

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA**

MONOGRAFIA

**APLICAÇÕES DE DADOS GEODÉSICOS NO ENTORNO DAS EDIFICAÇÕES
PREDIAIS HISTÓRICAS DA CIDADE DE OLINDA – PE**

JOSÉ LEONARDO GOMES

Orientadora: Prof^ª. Dr. Techn. Andréa de Seixas

Recife, PE

2017

JOSÉ LEONARDO GOMES

**APLICAÇÕES DE DADOS GEODÉSICOS NO ENTORNO DAS EDIFICAÇÕES
PREDIAIS HISTÓRICAS DA CIDADE DE OLINDA – PE**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro Cartógrafo, defendida no Departamento de Engenharia Cartográfica, no dia 1 de fevereiro de 2017.

Orientadora: Prof^a. Dr. Techn. Andréa de Seixas

Recife, PE

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicêa Alves, CRB-4 / 1260

G633 Gomes, José Leonardo.
Aplicações de dados geodésicos no entorno das edificações prediais históricas da cidade de Olinda – PE/ José Leonardo Gomes - 2017.
80 folhas, Il.; Tab.; Abr. e Sigl.

Orientadora: Prof^a. Dr.^a Techn. Andréa de Seixas.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Cartográfica, 2017.

Inclui Referências, Anexos e Apêndices.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Dados Geodésicos. 3. Nivelamento Geométrico de Alta Precisão. 4. Nivelamento Trigonométrico. 5. Aplicativos Computacionais. 6. Banco de Dados. I. Seixas, Andréa de (Orientadora). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-55

JOSÉ LEONARDO GOMES

**APLICAÇÕES DE DADOS GEODÉSICOS NO ENTORNO DAS EDIFICAÇÕES
PREDIAIS HISTÓRICAS DA CIDADE DE OLINDA – PE**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro Cartógrafo, defendida no Departamento de Engenharia Cartográfica, no dia 1 de fevereiro de 2017.

Banca Examinadora

Orientadora: Prof^ª. Dr. Techn. Andréa de Seixas

Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés

Prof. Dr. Francisco Jaime Bezerra de Mendonça

Apresentado em ___/___/2017
Conceito: _____

Recife, PE

2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, Profa. Dra. Andrea de Seixas, por todo apoio e orientação dada, e sem a qual este trabalho não seria possível

A minha esposa Tatiane Santana Silva, o amor da minha vida, e todos da minha família.

Ao Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés pela disponibilização do *software* AstGeoTop utilizado neste trabalho, e auxílio fornecido em aula.

Agradeço ao Professor Jaime Mendonça pelas sugestões e críticas ao trabalho final.

À equipe de campo, estudantes do curso de Engenharia Cartográfica, meus agradecimentos aos queridos colegas: Paulo Santana, Júlio César, Daladiane Matos, Luíz Canto, Márcio Bezerra, Maria Luciana, Marcelo Nogueira, Álvaro Alves, Welison Santos, Alexandre Xavier e o Tecnólogo Ermerson Vasconcelos pelo valoroso auxílio em campo.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Ao Departamento de Engenharia Cartográfica (DeCart).

Ao Laboratório de Geodésia (LAGEO).

Ao Laboratório de Topografia (LATOP).

Ao Projeto PQ Multiusuário edital 2014 Propesq/UFPE

Ao Projeto LITPEG/CTG/UFPE Propesq/UFPE processo N° 3076.040512/2015-15.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Professora Dr.^a Andrea de Seixas, por todo apoio estrutural e emocional dedicado à minha pessoa. Sua paciência, atenção e generosidade que tanto me impulsionou na conclusão deste trabalho.

A minha amada esposa que tanto me motiva e me dá as razões para ser feliz. A toda minha família que sempre contribuíram para o bem da minha vida.

EPÍGRAFE

“Existem muitas hipóteses na ciência que são erradas. Isso é perfeitamente correto; elas são a abertura para descobrir o que é certo. A ciência é um processo autocorretivo. Para serem aceitas, novas ideias devem sobreviver aos mais rigorosos padrões de evidência e escrutínio.”

Autor: Carl Sagan

RESUMO

O presente trabalho apresenta o resultado de dois levantamentos realizados no município de Olinda – PE. A partir do Nivelamento Geométrico de Alta Precisão e do Nivelamento Trigonométrico por Poligonação e Irradiação. Desta forma, foram implantadas 5 novas RRNN relacionadas com as Edificações Históricas, mais precisamente com as Igrejas: RNSF – Referência de Nível Igreja de São Francisco, RNSE – Referência de Nível Igreja Catedral da Sé, RNNSM – Referência de Nível Igreja Nossa Senhora da Misericórdia, RNNSA – Igreja de Nossa Senhora do Amparo e RNCOSPLAN – Igreja de Nossa Senhora do Amparo, que são tombadas pelo patrimônio (IPHAN). Também, no processo de medição foram utilizadas RRNN já existentes, implantadas em campanhas passadas, continuando neste trabalho com a implantação de novas estruturas.

O processo de implantação e ajustamento seguiu as normas técnicas estabelecidas nas NBR 13133/1994, na Resolução – PR nº22, de 21/07/83 do IBGE. Durante o processamento dos dados foram desenvolvidos Aplicativos Computacionais para a execução dos cálculos dos dados brutos coletados em campo, pelo método do nivelamento geométrico, poligonação, irradiação e método do nivelamento trigonométrico, sendo que, desenvolvidos nos *softwares* Octave e Excel. Também são utilizados os *softwares* AstGeoTop (2016), para comparar os resultados obtidos nos aplicativos desenvolvidos, além de gerar o perfil topográfico do caminhamento realizado pelo método do nivelamento geométrico, o Google Earth que foi utilizado como ferramenta de visualização da poligonal, dos pontos irradiados e do percurso em campo, e o *software* ArcGis para a criação e gerenciamento de um Banco de Dados contendo os Dados Geodésicos processados.

PALAVRAS CHAVE:

Dados Geodésicos, Nivelamento Geométrico de Alta Precisão, Nivelamento Trigonométrico, Aplicativos Computacionais, Banco de Dados.

ABSTRACT

The present study presents the results of two surveys carried out in the city of Olinda - PE. From the Geometric Leveling of High Precision and the Trigonometric Leveling, tranverse and Irradiation. In this way, 5 new NRNNs related to Historic Buildings were implanted, more precisely with the Churches: RNSF – Referência de Nível Igreja de São Francisco, RNSE – Referência de Nível Igreja Catedral da Sé, RNNSM – Referência de Nível Igreja Nossa Senhora da Misericórdia, RNNSA – Igreja de Nossa Senhora do Amparo e RNCOSPLAN – Igreja de Nossa Senhora do Amparo, which are listed by patrimony (IPHAN). Also, in the measurement process, existing NRNNs were used, implemented in past campaigns, continuing in this work with the implantation of new structures.

The implementation and adjustment process followed the technical standards established in NBR 13133/1994, in Resolution - PR No. 22 of July 21, 1983 of the IBGE. During the data processing, computational applications were developed to perform the calculations of the raw data collected in the field, using the method of geometric leveling, polygonization, irradiation and trigonometric leveling method, being developed in Octave and Excel software. The software AstGeoTop (2016) is also used to compare the results obtained in the applications developed, besides generating the topographic profile of the trip made by the method of geometric leveling, Google Earth that was used as a tool to visualize the traverse, irradiated points And the ArcGIS software for the creation and management of a Database containing the processed Geodetic Data.

KEYWORDS:

Geodetic Data, Geometric Leveling of High Precision, Trigonometric Leveling, Computational Computations, Database.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1: Referência de Nível da Igreja de São Francisco - RNSF– Olinda-PE. Foto: 19/10/15
- Figura 3.2: Método do Nivelamento Trigonométrico. Fonte: (adaptado. Nadal, 2000).
- Figura 3.3: Processo de caminhamento por visadas unilaterais. Fonte: Fonte: (ESPARTEL, 1987)
- Figura 3.4: Poligonal Fechada.
- Figura 3.5: Representação cartesiana de um alinhamento. Fonte: ERBA et al. (2005)
- Figura 3.6: Layout do software Octave 4.0.2
- Figura 3.7: Planilha de dados da Caderneta de campo para o cálculo da poligonal e do nivelamento trigonométrico – exemplo vértice BVM: Alinhamento RÉ BVM-MR e alinhamento VANTE-BVM-328. Fonte Excel 2013.
- Figura 3.8: Planilha de dados da Caderneta de campo para o cálculo da poligonal, do nivelamento trigonométrico e das irradiações 3D – exemplo vértice BVM: Alinhamento RÉ BVM-MR e alinhamento VANTE-BVM-328 e alinhamento irradiado BVM-RNMR. Fonte Excel 2013.
- Figura 3.9: Planilha dos dados da caderneta de campo para o cálculo do nivelamento geométrico – exemplo lance E: visada RÉ E1-RNNSC e visada VANTE E1-AUX1. Fonte: Excel 3013.
- Figura 3.10: Processo de entrada de dados para o módulo Nivelamento Geométrico. Fonte: AstGeoTop. Versão: 2014.04.29
- Figura 3.11: Processo de entrada dos dados para o levantamento planialtimétrico (poligonação, irradiação e nivelamento trigonométrico). Fonte: AstGeoTop. Versão: 2013.08.25
- Figura 3.12: Layout ArcMap. Versão: 10.1
- Figura 4.1: Vista Aérea do Sítio Histórico de Olinda – PE. Fonte: Google Earth (2016).
- Figura 4.2: Nível Digital DNA 03 e mira de invár – Rua Ladeira de São Francisco – Olinda-PE. Foto: 22/10/15.
- Figura 4.3: Operador equilibrando a mira de ínvar – Rua Bispo Coutinho. Foto: Data 22/10/15.
- Figura 4.4: Referência de Nível RNSF e fachada da Igreja de São Francisco. Foto: Data 22/10/15.
- Figura 4.5: Referência de Nível - RNSE e fachada da Igreja Catedral da Sé. Foto: Data 22/10/15.
- Figura 4.6: Referência de Nível – RNNSM e fachada da Igreja de Nossa senhora da Misericórdia. Foto: Data 23/10/15.
- Figura 4.7: Referência de Nível RNNSA e RNCOSPLAN e fachada da Igreja de Nossa senhora do Amparo. Foto: Data 23/10/15.
- Figura 4.8: Processo de medição por Nivelamento Geométrico.
- Figura 4.9: Procedimento de Montagem das equações de observação.
- Figura 4.10: Trecho da RNNSC até a RNSF. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20).
- Figura 4.11: Vista aérea do trecho RNNSC à RNSF: Fonte: Google Earth (2016).
- Figura 4.12: RNSF na calçada da Igreja de São Francisco– Olinda-PE. Foto: 19/10/15
- Figura 4.13: Trecho da RNNSC até a RNSE. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20).
- Figura 4.14: Vista aérea do trecho RNNSC à RNSE: Fonte: Google Earth (2016).
- Figura 4.15: RNSE na calçada da Rua Bispo Coutinho – Olinda-PE. Foto: 19/10/15
- Figura 4.16: Trecho da RNNSC até a RNNSM. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20).
- Figura 4.17: Vista aérea do trecho RNNSC à RNNSM: Fonte: Google Earth.
- Figura 4.18: RNNSM na calçada da Rua Bispo Coutinho – Olinda-PE. Foto: 23/10/15.
- Figura 4.19: Trecho da RNNSC até a RNNSA. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20).
- Figura 4.20: RNNSA na calçada da Rua Saldanha Marinho – Olinda-PE. Foto: 19/10/15.
- Figura 4.21: Trecho do vértice RNNSC até a RNCOSPLAN. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20).
- Figura 4.22: Vista aérea do trecho RNNSC à RNNSM: Fonte: Google Earth (2016).

- Figura 4.23: RNCOSPLAN, em frente à Igreja Nossa Senhora do Amparo. Foto: 23/10/15.
- Figura 4.24: Trecho da RNNSC até a RNPM. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20).
- Figura 4.25: Procedimento em campo para a primeira Estação. Fonte: Adaptada Nadal (2000).
- Figura 4.26: Bastão apoiado, calçada da Rua Bispo Coutinho – Olinda-PE. Foto: 27/11/2015.
- Figura 4.30: *layout* do módulo de planialtimetria. Fonte: AstGeoTop. Versão: 2013.08.25
- Figura 4.31: Processo de criação do Banco de Dados. Fonte ArcGis. Versão: 10.1
- Figura 4.27: Calçada da Rua Amparo – Olinda-PE. Foto: 27/11/2015.
- Figura 4.28: Haste de apoio implantada numa rua qualquer – Olinda-PE. Foto: 25/11/2015.
- Figura 4.28: Procedimento de leitura e cálculo a partir de um vértice desconhecido. Fonte Nadal (2000).
- Figura 4.29: Procedimento de leitura e cálculo a partir de um vértice conhecido. Fonte: Adaptada Nadal (2000).
- Figura 4.30: *layout* do módulo de planialtimetria. Fonte: AstGeoTop. Versão: 2013.08.25
- Figura 4.31: Processo de criação do Banco de Dados. Fonte ArcGis. Versão: 10.1
- Figura 4.32: Poligonal e irradiações em coordenadas UTM SIRGAS2000: Fonte: ArcMap 10.1.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 4.1: Valor da Altitude de partida. Fonte: SEIXAS et al. (2014).
- Tabela 4.2: Valor da Altitude de chegada. Fonte: SEIXAS et al. (2014).
- Tabela 4.3: Valores de referência para o Cálculo do Erro de Fechamento.
- Tabela 4.4: Percursos e desníveis entre trechos referentes às RRNN implantadas. Fonte: Octave (4.0.2).
- Tabela 4.5: Percursos e desníveis acumulados a partir da origem nas RRNN implantadas (RNNSC). Fonte: Octave (4.0.2)
- Tabela 4.6: Altitudes brutas das RRNN implantadas. Fonte: Octave (4.0.2).
- Tabela 4.7: Percursos e desníveis acumulados a partir da origem nas RRNN implantadas (RNNSC). Fonte: Octave (4.0.2).
- Tabela 4.8: Percursos e desnível entre trechos referentes às RRNN implantadas. Fonte: Octave (4.0.2).
- Tabela 4.9: Altitudes das RRNN ajustadas – Método Proporcional à distância. Fonte: Octave (4.0.2).
- Tabela 4.10: Trechos referentes as figuras do perfil topográfico. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20)
- Tabela 4.11: Altitudes brutas calculadas. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20)
- Tabela 4.12: diferença entre os cálculos do Octave e AstGeoTop das RRNN brutas
- Tabela 4.13: Datas e atividades
- Tabela 4.14: Ângulos internos, não ajustados. Fonte: Excel (2013)
- Tabela 4.15: Ângulos internos corrigidos. Fonte: Excel (2013)
- Tabela 4.16: Valores das coordenadas topocêntricas Locais SIRGAS2000 para as irradiações. Fonte: (SOUZA, 2012).
- Tabela 4.17: Azimutes dos alinhamentos da poligonal. Fonte: Excel (2013)
- Tabela 4.18: Distâncias e projeções parciais dos vértices. Fonte: Excel (2013)
- Tabela 4.19: Coordenadas topocêntricas locais dos vértices implantados. Sistema Geodésico de Referência SIRGAS2000. Fonte: Excel (2013)
- Tabela 4.20: Coordenadas Topocêntricas Locais e Altitudes calculadas das RRNN no Sistema Geodésico SIRGAS2000. Fonte: Excel (2013)
- Tabela 4.21: Coordenadas Topocêntricas Locais e Altitudes finais pelo método do nivelamento trigonométrico das RRNN no Sistema Geodésico SIRGAS2000. Fonte: Excel (2013)
- Tabela 4.22: Altitudes dos vértices da poligonal pelo método do nivelamento trigonométrico – Primeiro procedimento. Fonte: Excel.
- Tabela 4.23: Altitudes médias para as irradiações pelo método do nivelamento trigonométrico – Primeiro procedimento. Fonte: Excel 2013
- Tabela 4.24: Coordenadas Topocêntricas Locais e Altitudes, finais, das RRNN no Sistema geodésico SIRGAS2000. Fonte: Excel (2013)
- Tabela 4.25: Resultados obtidos para os vértices. Fonte: AstGeoTop Versão: 2013.08.25
- Tabela 4.26: Resultado dos cálculos das coordenadas parciais para os vértices no Sistema geodésico SIRGAS2000. Fonte: AstGeoTop Versão: 2013.08.25
- Tabela 4.27: Resultado dos cálculos das coordenadas totais locais para os vértices no Sistema geodésico SIRGAS2000. Fonte: AstGeoTop Versão: 2013.08.25
- Tabela 4.28: Resultado dos cálculos das coordenadas totais locais e altitudes para as Irradiações no Sistema geodésico SIRGAS2000. Fonte: AstGeoTop Versão: 2013.08.25

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

GIS - Geographic Information System
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
NRB 13133 – Norma Brasileira de Levantamentos Topográficos
RN – Referência de Nível
RRNN – Referências de Níveis
RNNSC – Referência de Nível Igreja Nossa Senhora do Carmo
RNSF – Referência de Nível Igreja de São Francisco
RNSE – Referência de Nível Igreja de Nossa Senhora da Sé
RNNSM – Referência de Nível Igreja de Nossa Senhora da Misericórdia
RNPM – Referência de Nível Prudente de Moraes
RNPO - Referência de Nível Prefeitura de Olinda
RNSP – Referência de Nível Igreja de São Pedro
RNMR – Referência de Nível Mercado da Ribeira
RNLM – Referência de Nível Ladeira da Misericórdia

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	i
DEDICATÓRIA.....	ii
EPÍGRAFE.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	ix
SUMÁRIO.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações Iniciais.....	1
1.2 justificativas.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo Geral.....	2
2.2 Objetivos Específicos.....	2
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
3.1 Dados Geodésicos.....	3
3.1.1 Aplicações em Edificações Prediais Históricas.....	3
3.2 Métodos de Levantamentos Altimétricos com Estação Total e Nível Digital.....	4
3.2.1 Método do Nivelamento Trigonométrico por Lances Curtos e Unilateral.....	4
3.2.2 Método do Nivelamento Geométrico de Alta Precisão.....	5
3.2.3 Método de Ajustamento Empírico ou Proporcional à Distância.....	5
3.2.4 Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) - Modelo Paramétrico.....	6
3.3 Métodos de Levantamentos Planialtimétricos.....	6
3.3.1 Método da Poligonação.....	6
3.3.2 Método da Irradiação.....	7
3.4 Visualização do Banco de Dados Geodésicos em um Ambiente SIG.....	7
3.5 Softwares Empregados e Aplicativos Computacionais Desenvolvidos.....	8
3.5.1 Octave.....	8
3.5.2 Excel.....	8
3.5.3 AstGeoTop.....	10
3.5.4 Google Earth.....	11
3.5.5 ArcGis.....	11
4. METODOLOGIA DE TRABALHO.....	13
4.1 Área de Estudo.....	13
4.2 Materiais.....	13
4.3 Métodos.....	14
4.3.1 Processo de Medição Altimétrica com Nível Digital: Medição, Processamento e Análise.....	14
4.3.1.1 Processo de instalação dos Pinos RRNN.....	16
4.3.1.2 Processo de Execução dos Cálculos do Nivelamento Geométrico.....	19
a) Critérios de aceitação dos Resultados do Nivelamento Geométrico.....	19

b)	Ajustamento da Rede de Nivelamento Geométrico.....	20
b.1)	Método Proporcional à Distância.....	20
b.2)	Método dos Mínimos Quadrados: Modelo Paramétrico.....	20
4.3.1.3	Processo de Execução dos Cálculos no Nivelamento Geométrico no <i>Software</i> Octave.....	23
4.3.1.4	Processo de Execução dos Cálculos no Nivelamento Geométrico no <i>Software</i> AstGeoTop.....	25
4.3.2	Processo de Medição Planialtimétrica com Estação Total: Medição, Processamento e Análise.....	32
4.3.2.1	Processo de Implantação das Hastes de Apoio.....	35
4.3.2.2	Processo de Execução dos Cálculos do Nivelamento Trigonométrico no <i>Software</i> Excel.....	35
a)	Critérios de Aceitação PD e PI.....	35
4.3.2.3	Processo de Execução dos Cálculos da Poligonação e Irradiação 3D no <i>Software</i> Excel.....	36
4.3.2.4	Processo de Execução dos Cálculos da Irradiação no <i>Software</i> Excel.....	41
a)	Processamento das Altitudes e dos Desníveis da Poligonal pelo Método do Nivelamento Trigonométrico para Visadas Curtas e Unilaterais.....	42
4.3.2.5	Processo de Execução dos Cálculos da Poligonação e Irradiação Planialtimétrica no <i>Software</i> AstGeoTop.....	47
4.3.3	Processo de criação do Banco de Dados no <i>Software</i> ArcGis Desktop <i>free</i> <i>trial</i>	51
4.3.4	Descrição dos Dados Geodésicos no entorno das edificações prediais históricas.....	52
4.4	Dificuldades nos Levantamentos e nos Cálculos.....	55
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	57
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
	ANEXOS.....	60
	APÊNDICES.....	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Com o ritmo do desenvolvimento urbano e o crescimento constate da população, prédios e monumentos antigos são geralmente ameaçados por eventos de mudanças sociais e temporais. Mesmo o município de Olinda-PE, que foi considerado patrimônio histórico e cultural da humanidade pela Unesco, em 1982, possuindo assim proteção Legal sobre suas edificações antigas e o reconhecimento mundial. Entretanto, isso não impede que sua riqueza arquitetônica entre em desuso ou decadência. Olinda, por ser uma cidade histórica, o fluxo de turistas é intenso e sem os devidos cuidados, implicaria, em primeiro momento, que a qualidade e as riquezas dessas edificações históricas possam ficar bastante degradadas.

