



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

CATARINA MARIA RIBEIRO DOS SANTOS

**A GEODÉSIA APLICADA À MEDIÇÃO E ANÁLISE DE SUPERFÍCIES:
estudo de caso na construção civil**

Recife

2019

CATARINA MARIA RIBEIRO DOS SANTOS

A GEODÉSIA APLICADA À MEDIÇÃO E ANÁLISE DE SUPERFÍCIES:
estudo de caso na construção civil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação do Departamento de Engenharia Cartográfica, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de concentração: Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Linha de Pesquisa: Posicionamento Geodésico e Cadastro Imobiliário.

Orientadora: Profa. Dr. Techn. Andréa de Seixas

Coorientadora: Profa. Dra. Yêda Vieira Póvoas

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

- S237g Santos, Catarina Maria Ribeiro dos.
A geodésia aplicada à medição e análise de superfícies: estudo de caso na construção civil / Catarina Maria Ribeiro dos Santos. - 2019.
170 folhas, il., tab. abr., sigl. e símb.
- Orientadora: Profa. Dr. Techn. Andréa de Seixas.
Coorientadora: Profa. Dra. Yêda Vieira Póvoas.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2019.
Inclui Referências, Apêndice e Anexos.
1. Engenharia Cartográfica. 2. Verticalização de estruturas. 3. Levantamentos geodésicos-topográficos. 4. Análise de variâncias. 5. Controle posicional. 6. Análise de superfícies. I. Seixas, Andréa de (Orientadora). II. Póvoas, Yêda Vieira (Coorientadora). III. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-455

CATARINA MARIA RIBEIRO DOS SANTOS

A GEODÉSIA APLICADA À MEDIÇÃO E ANÁLISE DE SUPERFÍCIES:

estudo de caso na construção civil

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

Aprovada em: 09/08/2019.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dr. Techn. ANDRÉA DE SEIXAS (Orientadora)

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. SILVIO JACKS DOS ANJOS GARNÉS (Examinador Interno)

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. TIAGO LEITE ROLIM (Examinador Externo)

Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Pernambuco

A Deus, por sempre guiar meus passos; aos meus amados pais Adilene e Carlos, por todo o sacrifício e suporte ao longo dos anos, sempre buscando a minha felicidade.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, que iluminou o meu caminho e me protegeu durante esta caminhada.

Aos meus pais, Adilene e Carlos, que se sacrificaram, se dedicaram, abdicaram de tempo e de muitos projetos pessoais para que eu tivesse a oportunidade de estudar e de ter uma boa formação profissional, além de pessoal.

A minha professora orientadora, Prof^a. Dr. Techn. Andréa de Seixas, pelo incentivo constante no decorrer de todo esse tempo de estudo, pela sua paciência, dedicação e confiança ao longo das supervisões das minhas atividades e que me ajudou bastante a concluir esta dissertação.

A minha professora coorientadora, Prof^a. Dra. Yêda Vieira Póvoas, pelas sugestões, colaborações e incentivo nesta dissertação.

Aos professores componentes da banca, Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés e Dr. Tiago Leite Rolim, pelas sugestões e contribuições prestadas. Em especial ao professor Silvio pela cessão do *software* AstGeoTop e sua paciência dirimindo dúvidas sobre a dissertação.

A todos os Professores do Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Departamento de Engenharia Cartográfica – DeCart, pelo conhecimento concedido ao longo desse mestrado.

Pelo empenho e disponibilidade de auxílio nas atividades de campo: Kelly Ferri, Luiz Filipe Canto, Márcio Silva, Paulo Santana, Emerson de Vasconcelos, Priscila Helienay, Sabrina Gomes e Vanessa Nunes.

Aos amigos mestres/mestrandos, especialmente aqueles com quem pude compartilhar as experiências de campo e estudo: Kelly Ferri, Lucas Lima, Luiz Canto, Márcio Silva e Paulo Santana.

Às amigas Gleice Pereira, Jakeline Magalhães e Michelle Campos, pela disponibilização de material bibliográfico, pelo suporte na língua inglesa, e pelo apoio na conciliação da jornada de trabalho e estudo, respectivamente.

Aos Engenheiros Civis José Roberto de Seixas e Antonio Rodrigues (Monteplan Ltda.) e ao professor Dr. Paulo Lyra, pelo acesso às obras do LITPEG/CTG/UFPE.

À CAPES pela realização do Curso de Pós-Graduação e ao Projeto de Pesquisa Controle e Monitoramento de Recalques - Edifício em Construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis – LITPEG/CTG/UFPE - continuação processo nº 23076.016133/2018-57.

Aos funcionários e prestadores de serviços do Departamento de Engenharia Cartográfica e da Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, pela atenção e dedicação, em especial a Judite que me acompanhou desde a graduação nesta instituição, e Elisabeth Galdino, sempre prestativa e solícita.

Aos laboratórios LAGEO e LATOP pela cessão das instrumentações e *softwares*.

A todos que direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação, meus agradecimentos.

RESUMO

O controle geométrico da prumagem e planeza em um edifício predial é importante para o controle de qualidade da execução de obras. Para isso é necessário a implantação de pontos de referência nas áreas externa e interna da obra. Estes pontos, quando vinculados a estruturas geodésicas tridimensionais, permitem o georreferenciamento e reconstrução 3D de superfícies e de objetos. O estudo teve como objetivo desenvolver uma metodologia com base nos métodos geodésicos/topográficos para analisar o padrão de qualidade geométrico de fachadas e de pisos/lajes na construção de um edifício, aplicando métodos de levantamento de precisão para o ajuste de planos, realizando análise estatística para reconhecimento de diferenças significativas entre os dados utilizados providos de diversos métodos e a determinação da inclinação de planos através do cálculo de regressão linear múltipla. Os experimentos foram realizados em duas áreas testes. A primeira referente a uma obra em fase de acabamento, a qual teve seu estudo de prumagem e planeza em uma fachada vertical revestida e o estudo de planeza em duas superfícies horizontais (calçada e *hall* de entrada); a segunda área referente a um edifício em fase estrutural, a qual teve o estudo da implementação dos vértices de apoio imediato para a realização de prumagem óptica aplicada para um dos pilares. A metodologia contempla a discretização de superfícies (grade regular de pontos-objeto) e a regressão linear múltipla (superfícies de construção por planos reconstituídos). Além de abranger a implantação do sistema de referência planialtimétrico, aplicação de métodos geodésicos/topográficos, ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados, análise estatística para comparação de resultados obtidos e análise de qualidade, além da aplicação da regressão linear para estudo da planeza e prumagem. Primeiramente, determinou-se um sistema de referência, tornando possível o posicionamento de pontos-objeto. Definiu-se e materializou-se novos pontos de referência interligados a referenciais planialtimétricos envolvendo Sistemas Geodésicos Locais, o primeiro pré-existente a partir da Rede de Referência Cadastral do Campus Recife da UFPE e o segundo implantado próximo a obra do edifício predial em construção. Os novos pontos de referência foram determinados, empregando-se receptores GNSS (posicionamento relativo estático) e/ou estação total (poligonação e interseção a ré) e/ou nível digital (nivelamento geométrico). Para a determinação de

pontos-objeto, utilizou-se de técnicas de interseção a vante (pontos inacessíveis), irradiação e nivelamento trigonométrico para a medição de fachada e técnicas de nivelamento geométrico, irradiação e interseção a vante para a medição de piso/laje. Para uma significância de 5% nas análises estatísticas (ANOVA, teste *t-student* e Sheffé), as qualidades das observações foram atingidas para cada experimento realizado. Sendo assim, o método de irradiação 3D executado com estação total, por ser simples e rápido, atendeu aos resultados, quando as regressões lineares são aplicadas. Os planos obtidos pela regressão linear múltipla apresentaram, para os casos em estudo, valores de discrepância máxima de 3mm e 1,7cm para os planos horizontal e vertical, respectivamente. A equação da regressão linear múltipla se mostrou como o esperado para o plano vertical, permitindo avaliar a prumagem da fachada, quando comparado com o clássico mapeamento de fachada adotado na construção civil.

Palavras-chave: Verticalização de estruturas. Levantamentos geodésicos/topográficos. Análise de variâncias. Controle posicional. Análise de superfícies.

ABSTRACT

The geometric control of the verticality and planing in a building is important for the quality control of the execution of constructions. For that is necessary the implementation of reference points in the external and internal areas of the building. These points, linked to three-dimensional geodesic structures, allow georeferencing and 3D reconstruction of surfaces and objects. The approach study aimed to develop a methodology based on geodetic / topographic methods to analyze the geometric quality standard of facades and floors / slabs in the construction of a building, applying precision survey methods for the adjustment of plans, performing statistical analysis to recognize significant differences between the data from different methods and to determine the inclination of planes by calculating multiple linear regression. The experiments were performed in two test areas. The first one refers to a build in the ending phase, which had its study of verticality and the flatness analyzed on a vertical clad facade and the study of flatness in two horizontal surfaces (sidewalk and entrance hall); the second one referring to a building in structural phase, which had the study of the implementation of the vertices of immediate support for the realization of optical plumbing to one of its pillars. The methodology contemplates surface discretization (regular grid of object points) and multiple linear regression (construction surfaces by reconstituted plans). In addition to covering the implementation of the planialtimetric reference system, application of geodetic / topographic methods, adjustment by Least Squares Method, statistical analysis to compare the results obtained and quality analysis, in addition to the application of linear regression for study of flatness and verticality. First, a reference system was determined, making possible the positioning of object points. Defined and materialized new reference points interconnected with local planialtimetric involving Local Geodetic Systems, the first pre-existing from the UFPE Recife Campus Cadastral Reference Network and the second deployed near the building in under construction. The new reference points were determined using GNSS receivers (static relative positioning) and/or total station (traverse and backward intersection) and/or leveling (geometric leveling). For the determination of object points, it was used techniques of forward intersection (inaccessible points), irradiation and trigonometric leveling, for facade measurement and geometric leveling, irradiation

and forward intersection techniques for floor / slab measurement. For a significance of 5% in the statistical analyzes (ANOVA, t-student and Sheffé test), the qualities of the observations were achieved for each experiment performed. Therefore, 3D irradiation method performed with total station can be simple and fast, meeting the results when linear regressions are applied. The planes obtained by multiple linear regression presented, for the studies cases, maximum discrepancy values of 3mm and 1,7cm for the horizontal and vertical planes, respectively. The multiple linear regression equation was as expected for the vertical plane, allowing to evaluate the facade verticality, when compared to the classical facade mapping adopted in civil construction.

Keywords: Structures verticalization. Geodetic/topographic methods. Analysis of variance. Positional control. Surface analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapeamento de fachada.....	24
Figura 2 - Execução de taliscas e mestras.....	25
Figura 3 - Sarrafeamento.....	25
Figura 4 - Nível eletrônico a LASER para demarcações de nivelamento do piso.....	28
Figura 5 - Espessura do emboço maior que 3cm.....	30
Figura 6 - Complemento da espessura por consequência do desaprumo...	30
Figura 7 - Aplicação de ACM.....	31
Quadro 1 - Tempo de observação x Comprimento da linha de base.....	36
Figura 8 - Referencial geodésico cartesiano local e coordenadas polares...	37
Figura 9 - Componentes da centragem forçada.....	39
Figura 10 - Tipos de poligonal.....	40
Figura 11 - Esquema geral de determinação da estação livre.....	42
Figura 12 - Lances de nivelamento entre os pontos A e B.....	43
Figura 13 - Lance no nivelamento geométrico.....	44
Figura 14 - Quadriculado/reticulado através das técnicas de nivelamento....	44
Figura 15 - Aplicação do método <i>Kukkamäki</i>	46
Figura 16 - Intersecção a vante 2D.....	47
Figura 17 - Interseção espacial.....	50
Figura 18 - Método da irradiação 3D.....	51
Figura 19 - Nivelamento trigonométrico.....	52
Figura 20 - Prumagem plana com emprego de teodolitos.....	54
Figura 21 - Prumo zenital de precisão FG-L 100.....	55
Figura 22 - Tipos de máquina de medir coordenadas.....	56
Figura 23 - Plano: MMC (MMQ) x Normas (plano tangente).....	58
Figura 24 - Erro de colimação do eixo óptico e do eixo secundário.....	64
Figura 25 - Erro de verticalidade do eixo principal.....	65
Figura 26 - Valores observados, preditos e suas diferenças.....	72
Figura 27 - Regressão linear múltipla.....	73
Figura 28 - Identificação da área de estudo 1.....	76
Figura 29 - Identificação da área de estudo 2.....	77
Quadro 2 - Equipamentos e suas respectivas características.....	78
Quadro 3 - <i>Softwares</i> e suas respectivas versões e aplicações.....	78
Quadro 4 - Acessórios.....	78
Figura 30 - Fluxograma das etapas do desenvolvimento da metodologia.....	79
Figura 31 - Pontos de coordenadas conhecidas EPS-04 e EPS-07 e objeto de estudo1.....	81
Figura 32 - Pino e parafuso no EPS-4.....	82
Figura 33 - Carta com ilustração dos RRNN A, B, C e D.....	82
Figura 34 - Rede de pontos geodésicos EPS-04 e EPS-07 e RRNN no <i>campus</i> UFPE.....	83
Figura 35 - Rede de pontos de referência da Prefeitura do Recife.....	85
Figura 36 - Poligonal sobre mosaico de imagens: PCR e Google Earth.....	87
Figura 37 - Poligonal sobre ortofotos PCR.....	87
Figura 38 - Ajustamento da poligonal fechada.....	87
Figura 39 - Classe IIP da poligonal no AstGeoTop.....	88
Figura 40 - Distribuição do Qui-Quadrado (χ^2).....	89

