PMA	3,51693	3,51693	0,00000
RN PTBE	4,23054	4,23054	0,00000
RN ISS	2,72839	2,72839	0,00000
RN EG	23,75764	23,75764	0,00000
RN 394D	16,17094	16,17094	0,00000

Tabela 43 - Discrepâncias das Referências de Nível das altitudes ortométricas entre o Circuito (1) – 18 linhas e Circuito 3 – 22 linhas.

Referência de nível	H_a – circuito (1) – 18 linhas	H_a (m) – circuito 3 – 22 linhas	Discrepância (m)
RN PRCP	1,67969	1,67969	0,00000
RN PRJB	2,67802	2,67802	0,00000
RN PRSA	2,48622	2,48622	0,00000
RN PTAC	2,94986	2,94986	0,00000
RN PMA	3,26673	3,26673	0,00000
RN PTBE	3,98034	3,98034	0,00000
RN ISS	2,47819	2,47819	0,00000
RN E.G	23,50744	23,50744	0,00000
RN 394D	15,92074	15,92074	0,00000

Analisando a discrepância entre as altitudes das RRNN do Circuito 2 com 4 linhas (processamento 1 e processamento 2) e as RRNN do Circuito 3 com 22 linhas, tanto em relação as altitudes normais e ortométricas há discrepância, em relação as altitudes normais a menor discrepância é da RNFIDEM de 0,01180m e a maior é da RNNSC de 0,01188m e em relação as altitudes ortométricas a menor discrepância é da RNFIDEM de 0,01240m e o maior é da RNNSC de 0,01248m como mostra as Tabelas 44 e 45 e 46 e 47.

Tabela 44 - Discrepâncias das Referências de Nível das altitudes normais entre as RRNN do Circuito 2 (processamento 1) – 4 linhas e do Circuito 3 – 22 linhas.

Referência de nível	H_a – circuito 2 (proc. 1) – 4 linhas	H_a (m) – circuito 3 – 22 linhas	Discrepância (m)
RN NSC	8,96995	8,98183	0,01188
RN COR	5,35601	5,36786	0,01185
RN FIDEM	5,17859	5,19039	0,01180

Tabela 45 - Discrepâncias das Referências de Nível das altitudes ortométricas entre as RRNN do Circuito 2 (processamento 1) – 4 linhas e do Circuito 3 – 22 linhas.

Referência de nível	H_a – circuito 2 (proc. 1) – 4 linhas	H_a (m) – circuito 3 – 22 linhas	Discrepância (m)
RN NSC	8,71915	8,73163	0,01248
RN COR	5,10521	5,11766	0,01245
RN FIDEM	4,92779	4,94019	0,01240

Tabela 46 - Discrepâncias das Referências de Nível das altitudes normais entre as RRNN do Circuito 2 (processamento 2) – 4 linhas e do Circuito 3 – 22 linhas.

Referência de nível	H_a – circuito 2 (proc. 2) – 4 linhas	H_a (m) – circuito 3 – 22 linhas	Discrepância (m)
RN NSC	8,98189	8,98183	0,00006
RN COR	5,36795	5,36786	0,00009
RN FIDEM	5,19053	5,19039	0,00014

Tabela 47 - Discrepâncias das Referências de Nível das altitudes ortométricas entre as RRNN do Circuito 2 (processamento 2) – 4 linhas e do Circuito 3 – 22 linhas.

Referência de nível	H_a – circuito 2 (proc. 2) – 4 linhas	H_a (m) – circuito 3 – 22 linhas	Discrepância (m)
RN NSC	8,73169	8,73163	0,00006
RN COR	5,11775	5,11766	0,00009
RN FIDEM	4,94033	4,94019	0,00014

6 CONCLUSOES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo apresenta as conclusões e as recomendações para trabalhos e pesquisas futuras.

6.1 CONCLUSÕES

As estruturas geodésicas altimétricas aplicadas ao levantamento geodésico de prédios históricos são fundamentais para o desenvolvimento sustentável de centros e sítios históricos.

A exemplo desta dissertação, novas RRNN foram implantadas ao longo das principais vias que interligam as cidades do Recife e de Olinda-PE. O motivo principal que levou ao desenvolvimento deste tema foi a escassez de RRNN do IBGE no município de Olinda em bom estado, uma vez que a única Referência de Nível (RN 394D) do IBGE em bom estado, está localizada na porta principal da igreja de São Pedro Mártir e não possui precisão conhecida, pois a mesma foi implantada na década de 50 a partir de um ramal de nivelamento geométrico.

Assim, para garantir a qualidade da Rede Geodésica Altimétrica Local implantada no Sítio Histórico de Olinda em trabalhos anteriores (RRNN da UFPE), nesta dissertação, foi nivelado e contranivelado um trecho entre os dois municípios, partindo-se de uma RN (3640L) do IBGE com precisão conhecida, localizada no Quartel do Comando Geral da Polícia Militar do Estado de Pernambuco, no Bairro do Derby. Neste contexto, foram implantadas 6 novas RRNN denominadas RN PRCP, RN PRJB, RN PRSA, RN PTAC, RN PMA, RN PTBE e interligadas as RRNN implantadas em trabalhos anteriores, tais como: RN ISS, RN PO e a estação gravimétrica EG8132784 e RN 394D, estas duas últimas implantadas pelo IBGE.

Para a abordagem de prédios históricos, escolheu-se a Igreja de Nossa Senhora do Carmo localizada na praça do Carmo em Olinda. No entorno desta foram contempladas as RRNN implantadas em trabalhos anteriores RN NSC e RN COR. Estas foram interligadas a RN FIDEM, sendo todas estas RRNN localizadas no entorno desta Igreja. A prática do nivelamento geométrico de alta precisão requer um cuidado especial durante o procedimento de medição. Para garantir a qualidade dos dados é necessário sempre verificar e retificar (ajustar) quando necessário o equipamento de medição. Nesta dissertação foram realizadas cinco verificações e ajustes do erro de colimação do nível digital empregado DNA-03 antes de cada campanha de medições de nivelamento realizadas. O processo de verificação e ajuste seguiu o método de Kukkamaeki. Para garantir o transporte altimétrico de qualidade entre os dois municípios, nesta dissertação, foram nivelados e contranivelados os trechos espaçados

aproximadamente de 1 km em 1 km. O que exigiu uma equipe de pelo menos 7 pessoas em campo. E para aumentar a produção de campo nas duas últimas campanhas os trechos entre as Referências de Nível foram duplamente nivelados.

