

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

WELISSON JOSÉ DOS SANTOS

**A CONTRIBUIÇÃO DA TOPOGRAFIA E DA GEODÉSIA NO ESTUDO DE
TERRENOS INCLINADOS E ÁREAS DE RISCO**

RECIFE

2017

WELISSON JOSÉ DOS SANTOS

**A CONTRIBUIÇÃO DA TOPOGRAFIA E DA GEODÉSIA NO ESTUDO DE
TERRENOS INCLINADOS E ÁREAS DE RISCO**

Monografia apresentada na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito básico para a obtenção do grau de Engenheiro Cartógrafo, defendida no Departamento de Engenharia Cartográfica, em 06 de julho de 2017.

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

RECIFE

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

S237c Santos, Welisson José dos.
A contribuição da topografia e da geodésia no estudo de terrenos inclinados e áreas de risco / Welisson José dos Santos – 2017.
143 f.: il., fig. tab.

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

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Cartográfica, 2017.
Inclui referências, apêndices e Anexos.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Áreas de risco. 3. Dados planialtimétricos. 4. Métodos de levantamentos topográficos/geodésicos. 5. Terrenos inclinados. 6. Verificação e retificação de níveis de luneta I. Seixas, Andréa de (Orientadora). II. Título.

551.46 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2017/ 248

A CONTRIBUIÇÃO DA TOPOGRAFIA E DA GEODÉSIA NO ESTUDO DE TERRENOS INCLINADOS E ÁREAS DE RISCO

Monografia apresentada na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito básico para a obtenção do grau de Engenheiro Cartógrafo, defendida no Departamento de Engenharia Cartográfica, em 06 de julho de 2017.

Banca Examinadora

Prof.^a Dr.^a. Techn. Andréa de Seixas (Orientadora)

Departamento de Engenharia Cartográfica -Universidade Federal de Pernambuco.

Prof.^a Dr.^a. Sc Sylvana Melo dos Santos

Departamento de Engenharia Civil -Universidade Federal de Pernambuco.

Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés

Departamento de Engenharia Cartográfica -Universidade Federal de Pernambuco.

RECIFE

2017

Com todo o meu coração:

A meus pais Wanderley Santos (*in memorian*) e Maria Pereira

Ao meu irmão Wandeson Santos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de primeiramente agradecer a Deus, por estar presente em todos os momentos da minha vida me proporcionando saúde, conhecimento, sensatez e discernimento, para que eu pudesse tomar as decisões que me fizeram chegar até aqui.

Aos meus amados pais Maria Pereira e Wanderley Santos (*in memoriam*) por estarem presentes nos momentos de alegria e tristeza sempre transmitindo palavras e ensinamentos que guardarei por toda a minha vida e por não medirem esforços para que eu me dedicasse exclusivamente aos estudos.

Ao meu irmão Wandeson José pelo apoio e pelos conselhos nas horas em que precisei tomar importantes decisões.

À Prof.^a. Dr. Techn. Andréa de Seixas por estar presente em todas as etapas de desenvolvimento deste trabalho, contribuindo com orientações, sugestões e idéias.

À Prof.^a. D. Sc Sylvana Melo dos Santos por suas orientações, contribuições e sugestões ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés por suas orientações, sugestões e contribuições ao longo do desenvolvimento deste trabalho e pela disponibilização do software AstGeoTop, de sua autoria, utilizado no processamento de dados obtidos neste trabalho.

Aos amigos das turmas de mestrado e graduação do curso de Engenharia Cartográfica, da Universidade Federal de Pernambuco, que contribuíram em diversos momentos vitais para que este trabalho pudesse ser realizado, destacando a participação de Carla Barbosa, Ermerson Vasconcelos, Flávia Manhães, Júlio César, Leonardo Barbosa, Marcella Fernandes, Márcio Silva e Yan Lucena.

RESUMO

O estudo e a análise de terrenos inclinados susceptíveis a áreas de risco exige por parte dos setores responsáveis por seu acompanhamento um elevado grau de atenção. O desenvolvimento de metodologias de prevenção, monitoramento e contenção nessas localidades é de extrema importância e exige uma aplicação periódica. Pretende-se neste trabalho analisar um terreno inclinado, a partir da implantação de estruturas geodésicas tridimensionais, utilizando diferentes métodos de levantamentos topográficos e geodésicos. Dentre estes foram empregados para a definição do campo de pontos de referência o método de nivelamento geométrico de alta precisão, poligonação, nivelamento trigonométrico, interseção a ré, e para a definição do campo de pontos-objeto o método da interseção a vante, método de nivelamento trigonométrico, método de nivelamento geométrico e método de posicionamento RTK – *Real Time Kinematic*. A acurácia altimétrica dos níveis digitais e automáticos analógicos, foi verificada através da aplicação de procedimentos de verificação e retificação de níveis. Ainda foi possível analisar questões acerca da aplicação de obras de terraplenagem em terrenos inclinados, considerando os dados altimétricos advindos de diferentes métodos de levantamento. A utilização de diferentes métodos de medição terrestres e de posicionamento geodésico por satélites para a definição do campo de pontos-objeto permite a realização de uma comparação qualitativa e quantitativa entre os mesmos, tomando como referência a qualidade posicional obtida, a análise dos custos envolvidos, o tempo de desenvolvimento em campo, a viabilidade e a eficácia apresentada por cada método. Os experimentos foram realizados em duas áreas testes, a primeira localizada no Campus Recife da UFPE e a segunda localizada nas adjacências da Igreja Nossa Senhora do Carmo no Sítio Histórico de Olinda. Os testes realizados com o nível de alta precisão DNA 03 da Leica foi aprovado nos testes estatístico e aritméticos indicados no método completo descrito na norma ISO 17123-2 (ISO, 2001). O método da interseção a ré aplicado simultaneamente ao método do nivelamento trigonométrico permitiu obter coordenadas planimétricas e altimétricas com precisão na ordem de milímetros para os pontos de referência. O ponto de referência altimétrica implantado com a utilização do método do nivelamento geométrico de alta precisão obteve precisão de décimos de milímetros. Para os 68 pontos-objeto espaçados em uma malha de 80 centímetros obteve-se com o método da interseção a vante para as coordenadas planimétricas uma precisão mínima de 1 mm para as coordenadas X e Y e máxima de 2 cm para as coordenadas X e Y. A complementação deste método com nivelamento trigonométrico permitiu para coordenadas altimétricas uma precisão mínima 1 mm e máxima de 8 mm. Utilizando-se a técnica RTK obteve-se para os pontos-objeto

uma precisão mínima e máxima de 5 mm e 1,9 cm respectivamente para as coordenadas planimétricas, enquanto que as precisões mínimas e máximas para a coordenada h foram 7 mm e 2,1 cm respectivamente. A análise das vantagens e desvantagens entre um método e outro permitiram afirmar que as metodologias e os métodos empregados podem ser desenvolvidas em áreas com graus de risco mais elevados, levando em consideração as características do local ser estudado.

Palavras Chave: Áreas de risco. Dados planialtimétricos. Métodos de levantamentos topográficos/geodésicos. Terrenos inclinados. Verificação e retificação de níveis de luneta.

ABSTRACT

The study and analysis of sloping terrains susceptible to risk areas requires a high degree of attention from the sectors responsible for their monitoring. The development of methodologies for prevention, monitoring and containment in these locations is extremely important and requires periodic application. This monograph intends to analyze an inclined terrain, from the implantation of three-dimensional geodesic structures, using different topographic and geodetic survey methods. Among these, the high-precision geometric leveling method, polygonization, trigonometric leveling, resection, and for definition of the object-point field, were used intersection, trigonometric leveling, geometric leveling method and RTK - Real Time Kinematic positioning method. The altimetric accuracy of the digital and automatic analogic levels was verified, through the application of verification and rectification procedures for levels. It was still possible to analyze questions about the application of earthworks on sloping terrain, considering the altimetric data from different surveying methods. The use of different terrestrial measurement methods and geodesic positioning by satellites to define the field of object points allows a qualitative and quantitative comparison between them, taking as reference the positional quality obtained, the analysis of the costs involved, the development time in the field, the viability and the effectiveness presented by each method. The experiments were conducted in two test areas, the first located in UFPE Campus located in Recife and the second located in the vicinity of Nossa Senhora do Carmo Church in the Historical Site of Olinda. The tests performed with the Leica DNA 03 high precision level were approved in the statistical and arithmetic tests indicated in the complete method described in ISO 17123-2 (ISO, 2001). The method of the reverse intersection applied simultaneously to the trigonometric leveling method allowed to obtain planimetric and altimetric coordinates with precision in the order of millimeters for the reference points. The altimetric reference point implanted with the use of the high precision geometric leveling method obtained an accuracy of tenths of millimeters. For the 68 object points spaced in a mesh of 80 centimeters was obtained with the method of intersection for the planimetric coordinates a minimum precision of 1 mm for the X and Y coordinates and a maximum of 2 cm, for the X and Y coordinates. The addition of this method with trigonometric leveling allowed for altimetric coordinates a minimum precision of 1 mm and a maximum of 8 mm. Using the RTK technique, the object points obtained a minimum and maximum precision of 5 mm and 1,9 cm respectively for the planimetric coordinates, while the minimum and maximum precision for the h coordinate were 7 mm and 2, 1 cm respectively. The analysis of the advantages and disadvantages between the application

of one method and another one allowed to affirm that the methodologies and the methods used in this work can be perfectly developed in areas with higher degrees of risk, taking into consideration the characteristics of the area studied.

Key Words: Risk areas. Plani-altimetric data. Topographic and geodetic survey methods. Sloping terrains. Verification and correction of scope levels.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Inclinação (A), Amplitude (H), Comprimento (L) De Um Terreno Inclinado	24
Quadro 01 – Tipos De Movimentos De Massa e Suas Características	24
Quadro 02 – Principais Conceitos Utilizados na Análise de Riscos Conforme a IUGS – International Union Of Geological Sciences.	25
Figura 02 – Histórico de Mortes por Município na RMR (1984 - 2009).....	26
Figura 03 – Deslizamento de Terra em Águas Compridas – Olinda, PE.....	27
Figura 04 – Seções de Corte e Aterro	30
Figura 05 – Campo de Pontos de Referência Planialtimétrica	32
Figura 06 – Sistema de Referência de Medição	33
Figura 07 – Poligonal Tipo 1.....	34
Figura 08 – Poligonal Tipo 2.....	35
Figura 09 – Poligonal Tipo 3.....	35
Figura 10 – Transformação de Similaridade Entre Coordenadas	38
Figura 11 – Método Da Interseção a Vante	39
Figura 12 – Nivelamento Geométrico Simples	41
Figura 13 – Nivelamento Geométrico Composto	41
Figura 14 – Nivelamento Trigonométrico	42
Quadro 03 – Classificação dos Níveis	43
Figura 15 – Método do Nivelamento por Ponto Médio.....	44
Figura 16 – Parafusos de Correção do Retículo	45
Figura 17 – Método de Kukkamaki	46
Figura 18 – Croqui de Localização da Área de Estudo 01	55
Figura 19 – Área de Estudo 02	56
Figura 20 – Metodologia Adotada Durante Execução do Trabalho	58
Figura 21 – Módulo Verificar e Ajustar do Nível Digital Leica DNA 03	61
Figura 22 – Resultados Módulo Verificar e Ajustar do Nível Digital Leica DNA 03.....	61
Figura 23 – Aplicação Noturna do Teste Completo da Norma 17123-2 (ISO, 2001).	65
Quadro 04 – Aplicação de Testes Estatísticos Para Campanha de Medição Realizada em 16/01/2017.....	72
Figura 24 – RN394-D (IBGE,2011).....	76
Figura 25 – Nivelamento Geométrico e RNSP	76
Figura 26 – Definição dos Vértices IC1 e IC2 Usando Interseção a Ré	78
Figura 27 - Desenho Topográfico da Poligonal Implantada na Área De Estudo 01	81
Figura 28 – Escadaria da Igreja Nossa Senhora do Carmo, Olinda – Pernambuco	83
Figura 29 – Vista Aproximada da Escadaria da Igreja Nossa Senhora do Carmo e Identificação dos Objetos 01, 02 e 03	83
Figura 30– Materialização de Pontos-Objeto	84
Figura 31 – Vista Aproximada de Ponto-Objeto	84
Figura 32 – Distribuição Dos Pontos-Objeto Implantados	85

Figura 33 – Aplicação do Método da Interseção a Vante.....	86
Figura 34 – Receptor Base Posicionado no Vértice INSC	93
Figura 35 – Receptor Rover Posicionado em Ponto-Objeto.....	93
Figura 36 – Aplicação do Método de Nivelamento Geométrico Usando Nível Automático Analógico	97
Figura 37 –Malha Quadriculada Implantada nos Objeto 01 E 02	100
Figura 38 – Centro de Gravidade do Terreno	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 01– Atributos por Graus de Risco, Segundo Fatores Topográficos.....	28
Tabela 02 – Precisão do Posicionamento Relativo Estático em Função do Comprimento da Linha de Base, do Tempo de Observação e do Equipamento Utilizado	49
Tabela 03 – Método De Kukkamäki Aplicado em 30/11/2016	62
Tabela 04 – Dados Observados Após Retificação do Nível Digital Leica DNA 03.....	62
Tabela 05 – Método ee Kukkamäki Aplicado em 16/01/2016	63
Tabela 06 – Dados Observados em 16/01/2016 Após Retificação Nível Digital Leica DNA 03.....	63
Tabela 07 – Teste Completo ISO 17123-2 (ISO, 2001) 20 Primeiras Leituras	65
Tabela 08 – Teste Completo ISO 17123-2 (ISO, 2001) 20 Últimas Leituras.....	67
Tabela 09 – Resultados Obtidos com a Aplicação da ISO 17123-2 em Período Diurno.....	68
Tabela 10 – Teste Completo ISO 17123-2 (ISO, 2001) 20 Primeiras Leituras	69
Tabela 11 – Teste Completo ISO 17123-2 (ISO, 2001) 20 Primeiras Leituras	71
Tabela 12 – Resultados Obtidos com a Aplicação Da ISO 17123-2 em Período Noturno.....	71
Tabela 13 – Resultados Obtidos Através da Aplicação do Método de Nivelamento por Ponto Médio.....	73
Tabela 14 – Resultados Obtidos Através da Aplicação do Método de Nivelamento por Ponto Médio Após Correção de Erro de Colimação	74
Tabela 15 – Pontos de Referência Altimétrica Pré-Existentes na Área de Estudo 02	74
Tabela 16 – Pontos de Referência Planimétrica e Altimétrica Pré-Existentes na Área de Estudo 02	75
Tabela 17 – Altitudes Ortométricas Das Referências De Nível Ocupadas Durante Aplicação Do Método De Nivelamento Geométrico De Alta Precisão.....	76
Tabela 18 – Tolerância, Erro de Fechamento e Precisão Alcançadas Com Aplicação do Método de Nivelamento Geométrico de Alta Precisão	77
Tabela 19 – Coordenadas Planimétricas em Sistema Geodésico Local do Vértice IC1	79
Tabela 20 – Coordenadas Planimétricas em Sistema Geodésico Local do Vértice IC2	79
Tabela 21 – Resultados do Nivelamento Trigonométrico Vértice IC1.....	80
Tabela 22 – Resultados do Nivelamento Trigonométrico Vértice IC2.....	80
Tabela 23 – Coordenadas Planimétricas dos 32 Pontos-Objeto Implantados no Objeto 01	87
Tabela 24 – Coordenadas Planimétricas dos 24 Pontos-Objeto Implantados no Objeto 02	88
Tabela 25 – Coordenadas Planimétricas dos 10 Pontos-Objeto Implantados no Objeto 03	89
Tabela 26 – Altitudes Ortométricas Dos 32 Pontos-Objeto Implantados No Objeto 01	90
Tabela 27 – Altitudes Ortométricas dos 24 Pontos-Objeto Implantados no Objeto 02	91
Tabela 28 – Altitudes Ortométricas dos 10 Pontos-Objeto Implantados no Objeto 03	92
Tabela 29 – Coordenadas Planialtimétricas dos 32 Pontos-Objeto Implantados No Objeto 01, Obtidas com a Aplicação do Método RTK	94
Tabela 30 – Coordenadas Planialtimétricas dos 32 Pontos-Objeto Implantados no Objeto 02, Obtidas Com a Aplicação Do Método RTK.....	95
Tabela 31 – Coordenadas Planialtimétricas dos 32 Pontos-Objeto Implantados no Objeto 03, Obtidas Com a Aplicação do Método RTK	96

Tabela 32 – Resultados do Nivelamento Geométrico Simples Utilizando Nível ATB4 Para o Objeto 01	98
Tabela 33 – Resultados do Nivelamento Geométrico Simples Utilizando Nível ATB4 Para o Objeto 02	99
Tabela 34 – Resultados do Nivelamento Geométrico Simples Utilizando Nível ATB4 Para o Objeto 03	99
Tabela 35 – Altitudes Ortométricas dos Perfis	102
Tabela 36 – Perfil 01	102
Tabela 37 – Perfil 02	103
Tabela 38 – Perfil 03	103
Tabela 39 – Perfil 04	103
Tabela 40 – Perfil 05	104
Tabela 41 – Perfil 06	104
Tabela 42 – Perfil 07	104
Tabela 43 – Altitudes Ortométricas dos Perfis e Volumes Totais de Corte e Aterro Considerando o Método Nivelamento Trigonométrico	105
Tabela 44 – Altitudes Ortométricas dos Perfis e Volumes Totais de Corte e Aterro Considerando o Método de Posicionamento RTK	106
Tabela 45 – Comparação Entre Altitudes Ortométricas Obtidas Via Nivelamento Geométrico E Trigonométrico Para Os Vértices Integrantes Do Objeto 01	107
Tabela 46 – Comparação Entre Altitudes Ortométricas Obtidas Via Nivelamento Geométrico e Trigonométrico Para os Vértices Integrantes do Objeto 02.....	108
Tabela 47 – Comparação Entre Altitudes Ortométricas Obtidas Via Nivelamento Geométrico e Trigonométrico Para os Vértices Integrantes do Objeto 02	108
Tabela 48 – Desníveis e Discrepâncias Encontradas Entre Nivelamento, Geométrico, Nivelamento Trigonométrico e GNSS RTK Para O Objeto 01	109
Tabela 49 – Desníveis e Discrepâncias Encontradas Entre Nivelamento, Geométrico, Nivelamento Trigonométrico e GNSS RTK Para o Objeto 02	111
Tabela 50 – Desníveis e Discrepâncias Encontradas Entre Nivelamento, Geométrico, Nivelamento Trigonométrico e GNSS RTK para o Objeto 03	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DoD	Department of Defense
GNSS	Global Navigate Satellite System
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
ISO	International Organization for Standardization
IUGS	International Union of Geological Sciences
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
PPK	Post-Processed Kinematic
RMR	Região Metropolitana do Recife
RTK	Real Time Kinematic
SGL	Sistema Geodésico Local
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	JUSTIFICATIVAS.....	21
3	OBJETIVOS	22
3.1	OBJETIVO GERAL.....	22
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
4	REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
4.1	TERRENOS INCLINADOS SUSCEPTÍVEIS A ÁREAS DE RISCO.....	23
4.1.1	Ocorrências de Movimentos de Massa na RMR.....	26
4.1.2	Gerenciamento e Gestão de Áreas de Risco	27
4.2	TERRAPLENAGEM EM PLANOS INCLINADOS	29
4.2.1	Método das Seções Transversais	29
4.3	ESTRUTURAS GEODÉSICAS TRIDIMENSIONAIS	31
4.3.1	Definição de Pontos de Referência	31
4.3.2	Definição de Pontos - Objeto	32
4.4	MÉTODOS TERRESTRES DE DETERMINAÇÃO DE COORDENADAS PLANIMÉTRICAS E ALTIMÉTRICAS.....	34
4.4.1	Poligonação	34
4.4.2	Interseção a Ré.....	36
4.4.2.1	Interseção a Ré por Meio de Medições Combinadas de Direções e Distâncias	37
	a) Método da Transformação de Similaridade	37
4.4.3	Interseção a Vante	39
4.4.4	Nivelamento Geométrico.....	40
4.4.5	Nivelamento Trigonométrico.....	42
4.5	VERIFICAÇÃO E RETIFICAÇÃO DE NÍVEIS DE LUNETAS.....	43
4.5.1	ISO 17123 – 2: 2001	44
4.5.2	Método do Nivelamento por Ponto Médio	44

4.5.3	Método de Kukkamäki.....	45
4.6	SISTEMAS GLOBAIS DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITES.....	48
4.6.1	Métodos de Posicionamento por Satélites	48
4.6.1.1	Posicionamento Relativo Estático	49
4.6.1.2	Posicionamento Cinemático em Tempo Real (RTK).....	49
4.7	AJUSTAMENTO DAS OBSERVAÇÕES	50
4.7.1	MMQ - Método dos Mínimos Quadrados	50
4.7.2	MMQ – Modelo Paramétrico	51
4.7.2.1	Equações de Observação	51
4.7.2.2	Equações Normais	53
5	EXPERIMENTOS E ANÁLISES METODOLÓGICAS	55
5.1	ÁREAS DE ESTUDO.....	55
5.1.1	Área de Estudo 01 – Base de Verificação de Níveis UFPE	55
5.1.2	Área de Estudo 02 – Adjacências da Igreja N. Senhora do Carmo – Olinda, PE..	56
5.2	MATERIAIS	57
5.3	METODOLOGIA.....	57
5.4	VERIFICAÇÃO E RETIFICAÇÃO DE NÍVEIS DIGITAIS E ANALÓGICOS	60
5.4.1	Medições, Processamentos e Análises dos Resultados Obtidos Usando Nível Digital.....	60
5.4.1.1	Método de Kukkamäki	60
5.4.1.2	Aplicação da ISO 17123-2 (ISO, 2001)	64
5.4.2	Medições, Processamentos e Análises dos Resultados Obtidos Usando Nível Analógico.....	72
5.4.2.1	Método de Nivelamento Por Ponto Médio	72
5.5	IMPLANTAÇÃO DE PONTOS DE REFERÊNCIA NA ÁREA DE ESTUDO 02 ...	74
5.5.1	Medições, Processamentos e Análises dos Resultados dos Pontos de Referência com Nível Digital.....	75

5.5.1.1	Método do Nivelamento Geométrico de Alta Precisão	75
5.5.2	Medições, Processamentos e Análises dos Resultados dos Pontos de Referência Usando Estação Total.....	77
5.5.2.1	Método da Interseção a Ré	77
5.5.2.2	Método do Nivelamento Trigonométrico	79
5.5.2.3	Método da Poligonação	81
5.6	IMPLANTAÇÃO DE PONTOS-OBJETO NA ÁREA DE ESTUDO 02	82
5.6.1	Materialização de Pontos-Objeto na Área de estudo 02	82
5.6.2	Medições, Processamentos e Análises de Resultados dos Resultados dos Pontos-Objeto Usando Estação Total.....	85
5.6.2.1	Método da Interseção a Vante	85
5.6.2.2	Método do Nivelamento Trigonométrico	89
5.6.3	Medições, Processamentos e Análises dos Resultados dos Pontos-Objeto Usando Método de Posicionamento RTK.....	92
5.6.4	Medições, Processamentos e Análises de Resultados dos Pontos-Objeto Usando Método do Nivelamento Geométrico.....	96
5.6.4.1	Nivelamento Geométrico.....	96
5.7	TERRAPLENAGEM	100
5.7.1	Terraplenagem Utilizando Dados Altimétricos Advindos de Nivelamento Geométrico, Trigonométrico e Posicionamento RTK.....	101
5.8	COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS ADVINDOS DOS MÉTODOS DE NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO, GEOMÉTRICO E O MÉTODO DE POSICIONAMENTO RTK PARA OS PONTOS-OBJETO OBSERVADOS.....	106
5.8.1	Comparação entre as altitudes ortométricas obtidas através do nivelamento trigonométrico e do nivelamento geométrico.....	106
5.8.2	Comparação entre os desníveis obtidos através do nivelamento trigonométrico, nivelamento geométrico e GNSS RTK.....	109
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	113
6.1	CONCLUSÕES	113

6.2	RECOMENDAÇÕES.....	114
	REFERÊNCIAS	116
	APÊNDICES	123
	ANEXOS	140

1 INTRODUÇÃO

O crescimento cada vez mais acelerado das cidades aliado a uma série de fatores socioeconômicos, culturais e políticos atuantes em diversos momentos no processo de urbanização implantado no Brasil, obrigou boa parte da população, no geral, os mais pobres, a ocuparem desordenadamente terrenos íngremes ou inclinados susceptíveis a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa.

O conhecimento das características geométricas e geológicas de terrenos inclinados é fundamental para ciências vinculadas a Engenharia, neste campo científico, tais localidades são geralmente denominadas como áreas de risco. De acordo com o Brasil (2007), áreas de risco representam localidades passíveis de serem atingidas por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos, que causem efeitos adversos. As pessoas que habitam estas áreas estão sujeitas a comprometimento da integridade física, perdas materiais e patrimoniais e no contexto das cidades brasileiras, essas áreas correspondem, normalmente a núcleos habitacionais de baixa renda.

Segundo Varnés (1984), a avaliação do risco em uma determinada situação deve levar em consideração critérios como a suscetibilidade da área ao tipo de desastre em foco, o perigo potencial, o grau de exposição e a vulnerabilidade dos sistemas encontrados no local estudado. No geral cabe ao poder público a gestão e o desenvolvimento de medidas de prevenção, monitoramento e correção em áreas de risco.

Dentro deste contexto, entende-se que o emprego de métodos de medição da Topografia e da Geodésia associados a técnicas da Cartografia, Fotogrametria e do Sensoriamento Remoto possibilitam aos gestores de áreas de risco dados que desempenham papéis vitais na prevenção e na contenção de desastres naturais.

Este Trabalho de Conclusão de Curso aborda através da aplicação de diferentes Métodos de Levantamentos Topográficos e Geodésicos, o desenvolvimento de metodologias de caráter preventivo, que possam ser utilizadas em atividades, que envolvam a definição das características topográficas e geotécnicas em áreas de risco, abordando inclusive as operações de terraplenagem em terrenos inclinados, que podem vir a ser empregadas. Os Métodos de Medição topográficos e geodésicos empregados, envolveram em suma a materialização de estruturas geodésicas compostas por pontos de referência e pontos-objeto. A correta definição e acompanhamento destas estruturas garante a acurácia dos dados técnicos adquiridos. A utilização de diferentes métodos de medição terrestres permite a realização de uma comparação

qualitativa e quantitativa entre os mesmos, tomando como referência a qualidade posicional obtida, a análise dos custos envolvidos, o tempo de desenvolvimento em campo, entre outros fatores.

As operações de campo ocorreram em frente à Igreja Nossa Senhora do Carmo localizada no Sítio Histórico do Município de Olinda – Pernambuco. A Igreja foi construída em 1580, ainda sob o nome de Capela de Santo Antônio e São Gonçalo, sendo considerada a mais antiga Igreja da Ordem dos Carmelitas nas Américas (IPHAN, 2017).

Nos arredores desta localidade foram observadas a existência de estruturas geodésicas de referência planimétrica e altimétrica implantadas em trabalhos anteriores, que serviram como base para a implantação dos pontos de referência e dos pontos-objeto implantados neste trabalho. Além disso, o local apresenta feições relativamente inclinadas que permitiram a simulação de uma área susceptível a riscos.

2 JUSTIFICATIVAS

Os métodos e levantamentos abordados na Topografia e Geodésia são essenciais em praticamente todos os projetos que envolvam a Engenharia. Aplicados simultaneamente ou isoladamente os métodos topográficos e geodésicos são responsáveis pela obtenção de dados planialtimétricos da superfície física da terra e das diversas estruturas geodésicas que foram materializadas sobre ela ao longo dos anos.

Um evento que desperta a cada dia um olhar mais atencioso por parte da administração pública consiste em evitar a ocorrência de deslizamentos de terra em áreas que devido ao elevado grau de inclinação de sua superfície são tidas como inadequadas para a construção de qualquer tipo de estrutura.

A aplicação de diferentes métodos topográficos e geodésicos de medição em áreas de risco auxilia no desenvolvimento de metodologias, que levem em consideração critérios como: características do local, nível de precisão a ser atingido, agilidade na obtenção dos dados, custos envolvidos e a confiabilidade do método empregado.

O conhecimento técnico proporcionado pelos dados advindos da Topografia e da Geodésia associados a outras ciências, tais como a Geotecnia e a Cartografia, permite aos gestores envolvidos no setor de planejamento urbano, pôr em prática ações preventivas, que visem a não ocorrência ou a mitigação de prováveis impactos socioambientais decorrentes de um deslizamento.

Espera-se que este trabalho contribua no sentido de aplicar metodologias, envolvendo métodos de levantamentos topográficos e geodésicos para obter informações geométricas acerca de terrenos inclinados, podendo ao final comparar os métodos de levantamentos para estudos de terrenos inclinados e áreas de risco, indicando as vantagens e desvantagens entre um método e outro.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a partir da utilização de técnicas da Topografia e da Geodésia, a eficácia dos métodos de determinação de coordenadas, no estudo de terrenos inclinados e susceptíveis a áreas de risco.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Discretizar uma superfície utilizando métodos de levantamentos topográficos e geodésicos para o estudo de terrenos inclinados;
- b) Definir estruturas geodésicas de apoio imediato através da materialização de pontos de referência para a determinação de pontos-objeto em terrenos inclinados;
- c) Analisar a qualidade dos métodos de levantamentos topográficos e geodésicos empregados;
- d) Abordar e executar procedimentos metrológicos de verificação e calibração de níveis de luneta, com a finalidade de ratificar a importância para a obtenção de dados altimétricos de qualidade.

4 REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 TERRENOS INCLINADOS SUSCEPTÍVEIS A ÁREAS DE RISCO

A superfície da Terra, ao longo dos tempos, vem sendo esculpida por forças internas e externas à superfície, exercidas por agentes geológicos, climatológicos, biológicos e, mais recentemente, por ações do próprio homem (ações antrópicas). Algumas transformações necessitam de milhares de anos para se fazerem sentir, outras são relativamente rápidas, podendo ser assistidas na escala de tempo de uma vida humana (FARAH, 2003).

Para a Engenharia Geotécnica a caracterização de terrenos inclinados sob o ponto de vista geométrico apresenta as seguintes características, de acordo com Farah (2003):

- 1) Inclinação (α): é o ângulo, expresso em graus, formado pelo plano horizontal e o plano médio do terreno inclinado;
- 2) Amplitude (H): é a diferença de cotas verificada entre o topo e a base da encosta;
- 3) Declividade (D): é a relação, expressa em porcentagem, entre a amplitude e o comprimento da projeção horizontal da encosta. Seu valor em percentual é apresentado na Equação 01;

$$D=100 \times \frac{H}{L} \quad (01)$$

Onde:

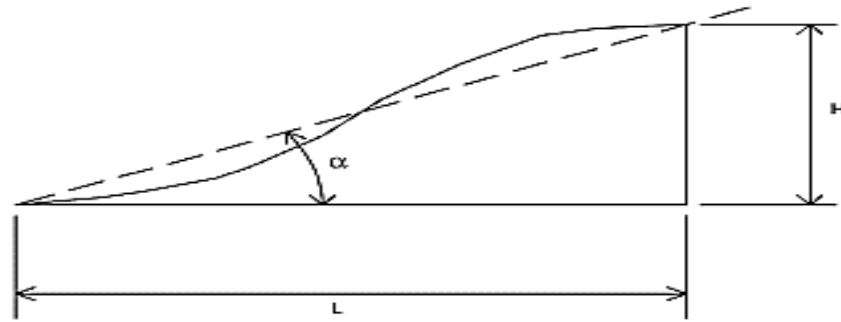
H = Amplitude;

L = Comprimento da projeção horizontal da encosta

- 4) Perfil: é a característica de variação da declividade da encosta ao longo de sua seção transversal.

Percebe-se na Figura 01 a ilustração de algumas dessas características.

Figura 01 – Inclinação (A), Amplitude (H), Comprimento (L) De Um Terreno Inclinado



Fonte: Farah (2003).