Figura 41 - <i>Benchmarks</i> na proximidade da obra (Área 1).....	91
Figura 42 - RN-OBRA na área 1 de estudo.....	92
Figura 43 - Croqui da 1ª rede de nivelamento geométrico.....	92
Figura 44 - Visada da estação 3 para o RN-A.....	93
Figura 45 - Ajustamento da 1ª rede do nivelamento e contranivelamento.....	94
Figura 46 - Pontos FACHi determinados por interseção a ré.....	96
Figura 47 - Carta com ilustração dos Pontos FACHi.....	97
Figura 48 - Malha do quadriculado/reticulado.....	98
Figura 49 - Croqui da malha do quadriculado/reticulado.....	99
Figura 50 - Croqui da 2ª rede de nivelamento geométrico.....	100
Figura 51 - Croqui da rede de quadriculado/reticulado.....	101
Figura 52 - Ajustamento do nivelamento e contranivelamento.....	102
Figura 53 - Visada a ré do vértice EST-A para o vértice AUX-04.....	104
Figura 54 - Croqui dos pontos do quadriculado/reticulado.....	105
Figura 55 - Irradiação de EST-B por EST-A.....	105
Figura 56 - Amarração de C1, C2, C3, C4.....	110
Figura 57 - Irradiação do nivelamento geométrico para a calçada.....	110
Figura 58 - Altitudes de C1, C2, C3, C4.....	110
Figura 59 - Fachada lateral da área de estudo 1.....	111
Figura 60 - Vértice visado como padrão (visada).....	112
Figura 61 - Alvo de fita reflexiva 20x20mm (marca LETER).....	112
Figura 62 - Croqui da malha utilizada para aplicação da metodologia.....	113
Figura 63 - Identificação dos 93 vértices coletados.....	113
Figura 64 - Exemplo de etapas da fase estrutural (pavimentos).....	113
Figura 65 - Análise estatística ANOVA: quadriculado com 4 pontos.....	117
Figura 66 - Análise estatística t (mesmas variâncias): quadriculado com 4 pontos.....	118
Figura 67 - Análise estatística t (variâncias diferentes): quadriculado com 4 pontos.....	118
Figura 68 - Análise estatística t (mesmas variâncias): quadriculado com 16 pontos.....	119
Figura 69 - Análise estatística t (variâncias diferentes): quadriculado com 16 pontos.....	120
Figura 70 - Análise estatística ANOVA para a fachada.....	122
Figura 71 - Análise estatística t (mesmas variâncias) para a fachada.....	123
Figura 72 - Análise estatística t (variâncias diferentes) para a fachada.....	123
Figura 73 - Plano do <i>hall</i> (regressão).....	126
Figura 74 - Plano da calçada (regressão).....	127
Figura 75 - Distribuição espacial dos pontos da amostra (em vermelho).....	128
Figura 76 - Plano da fachada (regressão dos 51 pontos).....	129
Figura 77 - Visualização em vista aérea dos 4 pontos obtidos por GNSS.....	133
Figura 78 - Coordenadas geodésicas dos pontos rastreados.....	133
Figura 79 - Transformação de coordenadas no software AstGeoTop.....	134
Figura 80 - Área de estudo, pontos de referência GNSS e ponto de apoio (BAR).....	135
Figura 81 - Interseção a ré do ponto PT1.....	136
Figura 82 - Modelo da configuração dos pontos em 'vazado 3' (croqui).....	137
Figura 83 - Irradiação para cada um dos pontos da laje.....	137

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de “b”, “d”, “e”, e “f” para determinação da classe da poligonal.....	41
Tabela 2 - Classificação dos níveis.....	45
Tabela 3 - Coordenadas da estação RECF – RBMC.....	81
Tabela 4 - Altitudes normais-ortométricas ajustadas da Rede Geodésica Altimétrica Local.....	82
Tabela 5 - Coordenadas: pontos da poligonal.....	88
Tabela 6 - Dados para aplicação do método <i>Kukkamäki</i>	90
Tabela 7 - Erro de colimação (C).....	91
Tabela 8 - Altitudes ortométricas ajustadas (niv. geométrico).....	95
Tabela 9 - Coordenadas dos pontos conhecidos para interseção a ré.....	97
Tabela 10 - Coordenadas 3D dos FACHi obtidas por interseção a ré e nivelamento trigonométrico.....	97
Tabela 11 - Altitudes ortométricas ajustadas (2º nivelamento-contranivelamento).....	103
Tabela 12 - Altitudes ortométricas do quadriculado irradiadas por niv. geom. simples.....	103
Tabela 13 - Estatística descritiva das altitudes do quadriculado (niv. geom.).....	103
Tabela 14 - Coordenada EST-B irradiada de EST-A.....	105
Tabela 15 - Irradiação das altitudes do quadriculado por niv. trig. (EST-A)...	106
Tabela 16 - Irradiação das altitudes do quadriculado por niv. trig. (EST-B)...	106
Tabela 17 - Discrepância (módulo) de altitude ortométrica por niv. trigonométrico.....	106
Tabela 18 - Irradiação por EST-A.....	107
Tabela 19 - Irradiação por EST-B.....	107
Tabela 20 - Matrizes A para o ajustamento da interseção a vante 2D.....	108
Tabela 21 - Interseção a vante 2D.....	108
Tabela 22 - Matrizes A para interseção a vante 3D.....	108
Tabela 23 - Interseção a vante 3D.....	108
Tabela 24 - Discrepância (módulo) das coordenadas planas por int. a vante.....	109
Tabela 25 - Coordenadas x',y' da calçada.....	110
Tabela 26 - Irradiação das altitudes ortométricas da calçada por niv. geométrico.....	110
Tabela 27 - Matrizes A para interseção a vante 3D para o ponto E2 da fachada.....	115
Tabela 28 - Coordenadas 3D do quadriculado e altitudes pela regressão....	125
Tabela 29 - Altitudes da calçada de acordo com o modelo de regressão.....	126
Tabela 30 - Coeficientes do plano vertical da fachada.....	128
Tabela 31 - Coordenadas (x,y,H) dos pontos objeto (51) da fachada e regressão.....	129
Tabela 32 - Mapeamento de fachada (cm).....	131
Tabela 33 - Coordenadas no SGL em SIRGAS2000 dos pontos da área de estudo 2.....	134
Tabela 34 - Irradiação dos pontos na laje.....	138

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACM	Aluminum Composite Material (alumínio composto)
ANOVA	Análise de Variância
AstGeoTop	Programa Computacional
CAD	Computer Aided Design (desenho assistido por computador)
CTG	Centro de Tecnologia e Geociências
FIG	International Federation of Surveyors
FM	Fio Médio
GLONASS	Global'naya navigatsionnaya Sputnikowaya Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Position System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IM	Incerteza de Medição
IM _{CMM}	Incerteza de Medição da CMM
IM _{SMP}	Incerteza de Medição do Padrão
MMC	Máquina de Medição por Coordenadas
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
PCR	Prefeitura da Cidade do Recife
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RN	Referência de Nível
RRC	Rede de Referência Cadastral
RRNN	Referências de Nível
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SGL	Sistema Geodésico Local
SIRGAS200	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UTM	Universal Transversa de Mercator

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ	Somatório
φ	Latitude geodésica
λ	Longitude geodésica
T_a	Tolerâncias angulares
T_L	Tolerâncias lineares
δ	Desvio padrão
h	Altitude elipsoidal
H	Altitude ortométrica
N	Altura geoidal
La	Valores observados ajustados
Lb	Valores observados
V	Resíduos
X	Valor a determinar
Xa	Vetor dos parâmetros ajustados
A	Matriz
DN	Diferença de nível
DN_{ajust}	Diferença de nível ajustada
L	Diferença entre os valores estimados e observados
P	Matriz dos pesos
n	Grau de liberdade
N	Raio de curvatura da seção primeiro vertical
ΔH_{AB}	Diferença das leituras de ré e de vante
d_i	Distância inclinada
Z	Ângulo zenital
DV	Distância vertical
ϵ_i	Resíduo do modelo de regressão
\hat{Y}	Valor predito pela equação de regressão
a	Intercepto do eixo y
b_i	Coeficiente angular da i -ésima variável (números de coeficientes angulares)
X_i	Variáveis independentes
C	Erro de colimação
X^2	Qui-Quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	JUSTIFICATIVAS.....	20
1.2	OBJETIVOS.....	21
1.2.1	Objetivo Geral.....	21
1.2.2	Objetivos Específicos.....	21
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	21
2	ESTUDO GEODÉSICO/TOPOGRÁFICO DE PRUMAGEM E PLANEZA NA CONSTRUÇÃO DE FACHADAS E PISOS/LAJES DE EDIFÍCIOS.....	23
2.1	CONSTRUÇÃO CIVIL E GEODÉSIA/TOPOGRAFIA.....	23
2.2	DEFINIÇÃO DE PRUMAGEM E PLANEZA.....	26
2.2.1	Prumagem de Fachada e de Pilar.....	27
2.2.2	Planeza (Planicidade) de Fachada e de Piso/Laje.....	27
2.3	REVESTIMENTO DE FACHADA.....	28
2.4	REVESTIMENTO DE PISO/LAJE.....	32
3	MEDIÇÃO GEODÉSICA/TOPOGRÁFICA DE SUPERFÍCIES DE FACHADAS E DE PISOS/LAJES NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS.....	34
3.1	MÉTODOS GEODÉSICOS/TOPOGRÁFICOS PARA A DEFINIÇÃO DE PONTOS DE REFERÊNCIA.....	34
3.1.1	Posicionamento GNSS.....	35
3.1.2	Definição de um SGL e Transformação de Coordenadas.....	36
3.1.3	Poligonação com Centragem Forçada.....	38
3.1.4	Interseção a Ré.....	41
3.1.5	Nivelamento Geométrico Composto.....	42
3.1.5.1	Considerações Gerais.....	43
3.1.5.2	Verificação e Retificação de Níveis: Método <i>Kukkamäki</i>	45
3.2	MÉTODOS GEODÉSICOS/TOPOGRÁFICOS PARA A DEFINIÇÃO DE PONTOS-OBJETO.....	47
3.2.1	Métodos Clássicos.....	47
3.2.1.1	Interseção a Vante 2D.....	47
3.2.1.2	Interseção a Vante 3D.....	49
3.2.1.3	Irradiação 3D.....	51
3.2.1.4	Nivelamento Geométrico Simples e Irradiante.....	52
3.2.1.5	Nivelamento Trigonométrico de Visadas Unilaterais.....	52
3.2.1.6	Prumagem Óptica: Plana e Zenital.....	53
3.2.2	Métodos Modernos.....	55
3.2.2.1	Máquina de Medição por Coordenadas (MMC).....	55
3.2.2.2	<i>Laser Scan</i> 3D.....	58
3.2.2.3	Drone, <i>Laser Tracker</i> e Braço Robótico.....	60
4	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS OBSERVAÇÕES E ANÁLISE DE SUPERFÍCIES.....	63
4.1	ERROS QUE PODEM AFETAR AS MEDIDAS ANGULARES.....	63
4.2	MÉTODO PROPORCIONAL À DISTÂNCIA.....	65
4.3	MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS (MMQ).....	66
4.4	NÍVEL DE CONFIANÇA.....	67
4.5	ANÁLISE DE VARIÂNCIAS: ANOVA.....	68
4.6	REGRESSÃO LINEAR.....	69