Após a aquisição dos dados altimétricos e a sua respectiva verificação através do cálculo do erro de fechamento, precisão e da tolerância para cada trecho nivelado e contranivelado e duplamente nivelado e circuito de nivelamento em anel, procedeu-se ao ajustamento das observações, utilizando-se o MMQ – modelo paramétrico. Utilizou-se planilhas *Excel* para o processamento dos dados e para o controle altimétrico dos trechos nivelados e contranivelados, assim como os trechos duplamente nivelados, utilizou-se também o módulo de “Levantamento Altimétrico” disponibilizado pelo *software* AstGeoTop, cujos resultados estão descritos nos anexos G, H, I, J, K, L.

A análise da Rede Geodésica Altimétrica implantada entre as cidades de Recife e Olinda e a Rede Geodésica Altimétrica densificada ao redor da Igreja foi realizada a partir do ajustamento realizado em várias situações de processamento descritas no item 5.1, 5.2 e 5.3, concluindo-se:

1. O valor de desnível entre as RRNN: RN 3640L e RN 394D é de $11,27764\text{m} \pm 0,00074\text{m}$ do desnível, tanto considerando as altitudes ortométricas quanto considerando as altitudes normais. 2. O menor valor de altitude ortométrica do trecho entre a RN 3640L e a RN 394D é da RN PRCP de $1,62969\text{m} \pm 0,00020\text{m}$ e a menor altitude normal também corresponde a RN PRCP de $1,92989\text{m} \pm 0,00020\text{m}$.

3. A altitude ortométrica da RN 394D é de $15,92074\text{m} \pm 0,00086\text{m}$ e a altitude normal é de $16,17094\text{m} \pm 0,00086\text{m}$. A diferença entre a altitude normal do banco de dados do IBGE da referência RN 394D de $16,1590\text{m}$ comparando com a altitude normal ajustada de $16,17094\text{m} \pm 0,86\text{mm}$ é de $0,01194\text{m}$.

E a diferença entre a altitude ortométrica do banco de dados do IBGE da referência RN 394D de $15,9082\text{m}$ comparando com a altitude normal ajustada de $15,92074\text{m} \pm 0,86\text{mm}$ é de $0,01254\text{m}$.

4. A discrepância entre as altitudes normais ajustadas do Circuito 2 do processamento 1 RN 394D (IBGE) e do processamento 2 RN 394D (ajustada), obtém-se como resultado o valor, em módulo, de $0,1194\text{m}$ ou, aproximadamente, 12mm .

5. Um dos trechos do levantamento no caso, o trecho 3 foi necessário realizar mudança na matriz peso com respeito a precisão do levantamento, ou seja, considerando 1mm/km no trecho 3 e nos demais $0,3\text{mm/km}$ para que o processamento passasse no teste do Qui-Quadrado, enquanto no Circuito 3 com 22 linhas, considerou-se a precisão da matriz peso o

valor de 1mm/km, pois além do trecho 3 entre Recife e Olinda, o circuito nivelado no entorno da Igreja também obteve uma precisão aproximadamente igual ao do trecho 3. Ressalta-se que o valor de precisão de 1mm/km obedece ao padrão de primeira ordem apresentado em Torge (2001) e IBGE (2017).

Nesta dissertação a Rede Geodésica Altimétrica implantada define padrão de primeira ordem, contribuindo para a densificação de redes altimétricas de qualidade para os municípios e localidades no entorno das RRNN. Além disso, as medições realizadas nesta dissertação trouxeram padrão de referência altimétrica para as RRNN implantadas anteriormente no Sítio Histórico de Olinda a partir da qualidade alcançada no transporte altimétrico da RN 3640L para a RN 394D. Além de aperfeiçoar a metodologia de campo para a aquisição de dados e a metodologia para o ajustamento das observações considerando para o ajustamento as precisões do nivelamento obtidas nos trechos e circuitos nivelados.

6.2 RECOMENDAÇÕES

- Utilizar a RN 3640J do IBGE, uma vez que está em bom estado de conservação, para ampliação da rede altimétrica e realização do controle altimétrico entre as duas RRNN 3640L e 3640J.
- Interligar as Redes Geodésicas Altimétricas levantadas com o nível digital DNA 03 em projetos de pesquisas anteriores e localizadas nos Municípios do Recife e de Olinda.
- Medir as RRNN com receptores GNSS L1/L2 para a concepção de um modelo geoidal local acurado dos municípios de Olinda e Recife.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, A. L. de. Fotogrametria: uma introdução. In: PRATINI, E. F.; SILVA JUNIOR, E. E. de A. (Org). **Criação, representação e visualização digitais**. 1. Ed. Brasília: Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, 2012. P. 63-89.
- ANDOLFATO, S. H. D. **Sistema de automação de níveis digitais**. 2010. 109 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.
- ANDRADE, H. J. L. F. **Varredura a Laser Aplicada na Reconstrução 3D de Bens Materiais do Patrimônio Histórico de Igarassu e Olinda**. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.133: Normas Técnicas para a Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994.
- CARRAZZONI, M. E. **Guia dos Bens Tombados**. Rio de Janeiro: Expressão e Cultura, 1980.
- COLOMINA, I.; MOLINA, P. **Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, 79-97, 2014.
- DE FREITAS, S. R. C.; BLITZKOW, D. **Altitudes e Geopotencial**. IGeS Bulletin N.9 – International Geoid Service, Junho 1999, Milão, p. 47-62, 1999.
- DE FREITAS, S. R. C. **Sistemas Geodésicos de Referência e Bases Cartográficas: Parte I - Aspectos Introdutórios**. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Palestra apresentada como atividade do Projeto PADCT UFPE/UFPR, Recife, 16 a 19/03/2005.
- DEUMLICH, F. **Surveying Instruments**. Berlin: Walter de Gruyter, , 1982.
- FRASER, C. S. **Least-Squares & Network Analysis**. Class Notes – SET 7. University of Melbourne. Australia, 2003.
- GAMA, L. F.; SILVA, E. V; SEIXAS, A. de. **Análise da qualidade de uma rede altimétrica local**. Revista Brasileira de Geomática, v. 4, p. 129-139, 2016.