Um fenômeno natural ocorrente em terrenos inclinados é a movimentação de massa que segundo Bates e Jackson (1987), consiste na movimentação para baixo de materiais rochosos e terrosos em grande quantidade devido a influência da força gravitacional. Uma das classificações para movimentos de massa de maior aceitação mundial é dada em Varnés (1978 apud BANDEIRA 2003), conforme o Quadro 01.

Quadro 01 – Tipos De Movimentos De Massa e Suas Características

Tipos de Movimento	Características do Movimento
Quedas (<i>Falls</i>)	Os materiais, rocha ou solo, se desprendem das encostas pela ação da gravidade. O movimento é do tipo queda livre ou de rolamento, com velocidade muito rápida e pode atingir grandes distâncias.
Tombamentos (<i>Topples</i>)	Rotação de um bloco da encosta em torno de um eixo e está sujeito a existência de planos de fraqueza.
Escorregamentos (<i>Slides</i>)	Ocorre normalmente através da existência de uma superfície de ruptura, os primeiros sinais podem ser observados através da existência de fissuras na superfície do solo.
Espalhamentos (<i>Spread</i>)	Quando materiais mais rígidos estão acima de camadas menos resistentes, pode ocorrer a formação de fissuras e fraturas transversais ao movimento. O movimento inesperado e se dá pela perda de resistência da camada mais rígida devido à ação da água, por exemplo.
Corridas/Escoamentos (<i>Flows</i>)	São formas rápidas de escoamento, de caráter essencialmente hidrodinâmico, provocado pela perda de resistência do material, devido ao excesso de água.

Fonte: Varnés (1978 apud bandeira 2003).

A avaliação da estabilidade de terrenos inclinados é uma operação de suma importância para avaliar os riscos potenciais que determinada localidade pode sofrer com a ocorrência de movimento de massa e que segundo Farah (2003), tal avaliação é condicionada concomitantemente a três fatores naturais:

- 1) Características geométricas;
- 2) Características geológicas (tipos de solos e rochas que a compõem);
- 3) Ambiente fisiográfico (abrangendo clima, cobertura vegetal, drenagens naturais, dentre outras).

Qualquer alteração em uma destas características pode modificar as condições de estabilidade do local, alterando o grau de risco para as edificações presentes na área, e possibilitando a ocorrência de movimentos de massa.

Diante da importância do tema a Quadro 02 mostra os principais conceitos envolvidos na análise de áreas de risco, conforme Augusto Filho (2001 apud CASTRO, OLIVEIRA E RIO 2005).

Quadro 02 – Principais Conceitos Utilizados na Análise de Riscos Conforme a IUGS – *International Union Of Geological Sciences*.

(Continua)

Termo	Definição
Risco (Risk)	Uma medida da probabilidade e severidade de um efeito adverso para a saúde, propriedade ou ambiente. Risco é geralmente estimado pelo produto entre as probabilidades e as consequências.
Perigo	Uma condição com potencial de causar uma consequência desagradável. Alternativamente, o perigo é a probabilidade de um fenômeno ocorrer em um dado período de tempo.
Risco Específico	Grau esperado de perda devido a ocorrência de um fenômeno natural.
Elementos em Risco	População, propriedades e atividades econômicas, incluindo serviços públicos, localizados em áreas de risco.

(Conclusão)

Termo	Definição
Vulnerabilidade	O grau de perda para um elemento ou conjunto de elemento em risco dentro de uma área afetada pelo processo considerado
Análise de Risco	Uso da informação disponível para estimar os riscos para os indivíduos ou populações, propriedades ou ambiente. A análise de risco geralmente contém as seguintes etapas: definição do escopo, identificação do perigo e determinação do risco.

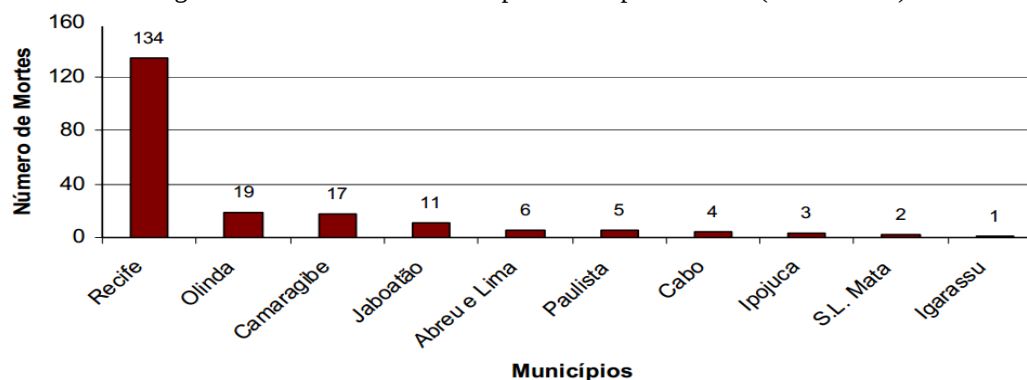
Fonte: Augusto Filho (2001 apud CASTRO, OLIVEIRA E RIO 2005).

4.1.1 Ocorrências de Movimentos de Massa na RMR – Região Metropolitana do Recife

A ocorrência de fenômenos de movimentação de massa são eventos de natureza comum na Região Metropolitana do Recife – RMR, sendo comumente associados a épocas de intensas precipitações pluviométricas. Nas últimas décadas vários relatos de escorregamentos foram noticiados pelos meios de comunicação locais.

De acordo com Bandeira (2010) é possível verificar a ocorrência de deslizamentos de terra com vítimas fatais na RMR desde o ano de 1984, ainda segundo a autora, estima-se que tais eventos tenham vitimado fatalmente 202 pessoas no intervalo de tempo decorrido entre os anos de 1984 a 2009. O município de Recife registra 134 mortes, enquanto Olinda, Camaragibe e Jaboatão dos Guararapes registram 19, 17 e 11 mortes, respectivamente. A Figura 02 apresenta os municípios da RMR que registraram a ocorrência de mortes decorrentes de deslizamentos entre 1984 e 2009.

Figura 02 – Histórico de Mortes por Município na RMR (1984 - 2009).



Fonte: Bandeira (2010).

Recentemente em meados de abril de 2016 e maio de 2017 fortes chuvas atingiram a RMR, provocando novamente a incidência de deslizamentos de terra com vítimas fatais. Nestes dois eventos, conforme noticiado por portais de comunicação locais, Rede Globo de Comunicação (2016 e 2017) foram registrados 4 vítimas fatais em abril de 2016 e 2 vítimas fatais em maio de 2017. A Figura 03 apresenta as consequências decorrentes de um deslizamento de terra no bairro de Águas Compridas – Olinda, PE em abril de 2016.

Figura 03 – Deslizamento de Terra em Águas Compridas – Olinda, PE.



Fonte: TV Jornal (2016).

4.1.2 Gerenciamento e Gestão de Áreas de Risco

De acordo com Bandeira (2003), no Brasil os instrumentos legais fazem entender que a ocupação nas encostas é um ato de degradação ambiental, ou seja, uma ação que provoca alteração adversa das características do meio ambiente. A lei Federal 6.766 (BRASIL, 1979), evidencia que as encostas com declives superiores a 30% constituem áreas impróprias à ocupação. Cabe ao poder público coibir a ocupação nessas localidades, protegendo a população e o meio ambiente. No entanto Anjos (1999), afirma que o envolvimento do poder público nas áreas de risco, muitas vezes é realizado apenas por ocasião dos acidentes e isso se deve a fatores como:

- 1) Falta de conhecimento sobre controle de riscos na ocupação de encostas por parte dos planejadores urbanos;

- 2) Desorganização, nos níveis federal, estadual e municipal, do controle de ocupação de encostas urbanas;
- 3) Pouca informação técnica sobre o assunto no âmbito da graduação em engenharia;
- 4) A pluralidade temática que envolve o assunto exige a interdisciplinaridade dos pesquisadores, e isto torna o estudo restritivo, e assim, pouco conhecido;
- 5) Forte desgaste político quando da necessidade de evacuar a população de uma área de risco;
- 6) Falta de educação da população sobre habitação em áreas de encostas.

Diante deste cenário fica evidente a necessidade e a importância da aplicação de novas metodologias de prevenção, monitoramento e correção focadas no estudo e análise de áreas de risco, propiciando ao setor público ferramentas para evitar, conter ou mitigar a ocorrência de desastres naturais nestas áreas.

A determinação do grau de risco presente em uma determinada localidade leva em consideração diversos fatores além da Topografia e da Geodésia. Como neste trabalho o enfoque maior é dado para essas ciências, a Tabela 01 apresenta uma metodologia desenvolvida em Alheiros (1998) apud BANDEIRA (2003), para a determinação do grau de risco na ocupação de encostas em Recife – PE, levando em consideração a Topografia de tais encostas. Essa classificação é de extrema importância para a definição de medidas prevenção, contenção e monitoramento.

Tabela 01– Atributos por Graus de Risco, Segundo Fatores Topográficos.

Graus de Risco	Atributos	Altura (m)	Extensão (m)	Declividade (m)	Perfil	Morfologia (m)
Muito Baixo	1	<5	<100	<20	Côncavo	Convexa
Baixo	2	5-10	100-250	20-30	Retilíneo	Retilínea
Mediano	3	10-20	250-350	30-40	Côncavo-convexa	Sinuosa
Alto	4	20-30	350-500	40-50	Convexo	Côncava
Muito alto	5	>30	>500	>50	Convexo	Côncava

Fonte: adaptado de bandeira (2003).

4.2 TERRAPLENAGEM EM PLANOS INCLINADOS

A terraplenagem é o conjunto de operações destinadas ao corte, carregamento, transporte, descarregamento, acabamento de superfície, umedecimento e compactação de materiais em uma obra de construção civil, objetivando adequar o terreno natural às especificações de projeto (PRATA, NOBRE e BARROSO, 2005).

Segundo Borges (1992), conhecer o modelo original do terreno, através de suas características planialtimétricas é de fundamental importância em operações de terraplenagem que visam à construção de plataformas horizontais ou inclinadas. Implantar instalações residenciais, comerciais ou de uso comum em áreas com declividades acentuadas, requer a movimentação de elevados volumes de terra através da realização de cortes e aterros. A execução de procedimentos de terraplenagem (cortes e aterros) gera na superfície do terreno planos inclinados, conhecidos no meio geotécnico como taludes e que segundo Borges (1992), devem ter suas inclinações finais definidas em cada projeto. Os taludes de corte por apresentarem uma maior estabilidade, uma vez que são construídos em terrenos naturais, geralmente apresentam uma inclinação mais elevada.

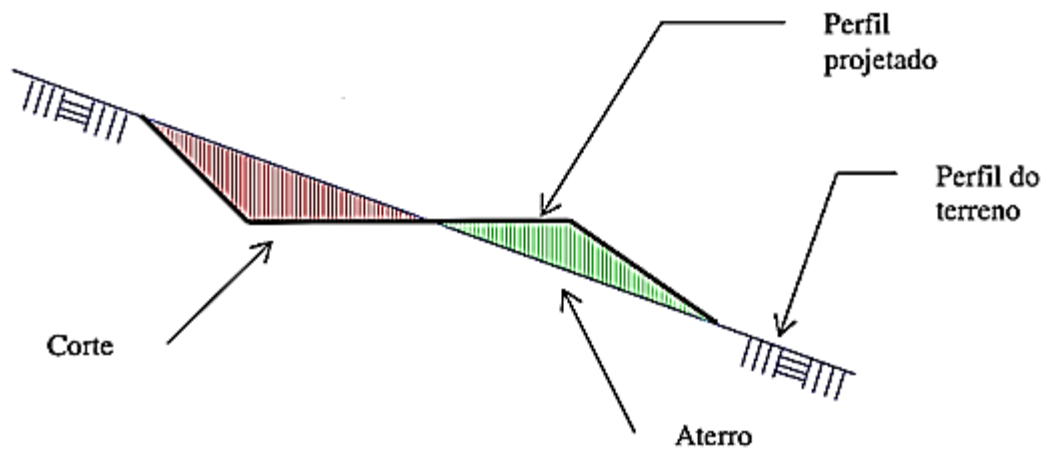
Segundo Brasil (2007), a precariedade das ocupações construídas em aterros instáveis e taludes de corte com elevada declividade, aumenta a vulnerabilidade de áreas já naturalmente frágeis, fazendo com que surjam setores de alto risco, que por ocasião de períodos chuvosos mais intensos, têm sido palco de graves acidentes.

Neste trabalho serão analisados os procedimentos de terraplenagem, que visem à determinação de um plano inclinado sem uma altura definida. Neste caso segundo Borges (1992), este plano será posto em uma altura, onde os volumes finais de corte e aterro são iguais, reduzindo assim, ao mínimo o volume de corte e as distâncias de transporte.

4.2.1 Método das Seções Transversais

De acordo com Pimenta e Oliveira (2004) a seção transversal de um determinado ponto é o corte feito por um plano vertical perpendicular à projeção horizontal do eixo, que define e posiciona os diversos elementos, que compõem o projeto na direção transversal. As seções podem ser de três tipos: seções em corte, seções em aterro e seções mistas, conforme Figura 04

Figura 04 – Seções de Corte e Aterro



Fonte: Veiga (2007)

Segundo Borges (1992), para ter conhecimento acerca do volume de terra envolvido nas operações de terraplenagem realizadas em determinada área a partir da utilização do método das seções transversais, é preciso primeiramente conhecer a área de cada seção. Ainda de acordo com o mesmo autor, tais áreas são obtidas com o auxílio da fórmula dos trapézios, conforme Equação 02.

$$S = \frac{d}{2} (E + 2M) \quad (02)$$

Onde:

d = Altura dos trapézios;

E = Soma das ordenadas das extremidades;

M = Soma das ordenadas intermediárias;

De acordo com Borges (1992), o volume total de terra entre as seções transversais contidas em um terreno é obtido pelo produto da média aritmética das áreas das seções pela distância entre elas, neste caso considerando um modelo de terreno formado pelas seções A, B, C e D, tem-se que o volume total de material envolvido nas operações de terraplenagem é dado pela Equação 03.

$$V_{\text{Total}} = \left(\frac{S_A + S_B}{2} \right) d + \left(\frac{S_B + S_C}{2} \right) d + \left(\frac{S_C + S_D}{2} \right) d \quad (03)$$

Onde:

V_{Total} = Volume total de materiais envolvidos nas operações de terraplenagem;

S_A = Área da seção A;

S_B = Área da seção B;

S_C = Área da seção C;

S_D = Área da seção D.

4.3 ESTRUTURAS GEODÉSICAS TRIDIMENSIONAIS

A definição de redes geodésicas tridimensionais é uma das etapas iniciais na execução de projetos de infraestrutura relacionados à engenharia. De acordo com Torge (2001), rede geodésica é um conjunto de pontos materializados, que fornecem as referências planimétricas, altimétricas e geopotenciais para a determinação de campos de posicionamento e gravidade em todas as escalas, tais redes podem apresentar alcance global, regional e local.

Partindo-se deste contexto e utilizando as malhas de referências implantadas no Sítio Histórico de Olinda em Gama (2008) e Souza (2012) e densificadas em Santana Neto (2015) e Gomes (2017), definiu-se uma estrutura geodésica formada por um conjunto de pontos de referência e um conjunto de pontos-objeto, que permitiu a análise da eficácia dos métodos de determinação de coordenadas no estudo de terrenos inclinados e susceptíveis a áreas de risco.

4.3.1 Definição de Pontos de Referência

Segundo Botelho (2003), um campo de pontos de referência é um conjunto de pontos materializados no terreno e que tem suas coordenadas conhecidas, determinadas de acordo com as especificações do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1998) ou segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas utilizadas para apoio em trabalhos geodésicos e topográficos. Ainda de acordo com Botelho (2003), o campo de pontos de

referência fica evidenciado pela materialização de ao menos dois vértices fora dos limites do imóvel objeto de estudo em locais que ofereçam segurança. A localização destes pontos varia em função da geometria do objeto a ser monitorado e das condições que favorecem a execução das medições, tais como segurança, acessibilidade, dificuldade para monumentalização, vibrações, ventos fortes, gradiente de temperatura, instabilidades geodinâmicas localizadas, entre outros fatores (CARDOSO, 2005).

Neste trabalho, o campo de pontos de referência inicialmente utilizado foi implantado utilizando os métodos terrestres de medição através da poligonação e do nivelamento geométrico de altíssima precisão. Além disso, também foram utilizados métodos de posicionamento GNSS – *Global Navigate Satellite System* através do transporte de linhas de base para vincular tridimensionalmente a posição de determinados pontos na superfície.

O campo de pontos de referência é formado pelos vértices INSC e RNNSC determinados em Souza (2012), CARMO e FOCCA determinados em Santana Neto (2015) e Gomes (2017), e finalmente pelos vértices IC1e IC2 determinados neste trabalho. Na Figura 05 é possível visualizar o conjunto de pontos de referência.

Figura 05 – Campo de Pontos de Referência Planialtimétrica



Fonte: Google Earth (2017).

4.3.2 Definição de Pontos - Objeto

Um campo de pontos-objeto equivale a um conjunto de pontos levantados em um terreno e utilizados para representação de todos os detalhes necessários a serem representados,

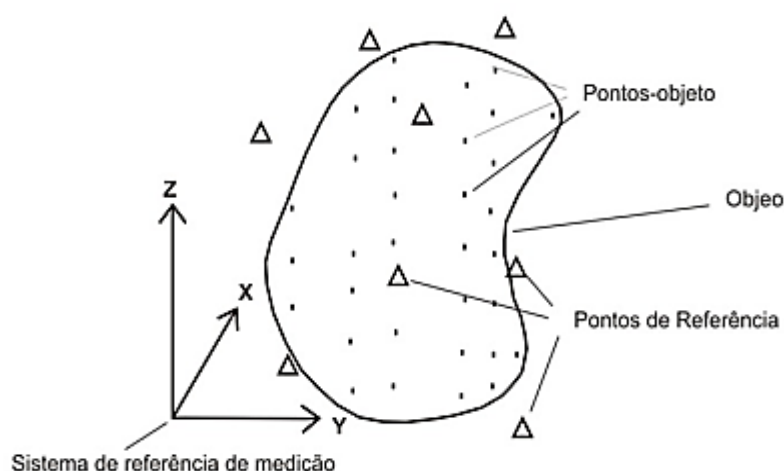
os objetos levantados, tais como prédios, postes e árvores têm suas coordenadas referenciadas ao sistema definido pelo campo de pontos de referência.

Ainda acerca do tema, Gama (2008), afirma que os critérios de precisão, aceitos para o campo de pontos - objeto devem ser especificados no trabalho, e a propagação do erro é estudada a partir do campo de pontos de referência. Neste caso, as coordenadas do campo de pontos de referência são tomadas como verdadeiras, com suas inexatidões desprezadas.

A definição dos pontos-objeto na área de estudo localizada em frente à Igreja Nossa Senhora do Carmo permitiu a discretização do terreno inclinado, possibilitando uma análise quantitativa e qualitativa do local, cabe salientar que devido ao fato de o campo de pontos-objeto localizar-se em uma área considerada Patrimônio Histórico e Cultural da Humanidade a inserção de tais pontos adotou uma metodologia diferenciada, onde não foi possível utilizar a implantação física de pontos no terreno. Optou-se, neste caso, pela busca de feições artificiais disponíveis na área e que possibilitassem uma noção de segurança e estabilidade para o levantamento dos pontos. Através de operações de reconhecimento na área de estudo, chegou-se à conclusão que a escadaria localizada frontalmente à Igreja Nossa Senhora do Carmo constituía uma excelente opção para a definição do campo de pontos-objeto, uma vez que se trata de uma estrutura artificial estável, construída em um terreno inclinado e estrategicamente localizada próxima a um campo de pontos de referência.

A Figura 06 ilustra uma estrutura geodésica de referência composta de um campo de pontos de referência e um campo de pontos-objeto.

Figura 06 – Sistema de Referência de Medição



Fonte: Silva, Seixas e Romão (2004).

4.4 MÉTODOS TERRESTRES DE DETERMINAÇÃO DE COORDENADAS PLANIMÉTRICAS E ALTIMÉTRICAS

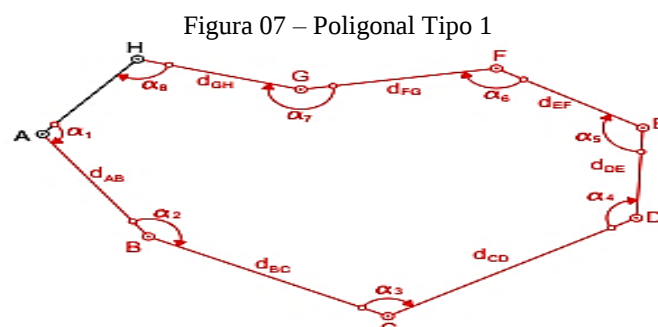
Os Métodos Terrestres de Determinação de Coordenadas Planimétricas e Altimétricas foram empregados neste trabalho através da utilização de estações totais, níveis digitais e níveis analógicos. Com o auxílio destes instrumentos foi possível realizar observações angulares e lineares, que associadas aos conceitos matemáticos adequados a cada método permitiram a determinação das coordenadas dos vértices integrantes da estrutura geodésica de referência e do campo de pontos-objeto.

Neste trabalho foram contemplados alguns destes métodos, tais como: poligonação fechada, interseção a ré, interseção a vante, nivelamento trigonométrico e nivelamento geométrico.

4.4.1 Poligonação

Uma poligonal é uma série de alinhamentos consecutivos, cujos vértices foram marcados no campo e cujos comprimentos e direções foram determinados a partir de observações. Em levantamentos tradicionais por métodos terrestres, a poligonação, é o ato de marcar alinhamentos, ou seja, estabelecer vértices da poligonal e fazer as observações necessárias. Tal método consiste em um dos meios mais básicos e mais praticados para determinar a localização relativa de pontos (GHILANI e WOLF, 2013). Ainda acerca do tema, o IBGE (1999) define poligonação, como o encadeamento de distâncias e ângulos medidos entre pontos adjacentes formando linhas poligonais ou polígonos.

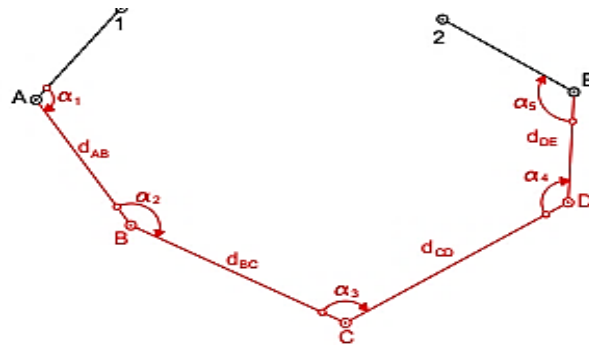
O método da poligonação tem sua aplicabilidade regulamentada pela NBR 13133 (ABNT,1994). Para efeito desta norma são considerados três tipos de poligonais, sendo elas: Tipo 1 – Poligonais apoiadas e fechadas em uma só direção e em um só ponto – Tipo 1, conforme Figura 07;



Fonte: INCRA (2013).

Tipo 2 – Poligonais apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento curvo – Tipo 2, conforme Figura 08;

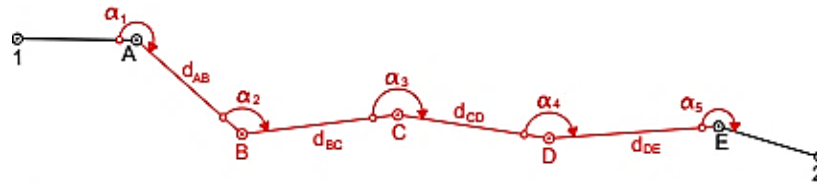
Figura 08 – Poligonal Tipo 2



Fonte: INCRA (2013).

Tipo 3 – Poligonais apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento retilíneo – Tipo 3, conforme Figura 09.

Figura 09 – Poligonal Tipo 3



Fonte: INCRA (2013).

Estes tipos de poligonais descritos pela NBR 13133 (ABNT, 1994) permitem a realização do ajustamento das poligonais implantadas e o estabelecimento de tolerâncias para os erros de fechamento angular e linear.

Neste trabalho foi implantada uma poligonal do tipo 1 e de acordo com Espartel (1987) os procedimentos para o conhecimento das coordenadas dos vértices integrantes da mesma, seguindo o método tradicional são mostrados a seguir:

- Determinação da orientação da poligonal;
- Cálculo do erro de fechamento angular;
- Distribuição do erro de fechamento angular;

- Cálculo dos azimutes;
- Cálculo das coordenadas parciais (X, Y);
- Cálculo do erro de fechamento linear;
- Cálculo das coordenadas definitivas (X_c, Y_c).

Neste caso, o erro de fechamento angular pode ser obtido através das Equações 04 ou 05, ao passo que o erro de fechamento linear através da Equação 06.

$$\Sigma a_i = (n-2)180^\circ \quad (04)$$

$$\Sigma a_e = (n+2)180^\circ \quad (05)$$

$$\varepsilon_L = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (06)$$

Onde:

Σa_i = Soma dos ângulos internos de uma poligonal fechada;

Σa_e = Soma dos ângulos externos de uma poligonal fechada;

n = Número de lados de uma poligonal;

ΔX = Erro na direção Leste-Oeste;

ΔY = Erro na direção Norte-Sul.

4.4.2 Interseção a Ré

Interseção a ré é um método usado para determinar as coordenadas planimétricas desconhecidas de um ponto ocupado por uma estação total ou teodolito (GHILANI, 2010).

O método de interseção a ré subdivide-se em três situações que possuem como diferencial o tipo de observação que é coletada para a determinação em campo do vértice desconhecido, sendo elas: interseção por meio da medição de direções, interseção por meio da medição de distâncias e interseção através de medições combinadas de direção e distância (KAHMEN e FAIG, 1988).

Neste trabalho, o método de interseção a ré aplicado envolveu medições combinadas de direção e distância.

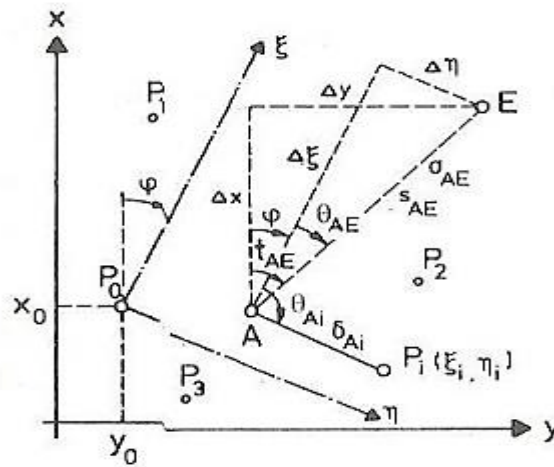
4.4.2.1 Interseção a Ré por Meio de Medições Combinadas de Direções e Distâncias

De acordo com Kahmen e Faig (1988), o método da interseção a ré por meio de medições combinadas de direções e distâncias é preferencialmente utilizado quando medidores eletrônicos de distância são usados em conjunto com teodolitos ópticos ou eletrônicos. Em tal combinação a configuração geométrica adotada tem pouca importância o que providencia sempre soluções aceitáveis. As observações coletadas através deste método podem ser ajustadas via Método dos Mínimos Quadrados – MMQ quando um número maior do que dois ângulos e duas distâncias são coletadas (KAHMEN e FAIG, 1988). A obtenção das coordenadas de um vértice através do método da interseção a ré por meio de medições combinadas de direções e distâncias pode ser realizada através do método da estação livre e do método da transformação de similaridade descritos em Kahmen e Faig (1988). Neste trabalho, utilizou-se o método da transformação de similaridade de Helmert para obter as coordenadas de vértices integrantes da estrutura geodésica de referência.

a) Método da Transformação de Similaridade

A transformação de similaridade expressa a relação entre dois sistemas de coordenadas, tal relação é representada por meio de duas translações (X_0 , Y_0), uma rotação (ϕ) e um fator de escala (q), que relacionam um sistema local arbitrado em campo e o sistema da máquina: estação total, neste caso (KAHMEN e FAIG, 1988). Segundo os mesmos autores, a transformação de similaridade requer ao menos dois pontos comuns em ambos os sistemas, quando houverem mais de dois pontos disponíveis esta transformação passa a se chamar transformação de similaridade de Helmert e torna-se possível o ajustamento por MMQ. A Figura 10 ilustra os elementos geométricos integrantes da transformação de similaridade, ao passo que as Equações 07 a 12 representam a formulação matemática do método desenvolvida em Kahmen e Faig (1988).

Figura 10 – Transformação de Similaridade Entre Coordenadas



Fonte: Kahmen e Faig (1988).

$$x = x_A - q \cdot s_A \sin(r_A + \varphi) = x_E - q \cdot s_E \sin(r_E + \varphi) \quad (07)$$

$$y = Y_A - q \cdot s_A \cos(r_A + \varphi) = Y_E - q \cdot s_E \cos(r_E + \varphi) \quad (08)$$

$$\xi_A = s_A \sin r_A \quad (09)$$

$$\eta_A = s_A \cos r_A \quad (10)$$

$$\xi_E = s_E \sin r_E \quad (11)$$

$$\eta_E = s_E \cos r_E \quad (12)$$

Onde:

x, y = Coordenadas retangulares em um sistema de referência adotado;

$\xi_A, \eta_A, \xi_E, \eta_E$ = Coordenadas dos vértices A e E, pertencentes a um sistema local arbitrário;

q = Fator de escala;

φ = Ângulo de rotação;

s_A = Distância do vértice P_0 ao vértice A;

s_E = Distância do vértice P_0 ao vértice E;

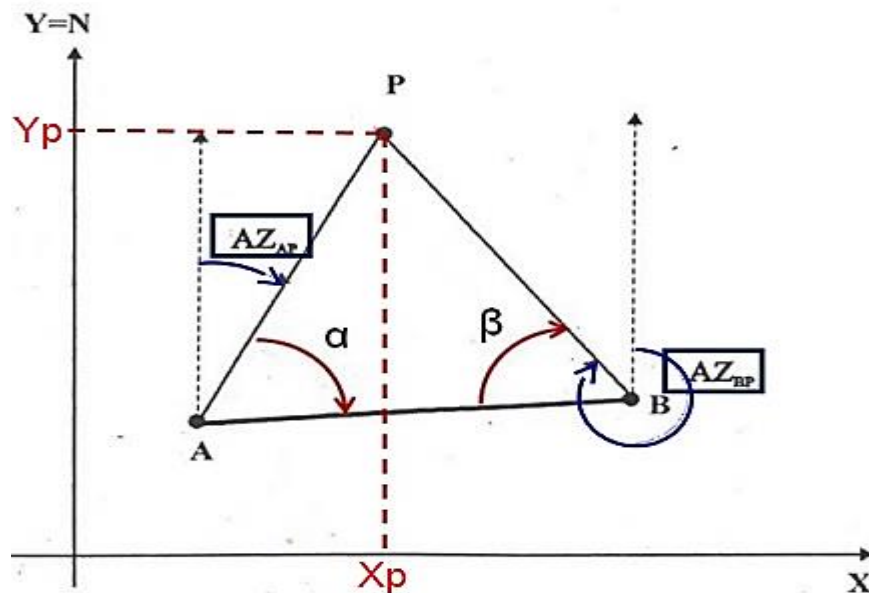
r_A = Ângulo horário de uma direção zero ao vértice A;

R_E = Ângulo horário de uma direção zero ao vértice E.

4.4.3 Interseção a Vante

Segundo Kahmen e Faig (1988), o método da interseção a vante permite determinar as coordenadas planimétricas de um ponto desconhecido, a partir de dois outros pontos com coordenadas conhecidas, a Figura 11 ilustra o procedimento realizado em campo.

Figura 11 – Método Da Interseção a Vante



Fonte: Erba et al. (2005).