1.2 Justificativas

Neste sentido e no contexto de aplicações de Dados Geodésicos no entorno das edificações prediais históricas, a implantação de Referências de Nível (RRNN) de alta precisão, e vértices topográficos e geodésicos planialtimétricos relacionados com as edificações históricas, possui um caráter amplo e diversificado em toda e qualquer tipo de obra que possa vir acontecer.

Além disso, é comum, para o grande público, não dar o devido valor a um marco geodésico, que em muitos casos são arrancados intencionalmente ou removidos acidentalmente.

Com a implantação e a descrição dos dados geodésicos, os produtos e serviços a disposição do público, podem favorecer de diversas formas, como exemplo, citam-se:

- Favorecer ao sistema e aos serviços básicos do município;
- Favorecer a tomada de decisões para a construção civil;
- Favorecer ao Cadastro Técnico municipal;
- Favorecer aos serviços de água, gás e esgoto;
- Favorecer ao Turismo.

2 OBJETIVOS

2.2 Objetivo Geral

Elaborar uma infraestrutura espacial de dados geodésicos padronizada no Sítio Histórico do município de Olinda-PE.

2.3 Objetivos Específicos

- Desenvolver aplicativos nos *softwares* Octave e Excel para cálculo de dados de nivelamento geométrico, poligonação, nivelamento trigonométrico e irradiação.
- Levantar, calcular e analisar o transporte de altitude pelo método do nivelamento trigonométrico de visadas curtas.
- Levantar, calcular e reanalisar o transporte de altitude pelo método de nivelamento geométrico de alta precisão.
- Criar um Banco de Dados Geodésicos e visualizar em um ambiente SIG.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Dados Geodésicos

Segundo o IBGE (2017), o banco de dados geodésicos reúne informações de estações de referência, com os seus respectivos valores de coordenadas e dados auxiliares, que constituem o Sistema Geodésico Brasileiro – SGB. A sua materialização se efetiva através dos conjuntos de estações, que constituem as redes:

- Altimétrica: Referência de Nível – RN
- Planimétrica: Estação de satélite GPS e DOPPLER, Estação de Poligonal – EP, Vértice de Triangulação – VT
- Gravimétrica: Estação Gravimétrica – EG.

Neste contexto utilizou-se nesse trabalho dados geodésicos/topográficos relacionados a RRNN, vértices GNSS e vértices de poligonais implantados anteriormente no Sítio Histórico de Olinda – PE, assim como, os levantados e calculados neste trabalho.

3.1.1 Aplicações em Edificações Prediais Históricas

Este TCC pretende dar continuidade aos trabalhos desenvolvidos anteriormente, vistos em (GAMA, 2008), (TENÓRIO & SEIXAS, 2008), (SOUZA, 2012), (GOMES & SEIXAS, 2013), (SEIXAS et al., 2014) e (SANTANA NETO, 2015).

Como exemplo, a (Figura 3.1) mostra um das RRNN implantadas na Igreja de São Francisco, correspondente a Referência de Nível da Igreja de São Francisco (RNSF), ou seja, a associação da RN a unidade histórica. A partir da implantação e dos cálculos posteriores a RN é atribuída de seus dados geodésicos.



Figura 3.1: Referência de Nível da Igreja de São Francisco - RNSF– Olinda-PE. Foto: 19/10/15

A PR n.º. 22 (IBGE, 1983) apresenta o conceito de Levantamentos Geodésicos como sendo o conjunto de atividades voltadas para as medições e observações de grandezas físicas e geométricas, e a partir dessas, irão conduzir na obtenção de parâmetros.

A PR n.º. 22 (IBGE, 1983) classifica os tipos de levantamentos de acordo com a qualidade do levantamento e o grau de confiabilidade dos resultados finais. Os levantamentos podem ser de primeira, segunda e terceira, sendo definidos com:

- Levantamentos Geodésicos de Alta Precisão
- Levantamento Geodésicos de Precisão
- Levantamento Geodésicos para fins Topográficos.

Segundo a PR n.º. 22 (1983), os levantamentos de alta precisão, de âmbito nacional, estão destinados para os fins científicos e fundamental, para os levantamentos de precisão, de âmbito regional, estão direcionados ao grau de desenvolvimento socioeconômicos e os levantamentos geodésicos para fins topográficos, são de características locais e são dirigidos ao levantamento topográfico mais simples em que a exatidão prevalece sobre simplificações impostas para a figura da Terra.

3.2 Métodos de Levantamentos Altimétricos com Estação Total e Nível Digital

Segundo Erba et al. (2005), existem diversos métodos que possibilitam realizar nivelamentos, diferenciando apenas ao uso de instrumentos específicos e na obtenção de precisões. Um levantamento topográfico altimétrico tem como objetivo determinar desníveis e distâncias de pontos topográficos relativas a uma superfície de referência altimétrica. Neste trabalho será apresentado o método do nivelamento trigonométrico por lances curtos e unilaterais e o método do nivelamento geométrico de alta precisão.

3.2.1 Método do Nivelamento Trigonométrico por Lances Curtos e Unilateral

Em lances curtos o método se baseia na resolução de triângulos retângulos (Figura 3.2), em que se conhece a altitude do vértice A, a distância D, ou seja, a distância inclinada D' medida pelo instrumento é reduzida no plano horizontal do equipamento, o ângulo vertical zenital Z medido, a altura do instrumento medida h_i e a altura do prisma medida h_p .

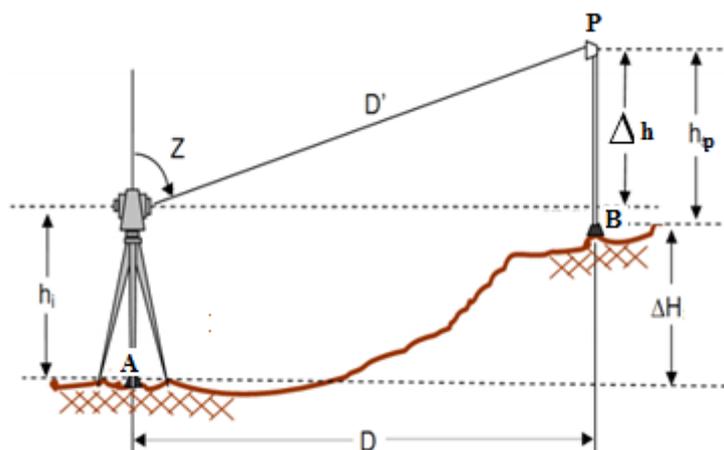


Figura 3.2: Método do Nivelamento Trigonométrico. Fonte: (adap. Nadal, 2000).

Considerando a Figura 3.2 o cálculo da altitude H_B está descrito na equação (1).

$$H_B = H_A + h_i + \Delta h - h_p \quad (1)$$

O cálculo do Δh é obtido pela resolução do triângulo retângulo. Na condição que se tenha a distância inclinada e o ângulo vertical zenital medido, logo;

$$\Delta_h = D' \cdot \cos(Z) \quad (2)$$

Neste trabalho, o método de nivelamento trigonométrico utilizou o procedimento descrito na (Figura 3.3). Neste procedimento a estação total é instalada em um vértice de coordenada altimétrica conhecida A e os demais vértices B, C, D e E são determinados pelas visadas subsequentes, ou seja, de A para B, de B para C, de C para D e de D para E. Quando a altitude do vértice instalado pela estação total não for conhecida, a altitude deste vértice pode ser determinada visando-se um bastão apoiado em vértice de altitude conhecida.

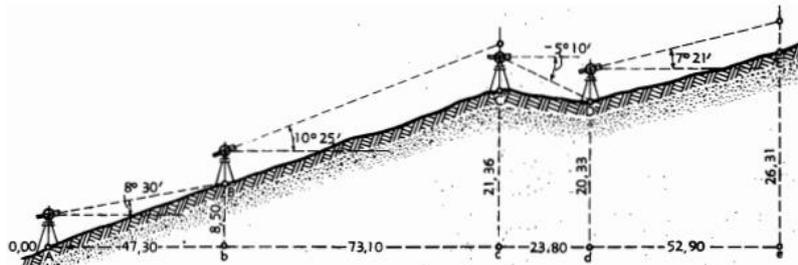


Figura 3.3: Processo de caminhamento por visadas unilaterais. Fonte: Fonte: (ESPARTEL, 1987)

3.2.2 Método do Nivelamento Geométrico de Alta Precisão

A NBR 13133 (ABNT, 1994) define o Nivelamento Geométrico (ou Direto) como sendo aquele que realiza a medida de diferença de nível entre pontos do terreno por intermédio de leituras correspondentes a visadas horizontais, obtidas como um nível em miras colocadas verticalmente nos referidos pontos. De acordo com esta norma o método de nivelamento de alta precisão é realizado com um nível cuja classificação respeita o desvio padrão de 1 Km de duplo nivelamento, ou seja, $\leq \pm 3\text{mm/Km}$ duplo nivelado.

3.2.3 Método de Ajustamento Empírico ou Proporcional à Distância

Durante todo processo de medição, em campo, diversos são os erros que irão se acumular durante o caminhamento. Esses erros são de origem sistemática, aleatória ou grosseira.

No ajustamento proporcional à distância (ALGARVE, 2004) é feita a correção dos desníveis Δh descrita na equação (3).

$$\Delta h_c = \Delta h + C_i \quad (3)$$

Onde:

Δh_c – Corresponde ao desnível corrigido;

Δh – Corresponde ao desnível bruto;

C_i – Corresponde a correção.

A correção C_i é calculada pela equação (4)

$$C_i = \frac{-\varepsilon}{\sum d_i} d_i \quad (4)$$

Sendo:

C_i – Correção em relação à distância de cada lance;

ε - Erro de fechamento;

d_i – Comprimento de cada lance;

$\sum d_i$ – Somatório comprimento de todos os lances.

3.2.4 Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) - Modelo Paramétrico

No Ajustamento pelo modelo paramétrico as observações são indiretas, na qual, deseja-se estimar grandezas vinculadas a essas observações. A aplicação deste método implica na necessidade de um modelo funcional (GEMAEL, 1994).

Segundo Gemael (1994) o modelo paramétrico é realizado a partir da definição das equações de observação, definição das equações normais, definição da matriz variância-covariância, definição da variância da unidade de peso (*a priori* e *a posteriori*) e aplicando-se o teste do qui-quadrado para a comparação entre as variâncias da unidade de peso.

3.3 Métodos de Levantamentos Planialtimétricos

3.3.1 Método da Poligonação

Neste trabalho foi utilizado o método da poligonação fechada. Este tipo de poligonal começa e termina em um mesmo vértice, portanto, forma um polígono fechado (Figura 3.4). Segundo Erba et al. (2005), este tipo de poligonal é considerada geométrica e matematicamente fechada, permitindo assim, a verificação dos ângulos e distâncias medidas.

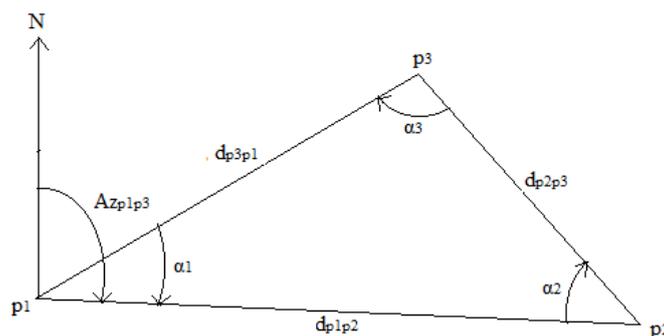


Figura 3.4: Poligonal Fechada.

O levantamento de uma poligonal é realizado utilizando-se do método de caminhada, percorrendo o contorno de um itinerário após definir o início de uma série de vértices, formando assim, os vértices de uma poligonal fechada (VEIGA et al., 2012).

Considerando a (Figura 3.4) observa-se que o caminhada foi realizado no sentido anti-horário e foram medidos os ângulos internos α_1 , α_2 e α_3 e as respectivas distâncias d_{P1P2} , d_{P1P2} e d_{P1P2} . Conhecendo-se as coordenadas do vértice inicial P1 e azimute inicial do alinhamento P1 para P2 é possível determinar as coordenadas dos vértices P2 e P3.

Neste trabalho foi utilizado o método tradicional descrito em (ERBA et al., 2005) para o cálculo da poligonal. Neste método é considerado o erro de fechamento angular e o erro de fechamento linear.

Com respeito as coordenadas altimétricas dos vértices da poligonal, as respectivas altitudes dos vértices são calculadas pelo método do nivelamento trigonométrico (cf. item 3.3.1)

3.3.2 Método da Irradiação

Segundo Erba et al. (2005), a irradiação é o processo que mais se utiliza para “amarrar” pontos de detalhes a um Sistema de Referência por meio de medição de um uma direção e uma distância.

A (Figura 3.5) representa um alinhamento onde as coordenadas do vértice A = $(X_A; Y_A)$ são conhecidas, e pretende-se determinar as coordenadas do vértice B = $(X_B; Y_B)$. Um triângulo retângulo é formado pelo alinhamento e suas projeções ΔX e ΔY podem ser determinadas. Neste caso a partir das coordenadas conhecidas A = $(X_A; Y_A)$, conhecendo-se o azimute (AZ_{AB}) do alinhamento AB e a distância D_{AB} , será possível calcular as coordenadas do vértice B = $(X_B; Y_B)$.

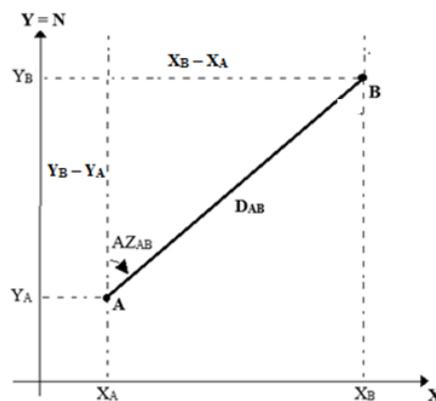


Figura 3.5: Representação cartesiana de um alinhamento. Fonte: ERBA et al. (2005)

A coordenadas do vértice B são calculadas a partir da equação (5) e (6).

$$X_B = X_A + D_{AB} \cdot \text{sen}(AZ_{AB}) \quad (5)$$

$$Y_B = Y_A + D_{AB} \cdot \text{cos}(AZ_{AB}) \quad (6)$$

3.4 Visualização do Banco de Dados Geodésicos em um Ambiente SIG

Segundo Aronoff (1995), um Sistema de Informação Geográfica SIG, é um Sistema baseado em Sistemas Computacionais, que são usados para armazenar e manipular Informações Geográficas.

A visualização de um Banco de Dados Geodésicos neste TCC permitirá ao usuário acessar os dados mais rapidamente, identificando a época da medição realizada, a localização da Referência de Nível e do vértice topográfico/geodésico implantados e as respectivas coordenadas planialtimétricas no Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

3.5 Softwares Empregados e Aplicativos Computacionais Desenvolvidos

Neste TCC foram desenvolvidos aplicativos computacionais utilizando-se os *softwares* Octave e Excel. O controle do processamento dos dados e dos métodos aplicados foram realizados utilizando módulos do *software* AstGeoTop (2016) e a visualização das RRNN e dos vértices topográficos/geodésicos foi feita utilizando o *software* ArcGis 2010 a partir do Banco de Dados Geodésicos inseridos neste *software*.

3.5.1 Octave

Para lidar com uma grande quantidade de dados, faz-se necessário o emprego de uma *software*, que forneça uma linguagem de programação acessível e confiável. Neste contexto, o *software* Octave em sua versão 4.0.2 é uma solução viável, gratuita e amigável em termos práticos, podendo exibir os resultados em até 16 casas decimais. A (Figura 3.6) mostra seu *layout*.

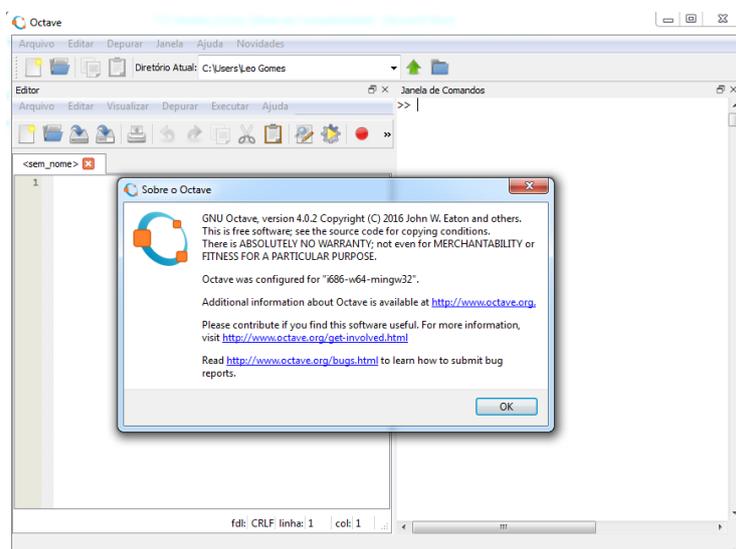


Figura 3.6: *Layout* do *software* Octave 4.0.2

Nesta monografia o *software* Octave foi utilizado para o desenvolvimento do processamento dos dados adquiridos com o método do Nivelamento Geométrico, cuja metodologia de medição e ajustamento está descrita nos itens 3.2.3 e 3.2.4

Foi desenvolvido um aplicativo para leitura dos dados de entrada, inicialmente disponibilizados nas cadernetas de campo, e posteriormente introduzidos e executados no *software* Octave, em módulos, da seguinte forma:

- Leitura dos dados de entrada RÉ, VANTE, distâncias dos lances, RN de partida e chegada e o valor do desnível observado na campanha;
- Cálculo das médias de RÉ, VANTE e distâncias dos lances;
- Cálculo dos desníveis entre os lances;
- Cálculo das altitudes de cada lance;
- Cálculo da distância total do Nivelamento;
- Separação dos valores das RRNN implantadas;
- Cálculo do ajustamento pelo método Proporcional à Distância;
- Cálculo do Ajustamento pelo MMQ – Modelo dos Parâmetros.

3.5.2 Excel

O uso do Excel, em sua versão 2013, mostrou-se mais prático na realização dos cálculos do Nivelamento Trigonométrico, Poligonação e Irradiação, em comparação ao Octave.

Os dados da caderneta de campo, foram divididos em duas partes: A primeira, com os dados do levantamento da poligonal (visadas ré e vante), e a segunda, com os dados das irradiações para as RRNN implantadas em trabalhos e as RRNN implantadas neste

TCC.

A Figura 3.7 mostra parte da planilha, do procedimento de inserção dos dados da caderneta de campo para o cálculo da poligonal e do nivelamento trigonométrico.

Estação	PV	ÂNGULO HORIZONTAL						ÂNGULO VERTICAL						DISTANCIA INCLINADA		H-INST.	H-PRIS
		PD			PI			PD			PI			PD	PI		
BVM	MR	68	59	28	248	59	30	89	18	18	270	42	31	51,576	51,575	1,522	2,049
	MR	68	59	19	248	59	22	89	18	13	270	42	27	51,576	51,576	1,522	2,049
	RSB-328	234	19	17	54	19	6	92	3	56	267	56	30	48,542	48,542	1,522	1,952
	RSB-328	234	19	28	54	19	1	92	3	55	267	56	45	48,542	48,541	1,522	1,952

Figura 3.7: Planilha de dados da Caderneta de campo para o cálculo da poligonal e do nivelamento trigonométrico – exemplo vértice BVM: Alinhamento RÉ BVM-MR e alinhamento VANTE-BVM-328. Fonte Excel 2013.

A Figura 3.8 mostra parte da planilha do procedimento de inserção dos dados incluindo o cálculo das irradiações.

Estação	PV	ÂNGULO HORIZONTAL						ÂNGULO VERTICAL						DISTANCIA INCLINADA		H-INST.	H-PRIS
		PD			PI			PD			PI			PD	PI		
BVM	RNMR	66	13	38	246	13	34	88	17	44	271	42	50	36,467	36,467	1,522	2,049
	RNMR	66	13	46	246	13	31	88	17	31	271	43	0	36,476	36,468	1,522	2,049
	MR	68	59	28	248	59	30	89	18	18	270	42	31	51,576	51,575	1,522	2,049
	MR	68	59	19	248	59	22	89	18	13	270	42	27	51,576	51,576	1,522	2,049
	RSB-328	234	19	17	54	19	6	92	3	56	267	56	30	48,542	48,542	1,522	1,952
	RSB-328	234	19	28	54	19	1	92	3	55	267	56	45	48,542	48,541	1,522	1,952

Figura 3.8: Planilha de dados da Caderneta de campo para o cálculo da poligonal, do nivelamento trigonométrico e das irradiações 3D – exemplo vértice BVM: Alinhamento RÉ BVM-MR e alinhamento VANTE-BVM-328 e alinhamento irradiado BVM-RNMR. Fonte Excel 2013.