4.6.1	Regressão Linear Simples.....	70
4.6.2	Regressão Linear Múltipla.....	72
5	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	75
5.1	DEFINIÇÃO DAS ÁREAS E OBJETOS DE ESTUDO.....	75
5.2	RECURSOS TECNOLÓGICOS.....	77
5.3	MÉTODOS.....	79
6	RESULTADOS E ANÁLISES.....	86
6.1	ÁREA DE ESTUDO 1: <i>CAMPUS RECIFE DA UFPE</i>	86
6.1.1	Determinação de Pontos de Referência.....	86
6.1.1.1	Poligonação com Centragem Forçada.....	86
6.1.1.2	Nivelamento Geométrico.....	90
6.1.1.3	Interseção a Ré.....	95
6.1.2	Determinação de Pontos-Objeto de Piso/Laje.....	98
6.1.2.1	Nivelamento Geométrico.....	100
6.1.2.2	Nivelamento Trigonométrico.....	103
6.1.2.3	Irradiação 3D.....	106
6.1.2.4	Interseção a Vante.....	107
6.1.3	Determinação de Pontos-Objeto de Calçada.....	109
6.1.3.1	Medição a Trena.....	109
6.1.3.2	Nivelamento Geométrico.....	110
6.1.4	Determinação de Pontos-Objeto de Fachada.....	111
6.1.4.1	Irradiação 3D.....	114
6.1.4.2	Interseção a Vante 2D e Nivelamento Trigonométrico.....	114
6.1.4.3	Interseção a Vante 3D.....	115
6.1.5	Análise de Superfícies.....	115
6.1.5.1	Teste Estatístico.....	116
6.1.5.2	Regressão Linear Múltipla.....	124
6.1.6	Inclinação do Plano Vertical.....	131
6.2	ÁREA DE ESTUDO 2: <i>BAIRRO DE TORREÃO-RECIFE-PE</i>	131
6.2.1	Determinação de um SGL (Posicionamento GNSS).....	132
6.2.2	Implantação e Análise dos Pontos de Referência.....	134
6.2.2.1	Poligonação.....	134
6.2.2.2	Interseção a Ré.....	135
6.2.2.3	Prumagem Plana e Óptica.....	136
6.2.2.4	Irradiação 3D.....	138
6.3	MEDIÇÃO DE PLACAS DE REVESTIMENTOS POR MMC.....	138
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	140
7.1	CONCLUSÕES.....	140
7.2	RECOMENDAÇÕES.....	142
	REFERÊNCIAS.....	143
	APÊNDICE A - COORDENADAS DOS PONTOS OBJETO DA FACHADA, DETERMINADAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE IRRADIAÇÃO 3D.....	151
	APÊNDICE B - COORDENADAS DOS PONTOS OBJETO DA FACHADA, DETERMINADAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE INTERSEÇÃO A VANTE 2D.....	153
	APÊNDICE C - COORDENADAS DOS PONTOS OBJETO DA FACHADA, DETERMINADAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE INTERSEÇÃO A VANTE 3D.....	155
	APÊNDICE D - MONOGRAFIA DOS VÉRTICES.....	157

APÊNDICE E - MODELO EM MATLAB DE AJUSTAMENTO DE INTERSEÇÃO A RÉ NO <i>CAMPUS</i> UFPE.....	165
APÊNDICE F - MODELO EM MATLAB DE AJUSTAMENTO DE INTERSEÇÃO A RÉ NO BAIRRO DE TORREÃO-RECIFE.....	166
ANEXO A - RELATÓRIO DE AJUSTAMENTO DO RASTEIO GNSS DO SOFTWARE TOPCON TOOLS NA ÁREA DE ESTUDO 1 (BAIRRO TORREÃO-RECIFE).....	167
ANEXO B - RELATÓRIO DE AJUSTAMENTO DA POLIGONAL FECHADA PELO ASTGEOTOP: MÓDULO “LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO - PLANIMETRIA (VERSÃO 2012.11.11)” NO <i>CAMPUS</i> UFPE.....	168

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico vem abrangendo cada vez mais áreas, aprimorando resultados e reduzindo custos. Na construção civil este avanço anda lado a lado com técnicas que se pode chamar de rudimentares. Em grande parte das obras, as ferramentas para controle geométrico de prumagem de edificação utilizadas são: trena, esquadro, nível de mangueira e prumo.

Um devido controle geométrico na locação da obra, acompanhado de um constante monitoramento da verticalidade durante o período estrutural e da horizontalidade de lajes/pisos, são fundamentais para o atendimento das normas e a racionalização de material.

O erro de prumo de fachadas pode ser advindo de falha de locação, falta de coordenação entre os projetos e/ou deficiências ocorridas durante a execução da estrutura e alvenaria. Há casos de se encontrar obras na fase estrutural com até 10 cm de desaprumo.

Estudos de planeza de lajes e fachadas estão sendo abordados nesta dissertação, tomando como referência estudos desenvolvidos na área de controle geométrico geodésico, destacando o ajustamento de coordenadas planialtimétricas de pontos-objeto discretizados de fachadas e pisos/lajes com aplicação na construção civil, no que diz respeito a verticalidade e horizontalidade de estruturas, envolvendo estudos de planeza de pisos/lajes e fachadas, juntamente com as análises de controle geométrico e modelagem de superfície.

A FIG (International Federation of Surveyors) é a principal organização internacional que representa os interesses dos agrimensores em todo o mundo. É uma federação das associações de membros nacionais e cobre toda a gama de campos profissionais dentro da comunidade global de levantamento, geomática, geodésia e geo-informação. O trabalho técnico da FIG é liderado por dez (10) comissões. A comissão seis (6) é responsável por promover o conhecimento e habilidades de agrimensores em obras civis e industriais dentro das diversas áreas profissionais de engenharia, além de suportar todo o desenvolvimento e conhecimento multidisciplinar que leva a métodos integrados de levantamento, usando vários instrumentos (geodésicos, geotécnicos, movimentos rápidos) e sensores, combinando a geometria com todos os outros dados relevantes para cada problema de engenharia (FIG, 2019).

Assim, essa dissertação destaca “Como os métodos da Geodésia e da Topografia podem ajudar a detectar com adequada acurácia o desaprumo e falta de horizontalização na posição exigida pelo projeto?”. Como exemplo, pode-se questionar: o quanto a fachada está garantindo a sua verticalidade, ou seja, retitude, e o quanto a laje está garantindo a sua planeza.

Essa dissertação tem como objetivo principal identificar e analisar métodos geodésicos/topográficos para o controle geométrico (prumagem e planeza de fachadas, e planeza de pisos/lajes) de um edifício, e suas implicações, visando favorecer o aprimoramento dos métodos tradicionais de prumagem por avanços tecnológicos nas obras. Esta dissertação irá contribuir para o entendimento prático de técnicas geodésicas/topográficas ainda pouco utilizadas nos dias atuais nos canteiros de obras da construção civil.

1.1 JUSTIFICATIVAS

Sabe-se que, na maioria das obras, a planeza de uma superfície na construção civil é feita com base no nivelamento hidrostático, usando-se nível de mangueira ou nível a *LASER* nas empresas melhores equipadas. É também conhecido que o nivelamento geométrico é dentre as técnicas de nivelamento a que alcança maior precisão e exatidão. Partindo com o nivelamento geométrico como referência, nessa dissertação, testa-se a viabilidade de outros métodos: o nivelamento trigonométrico, a irradiação e a interseção a vante, como métodos alternativos da determinação de superfícies planas horizontais. Para a determinação da planeza horizontal, o ‘nivelamento geométrico’ é o mais preciso e exato, porém apenas fornece a diferença de nível ΔH e altitude H ; em contrapartida, a utilização da estação total fornece dados nas 3 dimensões (x , y , H), contudo menos preciso e exato, em relação a H .

Além disso, a prumagem de estruturas é determinada na maioria das construtoras com o fio de prumo. Testa-se assim, nessa dissertação, os métodos de nivelamento trigonométrico, irradiação e interseção a vante (pontos inacessíveis), também como métodos alternativos da determinação de superfícies planas.

1.2 OBJETIVOS

Neste item a dissertação foi subdividida em objetivos geral e específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral dessa dissertação é desenvolver uma metodologia com base nos métodos geodésicos/topográficos para analisar o padrão de qualidade geométrico de fachadas e de pisos/lajes na construção de um edifício.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Aplicar métodos geodésicos/topográficos de precisão para o ajuste de planos (lajes/pisos e fachadas);
- Desenvolver módulos computacionais, envolvendo processamento, ajustamento de observações pelo MMQ e análise de prumagem e planeza de fachadas e lajes;
- Realizar análise estatística para reconhecimento de diferenças significativas entre os dados utilizados provindos de diversos métodos;
- Determinar a inclinação de planos advindos de regressão linear múltipla, provindos de medições *in loco*.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está estruturada em sete capítulos. O capítulo 1 abrange a introdução, detalhando-se em objetivos e estruturação. O capítulo 2 foi destinado a revisão teórica, envolvendo os assuntos sobre estudo geodésico/topográfico de prumagem e planeza na construção civil.

O capítulo 3 aborda a teoria de medição geodésica/topográfica de superfícies. O capítulo 4 dispõe sobre os princípios da avaliação na qualidade das observações e análise de superfícies.

O capítulo 5 apresenta a metodologia da pesquisa (implantação de poligonal, utilização de SGL pré-existente na área de estudo, interseção a ré, nivelamento

geométrico e trigonométrico, irradiação, interseção a vante, análise estatística e regressão linear), a escolha das áreas de estudo, e os diferentes materiais e métodos utilizados. Abordando desde definição até aplicações.

O capítulo 6 destaca os resultados e análises para as duas áreas de estudo. O capítulo 7 finaliza a dissertação com as conclusões e recomendações, sobre as respectivas análises realizadas e resultados alcançados. Os anexos e os apêndices vêm em sequência.

2 ESTUDO GEODÉSICO/TOPOGRÁFICO DE PRUMAGEM E PLANEZA NA CONSTRUÇÃO DE FACHADAS E PISOS/LAJES DE EDIFÍCIOS

Este capítulo aborda o estado da arte de como técnicas de geodésia/topografia são usualmente abordadas na construção civil, além de definir conceitos sobre prumagem, planeza e revestimento mais usuais.

2.1 CONSTRUÇÃO CIVIL E GEODÉSIA/TOPOGRAFIA

Segundo o Ministério da Educação (2000), a área de construção civil abrange todas as atividades de produção em obras. Estão incluídas nesta área as atividades referentes às funções planejamento, projeto, execução, manutenção e restauração de obras em diferentes segmentos, tais como edifícios, estradas, portos, aeroportos, canais de navegação, túneis, instalações prediais, obras de saneamento, de fundações e de terra em geral, estando excluídas as atividades relacionadas às operações, tais como a operação e o gerenciamento de sistemas de transportes, a operação de estações de tratamento de água, de barragens, dentre outras. Além disso, outras citações de grande valia são:

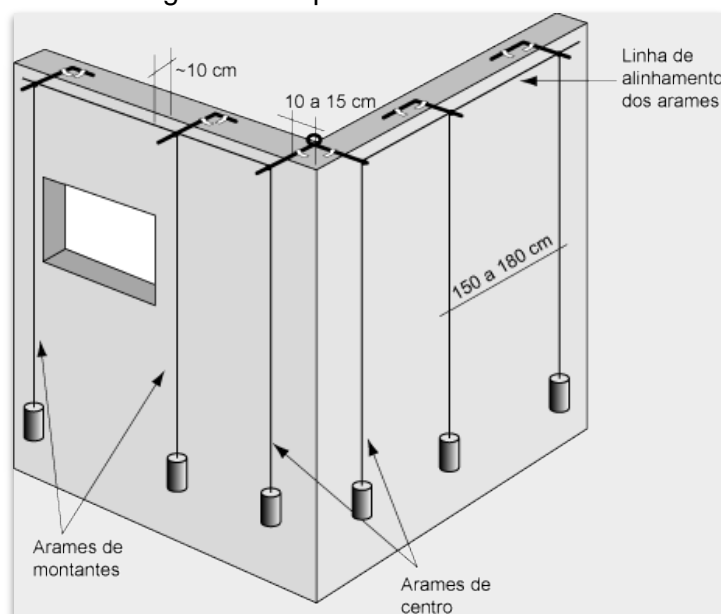
- A área de construção civil tem interfaces com diversas outras áreas profissionais. Além da nítida interface com a área de gestão, claramente presente nas atividades de gerenciamento da execução e da manutenção de obras, devem ser ressaltadas as relações com as áreas de transportes, geodésia, mineração, química, meio ambiente, agropecuária, artes, *design*, saúde, informática e comércio. É possível, mesmo que em alguns casos, sejam desenhados currículos que contenham células comuns de desenvolvimento de competências requisitadas por mais de uma dessas áreas.
- A geodésia interage com a área de construção civil no posicionamento e no anteprojeto de grandes obras, como barragens, estradas, canais, entre outros. A utilização de bancos de dados georreferenciados possibilita a prevenção e o controle de riscos ambientais, definindo as obras necessárias e as formas de execução destas.