As equações 13, 14 e 15 permitem o cálculo das coordenadas planimétricas do vértice P, tais equações foram desenvolvidas em Erba et al. (2005).

$$Y_P = \frac{[X_A - Y_A \cdot \tan(AZ_{AP})] - [X_B - Y_B \cdot \tan(AZ_{BP})]}{\tan(AZ_{BP}) - \tan(AZ_{AP})} \quad (13)$$

$$X_P = X_A + (Y_P - Y_A) \cdot \tan(AZ_{AP}) \quad (14)$$

$$X_P = X_B + (Y_P - Y_B) \cdot \tan(AZ_{BP}) \quad (15)$$

Sendo que:

A, B = Vértices de coordenadas conhecidas;

P = Vértice de coordenadas desconhecidas;

AZ_{AP} = Azimute do vértice IC1 para o ponto O1P1;

AZ_{BP} = Azimute do vértice IC1 para o ponto O1P1;

X_A = Coordenada X do vértice A;

Y_A = Coordenada Y do vértice A;

X_B = Coordenada X do vértice B;

Y_B = Coordenada Y do vértice B.

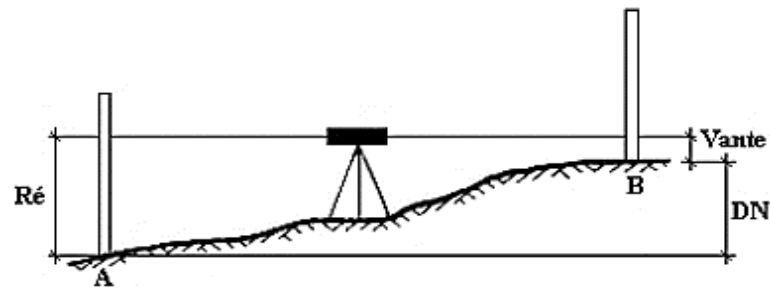
O método da interseção a vante foi usado neste trabalho para obter as coordenadas dos pontos-objeto. O método permite a realização do ajustamento pelo MMQ, conforme equações matemáticas descritas em (GEMAEL, 1994).

4.4.4 Nivelamento Geométrico

Segundo Ghilani e Wolf (2013), nivelamento é o termo geral aplicado a qualquer um dos diversos processos pelos quais as elevações de pontos ou diferenças em elevação são determinadas. A obtenção desses dados tem um importante papel em operações de mapeamento e construção de projetos de engenharia. Segundo a NBR 13133 (ABNT, 1994), entende-se por nivelamento geométrico, o método que determina a diferença de nível entre pontos do terreno através de visadas horizontais, obtidas com um nível, em miras colocadas verticalmente nos referidos pontos. Devido a sua alta acurácia é o método de nivelamento mais empregado na engenharia. O cálculo dos desníveis é obtido através da diferença entre as leituras obtidas nas miras de ré e de vante, conforme Equação 16 e Figura 12, que caracterizam o nivelamento geométrico simples, onde o instrumento permanece na mesma posição.

$$\Delta H = \text{Leitura Ré} - \text{Leitura Vante} \quad (16)$$

Figura 12 – Nivelamento Geométrico Simples

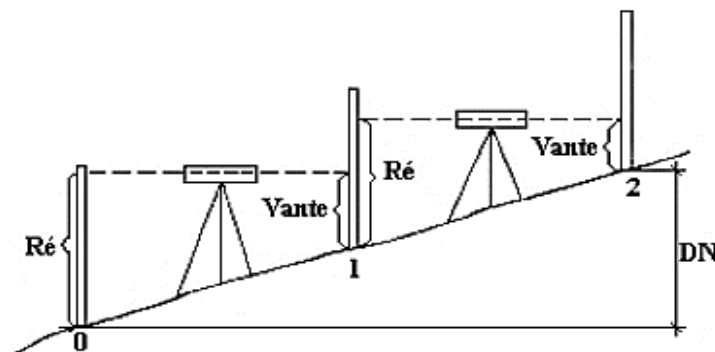


Fonte: Domingues (1979).

Na maior parte dos levantamentos são necessárias observações de várias linhas de visada, neste caso, tem-se um nivelamento geométrico composto, que se caracteriza pelo deslocamento do instrumento e das miras graduadas ao longo de um percurso. A diferença de nível entre os pontos 0 e 2 na Figura 13 é dada pela Equação 17.

$$DN = \sum \text{Leitura Ré} - \sum \text{Leitura Vante} \quad (17)$$

Figura 13 – Nivelamento Geométrico Composto



Fonte: Garcia (1974).

De acordo com a NBR 13133 (ABNT, 1994), a exatidão do apoio topográfico altimétrico se expressa pela qualidade do fechamento de circuito ou linhas, formados por duplo nivelamento, conectando estações de altitudes conhecidas. O ajustamento de redes de nivelamento geométrico, onde os circuitos ou linhas se cruzam formando nós, considera como o valor mais provável de altitude a média ponderada dos valores calculados através das linhas ou circuitos que nele convergem, tendo atenção ao comprimento.

Ainda segundo a NBR 13133 (ABNT, 1994), em redes de nivelamento mais complexas é recomendado o emprego do MMQ. A precisão alcançada em um nivelamento

geométrico é definida pela Equação 20, apresentada em (SILVA e SEGANTINE, 2015), as Equações 18 e 19 denotam a tolerância altimétrica e o respectivo erro de fechamento alcançado entre o nivelamento e o contranivelamento.

$$\text{Tolerância Altimétrica} = 0,0003\sqrt{k} \quad (18)$$

$$\text{Erro de Fechamento} = H_I(\text{RN394D}) - H_f(\text{RN394D}) \quad (19)$$

$$\text{Precisão} = \sqrt{\frac{(\text{Erro de Fechamento})^2}{2 \times k}} \quad (20)$$

Onde:

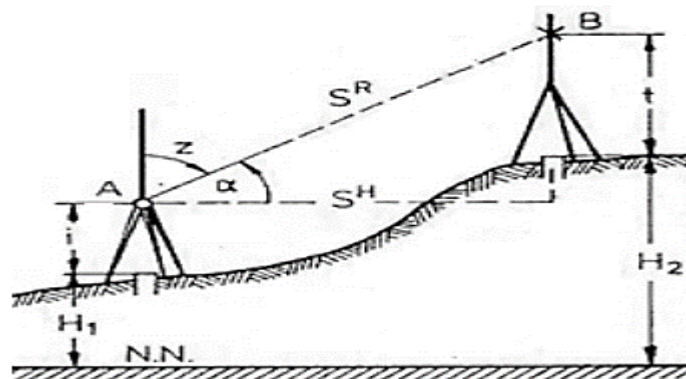
RN394D = Referência de Nível utilizada no trabalho, localizada ao lado da porta principal da igreja de São Pedro em Olinda;

K = Perímetro em quilômetros percorrido durante trajeto de nivelamento e contra-nivelamento.

4.4.5 Nivelamento Trigonométrico

O nivelamento trigonométrico é um procedimento que consiste em realizar a medida da diferença de nível entre pontos topográficos por intermédio de leituras correspondentes a visadas inclinadas, realizadas com taqueômetros ou estação total, por meio de medidas de distâncias e ângulos verticais, conforme Figura 15 (ERBA et al., 2005). Para distâncias curtas o desnível entre os pontos A e B da Figura 14 pode ser calculado através da Equação 21.

Figura 14 – Nivelamento Trigonométrico



Fonte: Kahmen e Faig (1988).

$$\Delta H_{AB} = S^R \cdot \cos Z + (i - t) \quad (21)$$

Onde:

S^R = Distância inclinada;

i = Altura do equipamento;

t = Altura do prisma refletor;

Z = Ângulo zenital;

S^H = Distância horizontal.

O grau de acurácia obtido através deste método depende essencialmente dos ângulos e distância medidos, das alturas do instrumento e do alvo, assim como dos efeitos da refração atmosférica e curvatura terrestre. Os erros nas coletas das alturas instrumentais são independentes da distância e podem apresentar em distâncias curtas, importantes correções. Por outro lado, a influência dos erros angulares e da refração atmosférica aumentam de uma maneira inversamente proporcional à distância (RESNIK e BILL, 2003 apud SOUZA, 2012).

Neste trabalho, utilizou-se o método de nivelamento trigonométrico considerando linhas de nivelamento de curtas distâncias, livres, portanto dos efeitos da refração atmosférica e da curvatura terrestre, que devem ser levados em consideração durante operações de nivelamento trigonométrico, que apresentem linhas de nivelamento longas. A formulação matemática de tais efeitos pode ser consultada em Kahmen e Faig (1988).

4.5 VERIFICAÇÃO E RETIFICAÇÃO DE NÍVEIS DE LUNETAS

Os níveis são os equipamentos utilizados para determinar o desnível entre diferentes pontos. A utilização deste equipamento em obras de Engenharia exige que os mesmos propiciem o nível de acurácia e precisão indicados por seus fabricantes. De acordo com a NBR 13133 (ABNT, 1994) os níveis são classificados segundo desvio padrão de 1 km de duplo nivelamento, conforme Quadro 03.

Quadro 03 – Classificação dos Níveis

Classes de Níveis	Desvio Padrão
1 – Precisão Baixa	$>\pm 10\text{mm/km}$
2 – Precisão Média	$\leq\pm 10\text{mm/km}$
3 – Precisão Alta	$\leq\pm 03\text{mm/km}$
4 – Precisão Muito Alta	$\leq\pm 1\text{mm/km}$

FONTE: NBR 13133 (ABNT, 1994).

Os critérios de qualidade exigidos para os levantamentos, tanto legalmente, através de normas e especificações técnicas, quanto do ponto de vista da qualidade dos resultados obtidos, tornam necessárias à realização de operações de verificação e retificação nos níveis (BRUM, 2005).

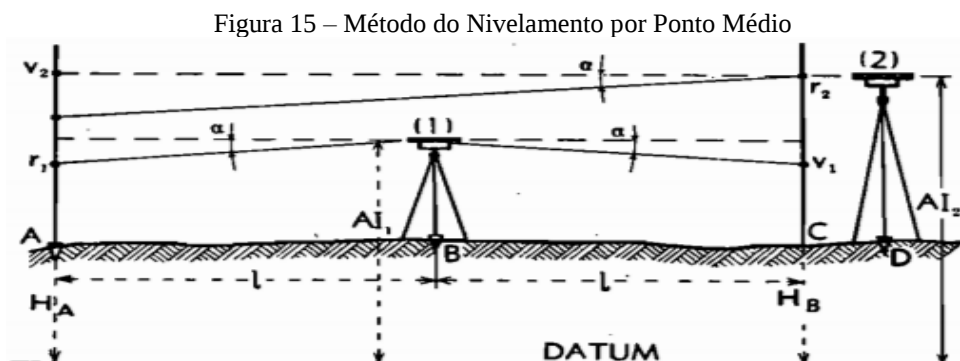
Neste trabalho foram utilizados níveis de precisão alta e muito alta durante as operações de campo, que envolveram a determinação de referenciais altimétricos, antes do início destas etapas foram realizadas nestes instrumentos operações de verificação e retificação, através das recomendações da norma 17123-2 (ISO, 2001) e da técnica do nivelamento médio.

4.5.1 ISO 17123 – 2: 2001

A ISO – *International Organization for Standardization* (Organização Internacional para Padronização) é um órgão de abrangência mundial que estabelece normas de certificação para diversas atividades. A norma 17123-2 (ISO, 2001), especifica os procedimentos de campo a serem adotados para a avaliação e determinação da precisão de níveis e seus equipamentos auxiliares empregados em levantamentos topográficos e geodésicos. A norma descreve um procedimento simplificado e outro completo para que o equipamento tenha a sua precisão aferida. Neste trabalho, seguiram-se as especificações da norma, que tratavam sobre o teste completo, utilizou-se o nível digital Leica DNA-03 com uma precisão de 0,3mm/km, especificada pelo fabricante.

4.5.2 Método do Nivelamento por Ponto Médio

De acordo com Espartel (1987), o método do nivelamento por ponto médio permite horizontalizar o eixo óptico ou a linha de colimação de um nível através de medidas tomadas em um terreno aproximadamente horizontal. Na Figura 15 é possível visualizar uma ilustração do método.



Fonte: Espartel (1987).

De acordo com a Figura 16 e seguindo Espartel (1987), dados três pontos equidistantes A, B e C, o nível deve ser instalado em B de onde será realizada uma leitura (r_1) a mira posicionada em A. Com a leitura devidamente anotada, a mira deve ser deslocada ao ponto C, onde uma visada a partir de B será novamente efetuada. Mesmo com a presença de um erro de colimação α , como os pontos são equidistantes o erro é anulado e a diferença obtida entre A e C é exata. Deve-se então instalar o nível no ponto D, posicionado a dois metros de C e realizar uma leitura (r_2) no ponto C, que pode ser considerada certa devido ao pequeno afastamento. Procede-se, então, com o transporte da mira de D para A e a leitura que se deve fazer é igual a diferença de nível entre A e B mais a leitura r_2 . As correções devem ser feitas através dos parafusos de correção do retículo, que estão localizados em um anel fechado junto à ocular do equipamento, conforme Figura 16.

Figura 16 – Parafusos de Correção do Retículo



4.5.3 Método de Kukkamäki

O método de Kukkamäki é um procedimento que visa a correção do erro de colimação, tal erro ocorre quando a linha de colimação do nível não está exatamente na horizontal, com base na Figura 17 os procedimentos descritos em Kahmen e Faig (1988) e Faggion (2011) são indicados a seguir:

Onde:

c = Erro de colimação vertical;

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

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

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

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

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

- 4) Os fios do retículo devem ser deslocados de modo que as leituras estejam conforme Equações 27 e 28.

$$a'_1 = a_2 - 4c \quad (27)$$

$$b'_2 = b_2 - 2c \quad (28)$$

Onde:

a'_1 = Leitura que teoricamente teria de ser observada no ponto A, sem a influência do erro de colimação do nível, no momento em que a régua está estacionada entre A e B;

b'_2 = Leitura que teoricamente teria de ser observada no ponto B, sem a influência do erro de colimação do nível, no momento em que a régua está estacionada entre A e B;

- 5) Após uma checagem final, os valores obtidos devem estar conforme Equação 29.

$$a_1 - b_1 = a'_2 - b'_2 = \Delta h_{AB} \quad (29)$$

4.6 SISTEMAS GLOBAIS DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

Criado durante a década de 1970 sob responsabilidade do Dod – *Department of Defense* dos Estados Unidos da América, o sistema GPS – *Global Positioning System* vem provando ao longo dos últimos anos que é uma técnica efetiva de posicionamento, proporcionando a obtenção de coordenadas sob quaisquer condições ambientais, em tempo real, continuamente, de forma econômica e com técnicas de precisão (SEGANTINE, 2005).

Segundo Ghilani e Wolf (2013), com o passar dos anos outros países passaram a desenvolver seus próprios sistemas e o escopo completo dos sistemas de satélite usados no posicionamento é conhecido nos dias atuais como GNSS. O GNSS não exige a existência de linhas de visada livres entre as estações de levantamento, o que representa uma mudança revolucionária em relação aos métodos de levantamentos tradicionais baseados na medição de ângulos e distâncias (GHILANI e WOLF, 2013).

4.6.1 Métodos de Posicionamento por Satélites

O posicionamento através do GPS pode ser realizado a partir de diferentes técnicas e observáveis, as quais fornecem níveis de precisão que variam desde algumas dezenas de metros até poucos milímetros. Ressalta-se que a observável utilizada no processo de estimação das coordenadas é um dos principais fatores que influenciam os níveis de precisão alcançados (IBGE, 2008). O termo posicionamento nesse contexto está inserido para denotar a posição de objetos em relação a um determinado referencial. Segantine (2005), considera os métodos de posicionamento absoluto, relativo e diferencial. Segundo o autor a diferença entre tais métodos é o referencial que é adotado, enquanto no posicionamento absoluto, toma-se como referência o centro de massa da Terra, os posicionamentos relativos e diferenciais consideram um ponto materializado na superfície como referência.

De acordo com Monico (2008), estes métodos podem estar nas modalidades estático ou cinemático e com processamento em tempo real ou pós-processado. Diversas metodologias e procedimentos são derivados destas modalidades ou da combinação delas. Neste trabalho serão discutidas apenas as modalidades envolvidas diretamente nos procedimentos desenvolvidos nas áreas de estudo em análise.

4.6.1.1 Posicionamento Relativo Estático

É o método pioneiro nas aplicações envolvendo o GPS e significa que durante a sessão de observação a antena do receptor considerado como referência, e as demais antenas instaladas sobre os pontos a serem medidos deverão ser fixadas durante a coleta dos dados (SEGANTINE, 2005).

Ainda segundo Segantine (2005), o posicionamento relativo estático usando a fase da portadora é a técnica mais empregada na estimativa de coordenadas de pontos e a de maior precisão, alcançando facilmente para linhas de base curtas, a acurácia de 1 ppm a 0,1 ppm (nível do milímetro). Devido à alta precisão alcançada o método é muito utilizado na implantação de redes geodésicas, de pontos de controle para aerofotogrametria, no controle de deformações de obras civis, entre outras aplicações.

A Tabela 02 contém as recomendações dadas pelo IBGE (2008) para a aplicação do método relativo estático.

Tabela 02 – Precisão do Posicionamento Relativo Estático em Função do Comprimento da Linha de Base, do Tempo de Observação e do Equipamento Utilizado

Linha de Base (Km)	Tempo de Coleta (Minutos e Horas)	Equipamento Utilizado (f)	Precisão Alcançada (mm + ppm)
00 – 05 Km	05 – 10 Min	L1 ou L1/L2	5 -10 mm + 1 ppm
05 – 10 Km	10 -15 Min	L1 ou L1/L2	5 -10 mm + 1 ppm
10 – 20 Km	10 – 30 Min	L1 ou L1/L2	5 -10 mm + 1 ppm
20 – 50 Km	02 – 03 Horas	L1/L2	5 mm + 1 ppm
50 – 100 Km	Mínimo 03 Horas	L1/L2	5 mm + 1 ppm
> 100 Km	Mínimo 04 Horas	L1/L2	5 mm + 1 ppm

FONTE: IBGE (2008).

4.6.1.2 Posicionamento Cinemático em Tempo Real (RTK)

O método cinemático se baseia na fixação de um receptor em uma estação com coordenadas conhecidas (estação de referência) e o outro receptor se move sobre as estações de interesse, neste tipo de método adota-se como observável fundamental a fase da onda portadora. Os dados desse tipo de posicionamento podem ser processados após a coleta PPK - *Post-Processed Kinematic* ou fornecido em tempo real durante a coleta RTK – *Real Time Kinematic* (MONICO, 2008; GHILANI e WOLF, 2013).

Técnicas de posicionamento cinemático são indicadas em levantamentos onde se deseja determinar as coordenadas de diversos pontos de uma maneira rápida e produtiva.

Segundo Monico (2008), Seeber (2003) e Segantine (2005) a tecnologia RTK é baseada nas seguintes características:

- 1) Transmissão em tempo real dos dados de fase da onda portadora e pseudodistância da estação base para estação móvel ou das correções das observáveis;
- 2) Resolução das ambiguidades para linha de base entre a estação base e a móvel com solução quase instantânea *on the way* ou *on the fly*;
- 3) Determinação confiável do vetor da linha de base em tempo real.

No posicionamento RTK, os erros envolvidos no processo (ionosfera, troposfera e órbita dos satélites), são proporcionais ao comprimento da linha de base, o que restringe a distância entre a estação de referência e o usuário a poucos Quilômetros (BARBOSA et al., 2010).

De acordo com Segantine (2005), a precisão média oferecida no posicionamento RTK é da ordem de 10 mm + 1-2 ppm para as coordenadas horizontais e 15-20 mm + 2 ppm para a componente vertical.

4.7 AJUSTAMENTO DAS OBSERVAÇÕES

As observações conduzidas pelo homem se caracterizam pela inevitável presença dos “erros de medição”. Erros que decorrem não apenas de falhas humanas, mas também da imperfeição do equipamento e das influências das condições ambientais nas quais se processa a mensuração (GEMAEL, 1994). Segundo o mesmo autor, a obtenção de uma medida de confiança, leva naturalmente a multiplicação das observações. Deste modo, o seguinte problema é criado: a partir da pluralidade das observações sabidamente incorretas (pelas discrepâncias que apresentam), extrair um resultado único e que represente com maior confiança a grandeza medida. O ajustamento das observações cuida desse problema, bem como da precisão da solução adotada (GEMAEL, 1994).

4.7.1 MMQ - Método dos Mínimos Quadrados

De acordo com Gemael (1994), na aplicação do Método dos Mínimos Quadrados - MMQ utilizando o modelo paramétrico deve-se tomar como melhor estimativa para um valor

x , o valor que torna mínima a soma dos quadrados dos resíduos, caso as observações não forneçam o mesmo grau de confiança devem ser homogeneizadas pelos seus respectivos pesos, conforme Equações 30 e 31.

$$\sum_{i=1}^n (v_i^2) = \min \quad (30)$$

$$\sum_{i=1}^n (p_i v_i^2) = \min \quad (31)$$

Onde:

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

p_i = Peso atribuído a cada observação.

4.7.2 MMQ – Modelo Paramétrico

No ajustamento das observações as grandezas que não são obtidas diretamente recebem o nome de parâmetros e os seus cálculos envolvem a obtenção de grandezas geométricas como ângulos e distâncias (GHILANI, 2010).

Segundo Gemael (1994), quando os valores observados ajustados podem ser expressos explicitamente como uma função dos parâmetros ajustados, isto é, quando se verifica um modelo matemático, conforme Equação 32 o ajustamento se processa pelo modelo paramétrico.

$$L_a = F(X_a) \quad (32)$$

Onde:

L_a = Vetor dos valores observados ajustados;

X_a = Vetor dos parâmetros ajustados.

4.7.2.1 Equações de Observação

Equações que relacionam os valores observados aos resíduos observacionais são chamadas de equações de observação. Uma equação deve ser escrita para cada observação e para um único conjunto de incógnitas. Quando há mais observações, (portanto, mais equações)

do que incógnitas, é possível obter o valor mais provável para cada incógnita utilizando o MMQ (GHILANI, 2010).

As equações de observação desenvolvidas para o método paramétrico têm suas formulações desenvolvidas em Gemael (1994) e Ghilani (2010), sendo representadas neste trabalho da Equação 33 a 41. O modelo paramétrico é dado pela Equação 32, onde:

$$L_a = L_b + V \quad (33)$$

$$X_a = X_0 + X \quad (34)$$

Onde:

L_a = Vetor das observações ajustadas;

X_a = Vetor dos parâmetros ajustados;

V = Vetor dos resíduos.

Substituindo as Equações 33 e 34 na Equação 32 e linearizando com série de Taylor obtém-se a Equação 35:

$$L_b + V = F(X_0 + X) = F(X_0) + \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_a = X_0} X \quad (35)$$

Onde:

L_b = Vetor dos valores observados;

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

X = Vetor correção;

X_0 = Vetor dos parâmetros iniciais.

Designando a função dos parâmetros aproximados por L_0 e a matriz das derivadas parciais por A , conforme Equações 36 e 37.

$$L_0 = F(X_0) \quad (36)$$

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_a = X_0} \quad (37)$$

Substituindo as Equações 36 e 37 na equação 35, obtém-se a Equação 38:

$$L_b + V = L_0 + AX \quad (38)$$

Reorganizando os termos e adotando a relação expressa pela Equação 39, o modelo matemático linearizado do método dos parâmetros é expresso pela Equação 41.

$$L = L_0 - L_b \quad (39)$$

$$V = AX + L_0 - L_b \quad (40)$$

$$V = AX + L \quad (41)$$

4.7.2.2 Equações Normais

Ao minimizar-se a forma quadrática fundamental, conforme Gemael (1994) obtém-se a Equação 42:

$$\phi = V^T P V = (AX + L)^T P (AX + L) = \min \quad (42)$$

Igualando a zero a derivada primeira em relação a X na Equação 42, obtém-se a Equação 43:

$$X = -(A^T P A)^{-1} (A^T P L) \quad (43)$$

Assume-se que:

$$N = A^T P A \quad (44)$$

$$U = A^T P L \quad (45)$$

$$X = -N^{-1} U \quad (46)$$

Os parâmetros e as observações ajustadas são vistos respectivamente nas Equações 47 e 48.

$$X_a = X_0 + X \quad (47)$$

$$L_a = L_b + V. \quad (48)$$

O desenvolvimento completo das equações apresentadas nesta seção pode ser visto em Gemael (1994).

5 EXPERIMENTOS E ANÁLISES METODOLÓGICAS

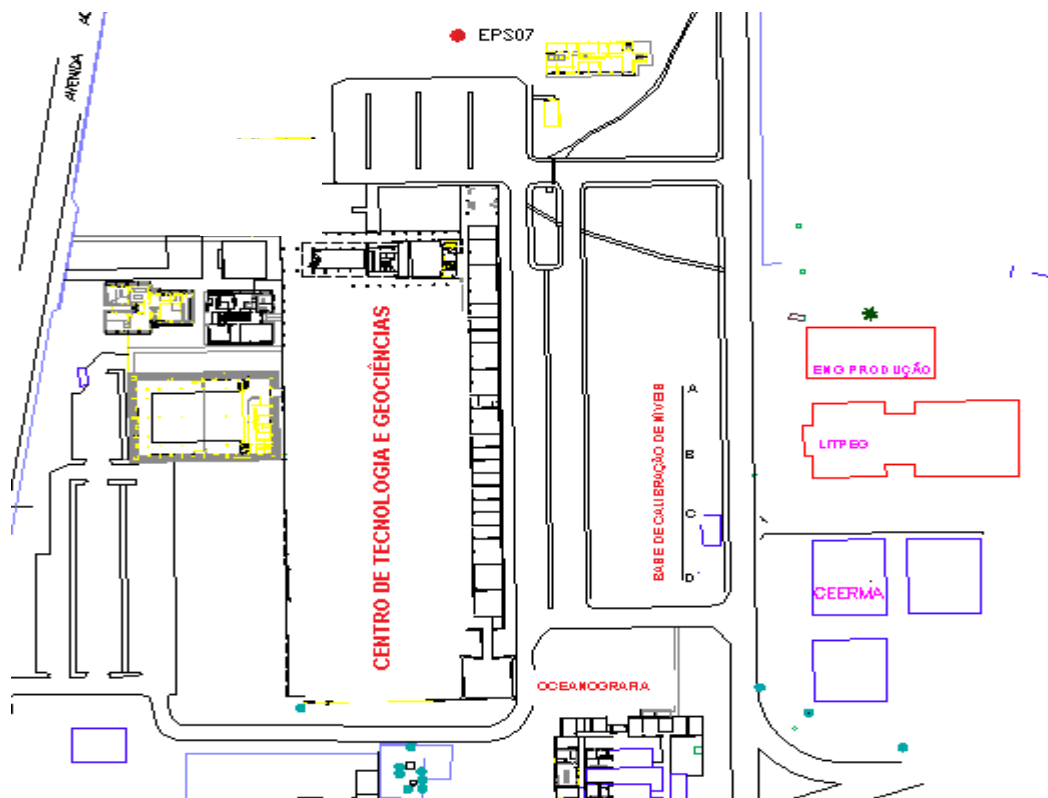
5.1 ÁREAS DE ESTUDO

Os subitens a seguir contêm as descrições das áreas de estudo observadas neste trabalho, assim como alguns mapas temáticos, que facilitam a identificação dos locais onde os experimentos foram realizados.

5.1.1 Área de Estudo 01 – Base de Verificação de Níveis UFPE

Localizada no *Campus* Recife da UFPE, a base de verificação de níveis possui uma extensão de 60 metros e foi implantada em projeto de pesquisa desenvolvido por Seixas e Seixas (2015). Nesta área foram aplicados os procedimentos de verificação e retificação de níveis digitais e analógicos, dentre os quais se destaca o método de Kukkamäki, o método de nivelamento por ponto médio e o teste completo da norma ISO 17123-2 (ISO, 2001), descritos no item (4.5). A Figura 18 contém uma ilustração da área.

Figura 18 – Croqui de Localização da Área de Estudo 01



Fonte: Prefeitura do *Campus* UFPE Recife (2014).

5.1.2 Área de Estudo 02 – Adjacências da Igreja Nossa Senhora do Carmo – Olinda, Pernambuco

Localizada no Sítio Histórico de Olinda – Pernambuco, a Igreja Nossa Senhora do Carmo é considerada a mais antiga igreja da ordem dos Carmelitas na América. A localidade foi escolhida devido ao fato de apresentar pontos de referência pré-existent, que facilitaram o desenvolvimento dos métodos de levantamentos topográficos e geodésicos empregados neste trabalho. Além disso, o relevo relativamente inclinado da área permite a discussão do tema terrenos inclinados susceptíveis a áreas de risco. Na Figura 19 é possível visualizar uma ilustração da área de estudo 02.

Figura 19 – Área de Estudo 02



Fonte: CPRM (2012)

5.2 MATERIAIS

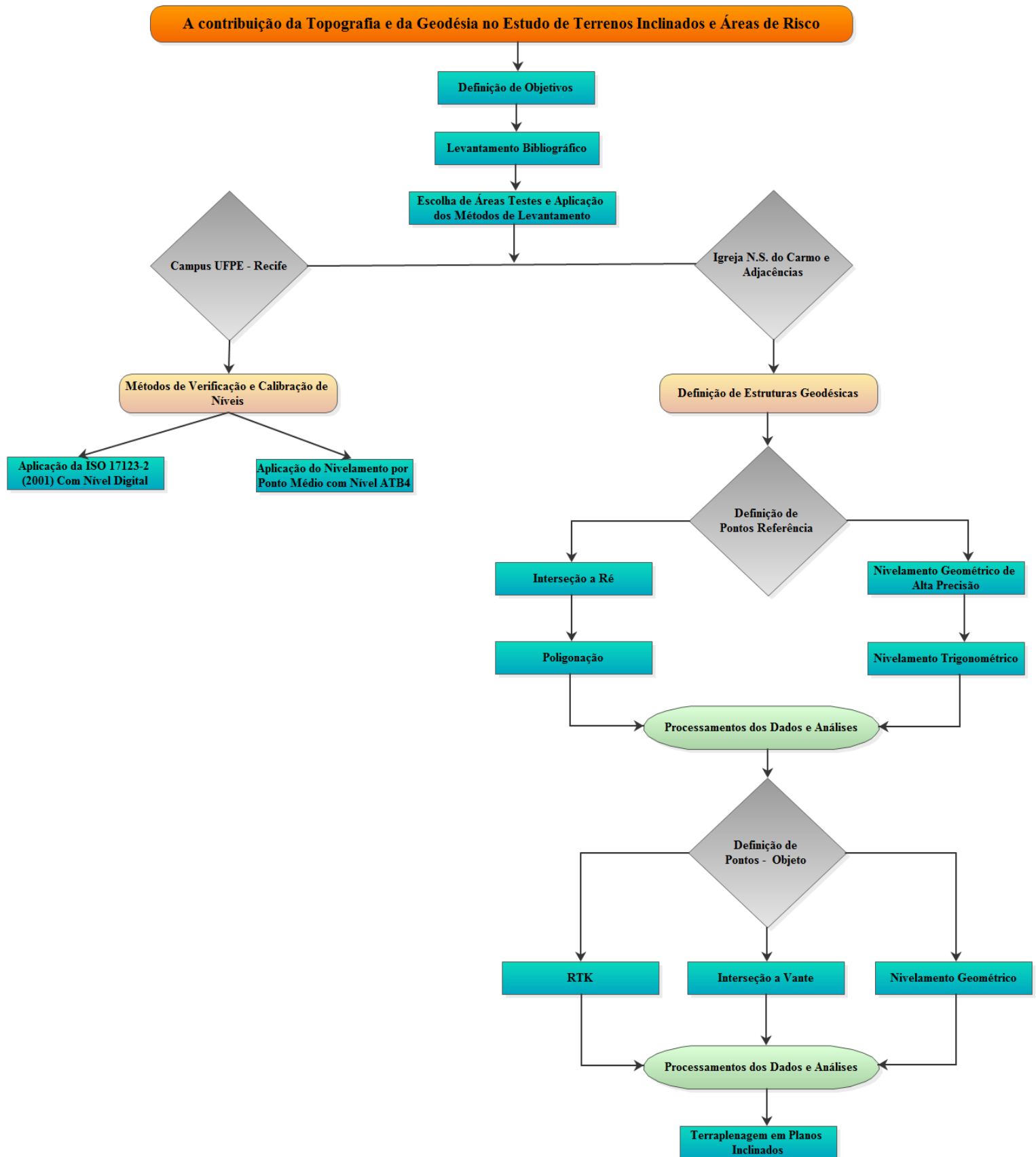
Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos, acessórios e softwares:

- 02 Estações totais Topcon GPT-3200N: precisão angular de 5" e precisão linear de 5mm + 5ppm*D;
- 01 Nível Topcon ATB4: precisão de 2 mm por duplo Quilômetro nivelado;
- 01 Nível digital Leica DNA-03: precisão de 0,3 mm por duplo Quilômetro nivelado;
- 01 Mira de invar de 2 metros de código de barras Leica;
- 02 Receptores GNSS Topcon Hiper L1/L2: Precisão horizontal de 3 mm + 0,5 ppm e Precisão vertical de 5mm + 0,5 ppm;
- Acessórios para o levantamento de campo, tais como: prismas, bastões, tripés, suportes bastão – tripé, trenas, miras graduadas, sapatas, fita adesiva e apoio logístico;
- *Softwares*: AstGeoTop 2017 (GARNÉS, 2017), Adjust (WOLF e GHILANI, 1996), Microsoft Excel 2013, Matlab 8.1, Arcgis 10.2.2.