O cálculo do Nivelamento Geométrico também foi realizado utilizando-se planilha Excel, como forma de controle dos resultados obtidos no *software* Octave. A Figura 3.9 ilustra parte da planilha do procedimento de inserção dos dados da caderneta de campo para o cálculo do nivelamento Geométrico.

Estação	Pto Visado	Leitura de Ré	Leitura de Vante	Distância
E1	RNNSC	1,26986		11,27
		1,26988		11,27
	AUX 1		1,15873	13,52
			1,15875	13,52

Figura 3.9: Planilha dos dados da caderneta de campo para o cálculo do nivelamento geométrico – exemplo lance E: visada RÉ E1-RNNSC e visada VANTE E1-AUX1.

Fonte: Excel 3013.

3.5.3 AstGeoTop

O *software* AstGeoTop foi desenvolvido pelo Professor Dr. Sílvio Jacks dos Anjos Garnés, do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE, sendo que, este *software* possui diversas aplicações em Astronomia, Geodésia, Topografia, entre outras.

A aplicação utilizada, neste trabalho, é para Topografia. Neste caso, há diversos módulos que podem ser utilizados, como para o Nivelamento Geométrico, Levantamento

Planimétrico, Levantamento Planialtimétrico, Interseção a Vante, Azimutes, Rumos, Distância para Coordenadas Retangulares e Curva Circular Simples (GARNÉS, 2016) (Figura 3.16).

Dentre esses módulos, foram usados neste trabalho:

- Para o Nivelamento Geométrico - o módulo de Nivelamento Geométrico (GARNÉS, 2014);

- Para o Nivelamento Trigonométrico, Poligonação e Irradiação - o módulo de Levantamento Planialtimétrico (GARNÉS, 2014).

As Figuras 3.17 e 3.18 ilustram o processo de entrada de dados no *software* AstGeoTop (2016).

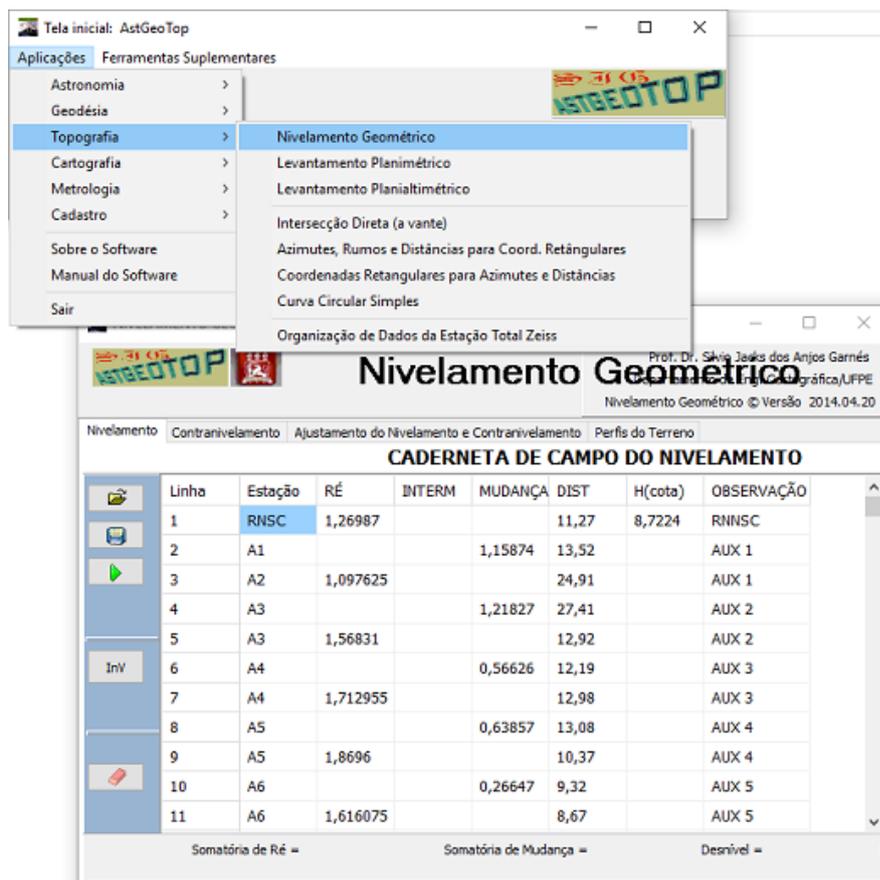


Figura 3.10: Processo de entrada de dados para o módulo Nivelamento Geométrico. Fonte: AstGeoTop. Versão: 2014.04.29

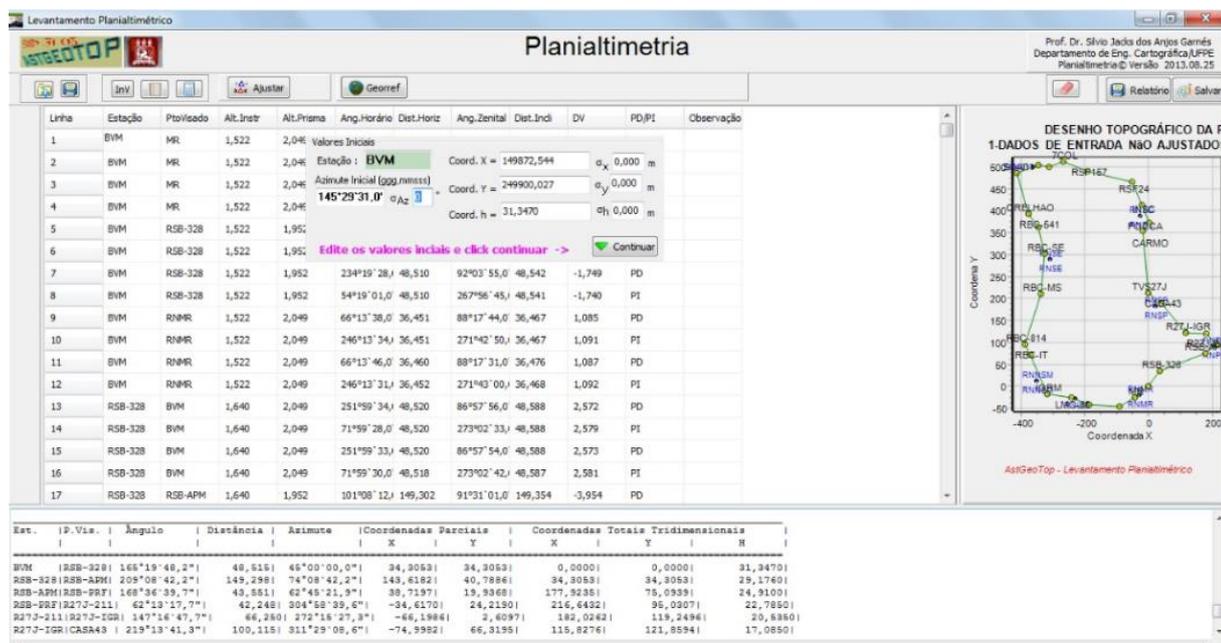


Figura 3.11: Processo de entrada dos dados para o levantamento planialtimétrico (poligonação, irradiação e nivelamento trigonométrico). Fonte: AstGeoTop. Versão: 2013.08.25

3.5.4 Google Earth

O Google Earth, é um *software* pertencente a empresa Google. Ele é gratuito, disponibiliza ao usuário imagens de satélites em várias resoluções, podendo também, acessar imagens a partir do solo, com a ferramenta *Street View*. A aplicação para este trabalho, é apenas para a exibição do trecho correspondente à poligonal implantada e ao percurso realizado no Nivelamento Geométrico. A (Figura 4.1) ilustra a aplicação utilizada.

3.5.5 ArcGis

O *software* ArcGis desktop trata-se de um *software* de Sistema de Informação Geográfica (GIS) utilizado para criação e utilização de mapas, compilação de dados geográficos, análise de informações mapeadas e gestão de informações geográficas em bancos de dados. Uma versão gratuita, de teste, deste software é distribuída digitalmente pela (ESRI), empresa proprietária da marca, podendo ser usado por 60 dias após o registro.

A necessidade de criação de um banco de dados geodésicos neste TCC, refere-se ao uso exclusivo das ferramentas presentes no módulo ArcMap. A Figura 3.12 ilustra o respectivo layout do software.

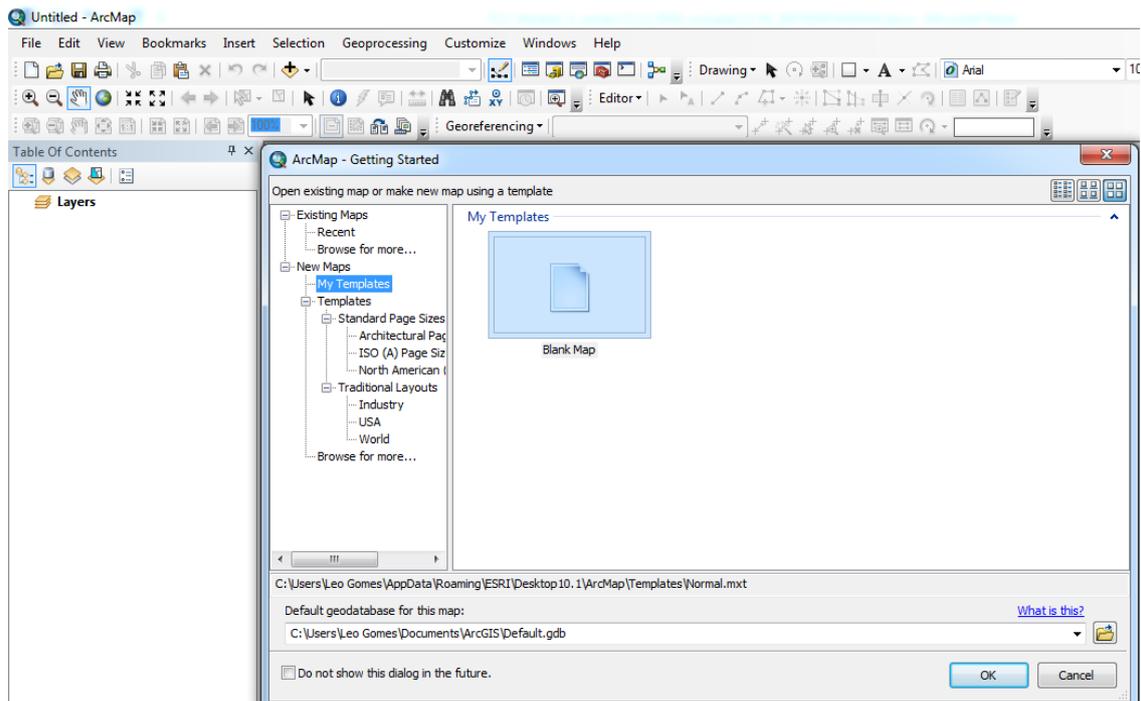


Figura 3.12: Layout ArcMap. Versão: 10.1

4. METODOLOGIA DE TRABALHO

4.1 Área de Estudo

A área de Estudo corresponde ao Sítio Histórico de Olinda, composto de uma área densamente urbanizada com características topográficas bastante diversificadas. Em 1968 foi tombado pelo IPHAN todo o conjunto arquitetônico, urbanístico e paisagístico e em 1982 recebeu o reconhecimento da Unesco como Patrimônio Mundial Cultural, conferindo a uma área de 1,2 km² e cerca de 1.500 imóveis (IPHAN, 1968).

Esta área vem sendo estudada em diversos trabalhos acadêmicos: (GAMA, 2008), (TENÓRIO & SEIXAS, 2008), (SOUZA, 2012), (GOMES & SEIXAS, 2013), (SEIXAS et al., 2014) e (SANTANA NETO, J. P., 2015), através de medições topográficas/geodésicas ligadas a uma Rede Geodésica de alta precisão.

O Sítio Histórico possui muitas ladeiras com diversos graus de inclinação, o que torna os trabalhos em campo mais penosos de serem executados, além de exigir um maior cuidado no manuseio dos equipamentos. A Figura 4.1 mostra uma visão aérea do trajeto executado, em cor vermelho e azul, com o método do Nivelamento Geométrico em cor vermelho (cf. itens 3.3.2) e os métodos da poligonização, irradiação e Nivelamento Trigonométrico em cor azul (cf. itens 3.3). As medições foram realizadas em outubro, novembro e dezembro de 2015.

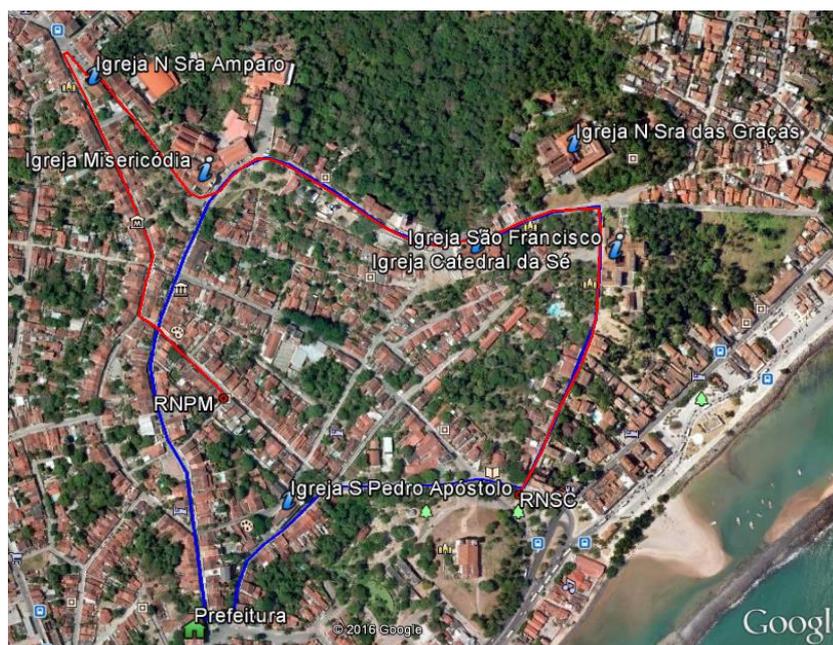


Figura 4.1: Vista Aérea do Sítio Histórico de Olinda – PE. Fonte: *Google Earth* (2016).

4.2 Materiais

- Equipamentos e acessórios utilizados

Para a execução do método do Nivelamento Geométrico foram empregados os seguintes materiais:

- 1 Nível digital de altíssima precisão Leica DNA03 ($\pm 0,3\text{mm/km}$);
- 1 Mira ínvar de 2m;
- 2 Tripés;
- 2 Sapatas;
- 1 Trena de 50 m com precisão de $\pm 2\text{ mm}$;
- 1 Balde de plástico;

- 1 Marreta;
- 3 Cones de sinalização;
- 1 Umbrela;
- 4 Pinos de superfícies semiesféricas;
- 1 Calculadora científica;
- 1 Prancheta e material para anotação.

Para a execução dos métodos do Nivelamento Trigonométrico, Poligonação e Irradiação foram empregados os seguintes materiais:

- 1 Estação Total Topcon GPT 3205N ($\pm 5''$ precisão angular e $\pm 5\text{mm} + 5\text{ppm}$ precisão linear);
- 3 Tripés
- 2 Prismas;
- 2 Bastões com suporte para tripé
- Trena de 50 m com precisão de $\pm 2\text{ mm}$
- 1 Balde de plástico
- 1 Marreta
- 3 Cones de sinalização
- 1 Umbrela
- 1 Calculadora científica
- 1 Prancheta e material para anotação
- 1 Spray de tinta
- Várias Hastes metálicas de aproximadamente 25 cm

- Softwares empregados

Para o processamento dos dados foram utilizados os seguintes softwares: Octave (4.0.2), Excel 2013 e AstGeoTop (GARNÉS, 2016). Para a visualização dos dados foram utilizados os *softwares* Google Earth e ArcGis.

4.3 Métodos

4.3.1 Processo de Medição Altimétrica com Nível Digital: Medição, Processamento e Análise

Neste transporte de altitude foi utilizado o mais preciso instrumento de nivelamento, DNA-03 e mira de invar de 2m Figura 4.2, equipamento pertencentes à segunda geração de níveis digitais da *Leica Geosystems* (LEICA, 2016). Este equipamento possui um desenho moderno e ergonômico, visor LCD, tecnologia eletrônica e excelentes sistemas ópticos e mecânicos, com precisão de 0,3 mm/km de duplo nivelamento com mira de invar GPCL2 (LEICA, 2016). Também foi utilizado durante as medições 2 sapatas, 1 tripé para posicionar o Nível e 1 tripé para apoiar o operador da mira de invar (Figura 4.3), além dos acessórios descritos no item 4.2.



Figura 4.2: Nível Digital DNA 03 e mira de invar – Rua Ladeira de São Francisco – Olinda-PE. Foto: 22/10/15.



Figura 4.3: Operador equilibrando a mira de invar – Rua Bispo Coutinho. Foto: Data 22/10/15.

O procedimento de medição teve início na Referência de Nível RNNSC – Referência da Igreja Nossa Senhora do Carmo, nas proximidades da Igreja Nossa Senhora do Carmo, onde foi posicionada a régua de invar, exatamente em cima do pino de superfície semiesférica, que define a RN, sendo este, a visada Ré do primeiro lance do início do transporte de altitude. O valor da altitude da RNNSC, definido em (SEIXAS et al., 2014) é mostrado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Valor da Altitude de partida. Fonte: SEIXAS et al. (2014).

RN	ALTITUDE (m)
RNNSC	8,7224

No início do processo de medição, uma distância foi determinada, através de 25 passos igualmente espaçados, da RN até o local onde seria instalado o instrumento e posteriormente os mesmos 25 passos, realizado pela mesma pessoa, foi feito do instrumento até o local de medição a VANTE, para o emprego do método do nivelamento

geométrico com visadas iguais.

Nesta primeira leitura, e consecutivamente nas demais, o operador da régua a posicionava cuidadosamente em cima do pino que define a RN e através de dois níveis de bolha instalados na régua, uma a meia altura e outra na base, tinha a obrigação de manter as bolhas centralizadas e o mais estável possível. Para isso, o operador da régua contava com o auxílio de um tripé apoiado ao seu braço (Figura 4.4). Para a instalação do instrumento, um tripé era posicionado, no fim da primeira contagem dos 25 passos, e ajustado antes de instalar o instrumento.

Com o instrumento posicionado e calado a medição teve início. Logo, a régua era visada e através do *display* do instrumento o resultado era exibido. Deste modo, 2 leituras consecutivas de 4 leituras eram feitas, anotadas as respectivas médias pelo operador da caderneta. As 4 leituras deveriam estar compreendidas com uma amplitude de $\pm 0,00006\text{mm}$, caso contrário mais medições seriam realizadas até que esse intervalo fosse alcançado.

Após a realização da leitura RÉ, uma sapata era posta na distância, previamente determinada, e o operador da régua movia-se até este local, e o operador do instrumento apenas o girava até a posição da nova leitura, e com o mesmo procedimento de leitura e análise. Após a leitura RÉ, a sapata de RÉ permanecia no local e o operador da régua movia-se ao ponto seguinte (VANTE). Com a conclusão do lance RÉ e VANTE o instrumento era movido para o novo local, definido novos passos, e o operador da régua não a removia da posição VANTE, apenas a girava até ficar na mesma direção do instrumento. Desta forma havia a garantia de caso houvesse algum erro, a sapata de ré serviria de referência para uma nova medição. E por fim, a sapata de ré era removida quando houvesse o fechamento do lance, e caso o lance a ser medido fosse uma RN implantada, a sapata era dispensada.

No primeiro dia de medição, ocorrido no dia 22/10/2015, foram percorridos 3 das 4 RRNN implantadas, a RNSF – Referência de Nível da Igreja de São Francisco, RNSE – Referência de Nível da Igreja Catedral da Sé, RNNSM – Referência de Nível da Igreja Nossa Senhora da Misericórdia. Tendo para este primeiro dia uma equipe de 8 pessoas e um total de 982,32 m caminhado e 45 lances realizados. Com horário de início às 8:45 da manhã e término às 17 horas da tarde.

No segundo dia de medição, começando onde terminou o primeiro dia, na RNNSM, com a mesma metodologia de medição, e terminando na RNPM com um total percorrido de 892,315m e 49 lances, totalizando um total caminhado de 1874,585m. No (item 4.3.1.3) há uma descrição minuciosa do percurso realizado. O valor da altitude da RNPM – Referência de Nível Prudente de Moraes, definido em (SEIXAS et al., 2014) é mostrado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Valor da Altitude de chegada. Fonte: SEIXAS et al. (2014).

RN	ALTITUDE (m)
RNPM	19,0598

4.3.1.1 Processo de instalação dos Pinos das RRNN

Para a implantação das RRNN foram escolhidas e tomadas como referência as igrejas que estavam no caminho escolhido para as linhas do Nivelamento Geométrico (Figura 4.2). As igrejas relacionadas são: Igreja de São Francisco, Igreja da Catedral da Sé, Igreja de Nossa Senhora da Misericórdia e finalizando na Igreja de Nossa Senhora do

Amparo. Tendo como Referência de Nível de partida a RNNSC e a Referência de Nível de chegada a RNPM. As Figuras 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7, mostram a localização dos pinos e as fachadas das respectivas igrejas e edificações históricas.