O levantamento de obras envolve estabelecer tanto o alinhamento quanto o *greide* por meio de estacas e linhas de referência que são esticadas no canteiro de obras. A colocação de estacas normalmente é feita por meio de observações

fundamentais de distâncias inclinadas e reduzidas ao plano horizontal, direções horizontais, ângulos verticais, e diferenças de elevação, usando equipamentos específicos e métodos básicos. Porém, o Sistema Global de Navegação por Satélites (GNSS) e respectivos métodos de posicionamento também têm sido empregados com mais frequência em levantamentos de obras. Outros equipamentos especializados, como dispositivos de alinhamento a *LASER* e equipamentos de medição eletrônica de distância sem prisma são empregados, o que facilita bastante o levantamento de obras (GHILANI; WOLF, 2013).

O estado da arte do controle da verticalização na construção civil apresenta-se em maior parte da seguinte forma: fixação de arames no topo da edificação afastados em torno de 10 cm da fachada (Figura 1), de modo que seja possível anotar os desvios de vigas, pilares e alvenarias em vários locais (SOUZA E MEKBEKIAN, 1997). Para a aplicação do emboço, indica-se a espessura do revestimento pela posição da linha e em seguida, assentam-se as taliscas (pedaços de material cerâmico assentados com argamassa) como referência, preenchendo-se, então, as mestras entre as taliscas (Figura 2 e Figura 3). Posteriormente, aplica-se a argamassa no resto da superfície (MILITO, 2009).

Figura 1 - Mapeamento de fachada



Fonte: IAU (2017)

Figura 2 - Execução de taliscas e mestras



Fonte: PARAVASI (2008)

Figura 3 - Sarrafeamento



Fonte: PARAVASI (2008)

Muitos trabalhos e pesquisas envolvendo a área da Geodésia e da Topografia vêm sendo aplicados na área da construção civil. Dentre outros, pode-se citar: 1. “Geodésia aplicada aos estudos de verticalização de edifício predial de grande porte”, de Araújo (2013); 2. “Métodos geodésicos para racionalização construtiva no posicionamento preciso de edificações prediais”, de Botelho (2003); e 3. Emprego de instrumentação topográfica/geodésica no contexto da NBR 14645: aplicações ao controle dimensional de edificações e ao cadastro, de Xavier (2017). Os quais serão descritos a seguir.

Segundo Araújo (2013), “o acompanhamento e o controle geométrico periódicos da verticalização de um edifício predial nos canteiros de obra da construção civil são de grande importância, pois é necessário que se tenha um controle de qualidade da execução da edificação predial. Esse tipo de procedimento de campo é tratado na Engenharia Civil como controle dimensional e controle de qualidade da edificação”. Apesar da importância do controle geométrico, estes segmentos não são comumente tratados na construção civil.

No trabalho desenvolvido por Botelho em 2003, evidenciou-se a falta de integração por parte dos executores de obras de edificações e importância de uso em todas as etapas do processo construtivo das técnicas topográficas e geodésicas mais precisas e exatas. No cotidiano, vê-se a falta de equipamentos de alta precisão nas obras. Estes são observados quando medidas corretivas precisam ser tomadas para retificação de trabalhos dados por “concluídos”, postergando a entrega da obra finalizada.

Os processos topográficos, sobretudo na tentativa de nivelamento de lajes e prumo de pilares, refletem a busca do resultado "imediato" na percepção do controle

de qualidade da geometria destas peças estruturais. Dos resultados advindos das pesquisas apresentadas por Botelho (2003) para o prumo de fachadas, no intervalo dessa camada de revestimento, encontrou-se desperdício entre 3cm e 14cm, obtido por medição. Segundo o mesmo autor, a principal constatação decorrente da pesquisa de campo é que existem ações concretas dentro da obra para reduzir desperdícios e melhorar a qualidade de execução, propondo o posicionamento preciso da obra como importante procedimento para a racionalização construtiva.

Xavier (2017), cita que a maior parte dos projetos da construção civil que se encontra não é georreferenciada e nem cumpre as exigências de instrumentação e precisão previstas na norma de elaboração do "como construído" (*"as built"*), especificado na NBR 14645-1 (ABNT, 2001), sendo muitas vezes executados o controle dimensional a trena. Tornando os levantamentos sem utilidade para a atualização cadastral.

Segundo Teskey e Porter (1988) apud Chaves (1994, p.35), as deformações de estruturas de engenharia podem ser determinadas pelos seguintes métodos: a) de levantamentos, b) geotécnicos e c) estruturais.

Além da análise de superfície proposta nesta dissertação, ressalta-se também trabalhos relacionados ao monitoramento de deformação de estruturas.

O estudo de deformação de objetos considera a necessidade de definição de sistemas de referência para a interligação entre a estrutura predial e os sistemas de medição a serem empregados, assim como a definição de campo de pontos de referência e campo de pontos-objeto (SILVA; SEIXAS; ROMÃO, 2004).

Em Silva (2014), analisa-se a acurácia posicional das estruturas geodésicas implantadas com diferentes métodos de levantamentos geodésicos/topográficos e métodos de locação, empregando-se receptores GNSS, estações totais e fios de "nylon" e de prumo.

2.2 DEFINIÇÃO DE PRUMAGEM E PLANEZA

Este item define prumagem e planeza, com fundamento maior para o significado em obras verticais.

2.2.1 Prumagem de Fachada e de Pilar

De acordo com a NR 18 (BRASIL, 2018), prumagem é a colocação de peças no sentido vertical (linha de prumo). O fio a prumo, por definição, é um instrumento para detectar ou conferir a vertical do lugar.

Para a presente dissertação, a prumagem de fachadas teve maior foco. A principal diferença quando comparada com a verticalidade do pilar, é que este é analisado como um único eixo central, e a fachada leva em consideração a existência de um plano. Dessa forma, a verticalidade da fachada está sintetizada no quanto o plano vertical está apumado.

Com respeito ao pilar, um dos principais fatores que influencia sua não verticalidade é a flambagem, que diz respeito ao fenômeno que ocorre em peças esbeltas, onde a área de secção transversal é pequena em relação a sua altura, quando submetida a um esforço de compressão. Segundo Botelho e Marchetti (2010), "...se os pilares fossem construídos de forma geométrica perfeita, se a força centrada no eixo tivesse uma distribuição perfeitamente uniforme em toda a área do pilar, então, não ocorreria o fenômeno da perda de resistência dos pilares quando eles têm suas alturas acrescidas (não ocorreria a flambagem)".

2.2.2 Planeza (Planicidade) de Fachada e de Piso/Laje

Planeza (ou planicidade) é referente a plano, ou seja, referente a quão plano uma superfície pode ser ou estar. A norma ISO 1101 (2017), define o termo planeza como sendo a zona que é delimitada por dois planos paralelos, cuja distância entre eles é igual ao valor "t". A forma da tolerância nominal é dada como uma superfície lisa.

Durante a concretagem da laje, esta pode apresentar uma espessura maior que a devida. Tal verificação só é observada após a retirada das fôrmas.

Para o controle da horizontalização das lajes com o nível a *LASER*, as taliscas devem estar posicionadas nos locais previamente definidos no projeto de detalhamento da laje. O nível das taliscas deve ser ajustado e conferido com o aparelho de nível a *LASER*, garantindo uma maior qualidade na planeza da laje. Esta dissertação não aborda o controle de planeza durante a execução da obra. O foco

consiste na verificação da planeza de fachadas e pisos/lajes (Figura 4) após construção.

Figura 4 - Nível eletrônico a LASER para demarcações de nivelamento do piso



Fonte: DEBETIO (2017)

Além disso, a planeza nesta dissertação também será analisada em peças pré fabricadas, mais especificamente para as placas de ACM dispostas na fachada da edificação.

2.3 REVESTIMENTO DE FACHADA

As fachadas das edificações são a parte mais exposta às intempéries naturais, como radiação solar, umidade, temperatura, vento, chuva, as quais possuem agentes agressivos que diminuem a vida útil da fachada (BARBOSA, 2013). Devido a isso, uma das funções do revestimento externo é proteger a edificação contra a ação de agentes agressivos. Os revestimentos de fachada cumprem um papel fundamental no desempenho global das edificações (MARTINS; SILVA; FIALHO, 2018).

O revestimento de argamassa externo pode ser entendido como a proteção de uma superfície porosa com espessura normalmente uniforme, resultando em uma superfície apta a receber de maneira adequada uma decoração final. O revestimento de argamassa apresenta as seguintes funções (COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, 2006):

- Proteger a base, usualmente de alvenaria, e a estrutura da ação direta dos agentes agressivos;
- Auxiliar as vedações no cumprimento das suas funções, como, por exemplo, o

isolamento termoacústico e a estanqueidade à água e aos gases;

- Regularizar a superfície dos elementos de vedação, servindo de base regular e adequada ao recebimento de outros revestimentos ou constituir-se no acabamento final;
- Contribuir para estética da fachada.

Porém, não é função do revestimento dissimular imperfeições grosseiras da base, devido à falta de cuidado no momento da execução da estrutura e da alvenaria, o que compromete o cumprimento adequado das reais funções do revestimento (COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, 2006).

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013) emboço é a camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento final. Ou seja, tem a finalidade de eliminar as imperfeições da superfície trabalhada, permitindo que a superfície fique completamente alinhada e uniforme. A NBR 7200 (ABNT, 1998) cita que a idade mínima do chapisco antes aplicação do emboço deve ser de três dias, e sete dias do emboço para início dos serviços de reboco. Os materiais utilizados para compor sua proporção consistem respectivamente em cimento:cal hidratada:areia média:água. O emboço deve garantir a proteção da alvenaria e isolamento acústico e térmico.

A NBR 13749 (ABNT, 2013) determina que a espessura admissível do revestimento a ser aplicado na fachada deve ficar entre (2 e 3)cm, podendo-se considerar a espessura máxima de desaprumo de 3cm, quando relacionado a alvenaria. Para espessuras maiores que 3cm, há necessidade de cuidados especiais, como aplicação em duas ou mais camadas, encasquilhamento do emboço, reforço com telas metálicas e outros.

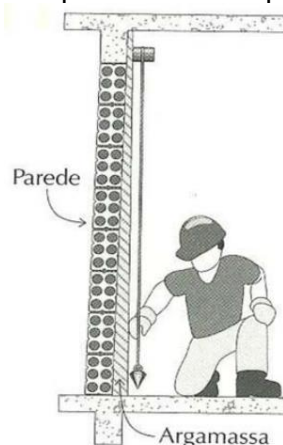
Caracterizando a não linearidade da construção, o emboço (massa grossa que deixa a superfície nivelada) pode ter sua espessura chegando até 10cm, como citado anteriormente, implicando em um significativo aumento de custo da obra. Além disso, este emboço poderá fissurar ou trincar devido à tensão de cisalhamento e causar diversas manifestações patológicas na construção (Figura 5 e Figura 6).

Figura 5 - Espessura do emboço maior que 3cm



Fonte: ARRAES (2016)

Figura 6 - Complemento da espessura por consequência do desaprumo



Fonte: SOUZA (2005)

A utilização das telas para reforço da camada de revestimento tem se tornado um excelente aliado na prevenção e redução de fissuras, pois podem absorver as tensões que surgem no sistema devido à variação térmica, incompatibilidade de materiais empregados, elevada espessura de revestimento ou até mesmo por erros de execução. Mesmo com aplicação de um rigoroso controle para se obter uma estrutura plana em uma edificação é comum encontrar variações na espessura do revestimento de argamassa. As espessuras superiores as admissíveis pela norma são decorrentes, muitas vezes, da correção do prumo não alcançado em parte do edifício (MUSSE, 2017).