GAMA, L. F. **Experimentos e Análises Metodológicas do Desempenho de Estruturas Geodésicas Planimétricas Implantadas com GPS e Estação Total: Aplicações em Levantamentos Cadastrais Urbanos**. 221 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) da Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2008.

GAMA, L. F.; SEIXAS, A. de; MORAES, J. N.; SILVA, E. V.; GALVAO, T. B. **Controle de Qualidade de Levantamentos Cadastrais para a Homogeneização de Parcelas Territoriais Urbanas**. RBC. Revista Brasileira de Cartografia (Online), v. 67, p. 411-433, 2015.

GARNÉS, S. J. dos A. *AstGeoTop, Software*. Topografia: Nivelamento Geométrico, Recife, 2019.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Ed. UFPR, 1994.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. Editora: UFPR, 1999.

GEMAEL, C.; MACHADO, A. M. L.; WANDRESEN, R. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. 2ª. Ed. Curitiba: UFPR, 2015.

GHILANI, D. C.; WOLF, P. R. **Adjustment computations: statistics and least squares in surveying and GIS**. New York: John Wiley and Sons, 1996. 564 p.

GHILANI, C. D. **Adjustment Computations: Spatial Data Analysis**. 5th Edition. ASIN: B00478Z2GS, 2010.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Elementary surveying an introduction to Geomatics**. Thirteenth Edition. ed. Upper Saddle River. New Jersey: Prentice Hall, 2012.

GOMES, D. A. M.; SEIXAS, A. de. **Transporte de Altura na Direção da Linha de Prumo e Controle Vertical de Referência de Nível**. 2013. Congresso Nacional de Iniciação Científica, Recife – PE, Brasil.

GOMES, L. **Aplicações de Dados Geodésicos no Entorno das Edificações Prediais Históricas da Cidade de Olinda - PE**. Trabalho de Conclusão de Curso. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **A Resolução PR nº 01:** Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro. Rio de Janeiro, 2005.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Relatório de Estação Geodésica 394 D - Altitude Normal- Ortométrica, 2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **A Resolução PR nº 01:** Define a data de término do período de transição definido na RPR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil. Rio de Janeiro, 2015.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Relatório de Estação Geodésica 3640 L - Altitude Normal-Ortométrica, 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).Relatório de Estação Geodésica 394 D – Altitude Normal- Ortométrica, 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Relatório de Estação Geodésica 3640 L – Altitude Normal, 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Relatório de Estação Geodésica 394 D – Altitude Normal, 2018.

Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) - <http://www.ipatrimonio.org/?p=20346#!/map=38329&loc=-8.017453000000016,-34.849246999999999>,17

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 17123: Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments – Part 2: Levels. Geneva, 2001.14p.

KAHMEN, H. **Angewandete Geodaesie**. Vermessungskunde. 20. Aufl., 2006.

KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying**. Berlim: Editora: De Gruyter, 1988.

LUNA, R. R.; GARNÉS, S. J. A.; CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, S. M. **Groundwater overexploitation and soil subsidence monitoring on Recife plain (Brazil)**. Natural Hazards (Dordrecht), v. 1, p. 1-14, 2017.

LUZ, R. T.; BOSCH, W.; DE FREITAS, S. R. C.; HECK, B. **Topografia do nível médio do mar no litoral sul-sudeste brasileiro**. In: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2008, Recife. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2008.

MATEUS, L. M. C. **Contributos para o Projecto de Conservacao, Restauro e Reabilitação. Uma metodologia documental baseada na fotogrametria digital e no varrimento laser 3D terrestres**. 2012. 339 f. Tese (Doutorado em Arquitectura) –Faculdade de Arquitectura, Universidade Tecnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

MAULONI, J. A. **Determinação de variáveis dendrométricas a partir de fotografias terrestres em florestas urbanas**. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais) da Universidade Estadual do Centro-Oeste. Paraná, 2012.

MENDONÇA, F. J. B.; GARNÉS, S. J. dos A.; PEREIRA, C. M.; NETO, J. A. B. **Análise do ajustamento por Mínimos Quadrados de uma Trilateração Topográfica com Injunções nos Planos UTM e Topocêntrico**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010.

MIKHAIL, E. M.; GRACIE, G. *Analysis and Adjustment of Survey Measurements*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1981. p.393-397.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000.

MONICO, J. F. G.; SILVA, E. F. **Controle de Qualidade em Levantamentos no Contexto da Lei nº 10.267 de 28 de agosto de 2001**. In: Série em Ciências Geodésicas. Vol.3 Curitiba:Ed. Edson Aparecido Mitishita.2003.

SANTANA NETO, J. P. ; SEIXAS, A. de . **Metodologia para densificação e ajustamento de estruturas geodésicas em áreas urbanas: método da poligonação e método de nivelamento geométrico de alta precisão**. In: IV Simpósio Brasileiro de Geomática, SBG,2017 Presidente Prudente - SP, 24-26 de julho de 2017. II Jornadas Lusófonas - Ciências e Tecnologia de Informação Geográfica, CTIG, 2017.