5.3 METODOLOGIA

O fluxograma apresentado na Figura 22 descreve os procedimentos metodológicos realizados durante a execução deste trabalho. A definição do tema e do escopo aos qual este trabalho abrange, foi a primeira etapa de execução metodológica. A partir daí, deu-se início a definição dos objetivos e ao levantamento bibliográfico de referências, que embasassem o tema proposto.

Figura 20 – Metodologia Adotada Durante Execução do Trabalho



Em seguida foram realizadas as operações de reconhecimento de campo de potenciais áreas de estudo nas quais os objetivos deste trabalho poderiam ser aplicados, a análise final desta etapa permitiu a escolha de dois locais nos quais os métodos de levantamentos topográficos e geodésicos deveriam ser aplicados, a partir deste ponto tais locais serão nomeados neste trabalho como área de estudo 01 e área de estudo 02, indicando respectivamente a base de verificação de níveis implantada em Seixas e Seixas (2015) no *Campus Recife* da UFPE – Universidade Federal de Pernambuco e as adjacências da Igreja Nossa Senhora do Carmo localizada no Sítio Histórico de Olinda, Pernambuco, conforme item (5.1).

A área de estudo 01 foi escolhida com a finalidade de atender um dos objetivos específicos deste trabalho, que versa sobre a aplicação de procedimentos de verificação e retificação de níveis. Nesta etapa foi utilizado o nível digital Leica DNA-03 para a aplicação dos procedimentos descritos na norma ISO 17123-2 (ISO, 2001). Neste caso foram realizadas duas campanhas de medição, a primeira ocorrendo em 30/11/2016 em um período diurno (SILVA, 2017) e a segunda no dia 16/01/2017 em período noturno. Adotou-se diferentes horários para a realização destas campanhas com a primeira ocorrendo em turno diurno (9:00 h – 10:30 h) e a segunda no início da noite (17:44 h – 20:12 h). Ainda abordando o tópico verificação e retificação de níveis, foram realizados através da utilização do nível analógico Topcon ATB4, os procedimentos do método de nivelamento por ponto médio descritos em Espartel (1987).

Finalizadas as etapas na área de estudo 01 as operações de campo foram voltadas para a definição do campo de pontos de referência na área de estudo 02. Essa etapa teve seu desenvolvimento iniciado em novembro de 2016, onde através de operações de reconhecimento de campo, verificou-se a existência de pontos de referência implantados em Gama (2008), Souza (2012) e densificados em Santana Neto (2015) e Gomes (2017). Neste trabalho deram-se continuidade as implantações de pontos de referência interligados aos pré-existentes. Os pontos foram obtidos através da utilização dos seguintes métodos: interseção a ré, poligonação, nivelamento trigonométrico, nivelamento geométrico e GNSS RTK. Esta etapa ocorreu em janeiro e fevereiro de 2017.

A implantação do campo de pontos-objeto ocorreu paralelamente à definição do campo de pontos de referência, ficando estabelecido durante as operações de reconhecimento de campo, ainda em novembro de 2016, que a escadaria localizada em frente à Igreja Nossa Senhora do Carmo, por possuir uma relativa declividade e permitir a implantação estável de vértices em sua superfície, representava um meio viável para a aplicação de métodos de

levantamentos topográficos e geodésicos voltados para o acompanhamento de terrenos inclinados susceptíveis a áreas de risco. Os métodos de levantamentos aqui empregados foram: nivelamento geométrico, nivelamento trigonométrico, interseção a vante e GNSS RTK. As operações de campo foram finalizadas em fevereiro de 2017.

Ressalta-se nesta etapa que apesar da Igreja Nossa Senhora do Carmo possuir aos seus arredores uma encosta em estado natural, a materialização de pontos-objeto diretamente nesta superfície não foi possível, visto que o local assim como todo o Sítio Histórico de Olinda é tombado pelo IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. A implantação de tais estruturas dependeria de uma autorização expressa dos órgãos competentes. Os pontos-objeto implantados na escadaria levaram em consideração estes fatos. O desenvolvimento desta metodologia aplicada será visto na seção (5.6.1).

Por fim, foram realizados os processamentos e análises de todos os métodos de levantamentos empregados. De posse desses resultados, realizou-se um estudo sobre operações de terraplenagem, que poderiam ser aplicadas na área de estudo 02.

5.4 VERIFICAÇÃO E RETIFICAÇÃO DE NÍVEIS DIGITAIS E ANALÓGICOS

Nesta seção serão discutidas as metodologias de verificação e retificação de níveis empregadas neste trabalho. A seção inclui a elucidação dos procedimentos empregados na área de estudo 01, os processamentos dos dados obtidos e suas análises.

5.4.1 Medições, Processamentos e Análise dos Resultados Obtidos Usando Nível Digital

5.4.1.1 Método de Kukkamäki

a) Medições

A aplicação do método de Kukkamäki na área de estudo 01 foi o primeiro dos métodos de verificação e retificação de níveis aplicado neste trabalho. O equipamento utilizado foi o nível digital Leica DNA 03 e o procedimento foi realizado antes da aplicação do teste completo da norma 17123-2 (ISO, 2001).

O nível digital Leica DNA 03 permite, de acordo com Leica Geosystems (2006) que as leituras eletrônicas realizadas nas miras sejam corrigidas, relativamente ao erro de colimação

armazenado no instrumento. O fabricante descreve várias recomendações e métodos indicados para a aplicação deste procedimento, entre eles o método de Kukkamäki.

Conforme indicado no item (4.5.3) deste trabalho, o equipamento foi instalado entre dois pontos A e B, com distância de 10 metros entre a ré e a vante, neste momento teve-se acesso ao menu do equipamento e foi escolhida a opção verificar e ajustar. Neste módulo, deram-se início as medições nos pontos A e B. Ressalta-se que neste caso, adota-se o ponto A como estação ré e consequentemente o ponto B como estação vante.

Na Figura 21 é possível visualizar uma ilustração da tela do equipamento no momento em que as observações foram coletadas.

Figura 21 – Módulo Verificar e Ajustar do Nível Digital Leica DNA 03

VERIF & AJUSTAR		A x B
Estação 1		
A1 :	1,39050 m	EC
Dist:	9,97 m	
B1 :	1,40630 m	
Dist:	9,96 m	
<FIM>		<CONT>

Fonte: Adaptado de Leica Geosystems (2006).

Finalizadas as coletas destas duas observações iniciais foi selecionada a opção continuar e o nível foi instalado em um novo ponto localizado a vinte metros do ponto B e a quarenta metros do ponto A. Neste caso, novamente, realizaram-se as leituras nas miras posicionadas em ré e vante, e na tela do instrumento foram exibidos os valores dos erros de colimação antigo e novo, conforme Figura 22.

Figura 22 – Resultados Módulo Verificar e Ajustar do Nível Digital Leica DNA 03

VERIF & AJUSTAR	
Ant. Erro Colim:	4.0 "
Novo Erro Colim:	-3.0 "
Diferença :	-7.0 "
Reticulo:	1.41616 m
<FIM>	<OK>

Fonte: Adaptado de Leica Geosystems (2006).

Para aceitar e armazenar o novo valor para o erro de colimação deve-se pressionar o botão <ok>, conforme indicado na Figura 22. Após a aceitação dos dados repetiu-se o procedimento para verificar se o equipamento realmente foi retificado. As campanhas de medição onde foi utilizado o método de Kukkamäki ocorreram em 30/11/2012 e 16/01/2017 sempre antes de iniciar a aplicação do teste completo da norma 17123-2 (ISO, 2001). Cabe salientar que os resultados da campanha de medição realizada em 30/11/2016 também estão apresentados em Silva (2017).

b) Processamentos e Análises de Resultados

- Campanha de medição realizada em 30/11/2016

Os cálculos referentes à aplicação deste método foram realizados em campo com o auxílio de uma calculadora científica, o procedimento consiste em basicamente calcular os desníveis observados para as diferentes configurações em que instrumento é posicionado. A Tabela 03 e o Apêndice A mostram as observações realizadas e os dados obtidos.

Tabela 03 – Método De Kukkamäki Aplicado em 30/11/2016

Estação	Ponto Visado	Leitura (m)	Distância (m)	Desnível (m)
E1	A	1,43367	9,98	-0,01505
	B	1,44872	9,98	
E2	B	1,46423	19,97	-0,01485
	A	1,44938	39,96	

O conjunto de observações exposto na Tabela 03 permitiu encontrar um valor de 0,0001 metros para o erro de colimação (c). Após os ajustes realizados através da função ajustar e verificar, presente no equipamento e descrita no item (a) desta seção, realizou-se novamente a aplicação do método, os dados observados podem ser visualizados na Tabela 04 e Apêndice A.

Tabela 04 – Dados Observados Após Retificação do Nível Digital Leica DNA 03

Estação	Ponto Visado	Leitura (m)	Distância (m)	Desnível (m)
E1	A	1,45193	9,97	-0,01510
	B	1,46703	9,98	
E2	B	1,47783	19,97	-0,01501
	A	1,46282	39,95	

Após a retificação realizada o erro de colimação encontrado com base nos dados da Tabela 04 foi de 0,000045 metros, uma melhora significativa com relação ao valor encontrado anteriormente. Finalizados os procedimentos de retificação deu-se início a aplicação do teste completo da norma 17123-2 (ISO, 2001).

- Campanha de medição realizada em 16/01/2017

Os procedimentos foram realizados igualmente ao levantamento realizado em 30/11/2016. Neste caso o método de Kukkamäki foi aplicado em um horário noturno com início às 17:44 h, os dados coletados são apresentados na Tabela 05 e Apêndice B.

Tabela 05 – Método de Kukkamäki Aplicado em 16/01/2016

Estação	Ponto Visado	Leitura (m)	Distância (m)	Desnível (m)
E1	A	1,39050	9,97	-0,01580
	B	1,400630	9,96	
E2	B	1,43128	19,97	-0,01648
	A	1,41480	39,97	

O erro de colimação (c), inicialmente encontrado para o instrumento nestas condições foi de -0,00034 metros. Novamente após os ajustes realizados através da função ajustar e verificar, presente no equipamento, realizou-se uma nova aplicação do método de Kukkamäki, os dados observados podem ser visualizados na Tabela 06 e Apêndice B.

Tabela 06 – Dados Observados em 16/01/2016 Após Retificação Nível Digital Leica DNA 03

Estação	Ponto Visado	Leitura (m)	Distância (m)	Desnível (m)
E1	A	1,39582	9,96	-0,01579
	B	1,41161	9,96	
E2	B	1,40735	19,96	-0,01577
	A	1,39158	39,96	

Após a realização do processo de verificação e retificação o erro de colimação encontrado foi de -0,00001 metros. Finalizados os procedimentos de retificação deu-se início a aplicação do teste completo da norma 17123-2 (ISO, 2001).

5.4.1.2 Aplicação da ISO 17123-2 (ISO, 2001)

a) Medições

As aplicações da norma 17123-2 (ISO, 2001) na área de estudo 01 ocorreram em 30/11/2016 e 16/01/2017. Utilizou-se o nível digital Leica DNA 03 para a execução dos testes descritos na norma, optou-se neste caso pelo procedimento denominado pela norma como teste completo, conforme indicado neste procedimento o nível foi instalado no ponto médio da base de calibração e a partir daí realizou-se a medição dos desníveis (leituras de ré e vante) entre os pontos extremos da base.

Conforme especificado pela norma este procedimento de obtenção dos desníveis foi realizado 40 vezes, realizando-se alterações na altura do instrumento ao final de cada par de leituras ré e vante, ao final de cada 10 pares de leitura inverte-se a posição da Mira, ou seja, o ponto que antes era tido como ré passa a ser vante e vice-versa.

Na primeira campanha de medição a alteração da altura do instrumento foi feita através da movimentação dos parafusos calantes, o nível neste caso era desnivelado e nivelado novamente, as operações de campo ocorreram no turno matutino com início às 9:00 h e término às 10:30 h, ao final das vinte primeiras observações realizou-se uma troca no operador do instrumento.

Na segunda campanha de medição optou-se pelo emprego de um tripé modificado desenvolvido em Seixas (2008), para facilitar a movimentação do equipamento sem a necessidade de que haja uma nova operação de nivelamento do mesmo. Este tripé permite que ao girar um parafuso, a superfície horizontal no qual o instrumento permanece fixado se movimente verticalmente, mesmo com a utilização deste artifício a condição de nivelamento do nível digital foi verificada ao final de cada modificação em sua altura.

Nesta segunda campanha optou-se pela realização do levantamento em horário noturno, atendendo a uma das orientações da norma ISO 17123-2 (ISO, 2001) que recomenda a adoção de campanhas de medição em dias e horários diferentes. O levantamento teve início às 17:44 h e término às 20:12 h, o procedimento foi um pouco mais demorado quando comparado ao realizado na primeira campanha devido principalmente as condições de luminosidade no local, sendo necessária a utilização de uma lâmpada LED para a iluminação da mira de invar conforme Figura 23.

Figura 23 – Aplicação Noturna do Teste Completo da Norma 17123-2 (ISO, 2001).



b) Processamentos e Análises de Resultados

- Campanha de Medição Realizada em 30/11/2016

Os cálculos necessários para a aplicação da ISO 17123-2 (ISO, 2001) foram obtidos através da criação de planilhas no software *Microsoft Excel* 2013. Os resultados serão apresentados nesta seção seguindo o procedimento metodológico proposto pela norma. Os dados obtidos para as vinte primeiras observações, através da aplicação do teste completo (item 6 da referida norma) na área de estudo 01 podem ser vistos na Tabela 07 e no Apêndice C.

Tabela 07 – Teste Completo ISO 17123-2 (ISO, 2001) 20 Primeiras Leituras
(Continua)

Leitura	Ré (m)	Vante (m)	Desnível (m)	Resíduo (m)	Quadrado dos Resíduos (m)
1	1,42878	1,44924	-0,02046	-0,00001	0,000000000
2	1,42898	1,44948	-0,02050	0,00003	0,000000001
3	1,42819	1,44857	-0,02038	-0,00009	0,000000008
4	1,4284	1,44879	-0,02039	-0,00008	0,000000006
5	1,42888	1,44939	-0,02051	0,00004	0,000000002
6	1,42824	1,44857	-0,02033	-0,00014	0,000000019

(Conclusão)

Leitura	Ré (m)	Vante (m)	Desnível (m)	Resíduo (m)	Quadrado dos Resíduos (m)
7	1,42879	1,44945	-0,02066	0,00019	0,000000036
8	1,42863	1,44917	-0,02054	0,00007	0,000000005
9	1,42908	1,4497	-0,02062	0,00015	0,000000023
10	1,42901	1,44931	-0,02030	-0,00017	0,000000029
11	1,42902	1,44962	-0,02060	0,00013	0,000000017
12	1,42913	1,44947	-0,02034	-0,00013	0,000000017
13	1,42587	1,44646	-0,02059	0,00012	0,000000015
14	1,4259	1,44616	-0,02026	-0,00021	0,000000044
15	1,42614	1,44669	-0,02055	0,00008	0,000000007
16	1,42627	1,44705	-0,02078	0,00031	0,000000097
17	1,42631	1,44672	-0,02041	-0,00006	0,000000003
18	1,42674	1,44726	-0,02052	0,00005	0,000000003
19	1,42668	1,44708	-0,02040	-0,00007	0,000000005
20	1,42709	1,44733	-0,02024	-0,00023	0,000000052
Σ	28,55613	28,96551	-0,40938	0,000000	0,0000004

O desnível médio obtido durante as 20 primeiras observações foi -0,02047 metros, este valor é utilizado como base para o cálculo dos resíduos apresentados na Tabela 07. Tais resíduos equivalem à diferença entre o desnível médio calculado e o desnível obtido em campo para cada observação.

Para a primeira série de observações realizadas (equivalentes as vinte primeiras leituras efetuadas) a norma recomenda a aplicação de dois testes aritméticos, no primeiro deles é necessário verificar se o somatório dos resíduos apresentados durante esta série de observações equivale a zero, condição que conforme apresentado na Tabela 07 é plenamente aceita para os dados coletados.

A segunda recomendação indica que a diferença entre o somatório das 20 primeiras leituras realizadas no ponto ré e o somatório das vinte primeiras leituras no ponto vante, deve ser equivalente ao somatório dos vinte primeiros desníveis. Condição que também é aceita uma vez que tanto a diferença entre o somatório das leituras quanto o somatório dos desníveis equivalem a -0,40938 metros.

A Tabela 08 expõe o mesmo conjunto de dados apresentados na Tabela 07, no entanto agora são apresentados os dados obtidos através da aplicação do teste completo para as vinte

últimas observações coletadas, os dados completos podem ser vistos no Apêndice D. Neste caso o desnível médio encontrado foi -0,02046 metros e novamente o somatório dos resíduos encontrados foi equivalente a zero, atendendo a condição recomendada.

Tabela 08 – Teste Completo ISO 17123-2 (ISO, 2001) 20 Últimas Leituras

Leitura	Ré (m)	Vante (m)	Desnível (m)	Resíduo (m)	Quadrado dos Resíduos (m)
21	1,42652	1,44716	-0,02064	0,00018	0,000000033
22	1,42627	1,44666	-0,02039	-0,00007	0,000000005
23	1,42685	1,44717	-0,02032	-0,00014	0,000000019
24	1,42712	1,44784	-0,02072	0,00026	0,000000069
25	1,42737	1,44791	-0,02054	0,00008	0,000000007
26	1,42759	1,44788	-0,02029	-0,00017	0,000000028
27	1,42746	1,44790	-0,02044	-0,00002	0,000000000
28	1,42782	1,44807	-0,02025	-0,00021	0,000000043
29	1,42796	1,44835	-0,02039	-0,00007	0,000000005
30	1,42795	1,44840	-0,02045	-0,00001	0,000000000
31	1,42803	1,44857	-0,02054	0,00008	0,000000007
32	1,42736	1,44765	-0,02029	-0,00017	0,000000028
33	1,42745	1,44783	-0,02038	-0,00008	0,000000006
34	1,42770	1,44808	-0,02038	-0,00008	0,000000006
35	1,42705	1,44754	-0,02049	0,00003	0,000000001
36	1,42755	1,44802	-0,02047	0,00001	0,000000000
37	1,42733	1,44760	-0,02027	-0,00019	0,000000035
38	1,42733	1,44814	-0,02081	0,00035	0,000000124
39	1,42727	1,44773	-0,02046	0,00000	0,000000000
40	1,42749	1,44813	-0,02064	0,00018	0,000000033
Σ	28,54747	28,95663	-0,40916	0,000000	0,0000004

A segunda recomendação também é aceita para os dados advindos da Tabela 08, uma vez que a diferença entre as vinte primeiras leituras de ré e vante apresentadas equivale a -0,40916 metros, valor idêntico ao somatório dos desníveis para o conjunto de dados apresentados.

Os dados apresentados nas Tabelas 07 e 08 permitem o cálculo dos valores expostos na Tabela 05, onde conforme a norma ISO 17123-2 (ISO, 2001):

- 1) Somatório dos resíduos ao quadrado ($\sum r^2$): equivale a soma dos quadrados dos vinte primeiros resíduos com os quadrados dos vinte últimos resíduos.
- 2) Graus de liberdade (v): $2 \times$ (número de observações – número de incógnitas), neste caso o número de graus de liberdade equivale a 38.
- 3) Desvio padrão experimental (s): raiz quadrada do somatório dos resíduos ao quadrado dividido pelo número de graus de liberdade;
- 4) Desvio padrão por 1 km de nivelamento duplo (Siso-lev): segundo a norma ISO 17123-2 (ISO, 2001) corresponde ao desvio padrão experimental multiplicado por uma constante de valor 2,89.
- 5) Delta (Δ): Diferença entre o desnível médio das vinte primeiras observações e o desnível médio das vinte últimas observações.

Tabela 09 – Resultados Obtidos com a Aplicação da ISO 17123-2 em Período Diurno

Δ (m)	$\sum r^2$ (m)	v	S (m)	Siso-lev (m)
-0,00001	0,00000008	38	0,000148	0,00043

Após a aplicação dos testes aritméticos e a obtenção dos valores visualizados na Tabela 09, a norma 17123-2 (ISO, 2001) prevê a aplicação de três testes estatísticos, os resultados advindos da aplicação destes testes serão discutidos e analisados separadamente conforme recomenda a norma.

Questão a) Para que a hipótese seja aceita o desvio padrão (S) deve ser menor ou igual ao valor do desvio padrão do instrumento multiplicado por uma constante de valor 1,19.

Conforme mencionado anteriormente o valor do desvio padrão do equipamento utilizado é 0,3 mm, percebe-se que tal valor multiplicado pela constante indicada na questão (a) ainda é menor que o desvio padrão encontrado na Tabela 09, de valor 0,000148 m. Sendo assim, as observações realizadas satisfazem o teste estatístico indicado.

Questão b) A partir da análise da aplicação do teste através de duas amostras diferentes de medições, os desvios padrões obtidos em ambas campanhas pertencerão a mesma população, caso atendam a seguinte condição:

$$0,52 \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq 1,91 \quad (49)$$

A execução deste teste exige a antecipação de um valor que apenas foi encontrado com a realização da segunda campanha de medição no dia 16/01/2017, trata-se do desvio padrão ($\tilde{s}^2$) obtido com a segunda aplicação do teste completo da norma 17123-2 (ISO, 2001). O valor de s^2 equivale a 0,000155 m.

Conforme Equação 49 a condição obtida para este conjunto de dados foi $0,52 \leq 0,917 \leq 1,91$, novamente verifica-se que o teste é satisfeito para as observações realizadas.

Questão c) Caso a diferença delta obtida durante a aplicação das duas séries de 20 leituras realizadas na aplicação do teste for diferente de zero, então, a seguinte condição é observada:

$$\Delta \leq \frac{s^2}{\sqrt{10}} \times 2,02 \leq s \times 0,64 \quad (50)$$

Neste caso, novamente, verifica-se que o teste é aceito, uma vez que $-0,00001 \leq 0,00009 \leq 0,00009$, conforme Equação 50.

- Campanha de Medição Realizada em 16/01/2017

O processamento dos dados referentes à campanha de medição realizada no dia 16/01/2017 durante este trabalho, foram calculados da mesma maneira que os dados coletados na campanha anterior e serão apresentados seguindo a mesma metodologia aplicada anteriormente. É possível visualizar através das Tabelas 10 e 11 e Apêndices E e F os dados coletados para as quarenta leituras necessárias ao desenvolvimento do teste completo.

Tabela 10 – Teste Completo ISO 17123-2 (ISO, 2001) 20 Primeiras Leituras

(Continua)

Leitura	Ré (m)	Vante (m)	Desnível (m)	Resíduo (m)	Quadrado dos Resíduos (m)
1	1,33124	1,35228	-0,02104	-0,00007	0,000000004
2	1,33430	1,35528	-0,02098	-0,00012	0,000000016
3	1,33780	1,35891	-0,02111	0,00000	0,000000000
4	1,33458	1,35566	-0,02108	-0,00002	0,000000001

(Conclusão)

Leitura	Ré (m)	Vante (m)	Desnível (m)	Resíduo (m)	Quadrado dos Resíduos (m)
5	1,33120	1,35225	-0,02105	-0,00005	0,000000003
6	1,33775	1,35881	-0,02106	-0,00004	0,000000002
7	1,33528	1,35639	-0,02111	0,00000	0,000000000
8	1,33952	1,36052	-0,02100	-0,00011	0,000000011
9	1,34298	1,36403	-0,02105	-0,00005	0,000000003
10	1,34547	1,36669	-0,02122	0,00012	0,000000013
11	1,34816	1,36936	-0,02120	0,00009	0,000000009
12	1,35154	1,37262	-0,02108	-0,00002	0,000000001
13	1,34597	1,36741	-0,02144	0,00033	0,000000112
14	1,34824	1,36938	-0,02114	0,00003	0,000000001
15	1,35245	1,37348	-0,02103	-0,00007	0,000000006
16	1,34611	1,36750	-0,02139	0,00029	0,000000081
17	1,34037	1,36140	-0,02103	-0,00008	0,000000006
18	1,33336	1,35443	-0,02107	-0,00004	0,000000001
19	1,33112	1,35218	-0,02106	-0,00005	0,000000002
20	1,33759	1,35855	-0,02096	-0,00015	0,000000021
Σ	26,80503	27,22713	-0,42210	0,00000	0,0000003

A exemplo do ocorrido na campanha anterior as vinte primeiras leituras realizadas foram avaliadas com base no somatório de seus resíduos e na diferença entre o somatório de suas vinte primeiras leituras de ré e vante.

Através da Tabela 10 é possível visualizar o somatório dos resíduos neste conjunto de observações também foi equivalente a zero e a diferença entre o somatório das leituras de ré e vante é igual ao valor encontrado para o somatório dos desníveis, ambos correspondendo ao valor de -0,42210 metros.

Analogamente ao conjunto de dados apresentado na Tabela 10 é possível visualizar na Tabela 07 o conjunto de observações formado pelas vinte últimas leituras realizadas, neste caso também é possível constatar que o somatório dos resíduos das observações coletadas é equivalente a zero e que a diferença entre o somatório das leituras de ré e vante possui o mesmo valor que o somatório dos desníveis, ambos neste caso apresentando o valor de -0,42272 metros.

Tabela 11 – Teste Completo ISO 17123-2 (ISO, 2001) 20 Primeiras Leituras

Leitura	Ré (m)	Vante (m)	Desnível (m)	Resíduo (m)	Quadrado dos Resíduos (m)
21	1,33111	1,35226	-0,02115	0,00001	0,000000000
22	1,33953	1,36055	-0,02102	-0,00012	0,000000013
23	1,34333	1,36453	-0,02120	0,00006	0,000000004
24	1,34992	1,37090	-0,02098	-0,00016	0,000000024
25	1,33893	1,35992	-0,02099	-0,00015	0,000000021
26	1,34558	1,36677	-0,02119	0,00005	0,000000003
27	1,34988	1,37082	-0,02094	-0,00020	0,000000038
28	1,35601	1,37696	-0,02095	-0,00019	0,000000035
29	1,35923	1,38026	-0,02103	-0,00011	0,000000011
30	1,34745	1,36850	-0,02105	-0,00009	0,000000007
31	1,35239	1,37361	-0,02122	0,00008	0,000000007
32	1,35476	1,37558	-0,02082	-0,00032	0,000000100
33	1,35058	1,37178	-0,02120	0,00006	0,000000004
34	1,34747	1,36896	-0,02149	0,00035	0,000000125
35	1,34481	1,36622	-0,02141	0,00027	0,000000075
36	1,34645	1,36769	-0,02124	0,00010	0,000000011
37	1,34455	1,36596	-0,02141	0,00027	0,000000075
38	1,34613	1,36747	-0,02134	0,00020	0,000000042
39	1,34838	1,36937	-0,02099	-0,00015	0,000000021
40	1,34629	1,36739	-0,02110	-0,00004	0,000000001
Σ	26,94278	27,36550	-0,42272	0,00000	0,0000006

O desnível médio encontrado para as vinte primeiras leituras possui o valor de -0,02111 metros, ao passo que o valor encontrado para as vinte últimas observações foi de -0,02114 metros.

Os resultados encontrados através da aplicação do teste completo da norma 17123-2 (ISO, 2001) no dia 16/01/2017 em período noturno podem ser vistos na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados Obtidos com a Aplicação Da ISO 17123-2 em Período Noturno

Δ (m)	Σr^2	v	S (m)	Siso-lev (m)
0,00062	0,0000009	38	0,000155	0,000448

Os sub-itens (1-5) da seção campanha de medição realizada em 30/11/2017 abordam a maneira como os valores (Δ , v , S , $S_{ISO-LEV}$) da Tabela 12 foram encontrados.

Novamente foi realizada a análise dos três testes estatísticos propostos pela norma 17123-2 (ISO, 2001) e mais uma vez verificou-se que o conjunto de dados foi aprovado em todos os testes.

Desta vez os resultados decorrentes da aplicação dos testes são expostos no Quadro 04. Ressalta-se que o valor de σ corresponde ao desvio padrão do equipamento indicado pelo fabricante, enquanto $S_{ISO-LEV}$ equivale ao desvio padrão apresentado na Tabela 05 com valor de 0,000148 metros. Os demais valores encontrados no Quadro 04 foram discutidos e apresentados na Tabela 12.

Quadro 04 – Aplicação de Testes Estatísticos Para Campanha de Medição Realizada em 16/01/2017

Testes	Condições	Resultados		Situação
Questão a	$s \leq \sigma \times 1,19$	s	$\sigma \times 1,19$	Teste Aceito
		0,00015	0,00036	
Questão b	$0,52 \leq \frac{s^2}{\overline{s^2}} \leq 1,91$	$\frac{s^2}{\overline{s^2}}$		Teste Aceito
		1,06688		
Questão c	$\parallel \Delta \parallel \leq \frac{s^2}{\sqrt{10}} \times 2,02 \leq s \times 0,64$	$\frac{s^2}{\sqrt{10}} \times 2,02$	$s \times 0,64$	Teste Aceito
		0,00010	0,00010	

A realização dos procedimentos de verificação e retificação de níveis foi uma operação de suma importância no desenvolvimento deste trabalho, agregando qualidade e garantindo a confiabilidade dos dados altimétricos coletados.

5.4.2 Medições, Processamentos e Análises dos Resultados Obtidos Usando Nível Analógico

5.4.2.1 Método de Nivelamento Por Ponto Médio

a) Medições

A aplicação do método de nivelamento por ponto médio ocorreu na área de estudo 01 no dia 24/01/2017 na base de calibração de níveis da UFPE. O procedimento de campo é relativamente simples e está descrito no item (4.5.2).

Utilizou-se neste caso o nível analógico Topcon ATB4. O equipamento foi posicionado no ponto médio da base de calibração, ao passo que a mira de alumínio graduada em centímetros foi apoiada nos pontos A e B da base onde se efetuaram leituras de ré e vante dos fios stadimétricos do equipamento (fio superior, fio médio e fio inferior). O desnível entre os pontos A e B foi calculado e devidamente anotado.

O equipamento foi reinstalado a dois metros de B e realizaram-se novamente leituras das miras graduadas posicionadas A e B. Nesse caso, novamente anotou-se o desnível entre os pontos. Seguindo o procedimento descrito no item 4.5.2 deste trabalho e demonstrados adiante na seção 5.3.2.2 verificou-se a existência de erro de colimação no instrumento.

A correção deste erro ocorreu através da movimentação dos parafusos de correção do retículo, neste instrumento posicionados em um anel fechado junto a sua ocular, conforme Figura 18. Com as devidas correções realizadas o procedimento foi novamente aplicado para verificar se o erro de colimação havia realmente sido eliminado.

b) Processamentos, Resultados e Análises

A grande parte das operações de processamentos, resultados e análises decorrentes da aplicação deste método é realizada em campo, durante a execução do método.