Diante disto, a NBR 13755 (ABNT, 2017) recomendam a utilização de telas entre as camadas para reforçar o sistema de argamassa, evitando, portanto, futuros problemas no revestimento. Diretamente impactante no tempo de andamento da obra, adiciona-se maior gasto com mão de obra e encargos.

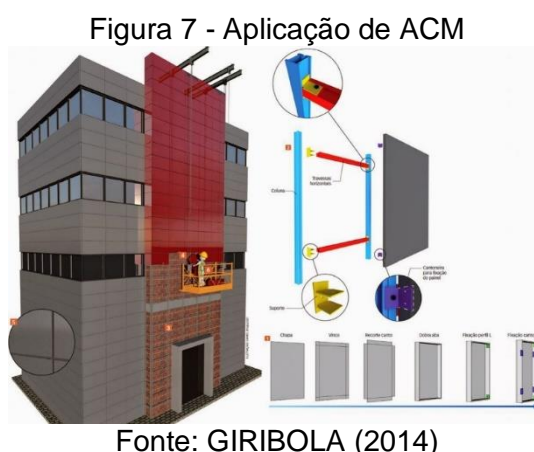
Uma das alternativas que compõe o mercado brasileiro é o ACM (alumínio composto, do inglês *Aluminum Composite Material*), considerado um produto de grande valor por apresentar qualidades como durabilidade, versatilidade, leveza e alta resistência (MARTINS; SILVA; FIALHO, 2018).

Os painéis em ACM podem ser usados no revestimento de fachadas, coberturas e marquises. As peças mais facilmente encontradas no mercado são aquelas nos tamanhos: (1550 x 5000) mm, (1220 x 5000) mm e (1220 x 2440) mm, disponíveis em diferentes cores. A solução é composta por duas chapas de alumínio com miolo de polietileno, sendo que a espessura de todo o conjunto varia, em geral,

entre (3 e 4) mm. Para revestimento de fachada, a especificação mais adequada é o ACM com espessura de 4 mm, para revestimentos internos, podem ser usadas as placas de 3 mm (AECWEB, s.d.).

Também chamado de envelopamento, quanto maior a espessura do revestimento externo em fachadas com o alumínio composto, maior serão os índices de atenuação de som e de redução de temperatura (bom desempenho acústico e térmico) proporcionados pelo núcleo de polietileno (GIRIBOLA, 2014).

A grande vantagem do sistema é a facilidade de montagem. Além das peças serem leves - um painel com espessura de 3 mm tem massa de cerca de 4,5 kg/m² -, elas podem ser parafusadas ou instaladas sobre uma estrutura de alumínio presa à fachada (Figura 7). No entanto, é preciso cuidado com o prumo e nível da subestrutura de alumínio. Caso ela esteja desalinhada, a superfície pode apresentar variações (GIRIBOLA, 2014). Entre as vantagens da solução, o material possui uma boa resistência à corrosão e ao fogo.



É importante o cuidado com o manuseio e armazenagem das chapas. Para evitar que os painéis encurvem ou empenem eles devem ser armazenados na posição horizontal sobre prateleiras ou paletes. Além disso, as peças devem ser organizadas por tamanho para que os vértices das peças menores não arranhem as maiores (GIRIBOLA, 2014).

No projeto, o arquiteto precisa indicar as folgas necessárias e o dimensionamento dos vãos onde o revestimento será instalado. Caso esses elementos não sejam previstos, pode acontecer problemas de acabamento entre o

revestimento e a alvenaria, além de alinhamento e modulação inadequados, não acompanhando a movimentação ou integração com a fachada (AECWEB, s.d.).

Existem diferentes métodos para fixação, como os que usam suportes metálicos tipo ancoragem ou aqueles que realizam a colagem com fitas. Um dos principais problemas que pode ocorrer nessa etapa é a falta de alinhamento das peças, ou seja, as chapas chegam a determinado ponto e não encontram o suporte de fixação. Se o dimensionamento dos painéis foi realizado de forma adequada, a instalação será uniforme, caso contrário, apresentará variações, principalmente nas juntas de encontro. O instalador deve ser bem preparado e ter pleno conhecimento do procedimento, sabendo que, por exemplo, não se pode aplicar torque excessivo nos parafusos e de forma desigual. Isso fará com que algumas placas fiquem mais profundas e outras salientes. É possível instalar o produto diretamente na alvenaria, sem estrutura, desde que a ancoragem seja alinhada e bem fixada (AECWEB, s.d.).

2.4 REVESTIMENTO DE PISO/LAJE

As placas cerâmicas para revestimento de pisos e paredes apresentam uma diversidade de produtos, em consequência de uma série de possibilidades de combinações, destacando-se: escolha da massa; forma de preparo; tipo de conformação da placa; tipo de acabamento da superfície; processamento térmico; e, conseqüentemente, das características técnicas do produto (MOTTA; JUNIOR; TANNO, 1998).

Placas de granito também são amplamente empregadas no revestimento de pisos na forma de ladrilhos assentados com argamassa industrializada (MOREIRAS; PARAGUASSÚ, 2012).

É crescente por parte dos especificadores o interesse em conhecer as características intrínsecas dos materiais rochosos, no intuito de estabelecer sua melhor aplicação. Esse fato vem mudando o conceito usual da escolha dos materiais baseados somente nas tendências do mercado. Dessa forma, a caracterização tecnológica é uma prática necessária desde o processo da pesquisa mineral até a etapa final de beneficiamento, embora as empresas do setor do mármore e granito só a busquem frente às exigências dos órgãos competentes, os quais começaram a exigir laudos laboratoriais do material pesquisado (SILVA; CARANASSIOS, 2013).

Além dos revestimentos cerâmicos e de pedra supracitados e que são os comumente utilizados em obras residenciais na região Nordeste do Brasil, ainda existem os pisos laminados sintéticos ou em madeira, vinílicos, epóxis autonivelantes, entre outros.

3 MEDIÇÃO GEODÉSICA/TOPOGRÁFICA DE SUPERFÍCIES DE FACHADAS E DE PISOS/LAJES NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

Neste capítulo será detalhado separadamente cada técnica geodésia/topográfica empregada nas medições de campo, desde os pontos de referência até os pontos-objeto.

3.1 MÉTODOS GEODÉSICOS/TOPOGRÁFICOS PARA A DEFINIÇÃO DE PONTOS DE REFERÊNCIA

De acordo com Krelling (2006), algumas técnicas de levantamento geodésico utilizadas para fins de monitoramento são: nivelamento geométrico de precisão, triangulação, trilateração geodésica, poligonação, determinação de coordenadas utilizando o GPS (“Global Positioning System”- Sistema de Posicionamento Global), além de técnicas fotogramétricas. Em trabalhos de monitoramento de grandes estruturas é comum associar estas diferentes técnicas, como o posicionamento por GPS para a determinação das coordenadas planimétricas dos pontos e o nivelamento geométrico de precisão para o controle altimétrico. É comum a utilização de um conjunto de pontos denominado rede de monitoramento para a elaboração de tais atividades.

Nessa dissertação aborda-se os métodos de poligonação, interseção a ré e a vante, irradiação, nivelamento trigonométrico, nivelamento geométrico, o método da prumagem plana, e o posicionamento GNSS (método relativo estático).

A utilização de diversos métodos conduz a pesquisa a sinalizar qual o melhor método para a aplicação na análise de planeza e prumagem. Como consequência positiva da escolha da melhor metodologia a ser aplicada, têm-se fatores, por exemplo, como a rápida identificação de desaprumo da edificação, pois a falha na prumagem identificada apenas na fase inicial de acabamento da obra (revestimento externo) gera consequências como a aplicação de argamassa (emboço) para “mascarar” esta imperfeição. Isto leva ao aumento de custo com material e pessoal.

3.1.1 Posicionamento GNSS

O termo "Global Navigation Satellite System" (GNSS) se refere a um sistema com constelação de satélites fornecendo sinais de dados de posicionamento e tempo de transmissão espacial. Por definição, o GNSS fornece cobertura global. Os receptores GNSS determinam a localização usando os dados de temporização e posicionamento codificados nos sinais do espaço. A finalidade do sistema é a disponibilidade do posicionamento e navegação para todas as regiões do globo terrestre, integridade e confiança aos usuários.

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) NAVSTAR dos EUA e o Global Navigation Satellite System (GLONASS) da Rússia são exemplos de GNSS. O posicionamento por GNSS pode ser realizado por diferentes métodos e procedimentos, sendo um deles o método relativo estático.

No posicionamento relativo estático, tanto o receptor da estação referência, quanto o da estação com coordenadas a determinar permanecem estacionários durante todo o levantamento. A duração do levantamento varia de 20 minutos até várias horas. Esta situação se modifica conforme as condições de localização das estações e com o aumento do comprimento da linha de base. No caso de linhas de base maiores que 10 km, recomenda-se a utilização de receptores de dupla frequência (IBGE, 2008).

A aplicação desse método, nesta dissertação, tem como objetivo definir pontos de referência no SGB SIRGAS2000 e assim trabalhar com coordenadas em um Sistema Geodésico Local (SGL) em SIRGAS2000. A NBR 14166 (ABNT, 1998) cita que as coordenadas finais dos marcos geodésicos devem ser transformadas para o Sistema Geodésico oficial do Brasil.

Nesta dissertação foi usado como referência a RBMC (estação ativa RECF) do IBGE. Porém, poderia ter sido usada as estações V da prefeitura do Recife, neste caso, estações passivas. A linha de base RBMC possui 7,5 Km para a área de estudo 2 (item 5.1 b). Dessa forma, com base no Quadro 1 disponibilizado pelo IBGE (2008), definiu-se o tempo de rastreamento necessário para esse levantamento.

Quadro 1 - Tempo de observação x Comprimento da linha de base

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

Fonte: IBGE (2008)

3.1.2 Definição de um SGL e Transformação de Coordenadas

As coordenadas no Sistema Geodésico Local (SGL), devem estar associadas ao Sistema Geodésico Brasileiro SIRGAS2000. Logo, é de extrema valia que obras civis sejam vinculadas ao Sistema Geodésico Brasileiro, favorecendo disseminação dessas informações para vincular a um banco de dados municipal.

Trabalhos e pesquisas envolvendo a área da Geodésia e da Topografia vêm sendo aplicados na área de locação de obras, dentre outros, pode-se citar: 1. “Definição do sistema de referência para a locação de edificações prediais – área experimental: Bairro da Madalena, Recife – PE” de Silva et al. (2015); e 2. “Uma abordagem geodésica da locação e controle dimensional de estruturas da construção civil” de Silva (2014).

A não transformação de coordenadas UTM em coordenadas no Sistema Geodésico Local (SGL) pode repercutir em um valor equivocado de área, quando essa representa a superfície plana local de um imóvel. O uso de coordenadas UTM para o cálculo de azimute plano, em vez do azimute plano local, e sua utilização como azimute inicial para o cálculo de uma poligonal, poderá repercutir também em equívocos no posicionamento de seus respectivos vértices. Mais detalhes podem ser encontrados no artigo ‘A gestão territorial das prefeituras municipais e o problema das coordenadas pseudo-UTMs na avaliação de áreas e posicionamento de imóveis’ de Santos e Seixas (2018).

As coordenadas geodésicas advindas do rastreamento GNSS são apresentadas no Sistema Geodésico de Referência SIRGAS2000. Tais coordenadas para serem transformadas precisam passar pela sequência de cálculos como apresentadas em Santos e Seixas (2018).

As notações dos parâmetros para transformação de sistemas geodésicos seguem o IBGE em sua Resolução nº 23 de 1989 (IBGE, 1989). São elas: φ - Latitude geodésica; λ - Longitude geodésica; h - Altitude elipsoidal; X, Y, Z - Coordenadas cartesianas geocêntricas; e N - raio de curvatura da seção primeiro vertical.