Figura 4.4: Referência de Nível RNSF e fachada da Igreja de São Francisco. Foto: Data 22/10/15.



Figura 4.5: Referência de Nível - RNSE e fachada da Igreja Catedral da Sé. Foto: Data 22/10/15.



Figura 4.6: Referência de Nível – RNNSM e fachada da Igreja de Nossa senhora da Misericórdia. Foto: Data 23/10/15.



Figura 4.7: Referência de Nível RNNSA e RNCOSPLAN e fachada da Igreja de Nossa senhora do Amparo. Foto: Data 23/10/15.

Para a implantação das RRNN, antecipadamente, foi feito um reconhecimento de campo e após a escolha e definição dos locais foram implantadas as mesmas. Através de um pequeno furo feito na calçada, este era preenchido com uma camada de cola epóxi, e em seguida o pino, era cravado neste furo. Em pouco tempo a cola secava e para evitar que fosse mexido o local foi sinalizado.

4.3.1.2 Processo de Execução dos Cálculos do Nivelamento Geométrico

O processo se seguiu pelo método tradicional de cálculos, em que, a partir da RN de partida RNNSC e com as sequências de lances as RRNN do percurso e os pontos auxiliares foram determinadas até chegar a RN final RNPM. A Figura 4.8 ilustra o procedimento metodológico adotado.

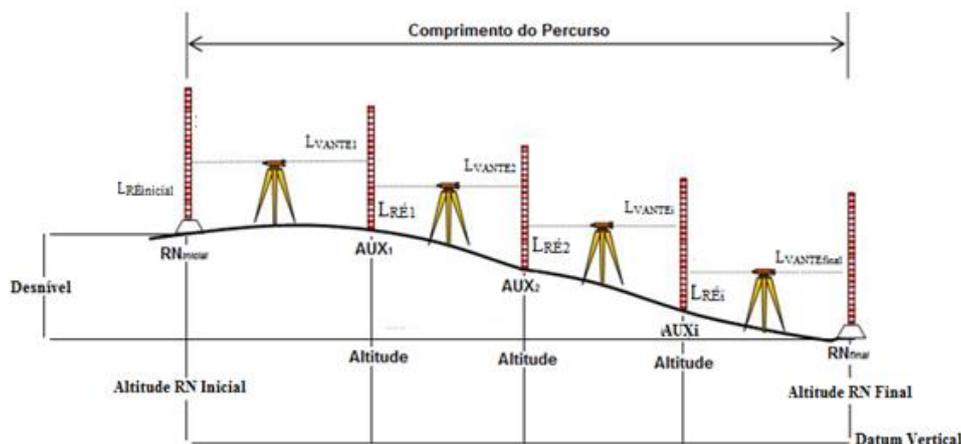


Figura 4.8: Processo de medição por Nivelamento Geométrico.

Neste sentido, com a aplicação simples das equações 15 e 16:

$$\text{Altitude (AUX1)} = \text{Altitude RN} + L_{R\acute{E}inicial} \quad (15)$$

$$\text{Altitude (AUX2)} = \text{Altitude (AUX1)} + L_{R\acute{E}1} \quad (16)$$

A soma do comprimento de todos os lances é igual ao comprimento total do caminhamento.

A tolerância é calculada de acordo com o equipamento usado, neste caso, é a raiz quadrada do comprimento em Km, e multiplicado por 3mm (IBGE, 1983). Devendo, o erro calculado do Nivelamento Geométrico ser menor que o valor obtido da tolerância.

A Tabela 4.3 mostra os valores das diferenças de nível entre a RNPM e RNNSC realizadas em SEIXAS et al. (2014) e neste trabalho. O cálculo do erro de fechamento foi realizado comparando-se a diferença de nível bruta determinada com o levantamento realizado neste trabalho e a diferença de nível padrão definida em Seixas et al (2014). A Tabela 4.3 apresenta os respectivos valores comparados.

Tabela 4.3: Valores de referência para o Cálculo do Erro de Fechamento.

Origem	$\Delta H_{RNNSC-RNPM}$ (m)
Seixas et al (2014)	10,33756
Nivelamento Geométrico 2015	10,340057

O erro de fechamento foi de 0,00250 m

a) Critérios de aceitação dos Resultados do Nivelamento Geométrico

Em campo, foram feitas 4 medidas para a mesma visada, (duas em Ré e duas em Vante), o objetivo é o controle da precisão, se a diferença entre elas estiver no intervalo

de $\pm 0,00006\text{mm}$, então, será válida, caso não, mais leituras serão feitas até que haja dois valores da média das 4 leituras dentro do intervalo desejado, Ré e Vante, respectivamente. Neste processo, poderá haver abundância de possíveis valores válidos, desta forma, todos os valores serão considerados e será feito um estudo de caso para se verificar qual será o mais correto dentre todos os valores válidos obtidos do ponto. Então, através de módulos de cálculo, feitos por planilhas Excel e por linhas de programação no Octave (cf. 3.5.2), os valores duvidosos são testados e aprovados de acordo com o menor erro de fechamento obtido do Nivelamento Geométrico.

Também a aceitação dos resultados implica, necessariamente, que o erro de fechamento do nivelamento está abaixo da tolerância calculada (item 4.3.1.2).

b) Ajustamento da Rede de Nivelamento Geométrico

Nos itens seguintes serão descritos como foram aplicados os modelos de ajustamento para o Nivelamento Geométrico, bem como a descrição da sequência de cálculos.

b.1) Método Proporcional à Distância

Após obter o erro de fechamento, este, então, é dividido pelo comprimento total do percurso nivelado, da RNNSC até a RNPM, e posteriormente distribuído algebricamente entre todos os valores dos desníveis já calculados, da seguinte forma: neste caso, o erro de fechamento foi positivo, logo, a correção foi distribuída subtraindo. Este valor negativo é multiplicado pela distância correspondente ao lance e somado ao desnível bruto do mesmo lance. O processo segue para todos os lances seguintes. (Cf 3.2.3).

b.2) Método dos Mínimos Quadrados: Modelo Paramétrico

Para o Método dos Mínimos Quadrados, adotado como referência é o (GEMAEL, 1994), seguindo a sua linha de raciocínio, considerando as RRNN de chegada e saída, a RNNSC e RNPM, respectivamente. A matriz dos parâmetros é baseada nos trechos correspondentes as novas RRNN implantadas a malha do nivelamento, da seguinte forma: da RNNSC até a RNSF, da RNSF até a RNSE, da RNSE à RNNSM, da RNNSM à RNSA, da RNSA à RNCOSPLAN e da RNCOSPLAN à RNPM. Neste processo obteve-se uma matriz “A” de ordem 6×5 , correspondente ao modelo matemático adotado. A Figura 4.9, ilustra o procedimento adotado das equações de observação. Utilizando-se a precisão $0,3\text{mm} \cdot \sqrt{k}$ (k em km) verificando-se para o ajustamento a um nível de significância igual a 5%.

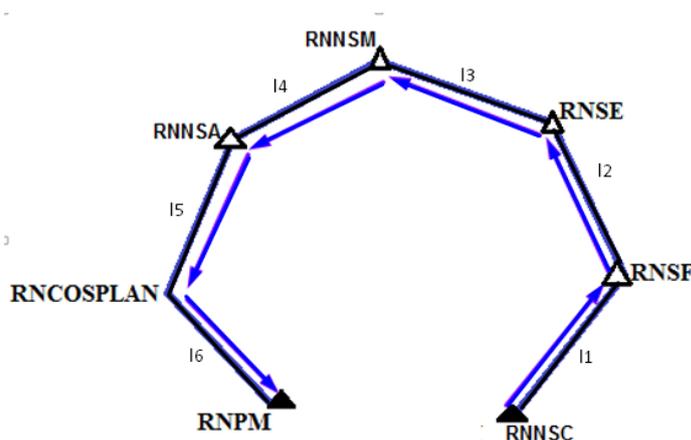


Figura 4.9: Procedimento de Montagem das equações de observação.

As equações das observações estão apresentadas da seguinte forma:

- 11 → RNNSC - RNSF
- 12 → RNSF - RNSE
- 13 → RNSE - RNNSM
- 14 → RNNSM - RNNSA
- 15 → RNNSA - RNCOSPLAN
- 16 → RNCOSPLAN – RNPM

Em que 11, 12, 13, 14, 15 e 16 representam os desníveis medidos.

E os valores obtidos para Matriz do Parâmetros “A” é:

$$A = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

A (Tabela 4.4) apresenta as informações sobre as linhas de nivelamento realizada na campanha de medição.

Tabela 4.4: Percursos e desníveis entre trechos referentes às RRNN implantadas. Fonte: Octave (4.0.2).

TRECHO	Nº LANCES	PERCURSO (m)	DESNÍVEL bruto Δh (m)
RNNSC-RNSF	19	403,915	22,793435
RNSF-RNSE	17	269,97	19,739385
RNSE-RNNSM	10	308,385	3,814115
RNNSM-RNNSA	21	280,565	-24,86399
RNNSA-RNCOSPLAN	3	26,66	0,551885
RNCOSPLAN-RNPM	25	585,09	-11,694773

A partir das informações da (Tabela 4.4) o vetor das observações brutas foi determinado com os desníveis entre as RRNN implantadas, logo, o vetor ou matriz coluna, “Lb” de ordem 6x1.

Vetor das Observações brutas, corresponde aos desníveis entre cada RN, “Lb”

$$Lb = \begin{pmatrix} 22,793435 \\ 19,739385 \\ 3,814115 \\ -24,86399 \\ 0,551885 \\ -11,694773 \end{pmatrix}$$

Os valores das RRNN de partida e chegada são conhecidos, logo, estas RRNN são fixas e entram na equação como injunções. Logo, o vetor das observações fixas “L₀” de ordem 6x1 é atribuído a primeira linha o RN de partida e a última linha a RN de chegada e as linhas do meio é atribuído 0 (zero).

$$L_0 = \begin{pmatrix} -8,7224 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 19,0598 \end{pmatrix}$$

A partir dos Vetores L_b e L₀ obteve-se o vetor das observações identificadas “L”.

$$L = \begin{pmatrix} -31,515835 \\ -19,739385 \\ -3,814115 \\ 24,86399 \\ -0,551885 \\ 30,754573 \end{pmatrix}$$

A matriz Peso é uma matriz diagonal, e é atribuído a esta diagonal, o inverso ao quadrado das medidas das distâncias entre as RRNN do percurso, neste processo o sigma a priori é atribuído o valor 1 (um) (Gemael, 1994). Na aplicação neste TCC, foi considerado a precisão nominal do aparelho.

Com todas as variáveis necessárias o vetor dos parâmetros “X” é de ordem 5x1 é obtido e corresponde aos valores ajustados das RRNN implantadas. Ver (Tabela 4.07).

O vetor dos valores das altitudes das RRNN implantadas ajustadas, RNSF, RNSE, RNNSM, RNNSA e RNCOSPLAN, respectivamente é:

$$X = \begin{pmatrix} 31,515262 \\ 51,254265 \\ 55,067943 \\ 30,203555 \\ 30,755402 \end{pmatrix}$$

O vetor resíduo “V” dá a estimativa do erro aparente em todo o processo de cálculo e sendo fundamental na análise prévia da qualidade do ajustamento.

$$V = \begin{pmatrix} 0,00057 \\ 0,00038 \\ 0,00043 \\ 0,00039 \\ 0,00003 \\ 0,00082 \end{pmatrix}$$

Em seguida, foi calculado o vetor “L_a” os valores das observações ajustadas, de ordem 6x1.

$$L_a = \begin{pmatrix} 22,794007 \\ 19,739767 \\ 3,8145521 \\ -24,86359 \\ 0,5519228 \\ -11,69394 \end{pmatrix}$$

O cálculo da matriz variância-covariância dos parâmetros estimados, sua precisão, de ordem 5x5. Ver (Tabela 4.09).

$$\Sigma X_a = \begin{pmatrix} 1,1934e-06 & 9,7431e-07 & 7,2407e-07 & 4,9641e-07 & 4,7477e-07 \\ 9,7431e-07 & 1,6255e-06 & 1,2080e-06 & 8,2819e-07 & 7,9210e-07 \\ 7,2407e-07 & 1,2080e-06 & 1,7608e-06 & 1,2072e-06 & 1,1546e-06 \\ 4,9641e-07 & 8,2819e-07 & 1,2072e-06 & 1,5520e-06 & 1,4844e-06 \\ 4,7477e-07 & 7,9210e-07 & 1,1546e-06 & 1,4844e-06 & 1,5157e-06 \end{pmatrix}$$

E por fim é realizado o teste do Qui-quadrado χ^2 , que mede a qualidade do ajustamento com um nível de confiança de 95%, com base na tabela de distribuição de Qui-quadrado presente em (GEMAEL, 1994).

Tendo grau de liberdade igual a um (1) e significância de 5% a hipótese não é rejeitada, pois:

Hipótese básica: $\sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2$.

Hipótese alternativa: $\sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2$.

χ^{*2} calculado: 4,1844e-05;

χ^2 teórico com $\alpha = 5\%$:

$\chi^2_{3;0,025} = 0,00$, $\chi^2_{3;0,975} = 5,02$,

Logo, $0,00 < 4,1844e-05 < 5,02$

4.3.1.3 Processo de Execução dos Cálculos no Nivelamento Geométrico no *Software Octave*

Os dados do Nivelamento Geométrico, inicialmente escritos na caderneta de campo, foram digitalizados em uma planilha e posteriormente foram postos como dados de entrada no Octave, na forma de vetores, em que, cada vetor representa uma variável coletada em campo. A inserção dos dados é previamente estabelecida pelo sistema de programação criada, tido como “*script*”, e cada linha de programação é feita de acordo com a necessidade de sequência dos cálculos desejados.

Após o “*script*” ser executado, e de acordo com as normas de cálculos, os resultados, brutos, podem ser vistos nas Tabela 4.5 e Tabela 4.6.

Tabela 4.5: Percursos e desníveis acumulados a partir da origem nas RRNN implantadas (RNNSC). Fonte: Octave (4.0.2)

TRECHO	Nº LANCES	PERCURSO (m)	DESNÍVEL bruto (m)
RNNSC-RNSF	19	403,915	22,793445
RNNSC-RNSE	36	673,888	42,53283
RNNSC-RNNSM	45	982,27	46,346945
RNNSC-RNNSA	66	1262,835	21,48293
RNNSC-RNCOSPLAN	69	1289,495	22,034815
RNNSC-RNPM	94	1874,585	10,341325

Tabela 4.6: Altitudes brutas das RRNN implantadas. Fonte: Octave (4.0.2).

RN	ALTITUDE bruta (m)
RNSF	31,515835
RNSE	51,25522
RNNSM	55,069335
RNNSA	30,205345
RNCOSPLAN	30,75723

Após a execução do ajustamento, pelo método Proporcional à distância, os novos resultados para o Nivelamento Geométrico podem ser vistos na (Tabela 4.7), (Tabela 4.8) e (Tabela 4.9).

Tabela 4.7: Percursos e desníveis acumulados a partir da origem nas RRNN implantadas (RNNSC). Fonte: Octave (4.0.2).

TRECHO	Nº LANCES	PERCURSO (m)	DESNÍVEL (m)
RNNSC-RNSF	19	403,915	22,792897
RNNSC-RNSE	37	673,888	42,531922
RNNSC-RNNSM	45	982,27	46,345627
RNNSC-RNNSA	66	1262,835	21,481263
RNNSC-COSPLAN	69	1289,495	22,033112
RNNSC-RNPM	94	1874,585	10,337560

Tabela 4.8: Percurso e desnível entre trechos referentes às RRNN implantadas. Fonte: Octave (4.0.2).

TRECHO	Nº LANCES	PERCURSO (m)	DESNÍVEL ajustados (m)
RNNSC-RNSF	19	403,915	22,792897
RNSF-RNSE	17	269,97	19,739025
RNSE-RNNSM	10	308,385	3,813704
RNNSM-RNNSA	21	280,565	-24,864364
RNNSA-COSPLAN	3	26,66	0,551849
COSPLAN-RNPM	25	585,09	-11,695552

Tabela 4.9: Altitudes das RRNN ajustadas – Método Proporcional à distância. Fonte: Octave (4.0.2).

RN	ALTITUDES AJUSTADAS (m)
RNSF	31,5153
RNSE	51,2543
RNNSM	55,0680
RNNSA	30,2037
RNCOSPLAN	30,7555

4.3.1.4 Processo de Execução dos Cálculos no Nivelamento Geométrico no Software AstGeoTop

Os dados do Nivelamento, juntamente com as altitudes de partida e chegada, ver (Tabela 4.1) e (Tabela 4.2), respectivamente, inicialmente, são postos em um arquivo de texto (.txt) de modo que o *software* AstGeoTop o reconheça em sua configuração predefinida, como é mostrado na Figura 3.10. Após os dados inseridos, o *software* faz os cálculos de todas as altitudes e fornece a opção de salvar em um outro arquivo de texto (.txt) e também salvar o perfil topográfico em arquivo de imagem (.wmf), exibindo no desenho alguns dos pontos visados.

O processo de cálculo foi feito em seis etapas, correspondente aos trechos de cada RN implantada. Desta forma, é possível observar, com mais detalhes o perfil topográfico do caminhamento. Assim, partindo da RN Origem RNNSC, seguindo a seguinte configuração: do vértice RNNSC até as RRNN RNSF, RNSE, RNNSM, RNNSA, RNCOSPLAN e encerrando o percurso no RNPM (Tabela 4.01). As Figuras 4.10, 4.13, 4.16, 4.21 e 4.24, mostram o perfil vertical de cada trecho levantado.

No primeiro trecho (Figura 4.10), onde começa o processo de medição, com início na Avenida Liberdade, próxima a Igreja Nossa Senhora do Carmo, correspondente à RN RNNSC, e seguiu pela rua Ladeira de São Francisco até a Igreja de São Francisco, correspondente à RNSF. Neste trecho foi percorrido um total de 403,91 m, com um desnível de 22,79334m e com um total de 19 lances (Ver Tabela 4.11).

A Figura 4.12 mostra o trecho percorrido em uma vista aérea do caminhamento realizado, trecho RNNSC à RNSF.

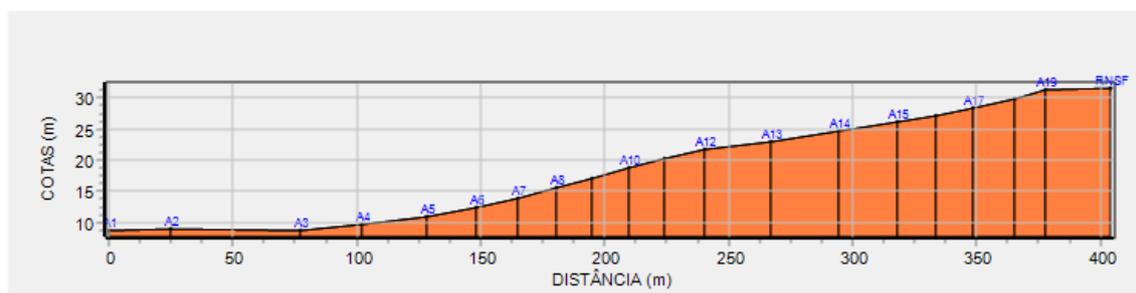


Figura 4.10: Trecho da RNNSC até a RNSF. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20).

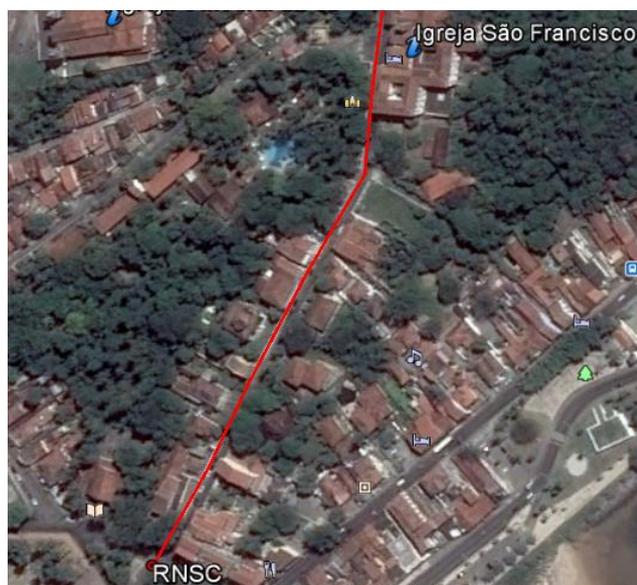


Figura 4.11: Vista aérea do trecho RNNSC à RNSF: Fonte: *Google Earth* (2016).

A Figura 4.12 mostra *in loco* a RNSF.