Como descrito na seção medições, o equipamento ocupa duas posições durante a execução deste método de verificação e retificação de níveis. Os resultados dos desníveis obtidos durante essas configurações e o respectivo erro de colimação observado foram obtidos em campo com o uso de uma calculadora científica e podem ser vistos na Tabela 13 e Apêndice G. A execução do procedimento está descrita no item 4.5.2.

Tabela 13 – Resultados Obtidos Através da Aplicação do Método de Nivelamento por Ponto Médio

Estação Ocupada	Ponto Visado	Ré	Vante	FS	FM	FI	Desnível (m)	Erro de Colimação (m)
E1	A	X		1,497	1,447	1,397	-0,015	-0,020
	B		X	1,512	1,462	1,414		
E2	B	X		1,394	1,384	1,374	-0,035	
	A		X	1,46	1,349	1,24		

O valor do erro de colimação (c), encontrado equivale a -0,020 metros. Tal valor é obtido através da diferença entre o desnível obtido nos momentos em que o nível está instalado nas posições E2 e E1, conforme Tabela 09.

Realizou-se uma retificação no equipamento a partir deste erro de colimação encontrado, neste caso a cruz filar do equipamento foi deslocada de forma a corrigir o erro de colimação. Após a execução desta operação o método de nivelamento por ponto médio foi novamente executado, os dados obtidos podem ser vistos na Tabela 14 e Apêndice G.

Tabela 14 – Resultados Obtidos Através da Aplicação do Método de Nivelamento por Ponto Médio Após Correção de Erro de Colimação

Estação Ocupada	Ponto Visado	Ré	Vante	FS	FM	FI	Desnível (m)	Erro de Colimação (m)
E1	B	X		1,417	1,367	1,317	-0,015	-0,001
	A		X	1,432	1,382	1,332		
E2	A	X		1,396	1,386	1,376	0,017	
	B		X	1,479	1,369	1,259		

Nota-se na Tabela 14 a significativa redução do erro de colimação apresentado.

5.5 IMPLANTAÇÃO DE PONTOS DE REFERÊNCIA NA ÁREA DE ESTUDO 02

Nesta seção serão discutidos as etapas e os métodos adotados na definição e implantação de pontos de referência na área de estudo 02.

Conforme citado anteriormente a definição do campo de pontos de referência utilizado neste trabalho contou com a presença de vértices materializados e processados em trabalhos anteriores, tais vértices têm suas características altimétricas e planimétricas apresentadas na Tabela 15 e 16. O Anexo 01 apresenta a monografia da RN 394-D do IBGE.

Tabela 15 – Pontos de Referência Altimétrica Pré-Existentes na Área de Estudo 02

Estação	H (m)	Método	Fonte
RN394-D	15,9082	Nivelamento Geométrico de alta precisão	(IBGE, 2011)

Tabela 16 – Pontos de Referência Planimétrica e Altimétrica Pré-Existentes na Área de Estudo 02

Estação	E (m)	N (m)	H (m)	Sistema de Referência	Método	Fonte
INSC	150410,5438	249944,7026	8,244	SGL	Poligonação	(SANTANA NETO, 2015)
CARMO	150366,5379	249952,8888	7,693	SGL	Poligonação	(SANTANA NETO, 2016)
FOCCA	150352,1718	249931,9872	8,822	SGL	Poligonação	(SANTANA NETO, 2016)

O Sistema Geodésico Local - SGL utilizado na área dos levantamentos realizados foi definido a partir dos pontos de referência implantados em (GAMA, 2008) e (SOUZA, 2012). As coordenadas planimétricas e altimétricas apresentadas na Tabela 16 foram determinadas pelo método de poligonação descrito em (SANTANA NETO, 2016) e (GOMES, 2017).

5.5.1 Medições, Processamentos e Análises dos Resultados dos Pontos de Referência com Nível Digital

5.5.1.1 Método do Nivelamento Geométrico de Alta Precisão

a) Medições

O nivelamento geométrico de alta precisão teve início e fim na RN394-D (IBGE, 2011), localizada ao lado da porta principal da Igreja de São Pedro no Sítio Histórico de Olinda. A campanha de medição na qual houve a realização deste método ocorreu no dia 25/01/2017, juntamente com outra campanha de medição de pesquisa em desenvolvimento em Silva (2017). A equipe de campo foi composta por cinco pessoas e o intervalo de tempo decorrido entre a saída e a chegada no RN394-D foi de aproximadamente 5 horas.

Durante esta operação de nivelamento foi possível determinar a altitude ortométrica do vértice RNNSC, localizado em frente à Igreja Nossa Senhora do Carmo e que serviu de base para a determinação das altitudes ortométricas de outros vértices integrantes do campo de pontos de referência.

Os procedimentos de nivelamento e contranivelamento foram tomados em diferentes direções, na qual a linha de contranivelamento adotada, teve uma extensão maior que a linha

de nivelamento. Os detalhes numéricos acerca da aplicação deste método, na área de estudo 02 estão detalhados no item 5.4.2, seção (a) deste trabalho. Nas Figuras 24 e 25 é possível visualizar em detalhes a RN394- D e a execução de uma seção do método de nivelamento geométrico de alta precisão. As medições foram realizadas utilizando duas séries de 4 observações cada. Após as 4 observações é apresentado no *display* do equipamento o valor médio da série observada. Na caderneta de campo foi anotado o valor médio das observações quanto estas obedeciam uma amplitude de 0,06mm.

Figura 24 – RN394-D (IBGE,2011)



Figura 25 – Nivelamento Geométrico e RNSP



b) Processamentos e Análises de Resultados

A aplicação do método de nivelamento geométrico de alta precisão teve início a partir da RN 394-D, que de acordo com o IBGE (2011) possui uma altitude ortométrica de 15,9082 metros (Tabela 15). As operações de nivelamento e contranivelamento adotaram sentidos diferentes e outras Referências de Nível foram ocupadas durante este trajeto.

As altitudes ortométricas calculadas neste trabalho e ajustadas pelo método proporcional à distância para as Referências de Nível ocupadas RNSP e RNNSC durante o trajeto de nivelamento adotado podem ser observadas na Tabela17.

Tabela 17 – Altitudes Ortométricas Das Referências De Nível Ocupadas Durante Aplicação Do Método De Nivelamento Geométrico De Alta Precisão

Referência de Nível	Altitude Ortométrica (m)
RNSP	12,72164
RNNSC	8,71939

O nível digital Leica DNA 03 utilizado durante as operações de campo possui, segundo seu fabricante um desvio padrão 0,3mm/km, sendo classificado conforme a NBR 13133 (ABNT, 1994) como um equipamento de alta precisão. A Tabela 18 contém o erro de fechamento, a tolerância altimétrica aceitável e a precisão alcançada durante a execução do método de nivelamento geométrico de alta precisão.

Tabela 18 – Tolerância, Erro de Fechamento e Precisão Alcançadas Com Aplicação do Método de Nivelamento Geométrico de Alta Precisão

Tolerância Altimétrica (mm/km)	Erro de Fechamento (m)	Precisão (mm/km)
10,053	0,00096	0,00000002

O comprimento percorrido durante as operações de nivelamento e contranivelamento foi de 1122,99 metros, deste total 253,615 metros correspondem a operação de nivelamento da RN394-D até a RNNSC, o restante 869,375 correspondem ao trajeto percorrido no contranivelamento de volta ao RN394-D.

5.5.2 Medições, Processamentos e Análises dos Resultados dos Pontos de Referência Usando Estação Total

5.5.2.1 Método da Interseção a Ré

a) Medições

O método da interseção a ré foi utilizado neste trabalho para a determinação das coordenadas planimétricas de dois vértices integrantes do campo de pontos de referência adotado. As medições ocorreram no dia 23/01/2017 com uma equipe de campo formada por três pessoas e uma duração de quatro horas. O equipamento utilizado foi a estação total Topcon GPT-3200 N, os novos vértices foram materializados por hastes metálicas cravadas diretamente sob o solo em locais estáveis e foram nomeados IC1 e IC2, respectivamente, conforme Figura 26.

Para dar início à aplicação do método a estação total foi devidamente instalada sob o vértice IC1 e realizaram-se medidas angulares e lineares direcionadas aos vértices pré-existentes CARMO, FOCCA, RNNSC e INSC e ao novo vértice IC2 implantado. A coleta destes dados foi feita através de três séries de leituras conjugadas (posição direta e inversa da

luneta do instrumento). A direção horizontal foi realizada visualizando a parte mais baixa do bastão e as observações de ângulo zenital e distância inclinada foram realizadas no centro do prisma.

O procedimento foi repetido no momento em que a estação total foi posicionada no vértice IC2, alterando-se apenas a ordem dos pontos que foram visados pelo instrumento sendo adotado neste caso a configuração FOCCA, CARMO, RNNSC, INSC e IC1. Na Figura 26 é possível enxergar o posicionamento dos vértices de referência implantados na área de estudo 02. IC1 ocupado com a estação total e IC2 ocupado com o bastão e prisma.

Figura 26 – Definição dos Vértices IC1 e IC2 Usando Interseção a Ré



b) Processamentos e Análises de Resultados

As coordenadas dos vértices de referência IC1 e IC2 foram obtidas através da aplicação do método da interseção a ré a partir da medição de ângulos e distâncias, item (4.4.2.1). A rotina de programação utilizada para a obtenção dos resultados foi desenvolvida no *software* Matlab 8.1.

As coordenadas ajustadas através do MMQ – modelo paramétrico e os respectivos desvios padrão do vértice IC1 podem ser vistos na Tabela 19.

Tabela 19 – Coordenadas Planimétricas em Sistema Geodésico Local do Vértice IC1

Estação	E (m)	N (m)	Desvio Padrão E[m]	Desvio Padrão Y [m]	Qui-Quadrado
IC1	150394,883	249898,512	0,022	0,022	0,000633

As respectivas matrizes e resultados do ajustamento para as coordenadas planimétricas do vértice IC1 podem ser vistas no Apêndice I.

Uma nova rotina de programação foi criada no Matlab 8.1 para que as coordenadas do vértice IC2 fossem encontradas e ajustadas através da aplicação do MMQ – modelo paramétrico, as coordenadas planimétricas ajustadas e os respectivos desvios padrões do vértice IC2 podem ser vistos na Tabela 20.

Tabela 20 – Coordenadas Planimétricas em Sistema Geodésico Local do Vértice IC2

Estação	E (m)	N (m)	Desvio Padrão E [m]	Desvio Padrão Y [m]	Qui- Quadrado
IC2	150371,870	249898,028	0,018	0,018	0,000484

Os valores do Qui-Quadrado calculados nas Tabelas 18 e 19 são menores que os valores críticos possíveis para esta situação, na qual o número de graus de liberdade é dois. Sendo assim, a um grau de confiança de 95% as coordenadas obtidas foram aceitas, o controle dos dados obtidos foi realizado com a verificação através do software Adjust Wolf e Ghilani (1996). As respectivas matrizes e resultados do ajustamento para as coordenadas planimétricas do vértice IC2 podem ser vistas na seção apêndices.

5.5.2.2 Método do Nivelamento Trigonométrico

a) Medições

A aplicação do método de nivelamento trigonométrico ocorreu simultaneamente à aplicação do método de interseção a ré, logo os dados coletados neste levantamento também foram obtidos a partir de três series de leituras conjugadas PD e PI.

Em cada medição, tomou-se o cuidado de realizar as devidas anotações da altura do instrumento e do prisma, envolvidos na implantação dos respectivos vértices topográficos.

Estas alturas foram determinadas até a terceira casa decimal, com o auxílio de um a trena de fibra de vidro empregada durante as campanhas de medição.

b) Processamentos e Análises de Resultados

As altitudes ortométricas dos vértices IC1 e IC2 foram obtidas a partir de quatro vértices de referência pré-existent, como mencionado anteriormente. A referência altimétrica utilizada foi a altitude ortométrica do vértice RNNSC. As Tabelas 21 e 22 apresentam as diferentes altitudes obtidas para os vértices IC1 e IC2, considerando diferentes alvos, assim como as suas respectivas médias.

Tabela 21 – Resultados do Nivelamento Trigonométrico Vértice IC1

Vértice	Ponto Visado	Desnível (m)	Altitude Ortométrica de IC1 (m)	Altitude Ortométrica Média de IC1 (m)	Resíduo em módulo (m)
IC1	CARMO	-7,169259489	14,863	14,862	0,001
IC1	FOCA	-6,041806444	14,864		0,002
IC1	RNNSC	-6,138069875	14,857		0,004
IC1	INSC	-6,619233197	14,863		0,001

Tabela 22 – Resultados do Nivelamento Trigonométrico Vértice IC2

Vértice	Ponto Visado	Desnível (m)	Altitude Ortométrica de IC2 (m)	Altitude Ortométrica Média de IC2 (m)	Resíduo em módulo (m)
IC2	FOCCA	-5,819547963	14,642	14,644	0,002
IC2	CARMO	-6,946230632	14,639		0,005
IC2	RNNSC	-5,924915436	14,644		0,000
IC2	INSC	-6,406402769	14,650		0,006

Nota-se que os resultados obtidos a partir de diferentes Referências de Nível não apresentaram resíduos destoantes do esperado, tanto o vértice IC1 como o IC2 foram utilizados como Referências de Nível para a obtenção das coordenadas dos pontos-objeto materializados.

Apesar das altitudes ortométricas dos vértices IC1 e IC2 terem sido obtidas a partir de diferentes vértices, adotou-se como referência altimétrica, a altitude ortométrica do vértice RNNSC, que foi obtida através da execução de um nivelamento geométrico de alta precisão, cujos resultados foram apresentados no item (5.5.1.1) seção b. Ou seja, para o vértice IC1 adotou-se como referência altimétrica o valor 14,857m e para o vértice IC2 adotou-se como referência altimétrica o valor 14,644m.

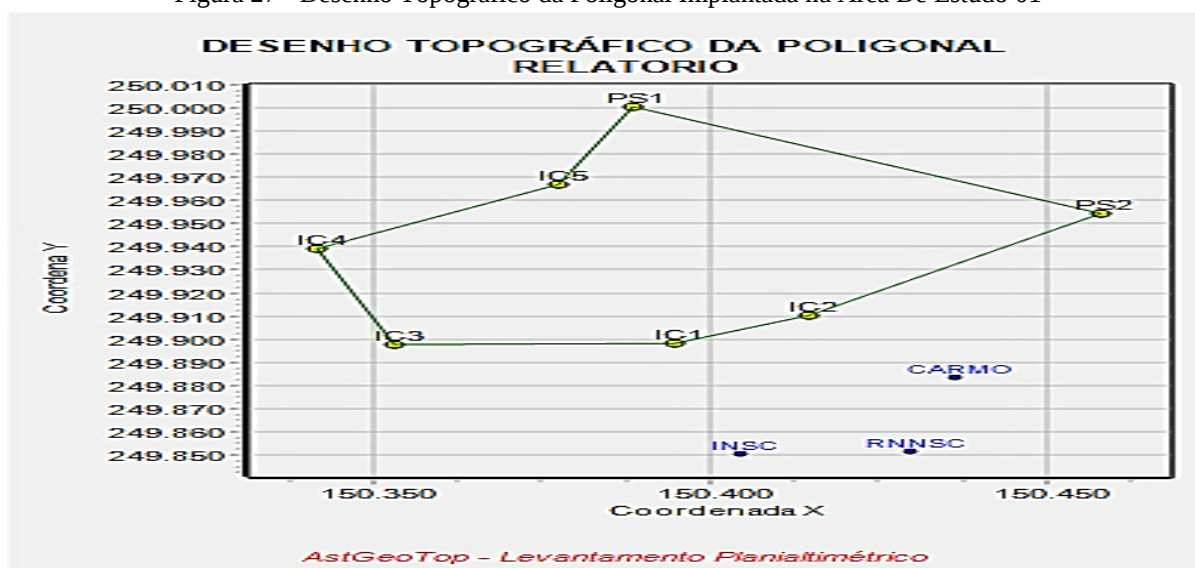
5.5.2.3 Método da Poligonação

a) Medições

O método da poligonação foi empregado na área de estudo 02 durante as medições de campo ocorridas no dia 25/01/2017, simultaneamente as operações de campo desenvolvidas em Silva (2017), referentes a dissertação de mestrado em fase de andamento. Através da realização deste método foi implantada uma poligonal tipo 01 composta de 07 vértices, partindo do vértice IC1. As coordenadas planialtimétricas de IC1 foram determinadas neste trabalho, conforme itens 5.4.1.2 seções (a) e (b).

A Figura 27 contém um esboço da poligonal implantada obtida via módulo planialtimétrico do *software* AstGeoTop (GARNÉS, 2017). Os pontos CARMO, INSC e RNNSC visualizados na Figura 27 foram irradiados a partir de IC1.

Figura 27 - Desenho Topográfico da Poligonal Implantada na Área De Estudo 01



Fonte: Software AstGeoTop (GARNÉS, 2017).

b) Processamentos e Análises de Resultados

Os dados advindos da implantação da poligonal tipo 1 na área de estudo 02 foram processados com a utilização do módulo planialtimétrico do software AstGeoTop (GARNÉS, 2017). Os resultados advindos deste processamento não serão apresentados neste trabalho, uma vez que a aplicabilidade de seus dados está diretamente relacionada aos estudos desenvolvidos em dissertação de mestrado de Silva (2017) em fase de andamento.

Os dados referentes ao método da poligonização não serão discutidos, uma vez que os demais métodos de levantamentos topográficos e geodésicos empregados neste trabalho permitiram o alcance dos objetivos propostos.

Apenas ressalta-se que o erro de fechamento angular apresentado foi de $-1'1.7''$ e a precisão relativa alcançada foi de $1/55361,4008$, após ajustamento a poligonal enquadrou-se segundo a NBR 13133 (ABNT, 1994) na classificação IIP indicada para serviços de apoio topográfico e execução de obras de Engenharia.

5.6 IMPLANTAÇÃO DE PONTOS-OBJETO NA ÁREA DE ESTUDO 02

Nesta seção serão discutidos as etapas e os métodos adotados na definição e implantação de pontos-objeto na área de estudo 02.

5.6.1 Materialização de Pontos-Objeto na Área de estudo 02

Conforme explicado anteriormente a materialização de pontos-objeto na superfície em estudo teve de seguir uma metodologia diferenciada, respeitando o aspecto histórico do local, onde os métodos de levantamentos topográficos e geodésicos foram aplicados. Juntar parágrafo

A escadaria localizada em frente à Igreja Nossa Senhora do Carmo foi utilizada para a materialização dos pontos-objeto observados. Vale ressaltar que devido à grande extensão da escadaria apenas foram materializados pontos-objeto em três setores específicos da escada, aqui denominados como: objeto 01, objeto 02 e objeto 03. Na Figura 28 é possível ter uma idéia acerca da extensão da escadaria.

Figura 28 – Escadaria da Igreja Nossa Senhora do Carmo, Olinda – Pernambuco



Esta escadaria é constituída por lajotas quadriculares como visto na Figura 31. Com o auxílio da trena realizou-se a medição dos comprimentos destas lajotas e de suas diagonais, de posse desses dados foi possível determinar o ponto médio de cada lajota observada.

Figura 29 – Vista Aproximada da Escadaria da Igreja Nossa Senhora do Carmo e Identificação dos Objetos 01, 02 e 03



A estratégia usada para implementação dos pontos-objeto nesta escadaria consistiu em materializar através de marcações gráficas em uma fita adesiva os pontos médios destas lajotas. As Figuras 30 e 31 ajudam a entender o procedimento descrito.

Figura 30– Materialização de Pontos-Objeto



Figura 31 – Vista Aproximada de Ponto-Objeto

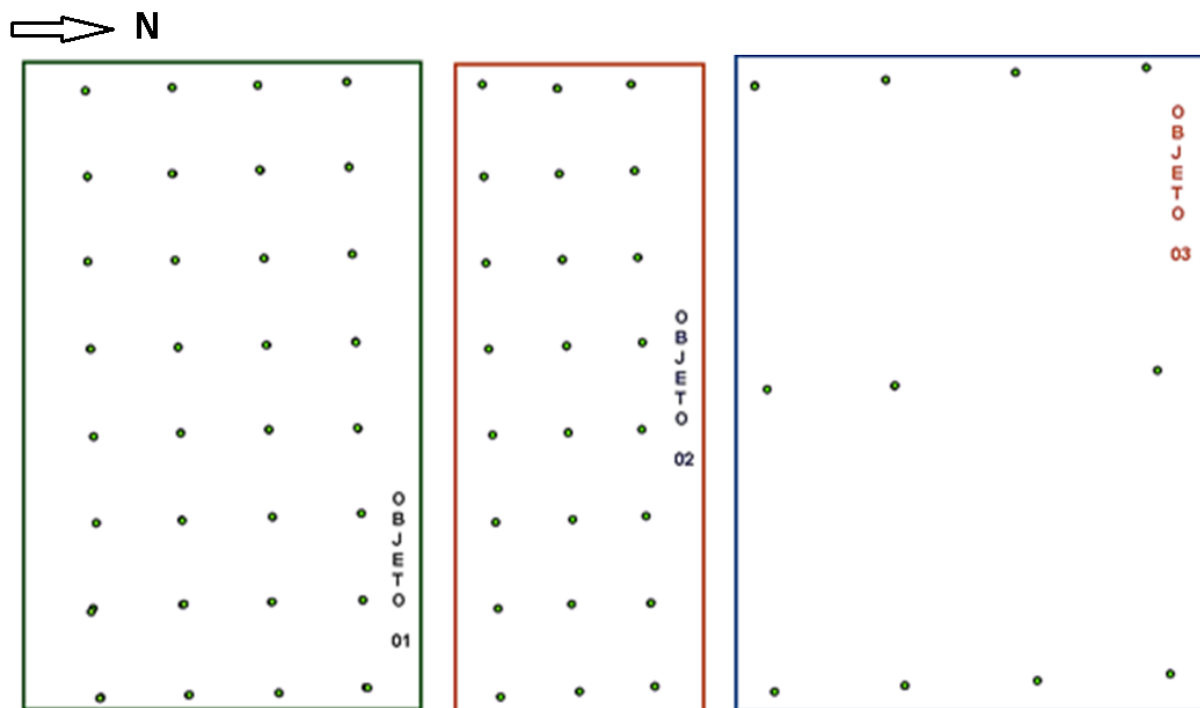


Ao todo 68 pontos-objeto foram implantados na escadaria, sendo:

- 32 pontos-objeto posicionados no objeto 01;
- 24 pontos-objeto posicionado no objeto 02;
- 12 pontos-objeto posicionados no objeto 03.

Um esboço ilustrativo da distribuição dos pontos-objeto observados pode ser visto na Figura 32.

Figura 32 – Distribuição Dos Pontos-Objeto Implantados



5.6.2 Medições, Processamentos e Análises de Resultados dos Resultados dos Pontos-Objeto Usando Estação Total

5.6.2.1 Método da Interseção a Vante

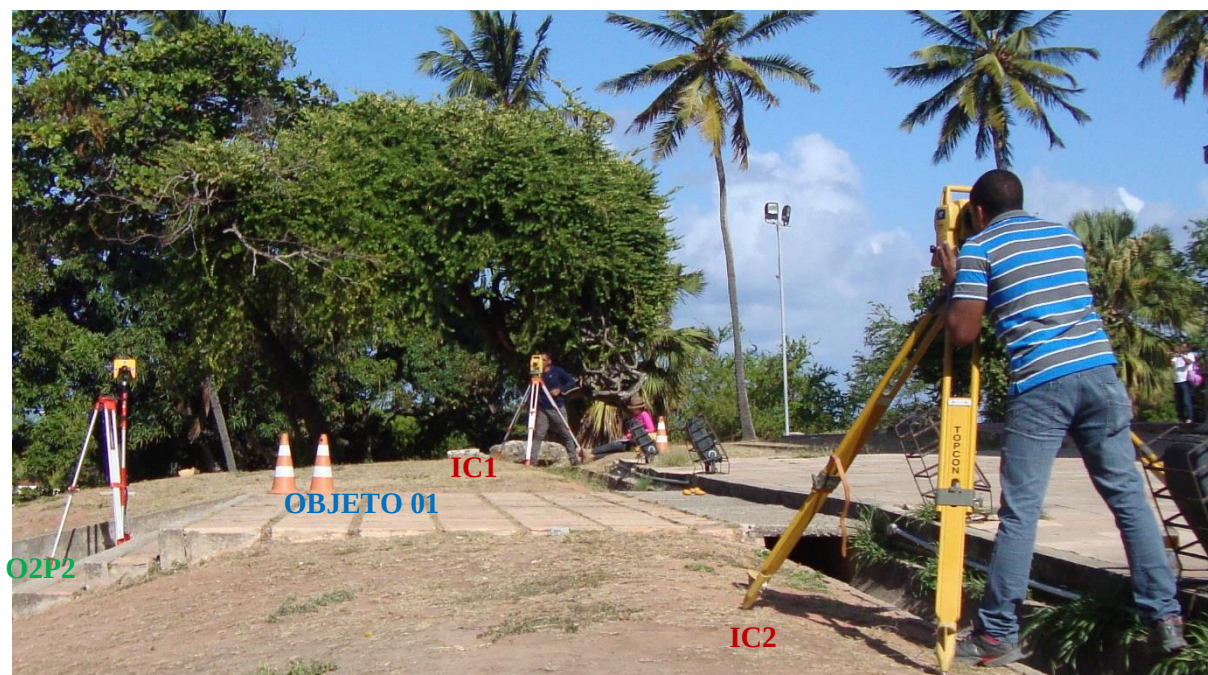
a) Medições

Esta campanha de medição aconteceu no dia 27/01/2017. A materialização e levantamento completo dos 68 ponto-objetos analisados foi a operação de campo mais demorada, tendo início às 09:00 h e término às 17:10 h, e contando com a participação de uma equipe formada por seis pessoas.

Para facilitar as operações de campo, foram empregadas duas estações totais e dois prismas ópticos, os instrumentos foram posicionados simultaneamente nos vértices IC1 e IC2, sob os quais se realizaram as medidas angulares e lineares necessárias para a aplicação do método. Ressalta-se que durante a coleta dos ângulos horizontais o operador da estação total realizou visadas direcionadas a ponta do bastão, ao passo que na coleta dos ângulos verticais e distâncias inclinadas visou-se o centro do prisma.

Devido ao alto número de pontos-objeto coletados apenas realizou-se a coleta de uma série de leituras conjugadas. A equipe de campo responsável pela execução deste levantamento foi composta por seis pessoas. O procedimento de campo pode ser visualizado na Figura 33.

Figura 33 – Aplicação do Método da Interseção a Vante



b) Processamentos e Análises de Resultados

O processamento dos dados necessários a aplicação do método da interseção a vante foi realizado através do módulo interseção direta disponível no software AstGeoTop (GARNÉS, 2017). O processamento segue o esquema adotado em campo onde a materialização dos pontos-objeto na área de estudo 02 considerou três superfícies para a implantação dos pontos objeto (objeto 01, objeto 02 e objeto 03), todos localizados na escadaria da Igreja Nossa Senhora do Carmo. Na Tabela 23 é possível visualizar as coordenadas planimétricas e os respectivos desvios padrão das coordenadas X e Y dos 32 pontos-objeto implantados no objeto 01, ressaltar-se que os desvios padrões dos vértices IC1 e IC2, pontos de referência para o cálculo das coordenadas de todos os pontos-objeto levantados, foram desprezados.

Para facilitar a compreensão os 68 pontos-objeto são apresentados nas Tabelas 23, 24 e 25, que designam respectivamente os objetos 01, 02 e 03. Os relatórios decorrentes da utilização do módulo interseção direta (interseção a vante) do software AstGeoTop (GARNÉS, 2017), podem ser vistos na seção anexos.

Tabela 23 – Coordenadas Planimétricas dos 32 Pontos-Objeto Implantados no Objeto 01

Ponto-Objeto	D_{IC1-P} (m)	D_{IC2-P} (m)	X_P (m)	Y_P (m)	Desvio Padrão D_{IC1-P} (m)	Desvio Padrão D_{IC2-P} (m)	Desvio Padrão X_P (m)	Desvio Padrão Y_P (m)
O1P1	12,1929	11,5180	150382,9692	249901,1059	0,00277	0,00263	0,00271	0,00072
O1P2	12,0094	11,3320	150382,9925	249900,1977	0,00287	0,00273	0,00284	0,00057
O1P3	11,8930	11,2153	150383,0150	249899,2826	0,00341	0,00331	0,00341	0,00046
O1P4	11,7805	11,2384	150383,1034	249898,3661	0,02244	0,02242	0,02244	0,00049
O1P5	13,0843	10,6364	150382,0556	249901,0920	0,00295	0,00245	0,00290	0,00073
O1P6	12,9086	10,4387	150382,0834	249900,1855	0,00304	0,00256	0,00301	0,00059
O1P7	12,7964	10,3117	150382,1083	249899,2568	0,00357	0,00317	0,00356	0,00048
O1P8	12,8609	10,1581	150382,0231	249898,3482	0,02133	0,02126	0,02133	0,00052
O1P9	13,9662	9,7686	150381,1530	249901,0698	0,00314	0,00228	0,00308	0,00074
O1P10	13,7923	9,5561	150381,1881	249900,1480	0,00321	0,00239	0,00319	0,00060
O1P11	13,6905	9,4184	150381,2114	249899,2308	0,00371	0,00303	0,00370	0,00051
O1P12	13,7031	9,3160	150381,1811	249898,3336	0,02051	0,02040	0,02051	0,00054
O1P13	14,8291	8,9205	150380,2696	249901,0320	0,00331	0,00211	0,00327	0,00075
O1P14	14,6778	8,6802	150380,2938	249900,1223	0,00339	0,00222	0,00337	0,00062
O1P15	14,5844	8,5286	150380,3156	249899,2158	0,00384	0,00286	0,00383	0,00053
O1P16	14,5389	8,4803	150380,3454	249898,3188	0,01967	0,01950	0,01967	0,00056
O1P17	15,7133	8,0740	150379,3706	249901,0167	0,00349	0,00193	0,00345	0,00077
O1P18	18,5047	4,6922	150376,3940	249899,2734	0,00427	0,00182	0,00427	0,00066
O1P19	15,4800	7,6381	150379,4182	249899,1972	0,00396	0,00269	0,00396	0,00056
O1P20	15,4614	7,5578	150379,4232	249898,2949	0,01989	0,01967	0,01989	0,00060
O1P21	16,5940	7,2390	150378,4751	249900,9905	0,00367	0,00176	0,00363	0,00079
O1P22	16,4599	6,9371	150378,4977	249900,0770	0,00373	0,00187	0,00371	0,00066
O1P23	16,3619	6,7620	150378,5344	249899,1732	0,00409	0,00252	0,00408	0,00058
O1P24	16,3139	6,7054	150378,5708	249898,2776	0,01903	0,01875	0,01902	0,00062
O1P25	17,4780	6,4195	150377,5781	249900,9654	0,00385	0,00159	0,00382	0,00080
O1P26	17,3500	6,0770	150377,6012	249900,0490	0,00390	0,00170	0,00388	0,00069
O1P27	17,2710	5,8617	150377,6237	249899,1484	0,00421	0,00232	0,00420	0,00061
O1P28	17,2039	5,8155	150377,6810	249898,2587	0,01803	0,01769	0,01803	0,00065
O1P29	18,3626	5,6226	150376,6813	249900,9376	0,00403	0,00142	0,00400	0,00082
O1P30	18,2367	5,2349	150376,7092	249900,0249	0,00406	0,00151	0,00405	0,00071
O1P31	18,1632	4,9852	150376,7306	249899,1363	0,00431	0,00208	0,00431	0,00064
O1P32	18,0570	4,9627	150376,8279	249898,2467	0,01593	0,01548	0,01593	0,00066

Fonte: AstGeoTop (2017)

Tabela 24 – Coordenadas Planimétricas dos 24 Pontos-Objeto Implantados no Objeto 02

Ponto-Objeto	D_{IC1-P} (m)	D_{IC2-P} (m)	X_P (m)	Y_P (m)	Desvio Padrão D_{IC1-P} (m)	Desvio Padrão D_{IC2-P} (m)	Desvio Padrão X_P (m)	Desvio Padrão Y_P (m)
O2P1	12,3289	11,6422	150382,9488	249901,6063	0,00277	0,00263	0,00268	0,00081
O2P2	12,5903	11,8725	150382,9081	249902,4003	0,00280	0,00265	0,00266	0,00096
O2P3	12,8913	12,1254	150382,8575	249903,1567	0,00285	0,00268	0,00266	0,00111
O2P4	11,6324	12,1228	150383,5678	249901,2099	0,00265	0,00275	0,00258	0,00073
O2P5	13,2584	11,2685	150382,2279	249902,4658	0,00293	0,00252	0,00280	0,00098
O2P6	13,7035	11,3335	150381,9849	249903,1408	0,00302	0,00252	0,00284	0,00111
O2P7	14,0668	9,9257	150381,1488	249901,5528	0,00313	0,00227	0,00306	0,00082
O2P8	14,2911	10,2043	150381,1158	249902,3460	0,00315	0,00230	0,00304	0,00097
O2P9	14,5414	10,5267	150381,0881	249903,1113	0,00319	0,00235	0,00303	0,00112
O2P10	14,9296	9,0919	150380,2613	249901,5282	0,00331	0,00210	0,00324	0,00084
O2P11	15,1536	9,3845	150380,2156	249902,3199	0,00333	0,00213	0,00323	0,00098
O2P12	15,3899	9,7421	150380,1912	249903,0944	0,00337	0,00218	0,00322	0,00112
O2P13	15,8138	8,2540	150379,3553	249901,5065	0,00349	0,00193	0,00343	0,00085
O2P14	16,0107	8,5831	150379,3232	249902,2848	0,00352	0,00196	0,00342	0,00099
O2P15	16,2365	8,9749	150379,2980	249903,0652	0,00355	0,00202	0,00341	0,00113
O2P16	16,6854	7,4462	150378,4647	249901,4859	0,00367	0,00176	0,00362	0,00086
O2P17	16,8754	7,8081	150378,4298	249902,2632	0,00370	0,00180	0,00361	0,00100
O2P18	17,0881	8,2440	150378,4084	249903,0494	0,00373	0,00187	0,00360	0,00114
O2P19	17,5646	6,6490	150377,5670	249901,4565	0,00386	0,00160	0,00380	0,00088
O2P20	17,7452	7,0553	150377,5330	249902,2362	0,00388	0,00164	0,00380	0,00101
O2P21	17,9512	7,5307	150377,5073	249903,0213	0,00392	0,00172	0,00379	0,00115
O2P22	18,4539	5,8732	150376,6606	249901,4258	0,00404	0,00143	0,00399	0,00089
O2P23	18,6151	6,3432	150376,6390	249902,2106	0,00406	0,00149	0,00398	0,00102
O2P24	18,8119	6,8578	150376,6103	249902,9838	0,00410	0,00158	0,00398	0,00116

Fonte: AstGeoTop (2017)

Por fim na Tabela 25 é possível visualizar as coordenadas planimétricas referentes a 10 pontos-objeto implantados no objeto 03.