A transformação de coordenadas geodésicas em cartesianas geocêntricas se dá pelas equações 1 a 3 (IBGE, 1989):

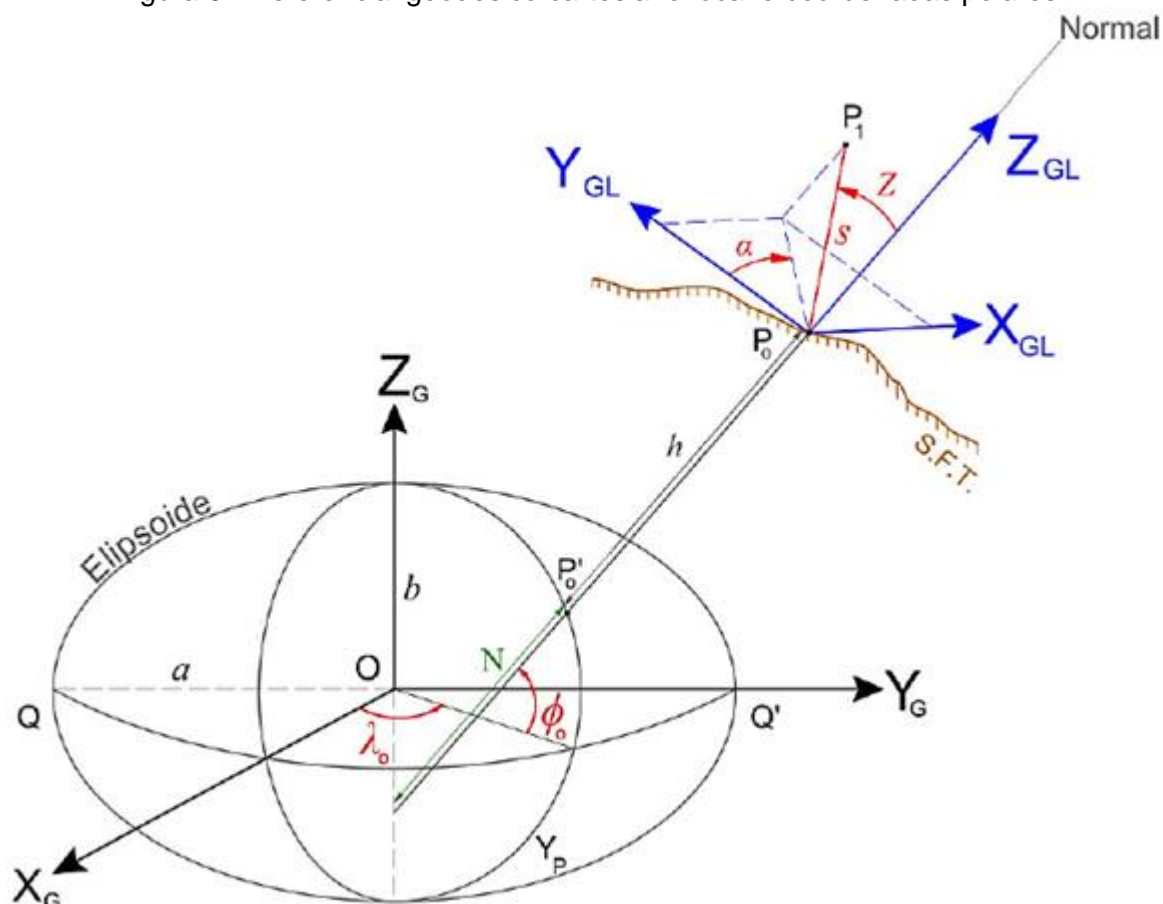
$$X = (N + h) \cdot \cos\varphi \cdot \cos\lambda \quad (1)$$

$$Y = (N + h) \cdot \cos\varphi \cdot \sin\lambda \quad (2)$$

$$Z = [N \cdot (1 - e^2) + h] \cdot \sin\varphi \quad (3)$$

A conversão de coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z)_G para coordenadas cartesianas locais (X, Y, Z)_{GL} é feita por meio do método das rotações e translações (Figura 8), conforme modelo funcional da equação 4 (GARNÉS, 1998; TORGE 2001; DAL'FORNO et al., 2010):

Figura 8 - Referencial geodésico cartesiano local e coordenadas polares



Fonte: Adaptada de GARNÉS (1998) e SOUZA (2012)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{GL} = \begin{bmatrix} -\text{sen}(\lambda_o) & \cos(\lambda_o) & 0 \\ -\text{sen}(\Phi_o) \cdot \cos(\lambda_o) & -\text{sen}(\Phi_o) \cdot \text{sen}(\lambda_o) & \cos(\Phi_o) \\ \cos(\Phi_o) \cdot \cos(\lambda_o) & \cos(\Phi_o) \cdot \text{sen}(\lambda_o) & \text{sen}(\Phi_o) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - X_o \\ Y - Y_o \\ Z - Z_o \end{bmatrix}_G \quad (4)$$

Em que:

$(X, Y, Z)_{GL}$ = são as coordenadas cartesianas locais do vértice de interesse;

$(X, Y, Z)_G$ = são as coordenadas cartesianas geocêntricas do vértice de interesse;

Φ_o, λ_o = são a latitude e a longitude adotadas como origem do SGL;

$(X_o, Y_o, Z_o)_G$ = coordenadas cartesianas geocêntricas adotadas como origem do SGL.

3.1.3 Poligonação com Centragem Forçada

O método da poligonação consiste na medição de lados e ângulos sucessivos de uma poligonal, percorrendo-se seus limites. A NBR 13133 (ABNT, 1994), no ajustamento de poligonais e no estabelecimento das tolerâncias para o seu fechamento, classifica a poligonal em três tipos: tipo 1 - Poligonais apoiadas e fechadas numa só direção e num só ponto; tipo 2 - Poligonais apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento curvo; e tipo 3 - Poligonais apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento retilíneo.

A poligonação é um dos procedimentos topográficos mais comuns. Tomou impulso definitivo a partir do advento dos instrumentos de medições eletrônicas. As medições concomitantes de ângulos e distâncias facilitaram enormemente o uso dos métodos de poligonação para a implantação de pontos de apoio topográfico. O procedimento de campo consiste em, a partir de pontos da rede geodésica oficial ou determinados por medições com a tecnologia GNSS, lançar os novos pontos por intermédio de um estabelecimento e uma poligonal geometricamente bem definida. Estabelecer uma poligonal significa realizar um caminhamento sobre o terreno, realizando um transporte de coordenadas. A partir do encadeamento de medições angulares e lineares são calculadas as coordenadas dos novos pontos de apoio (SILVA; SEGANTINE, 2015).

O método de poligonação com centragem forçada é utilizado para garantir a estabilidade da posição durante o levantamento, ainda que seja realizada a troca de instrumentos. Logo, os principais objetivos desta técnica são: minimizar os erros de

centragem e garantir a estabilidade dos instrumentos, sempre na mesma posição. Conforme Kahmen e Faig (1988) e Siguel, Faggion e Koenig (2013), este método necessita de certas ponderações durante o procedimento de medição: que a base nivelante permaneça centrada e nivelada, mesmo depois da troca entre o sistema de prisma, acoplado ao adaptador base-prisma, e a alidade do equipamento de medição.

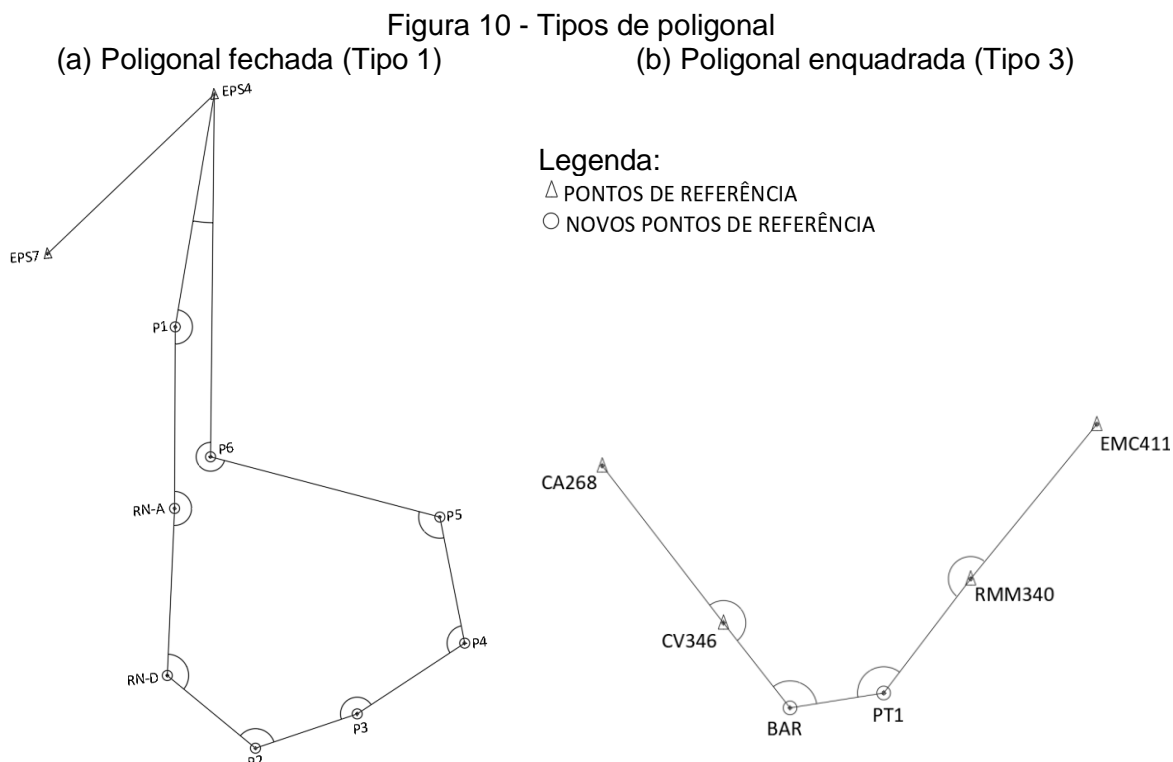
O tripé, a base e o instrumento de medição formam o conjunto para realizar o procedimento de centragem forçada. Após a calagem do instrumento de medição, este pode ser retirado e substituído por outra instrumentação, tal como prisma. Para a execução do método é fundamental o uso mínimo de um instrumento de medição, três tripés, dois prismas, duas bases nivelantes e dois adaptadores base-prisma (KAHMEN; FAIG, 1988). A Figura 9 apresenta os sistemas de encaixe entre a alidade do equipamento e o sistema base prisma (sistema de centragem forçada com um encaixe e conexão cilíndrica com a base nivelante).

Figura 9 - Componentes da centragem forçada



Fonte: KAHMEN; FAIG (1998)

Esta dissertação apresenta a poligonal do tipo enquadrada para a área de estudo no bairro de Torreão-Recife-PE (item 5.1 b), e poligonal do tipo fechada na área de estudo do *Campus* da UFPE (item 5.1 a), em que se parte de dois pontos com coordenadas conhecidas e acabam em outros dois pontos com coordenadas conhecidas (Figura 10a e Figura 10b, respectivamente). Permite, então, a verificação do erro de fechamento angular e linear.



Fonte: a autora

De acordo a NBR 13133 (ABNT, 1994), sabendo que a poligonal é do tipo 1 (poligonais apoiadas e fechadas numa só direção e num só ponto), e que para determinar a classe da poligonal tipo 1 é necessário conhecer os coeficientes “b” e “d”, sendo “b” o coeficiente que expressa a tolerância para o erro de medição do ângulo poligonal, igual a três vezes o erro médio angular temível; e “d” o coeficiente que expressa a tolerância para o erro de fechamento linear em m/km de desenvolvimento poligonal (Tabela 1). As equações 5 e 6 fornecem as tolerâncias angulares (T_a) e lineares (T_L). Para poligonais do tipo 1 os coeficientes “a” e “c” são nulos, para poligonais dos tipos 5 e 6, os coeficientes “a” e “c” são dados por “ $e_{AZ} \cdot \sqrt{2}$ ” e “ $e_V \cdot \sqrt{2}$ ”, respectivamente.

$$T_a \leq a + b * \sqrt{N} \quad (5)$$

$$T_L \leq c + d * \sqrt{L} \text{ (km)} \quad (6)$$

Sendo:

e_{AZ} : valor máximo aceitável para o erro médio em azimute

e_V : valor máximo aceitável para o erro médio em coordenadas

N: número de vértices poligonais, incluindo os de partida e de chegada

L: comprimento total da poligonal

Tabela 1 - Valores de “b”, “d”, “e”, e “f” para determinação da classe da poligonal

Poligonais		Coeficientes			
Classe	Tipo ^(A)	b	d(m)	e(m)	f(m)
		segundos sexagesimais			
I P	1 e 2	6”	0,10	-	-
	3	6”	-	0,02	0,04
II P	1 e 2	15”	0,30	-	-
	3	15”	-	0,04	0,12
III P	1 e 2	20”	0,42	-	-
	3	20”	-	0,06	0,15
IV P	1 e 2	40”	0,56	-	-
	3	40”	-	0,11	0,17

Fonte: NBR 13133 (ABNT, 1994)