Figura 4.12: RNSF na calçada da Igreja de São Francisco– Olinda-PE. Foto: 19/10/15

Neste segundo trecho (Figura 4.13), partindo da RNNSC, passando pela RNSF, seguindo pela Rua Bispo Coutinho até a Igreja da Catedral da Sé, correspondente à RNSE. Neste trecho foi percorrido um total de 673,89m e com um desnível bruto de 42,53283m, com um total de 36 lances acumulados (Tabela 4.11).



Figura 4.13: Trecho da RNNSC até a RNSE. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20).

A Figura 4.14 mostra os trechos percorridos em uma vista aérea do caminhamento, trecho RNNSC à RNSE.

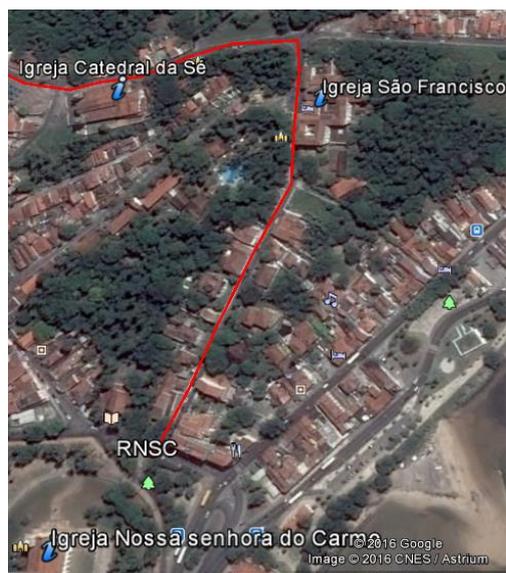


Figura 4.14: Vista aérea do trecho RNSC à RNSE: Fonte: Google Earth (2016).

A Figura 4.15 mostra *in loco* a RNSE.



Figura 4.15: RNSE na calçada da Rua Bispo Coutinho – Olinda-PE. Foto: 19/10/15

O terceiro trecho (Figura 4.16), a partir da RNSC e passando pelas RNSF e RNSE, segue pela Rua Bispo Coutinho, até a Igreja Nossa Senhora da Misericórdia, correspondente a RNSM. Neste trecho foi percorrido um total de 982,27m, com um desnível bruto de 46,34695m e com um total de 45 lances acumulados (ver Tabela 4.11).

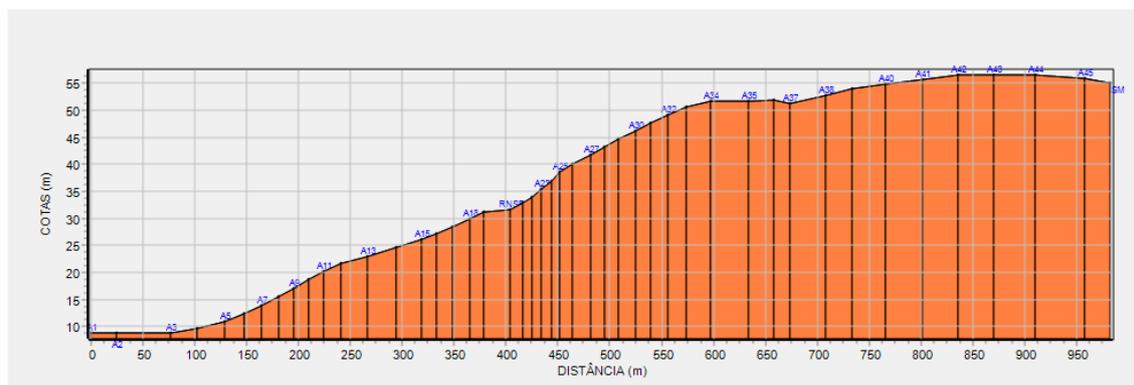


Figura 4.16: Trecho da RNSC até a RNSM. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20).

A Figura 4.17 mostra os trechos percorridos em uma vista aérea do caminhamento, trecho RNNSC à RNNSM.

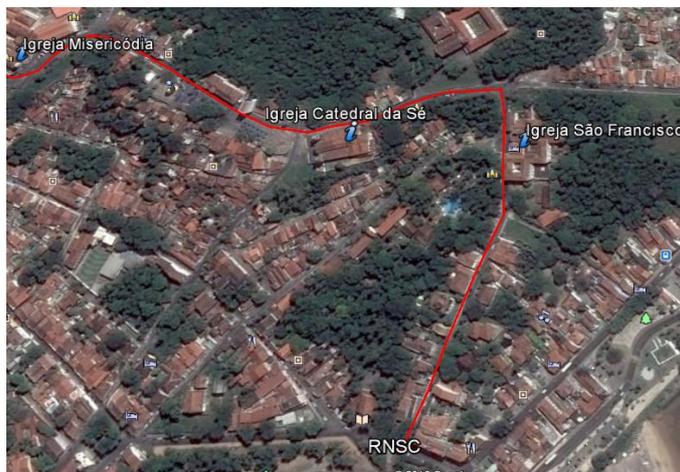


Figura 4.17: Vista aérea do trecho RNNSC à RNNSM: Fonte: Google Earth. (2016).

A Figura 4.18 mostra *in loco* a RNNSM.



Figura 4.18: RNNSM na calçada da Rua Bispo Coutinho – Olinda-PE. Foto: 23/10/15.

O quarto trecho (Figura 4.19), partindo da RNNSC e passando pelos vértices RNSF, RNSE e RNNSM, entrando na Rua Saldanha Marinho até a Igreja Nossa Senhora do Amparo, correspondente à RNNSA. Neste trecho foi percorrido um total de 1262,84m e com um desnível bruto de 21,48293m e com um total de 66 lances acumulados (ver Tabela 4.11).

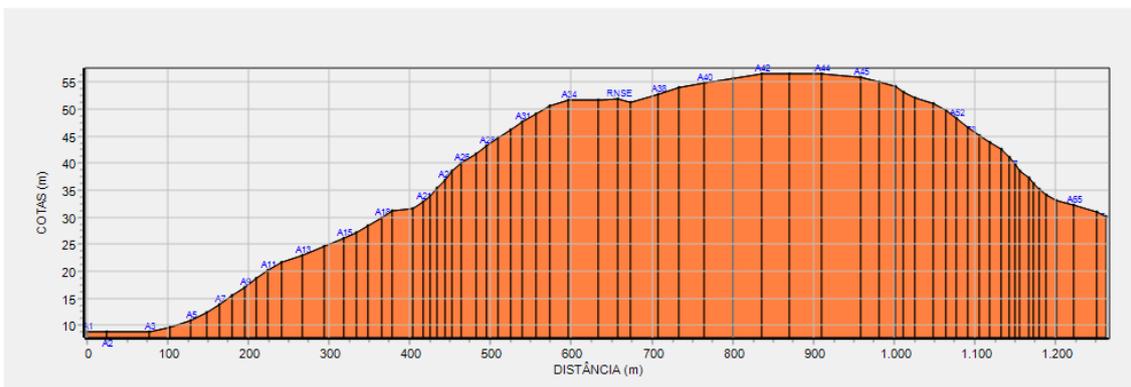


Figura 4.19: Trecho da RNNSC até a RNNSA. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20).

A Figura 4.20 mostra *in loco* a RNNSA.



Figura 4.20: RNNSA na calçada da Rua Saldanha Marinho – Olinda-PE. Foto: 19/10/15

O quinto trecho (Figura 4.21), partindo da RNNSC e passando pelas RNSF, RNSE, RNNSM e RNNSA, até a RNCOSPLAN, que se encontra na porta da Igreja Nossa senhora do Amparo. Neste trecho foi percorrido um total de 1289,50m, possui um desnível bruto de 22,03481m e com um total de 69 lances acumulados (ver Tabela 4.11).

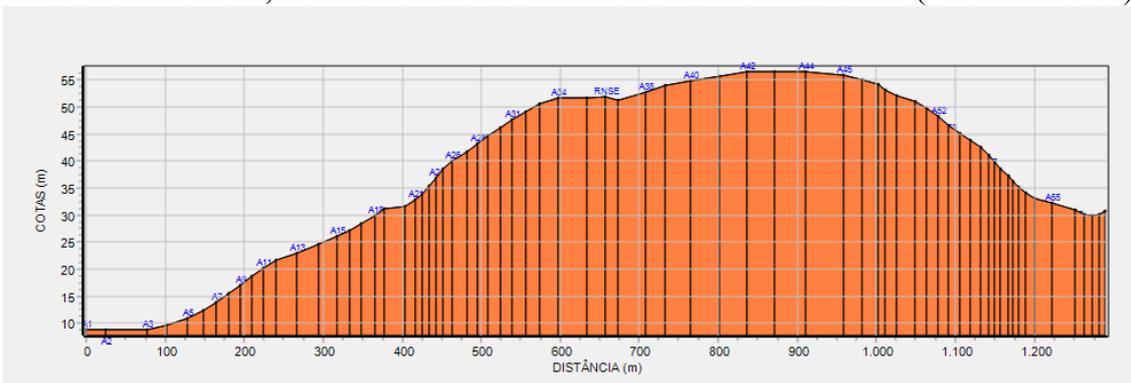


Figura 4.21: Trecho do vértice RNNSC até a RNCOSPLAN. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20).

A (Figura 4.22) mostra em vista aérea todo caminhamento, partindo da RNNSC até a RNPM. A imagem engloba todas as RRNN do percurso realizado. A RNCOSPLAN, pelo seu curto trecho, não aparece na imagem.

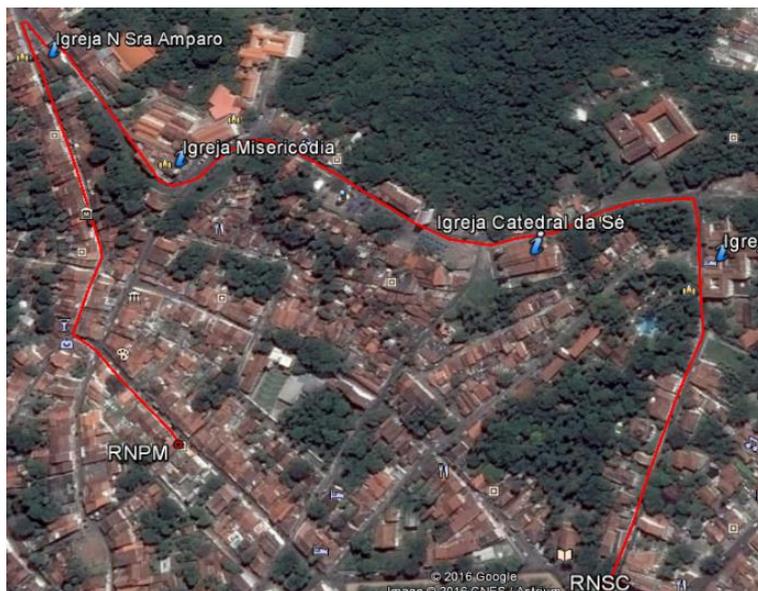


Figura 4.22: Vista aérea do trecho RNNSC à RNNSM: Fonte: Google Earth (2016).

A Figura 4.23 mostra *in loco* a RNCOSPLAN e a mira de ínvar apoiada.



Figura 4.23: RNCOSPLAN, em frente à Igreja Nossa Senhora do Amparo. Foto: 23/10/15.

O último trecho (Figura 4.24), que corresponde ao total nivelado, partindo da RNNSC e passando pelas RNSF, RNSE, RNNSM, RNNSA e RNCOSPLAN, e entrando na Rua do Amparo e seguindo até entrar na Rua Prudente de Moraes, que corresponde a RNPM. Logo, o total percorrido é de 1874,59m, com um desnível bruto de 30,34m e com um total de 94 lances acumulados realizados (ver Tabela 4.15).

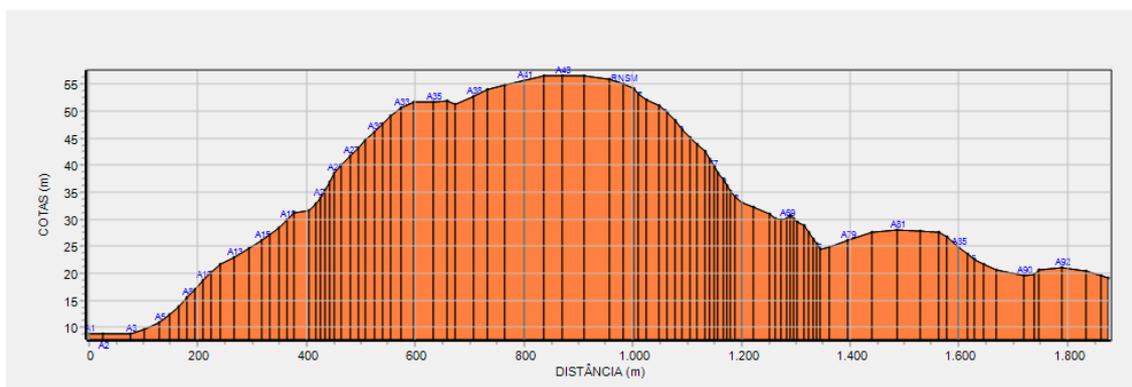


Figura 4.24: Trecho da RNNSC até a RNPM. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20).

Os resultados dos cálculos obtidos, através do *software* AstGeoTop para os vértices implantados são mostrados nas Tabela 4.10 e 4.11.

Tabela 4.10: Trechos referentes as figuras do perfil topográfico. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20)

TRECHO	Nº LANCES	PERCURSO Acumulado (m)	DESNÍVEL bruto (m)
RNNSC-RNSF	19	403,91	22,79344
RNNSC-RNSE	36	673,89	42,53283
RNNSC-RNNSM	45	982,27	46,34695
RNNSC-RNNSA	66	1262,84	21,48293
RNNSC-COSPLAN	69	1289,5	22,03481
RNNSC-RNPM	94	1874,59	10,34132

Tabela 4.11: Altitudes brutas calculadas. Fonte: AstGeoTop (2014.04.20)

RN	ALTITUDES brutas (m)
RNSF	31,51584
RNSE	51,25523
RNNSM	55,06934
RNNSA	30,20533
RNCOSPLAN	30,75721

Para fins de comparação, os resultados obtidos através dos métodos empregados, nos *softwares* empregados, Octave e AstGeoTop, tem-se a (Tabela 4.12). Os valores utilizados são os brutos para os dois sistemas programados no Octave (Tabela 4.5) e AstGeoTop (Tabela 4.11).

Tabela 4.12: diferença entre os cálculos do Octave e AstGeoTop das RRNN brutas

RN	Diferença
RNSF	-5E-06
RNSE	-1E-05
RNNSM	-5E-06
RNNSA	1,5E-05
RNCOSPLAN	2E-05

4.3.2 Processo de Medição Planialtimétrica com Estação Total: Medição, Processamento e Análise

Neste transporte de coordenadas planialtimétricas foi utilizado a estação Total da Topcon GPT 3200N/NW (cf. 3.2). Empregou-se o método do nivelamento trigonométrico com visadas curtas e unilaterais (cf. 3.2.2) em conjunto com o método da poligonação (cf. 3.3.1) e o método da irradiação (cf. 3.3.2).

O processo de medição da poligonal teve início no dia 27/11/2015, nas proximidades do Mercado da Ribeira, localizado na Rua Bernardo Vieira de Melo, onde está a RNMR, implantada e determinada em (SOUZA, 2012) e os vértices BVM, MR e EB105, cujas coordenadas são conhecidas e determinadas em (GAMA, 2008). As coordenadas estão apresentadas na (Tabela 4.16). Estes vértices foram utilizados para determinar o Azimute inicial da poligonal a partir do vértice BVM com visada para o vértice MR.

A poligonal foi implantada no sentido anti-horário, com a primeira estação posicionada em BVM. A visada RÉ foi realizada para o vértice MR e para o transporte de altura foi visualizada a RNMR. A visada VANTE foi realizada para o vértice RSB-328. A (Figura 4.25) mostra este início de medição.

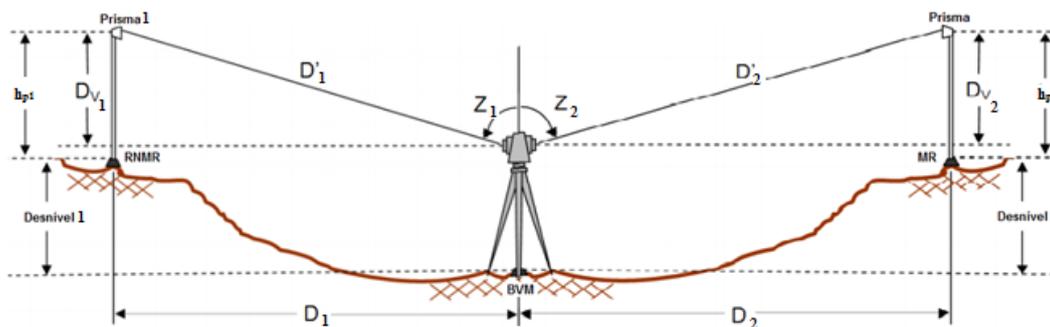


Figura 4.25: Procedimento em campo para a primeira Estação. Fonte: Adaptada Nadal (2000).

Todas as visadas foram realizadas em prismas, posicionados verticalmente, nos pontos definidos pelas hastes e nos pontos irradiados. O bastão do prisma era auxiliado por um tripé e um suporte prendia o bastão ao tripé, garantindo que estivesse fixo durante toda leitura (ver Figura 4.26).



Figura 4.26: Bastão apoiado, calçada da Rua Bispo Coutinho – Olinda-PE. Foto: 27/11/2015.

Antes de posicionar a Estação Total no tripé, um breve ajuste, grosseiro, era feito ao tripé para que o mesmo, ao olho nu, estivesse centrado no ponto de interesse e horizontalizado. Em seguida, a Estação era posicionada em cima do tripé, fixada e se utilizando dos parafusos calantes a bolha do nível tubular era ajustada até que estivesse centrada, também observando a prumagem a LASER posicionada em baixo do instrumento para garantir que o centro do instrumento estivesse perfeitamente alinhado com o vértice implantado (ver Figura 4.27).



Figura 4.27: Calçada da Rua Amparo – Olinda-PE. Foto: 27/11/2015.

Após todo processo de instalação, tanto da Estação Total como do prisma, ambos, estando corretamente fixadas, com a Estação Total, podendo está ligada ou não, é girada até visualizar o prisma, em seguida, a estação Total é travada em sua base, não sendo mais possível o livre movimento, logo, a luneta é direcionada para a posição mais baixa do bastão que se possa enxergar, se for possível, até a ponta do bastão, neste momento a luneta também é travada e o ajuste fino é realizado tanto com o movimento horizontal como no movimento da luneta até a cruz filar da luneta esteja centralizada com o bastão.

A Estação Total é zerada, e no *display* é anotado o ângulo horizontal correspondente. Após isso, a luneta destravada e direcionada até uma posição próxima ao centro prisma, então, trava-se novamente a luneta e com o ajuste fino a cruz filar é fixado na linha central do prisma. Seguindo, são dados os comandos do aparelho para leitura, e no *display* são exibidos os valores para o ângulo horizontal, ângulo vertical, distância inclinada. Devido ao movimento de baixo para cima, feito pela luneta, o ângulo horizontal pode ser, levemente, diferente, mas, não importa, este é desconsiderado. Anota-se apenas a leitura do ângulo vertical e da distância inclinada são anotadas.

O primeiro procedimento é para a leitura em RÉ e para o segundo procedimento, leitura a VANTE, a Estação Total é apenas girada, depois que destravar, até a visada da posição do segundo ponto, ou seja, a VANTE. Para esta medição o procedimento é praticamente o mesmo, com a diferença que não é zerado e todos os valores lidos são anotados.

Em Todos os lances desta poligonal eram feitos duas séries de leituras em posição direta (PD) e duas na posição indireta (PI), isso evita que nestas medições haja erros de leitura, caso as duas medidas estejam discrepantes, uma nova medida será realizada para confrontar, este processo eliminar erros grosseiros. Nas leituras em PI a Estação Total, destravada, era rotacionada em 180° na horizontal é de 360° na vertical da luneta.

Ao finalizar as visadas RÉ e VANTE da estação, incluindo os pontos irradiados, a Estação Total era desligada e se utilizando de uma trena a altura do instrumento era medida e anotada, a altura do prisma era pré-definida antes de sua implantação, também anotada. O equipamento era então removido e colocado no vértice seguinte, onde antes está o prisma da leitura VANTE. Todo processo se repetia em todos os vértices seguintes

Com um total de 5 dias de levantamento, desde a implantação das hastes metálicas, uma poligonal foi construída possuindo um total de 28 vértices, contendo 8 pontos irradiados e um percurso caminhado de aproximadamente de 2km. Essas irradiações são as seguintes: **RNMR –Referência de Nível Mercado da Ribeira, RNPO – Referência de Nível Prefeitura de Olinda, RNSP – Referência de Nível Igreja de São Pedro, RNNSC – Referência de Nível Igreja Nossa Senhora do Carmo, RNSF – Referência de Nível Igreja de São Francisco, RNSE – Referência de Nível Igreja Catedral da Sé, RNNSM –Referência de Nível Igreja Nossa Senhora da Misericórdia, RNLM – Referência de Nível Ladeira da Misericórdia.** A (Tabela 4.13) mostra as datas e os tipos de atividades realizadas.