Tabela 25 – Coordenadas Planimétricas dos 10 Pontos-Objeto Implantados no Objeto 03

Ponto-Objeto	D_{IC1-P} (m)	D_{IC2-P} (m)	X_P (m)	Y_P (m)	Desvio Padrão D_{IC1-P} (m)	Desvio Padrão D_{IC2-P} (m)	Desvio Padrão X_P (m)	Desvio Padrão Y_P (m)
O3P1	13,3117	12,1161	150382,6029	249903,6500	0,00293	0,00268	0,00271	0,00121
O3P2	13,9371	12,7557	150382,5498	249905,0032	0,00305	0,00280	0,00271	0,00148
O3P3	14,6694	13,4847	150382,4820	249906,3482	0,00321	0,00296	0,00273	0,00177
O3P4	5,9810	18,6402	150390,0687	249902,0610	0,00144	0,00407	0,00116	0,00087
O3P5	16,2411	9,3774	150379,4450	249903,5558	0,00355	0,00210	0,00338	0,00122
O3P6	16,7432	10,1991	150379,4063	249904,9002	0,00365	0,00226	0,00338	0,00149
O3P8	18,0461	12,1023	150379,2871	249907,5911	0,00393	0,00267	0,00341	0,00205
O3P9	19,2391	7,0080	150376,2923	249903,4645	0,00419	0,00161	0,00405	0,00125
O3P10	19,6872	8,0610	150376,2298	249904,8083	0,00428	0,00182	0,00406	0,00151
O3P11	20,2100	9,1870	150376,1704	249906,1464	0,00440	0,00206	0,00408	0,00178

Fonte: AstGeoTop (2017)

5.6.2.2 Método do Nivelamento Trigonométrico

a) Medições

A exemplo do ocorrido quando foi realizada a campanha de interseção a ré, o nivelamento trigonométrico dos pontos-objeto foi aplicado simultaneamente a aplicação do método de interseção a vante, o procedimento de coleta das alturas dos instrumentos e dos prismas também foram realizadas com o auxílio da trena. As referências altimétricas adotadas para o cálculo das altitudes ortométricas dos 68 pontos-objeto coletados foram as respectivas altitudes dos vértices IC1 e IC2.

b) Processamentos e Análises dos Resultados

Os dados coletados referentes a aplicação do método do nivelamento trigonométrico foram organizados em planilhas *excel*, nas quais realizou-se o processamento necessário conforme seção (4.4.5).

Nas tabelas 26, 27 e 28 é possível visualizar as altitudes ortométricas para os pontos-objeto implantados no objeto 01, objeto 02 e objeto 03, respectivamente. Como a aplicação do

método aconteceu simultaneamente a aplicação do método da interseção a vante, foi possível obter as coordenadas altimétricas de cada ponto-objeto a partir dos vértices IC1 e IC2, utilizados como referência altimétrica neste caso.

Tabela 26 – Altitudes Ortométricas Dos 32 Pontos-Objeto Implantados No Objeto 01

(Continua)

Estação Ocupada	Ponto - Objeto	Altitude Ortométrica (m)	Estação Ocupada	Ponto - Objeto	Altitude Ortométrica (m)	Discrepâncias (m)	Altitude Ortométrica Média (m)
IC1	O1P1	14,843	IC2	O1P1	14,849	0,006	14,846
IC1	O1P2	14,844	IC2	O1P2	14,849	0,005	14,847
IC1	O1P3	14,838	IC2	O1P3	14,844	0,006	14,841
IC1	O1P4	14,846	IC2	O1P4	14,850	0,004	14,848
IC1	O1P5	14,847	IC2	O1P5	14,852	0,005	14,849
IC1	O1P6	14,847	IC2	O1P6	14,851	0,004	14,849
IC1	O1P7	14,844	IC2	O1P7	14,849	0,005	14,846
IC1	O1P8	14,849	IC2	O1P8	14,852	0,004	14,850
IC1	O1P9	14,847	IC2	O1P9	14,853	0,006	14,850
IC1	O1P10	14,846	IC2	O1P10	14,852	0,006	14,849
IC1	O1P11	14,841	IC2	O1P11	14,846	0,005	14,844
IC1	O1P12	14,847	IC2	O1P12	14,853	0,006	14,850
IC1	O1P13	14,846	IC2	O1P13	14,852	0,006	14,849
IC1	O1P14	14,843	IC2	O1P14	14,850	0,006	14,847
IC1	O1P15	14,845	IC2	O1P15	14,850	0,006	14,847
IC1	O1P16	14,849	IC2	O1P16	14,854	0,005	14,852
IC1	O1P17	14,845	IC2	O1P17	14,852	0,006	14,848
IC1	O1P18	14,846	IC2	O1P18	14,852	0,005	14,849
IC1	O1P19	14,842	IC2	O1P19	14,848	0,007	14,845
IC1	O1P20	14,850	IC2	O1P20	14,855	0,005	14,853
IC1	O1P21	14,847	IC2	O1P21	14,854	0,007	14,850
IC1	O1P22	14,849	IC2	O1P22	14,855	0,006	14,852
IC1	O1P23	14,848	IC2	O1P23	14,855	0,007	14,852
IC1	O1P24	14,856	IC2	O1P24	14,862	0,005	14,859
IC1	O1P25	14,845	IC2	O1P25	14,852	0,007	14,849
IC1	O1P26	14,849	IC2	O1P26	14,854	0,006	14,851
IC1	O1P27	14,851	IC2	O1P27	14,858	0,007	14,855

(Conclusão)

Estação Ocupada	Ponto - Objeto	Altitude Ortométrica (m)	Estação Ocupada	Ponto - Objeto	Altitude Ortométrica (m)	Discrepâncias (m)	Altitude Ortométrica Média (m)
IC1	O1P28	14,857	IC2	O1P28	14,863	0,006	14,860
IC1	O1P29	14,849	IC2	O1P29	14,857	0,008	14,853
IC1	O1P30	14,849	IC2	O1P30	14,856	0,007	14,853
IC1	O1P31	14,852	IC2	O1P31	14,859	0,008	14,855
IC1	O1P32	14,857	IC2	O1P32	14,864	0,006	14,861

Tabela 27 – Altitudes Ortométricas dos 24 Pontos-Objeto Implantados no Objeto 02

(Continua)

Estação Ocupada	Ponto - Objeto	Altitude Ortométrica (m)	Estação Ocupada	Ponto - Objeto	Altitude Ortométrica (m)	Discrepâncias (m)	Altitude Ortométrica Média (m)
IC1	O2P1	14,019	IC2	O2P1	14,030	0,011	14,024
IC1	O2P2	14,365	IC2	O2P2	14,374	0,009	14,370
IC1	O2P3	14,683	IC2	O2P3	14,691	0,007	14,687
IC1	O2P4	14,017	IC2	O2P4	14,024	0,008	14,021
IC1	O2P5	14,361	IC2	O2P5	14,364	0,003	14,362
IC1	O2P6	14,680	IC2	O2P6	14,687	0,006	14,684
IC1	O2P7	14,020	IC2	O2P7	14,028	0,008	14,024
IC1	O2P8	14,357	IC2	O2P8	14,365	0,008	14,361
IC1	O2P9	14,679	IC2	O2P9	14,685	0,006	14,682
IC1	O2P10	14,023	IC2	O2P10	14,032	0,009	14,028
IC1	O2P11	14,354	IC2	O2P11	14,361	0,007	14,357
IC1	O2P12	14,680	IC2	O2P12	14,688	0,008	14,684
IC1	O2P13	14,023	IC2	O2P13	14,032	0,009	14,027
IC1	O2P14	14,353	IC2	O2P14	14,361	0,008	14,357
IC1	O2P15	14,678	IC2	O2P15	14,687	0,009	14,683
IC1	O2P16	14,022	IC2	O2P16	14,030	0,008	14,026
IC1	O2P17	14,352	IC2	O2P17	14,360	0,008	14,356
IC1	O2P18	14,675	IC2	O2P18	14,682	0,007	14,679
IC1	O2P19	14,022	IC2	O2P19	14,030	0,008	14,026
IC1	O2P20	14,351	IC2	O2P20	14,359	0,008	14,355
IC1	O2P21	14,669	IC2	O2P21	14,677	0,008	14,673

(Conclusão)

Estação Ocupada	Ponto - Objeto	Altitude Ortométrica (m)	Estação Ocupada	Ponto - Objeto	Altitude Ortométrica (m)	Discrepâncias (m)	Altitude Ortométrica Média (m)
IC1	O2P22	14,022	IC2	O2P22	14,030	0,008	14,026
IC1	O2P23	14,348	IC2	O2P23	14,355	0,008	14,352
IC1	O2P24	14,672	IC2	O2P24	14,680	0,007	14,676

Tabela 28 – Altitudes Ortométricas dos 10 Pontos-Objeto Implantados no Objeto 03

Estação Ocupada	Ponto - Objeto	Altitude Ortométrica (m)	Estação Ocupada	Ponto - Objeto	Altitude Ortométrica (m)	Discrepâncias (m)	Altitude Ortométrica Média (m)
IC1	O3P1	13,853	IC2	O3P1	13,860	0,007	13,856
IC1	O3P2	13,848	IC2	O3P2	13,856	0,008	13,852
IC1	O3P3	13,826	IC2	O3P3	13,832	0,006	13,829
IC1	O3P4	13,818	IC2	O3P4	13,828	0,011	13,823
IC1	O3P5	13,843	IC2	O3P5	13,854	0,011	13,849
IC1	O3P6	13,841	IC2	O3P6	13,851	0,010	13,846
IC1	O3P8	13,814	IC2	O3P8	13,826	0,012	13,820
IC1	O3P9	13,844	IC2	O3P9	13,854	0,011	13,849
IC1	O3P10	13,833	IC2	O3P10	13,842	0,009	13,838
IC1	O3P11	13,808	IC2	O3P11	13,826	0,017	13,817

Já era esperado que as discrepâncias decorrentes do transporte das altitudes ortométricas de IC1 e IC2 para cada ponto-objeto observado nas Tabelas 26, 27 e 28 apresentassem valores milimétricos, visto que a distância entre os vértices IC1 e IC2 e os pontos-objeto é relativamente curta.

Convencionou-se adotar como altitude ortométrica para cada ponto-objeto observado a média dos valores das altitudes encontradas a partir de IC1 e IC2.

5.6.3 Medições, Processamentos e Análises dos Resultados dos Pontos-Objeto Usando Método de Posicionamento RTK

a) Medições

Os procedimentos envolvendo a medição de pontos-objeto utilizando a técnica RTK foram realizados nos dias 27/01/2017 e 07/02/2017 contando com o auxílio de uma equipe formada por quatro pessoas e duração de aproximadamente quatro horas.

O procedimento de campo consistiu em primeiramente realizar a instalação do receptor denominado base sob o ponto de coordenadas conhecidas denominado INSC, medir e anotar a altura da antena do equipamento posicionado nesta estação.

O outro receptor denominado *rover* foi instalado em um bastão específico e a sua altura foi novamente anotada. Para iniciar o levantamento utilizando o método RTK com os receptores empregados, é necessário realizar através da coletora do equipamento, a devida inicialização dos receptores e a configuração de uma nova tarefa. Os procedimentos para a realização desta configuração estão descritos em Garnés (2017).

Com as configurações devidamente realizadas, deu-se início a realização da coleta das coordenadas dos 68 pontos-objeto, durante as operações de configuração optou-se por estabelecer uma precisão de 2 cm para as coordenadas planimétricas e 2,5 cm para as coordenadas altimétricas obtidas pelo equipamento, o receptor tido como rover foi instalado através de um bipé nos 68 ponto-objeto materializados. A coleta das coordenadas de cada ponto-objeto foi realizada no mínimo duas vezes para cada vértice ocupado pelo equipamento. Inicialmente, estabeleceram-se observações mínimas com três coletas, porém a necessidade de agilizar o processo fez com que esse número mínimo de coletas fosse diminuído para apenas duas coletas por cada ponto-objeto.

Nas Figuras 34 e 35 ilustram-se respectivamente o receptor base e o receptor móvel utilizados durante a aplicação da técnica RTK.

Figura 34 – Receptor Base Posicionado no Vértice INSC

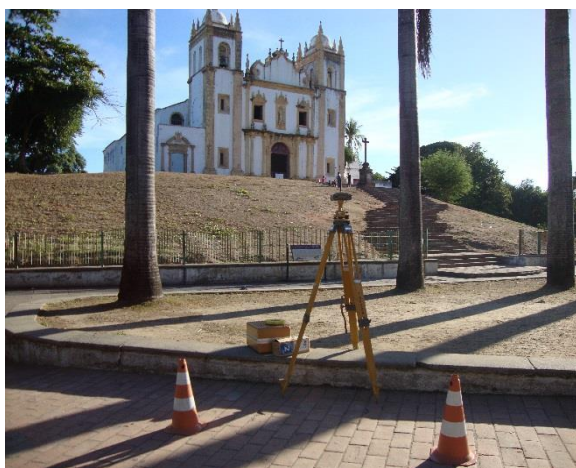


Figura 35 – Receptor Rover Posicionado em Ponto-Objeto



b) Processamentos e Análises de Resultados

Os dados advindos da utilização do método RTK não necessitam de processamentos, apenas foi necessário gravar em uma mídia de armazenamento os dados salvos durante a execução do procedimento em campo. Devido ao fato de o equipamento ter realizado mais de uma coleta para cada estação ocupada, optou-se por considerar como coordenadas finais, a média destas observações. Os resultados finais das coordenadas planialtimétricas para os três objetos observados podem ser vistos nas Tabelas 29, 30 e 31, ressaltando que neste caso foi coletada a altitude geométrica.

Tabela 29 – Coordenadas Planialtimétricas dos 32 Pontos-Objeto Implantados No Objeto 01, Obtidas com a Aplicação do Método RTK

(Continua)

Ponto-objeto	E (m)	N (m)	h (m)	Precisão Horizontal	Precisão Vertical	Tipo de Solução
O1P1	296195,194	9113355,653	9,286	0,007	0,010	<i>Fixed</i>
O1P2	296195,250	9113354,751	9,302	0,009	0,008	<i>Fixed</i>
O1P3	296195,271	9113353,827	9,302	0,008	0,009	<i>Fixed</i>
O1P4	296195,303	9113352,917	9,296	0,009	0,012	<i>Fixed</i>
O1P5	296194,286	9113355,613	9,307	0,008	0,009	<i>Fixed</i>
O1P6	296194,305	9113354,677	9,291	0,008	0,010	<i>Fixed</i>
O1P7	296194,332	9113353,769	9,291	0,009	0,010	<i>Fixed</i>
O1P8	296194,386	9113352,837	9,287	0,008	0,010	<i>Fixed</i>
O1P9	296193,387	9113355,597	9,302	0,008	0,010	<i>Fixed</i>
O1P10	296193,424	9113354,685	9,319	0,008	0,010	<i>Fixed</i>
O1P11	296193,459	9113353,757	9,335	0,006	0,008	<i>Fixed</i>
O1P12	296193,488	9113352,876	9,320	0,007	0,009	<i>Fixed</i>
O1P13	296192,505	9113355,562	9,292	0,010	0,010	<i>Fixed</i>
O1P14	296192,518	9113354,647	9,315	0,008	0,007	<i>Fixed</i>
O1P15	296192,554	9113353,743	9,320	0,007	0,009	<i>Fixed</i>
O1P16	296192,590	9113352,849	9,326	0,007	0,008	<i>Fixed</i>
O1P17	296191,608	9113355,539	9,321	0,005	0,008	<i>Fixed</i>
O1P18	296191,642	9113354,624	9,315	0,009	0,011	<i>Fixed</i>
O1P19	296191,664	9113353,716	9,324	0,008	0,009	<i>Fixed</i>
O1P20	296191,681	9113352,816	9,323	0,006	0,008	<i>Fixed</i>

(Conclusão)

Ponto-objeto	E (m)	N (m)	h (m)	Precisão Horizontal	Precisão Vertical	Tipo de Solução
O1P21	296190,697	9113355,503	9,326	0,005	0,008	<i>Fixed</i>
O1P22	296190,741	9113354,600	9,339	0,010	0,012	<i>Fixed</i>
O1P23	296190,761	9113353,685	9,332	0,006	0,008	<i>Fixed</i>
O1P24	296190,775	9113352,788	9,336	0,008	0,010	<i>Fixed</i>
O1P25	296189,796	9113355,470	9,328	0,007	0,009	<i>Fixed</i>
O1P26	296189,826	9113354,557	9,322	0,006	0,010	<i>Fixed</i>
O1P27	296189,863	9113353,659	9,321	0,010	0,011	<i>Fixed</i>
O1P28	296189,893	9113352,784	9,325	0,006	0,009	<i>Fixed</i>
O1P29	296188,909	9113355,446	9,326	0,006	0,009	<i>Fixed</i>
O1P30	296188,944	9113354,534	9,319	0,007	0,009	<i>Fixed</i>
O1P31	296188,968	9113353,655	9,340	0,007	0,009	<i>Fixed</i>
O1P32	296189,004	9113352,766	9,339	0,008	0,010	<i>Fixed</i>

Tabela 30 – Coordenadas Planialtimétricas dos 32 Pontos-Objeto Implantados no Objeto 02, Obtidas Com a Aplicação Do Método RTK

(Continua)

Ponto-objeto	E (m)	N (m)	h (m)	Precisão Horizontal	Precisão Vertical	Tipo de Solução
O2P1	296195,185	9113356,139	9,153	0,007	0,010	<i>Fixed</i>
O2P2	296195,128	9113356,949	8,836	0,008	0,010	<i>Fixed</i>
O2P3	296195,075	9113357,724	8,496	0,007	0,011	<i>Fixed</i>
O2P4	296194,269	9113356,113	9,152	0,007	0,010	<i>Fixed</i>
O2P5	296194,223	9113356,870	8,833	0,006	0,009	<i>Fixed</i>
O2P6	296194,212	9113357,682	8,504	0,007	0,010	<i>Fixed</i>
O2P7	296193,374	9113356,089	9,160	0,008	0,012	<i>Fixed</i>
O2P8	296193,345	9113356,880	8,852	0,005	0,009	<i>Fixed</i>
O2P9	296193,310	9113357,634	8,512	0,006	0,010	<i>Fixed</i>
O2P10	296192,468	9113356,057	9,152	0,007	0,010	<i>Fixed</i>
O2P11	296192,444	9113356,833	8,826	0,005	0,009	<i>Fixed</i>
O2P12	296192,411	9113357,590	8,493	0,005	0,008	<i>Fixed</i>
O2P13	296191,576	9113356,019	9,175	0,006	0,009	<i>Fixed</i>
O2P14	296191,545	9113356,816	8,826	0,009	0,010	<i>Fixed</i>

(Conclusão)

Ponto-objeto	E (m)	N (m)	h (m)	Precisão Horizontal	Precisão Vertical	Tipo de Solução
O2P15	296191,508	9113357,596	8,495	0,012	0,015	<i>Fixed</i>
O2P16	296190,685	9113355,989	9,154	0,009	0,012	<i>Fixed</i>
O2P17	296190,649	9113356,773	8,826	0,008	0,012	<i>Fixed</i>
O2P18	296190,628	9113357,549	8,500	0,008	0,011	<i>Fixed</i>
O2P19	296189,787	9113355,967	9,156	0,010	0,012	<i>Fixed</i>
O2P20	296189,759	9113356,742	8,805	0,010	0,011	<i>Fixed</i>
O2P21	296189,729	9113357,515	8,480	0,009	0,016	<i>Fixed</i>
O2P22	296188,830	9113357,480	8,532	0,012	0,019	<i>Fixed</i>
O2P23	296188,874	9113356,721	8,812	0,010	0,017	<i>Fixed</i>
O2P24	296188,832	9113355,953	9,162	0,009	0,019	<i>Fixed</i>

Tabela 31 – Coordenadas Planialtimétricas dos 32 Pontos-Objeto Implantados no Objeto 03, Obtidas Com a Aplicação do Método RTK

Ponto-objeto	E (m)	N (m)	h (m)	Precisão Horizontal	Precisão Vertical	Tipo de Solução
O3P1	296194,794	9113358,181	8,342	0,013	0,016	<i>Fixed</i>
O3P2	296194,731	9113359,519	8,337	0,008	0,018	<i>Fixed</i>
O3P3	296194,679	9113360,878	8,319	0,010	0,021	<i>Fixed</i>
O3P4	296194,609	9113362,243	8,302	0,015	0,021	<i>Fixed</i>
O3P5	296191,657	9113358,105	8,352	0,014	0,021	<i>Fixed</i>
O3P6	296191,619	9113359,415	8,313	0,019	0,020	<i>Fixed</i>
O3P8	296191,461	9113362,110	8,319	0,019	0,018	<i>Fixed</i>
O3P9	296188,511	9113357,977	8,338	0,013	0,018	<i>Fixed</i>
O3P10	296188,448	9113359,323	8,327	0,016	0,017	<i>Fixed</i>
O3P11	296188,371	9113360,655	8,308	0,012	0,016	<i>Fixed</i>
O3P12	296188,319	9113361,996	8,304	0,007	0,011	<i>Fixed</i>

5.6.4 Medições, Processamentos e Análises de Resultados dos Pontos-Objeto Usando Método do Nivelamento Geométrico

5.6.4.1 Nivelamento Geométrico

a) Medições

O nivelamento geométrico dos pontos-objeto implantados foi a operação final realizada na área de estudo 02, ocorrendo no dia 07/02/2017, contando com uma equipe de três pessoas e duração de aproximadamente uma hora, neste caso o nível utilizado nesta situação foi o Topcon ATB4.

O procedimento foi iniciado com a escolha de um local ideal para a instalação do equipamento, a partir do ponto escolhido foi possível realizar o levantamento dos dados necessários para o cálculo das altitudes ortométricas dos vértices integrantes do campo de pontos-objeto sem que houvesse a necessidade de um reposicionamento do equipamento em outro local.

A aplicação deste método é bastante simples, onde apenas foi necessário a realização de uma leitura de ré no vértice IC2 de altitude ortométrica conhecida e leituras de vante para todos os pontos-objeto materializados. O procedimento é visualizado na Figura 36.

Figura 36 – Aplicação do Método de Nivelamento Geométrico Usando Nível Automático Analógico



b) Processamentos e Análises de Resultados

Os processamentos necessários para a determinação da altitude ortométrica dos pontos-objeto materializados envolvendo a aplicação do método de nivelamento geométrico simples foram desenvolvidos em planilhas *Excel*. As altitudes ortométricas obtidas para os diferentes objetos observados são apresentadas nas Tabelas 32, 33 e 34.

Tabela 32 – Resultados do Nivelamento Geométrico Simples Utilizando Nível ATB4 Para o Objeto 01

Ponto-objeto	Desnível (m)	Distância (m)	Altitude Ortométrica (m)
O1P1	0,207	10,300	14,851
O1P2	0,205	10,600	14,849
O1P3	0,201	10,700	14,845
O1P4	0,208	11,100	14,852
O1P5	0,209	9,400	14,853
O1P6	0,208	9,600	14,852
O1P7	0,206	9,800	14,850
O1P8	0,210	10,300	14,854
O1P9	0,210	8,500	14,854
O1P10	0,208	8,700	14,852
O1P11	0,205	9,000	14,849
O1P12	0,209	9,300	14,853
O1P13	0,208	7,800	14,852
O1P14	0,206	7,800	14,850
O1P15	0,206	8,300	14,850
O1P16	0,210	8,500	14,854
O1P17	0,208	6,800	14,852
O1P18	0,208	7,000	14,852
O1P19	0,205	7,300	14,849
O1P20	0,214	7,700	14,858
O1P21	0,211	5,800	14,855
O1P22	0,211	6,200	14,855
O1P23	0,213	6,700	14,857
O1P24	0,218	6,900	14,862
O1P25	0,208	4,900	14,852
O1P26	0,210	5,400	14,854
O1P27	0,215	5,900	14,859
O1P28	0,219	6,400	14,863
O1P29	0,213	4,200	14,857
O1P30	0,213	4,700	14,857
O1P31	0,215	5,000	14,859
O1P32	0,218	5,800	14,862

Tabela 33 – Resultados do Nivelamento Geométrico Simples Utilizando Nível ATB4 Para o Objeto 02

Pontos-objeto	Desnível (m)	Distância (m)	Altitude Ortométrica (m)
O2P1	-0,613	10,200	14,031
O2P2	-0,270	10,100	14,374
O2P3	0,049	10,300	14,693
O2P4	-0,615	9,200	14,029
O2P5	-0,273	9,200	14,371
O2P6	0,044	9,200	14,688
O2P7	-0,613	8,300	14,031
O2P8	-0,276	8,300	14,368
O2P9	0,045	8,300	14,689
O2P10	-0,611	7,400	14,033
O2P11	-0,280	7,300	14,364
O2P12	0,045	7,600	14,689
O2P13	-0,611	6,600	14,033
O2P14	-0,281	6,500	14,363
O2P15	0,044	6,700	14,688
O2P16	-0,611	5,600	14,033
O2P17	-0,281	5,600	14,363
O2P18	0,039	5,800	14,683
O2P19	-0,612	4,700	14,032
O2P20	-0,282	4,700	14,362
O2P21	0,035	4,800	14,679
O2P22	-0,611	3,800	14,033
O2P23	-0,285	3,900	14,359
O2P24	0,038	3,900	14,682

Tabela 34 – Resultados do Nivelamento Geométrico Simples Utilizando Nível ATB4 Para o Objeto 03

(Continua)

Pontos-objeto	Desnível (m)	Distância (m)	Altitude Ortométrica (m)
O3P1	-0,778	10,700	13,866
O3P2	-0,785	10,100	13,859
O3P3	-0,807	10,400	13,837
O3P5	-0,790	6,900	13,854
O3P6	-0,794	7,200	13,850

(Conclusão)

Pontos-objeto	Desnível (m)	Distância (m)	Altitude Ortométrica (m)
O3P8	-0,819	8,300	13,825
O3P9	-0,790	3,400	13,854
O3P10	-0,801	2,100	13,843
O3P11	-0,817	5,100	13,827
O3P12	-0,816	6,200	13,828

Como observado através das Tabelas 32, 33 e 34 os valores máximos e mínimos para as altitudes ortométricas dos pontos-objeto analisados são encontrados nos objetos O1P28 e O3PP8, respectivamente.

5.7 TERRAPLENAGEM

Como descrito anteriormente os pontos-objeto foram materializados ao longo de três objetos escolhidos ao longo da escadaria da Igreja Nossa Senhora do Carmo. Os pontos-objeto implantados nos objetos 01 e 02 foram implantados uniformemente em quadriculados de aproximadamente 80 centímetros, ao passo que o objeto 03 teve pontos-objeto implantados em quadriculados de 1,6 metros. Na Figura 37 é possível visualizar a malha quadriculada adotada nos objetos 01 e 02, onde os pontos-objeto na tonalidade preta referem-se ao objeto 01 e os pontos na tonalidade azul denotam o objeto 02.

Figura 37 –Malha Quadriculada Implantada nos Objeto 01 E 02

O1P4	O1P8	O1P12	O1P16	O1P20	O1P24	O1P28	O1P32
O1P3	O1P7	O1P11	O1P15	O1P19	O1P23	O1P27	O1P31
O1P2	O1P6	O1P10	O1P14	O1P18	O1P22	O1P26	O1P30
O1P1	O1P5	O1P9	O1P13	O1P17	O1P21	O1P25	O1P29
O2P3	O2P6	O2P9	O2P12	O2P15	O2P18	O2P21	O2P24
O2P2	O2P5	O2P8	O2P11	O2P14	O2P17	O2P20	O2P23
O2P1	O2P4	O2P7	O2P10	O2P13	O2P16	O2P19	O2P22

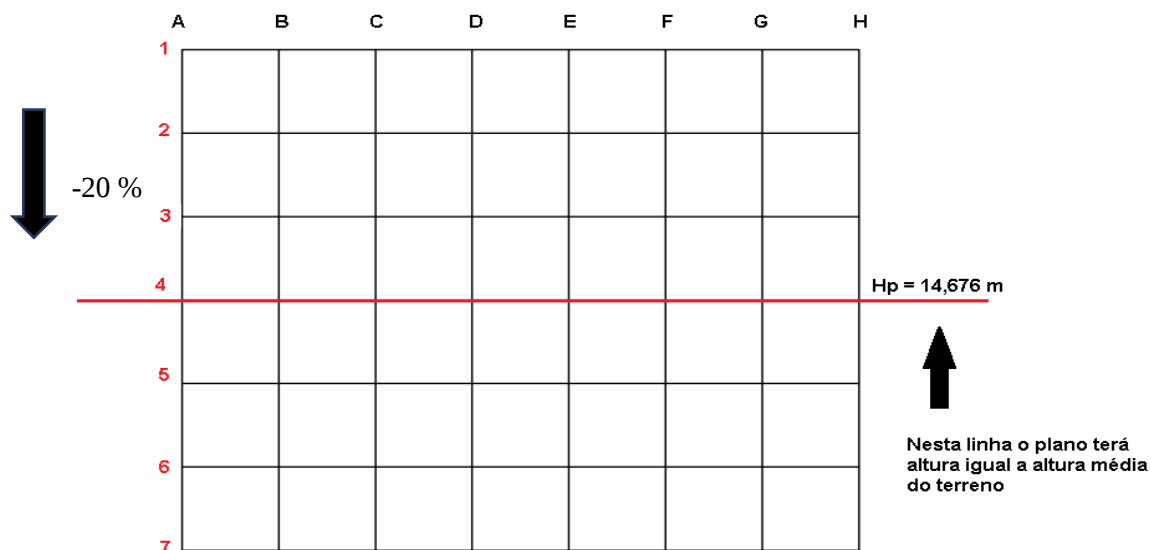
Como o objeto 03 possui um conjunto de pontos não uniformes com os objetos 01 e 02, o cálculo dos volumes de corte e aterro para este objeto não foi realizado. Para o estudo do terraplenagem na área de estudo 02 determinou-se que as obras de terraplenagem deveriam obter um plano inclinado de 1 para 7, com rampa de -20 %, sem a exigência de uma altura determinada para este plano, neste caso os volumes finais de corte e aterro serão idênticos, tal hipótese é descrita em Borges (1992). Os volumes de corte e aterro foram obtidos considerando os dados altimétricos advindos do método de nivelamento geométrico, trigonométrico e posicionamento RTK.