3.1.4 Interseção a Ré

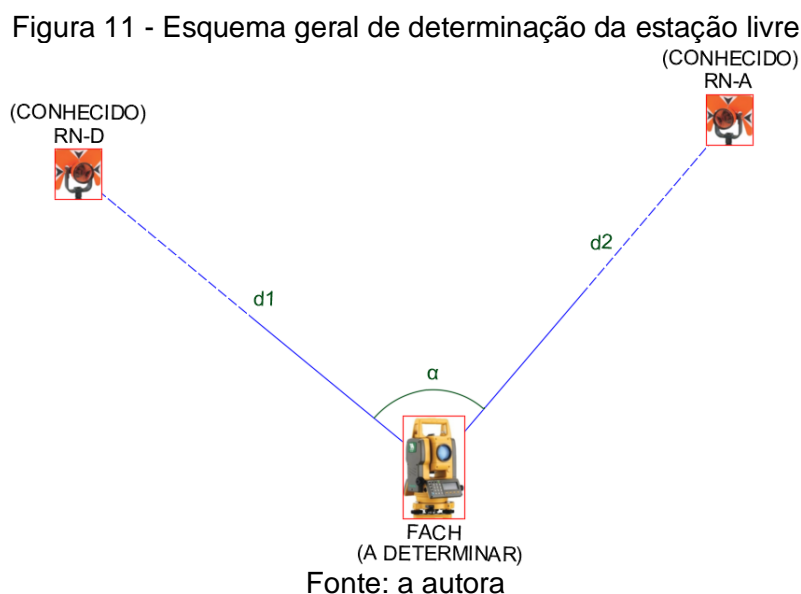
Denomina-se genericamente os métodos de interseção, as operações destinadas a obter posições planialtimétricas de pontos, utilizando outros pontos de coordenadas conhecidas e medições de ângulos e/ou distâncias com uma estação total. A aplicação fundamental do método de interseção consiste em permitir a densificação das redes existentes.

Segundo Kahmen e Faig (1988), o método de interseção a ré pode ser realizado por três maneiras diferentes: por meio de medições de direção; por meio de medições de distâncias; e por meio de medições combinadas de direção e distância. Apesar das 3 possibilidades de observações, é abordado nessa dissertação o método da interseção a ré em que são medidas direções e distâncias.

O método de interseção a ré de medições combinadas de direção e distância é conhecido pelo método de estação livre. Segundo Erba, Oliveira e Lima Junior (2005), o método da estação livre é utilizado quando não é possível instalar o instrumento em um ponto de coordenadas conhecidas. Portanto, instala-se o instrumento no ponto que se deseja determinar e visa-se pelo menos dois outros pontos com coordenadas conhecidas.

O método da estação livre é empregado quando se deseja determinar as coordenadas do vértice topográfico sob o qual uma estação total está instalado. Para isso é necessário que sejam medidos pelo menos dois pontos de coordenadas conhecidas (KAHMEN; FAIG, 1988).

As coordenadas da estação são obtidas através da leitura de direções e de distâncias com visadas aos pontos de referência (Figura 11). Uma vez que o ponto tem as suas coordenadas calculadas, este é tido como ponto ocupado, sendo possível a coleta dos pontos de detalhe.



3.1.5 Nivelamento Geométrico Composto

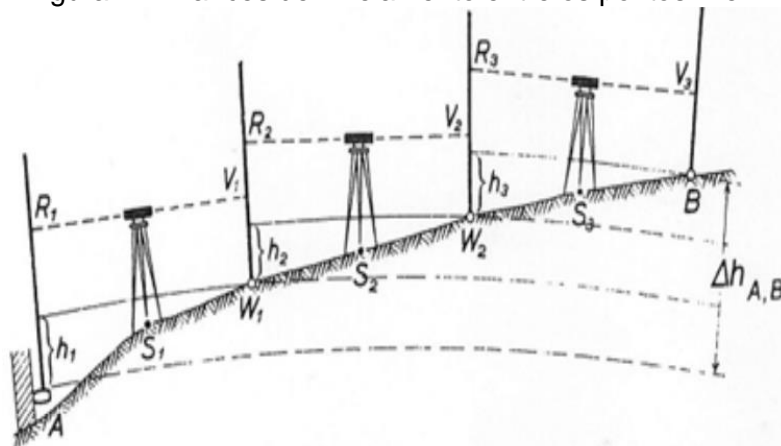
Dá-se o nome de nivelamento, o conjunto de operações por meio das quais se determina a elevação de um ou mais pontos específicos sobre uma superfície de referência horizontal determinada ou imaginária, conhecida como a superfície ou plano de referência.

O nivelamento geométrico é um método comumente empregado na engenharia, que a partir de um equipamento de nível de luneta com ampliação adequada é usado para ler miras (régua graduada) colocadas à mesma distância do nível (equipamento de medição), determina o desnível entre pontos pela diferença entre a leitura de ré e a de vante efetuadas nos pontos. Neste método se deseja determinar o desnível entre pontos (SILVA, 2017). Tem o objetivo de estabelecer pontos de controle destinados à obtenção da elevação de um ponto específico com base em outro conhecido. O nivelamento geométrico é classificado como simples ou composto.

3.1.5.1 Considerações Gerais

Segundo Espartel (1987), denomina-se nivelamento composto o nivelamento que exige mais de uma estação do nível, decompondo-se o trecho a nivelar (Figura 12).

Figura 12 - Lances de nivelamento entre os pontos A e B



Fonte: KAHMEN (2006)

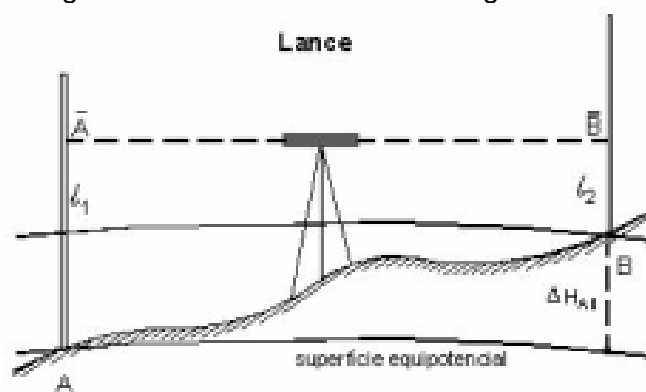
No método de visadas iguais as duas miras são colocadas à mesma distância do nível, sobre os pontos que se deseja determinar o desnível, sendo então efetuadas as leituras (Figura 12), onde o desnível é determinado pela diferença entre a leitura de ré e a de vante (VEIGA; ZANETTI; FAGGION, 2012).

A partir da Figura 12 deduz-se que o desnível de B em relação a A é dado pela diferença das leituras de ré e de vante, como mostrado na equação 7.

$$\Delta H_{AB} = \Delta h = \text{Leitura de ré} - \text{Leitura de vante} \quad (7)$$

Para a presente dissertação, as reduções quanto à refração e à curvatura terrestre não foram consideradas para a irradiação de pontos, pois as distâncias horizontais para os pontos irradiados são menores que 40m. Além disso, as linhas niveladas foram realizadas com distâncias de visadas iguais, no qual os erros cometidos na medição da diferença de nível são iguais entre visadas de ré e vante em um lance de nivelamento (Figura 13).

Figura 13 - Lance no nivelamento geométrico

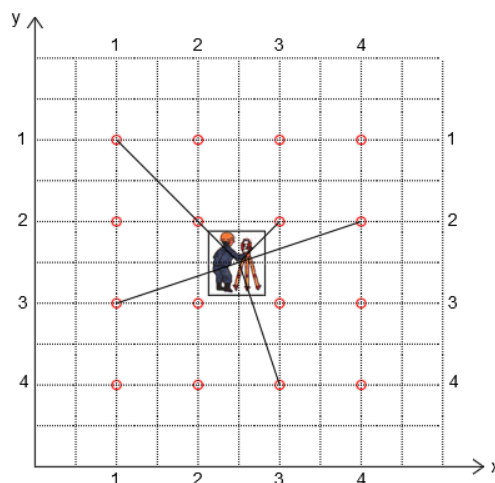


Fonte: BLITZKOW, CAMPOS e FREITAS, 2004

Para melhor representar o terreno ou a superfície de observação, esta é discretizada em forma de um quadriculado.

Nesta dissertação o método será utilizado para o transporte de altitude de uma Referência de Nível conhecida para pontos no interior da edificação da área de estudo 1, dispondo da técnica de quadriculado/reticulado, que consiste em desenvolver uma malha regular, de forma que, a partir de um ponto de coordenadas planialtimétricas conhecidas no exterior da grade, visem-se todos os pontos da malha por meio do nivelamento geométrico. Isto permite a determinação de altitudes da grade $N \times N$, até um alcance prévio determinado, possibilitando a identificação da variação da planeza do local, ou seja, a aplicação do método de nivelamento geométrico simples. A discretização do terreno em forma de um quadriculado/reticulado é também aplicada na terraplenagem (Figura 14).

Figura 14 - Quadriculado/reticulado através das técnicas de nivelamento



Fonte: a autora

3.1.5.2 Verificação e Retificação de Níveis: Método *Kukkamäki*

Como todos os equipamentos utilizados na Topografia, os níveis são susceptíveis a erros sistemáticos. Logo, verificações periódicas são necessárias para a boa garantia dos resultados de campo, permitindo tornar os erros aleatórios os mínimos possíveis (DEUMILICH; STEIGER, 2002 apud SEIXAS et al., 2014).

Para a realização do nivelamento geométrico, é imprescindível o conhecimento das características técnicas do equipamento a ser manipulado. Conhecer a precisão fornecida pelo fabricante permite a classificação do equipamento de acordo com a NBR 13133 (ABNT, 1994), que classifica os níveis segundo o desvio padrão de 1 km de duplo nivelamento (Tabela 2). Para o nível digital 302A FOIF utilizado nessa dissertação com $\pm 0,7\text{mm/km}$, pode-se classificá-lo como nível de precisão muito alta.

Tabela 2 - Classificação dos níveis

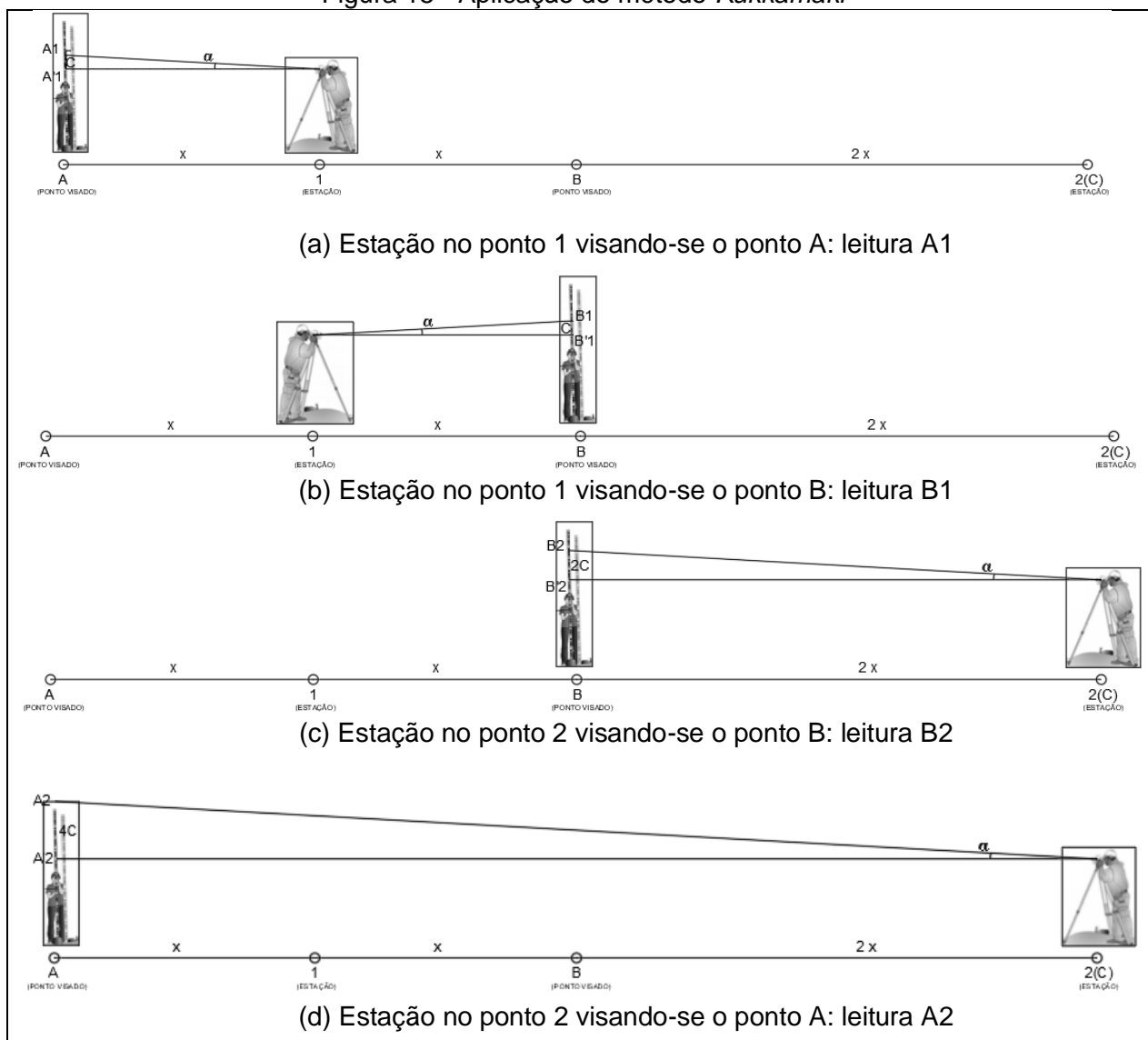
Classes de níveis	Desvio-padrão
1 – precisão baixa	$> \pm 10 \text{ mm/km}$
2 – precisão média	$\leq \pm 10 \text{ mm/km}$
3 – precisão alta	$\leq \pm 3 \text{ mm/km}$
4 – precisão muito alta	$\leq \pm 1 \text{ mm/km}$