Tabela 4.13: Datas e atividades

Data	Atividades
25/11/2015	Materialização das Hastes metálicas
27/11/2015	Levantamento Planialtimétrico
03/12/2015	Levantamento Planialtimétrico
15/12/2015	Materialização dos pontos
17/12/2015	Levantamento Planialtimétrico

4.3.2.1 Processo de Implantação das Hastes de Apoio

Antes de iniciar o levantamento planialtimétrico com a Estação Total, foi necessário implantar hastes metálicas no caminho que seria percorrido. A escolha dos locais que seriam utilizados para implantar as hastes foi baseada nas características dos locais. Deste modo ao se implantar a haste, esta, deveria ter visibilidade para o vértice anterior e para o vértice seguinte da poligonal a ser implantada. A haste foi posta entre as fendas do meio fio da calçada. Então, respeitado os critérios e com o auxílio de uma marreta a haste era fincada com sua ponta até o nível do meio fio, com um *spray* de tinta, na cor amarela, a ponta era pintada para gerar contraste com o solo. Em seguida a haste recebia um nome de acordo com a referência do local, podendo ser da rua, casa ou outro ponto de referência (ver Figura 4.28).



Figura 4.28: Haste de apoio implantada numa rua qualquer – Olinda-PE. Foto: 25/11/2015.

Foi feito um croqui com a localização contendo as seguintes informações: Nome da rua, posição da haste em relação a uma referência local, podendo ser placa, poste casa, orelhão (SANTANA NETO, 2015).

Mesmo com a implantação de várias hastes, foram aproveitadas outras que já existiam, da campanha Planialtimétrica realizada em (SOUZA, 2012).

4.3.2.2 Processo de Execução dos Cálculos do Nivelamento Trigonométrico no *software* Excel

a) Critérios de Aceitação das visadas PD e PI

Foram realizadas duas séries de leituras conjugadas PD e PI para um mesmo alinhamento, verificando-se se os resultados repetidos das direções horizontais e ângulos verticais estavam dentro do limite de tolerância de 15", ou seja, 3 vezes a precisão angular do equipamento utilizado. Neste sentido, se a diferença entre a primeira medida com a segunda for superior a 15", a leitura deveria ser repetida até que houvesse duas leituras dentro da tolerância preestabelecida.

4.3.2.3 Processo de Execução dos Cálculos da Poligonação e irradiação 3D no Software Excel

Os dados com todas as medições realizadas em campo foram digitalizados em planilhas Excel, duas exatamente, uma com as irradiações e outra com apenas a primeira irradiação, esta contendo a altitude de partida. O objetivo é automatizar e simplificar os cálculos necessários para o nivelamento planimétrico e altimétrico.

Para o início do processo de cálculo, os ângulos PD e PI foram convertidos para graus decimais e posteriormente, para os ângulos horizontais, foi feito a média entre os valores PD e PI de cada lance, com a seguinte condição, se PD for maior que PI, então, soma-se PD com PI e subtrai 180 e divide por 2, se PD for menor que PI, PD é somado com PI e somado com 180 e dividido por 2. Para o ângulo Vertical a média é simplesmente, a diferença de PD e PI somada com 360° dividido por 2. A distância inclinada também são medidas 4 vezes para o mesmo ponto e sua média é simples de 4 números.

Após o cálculo das médias entre PD e PI, alguns ângulos horizontais ficaram negativos e a seguinte condição de ajuste foi feita: se o ângulo horizontal for menor que 0° (ou seja negativo), soma-se 360°, caso contrário, permanece como está.

Como, inicialmente, tinha-se 4 visadas para mesmo ponto 2 PDs e 2 PIs, a primeira média retorna ainda 2 medidas para o mesmo lance, deste modo, uma nova média foi feita e obtendo um resultado único do ponto. Por média simples de dois números, mas, caso a diferença entre os 2 valores forem superiores a 1, por exemplo, o cálculo da média deveria ser feito subtraindo a soma dos dois de 360° e o resultado dividido por 2. E para a média do ângulo vertical, apenas a soma de dois valores, do mesmo ponto, dividido por 2.

O ângulo médio entre os lances de cada ponto visado foi calculado da diferença do ângulo da RÉ com o ângulo VANTE, ao modo que, após o fechamento da poligonal soma de todos esses ângulos internos retornou uma pequena diferença em relação ao polígono de mesma quantidade de lados. A (Tabela 4.14) apresenta os valores dos ângulos internos.

Tabela 4.14: Ângulos internos, não ajustados. Fonte: Excel (2013)

ESTAÇÃO	>>	P. VISADO	ÂNGULOS		
BVM	>>	RSB-328	165°	19'	48,25"
RSB-328	>>	RSB-APM	209°	8'	42,25"
RSB-APM	>>	RSB-PRF	168°	36'	39,75"
RSB-PRF	>>	R27J-211	62°	13'	17,75"
R27J-211	>>	R27J-IGR	147°	16'	47,75"
R27J-IGR	>>	CASA43	219°	13'	41,25"
CASA43	>>	TVS27J	168°	54'	31,25"
TVS27J	>>	FOCCA	232°	39'	13,75"
FOCCA	>>	CARMO	231°	57'	5,00"
CARMO	>>	INSC	108°	22'	46,25"
INSC	>>	RSF24	175°	32'	47,50"
RSF24	>>	RSF157	130°	51'	46,50"
RSF157	>>	7COL	185°	42'	24,50"
7COL	>>	ISF1	150°	8'	27,50"
ISF1	>>	ISF2	199°	18'	38,00"
ISF2	>>	SOA01	160°	40'	46,25"
SOA01	>>	ORELHAO	82°	42'	15,25"
ORELHAO	>>	RBC-541	154°	41'	21,00"
RBC-541	>>	RBC-SE	208°	37'	47,50"
RBC-SE	>>	RBC-MS	205°	7'	52,25"
RBC-MS	>>	RBC-814	197°	46'	59,75"
RBC-814	>>	RBC-IT	116°	9'	57,25"
RBC-IT	>>	IGRM	189°	1'	10,50"
IGRM	>>	LMC-86	126°	56'	8,75"
LMC-86	>>	LMC-28	189°	30'	55,50"
LMC-28	>>	EB105	165°	56'	32,00"
EB105	>>	MR	155°	18'	22,75"
MR	>>	BVM	172°	11'	39,25"

O erro de fechamento angular é de: 1' 34.75", e como número total de vértices da poligonal sendo 28, a correção a angular foi de: ~3.38". A (Tabela 4.15) mostra os novos valores para os ângulos internos médios corrigidos:

Tabela 4.15: Ângulos internos corrigidos. Fonte: Excel (2013)

ESTAÇÃO	>>	P. VISADO	ÂNGULOS		
BVM	>>	RSB-328	165°	19'	51,63"
RSB-328	>>	RSB-APM	209°	8'	45,63"
RSB-APM	>>	RSB-PRF	168°	36'	43,13"
RSB-PRF	>>	R27J-211	62°	13'	21,13"
R27J-211	>>	R27J-IGR	147°	16'	51,13"
R27J-IGR	>>	CASA43	219°	13'	44,63"
CASA43	>>	TVS27J	168°	54'	34,63"
TVS27J	>>	FOCCA	232°	39'	17,13"
FOCCA	>>	CARMO	231°	57'	8,38"
CARMO	>>	INSC	108°	22'	49,63"
INSC	>>	RSF24	175°	32'	50,88"
RSF24	>>	RSF157	130°	51'	49,88"
RSF157	>>	7COL	185°	42'	27,88"
7COL	>>	ISF1	150°	8'	30,88"
ISF1	>>	ISF2	199°	18'	41,38"
ISF2	>>	SOA01	160°	40'	49,63"
SOA01	>>	ORELHAO	82°	42'	18,63"
ORELHAO	>>	RBC-541	154°	41'	24,38"
RBC-541	>>	RBC-SE	208°	37'	50,88"
RBC-SE	>>	RBC-MS	205°	7'	55,63"
RBC-MS	>>	RBC-814	197°	47'	3,13"
RBC-814	>>	RBC-IT	116°	10'	0,63"
RBC-IT	>>	IGRM	189°	1'	13,88"
IGRM	>>	LMC-86	126°	56'	12,13"
LMC-86	>>	LMC-28	189°	30'	58,88"
LMC-28	>>	EB105	165°	56'	35,38"
EB105	>>	MR	155°	18'	26,13"
MR	>>	BVM	172°	11'	42,63"

A distância total do caminho percorrido foi obtida pela soma das médias de cada visada sobre o mesmo vértice.

O Azimute inicial, determinado pelos vértices BVM e RSB-328, mostrados na (Tabela 4.16) e os demais azimutes dos alinhamentos foram determinados. A (Tabela 4.17) mostra os respectivos azimutes calculados.

Tabela 4.16: Valores das coordenadas topocêntricas Locais SIRGAS2000 para as irradiações. Fonte: (SOUZA, 2012).

ESTAÇÃO	X	Y
BVM	149872,5440	149900,0288
RSB-328	249900,0270	249860,0484

Tabela 4.17: Azimutes dos alinhamentos da poligonal. Fonte: Excel (2013)

ESTAÇÃO	>>	P. VISADO	AZIMUTES		
BVM	>>	RSB-328	145°	29'	31,03"
RSB-328	>>	RSB-APM	174°	38'	16,66"
RSB-APM	>>	RSB-PRF	163°	14'	59,79"
RSB-PRF	>>	R27J-211	45°	28'	20,93"
R27J-211	>>	R27J-IGR	12°	45'	12,06"
R27J-IGR	>>	CASA43	51°	58'	56,69"
CASA43	>>	TVS27J	40°	53'	31,33"
TVS27J	>>	FOCCA	93°	32'	48,46"
FOCCA	>>	CARMO	145°	29'	56,85"
CARMO	>>	INSC	73°	52'	46,48"
INSC	>>	RSF24	69°	25'	37,36"
RSF24	>>	RSF157	20°	17'	27,25"
RSF157	>>	7COL	25°	59'	55,13"
7COL	>>	ISF1	356°	8'	26,02"
ISF1	>>	ISF2	375°	27'	7,40"
ISF2	>>	SOA01	356°	7'	57,03"
SOA01	>>	ORELHAO	258°	50'	15,67"
ORELHAO	>>	RBC-541	233°	31'	40,05"
RBC-541	>>	RBC-SE	262°	9'	30,94"
RBC-SE	>>	RBC-MS	287°	17'	26,57"
RBC-MS	>>	RBC-814	305°	4'	29,70"
RBC-814	>>	RBC-IT	241°	14'	30,34"
RBC-IT	>>	IGRM	250°	15'	44,22"
IGRM	>>	LMC-86	197°	11'	56,36"
LMC-86	>>	LMC-28	206°	42'	55,24"
LMC-28	>>	EB105	192°	39'	30,62"
EB105	>>	MR	167°	57'	56,76"
MR	>>	BVM	160°	9'	39,39"

Em seguida são calculadas as projeções parciais X e Y. A (Tabela 4.18) apresenta as distâncias médias horizontais entre os vértices e as projeções parciais.

Tabela 4.18: Distâncias e projeções parciais dos vértices. Fonte: Excel (2013)

ESTAÇÃO	>>	P. VISADO	Distância Horizontal (m)	PROJEÇÕES PARCIAIS X e Y (m)	
BVM	>>	RSB-328	51,5748	27,4847	-39,9785
RSB-328	>>	RSB-APM	48,5149	13,9516	-148,6431
RSB-APM	>>	RSB-PRF	149,2964	12,5514	-41,7036
RSB-PRF	>>	R27J-211	43,5514	30,1194	29,6267
R27J-211	>>	R27J-IGR	42,2483	14,6250	64,6155
R27J-IGR	>>	CASA43	66,2499	78,8735	61,6617
CASA43	>>	TVS27J	100,1159	31,3640	36,2178
TVS27J	>>	FOCCA	47,9107	143,1675	-8,8739
FOCCA	>>	CARMO	143,4422	14,3651	-20,9007
CARMO	>>	INSC	25,3613	44,0029	12,7178
INSC	>>	RSF24	45,8039	57,5627	21,6054
RSF24	>>	RSF157	61,4837	49,3736	133,5393
RSF157	>>	7COL	142,3745	35,1559	72,0846
7COL	>>	ISF1	80,2006	-3,1185	46,2265
ISF1	>>	ISF2	46,3316	8,5316	30,8643
ISF2	>>	SOA01	32,0217	-4,8637	71,9453
SOA01	>>	ORELHAO	72,1095	-98,0349	-19,3444
ORELHAO	>>	RBC-541	99,9252	-34,5142	-25,5132
RBC-541	>>	RBC-SE	42,9203	-65,0109	-8,9533
RBC-SE	>>	RBC-MS	65,6246	-86,8400	27,0322
RBC-MS	>>	RBC-814	90,9502	-103,5863	72,7340
RBC-814	>>	RBC-IT	126,5716	-25,8731	-14,1993
RBC-IT	>>	IGRM	29,5134	-97,4070	-34,9491
IGRM	>>	LMC-86	103,4871	-23,1667	-74,8443
LMC-86	>>	LMC-28	78,3478	-26,0200	-51,7005
LMC-28	>>	EB105	57,8790	-20,8960	-93,0371
EB105	>>	MR	95,3549	10,5812	-49,6347
MR	>>	BVM	50,7500	17,5034	-48,5138

Após as projeções parciais serem calculadas, o erro $\sum \Delta X$ em X foi de -0,1181m e o erro $\sum \Delta Y$ em Y foi de 0,0815m, logo, pelo método tradicional de correção, o erro de fechamento linear foi de 0,14347m e a distribuição dos erros foram aplicadas nas projeções e as coordenadas finais topocêntricas foram calculadas (Tabela 4.19). O perímetro da poligonal foi de 2039,9150 m.

Tabela 4.19: Coordenadas topocêntricas locais dos vértices implantados. Sistema Geodésico de Referência SIRGAS2000. Fonte: Excel (2013)

ESTAÇÃO	>>	P. VISADO	Coordenadas Finais X e Y (m)	
BVM	>>	RSB-328	149872,5440	249900,0270
RSB-328	>>	RSB-APM	149900,0316	249860,0465
RSB-APM	>>	RSB-PRF	149913,9917	249711,3975
RSB-PRF	>>	R27J-211	149926,5457	249669,6922
R27J-211	>>	R27J-IGR	149956,6675	249699,3172
R27J-IGR	>>	CASA43	149971,2963	249763,9300
CASA43	>>	TVS27J	150050,1755	249825,5877
TVS27J	>>	FOCCA	150081,5424	249861,8036
FOCCA	>>	CARMO	150224,7182	249852,9240
CARMO	>>	INSC	150239,0847	249832,0223
INSC	>>	RSF24	150283,0903	249844,7383
RSF24	>>	RSF157	150340,6565	249866,3412
RSF157	>>	7COL	150390,0383	249999,8748
7COL	>>	ISF1	150425,1989	250071,9563
ISF1	>>	ISF2	150422,0831	250118,1809
ISF2	>>	SOA01	150430,6165	250149,0439
SOA01	>>	ORELHAO	150425,7570	250220,9863
ORELHAO	>>	RBC-541	150327,7279	250201,6378
RBC-541	>>	RBC-SE	150293,2162	250176,1229
RBC-SE	>>	RBC-MS	150228,2091	250167,1670
RBC-MS	>>	RBC-814	150141,3743	250194,1956
RBC-814	>>	RBC-IT	150037,7953	250266,9245
RBC-IT	>>	IGRM	150011,9239	250252,7240
IGRM	>>	LMC-86	149914,5228	250217,7708
LMC-86	>>	LMC-28	149891,3606	250142,9233
LMC-28	>>	EB105	149865,3440	250091,2205
EB105	>>	MR	149844,4535	249998,1796
MR	>>	BVM	149855,0376	249948,5428

4.3.2.4 Processo de Execução dos Cálculos da Irradiação no *Software Excel*

Para o cálculo das Irradiações o procedimento é análogo ao construído na planilha sem as irradiações (Figura 3.7), a diferença é a inserção dos pontos irradiados, a (Figura 3.8) mostra parte do procedimento adotado.

Com base nos cálculos, as coordenadas das irradiações e altitudes, determinadas a partir do vértice que se encontra a Estação, são apresentadas na (Tabela 4.20) e o resultado final, considerando a média simples dos valores finais descritas na (Tabela 4.21)

Tabela 4.20: Coordenadas Topocêntricas Locais e Altitudes calculadas das RRNN no Sistema Geodésico SIRGAS2000. Fonte: Excel (2013)

RN	Coordenadas Finais		H (m)
	X (m)	Y (m)	
RNMR	149858,5272	249933,6777	31,9088
RNPO	149926,3594	249681,7273	23,5296
RNPO	149926,3707	249681,7112	23,5297
RNSP	150048,1269	249845,0597	12,6949
RNSP	150048,1197	249845,0714	12,6907
RNNSC	150260,6495	249856,5085	8,6879
RNNSC	150260,6406	249856,5158	8,6859
RNSF	150430,1643	250167,1808	31,5036
RNSF	150430,1688	250167,1927	31,4935
RNSF	150430,1737	250167,1737	31,4966
RNSE	150213,6672	250153,2384	51,2532
RNSE	150213,675	250153,2375	51,2540
RNNSM	149949,4371	250246,2114	55,0736
RNNSM	149949,4255	250246,2039	55,0717
RNLM	149888,4997	250134,5235	27,5840
RNLM	149888,5043	250134,5126	27,5831
RNMR	149858,5273	249933,6879	31,9194

Tabela 4.21: Coordenadas Topocêntricas Locais e Altitudes finais com o método do nivelamento trigonométrico das RRNN no Sistema Geodésico SIRGAS2000. Fonte: Excel (2013)

RN	Coordenadas Finais		H (m)
	X (m)	Y (m)	
RNMR	149858,5273	249933,683	31,9141
RNPO	149926,3651	249681,719	23,52965
RNSP	150048,1233	249845,066	12,69281
RNNSC	150260,6451	249856,512	8,686904
RNSF	150430,1689	250167,182	31,49788
RNSE	150213,6711	250153,238	51,25361
RNNSM	149949,4313	250246,208	55,07268
RNLM	149888,5020	250134,518	27,58354

a) Processamento das Altitudes e dos Desníveis da Poligonal pelo Método do Nivelamento Trigonométrico para Visadas Curtas e Unilaterais

Processamento realizado em duas planilhas Excel, uma planilha com as irradiações e outra sem as irradiações, Tabelas 4.20 e 4.27, respectivamente. O objetivo da separação

dos cálculos é apenas para facilitar o processamento dos dados e a exibição dos resultados.

A primeira visada foi na RN de altitude conhecida, correspondente a **RNMR – Referência de Nível do Mercado da Ribeira**. Logo, com os valores obtidos das médias, do ângulo vertical, distância inclinada, altura do prisma e do instrumento, o desnível da RNMR foi calculado, neste caso, em relação ao vértice BVM. E a partir de BVM, foi calculado a altitude do vértice MR, referente ao último vértice da poligonal e a altitude do vértice RSB-328, referente ao segundo vértice da poligonal. A (Figura 4.25) ilustra o procedimento de leitura em campo no qual se baseou o cálculo para a primeira Estação.

Nos cálculos dos vértices subsequentes o processo é análogo, entretanto, a forma de cálculo se desenvolve sobre duas condições: a primeira considera que o instrumento está posicionado no vértice de altitude conhecida e faz a leitura no prisma do vértice de altitude desconhecida (Figura 4.28); a segunda considera que o instrumento está posicionado no vértice de altitude desconhecida e faz a leitura no prisma do vértice de altitude conhecida (Figura 4.29). Nas duas formas de cálculo o sentido do Nivelamento Trigonométrico é anti-horário. Também, o cálculo em sentido horário foi feito para fins de comparação ao menor erro e segue o conceito do instrumento posicionado no vértice de altitude desconhecida.

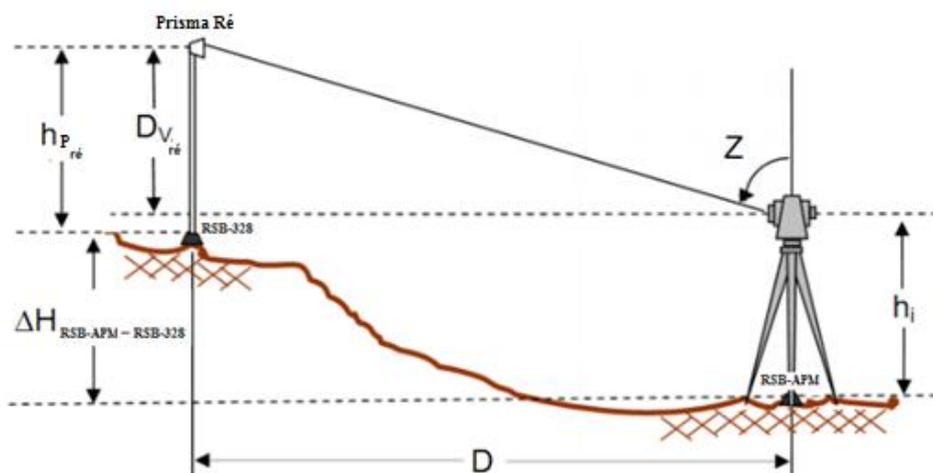


Figura 4.28: Procedimento de leitura e cálculo a partir de um vértice desconhecido.
Fonte Nadal (2000).