5.7.1 Terraplenagem Utilizando Dados Altimétricos Advindos de Nivelamento Geométrico, Trigonométrico e Posicionamento RTK

O primeiro passo para o cálculo dos volumes de corte e aterro foi descobrir a altura média geral do terreno, neste caso, considerou-se como altura média geral (h_m) a média aritmética das alturas médias de cada quadrado. Tomando como base a Figura 37, tem-se que a altura média geral corresponde à média ponderada das alturas dos vértices com os pesos 1, 2 ou 4, conforme cada altura pertença a 1, 2 ou 4 quadrados. Este método é conhecido como método das alturas ponderadas e está descrito em Borges (1992).

O valor da altura média do terreno considerando as altitudes ortométricas advindas do método de nivelamento geométrico corresponde a 14,676 metros, na situação abordada a forma de conseguir volumes de corte e aterro idênticos consiste em manter a altura do plano inclinado no centro de gravidade da área igual àquela que resulte também em volumes de corte e aterro, ou seja, em nosso caso 14,676 metros. O centro de gravidade do terreno analisado fica na linha 4 conforme Figura 38.

Figura 38 – Centro de Gravidade do Terreno



Sabendo-se que no centro de gravidade a altitude ortométrica do plano inclinado é igual a altura média do terreno e que a inclinação da rampa é de -20 %, ou seja, a cada 100 metros a altitude do terreno deve aumentar ou diminuir 20 metros, é possível determinar a altitude dos demais perfis vistos na Figura 38 com a simples aplicação de uma regra de três simples. Se em 100 metros há uma variação de 20 metros no desnível do terreno em 0,80 metros ocorre uma variação de 0,16 metros, sendo assim a altitude ortométrica dos perfis 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 é vista na Tabela 35.

Tabela 35 – Altitudes Ortométricas dos Perfis

Perfil	Altitude Ortométrica (m)
1	15,156
2	14,996
3	14,836
4	14,676
5	14,516
6	14.356
7	14.196

Conhecendo-se as altitudes ortométricas do plano inclinado é possível esquematizar os perfis e obter os volumes de corte e aterro, a diferença entre as altitudes ortométricas presentes no terreno e as altitudes sobre as quais o plano inclinado deve ser posicionado são vistas nas Tabelas 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 e 44.

Tabela 36 – Perfil 01

Perfil 1	Altitude Ortométrica (m)	Altitude Ortométrica do Plano Inclinado (m)	Discrepância (m)	Ação	Área de Aterro (m²)
O1P4	14,852	15,156	-0,304	Aterro	1,674
O1P8	14,854	15,156	-0,302	Aterro	
O1P12	14,853	15,156	-0,303	Aterro	
O1P16	14,854	15,156	-0,302	Aterro	
O1P20	14,858	15,156	-0,298	Aterro	
O1P24	14,862	15,156	-0,294	Aterro	
O1P28	14,863	15,156	-0,293	Aterro	
O1P32	14,862	15,156	-0,294	Aterro	

Tabela 37 – Perfil 02

Perfil 2	Altitude Ortométrica (m)	Altitude Ortométrica do Plano Inclinado (m)	Discrepância (m)	Ação	Área de Aterro (m²)
O1P3	14,845	14,996	-0,151	Aterro	0,806
O1P7	14,850	14,996	-0,146	Aterro	
O1P11	14,849	14,996	-0,147	Aterro	
O1P11	14,849	14,996	-0,147	Aterro	
O1P15	14,850	14,996	-0,146	Aterro	
O1P19	14,849	14,996	-0,147	Aterro	
O1P23	14,857	14,996	-0,139	Aterro	
O1P27	14,859	14,996	-0,137	Aterro	
O1P31	14,859	14,996	-0,137	Aterro	

Tabela 38 – Perfil 03

Perfil 3	Altitude Ortométrica (m)	Altitude Ortométrica do Plano Inclinado (m)	Discrepância (m)	Ação	Área de Aterro (m²)
O1P2	14,849	14,836	0,013	Corte	0,092
O1P6	14,852	14,836	0,016	Corte	
O1P10	14,852	14,836	0,016	Corte	
O1P14	14,850	14,836	0,014	Corte	
O1P18	14,852	14,836	0,016	Corte	
O1P22	14,855	14,836	0,019	Corte	
O1P26	14,854	14,836	0,018	Corte	
O1P30	14,857	14,836	0,021	Corte	

Tabela 39 – Perfil 04

(Continua)

Perfil 4	Altitude Ortométrica (m)	Altitude Ortométrica do Plano Inclinado (m)	Discrepância (m)	Ação	Área de Aterro (m²)
O1P1	14,851	14,676	0,175	Corte	0,996
O1P5	14,853	14,676	0,178	Corte	
O1P9	14,854	14,676	0,179	Corte	
O1P13	14,852	14,676	0,177	Corte	
O1P17	14,852	14,676	0,177	Corte	
O1P21	14,855	14,676	0,180	Corte	

(Conclusão)

Perfil 4	Altitude Ortométrica (m)	Altitude Ortométrica do Plano Inclinado (m)	Discrepância (m)	Ação	Área de Aterro (m²)
O1P25	14,852	14,676	0,177	Corte	
O1P29	14,857	14,676	0,182	Corte	

Tabela 40 – Perfil 05

Perfil 5	Altitude Ortométrica (m)	Altitude Ortométrica do Plano Inclinado (m)	Discrepância (m)	Ação	Área de Aterro (m²)
O2P3	14,693	14,516	0,177	Corte	0,952
O2P6	14,688	14,516	0,172	Corte	
O2P9	14,689	14,516	0,173	Corte	
O2P12	14,689	14,516	0,173	Corte	
O2P15	14,688	14,516	0,172	Corte	
O2P18	14,683	14,516	0,167	Corte	
O2P21	14,679	14,516	0,163	Corte	
O2P24	14,682	14,516	0,166	Corte	

Tabela 41 – Perfil 06

Perfil 6	Altitude Ortométrica (m)	Altitude Ortométrica do Plano Inclinado (m)	Discrepância (m)	Ação	Área de Aterro (m²)
O2P2	14,374	14,356	0,018	Corte	0,051
O2P5	14,371	14,356	0,015	Corte	
O2P8	14,368	14,356	0,012	Corte	
O2P11	14,364	14,356	0,008	Corte	
O2P14	14,363	14,356	0,007	Corte	
O2P17	14,363	14,356	0,007	Corte	
O2P20	14,362	14,356	0,006	Corte	
O2P23	14,359	14,356	0,003	Corte	

Tabela 42 – Perfil 07

(Continua)

Perfil 6	Altitude Ortométrica (m)	Altitude Ortométrica do Plano Inclinado (m)	Discrepância (m)	Ação	Área de Aterro (m²)
O2P1	14,031	14,196	-0,165	Aterro	0,920
O2P4	14,029	14,196	-0,167	Aterro	

(Conclusão)

Perfil 6	Altitude Ortométrica (m)	Altitude Ortométrica do Plano Inclinado (m)	Discrepância (m)	Ação	Área de Aterro (m²)
O2P7	14,031	14,196	-0,165	Aterro	
O2P10	14,033	14,196	-0,163	Aterro	
O2P13	14,033	14,196	-0,163	Aterro	
O2P16	14,033	14,196	-0,163	Aterro	
O2P19	14,032	14,196	-0,164	Aterro	
O2P22	14,033	14,196	-0,163	Aterro	

O volume total de corte encontrado foi de 1,673 m³, enquanto o volume de aterro foi de 1,682 m³, atendendo, portanto, as condições iniciais que indicavam que os volumes de corte e aterro deveriam ser aproximadamente iguais.

O procedimento seguido para o cálculo dos volumes de corte e aterro com a utilização do método de nivelamento trigonométrico e o método de posicionamento RTK seguiu a mesma que foi descrita para a obtenção destes volumes utilizando o método de nivelamento geométrico, apenas ressalta-se o fato de no método de posicionamento RTK ter-se utilizado as altitudes geométricas coletadas, diferentemente do método de nivelamento trigonométrico e geométrico que utilizam as altitudes ortométricas.

A altitude geométrica média do terreno encontrada utilizando o método de posicionamento RTK foi de 9,140 metros e de 14,671 metros quando se considerou o nivelamento trigonométrico, as altitudes impostas para o plano inclinado e os respectivos volumes de corte e aterro são vistas nas Tabelas 43 e 44.

Tabela 43 – Altitudes Ortométricas dos Perfis e Volumes Totais de Corte e Aterro Considerando o Método Nivelamento Trigonométrico

Perfil	Altitude Ortométrica (m)	Volume de Corte (m³)	Volume de Aterro (m³)
1	15,151	1,677	1,676
2	14,991		
3	14,831		
4	14,671		
5	14,511		
6	14,351		
7	14,191		

Tabela 44 – Altitudes Ortométricas dos Perfis e Volumes Totais de Corte e Aterro Considerando o Método de Posicionamento RTK

Perfil	Altitude Ortométrica (m)	Volume de Corte (m³)	Volume de Aterro (m³)
1	9,620	1,669	1,658
2	9,460		
3	9,300		
4	9,140		
5	8,980		
6	8,820		
7	8,660		

Percebeu-se ao final dos processamentos que os métodos empregados proporcionaram valores semelhantes de volumes de corte e aterro para o caso analisado neste trabalho. Tal fato indica que a aplicação de qualquer um dos métodos, nesta situação, não apresentará altas discrepâncias para o plano inclinado resultante das operações de terraplenagem.

5.8 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS ADVINDOS DOS MÉTODOS DE NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO, GEOMÉTRICO E O MÉTODO DE POSICIONAMENTO RTK PARA OS PONTOS-OBJETO OBSERVADOS

5.8.1 Comparação entre as altitudes ortométricas obtidas através do nivelamento trigonométrico e do nivelamento geométrico

Como as coordenadas altimétricas dos pontos-objeto observados foram obtidas através da aplicação de diferentes métodos, faz-se necessário realizar uma análise acerca dos resultados obtidos.

As altitudes ortométricas encontradas através da aplicação de ambos os métodos para os 68 pontos-objeto implantados e as discrepâncias encontradas entre um método e outro podem ser vistas nas Tabelas 45, 46 e 47.

Tabela 45 – Comparação Entre Altitudes Ortométricas Obtidas Via Nivelamento Geométrico E Trigonométrico Para Os Vértices Integrantes Do Objeto 01

Ponto-Objeto	Altitude Ortométrica Obtida por Nivelamento Geométrico (m)	Altitude Ortométrica Obtida por Nivelamento Trigonométrico (m)	Discrepâncias (m)
O1P1	14,851	14,846	0,005
O1P2	14,849	14,847	0,003
O1P3	14,845	14,841	0,004
O1P4	14,852	14,848	0,004
O1P5	14,853	14,849	0,004
O1P6	14,852	14,849	0,003
O1P7	14,850	14,846	0,004
O1P8	14,854	14,850	0,004
O1P9	14,854	14,850	0,004
O1P10	14,852	14,849	0,004
O1P11	14,849	14,844	0,006
O1P12	14,853	14,850	0,004
O1P13	14,852	14,849	0,003
O1P14	14,850	14,847	0,004
O1P15	14,850	14,847	0,003
O1P16	14,854	14,852	0,003
O1P17	14,852	14,848	0,004
O1P18	14,852	14,849	0,003
O1P19	14,849	14,845	0,004
O1P20	14,858	14,853	0,005
O1P21	14,855	14,850	0,005
O1P22	14,855	14,852	0,003
O1P23	14,857	14,852	0,006
O1P24	14,862	14,859	0,003
O1P25	14,852	14,849	0,003
O1P26	14,854	14,851	0,003
O1P27	14,859	14,855	0,005
O1P28	14,863	14,860	0,004
O1P29	14,857	14,853	0,004
O1P30	14,857	14,853	0,004
O1P31	14,859	14,855	0,004
O1P32	14,862	14,861	0,002

Tabela 46 – Comparação Entre Altitudes Ortométricas Obtidas Via Nivelamento Geométrico e Trigonométrico
Para os Vértices Integrantes do Objeto 02

Ponto-Objeto	Altitude Ortométrica Obtida por Nivelamento Geométrico (m)	Altitude Ortométrica Obtida por Nivelamento Trigonométrico (m)	Discrepâncias (m)
O2P1	14,031	14,024	0,007
O2P2	14,374	14,370	0,005
O2P3	14,693	14,687	0,006
O2P4	14,029	14,021	0,009
O2P5	14,371	14,362	0,009
O2P6	14,688	14,684	0,005
O2P7	14,031	14,024	0,008
O2P8	14,368	14,361	0,007
O2P9	14,689	14,682	0,007
O2P10	14,033	14,028	0,006
O2P11	14,364	14,357	0,007
O2P12	14,689	14,684	0,005
O2P13	14,033	14,027	0,006
O2P14	14,363	14,357	0,006
O2P15	14,688	14,683	0,006
O2P16	14,033	14,026	0,007
O2P17	14,363	14,356	0,007
O2P18	14,683	14,679	0,005
O2P19	14,032	14,026	0,006
O2P20	14,362	14,355	0,007
O2P21	14,679	14,673	0,006
O2P22	14,033	14,026	0,007
O2P23	14,359	14,352	0,008
O2P24	14,682	14,676	0,006

Tabela 47 – Comparação Entre Altitudes Ortométricas Obtidas Via Nivelamento Geométrico e Trigonométrico
Para os Vértices Integrantes do Objeto 02

(Continua)

Ponto-Objeto	Altitude Ortométrica Obtida por Nivelamento Geométrico (m)	Altitude Ortométrica Obtida por Nivelamento Trigonométrico (m)	Discrepâncias (m)
O3P1	13,866	13,856	0,010
O3P2	13,859	13,852	0,008

(Conclusão)

Ponto-Objeto	Altitude Ortométrica Obtida por Nivelamento Geométrico (m)	Altitude Ortométrica Obtida por Nivelamento Trigonométrico (m)	Discrepâncias (m)
O3P3	13,837	13,829	0,008
O3P5	13,854	13,849	0,005
O3P6	13,850	13,846	0,004
O3P8	13,825	13,820	0,005
O3P9	13,854	13,849	0,005
O3P10	13,843	13,838	0,006
O3P11	13,827	13,817	0,010

Percebe-se que os valores altimétricos obtidos a partir da utilização de ambos os métodos de nivelamento em sua maioria, apresentaram discrepâncias milimétricas com as discrepâncias máximas sendo observado nos pontos-objeto O3P1 e O3P12 com valores de 0,01 metro, enquanto a mínima discrepância foi encontrada no ponto-objeto O1P32 com valor de 0,002 metros.

5.8.2 Comparação entre os desníveis obtidos através do nivelamento trigonométrico, nivelamento geométrico e GNSS RTK

O desnível existente entre o vértice IC2 e os pontos-objeto implantados neste trabalho foi obtido através da utilização de nivelamento trigonométrico, nivelamento geométrico e posicionamento RTK, os respectivos desníveis e as discrepâncias encontradas para os desníveis obtidos entre a aplicação de um método e outro são apresentadas nas Tabelas 48, 49 e 50.

Tabela 48 – Desníveis e Discrepâncias Encontradas Entre Nivelamento, Geométrico, Nivelamento Trigonométrico e GNSS RTK Para O Objeto 01

(Continua)

Ponto-Objeto	ΔH Nivelamento Geométrico (m)	ΔH Nivelamento Trigonométrico (m)	Δh RTK (m)	Discrepância (ΔH Geo - Δh Trig) (m)	Discrepâncias (ΔH Geo - Δh RTK) (m)	Discrepâncias (ΔH Trig - Δh RTK) (m)
O1P1	0,207	0,205	0,156	0,002	0,051	0,049
O1P2	0,205	0,205	0,172	0,000	0,033	0,033
O1P3	0,201	0,200	0,172	0,001	0,029	0,028

(Conclusão)

Ponto-Objeto	ΔH Nivelamento Geométrico (m)	ΔH Nivelamento Trigonométrico (m)	Δh RTK (m)	Discrepância (ΔH Geo - Δh Trig) (m)	Discrepâncias (ΔH Geo - Δh RTK) (m)	Discrepâncias (ΔH Trig - Δh RTK) (m)
O1P4	0,208	0,206	0,166	0,002	0,042	0,039
O1P5	0,209	0,207	0,178	0,002	0,031	0,030
O1P6	0,208	0,206	0,161	0,002	0,047	0,045
O1P7	0,206	0,205	0,162	0,001	0,044	0,043
O1P8	0,210	0,208	0,158	0,002	0,052	0,050
O1P9	0,210	0,209	0,172	0,001	0,038	0,036
O1P10	0,208	0,207	0,190	0,001	0,018	0,018
O1P11	0,205	0,202	0,206	0,003	0,001	0,004
O1P12	0,209	0,208	0,190	0,001	0,019	0,018
O1P13	0,208	0,208	0,162	0,000	0,046	0,046
O1P14	0,206	0,205	0,185	0,001	0,021	0,020
O1P15	0,206	0,206	0,191	0,000	0,015	0,015
O1P16	0,210	0,210	0,197	0,000	0,013	0,013
O1P17	0,208	0,207	0,192	0,001	0,016	0,015
O1P18	0,208	0,207	0,185	0,001	0,023	0,022
O1P19	0,205	0,204	0,195	0,001	0,011	0,010
O1P20	0,214	0,211	0,193	0,003	0,021	0,018
O1P21	0,211	0,210	0,197	0,001	0,014	0,013
O1P22	0,211	0,210	0,210	0,001	0,001	0,001
O1P23	0,213	0,211	0,202	0,002	0,011	0,009
O1P24	0,218	0,217	0,207	0,001	0,011	0,011
O1P25	0,208	0,208	0,199	0,000	0,009	0,009
O1P26	0,210	0,210	0,192	0,000	0,018	0,018
O1P27	0,215	0,214	0,192	0,001	0,024	0,022
O1P28	0,219	0,218	0,195	0,001	0,024	0,023
O1P29	0,213	0,213	0,197	0,000	0,016	0,016
O1P30	0,213	0,212	0,190	0,001	0,023	0,023
O1P31	0,215	0,215	0,211	0,000	0,005	0,004
O1P32	0,218	0,219	0,210	0,001	0,008	0,010

Tabela 49 – Desníveis e Discrepâncias Encontradas Entre Nivelamento, Geométrico, Nivelamento Trigonométrico e GNSS RTK Para o Objeto 02

Ponto-Objeto	ΔH Nivelamento Geométrico (m)	ΔH Nivelamento Trigonométrico (m)	Δh RTK (m)	Discrepância (ΔH Geo - Δh Trig) (m)	Discrepâncias (ΔH Geo - Δh RTK) (m)	Discrepâncias (ΔH Trig - Δh RTK) (m)
O2P1	-0,613	-0,615	-0,634	0,002	0,021	0,019
O2P2	-0,270	-0,270	-0,294	0,000	0,024	0,024
O2P3	0,049	0,046	0,023	0,003	0,026	0,023
O2P4	-0,615	-0,620	-0,626	0,005	0,011	0,006
O2P5	-0,273	-0,281	-0,297	0,008	0,024	0,016
O2P6	0,044	0,043	0,023	0,001	0,021	0,020
O2P7	-0,613	-0,617	-0,618	0,004	0,004	0,001
O2P8	-0,276	-0,279	-0,278	0,003	0,002	0,001
O2P9	0,045	0,041	0,031	0,004	0,015	0,011
O2P10	-0,611	-0,612	-0,637	0,001	0,026	0,025
O2P11	-0,280	-0,283	-0,304	0,003	0,023	0,020
O2P12	0,045	0,044	0,023	0,001	0,022	0,021
O2P13	-0,611	-0,613	-0,635	0,002	0,024	0,022
O2P14	-0,281	-0,283	-0,304	0,002	0,023	0,021
O2P15	0,044	0,043	0,046	0,001	0,002	0,003
O2P16	-0,611	-0,614	-0,630	0,003	0,019	0,016
O2P17	-0,281	-0,284	-0,304	0,003	0,023	0,020
O2P18	0,039	0,038	0,024	0,001	0,015	0,013
O2P19	-0,612	-0,614	-0,650	0,002	0,038	0,036
O2P20	-0,282	-0,285	-0,325	0,003	0,043	0,040
O2P21	0,035	0,033	0,026	0,002	0,009	0,007
O2P22	-0,611	-0,614	-0,598	0,003	0,013	0,017
O2P23	-0,285	-0,289	-0,318	0,004	0,033	0,029
O2P24	0,038	0,035	0,032	0,003	0,006	0,003

Tabela 50 – Desníveis e Discrepâncias Encontradas Entre Nivelamento, Geométrico, Nivelamento Trigonométrico e GNSS RTK para o Objeto 03

Ponto-Objeto	ΔH Nivelamento Geométrico (m)	ΔH Nivelamento Trigonométrico (m)	Δh RTK (m)	Discrepância (ΔH Geo - Δh Trig) (m)	Discrepância (ΔH Geo - Δh RTK) (m)	Discrepância (ΔH Trig - Δh RTK) (m)
O3P1	-0,778	-0,784	-0,788	0,006	0,010	0,004
O3P2	-0,785	-0,788	-0,793	0,003	0,008	0,005
O3P3	-0,807	-0,812	-0,811	0,005	0,004	0,002
O3P5	-0,790	-0,790	-0,778	0,000	0,012	0,012
O3P6	-0,794	-0,793	-0,817	0,001	0,023	0,024
O3P8	-0,819	-0,818	-0,811	0,001	0,008	0,007
O3P9	-0,790	-0,790	-0,792	0,000	0,002	0,002
O3P10	-0,801	-0,802	-0,803	0,001	0,002	0,001
O3P11	-0,817	-0,819	-0,822	0,002	0,005	0,003

Os resultados encontrados no item a desta seção, através da observação dos resultados apresentados nas Tabelas 45, 46 e 47 já permitiam observar certa correspondência nos valores altimétricos advindos da utilização do método de nivelamento geométrico e trigonométrico, as Tabelas 48, 49 e 50 apenas reafirmam que a precisão alcançada com a utilização destes métodos neste trabalho está de acordo com os níveis de precisão que cada método pode alcançar, a máxima discrepância em relação aos desníveis obtidos utilizando tais métodos é obtida no cálculo do desnível entre o ponto-objeto 02P5 com valor de 8 mm.

A precisão da componente vertical alcançada pelo método de posicionamento RTK foi apresentada no item 4.6.1.2 e de acordo com Segantine (2005), possui valores entre 15 mm- 20 mm $\pm$ 2 ppm. Percebe-se nas Tabelas 48, 49 e 50 que os desníveis encontrados entre o vértice IC2 e o demais pontos-objeto utilizando o método de posicionamento RTK apresentam discrepâncias na ordem centimétrica quando comparadas aos desníveis encontrados pelo método de nivelamento geométrico e método de nivelamento trigonométrico, no entanto a maior parte dos valores encontrados ainda se enquadra nos valores de precisão esperados.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

O estudo e a análise de terrenos inclinados susceptíveis a áreas de risco exige a participação de diversas ciências interligadas, dentre as quais a Engenharia, por meio da Topografia, da Geodésia, da Geotecnia e da Cartografia assume um papel de extrema relevância.

Neste trabalho foi possível discorrer sobre a eficácia e a viabilidade da aplicação de métodos de levantamentos topográficos e geodésicos a partir da implantação de pontos de referência e pontos-objeto um terreno inclinado, os dados altimétricos coletados para tais pontos tiveram sua qualidade ratificada através da aplicação de métodos de verificação e retificação de níveis. Os resultados dos processamentos dos dados coletados em campo mostraram que os padrões possíveis de serem alcançados por cada método de levantamento utilizado foram alcançados, tal fato pôde ser constatado através das literaturas disponíveis e por comparações realizadas entre os dados advindos dos métodos empregados.

A não ser por questões de luminosidade não foram encontradas dificuldades que inviabilizassem as operações de campo, tanto na área de estudo 01 quanto na área de estudo 02. Ressalta-se que o terreno inclinado analisado neste trabalho e de dimensões curtas e apresenta um relevo suave, o que na prática dificilmente será encontrado, ou seja, dificuldades adicionais serão observadas. Apesar de prováveis novas dificuldades encontradas para a aplicação dos métodos utilizados neste trabalho em terrenos com maiores dimensões e declividades, todos os métodos utilizados poderiam ser empregados, desde que as condições específicas para a aplicação de cada um sejam atendidas.

O nível de alta precisão DNA 03 da Leica utilizado neste trabalho, foi aprovado em todos testes estatísticos e aritméticos descritos na norma ISO 17123-2 (ISO, 2001). O método da interseção a ré permitiu a obtenção de coordenadas planimétricas com precisão na ordem de milímetros para os pontos de referência e método do nivelamento trigonométrico possibilitou para as coordenadas altimétricas destes mesmos pontos de referência uma precisão milimétrica, com discrepância máxima de 8 mm.

Os pontos de referência altimétrica implantados através do método do nivelamento geométrico de alta precisão apresentaram precisão de décimos de milímetros. Para os 68 pontos-

objeto espaçados em uma malha de 80 centímetros obteve-se com o método da interseção a vante para as coordenadas planimétricas uma precisão mínima de 1 mm para as coordenadas X e Y e máxima de 2 cm para as coordenadas X e Y. A complementação deste método com nivelamento trigonométrico permitiu para coordenadas altimétricas uma precisão mínima 1 mm e máxima de 8 mm.

Utilizando-se a técnica RTK obteve-se para os pontos-objeto uma precisão mínima e máxima de 5 mm e 1,9 cm respectivamente para a coordenada E, enquanto que as precisões mínimas e máximas para a coordenada h foram 7 mm e 2,1 cm respectivamente. Utilizando-se as altitudes dos pontos-objeto determinadas com nivelamento geométrico como padrão foi possível determinar a discrepância entre o volume de corte e aterro encontrado a partir do RTK e do método da interseção a vante com nivelamento trigonométrico. Para o terreno inclinado alvo dos estudos realizados neste trabalho a execução de obras de terraplenagem poderia ser realizada tanto pelos métodos de nivelamento trigonométrico e geométrico ou pelo método de posicionamento RTK, uma vez que as discrepâncias entre os volumes finais de corte e aterro encontrados são praticamente desprezíveis. Neste caso a praticidade do uso do método de posicionamento RTK pode ser uma alternativa bastante viável.

Para o levantamento dos pontos-objeto dos pontos-objeto obtidos com o método da interseção a vante foi necessária uma equipe de 6 pessoas e um tempo de 8:00 horas; com o método RTK foi necessária uma equipe de 4 pessoas e um tempo de 3 horas; com o método do nivelamento geométrico foi necessária uma equipe de 3 pessoas e um tempo de 1 hora.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Nitidamente a metodologia aplicada neste trabalho pode ser empregada em áreas com maiores graus de risco, desde que se leve em consideração as limitações apresentadas por cada método, entraves como a limitação das linhas de visada, alto grau de ocupação e a segurança apresentada na área em estudo devem ser levadas em consideração, dificilmente a aplicação de apenas um método de levantamento será suficiente para ter-se informações detalhadas de um terreno inclinado de grandes extensões.

Para finalidades de monitoramento de áreas de risco deve haver uma aplicação periódica de métodos de levantamentos topográficos e geodésicos em tais localidades, os dados obtidos em épocas diferentes permitem o conhecimento geotécnico acerca do local estudado, possibilitando o conhecimento acerca dos parâmetros de movimentação do terreno inclinado.

Por fim é importante salientar que embora a os métodos de levantamentos Topográficos e Geodésicos proporcionem dados precisos e acurados, o avanço da tecnologia vem proporcionando uma maior dinamização das operações de campo e o surgimento de métodos que embora não sejam tão novos apresentam um caráter emergente, como o *Lidar*, o *Laser Scanner* e estações totais robotizadas.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico**. Rio de Janeiro – RJ, 1994.
- ALHEIROS, M. M. **Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife**. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia, Salvador - BA, 1998.
- ANJOS, C. **Elaboração e Aplicação de um Modelo para Quantificação do Risco Geológico Instalado Associado a Instabilização: O Caso de Uma Encosta em Maceió-AL**. Tese doutorado – Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP, 1999.
- ESRI. **Programa Arcgis 10.2.2**. Software de Geoprocessamento. Acesso em 06/06/2017.
- AUGUSTO FILHO, O. **Carta de Risco de Escorregamentos Quantificada em Ambiente de SIG como Subsídio para Planos de Seguro em Áreas Urbanas: um ensaio em Caraguatatuba (SP)**. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Unesp, Rio Claro – SP, 2001.
- BANDEIRA, A. **Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento das Encostas com Ocupações Desordenadas no Município de Camaragibe-PE**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2003.
- BANDEIRA, A. **Parâmetros Técnicos Para Gerenciamento de Áreas de Risco de Escorregamentos de Encostas na Região Metropolitana do Recife**. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2010.
- BARBOSA, E.; MONICO, J.; ALVES, D.; CASTRO, L. **Integridade no Posicionamento RTK e RTK em Rede**. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba – PR. v. 16, Nº 4, p. 589-605, out-dez, 2010.

BATES, R.; JACKSON, J. ***Glossary of Geology***. American Geological Institute, 1987.

BORGES, A. **Topografia aplicada à engenharia civil**. São Paulo – SP: Editora Blucher, 1992.

BOTELHO, F. **Métodos de Racionalização Construtiva no Posicionamento preciso de Edificações Prediais**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2003.

BRASIL - Ministério das Cidades. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios Brasil**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, Brasília, 2007.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. **Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6766.htm>. Acesso em 07.06.2017.

BRUM, E. **Verificação e classificação de níveis de acordo com normas internacionais**. Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2005.

CARDOSO, J. **Determinação Controlada de Deslocamentos Verticais de Pontos com Linha de Base GPS de 425 Metros de Extensão**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2005.

CASTRO, C.; OLIVEIRA, M.; RIO, G. **Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2005.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mosaico Olinda Imagem de Satélite**. Olinda – PE, 2012.

DOMINGUES, F. **Topografia e Astronomia de posição para Engenheiros e Arquitetos**. São Paulo – SP: Editora Mc GRAW – Hill do Brasil, 1979.

ERBA, D.; UCHOA, C.; SOUZA, G.; VERONEZ, M.; FIGUEIREDO, L.; BARCELOS, T. **Topografia para estudantes de arquitetura, engenharia e geologia**. São Leopoldo – RS: Editora Unisinos, 2005.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. Porto Alegre: Editora Globo. 7ª. Ed.1987.

FAGGION, P. **Considerações Sobre a Instrumentação Topográfica**. Apostila. Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2011.

FARAH, F. **Habitação e encostas**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo - SP, 2003.

GAMA, L. **Experimentos e análises metodológicas do desempenho de estruturas geodésicas planimétricas implantadas com GPS e estação total: aplicações em levantamentos cadastrais urbanos**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2008.