SANTANA NETO, J. P. **Densificação de Estruturas Geodésicas e Transporte de Coordenadas Definidas por Métodos Planialtimétricos de Medição**, 2015. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2015.

SANTANA NETO, J. P. **Metodologia para a densificação e análise de estruturas geodésicas planialtimétricas**. 2018. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação). Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2018.

SANTOS, M. C. dos. Estabilidade das Estruturas Geodésicas. UFPR/ setor de Ciências da Terra. Curitiba. 1999. 79p.

SANTOS, W. J. **A Contribuição da Topografia e da Geodésia no Estudo de Terrenos Inclinados e Áreas de Risco**. Trabalho de Conclusão de Curso. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2017.

SEIXAS, A. de; GAMA, L. F.; NEVES, J.; SOUZA, A. M. B. **O estabelecimento de padrões de referência altimétrica utilizando o nivelamento geométrico para a definição de alvos altos e inacessíveis**. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 20, n. 2, p. 388-410, Junho 2014.

SEIXAS, A. de; PACHECO, A. P.; VEIGA, L. A. K.; SANTOS, D. P.; FAGGION, P. L. **Uma abordagem geodésica de técnicas ópticas de medição tridimensional para determinação e transporte de alturas em áreas de risco**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 13, p. 165-185, 2007.

SILVA, E. V.; SEIXAS, A. de. **O estabelecimento de padrões de referência metrológica: controle e análise da qualidade de estruturas geodésicas altimétricas implantadas no campus Recife da UFPE**. RBC. REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA (ONLINE), v. 69, p. 1807-1832, 2017.

SILVA, I. da.; SEGANTINE, P. C. L. **Topografia para Engenharia: Teoria e Prática de Geomática**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2015.

SOUZA, A. M. B. **Análise e comparação de estruturas geodésicas tridimensionais definidas por métodos planialtimétricas de medição**. 2012. 223 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2012.

TENÓRIO, B. C.; SEIXAS, A. de. **Reconstrução tridimensional da superfície topográfica e obras arquitetônicas no Sítio Histórico de Olinda**. In: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação (SIMGEO), 2008, Recife-PE.

TORGE, W. **Geodesy**, 1. Ed., Berlin: de Gruyter Lehrbuch. 2001.

VEIGA, L. A. K. **Homogeinização de dados provenientes de diferentes níveis digitais.** In: Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática. São Paulo, 2002.

APÊNDICE A - MEMORIAIS DESCRITIVOS DAS RRNN IMPLANTADAS

Referência de Nível – RN PRCP	
Descrição: Pino metálico materializado entre o meio fio e a lajota ao lado da parada de ônibus localizado na Av. Gov. Agamenon Magalhães e ao lado da Praça Parque Amorim, em frente a Igreja Batista da Capunga.	 Foto: Data: 09/11/2019.
Coordenadas Geodésicas Aproximadas SIRGAS 2000: Latitude: 8.05213441° S Longitude: 34.89517095° W Altitude (h): -5.80m Coordenadas UTM SIRGAS 2000: E = 291.143,480m; N = 9.109.454,629m; Fuso (25S); Datum WGS 84. Software: Mobile Topographer para Android; Celular: Smartphone moto g(7) power.	 Foto: Data: 09/11/2019.

Referência de Nível – RN PRJB

Descrição: Pino metálico materializado na Praça, localizado embaixo do viaduto da Av. Agamenon Magalhães cruzando a Av. João de Barros.



Foto: Data: 09/11/2019.

Coordenadas Geodésicas Aproximadas SIRGAS 2000:

Latitude: 8.04534792° S

Longitude: 34.88971602° W

Altitude (h): 0.83m

Coordenadas UTM SIRGAS 2000:

E = 291.741,381m; N = 9.110.208,067m;

Fuso (25S); Datum WGS 84.

Software: Mobile Topographer para Android; Celular: Smartphone moto g(7) power.



Data: 09/11/2019.

Referência de Nível – RN PRSA	
Descrição: Pino metálico materializado na Praça localizado em um canteiro entre duas praças na Av. Gov. Agamenon Magalhães no sentido Recife – Olinda nas proximidades da Igreja de Jesus Cristo dos Santos dos Últimos Dias.	 Foto: Data: 09/11/2019.
Coordenadas Geodésicas Aproximadas SIRGAS 2000: Latitude: 8.04189568° S Longitude: 34.88232466° W Altitude (h): -1.55m Coordenadas UTM SIRGAS 2000: E = 292.554,484m; N = 9.110.593,673m; Fuso (25S); Datum WGS 84. Software: Mobile Topographer para Android; Celular: Smartphone moto g(7) power.	 Foto: Data: 09/11/2019.

Referência de Nível – RN PTAC	
Descrição: Pino metálico materializado no meio fio próximo a entrada do Shopping Tacaruna pela Av. Gov. Agamenon Magalhães na subida do viaduto Eng. Roberto Pereira de Carvalho.	 Foto: Data: 09/11/2019.
Coordenadas Geodésicas Aproximadas SIRGAS 2000: Latitude: 8.03707993° S Longitude: 34.87232475° W Altitude (h): 1.35m Coordenadas UTM SIRGAS 2000: E = 293.654,490m; N = 9.111.131,393m; Fuso (25S); Datum WGS 84. Software: Mobile Topographer para Android; Celular: Smartphone moto g(7) power.	 Foto: Data: 09/11/2019.

Referência de Nível – RN PMAR	
Descrição: Pino metálico materializado no meio fio próximo a última guarita da Escola de Aprendizes Marinheiros, situado na Av. Olinda.	 Foto: Data: 09/11/2019.
Coordenadas Geodésicas Aproximadas SIRGAS 2000: Latitude: 8.03349886° S Longitude: 34.86691690° W Altitude (h): 7.68m Coordenadas UTM SIRGAS 2000: E = 294.248,879m; N = 9.111.530,210m; Fuso (25S); Datum WGS 84. Software: Mobile Topographer para Android; Celular: Smartphone moto g(7) power.	 Foto: Data: 09/11/2019.