A equação (7) apresenta o cálculo das altitudes utilizando o segundo procedimento;

$$\text{Altitude (RSB-APM)} = \text{Altitude (RSB-328)} - \Delta H (\text{RSB-APM: RSB-328}) \quad (7)$$

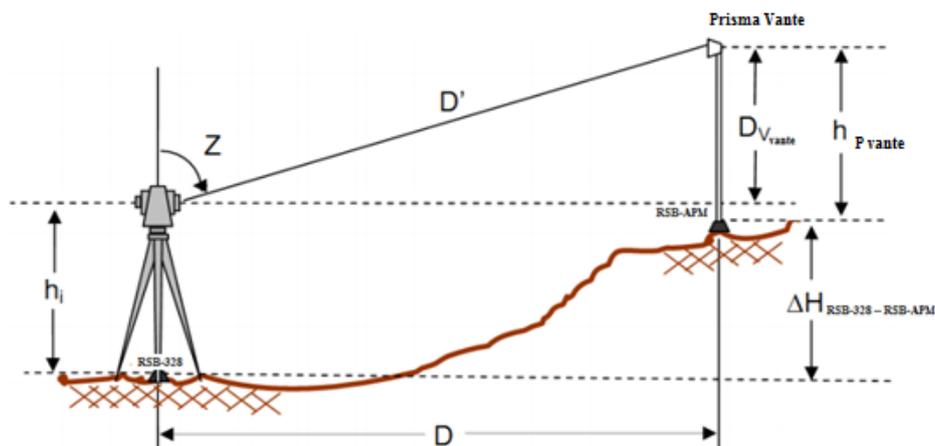


Figura 4.29: Procedimento de leitura e cálculo a partir de um vértice conhecido. Fonte: Adaptada Nadal (2000).

A equação (8) apresenta o cálculo das altitudes utilizando o primeiro procedimento.

$$\text{Altitude (RSB-APM)} = \text{Altitude (RSB-328)} + \Delta H \text{ (RSB-APM: RSB-328)} \quad (8)$$

São dados previamente estabelecidos ou calculados:

Z = Ângulo zenital;

D = Distância horizontal;

D' = Distância inclinada;

H_p = Altura do alvo;

h_i = Altura do instrumento;

D_v = Distância vertical;

ΔH = Desnível.

A partir dos procedimentos de cálculos, o método descrito a partir da (Figura 4.30), em sentido anti-horário o erro obtido foi de 0,0057 m e para o sentido horário foi de -0,0074 m, e o método descrito pela (Figura 4.31) o erro foi de -0,0146 m. Logo, o melhor método corresponde ao do menor erro: 0,0057 m. As Tabelas 4.22 e 4.23 listam os valores das altitudes para os pontos de apoio (vértices da poligonal) e as RRNN preexistentes e implantadas, respectivamente, levantadas pelo método de nivelamento trigonométrico.

Tabela 4.22: Altitudes dos vértices da poligonal pelo método do nivelamento trigonométrico – Primeiro procedimento. Fonte: Excel.

Ponto	Altitude (m)
BVM	31,3470
MR	31,4518
RSB-328	29,1799
RSB-APM	24,9030
RSB-PRF	22,7748
R27J-211	20,5196
R27J-IGJ	17,0699
CASA43	12,6645
TVS27J	10,1856
FOCCA	8,7935
CARMO	7,6627
NSC	8,2047
RSF24	8,5182
RSF157	20,5035
7COL	25,3660
ISF1	29,0087
ISF2	31,4643
SOA01	38,2505
ORELHAO	47,8309
RBC-541	51,2052
RBC-SE	51,7766
RBC-MS	54,5514
RBC-814	56,3786
RBC-INT	56,2773
IGRM	52,1164
LMC-86	29,2395
LMC-28	23,3110
EB105	28,0023
MR	31,4576

A partir das altitudes dos vértices foram calculadas as altitudes médias das irradiações e os valores obtidos são apresentados na (Tabela 4.23). As irradiações de pelo menos 2 vértices. O resultado final, considerando a média simples dos valores finais descritas na (Tabela 4.24).

Tabela 4.23: Altitudes médias para as irradiações pelo método do nivelamento trigonométrico – Primeiro procedimento. Fonte: Excel 2013

ESTAÇÃO	>>	P. Visado	Altitude (m)
BVM	>>	RNMR	31,9088
RCB-APM	>>	RNPO	23,5296
RSB-PRF	>>	RNPO	23,5297
CASA43	>>	RNSP	12,6949
TVS27J	>>	RNSP	12,6907
CARMO	>>	RNNSC	8,6879
NSC	>>	RNNSC	8,6859
ISF1	>>	RNSF	31,5036
ISF2	>>	RNSF	31,4935
SOA01	>>	RNSF	31,4966
RBC-SE	>>	RNSE	51,2532
RBC-MS	>>	RNSE	51,2540
RBC-INT	>>	RNNSM	55,0736
IGRM	>>	RNNSM	55,0717
LCM-86	>>	RNLM	27,5840
LCM-28	>>	RNLM	27,5831
MR	>>	RNMR	31,9194

Tabela 4.24: Coordenadas Topocêntricas Locais e Altitudes, finais, das RRNN no Sistema geodésico SIRGAS2000. Fonte: Excel (2013)

RN	Coordenadas Finais		H
	X	Y	
RNMR	149858,5273	249933,683	31,9141
RNPO	149926,3651	249681,719	23,52965
RNSP	150048,1233	249845,066	12,69281
RNNSC	150260,6451	249856,512	8,686904
RNSF	150430,1689	250167,182	31,49788
RNSE	150213,6711	250153,238	51,25361
RNNSM	149949,4313	250246,208	55,07268
RNLM	149888,5020	250134,518	27,58354

Soma dos ângulos = 4679°58'27,4"

Perímetro = 2039,916

QUANTIDADES DE FECHAMENTO DA POLIGONAL

Erro fechamento angular = - 0°01'32,6"

Erros lineares sem compensação angular

Erro em X = -0,0786

Erro em Y = -0,0289

Erro em h = -0,0015

Erro Linear Horizontal = 0,0838

Precisão Relativa = 1/24347,17

Tabela 4.25: Resultados obtidos para os vértices. Fonte: AstGeoTop Versão: 2013.08.25

ESTAÇÃO	>>	P. VISADO	Ângulo	Distância (m)	Azimute
BVM	>>	RSB-328	165° 19' 48,2"	48,515	145° 29' 31,0"
RSB-328	>>	RSB-APM	209° 08' 42,2"	149,298	174° 38' 13,2"
RSB-APM	>>	RSB-PRF	168° 36' 39,7"	43,551	163° 14' 52,9"
RSB-PRF	>>	R27J-211	62° 13' 17,7"	42,248	45° 28' 10,6"
R27J-211	>>	R27J-IGR	147° 16' 47,7"	66,25	12° 44' 58,3"
R27J-IGR	>>	CASA43	219° 13' 41,3"	100,115	51° 58' 39,6"
CASA43	>>	TVS27J	168° 54' 29,2"	47,911	40° 53' 08,8"
TVS27J	>>	FOCCA	232° 39' 13,8"	143,441	93° 32' 22,6"
FOCCA	>>	CARMO	231° 57' 05,0"	25,361	145° 29' 27,6"
CARMO	>>	INSC	108° 22' 46,3"	45,804	73° 52' 13,9"
INSC	>>	RSF24	175° 32' 47,5"	61,484	69° 25' 01,4"
RSF24	>>	RSF157	130° 51' 46,5"	142,376	20° 16' 47,9"
RSF157	>>	7COL	185° 42' 24,5"	80,201	25° 59' 12,4"
7COL	>>	ISF1	150° 08' 27,0"	46,331	356° 07' 39,4"
ISF1	>>	ISF2	199° 18' 38,0"	32,022	15° 26' 17,4"
ISF2	>>	SOA01	160° 40' 47,0"	72,109	356° 07' 04,4"
SOA01	>>	ORELHAO	82° 42' 15,3"	99,928	258° 49' 19,7"
ORELHAO	>>	RBC-541	154° 41' 21,0"	42,92	233° 30' 40,7"
RBC-541	>>	RBC-SE	208° 37' 47,5"	65,624	262° 08' 28,2"
RBC-SE	>>	RBC-MS	205° 07' 52,2"	90,95	287° 16' 20,4"
RBC-MS	>>	RBC-814	197° 47' 02,7"	126,572	305° 03' 23,1"
RBC-814	>>	RBC-IT	116° 09' 56,2"	29,514	241° 13' 19,3"
RBC-IT	>>	IGRM	189° 01' 10,5"	103,484	250° 14' 29,8"
IGRM	>>	LMC-86	126° 56' 08,8"	78,348	197° 10' 38,6"
LMC-86	>>	LMC-28	189° 30' 55,5"	57,879	206° 41' 34,1"
LMC-28	>>	EB105	165° 56' 32,0"	95,355	192° 38' 06,1"
EB105	>>	MR	155° 18' 22,8"	50,75	167° 56' 28,9"
MR	>>	BVM	172° 11' 41,3"	51,575	160° 08' 10,2"

Tabela 4.26: Resultado dos cálculos das coordenadas parciais para os vértices no Sistema geodésico SIRGAS2000. Fonte: AstGeoTop Versão: 2013.08.25

ESTAÇÃO	>>	P. VISADO	Coordenadas Parciais X e Y	
BVM	>>	RSB-328	27,4848	-39,9786
RSB-328	>>	RSB-APM	13,9542	-148,6445
RSB-APM	>>	RSB-PRF	12,5527	-41,7028
RSB-PRF	>>	R27J-211	30,1177	29,628
R27J-211	>>	R27J-IGR	14,6207	64,6165
R27J-IGR	>>	CASA43	78,8677	61,6677
CASA43	>>	TVS27J	31,3603	36,2215
TVS27J	>>	FOCCA	143,1674	-8,8558
FOCCA	>>	CARMO	14,3679	-20,8984
CARMO	>>	INSC	44,001	12,7248
INSC	>>	RSF24	57,5591	21,6155
RSF24	>>	RSF157	49,3486	133,5501
RSF157	>>	7COL	35,1412	72,0923
7COL	>>	ISF1	-3,1289	46,2252
ISF1	>>	ISF2	8,5242	30,8666
ISF2	>>	SOA01	-4,8821	71,9435
SOA01	>>	ORELHAO	-98,0324	-19,3716
ORELHAO	>>	RBC-541	-34,5066	-25,523
RBC-541	>>	RBC-SE	-65,0077	-8,973
RBC-SE	>>	RBC-MS	-86,8485	27,0043
RBC-MS	>>	RBC-814	-103,6102	72,7008
RBC-814	>>	RBC-IT	-25,8688	-14,2085
RBC-IT	>>	IGRM	-97,3915	-34,9832
IGRM	>>	LMC-86	-23,1386	-74,8533
LMC-86	>>	LMC-28	-25,9996	-51,7107
LMC-28	>>	EB105	-20,8579	-93,0458
EB105	>>	MR	10,6023	-49,6302
MR	>>	BVM	17,5245	-48,5064

Tabela 4.27: Resultado dos cálculos das coordenadas totais locais para os vértices no Sistema geodésico SIRGAS2000. Fonte: AstGeoTop Versão: 2013.08.25

ESTAÇÃO	>>	P. VISADO	Coordenadas Totais X e Y		H
BVM	>>	RSB-328	149872,544	249900,027	31,347
RSB-328	>>	RSB-APM	149900,0288	249860,0484	29,176
RSB-APM	>>	RSB-PRF	149913,983	249711,4039	24,91
RSB-PRF	>>	R27J-211	149926,5357	249669,7012	22,785
R27J-211	>>	R27J-IGR	149956,6534	249699,3292	20,535
R27J-IGR	>>	CASA43	149971,2741	249763,9457	17,085
CASA43	>>	TVS27J	150050,1417	249825,6134	12,681
TVS27J	>>	FOCCA	150081,502	249861,8349	10,204
FOCCA	>>	CARMO	150224,6694	249852,979	8,813
CARMO	>>	INSC	150239,0373	249832,0806	7,684
INSC	>>	RSF24	150283,0383	249844,8054	8,23
RSF24	>>	RSF157	150340,5974	249866,4209	8,54
RSF157	>>	7COL	150389,946	249999,971	20,516
7COL	>>	ISF1	150425,0872	250072,0633	25,373
ISF1	>>	ISF2	150421,9583	250118,2885	29,012
ISF2	>>	SOA01	150430,4825	250149,1551	31,474
SOA01	>>	ORELHAO	150425,6004	250221,0987	38,253
ORELHAO	>>	RBC-541	150327,568	250201,7271	47,822
RBC-541	>>	RBC-SE	150293,0615	250176,2041	51,194
RBC-SE	>>	RBC-MS	150228,0538	250167,2312	51,767
RBC-MS	>>	RBC-814	150141,2053	250194,2355	54,559
RBC-814	>>	RBC-IT	150037,5951	250266,9362	56,379
RBC-IT	>>	IGRM	150011,7263	250252,7277	56,278
IGRM	>>	LMC-86	149914,3348	250217,7445	52,114
LMC-86	>>	LMC-28	149891,1962	250142,8912	29,226
LMC-28	>>	EB105	149865,1965	250091,1805	23,3
EB105	>>	MR	149844,3386	249998,1347	27,989
MR	>>	BVM	149854,9409	249948,5045	31,449

Tabela 4.28: Resultado dos cálculos das coordenadas totais locais e altitudes para as Irradiações no Sistema geodésico SIRGAS2000. Fonte: AstGeoTop Versão: 2013.08.25

RN	Coordenadas Finais		H (m)
	X (m)	Y (m)	
RNMR	149858,535	249933,681	31,909
RNPO	149926,351	249681,734	23,537
RNPO	149926,36	249681,72	23,54
RNSP	150048,092	249845,085	12,711
RNSP	150048,081	249845,099	12,709
RNSC	150260,598	249856,57	8,709
RNSC	150260,586	249856,579	8,711
RNSF	150430,028	250167,291	31,507
RNSF	150430,03	250167,305	31,503
RNSE	150213,516	250153,298	51,244
RNSE	150213,519	250153,3	51,262
RNNSM	149949,242	250246,194	55,074
RNNSM	149949,226	250246,191	55,069
RNLM	149888,339	250134,491	27,571
RNLM	149888,34	250134,482	27,572
RNMR	149858,437	249933,652	31,911

Foram comparadas as distâncias horizontais obtidas no Excel e AstGeoTop. A maior discrepância foi em módulo de 0,003 m. e a menor discrepância foi 0,000 m.

Foram comparados os ângulos internos médios obtidos no Excel e AstGeoTop. A maior discrepância foi em módulo de 2,95" e a menor discrepância em módulo 0,00".

As coordenadas X e Y apresentadas nas Tabelas 4.27, possuem valores distintos. Uma vez que, não foi utilizado o módulo de ajustamento de poligonais, disponibilizado no AstGeoTop, as coordenadas ajustadas finais da poligonal estão apresentadas na Tabela 4.19. Para o ajustamento no Excel foi utilizado o método tradicional.

4.3.3 Processo de criação do Banco de Dados no *software* ArcGis Desktop *free trial*

O processo de criação do banco de dados, através do módulo ArcMap, se iniciou inserindo os valores das coordenadas e das altitudes em planilhas do Excel. Essa planilha foi salva no formato (.csv), em seguida importada ao ArcMap em coordenadas X e Y referenciadas ao Datum SIRGAS2000, e automaticamente gerado um arquivo *shapefile*. A geração do *shapefile* é possível para o resultado do Nivelamento Trigonométrico, Poligonação irradiação e nivelamento geométrico. Do conjunto das referências de Nível levantadas pelo Nivelamento Geométrico e determinadas planimetricamente pelas irradiações e Nivelamento Trigonométrico, apenas as RRNN RNNSA e RNCOSPLAN não aparecem no mapa, pois foram inseridas no banco de dados como tabelas, pois o levantamento da poligonal não contemplou esta área, entretanto, são armazenadas no banco de dados as respectivas altitudes.

Após todos os valores serem inseridos, através da ferramenta “Catalog” uma pasta do sistema é escolhida e criado o arquivo de banco de dados ainda vazio, no formato (.gdb). Em seguida, os dados, que foram inseridos nas tabelas de Excel, são

importados ao arquivo de Banco de Dados, ficando registrado os dados. A partir desta etapa, os arquivos ficam armazenados, podendo ser acessados, copiados ou editados por qualquer usuário. A (Figura 4.33) ilustra os dados carregados.

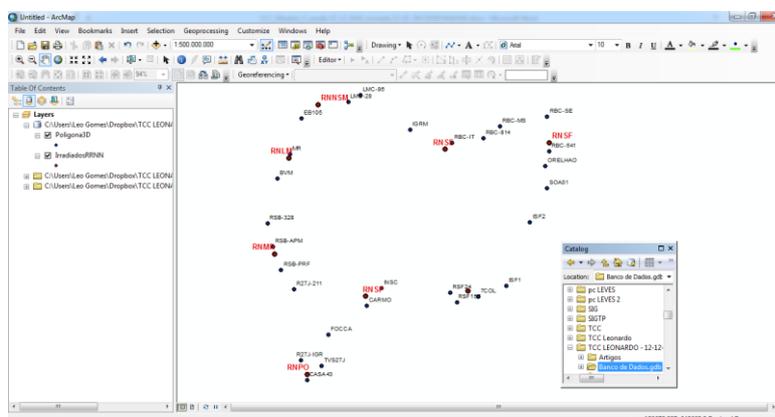


Figura 4.31: Processo de criação do Banco de Dados. Fonte ArcGIS. Versão: 10.1

Utilizando as coordenadas topocêntricas X e Y podem ser convertidas em coordenadas geodésicas (Latitude e Longitude) ou UTM e estas podem ser inseridas da mesma maneira como descrito para as coordenadas X e Y, possibilitando a visualização dos vértices e RRNN implantados e da poligonal. Utilizando-se dos dados, UTM, presentes em (SANTANA NETO, 2015), é possível visualizar a poligonal e as irradiações. A Figura 4.33 ilustra o resultado obtido no ArcGIS.

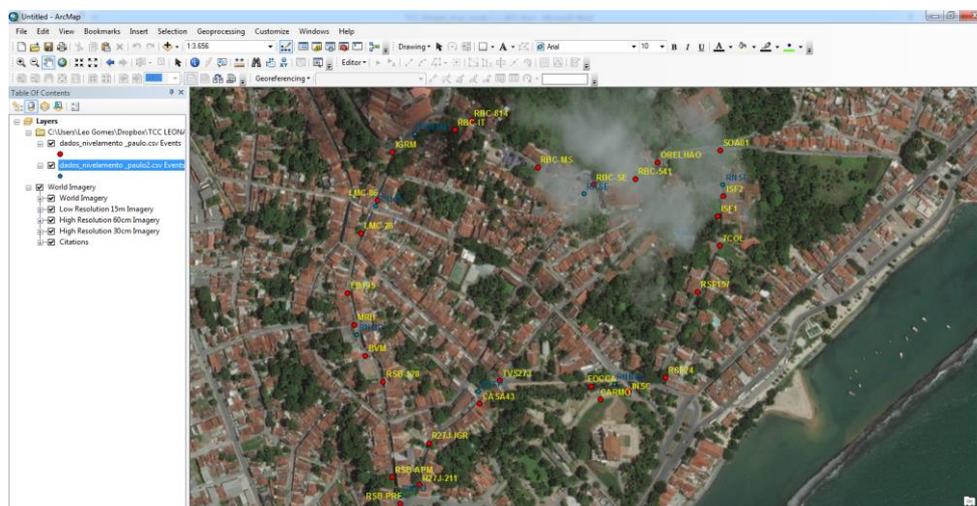


Figura 4.32: Poligonal e irradiações em coordenadas UTM SIRGAS2000: Fonte: ArcMap 10.1.

4.3.4 Descrição dos Dados Geodésicos no entorno das edificações prediais históricas

Temos como referência, dos nomes das RRNN implantadas (cf. 4.3.1.1), as edificações históricas do município de Olinda – PE, e neste contexto, RN e Igreja e outros prédios estão diretamente relacionadas.

Desta forma, as RRNN foram nomeadas segundo a sua localização, visto que, cada uma está situada próxima a um patrimônio histórico tombado, assim, podemos descrever os Dados Geodésicos inseridos nas RRNN da seguinte maneira:

- **RRNN implantadas contempladas pelo Nivelamento Geométrico e Coordenadas planimétricas**

- **RNSF – Referência de Nível da Igreja de São Francisco;**

- RN implantado e materializado na campanha de outubro de 2015;
- Está localizada calçada da Igreja de São Francisco, na Rua da Ladeira de São Francisco – Olinda PE;
- Possui Altitude de 31,515259m, determinada por Nivelamento Geométrico de alta precisão;
- Coordenadas Topocêntricas Locais em SIRGAS2000, em X de 250167,182 m e em Y de 250167,182 m.

O local da RN pode ser visto na Figura 4.12.