GARCIA, G. **Topografia Aplicada às Ciências Agrárias**. 5ª ed. 1974.

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

GARNÉS, S. J. A. **Levantamento GPS RTK (Real Time Kinematic) - Receptor Topcon Hiper Lite +**. Notas de Aula. 2017.

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

GHILANI, C. ***Adjustment Computations: Spatial Data Analysis***. New Jersey: Ed. John Wiley & Sons Inc. 5th ed, 2010.

GHILANI, C.; WOLF, P. ***Elementary surveying: an introduction to geomatics***. Ed North American 13th ed, 2013.

GOMES, L. **Aplicações de Dados Geodésicos no Entorno das Edificações Prediais Históricas da Cidade de Olinda - PE**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos: coletânea das normas vigentes**. Rio de Janeiro – RJ, 1998.

GOOGLE EARTH. **Programa Google Earth**. Software De Mapeamento. Acesso em 06/06/2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico em Geociências nº 8: Noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro - RJ, 1999.

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

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Relatório de Estação Geodésica RN394D**. Olinda - PE, 2011.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Manual Técnico de Posicionamento: Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. Brasília – DF, 2013.

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Olinda**. Disponível em em: <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/351/>>. Acesso em 26.06.2017.

ISO - *International Organization for Standardization*. **ISO 17123: Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments – Part 2: Levels**. Geneva, 2001.

KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying**. Berlin. Ed. De Gruyter. 1988.

LEICA GEOSYSTEMS. **Manual do Utilizador Leica DNA03/DNA 10**. 2006. Disponível em <<http://www.leicageosystems.com>>. Acesso em 19.06.2017.

MATH WORKS. **Programa Matlab 8.1**. Software De Processamento Numérico. Acesso em 10/05/2017.

MICROSOFT. **Software Microsoft Excel**. Software De Processamento Numérico. Acesso em 20/02/2017.

MONICO, J. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo – SP: Editora Unesp, 2008.

PIMENTA, C. R. T.; OLIVEIRA, M. P. **Projeto geométrico de rodovias**. 2. ed. São Carlos: Ed. Rima, 2004.

PRATA, B.; NOBRE, F.; BARROSO, G. **Modelagem de sistemas de terraplenagem: uma aplicação das redes de petri**. Anais da CILAMCE 2005, Guarapari – ES, 2005.

PREFEITURA DO CAMPUS UFPE RECIFE. **Unibase Campus UFPE Recife**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife – PE, 2014.

RESNIK, B.; BILL, R. **Vermessungskunde fuer den Planungs-, Bau- und Umweltbereich**. 3. Aufl. Heidelberg: Wichmann Verlag, 2003.

SANTANA NETO, P. **Densificação de estruturas geodésicas e transporte de coordenadas definidas por métodos planialtimétricos de medição.** Trabalho de Conclusão de Curso—Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2016.

SEEBER, G. *Satellite Geodesy: Fundamentations, Methods and Applications.* Walter de Gruyter, Berlin, New York, 2003.

SEGANTINE, P. **GPS: Sistema de Posicionamento Global.** São Carlos – SP: Editora EESC/USP, 2005.

SEIXAS, A; SEIXAS, J. **Controle e Monitoramento de Recalques - Edifício em Construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis - LITPEG CTG/UFPE.** Projeto de Pesquisa - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2015.

SEIXAS, A. **Projeto de Pesquisa.** Projeto de Pesquisa - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2008.

SILVA, E. V. **Monitoramento de Estruturas Geodésicas Altimétricas e Estabelecimento de Padrões de Referência Metrológica: Campus Recife da UFPE.** Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

SILVA, M. B. **Uma Abordagem Geodésica da Discretização e Visualização 3D de Prédios Históricos Localizados em Áreas de Risco no Município de Olinda-PE.** Dissertação de Mestrado em Andamento - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

SILVA, T. F.; DE SEIXAS, A.; ROMÃO, V. M. C. **Conceituação de Campos de Pontos na Medição de Deformação de Objetos**. Anais do I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação. Recife, 2004.

SILVA, I.; SEGANTINE, P. Topografia para Engenharia Teoria e Prática de Geomática.

SOUZA, A. **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. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2012.

TORGE, W. *Geodäsie*, 2. Auflage, Berlin: de Gruyter Lehrbuch, 2001.

TV JORNAL. **Mãe, filho e vizinha morrem em deslizamento de barreira em Olinda**. Disponível em: < <http://tvjornal.ne10.uol.com.br/noticia/ultimas/2016/05/30/mae-filho-e-vizinha-morrem-em-deslizamento-de-barreira-em-olinda-24437.php>>. Acesso em 02.07.2017.

VARNES, D. J. *Slope Movement Types and Processes. Landslides Analysis and Control*. National Academy of Sciences. Washington, D. C, 1978.

VARNÉS, D. *Landside Hazard Zonation: a Review of Principles and Practices*. Paris, 1984.

VEIGA, L. **Topografia Cálculo de Volumes. Notas de aula** - Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <<http://www.cartografica.ufpr.br/home/wp-content/uploads/2012/11/Volume2006a.pdf>>. Acesso em 02.07.2017.

APÊNDICES

Apêndice A – Dados Referentes a aplicação do Método de Kukkamäki Aplicado Em 30/11/2016

MÉTODO DE KUKKAMÄKI APLICADO EM 30/11/2016				
Operador: Welisson/ Mira: Ermerson / (10:32 h - 11:50 h)				
Data do Levantamento: 30/11/2016		Clima: Ensolarado	Instrumento: Leica DNA03	
Estação	Ponto Visado	Leitura (m)	Distância (m)	Desnível (m)
E1	A	1,43367	9,98	-0,01505
	B	1,44872	9,98	
E2	B	1,46423	19,97	-0,01485
	A	1,44938	39,96	

MÉTODO DE KUKKAMÄKI APÓS RETIFICAÇÃO DO NÍVEL DIGITAL LEICA DNA 03 EM 30/11/2016				
Operador: Welisson/ Mira: Ermerson / (10:32 h - 11:50 h)				
Data do Levantamento: 30/11/2016		Clima: Ensolarado	Instrumento: Leica DNA03	
Estação	Ponto Visado	Leitura (m)	Distância (m)	Desnível (m)
E1	A	1,45193	9,97	-0,01510
	B	1,46703	9,98	
E2	B	1,47783	19,97	-0,01501
	A	1,46282	39,95	

**Apêndice B – Dados Referentes a aplicação do Método de Kukkamäki Aplicado Em
16/01/2017**

MÉTODO DE KUKKAMÄKI APLICADO EM 16/01/2017				
Operador: Welisson/ Mira: Ermerson / (10:32 h- 11:50 h)				
Data do Levantamento: 16/01/2017		Turno: Noturno	Instrumento: Leica DNA03	
Estação	Ponto Visado	Leitura (m)	Distância (m)	Desnível (m)
E1	A	1,39050	9,97	-0,01580
	B	1,400630	9,96	
E2	B	1,43128	19,97	-0,01648
	A	1,41480	39,97	

MÉTODO DE KUKKAMÄKI APÓS RETIFICAÇÃO DO NÍVEL DIGITAL LEICA DNA 03 EM 30/11/2016				
Operador: Welisson/ Mira: Ermerson / (10:32 h - 11:50 h)				
Data do Levantamento: 30/11/2016		Clima: Ensolarado	Instrumento: Leica DNA03	
Estação	Ponto Visado	Leitura (m)	Distância (m)	Desnível (m)
E1	A	1,39582	9,96	-0,01579
	B	1,41161	9,96	
E2	B	1,40735	19,96	-0,01577

**Apêndice C – Dados Referentes a Calibração De Níveis - ISO 17123-2 Para as 20
Primeiras, Medições E Resíduos (Método Completo) 30/11/2016**

CALIBRAÇÃO DE NÍVEIS - ISO 17123-2, MEDIÇÕES E RESÍDUOS (MÉTODO COMPLETO)							
Operador: Ermerson/ Mira: Welisson / (9:00 h - 10:30 h)							
Data do levantamento: 30/11/2016				Clima: Ensolarado		Instrumento: Leica DNA 03	
J	Ré	Vante	Ré	Vante	$\Delta h(\text{ré-vante})$	Rj (m)	r²j (m)
	Ha (m)	Hb (m)	Distância (m)	Distância (m)	Ha-Hb (m)		
1	1,42878	1,44924	29,96	29,96	-0,02046	-0,00001	0,00000
2	1,42898	1,44948	29,98	29,96	-0,02050	0,00003	0,00000
3	1,42819	1,44857	29,96	29,95	-0,02038	-0,00009	0,00000
4	1,42840	1,44879	29,95	29,96	-0,02039	-0,00008	0,00000
5	1,42888	1,44939	29,95	29,96	-0,02051	0,00004	0,00000
6	1,42824	1,44857	29,95	29,93	-0,02033	-0,00014	0,00000
7	1,42879	1,44945	29,96	29,94	-0,02066	0,00019	0,00000
8	1,42863	1,44917	29,98	29,95	-0,02054	0,00007	0,00000
9	1,42908	1,44970	29,98	29,97	-0,02062	0,00015	0,00000
10	1,42901	1,44931	29,98	29,95	-0,02030	-0,00017	0,00000
11	1,42902	1,44962	29,98	29,94	-0,02060	0,00013	0,00000
12	1,42913	1,44947	29,97	29,94	-0,02034	-0,00013	0,00000
13	1,42587	1,44646	29,96	29,96	-0,02059	0,00012	0,00000
14	1,42590	1,44616	29,96	29,95	-0,02026	-0,00021	0,00000
15	1,42614	1,44669	29,95	29,94	-0,02055	0,00008	0,00000
16	1,42627	1,44705	29,95	29,95	-0,02078	0,00031	0,00000
17	1,42631	1,44672	29,98	29,96	-0,02041	-0,00006	0,00000
18	1,42674	1,44726	29,96	29,95	-0,02052	0,00005	0,00000
19	1,42668	1,44708	29,98	29,94	-0,02040	-0,00007	0,00000
20	1,42709	1,44733	29,97	29,95	-0,02024	-0,00023	0,00000
Σ	28,55613	28,96551	599,31000	599,01000	-0,40938	0,00000	0,00000

**Apêndice D – Dados Referentes a Calibração De Níveis - ISO 17123-2 Para as 20
Últimas, Medições E Resíduos (Método Completo) 30/11/2016**

CALIBRAÇÃO DE NÍVEIS - ISO 17123-2, MEDIÇÕES E RESÍDUOS (MÉTODO COMPLETO)							
Operador: Welisson/ Mira: Ermerson / (10:32 - 11:50)							
Data do levantamento: 30/11/2016			Clima: Ensolarado			Instrumento: Leica DNA 03	
J	Ré	Vante	Ré	Vante	Δh(ré-vante)	Rj (m)	r²j (m)
	Ha (m)	Hb (m)	Distância (m)	Distância (m)	Ha-Hb (m)		
21	1,42652	1,44716	29,97	29,94	-0,02064	0,00018	0,00000
22	1,42627	1,44666	29,96	29,95	-0,02039	-0,00007	0,00000
23	1,42685	1,44717	29,96	29,95	-0,02032	-0,00014	0,00000
24	1,42712	1,44784	29,95	29,95	-0,02072	0,00026	0,00000
25	1,42737	1,44791	29,96	29,93	-0,02054	0,00008	0,00000
26	1,42759	1,44788	29,96	29,93	-0,02029	-0,00017	0,00000
27	1,42746	1,44790	29,97	29,94	-0,02044	-0,00002	0,00000
28	1,42782	1,44807	29,95	29,95	-0,02025	-0,00021	0,00000
29	1,42796	1,44835	29,96	29,95	-0,02039	-0,00007	0,00000
30	1,42795	1,44840	29,95	29,95	-0,02045	-0,00001	0,00000
31	1,42803	1,44857	29,96	29,93	-0,02054	0,00008	0,00000
32	1,42736	1,44765	29,95	29,94	-0,02029	-0,00017	0,00000
33	1,42745	1,44783	29,94	29,94	-0,02038	-0,00008	0,00000
34	1,42770	1,44808	29,95	29,95	-0,02038	-0,00008	0,00000
35	1,42705	1,44754	29,95	29,95	-0,02049	0,00003	0,00000
36	1,42755	1,44802	29,96	29,94	-0,02047	0,00001	0,00000
37	1,42733	1,44760	29,94	29,92	-0,02027	-0,00019	0,00000
38	1,42733	1,44814	29,96	29,95	-0,02081	0,00035	0,00000
39	1,42727	1,44773	29,97	29,95	-0,02046	0,00000	0,00000
40	1,42749	1,44813	29,95	29,91	-0,02064	0,00018	0,00000
Σ	28,54747	28,95663	599,12000	598,82000	-0,40916	0,00000	0,00000

**Apêndice E – Dados Referentes a Calibração De Níveis - ISO 17123-2 Para as 20
Primeiras, Medições E Resíduos (Método Completo) 16/01/2017**

CALIBRAÇÃO DE NÍVEIS - ISO 17123-2, MEDIÇÕES E RESÍDUOS (MÉTODO COMPLETO)							
Operador: Ermerson/ Mira: Welisson / (17:44 h - 19:00 h)							
Data do levantamento: 16/01/2017			Turno: Noturno		Instrumento: Leica DNA 03		
J	Ré Ha (m)	Vante Hb (m)	Ré Distância (m)	Vante Distância (m)	Δh(ré-vante) Ha-Hb (m)	Rj (m)	r²j (m)
1	1,33124	1,35228	29,97	29,95	-0,02104	-0,00007	0,00000
2	1,33430	1,35528	29,97	29,96	-0,02098	-0,00012	0,00000
3	1,33780	1,35891	29,96	29,94	-0,02111	0,00000	0,00000
4	1,33458	1,35566	29,97	29,95	-0,02108	-0,00002	0,00000
5	1,33120	1,35225	29,96	29,95	-0,02105	-0,00005	0,00000
6	1,33775	1,35881	29,98	29,95	-0,02106	-0,00004	0,00000
7	1,33528	1,35639	29,97	29,95	-0,02111	0,00000	0,00000
8	1,33952	1,36052	29,96	29,93	-0,02100	-0,00011	0,00000
9	1,34298	1,36403	29,96	29,96	-0,02105	-0,00005	0,00000
10	1,34547	1,36669	29,98	29,97	-0,02122	0,00012	0,00000
11	1,34816	1,36936	29,95	29,91	-0,02120	0,00009	0,00000
12	1,35154	1,37262	29,96	29,92	-0,02108	-0,00002	0,00000
13	1,34597	1,36741	29,94	29,86	-0,02144	0,00033	0,00000
14	1,34824	1,36938	29,92	29,85	-0,02114	0,00003	0,00000
15	1,35245	1,37348	29,96	29,96	-0,02103	-0,00007	0,00000
16	1,34611	1,36750	29,96	29,91	-0,02139	0,00029	0,00000
17	1,34037	1,36140	29,96	29,93	-0,02103	-0,00008	0,00000
18	1,33336	1,35443	29,94	29,94	-0,02107	-0,00004	0,00000
19	1,33112	1,35218	29,93	29,95	-0,02106	-0,00005	0,00000
20	1,33759	1,35855	29,93	29,90	-0,02096	-0,00015	0,00000
	26,80503	27,22713	599,13	598,64	-0,42210	0,00000	0,00000

**Apêndice F – Dados Referentes a Calibração De Níveis - ISO 17123-2 Para as 20
Últimas, Medições E Resíduos (Método Completo) 16/01/2017**

CALIBRAÇÃO DE NÍVEIS - ISO 17123-2, MEDIÇÕES E RESÍDUOS (MÉTODO COMPLETO)							
Operador: Welisson/ Mira: Ermerson / (19:02 h - 20:12 h)							
Data do levantamento: 16/01/2017			Turno: Noturno		Instrumento: Leica DNA 03		
J	Ré	Vante	Ré	Vante	$\Delta h(\text{ré-vante})$	Rj (m)	r²j (m)
	Ha (m)	Hb (m)	Distância (m)	Distância (m)	Ha-Hb (m)		
21	1,33111	1,35226	29,94	29,96	-0,02115	0,00001	0,00000
22	1,33953	1,36055	29,95	29,92	-0,02102	-0,00012	0,00000
23	1,34333	1,36453	29,97	29,93	-0,02120	0,00006	0,00000
24	1,34992	1,37090	29,92	29,95	-0,02098	-0,00016	0,00000
25	1,33893	1,35992	29,95	29,91	-0,02099	-0,00015	0,00000
26	1,34558	1,36677	29,99	29,91	-0,02119	0,00005	0,00000
27	1,34988	1,37082	29,96	29,92	-0,02094	-0,00020	0,00000
28	1,35601	1,37696	29,93	29,96	-0,02095	-0,00019	0,00000
29	1,35923	1,38026	29,92	29,96	-0,02103	-0,00011	0,00000
30	1,34745	1,36850	29,96	29,92	-0,02105	-0,00009	0,00000
31	1,35239	1,37361	29,97	29,94	-0,02122	0,00008	0,00000
32	1,35476	1,37558	29,90	29,97	-0,02082	-0,00032	0,00000
33	1,35058	1,37178	29,95	29,89	-0,02120	0,00006	0,00000
34	1,34747	1,36896	29,98	29,86	-0,02149	0,00035	0,00000
35	1,34481	1,36622	29,98	29,88	-0,02141	0,00027	0,00000
36	1,34645	1,36769	30,02	29,91	-0,02124	0,00010	0,00000
37	1,34455	1,36596	29,98	29,88	-0,02141	0,00027	0,00000
38	1,34613	1,36747	29,96	29,90	-0,02134	0,00020	0,00000
39	1,34838	1,36937	29,96	29,93	-0,02099	-0,00015	0,00000
40	1,34629	1,36739	29,98	29,91	-0,02110	-0,00004	0,00000
	26,94278	27,36550	599,17	598,41	-0,42272	0,00000	0,00000

Apêndice G – Dados Referentes a aplicação do Método do Nivelamento por Ponto Médio

Universidade Federal de Pernambuco - Departamento de Engenharia Cartográfica								
Operador: Andréa Seixas			Hora:	15:10 h - 15:50 h		Instrumento: Nível ATB4		
Nivelamento por Ponto Médio								
Estação Ocupada	Ponto Visado	Ré	Vante	FS	FM	FI	Desnível (m)	Erro de Colimação (m)
E1	A	X		1,497	1,447	1,397	-0,015	-0,02
	B		X	1,512	1,462	1,414		
E2	B	X		1,394	1,384	1,374	-0,035	
	A		X	1,46	1,349	1,24		

Universidade Federal de Pernambuco - Departamento de Engenharia Cartográfica								
Operador: Andréa Seixas			Hora:	15:10 h - 15:50 h		Instrumento: Nível ATB4		
Verificação Nivelamento por Ponto Médio após Calibração								
Estação Ocupada	Ponto Visado	Ré	Vante	FS	FM	FI	Desnível (m)	Erro de Colimação (m)
E1	B	X		1,417	1,367	1,317	-0,015	-0,001
	A		X	1,432	1,382	1,332		
E2	A	X		1,396	1,386	1,376	0,017	
	B		X	1,479	1,369	1,259		

APÊNDICE H – *Script Matlab* desenvolvido para o cálculo do vértice IC1

```

%% UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
%% CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
%% DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
%% WELISSON JOSÉ DOS SANTOS
%% V1.0

%% INTERSEÇÃO A RÉ (LEVANTAMENTO POLAR COM ESTAÇÃO LIVRE USANDO MAIS DE
DOIS PONTOS FIXOS)

%% Entrada de Dados

clc
clear
format long g

%% Pontos de Coordenadas Conhecidas

%tradicional
CARMO = [150366.5379 249931.9872];
FOCCA = [150352.1718 249952.8888];
INSC  = [150410.5438 249944.7026];

%% Ângulos Médios

HZC    = 359.99921296296300;
HZF    = 2.10740740740740;
HZR    = 33.57384259259260;
HZI    = 58.99680555555550;
HZIC1  = 309.06430555555600;

%% Distâncias Médias

D1CARMO = 43.87284852224050;
D1FOCCA = 69.11611863206280;
D1RNSC  = 58.34374200003780;

```

```
D1INSC = 48.76560719786520;
D1IC2  = 23.00609425901210;
```

```
%% Processamentos
%% Definição de sistema local
```

```
LZ = [HZC;HZF;HZR;HZI]; %ÂNGULOS MÉDIOS [CARMO;FOCCA;RNSC;INSC]
```

```
E =
[ (sind(HZC)*D1CARMO); (sind(HZF)*D1FOCCA); (sind(HZR)*D1RNSC); (sind(HZI)*D1IN
SC)]; %ESTE SISTEMA LOCAL
```

```
N =
[ (cosd(HZC)*D1CARMO); (cosd(HZF)*D1FOCCA); (cosd(HZR)*D1RNSC); (cosd(HZI)*D1IN
SC)]; %NORTE SISTEMA LOCAL
```

```
%% Cálculo com transformada de helmert
```

```
CGE = (E(1,1)+E(2,1)+E(4,1))/3;
CGN = (N(1,1)+N(2,1)+N(4,1))/3;
CGX = (CARMO(1,1)+FOCCA(1,1)+INSC(1,1))/3;
CGY = (CARMO(1,2)+FOCCA(1,2)+INSC(1,2))/3;
```

```
DELTAE = [E(1,1)-CGE;E(2,1)-CGE;E(4,1)-CGE];
DELTAN = [N(1,1)-CGN;N(2,1)-CGN;N(4,1)-CGN];
DELTAX = [CARMO(1,1)-CGX;FOCCA(1,1)-CGX;INSC(1,1)-CGX];
DELTAY = [CARMO(1,2)-CGY;FOCCA(1,2)-CGY;INSC(1,2)-CGY];
```

```
DEDX =
(DELTAE(1,1)*DELTAX(1,1))+(DELTAE(2,1)*DELTAX(2,1))+(DELTAE(3,1)*DELTAX(3,1)
));
```

```
DEDY =
(DELTAE(1,1)*DELTAY(1,1))+(DELTAE(2,1)*DELTAY(2,1))+(DELTAE(3,1)*DELTAY(3,1)
));
```

```
DNDX =
(DELTAN(1,1)*DELTAX(1,1))+(DELTAN(2,1)*DELTAX(2,1))+(DELTAN(3,1)*DELTAX(3,1)
));
```

```
DNDY =
(DELTAN(1,1)*DELTAY(1,1))+(DELTAN(2,1)*DELTAY(2,1))+(DELTAN(3,1)*DELTAY(3,1)
));
```

```

DN2DE2 =
(DELTAN(1,1)^2)+(DELTAN(2,1)^2)+(DELTAN(3,1)^2)+(DELTAE(1,1)^2)+(DELTAE(2,1
)^2)+(DELTAE(3,1)^2);

a = ((DNDY+DEDX))/DN2DE2;
o = ((DNDX-DEDY))/DN2DE2;

q = sqrt((a^2)+(o^2));

XIC1 = CGX-(o*CGN)-(a*CGE);
YIC1 = CGY-(a*CGN)+(o*CGE);

XIC2 = XIC1+(a*(D1IC2*sind(HZIC1)))+(o*(D1IC2*cosd(HZIC1)));
YIC2 = YIC1+(a*(D1IC2*cosd(HZIC1)))-(o*(D1IC2*sind(HZIC1)));

%% Ajustamento por MMQ

L = [CARMO(1,1);CARMO(1,2);FOCCA(1,1);FOCCA(1,2);INSC(1,1);INSC(1,2)];
%VETOR DAS OBSERVAÇÕES

A = [E(1,1) -N(1,1) 1 0
      N(1,1)  E(1,1) 0 1
      E(2,1) -N(2,1) 1 0
      N(2,1)  E(2,1) 0 1
      E(4,1) -N(4,1) 1 0
      N(4,1)  E(4,1) 0 1]; %matriz a

WR = (inv(A'*A));
WR1 = WR*(A'*L); %observações ajustadas
H = A*WR1 ;
V = (A*WR1) - L; %Resíduo
V1 = abs(V); %valores absolutos de V

P2 = [0 0]; % ponto 2 é a origem do meu sistema local

```

```

XAIC1 = WR1(1,1)*P2(1,1)-(WR1(2,1)*P2(1,2))+WR1(3,1); %aplicação do MMQ a
transformação afim com coordenadas 2d
YAIC1 = WR(2,1)*P2(1,1)+WR(1,1)*P2(1,2)+(WR1(4,1)); %aplicação do MMQ a
transformação afim com coordenadas 2d

%% Sigma zero a posteriori
Sigma = ((V'*V)/2);

%% Matriz Variância-Covariância dos parametros ajustados
MVCXa = Sigma*inv(A'*A);

%% Desvio Padrão dos parâmetros ajustados
DP= [sqrt(MVCXa(1,1))
      sqrt(MVCXa(2,2))
      sqrt(MVCXa(3,3))
      sqrt(MVCXa(4,4))];

%% ('Observações Ajustadas La = Xa+V')
OBS_A = [L(1,1);L(2,1);L(3,1);L(4,1);L(5,1);L(6,1)]+ V

%% ('MV das Observações Ajustadas')
MV_OBS = A*MVCXa*A';

%% ('MVC das Observações Ajustadas')
AtPA_1 = inv(A'*A);

MCV_OBS = Sigma*A*AtPA_1*A';

desvio_OB = [sqrt(MCV_OBS(1,1))
              sqrt(MCV_OBS(2,2))
              sqrt(MCV_OBS(3,3))
              sqrt(MCV_OBS(4,4))
              sqrt(MCV_OBS(5,5))
              sqrt(MCV_OBS(6,6))]; %desvio padrão das observações ajustadas

%% Variância covariância dos resíduos

MV = Sigma - MCV_OBS;

```

```
%% Qui-Quadrado
% Se  $X^2$  calculado > ou = tabelado: Rejeita-se  $H_0$ .
% Se  $X^2$  calculado < tabelado: Aceita-se  $H_0$ .
% GL = 2 E NÍVEL DE CONFIANÇA 95%
% Analisando a tabela do qui-quadrado para esses dados conclui-se que o
% valor critico esperado ocorre em  $X_c = 5.991$ 
```

```
%% Qui-Quadrado
% Se  $X^2$  calculado > ou = tabelado: Rejeita-se  $H_0$ .
% Se  $X^2$  calculado < tabelado: Aceita-se  $H_0$ .
% GL = 2 E NÍVEL DE CONFIANÇA 95%
% Analisando a tabela do qui-quadrado para esses dados conclui-se que o
% valor critico esperado ocorre em  $X_c = 5.991$ 
```

Apêndice I – Determinação de coordenadas vértice IC1 pelo método da interseção a ré com ajustamento pelo MMQ

1) Coordenadas Conhecidas

Ponto	E (m)	N (m)
CARMO	150366,5379	249931,9872
FOCCA	150352,1718	249952,8888
INSC	150410,5438	249944,7026

2) Ângulos e Distâncias Observados em Campo

Distâncias		Precisões
li	Distância (m)	σ_i
D(IC1-CARMO)	43.87284	5+5 ppm
D(IC1-FOCCA)	69.11611	5+5 ppm
D(IC1-INSC)	48.76560	5+5 ppm

Distâncias		Precisões
HZi	Ângulo Horizontal	σ_i
HZ(IC1-CARMO)	359.99921	5"
HZ(IC1-FOCCA)	2.10740	5"
HZ(IC1-INSC)	58.99680	5"

3) Cálculo dos Parâmetros Observados e Equações de Observação

a) Cálculo da matriz L, onde

$$L = \begin{bmatrix} 150366.5379 \\ 249931.9872 \\ 150352.1718 \\ 249952.8888 \\ 150410.5438 \\ 249944.7026 \end{bmatrix}$$

b) Matriz A

$$A = \begin{bmatrix} -0.0006 & -43.873 & 1 & 0 \\ 43.873 & -0.0006 & 0 & 1 \\ 2.5416 & -69.069 & 1 & 0 \\ 69.069 & 2.5416 & 0 & 1 \\ 41.799 & -25.118 & 1 & 0 \\ 25.118 & 41.799 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

a) **Vetor dos Resíduos $V = AX+L$**

$$V = \begin{bmatrix} -0.013944 \\ 0.012617 \\ 0.005897 \\ -0.013376 \\ 0.008045 \\ 0.000759 \end{bmatrix}$$

b) **Variância Da Observação De Peso Unitário (A Posteriori)**

$$\text{Sigma} = 0.00031632$$

c) **Matriz Variância E Covariância Das Observações Ajustadas**

$$\text{MVCXa} = \begin{bmatrix} 1.5273\text{e-}07 & 8.5738\text{e-}24 & -2.2574\text{e-}06 & -7.0289\text{e-}06 \\ 8.5738\text{e-}24 & 1.5273\text{e-}07 & 7.0289\text{e-}06 & -2.2574\text{e-}06 \\ -2.2574\text{e-}06 & 7.0289\text{e-}06 & 0.00046227 & 0 \\ -7.0289\text{e-}06 & -2.2574\text{e-}06 & 0 & 0.00046227 \end{bmatrix}$$

-7.0289e-06

-2.2574e-06

0

0.00046227

d) Desvio Padrão Das Observações Ajustadas

$$\mathbf{DP} = \begin{bmatrix} 0.00039081 \\ 0.00039081 \\ 0.021501 \\ 0.021501 \end{bmatrix}$$

4) Coordenadas Planimétricas ajustadas Estação Desconhecida

$$XAIC1 = 150394.883 \text{ m}$$

$$YAIC1 = 249898.512 \text{ m}$$

ANEXOS

Anexo 1 – Relatório da Estação Geodésica RN394-D (IBGE,2011)



Relatório de Estação Geodésica

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

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

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

Localização

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

Descrição

Chapa padrão IBGE.

(#) Nota :

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

Foto(s)



RN 394-D

**Anexo 2 – Relatório dos resultados obtidos utilizando o módulo interseção a vante do software AstGeoTop (Garnés, 2017) para os ponto
01P1**

Programa AstGeoTop : Módulo Interseção Direta

Versão 2012.06.10 - Prof. Dr. Silvio Garnés - silvio.jacks@ufpe.br

INTERSECÇÃO DIRETA (INTERSECÇÃO A VANTE)

Comprimento da base : 23,018m Desvio padrão : 0,005m

Azimute da base Az_AB : 268°47'42,56" Desvio Padrão : 5"

Coord. base XA = 150394,883m Desvio padrão : 0m

Coord. base YA = 249898,512m Desvio padrão : 0m

Desvio padrão Ângulo (a) da base : 5"

Desvio padrão Ângulo (b) da base : 5"

Alvo_P	Ang_Hor_a	Ang_Hor_b	Dist.d(A-P)	Sigma d(A-P)	Dist.d(B-P)	Sigma d(B-P)	XP	SigmaXP	YP	SigmaYP
O1P1	13°29'15,0"	14°17'39,0"	12,1929	0,00277	11,5180	0,00263	150382,9692	0,00271	249901,1059	0,00072

Anexo 3 – Relatório dos resultados obtidos utilizando o módulo interseção a vante componente vertical do software AstGeoTop (Garnés, 2017) para o ponto 01P1

INTERSECÇÃO DIRETA (A VANTE) - COMPONENTE VERTICAL

Altura do Instrumento em A : 1,362 Desvio padrão : 0,002

Altura do Instrumento em B : 1,568 Desvio padrão : 0,002

Altura do alvo em P : 1,492 Desvio padrão : 0,002

Cota do Ponto A : 14,857 Desvio padrão : 0,002

Cota do Ponto B : 14,644 Desvio padrão : 0,002

Precisão do Ang. zenital em A (D.padrão): 5"

Precisão do Ang. zenital em B (D.padrão): 5"

Alvo_P	Ang.Zenital ZA	Ang.Zenital ZB	D.Incl(A-P)	D.Incl(B-P)	Cota_alvo/A	D.pad.cota/A	Cota_alvo/B	D.pad.cota/B	Cota_alvo	D.pad.C(alvo)
O1P1	89°27`30,0"	89°21`33,0"	12,1934	11,5187	14,8423	0,0035	14,8488	0,0035	14,8456	0,0046