Referência de Nível – RN PTBE	
Descrição: Pino metálico materializado entre a calçada e o final da ponte que corta o Rio Beberibe sentido o município de Olinda-PE, localizado na Av. Olinda.	 Foto: Data: 09/11/2019.
Coordenadas Geodésicas Aproximadas SIRGAS 2000: Latitude: 8.02559547° S Longitude: 34.86118797° W Altitude (h): -1.09m Coordenadas UTM SIRGAS 2000: E = 294.876,506m; N = 9.112.407,262m; Fuso (25S); Datum WGS 84. Software: Mobile Topographer para Android; Celular: Smartphone moto g(7) power.	 Foto: Data: 09/11/2019.

ANEXO A- RELATÓRIO DE ESTAÇÃO GEODÉSICA 3640L



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	3640L	Nome da Estação :	3640L	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	RECIFE			UF :	PE
Última Visita:	25/03/2009	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8131563				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08 ° 03 ' 25 " S	Altitude Normal(m)	4,8933	Gravidade(mGal)	978.160,20
Longitude	34 ° 54 ' 03 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,089	Data Medição	25/03/2009
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	03/11/2005		
Data Medição	25/03/2009	Data Cálculo	30/07/2018		
Data Cálculo		Número Geopotencial (m ² /s ²)	47,863		
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.108.920				
UTM(E)	290.522				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - Relatório em : ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_altimetrica/relatorio/relatorio_REALT_2018.pdf
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em : ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planialtimetrica/relatorio/rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em : <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitaes-de-superficie/modelos-digitaes-de-superficie/10855-modelo-de-onduacao-geoidal.html>
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em : ftp://geofp.ibge.gov.br/melodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

Localização

No canto da parede, 1m a Oeste da placa de bronze em comemoração aos 70 anos da inauguração do Comando Geral da Polícia Militar de Pernambuco, Quartel do Derby.

Chapa padrão IBGE.

Descrição

Observação

Informantes: Major Cleinio e Capitão Marcio de Alcantara Rosendo. Tel.: (81) 3412- 1177. RN 3640 L = EG 8131563.

Foto(s)



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :
Fale conosco: 0800 218181 Email: ibge@ibge.gov.br

ANEXO B- RELATÓRIO DE ESTAÇÃO GEODÉSICA 3640L



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	3640L	Nome da Estação :	3640L	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	RECIFE			UF :	PE
Última Visita :	25/03/2009	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8131563				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08° 03' 25" S	Altitude Ortométrica(m)	4,6431	Gravidade(mGal)	978.160,20
Longitude	34° 54' 03" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,09	Data Medição	25/03/2009
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	16/11/2004		
Data Medição	25/03/2009	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.108.920				
UTM(E)	290.522				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtml
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

Localização

No canto da parede, 1m a Oeste da placa de bronze em comemoração aos 70 anos da inauguração do Comando Geral da Polícia Militar de Pernambuco, Quartel do Derby.

Descrição

Chapa padrão IBGE.

Observação

Informantes: Major Cleinio e Capitão Marcio de Alcantara Rosendo. Tel.: (81) 3412- 1177. RN 3640 L = EG 8131563.

Foto(s)



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :
Fale conosco: 0800 216181 Email: ibge@ibge.gov.br

ANEXO C- RELATÓRIO DE ESTAÇÃO GEODÉSICA 3640J



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	3640J	Nome da Estação :	3640J	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	RECIFE				
Última Visita :	25/03/2009	Situação Marco Principal :	Bom	UF :	PE
Conexões :	EG : 8131562				

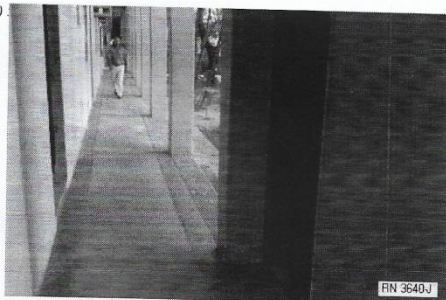
DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08° 03' 29" S	Altitude Normal(m)	3,6462	Gravidade(mGal)	978.160,48
Longitude	34° 53' 19" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,089	Data Medição	25/03/2009
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	03/11/2005		
Data Medição	25/03/2009	Data Cálculo	30/07/2018		
Data Cálculo		Número Geopotencial (m ² /s ²)	35,665		
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.108.803				
UTM(E)	291.870				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - Relatório em : ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_altimetrica/relatorio_REALT_2018.pdf
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em : ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planialtimetrica/relatorio_rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em : <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html>
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em : ftp://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

Localização
Junto a porta da copa dos vigilantes, 2m ao Sul da porta de entrada do DSG e do Posto Médico, 30m a Oeste do portão de entrada da Empresa de Urbanização do Recife (Urb), na Av. Oliveira Lima, nº 867, no Bairro da Boa Vista.

Chapa padrão IBGE.	Descrição
Observação	
Informante: Agrício Francisco da Silva Junior (chefe de divisão de serviços). Tel.: (81) 3421-5077 Fax.: (81) 3421-8358. RN 3640 J = EG 8131562.	

Foto(s)



ANEXO D- RELATÓRIO DE ESTAÇÃO GEODÉSICA 3640J



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	3640J	Nome da Estação :	3640J	Tipo :	Referência de Nivel - RN
Município :	RECIFE			UF :	PE
Última Visita:	25/03/2009	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8131562				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08° 03' 29" S	Altitude Ortométrica(m)	3,4000	Gravidade(mGal)	978.160,48
Longitude	34° 53' 19" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,09	Data Medição	25/03/2009
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	16/11/2004		
Data Medição	25/03/2009	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.108.803				
UTM(E)	291.870				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

Localização
Junto a porta da copa dos vigilantes, 2m ao Sul da porta de entrada do DSG e do Posto Médico, 30m a Oeste do portão de entrada da Empresa de Urbanização do Recife (Urb), na Av. Oliveira Lima, nº 867, no Bairro da Boa Vista.