- **RNSE – Referência de Nível da Igreja Catedral da Sé**

- RN implantado e materializado na campanha de outubro de 2015;
- Está localizada próximo a Igreja da Catedral da Sé, na Rua da Ladeira da Sé – Olinda PE;
- Possui altitude de 51,2566 m;
- Coordenadas topográficas locais, no sistema geodésico SIRGAS2000 de, em X 150213,6711m, e em Y 250153,238m.

O local da RN pode ser visto na Figura 4.15.

- **RNNSM – Referência de Nível da Igreja de Nossa Senhora da Misericórdia;**

- RN implantado e materializado na campanha de outubro de 2015;
- Está localizada próximo a Igreja de Nossa Senhora da Misericórdia, na Rua Bispo Coutinho – Olinda PE;
- Possui altitude de 55,0713 m;
- Coordenadas topográficas locais, no sistema geodésico SIRGAS 2000 de, em X 149949,4313 m, e em Y 250246,2077 m.

O local da RN pode ser visto na Figura 4.18.

- **RRNN implantadas contempladas apenas pelo Nivelamento Geométrico**

- **RNNSA – Referência de Nível Igreja Nossa Senhora do Amparo;**

- RN implantado e materializado na campanha de outubro de 2015;
- Está localizada próximo a Igreja de Nossa Senhora do Amparo, na Rua Saldanha Marinho – Olinda PE;
- Possui altitude de 30,2079 m;
- Coordenadas topográficas locais, não foram determinadas neste trabalho.

O local da RN pode ser visto na Figura 4.20.

- **RNCOSPLAN – Referência de Nível da Igreja Nossa Senhora do Amparo;**

- RN implantado e materializado na campanha de outubro de 2015;

- Está localizado na frente da Igreja de Nossa Senhora do Amparo, na Rua Saldanha Marinho – Olinda PE;

- Possui altitude de 30,7598 m;

Coordenadas topográficas locais, não foram determinadas neste trabalho.

O local da RN pode ser visto na Figura 4.23.

- **RN já existente contemplada no Nivelamento Geométrico e coordenadas planimétricas**

- **RNNSC – Referência de Nível da Igreja Nossa Senhora do Carmo;**

- RN existente, materializado em campanhas passadas;

- Está localizado nas proximidades da Igreja de Nossa Senhora do Carmo, na Rua do Bom Fim – Olinda PE;

- Possui altitude de 8,7224 m, determinadas em (Seixas et al., 2014);

- Coordenadas topográficas locais, no sistema geodésico SIRGAS 2000 de, em X 150260,6451 m, e em Y 249856,5122 m.

- **RN já existente, contemplada apenas pelo Nivelamento Geométrico**

- **RNPM – Referência de Nível Prudente de Moraes;**

- RN existente, materializado em campanhas passadas;

- Está localizado na Rua Prudente de Moraes – Olinda PE;

- Possui altitude de 19,0598 m, determinadas em (Seixas et al., 2014);

- Coordenadas topográficas locais, não foi determinada neste trabalho.

- **RRNN já existentes e Coordenadas Planimétricas**

- **RNMR - Referência de Nível Mercado da Ribeira;**

- RN existente, materializado em campanhas passadas;

- Está localizado nas proximidades do Mercado da Ribeira, na Rua de São Bento – Olinda PE;

- Possui altitude de 31,9088 m determinadas em (Seixas et al., 2014);

- Coordenadas topográficas locais, no sistema geodésico SIRGAS2000 de, em X 149858,5273 m, e em Y 249933,6828 m.

- **RNPO - Referência de Nível Prefeitura de Olinda;**

- RN existente, materializado em campanhas passadas;

- Está localizado nas proximidades da Prefeitura Municipal, na Rua de São Bento – Olinda PE;

- Possui altitude pelo método do nivelamento trigonométrico de 23,5296 m.

- Coordenadas topográficas locais, no sistema geodésico SIRGAS2000 de, em X 149926,3651m, e em Y 249681,7193.

- **RNSP – Referência de Nível Igreja de São Pedro;**

- RN existente, materializado em campanhas passadas;

- Está localizado nas proximidades da Igreja de São Pedro, na Rua 27 de Setembro – Olinda PE;

- Possui altitude determinada pelo nivelamento trigonométrico de 12,6928 m;

- Coordenadas topográficas locais, no sistema geodésico SIRGAS 2000 de, em X 150048,1233 m, e em Y 249845,0656 m.

- **RNLM – Referência de Nível Ladeira da Misericórdia**

- RN existente, materializado em campanhas passadas;
- Está localizado na Ladeira da Misericórdia na Rua de São Bento – Olinda PE;
- Possui altitude determinada pelo nivelamento trigonométrico de 27,5835 m.
- Coordenadas topográficas locais, no sistema geodésico SIRGAS 2000 de, em X 149888,502 m, e em Y 250134,5181 m.

Nem todas as RRNN citadas foram completamente contempladas pelos dois nivelamentos, Geométrico e Trigonométrico, devido ao processo de caminhar da poligonal serem por caminhos diferentes, coincidindo em apenas um trecho. As coordenadas topográficas e as altitudes exibidas, foram calculadas neste trabalho, exceto, as que estão com referência de outro autor. Vale salientar que, o processo de execução do ajustamento do Nivelamento Geométrico se deu por dois métodos, neste caso, para fins de exibição, foi utilizado o do (cf. 3.2.3).

4.4 Dificuldades nos Levantamentos e nos Cálculos

Tanto no Nivelamento Geométrico quanto, no Nivelamento Trigonométrico as dificuldades são constantes, variando apenas no ambiente em que se desenvolve o trabalho. O Centro Histórico de Olinda por possuir grandes ladeiras e de alta inclinação, o que para o Nivelamento Geométrico é um problema considerável, visto que, um dos acessórios é uma régua de invar de 2 metros de comprimento. E essa régua nessas ladeiras inclinadas a distância a ser percorrida entre uma visada RÉ e VANTE é diminuída significativamente. Além disso, larguras são estreitas e o tráfego de pessoas, carros e a alta temperatura durante o percurso, acarretou no prolongamento do tempo de levantamento. Para o Nivelamento Trigonométrico, não há o problema com a régua, uma vez que, se utiliza bastão e prisma, mas os demais problemas permaneceram.

Durante o procedimento em campo do Nivelamento Geométrico, um dos pontos lidos foi registrado de forma errada pelo operador da caderneta, em que, o ponto correspondente a uma RN implantada, foi colocado como "AUX", ou seja, foi registrado como ponto auxiliar. Esse foi resolvido, depois do processamento dos dados do Nivelamento Trigonométrico, especificamente pelo valor da altitude e comparação de desníveis entre RRNN.

A dificuldade nos Cálculos em princípio se deu por razões de erros nos dados digitados das planilhas de campo, neste caso, o erro foi detectado durante o processamento do nivelamento geométrico, mais especificamente, no relatório de resíduos do ajustamento do Método dos Parâmetros e no Qui-quadrado, simplesmente, não estava condizente com os resultados esperados. Neste trabalho, pôde-se reanalisar o processamento do nivelamento geométrico e detectar pequenos equívocos apresentados em SANTANA NETO (2015).

A criação do Banco de Dados Geodésicos inicialmente seria no Quantum Gis, entretanto, devido a algumas complicações na criação do arquivo de banco de dados, tornava o procedimento complicado, com a necessidade de uso de um segundo software. A opção do ArcGis, se mostrou bem mais simples e versátil na geração do produto final.

Os procedimentos de campo do nivelamento geométrico e trigonométrico, assim como, da poligonização, exigem uma equipe de campo. No caso do nivelamento geométrico foi feita uma programação na disciplina de Levantamento e Locação de Obras como atividade prática de campo para o primeiro de levantamento. E nos demais dias de campo para a continuidade do nivelamento geométrico e realização do

nivelamento trigonométrico e da poligonação foram convidados alunos do curso de Engenharia Cartográfica para auxiliar em campo.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Todos os resultados das altitudes, medidas a partir do Nivelamento Geométrico, estão em acordo com a norma vigente presente na NBR 13133 (1994) e PR n° 22 (IBGE, 1983). A utilização do nível digital, Leica DNA03, garante resultados de alta precisão e segurança dos dados obtidos. Neste trabalho os dados observados foram ajustados através dos MMQ: Modelo Paramétrico e Método Proporcional à Distância. A comparação dos dois métodos apresentou diferenças mínimas nos resultados, indicando que ambos estão satisfatórios.

Desta forma, os dados das altitudes das RRNN implantadas (RNSF, RNSE, RNNSM, RNNSA, RNCOSPLAN), poderão ser utilizadas em projetos, tanto para fins acadêmicos, quanto para os interesses social.

Os dados planialtimétricos obtidos também possuem resultados satisfatórios estando de acordo com a norma vigente NBR 13133 (1994). Mesmo sendo de menor precisão comparado ao obtido no Nivelamento Geométrico. Neste caso, o Nivelamento Geométrico foi a referência de altimetria para algumas RRNN, visto que, o percurso comum a ambos corresponde a apenas um trecho de nivelamento.

O uso do *software* Octave (4.0.2) foi bastante útil na criação do “*script*” para execução dos cálculos do Nivelamento Geométrico e dos ajustamentos, visto que, os resultados podiam ser facilmente exibidos e comparados. Entretanto, para o cálculo do Nivelamento Trigonométrico, o Excel, em comparação com o Octave, se mostrou mais versátil, uma vez que, os cálculos foram realizados de duas planilhas distintas: sem as irradiações com apenas os vértices e com as irradiações. Tornando assim, o processo mais seguro na obtenção dos resultados. Inclusive, o Excel foi usado, no cálculo do Nivelamento Geométrico, apenas para fins de confirmação.

O *software* AstGeoTop, mostrou-se extremamente importante na aplicação de cálculos Topográficos/Geodésicos. Neste trabalho gerou o perfil topográfico do caminhamento do Nivelamento Geométrico, além de ter sido usado como controle para os resultados planialtimétricos gerados.

Recomenda-se a continuidade deste trabalho, uma vez que, em algumas RRNN geradas neste trabalho, não foram completamente contempladas com suas respectivas coordenadas planimétricas, é o caso das referências RNNSA e RNCOSPLAN. Em trabalhos futuros, as RRNN podem ser utilizadas para dar continuidade em que todas as Unidades Históricas sejam contempladas.

Recomenda-se também a continuidade do Banco de Dados Geodésicos, em melhorá-lo, acrescentando novas informações e o expandindo para uma futura ligação a web.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR-13.133 – Normas Técnicas para a Execução de Levantamentos Topográficos. 1994.

ALGARVE, UNIVERSIDADE DO ALGARVE. Nivelamento Geométrico- Cálculo. Escola Superior de Tecnologia: Disciplina de Topografia II, 1o ano – Engenharia Topográfica, Portugal, 2004.

ARCGIS 10.1 - Introducing ArcGIS 10.1 Disponível em (<http://www.esri.com/news/arcnews/spring12articles/introducing-arcgis-101.html>). Acessado (5 de fevereiro de 2016.)

ARONOFF, Stanley. Geographic information systems: a management perspective. Ottawa: WDL, c1989

ERBA, D. A. (ORG.); THUM, A. B.; SILVA, C. A. U. de; SOUZA, G. C. de; VERONZ, M. R.; LENADRO, R. F.; MAIA, T. C. B. Curso de Topografia para estudantes de Engenharia, Arquitetura e Geologia. Editora Unissinos, 2005.

ESPARTEL, L. Curso de Topografia. Editora Globo, 1987.

EXCEL 2013, (<https://support.office.com/pt-br/article/Novidades-do-Excel-2013-1cbc42cd-bfaf-43d7-9031-5688ef1392fd>). Acessado (5 de fevereiro de 2016.)

GAMA, L. F.; de. Implantação e Análise de Estruturas Geodésicas obtidas por GPS e Estação Total - Área Experimental Campus da UFPE. In: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2008, Recife. II SIMGEO, 2008.

GARNÉS, S.J.A. AstGeoTop 2013/2014. *Software*. Módulo: de Nivelamento Geométrico e Nivelamento Planimétrico. Disponibilizado pelo Professor Dr. Silvio Jacks Garnes dos Anjos.

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

SEIXAS, Andréa de; GOMES, D. A. M.; SILVA JUNIOR, U. J.. Estruturas Geodésicas Altimétricas - Centro Histórico de Olinda. 2013. (Cartas, mapas ou similares/Outra).

GOOGLE EARTH 2016 – Programa inovador de mapeamento 3D interativo do Google (<https://www.google.com.br/earth/download/ge/agree.html>). Acessado (5 de fevereiro de 2016.)

IBGE. Resolução - PR nº 22, de 21-07-83 - Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos, 1983.

ESRI, Esri's GIS (geographic information systems) mapping software helps you understand and visualize data to make decisions based on the best information. (<http://www.esri.com/about-esri>). Acessado em (5 de fevereiro de 2016.)

LEICA. Manual do utilizador Leica DNA 03/DNA 10. Versão 2.0 – português, 2002.

Leica DNA Digital Levels, (<http://leica-geosystems.com/products/levels/digital-levels/leica-dna03>), acessado em (11 de dezembro de 2016)

Luis A. K. Veiga/Maria A. Z. Zanetti/Pedro L. Faggion. Fundamentos da Topografia. Engenharia Cartográfica e de Agrimensura Universidade Federal do Paraná: 2012

OCTAVE 4.0.2 - Scientific Programming Language. Disponível em (<https://www.gnu.org/software/octave/download.html>). Acessado em (05 de fevereiro de 2017)

SANTANA NETO, 2015. Densificação de Estruturas Geodésicas e Transporte de Coordenadas Definidas por Métodos Planialtimétricos de Medição. Orientadora: Professora Dr. Andrea de Seixas. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Cartográfica - UFPE, 2015.

Gama, L. F, Luciene Ferreira; SEIXAS, A.; MORAES, J. N.; SILVA, E. V.; GALVAO, 4. B. CONTROLE DE QUALIDADE DE LEVANTAMENTOS CADASTRAIS PARA A HOMOGENEIZAÇÃO.

NADAL, Carlos Aurélio. Doutorado em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná, Brasil (2000)

SEIXAS, A.; GAMA, L. F.; MORAES, J. N.; SOUZA, A. M. B. O ESTABELECIMENTO DE PADRÕES DE REFERÊNCIA ALTIMÉTRICA UTILIZANDO O NIVELAMENTO GEOMÉTRICO PARA A DEFINIÇÃO DE ALVOS ALTOS E INACESSÍVEIS. Bol. Ciênc. Geod. sec. Artigos, Curitiba, v. 20, no 2, p.388-410, abr-jun, 2014.

SOUZA, A. M. B. de. Análise e comparação de estruturas geodésicas tridimensionais definidas por métodos planialtimétricos de medição. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, da Universidade Federal de Pernambuco Recife – PE, 2012.

TENORIO, B. C. ; SEIXAS, Andréa de . Three-dimensional reconstruction of architectural workmanships of the historical site of Olinda for studies and diagnostics of risk areas. In: 13th International Conference on Geometry and Graphisc, 2008, Dresden. 13th ICGG 2008, 2008.

ANEXOS

APÊNDICES

Apêndice I - Código Fonte da programação no Octave.

```

clear
clc

format long g

% -----
% Leituras ré
% Cálculo das médias das diferenças
de níveis em RÉ "re"
for b=1:94
    re(b)=(RE(2*b-1)+RE(2*b))/2;
end
re=re';
% -----
% leituras Vante VA
% -----
% Leituras médias Vantes "va"
for d=1:94
    vante(d)=(VA(2*d-1)+VA(2*d))/2;
end
vante=vante';
% -----
% Cálculos dos desniveis "desn"
desn=re-vante;
% -----

% Distâncias Entre cada visadas
"DT", 376 itens
% Cálculos das distâncias entre cada
cota observada "dist"
for f=1:188
    Dist(f)=(DT(2*f-1)+DT(2*f))/2;
end
Dist=Dist';
g=0;
while g<94
    g=g+1;
    dist(g)=(Dist(2*g-1)+Dist(2*g));
end
dist=dist';
% -----
% Cálculo das Cotas "RN"
RN(1)=8.7224;
for h=2:95
    RN(h)=RN(h-1)+re(h-1)-vante(h-1);
end
RN=RN';
% -----
% RNs Calculados "RRNN"
RRNN=[RN(20)
        RN(37)
        RN(46)
        RN(67)
        RN(70)
        RN(95)]
% -----
% Nivelamento do RN(1) ao RN(95)
"desRN"
desRN=[sum(re(1:19)-vante(1:19))
        sum(re(1:35)-vante(1:35))
        sum(re(1:45)-vante(1:45))
        sum(re(1:66)-vante(1:66))
        sum(re(1:69)-vante(1:69))
        sum(re(1:94)-vante(1:94))];
% -----
% Cálculo dos desniveis entre os
RNs, não ajustado "Rnc"
Rnc=[RN(20)-RN(1)
        RN(37)-RN(20)
        RN(46)-RN(37)
        RN(67)-RN(46)
        RN(70)-RN(67)
        RN(95)-RN(70)];
% -----
% Distâncias entre cada RRNN "D"
D=[sum(dist(1:19)) %RNSC-RNSF
    sum(dist(20:36)) %RNSF-RNSE
    sum(dist(37:45)) %RNSE-RNSM
    sum(dist(46:66)) %RNSM-RNSA
    sum(dist(67:69)) %RNSA-COSPLAN
    sum(dist(70:94))]; %COSPLAN-RNPM
% -----
% Distância Percorrida em cada
trecho, a partir do RNSC "Per"
Per=[sum(dist(1:19))
    sum(dist(1:37))
    sum(dist(1:45))
    sum(dist(1:66))
    sum(dist(1:69))
    sum(dist(1:94))];
% -----
% Distância de todo Caminhamento
"DC"
DC=sum(D);
% -----
% Diferença de Nível TCC "DN":
RNC(95)=19.0598;
RNC=19.0598;
DN=RNC-RN(1);
% -----
% Tolerância "T"
T=3*(sum(dist)/1000)^(1/2);
% -----
% Desnível calculado "Desn"
Desn=sum(desn);
% -----
% Do Boletim 2014 RNPM-RNSC "Bo14"
Bo14=10.337560;
% -----
% Diferença entre os Desníveis "diff"
diff=-Bo14+Desn;
% -----
% Correção de distribuição "d"
di=-diff/sum(dist);
% -----

```

```

%
% Cálculo da diferença de Nível
% Corrigido, re e vante: "DnC" "reC"
% "vanteC"
DnC=dist*di+desn;
reC=dist*di+re;
vanteC=dist*di+vante;
%
%
% Cálculos dos RRNN Corrigidos "RNC"
format long g
RNC(1)=8.7224;
for i=2:95
    RNC(i)=RNC(i-1)+DnC(i-1);
end
RNC=RNC';
%
% RRNN com as correções "RRNNC"
RRNNC=[RNC(20)
        RNC(37)
        RNC(46)
        RNC(67)
        RNC(70)
        RNC(95)];
%
%
% Desníveis do RN(1) ao final,
% ajustado "rnC"
rnC=[RNC(20)-RNC(1)
      RNC(37)-RNC(1)
      RNC(46)-RNC(1)
      RNC(67)-RNC(1)
      RNC(70)-RNC(1)
      RNC(95)-RNC(1)];
%
%
% Desníveis entre os RNs ajustados
% "rnc"
rnc=[RNC(20)-RNC(1)
      RNC(37)-RNC(20)
      RNC(46)-RNC(37)
      RNC(67)-RNC(46)
      RNC(70)-RNC(67)
      RNC(95)-RNC(70)];
%
%
% Ajustamento pelo Método dos
% Parâmetros
% RN do Boletim Geodésico 2014
RNb(95)=19.0598;
%
%
% Construção da Matriz A, RNSC e
% RNMP são conhecidos
% RNSC-RNSF
% RNSF-RNSE
% RNSE-RNSM
% RNSM-RNSA
% RNSA-COSPLAN
% COSPLAN-RNPM
A=[-1 0 0 0 0
    1 -1 0 0 0
    0 1 -1 0 0
    0 0 1 -1 0
    0 0 0 1 -1
    0 0 0 0 1];
%
%
% Vetor das Observações brutas,
% corresponde aos desniveis entre cada
% RN
Lb=[sum(desn(1:19))
    sum(desn(20:36))
    sum(desn(37:45))
    sum(desn(46:66))
    sum(desn(67:69))
    sum(desn(70:94))];
%
%
% Vetor das observações fixas
L0=[-RN(1)
    0
    0
    0
    0
    RNb(95)];
%
%
% Vetor L
L=L0-Lb;
%
%
% Matriz do Pesos
D=D/1000;
sigm=0.3*(D).^(1/2);
sigmapr=10^-1;
P=sigmapr*diag(sigm)^-2;
%
%
% Matriz dos Parâmetros
X=(A'*P*A)^-1*(A'*P*L);
%
%
% Matriz dos resíduos
V = A*X - L;
%
%
% Sigma a posteriori
sigmaps=V'*P*V/1;

Xq=sigmaps/sigmapr;
%
%
format short g
% Observações Ajustadas "La"
La=Lb+V;
%
%
% Matriz variância-covariância dos
% parâmetros
EXa=sigmaps*(A'*P*A)^-1;
%
%
% Diferença entre os Ajustamentos
Ajust=abs([X
    19.0598])-RRNNC;

```