Descrição
Chapa padrão IBGE.

Observação
Informante: Agrício Francisco da Silva Junior (chefe de divisão de serviços). Tel.: (81) 3421-5077 Fax.: (81) 3421-8358. RN 3640 J = EG 8131562.



ANEXO E – RELATÓRIO DE ESTAÇÃO GEODÉSICA 394D



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	394D	Nome da Estação :	394D	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	OLINDA				
Última Visita:	21/04/2007	Situação Marco Principal :	Bom	UF :	PE
Conexões :	EG : 8094926				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08 ° 01 ' 00 " S	Altitude Normal(m)	16,1590	Gravidade(mGal)	978.162,72
Longitude	34 ° 51 ' 04 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)		(#)	21/04/2007
Origem		Datum	Imbituba	Data Medição	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	13/08/1958	Data Cálculo	
Data Medição	17/04/2006	Data Cálculo	30/07/2018		
Data Cálculo		Número Geopotencial (m ² /s ²)	158,056		
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.113.400				
UTM(E)	295.983				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - Relatório em : ftp://geotfp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_altimetrica/relatorio_REALT_2018.pdf
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em : ftp://geotfp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planialtimetrica/relatorio_rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em : <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html>
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em : ftp://geotfp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

Localização
Chapa cravada no lado direito da porta principal de quem sai da Igreja de São Pedro, matriz da cidade de Olinda.
Descrição
Chapa padrão IBGE.

(#) Nota :

A Referência de Nível (RN) 394D pertence a um ramal, isto é, uma linha de nivelamento geométrico que não forma circuito, cujos desníveis, portanto, não podem ser ajustados. Consequentemente, as respectivas altitudes são calculadas mediante simples transporte, sem as estimativas de desvio-padrão.

Foto(s)



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :
Fale conosco: 0800 216181 Email: ibge@ibge.gov.br

ANEXO F- RELATÓRIO DE ESTAÇÃO GEODÉSICA 394D



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	394D	Nome da Estação :	394D	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	OLINDA				UF : PE
Última Visita :	21/04/2007	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8094926				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08 ° 01 ' 00 " S	Altitude Ortométrica(m)	15,9082	Gravidade(mGal)	978.162,72
Longitude	34 ° 51 ' 04 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	(#)	Data Medição	21/04/2007
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	13/08/1958		
Data Medição	17/04/2006	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.113.400				
UTM(E)	295.983				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 05/03/2006 - Relatório em ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtml
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

Chapa cravada no lado direito da porta principal de quem sai da Igreja de São Pedro, matriz da cidade de Olinda.	Localização
Chapa padrão IBGE.	Descrição

(#) Nota :
A Referência de Nível (RN) 394D pertence a um ramal, isto é, uma linha de nivelamento geométrico que não forma circuito, cujos desníveis, portanto, não podem ser ajustados. Consequentemente, as respectivas altitudes são calculadas mediante simples transporte, sem as estimativas de desvio-padrão.



Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo :
Fale conosco: 0800 218181 Email: ibge@ibge.gov.br

ANEXO G - RELATÓRIO DO AJUSTAMENTO DO NIVELAMENTO E DO CONTRANIVELAMENTO DO TRECHO ENTRE AS REFERÊNCIAS DE NÍVEL: RN3640L E RNPRCP, através do *software* AstGeoTop.

ESTAÇÃO	COTA NIV(m)	COTA CNIV(m)	MEDIA(m)	Precisão(mm)
RN3640L	4,89330	4,89330	4,89330	0,00
RNPRCP	1,92981	1,92996	1,92988	0,07

Desnível entre RN3640L e RNPRCP = -2,96342 m
 Erro de fechamento = -0,00015 m => -0,15000 mm
 Comprimento do circuito = 938,92 m
 Precisão = 0,077 mm/km

Gráfico do trecho referente ao nivelamento entre a RN3640L e RNPRCP:

Figura 43 - AstGeoTop (2019).

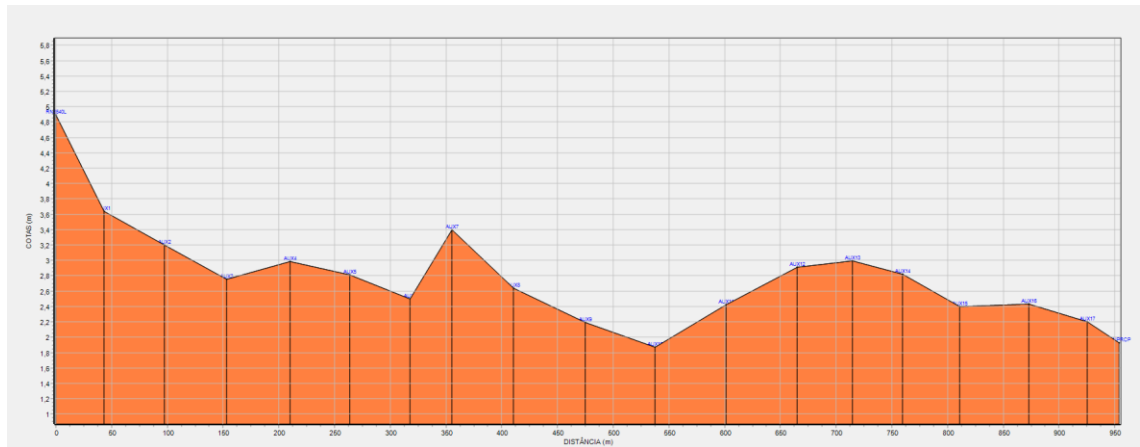
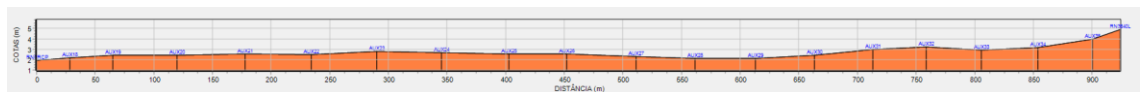


Gráfico do trecho referente ao contranivelamento entre RNPRCP e RN3640L:

Figura 44 - AstGeoTop (2019).



ANEXO H - RELATÓRIO DO AJUSTAMENTO DO NIVELAMENTO E DO CONTRANIVELAMENTO DO TRECHO ENTRE AS REFERÊNCIAS DE NÍVEL: RNPRCP e RNPRJB, através do *software* AstGeoTop.

AJUSTAMENTO COM VALORES MÉDIOS DOS PONTOS COMUNS				
ESTAÇÃO	COTA NIV(m)	COTA CNIV(m)	MEDIA(m)	Precisão(mm)
RNPRCP	1,92984	1,92984	1,92984	0,00
RNPRJB	2,92793	2,92840	2,92816	0,23

Desnível entre RNPRCP e RNPRJB = 0,99832 m
 Erro de fechamento = -0,00047 m => -0,47000 mm
 Comprimento do circuito = 961,70 m
 Precisão = 0,240 mm/km

Gráfico do trecho referente ao nivelamento entre a RNPRCP e RNPRJB:

Figura 45 - AstGeoTop (2019).

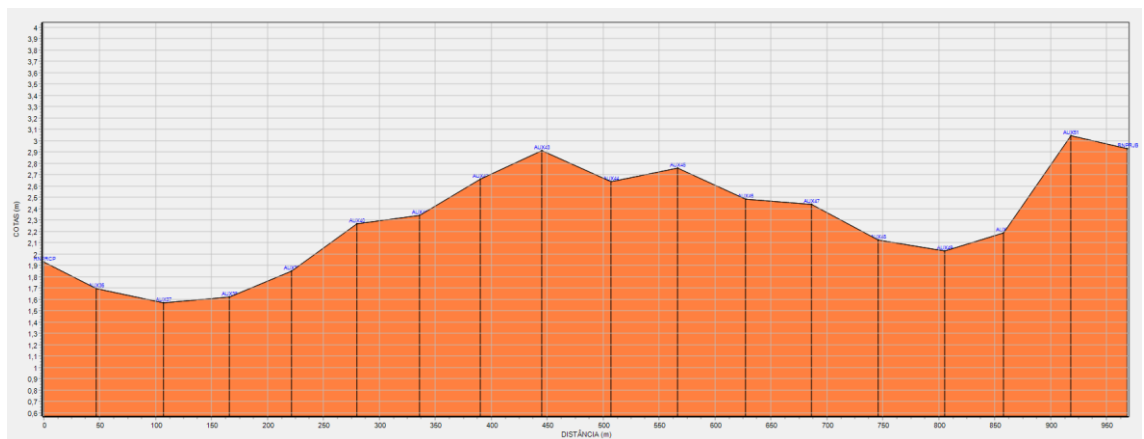


Gráfico do trecho referente ao contranivelamento entre RNPRJB e RNPRCP:

Figura 46 - AstGeoTop (2019).



ANEXO I - Relatório do ajustamento do Nivelamento e do Contranivelamento do trecho entre as Referências de Nível: RNPRJB e RNPRSA, através do *software* AstGeoTop.

AJUSTAMENTO COM VALORES MÉDIOS DOS	PONTOS COMUNS			
ESTAÇÃO	COTA NIV(m)	COTA CNIV(m)	MEDIA(m)	Precisão(mm)
RNPRJB	2,67775	2,67775	2,67775	0,00
RNPRSA	2,48683	2,48507	2,48595	0,88

Desnível entre RNPRJB e RNPRSA = -0,19180 m
 Erro de fechamento = 0,00176 m => 1,76000 mm
 Comprimento do circuito = 899,32 m
 Precisão = 0,928 mm/km

Gráfico do trecho referente ao nivelamento entre a RNPRJB e RNPRSA:

Figura 47 - AstGeoTop (2019).

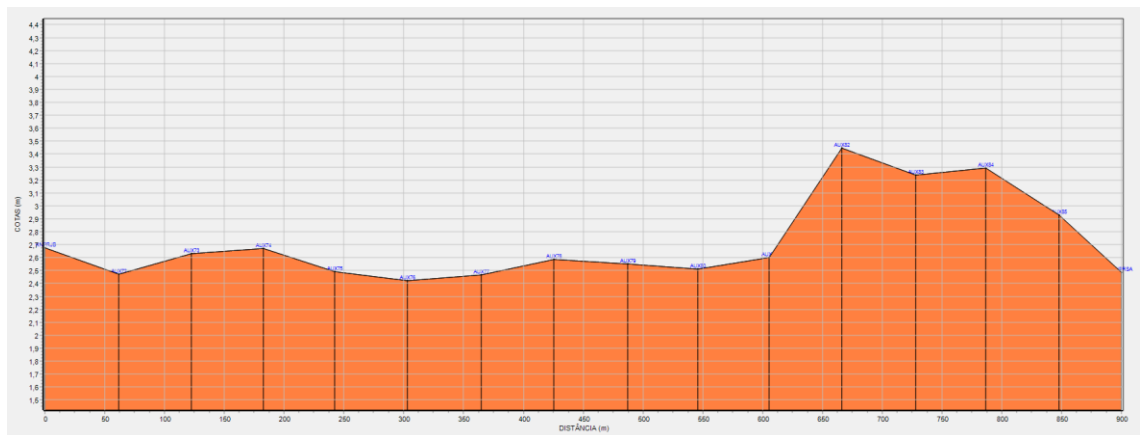
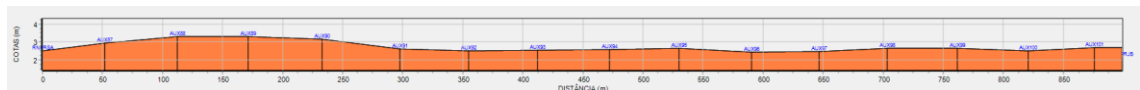


Gráfico do trecho referente ao contranivelamento entre RNPRSA e RNPRJB:

Figura 48 - AstGeoTop (2019).



ANEXO J - RELATÓRIO DO AJUSTAMENTO DO NIVELAMENTO E DO CONTRANIVELAMENTO DO TRECHO ENTRE AS REFERÊNCIAS DE NÍVEL: RNPRSA e RNPTAC, através do *software* AstGeoTop.

ESTAÇÃO	COTA NIV(m)	PONTOS COMUNS COTA CNIV(m)	MEDIA(m)	Precisão(mm)
RNPRSA	2,48683	2,48683	2,48683	0,00
RNPTAC	2,95310	2,94995	2,95153	1,58

Desnível entre RNPRSA e RNPTAC = 0,46469 m
 Erro de fechamento = 0,00315 m => 3,14700 mm
 Comprimento do circuito = 1236,40 m
 Precisão = 1,415 mm/km

Gráfico do trecho referente ao nivelamento entre a RNPRSA e RNPTAC:

Figura 49 - AstGeoTop (2019).

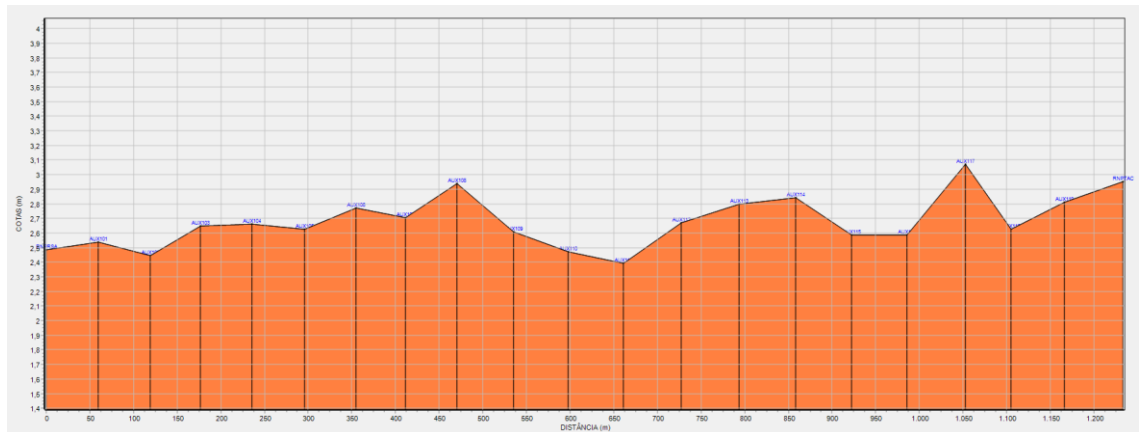
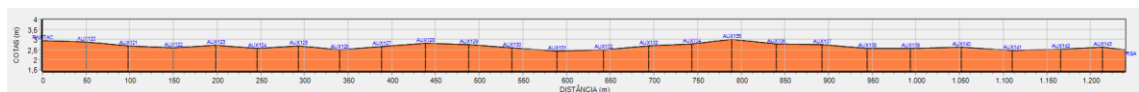


Gráfico do trecho referente ao contranivelamento entre RNPTAC e RNPRSA:

Figura 50 - AstGeoTop (2019).



ANEXO K - RELATÓRIO DO AJUSTAMENTO DO NIVELAMENTO E DO CONTRANIVELAMENTO DO TRECHO ENTRE AS REFERÊNCIAS DE NÍVEL: RNPTAC e RNPTBE, através do *software* AstGeoTop.

Desnível entre RNPTAC e RNPTBE = 1,03047 m
 Erro de fechamento = -0,00025 m $\Rightarrow$ -0,25000 mm
 Comprimento do circuito = 1936,56 m
 Precisão = 0,090 mm/km

Gráfico do trecho referente ao nivelamento entre a RNPTAC e RNPTBE:

Figura 51 - AstGeoTop (2019).

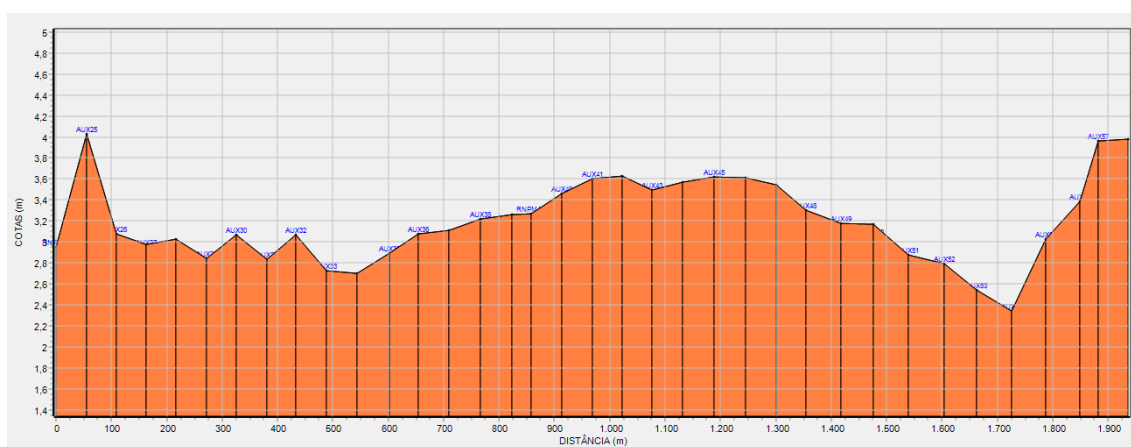


Gráfico do trecho referente ao contranivelamento entre RNPTBE e RNPTAC:

Figura 52 - AstGeoTop (2019).