Fonte: NBR 13133 (ABNT, 1994)

Antes de cada campanha de medição de nivelamento deve ser realizado um método de verificação e ajuste de nível. O nível digital possibilita a realização da verificação do eixo de colimação e o cálculo do erro de colimação (C) automaticamente, utilizando os comandos eletrônicos embutidos no nível.

Para isso é importante seguir os procedimentos propostos de verificação dos equipamentos. Nesta dissertação, dar-se-á ênfase aos métodos de verificação, utilizando o método *Kukkamäki* empregado a partir de comandos automáticos nos níveis digitais.

Para o procedimento de verificação através da metodologia *Kukkamäki*, utiliza-se 4 pontos dispostos, alinhados e igualmente espaçados. O método consiste em se estacionar o nível a uma distância “x” entre um ponto “A” e um ponto “B”, onde as miras são apoiadas (Figura 15a e Figura 15b). Em seguida, estaciona-se o nível de forma que este fique a uma distância “2x” do ponto “B” e “4x” do ponto “A”, conforme Figura 15c e Figura 15d (KAHMEN; FAIG, 1988).

Figura 15 - Aplicação do método *Kukkamäki*

Fonte: Adaptada de Kahmen e Faig, 1988

A aplicação desse método permite a determinação do erro de colimação 'C' dado pela equação 8 descrita em Kahmen e Faig (1988). Posteriormente, obtêm-se as leituras (equações 9 e 10) corrigidas do erro de colimação (C). Obtendo-se assim, o desnível entre os pontos A e B (equação 11).

$$2 \cdot C = (A_2 - B_2) - (A_1 - B_1) \quad (8)$$

$$A'_2 = A_2 - 4 \cdot C \quad (9)$$

$$B'_2 = B_2 - 2 \cdot C \quad (10)$$

$$\Delta H_{AB} = A'_2 - B'_2 = A_1 - B_1 \quad (11)$$

Em que:

C: erro de colimação vertical do nível

A1, B1, A2, B2: leitura do fio nivelador na mira mais o erro de colimação

A'1, B'1, A'2, B'2: leitura do fio nivelador na mira sem o erro de colimação

ΔH_{AB} : desnível entre os pontos A e B

3.2 MÉTODOS GEODÉSICOS/TOPOGRÁFICOS PARA A DEFINIÇÃO DE PONTOS-OBJETO

Este item detalha separadamente as técnicas geodésicas/topográficas empregadas nas medições de campo dos pontos-objeto.

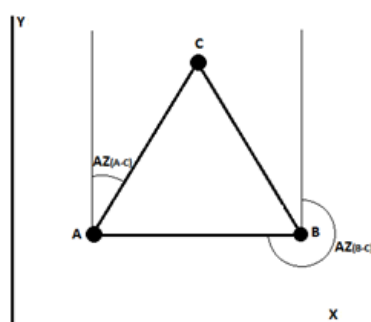
3.2.1 Métodos Clássicos

Os métodos clássicos da geodésia/topografia são assim denominados por fazerem uso da utilização de instrumentos como estação total e nível, permitindo a medição fundamental de ângulos e distâncias.

3.2.1.1 Interseção a Vante 2D

O Método de interseção a vante é empregado quando se quer determinar as coordenadas de um ponto a partir de duas ou mais coordenadas conhecidas, comumente indicado para acesso a pontos de difícil acesso. Conhecidas as coordenadas de A(X_A, Y_A) e de B(X_B, Y_B), determina-se os ângulos α e β e calculam-se as coordenadas de C(X_C, Y_C). Ou seja, a partir de duas linhas de visada (Figura 16).

Figura 16 - Intersecção a vante 2D



Fonte: a autora

As coordenadas planimétricas do ponto C são dadas pelas equações 12 e 13.

$$X_C = X_B + \text{dist}_{BC} \cdot \text{sen}(Az_{BC}) \quad Y_C = Y_B + \text{dist}_{BC} \cdot \text{cos}(Az_{BC}) \quad (12)$$

ou

$$X_C = X_A + \text{dist}_{AC} \cdot \text{sen}(Az_{AC}) \quad Y_C = Y_A + \text{dist}_{AC} \cdot \text{cos}(Az_{AC}) \quad (13)$$

O ajustamento se deu pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) (modelo paramétrico – método da interseção linear). Conforme explanado em (KAHMEN E FAIG, 1988), forma-se uma equação de distância para cada distância medida e reduzida ao horizonte (equação 14).

$$S_{ij0} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \quad (14)$$

O modelo matemático descrito em Kahmen & Faig (1988) para ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados de uma trilateração é apresentado na equação 15:

$$V_i = a_{i1}(dx) + a_{i2}(dy) + a_{i3}(dq) - L_i \quad (15)$$

As equações 16 e 17 demonstram os cálculos dos parâmetros para a solução da equação 15, do modelo matemático.

$$a_{i1} = \frac{X_0 - X_i}{S_{ij0}} \quad a_{i2} = \frac{Y_0 - Y_i}{S_{ij0}} \quad a_{i3} = S_{ij0} \cdot (0,001) \quad (16)$$

$$L_i = S_{ij} - S_0 \quad (17)$$

Em que,

- S_{ij} é a distância medida com o instrumento de medição;
- (X_0, Y_0) são as coordenadas que serão ajustadas. Neste caso, foram utilizadas as obtidas por interseção a vante;
- (X_i, Y_i) são as coordenadas do ponto P_i do qual foi medida a distância ao alvo.

A descrição do modelo linear é dado pela equação 18, explicada pelas equações 19 a 24.

$$V = A \cdot X - L \quad (18)$$

Matriz dos coeficientes:

$$A = \begin{matrix} a_{i1}(1,1) & a_{i2}(1,1) & a_{i3}(1,1) \\ a_{i1}(2,1) & a_{i2}(2,1) & a_{i3}(2,1) \\ a_{i1}(3,1) & a_{i2}(3,1) & a_{i3}(3,1) \end{matrix} \quad (19)$$

Correções dos parâmetros:

$$X = \begin{matrix} dx \\ dy \end{matrix} \quad (20)$$

Fazendo: $N = A^T \cdot A \quad (21)$

$$n = A^T \cdot L \quad (22)$$

$$X = N^{-1} \cdot n \quad (23)$$

$$S_0^2 = V^T \cdot V / (e-u) \quad (24)$$

Em que,

N: é a matriz dos coeficientes das equações normais;

L: é o vetor da diferença entre os vetores das distâncias: medidas e calculadas;

e: número de equações;

u: número de incógnitas.

Importante salientar que a matriz peso “P” é considerada neste modelo de ajustamento como matriz identidade.

Por fim, determina-se os desvios-padrão (S(x), S(y)), das incógnitas e as coordenadas ajustadas (X,Y), através das equações 25 a 28.

$$S(x) = \sqrt{S_0^2 \cdot N^{-1}(1,1)} \quad (25)$$

$$S(y) = \sqrt{S_0^2 \cdot N^{-1}(2,2)} \quad (26)$$

$$X = X_0 + dx \quad (27)$$

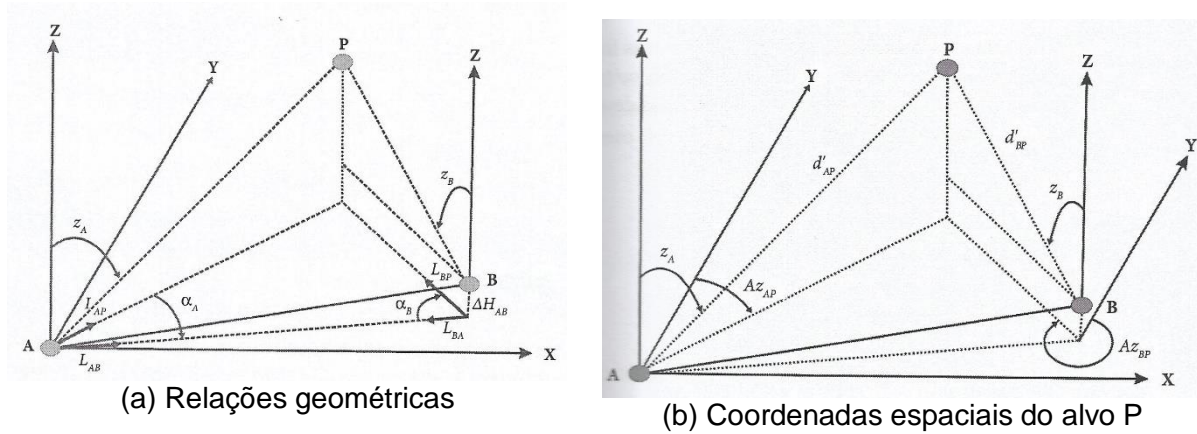
$$Y = Y_0 + dy \quad (28)$$

3.2.1.2 Interseção a Vante 3D

O método de interseção a vante é empregado quando se quer determinar as coordenadas de um ponto inacessível a partir de dois ou mais pontos acessíveis de coordenadas conhecidas. Conforme Silva e Segantine (2015), o método de interseção a vante 3D é baseado na medição de direções horizontais e ângulos verticais entre duas estações de referência (A e B) e o ponto a ser medido (Figura 17a). A determinação das coordenadas 3D (X,Y,Z) se faz por meio da solução de um sistema

de equações estabelecidas em função dos cossenos diretores, determinados pelas linhas de visadas (Figura 17b). As equações 29 a 45 são utilizadas para determinação das coordenadas de P.

Figura 17 - Interseção espacial



Fonte: SILVA e SEGANTINE (2015)

$$k_i = \text{sen}(Z_i) \cdot \text{sen}(Az_{iP}) \quad (29)$$

$$m_i = \text{sen}(Z_i) \cdot \text{cos}(Az_{iP}) \quad (30)$$

$$n_i = \text{cos}(Z_i) \quad (31)$$

$$V = \begin{bmatrix} v1 \\ v2 \\ v3 \end{bmatrix} \quad (32)$$

$$A = \begin{bmatrix} k_A & -k_B \\ m_A & -m_B \\ n_A & -n_B \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$X = \begin{bmatrix} d'_{AP} \\ d'_{BP} \end{bmatrix} \quad (34)$$

$$L = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ H_B - H_A \end{bmatrix} \quad (35)$$

$$X = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot L \quad (36)$$

$$X_{P(A)} = X_A + (k_A \cdot d'_{AP}) \quad (37)$$

$$Y_{P(A)} = Y_A + (m_A \cdot d'_{AP}) \quad (38)$$

$$H_{P(A)} = H_A + (n_A \cdot d'_{AP}) \quad (39)$$

$$X_{P(B)} = X_B + (k_B \cdot d'_{BP}) \quad (40)$$

$$Y_{P(B)} = Y_B + (m_B \cdot d'_{BP}) \quad (41)$$

$$H_{P(B)} = H_B + (n_B \cdot d'_{BP}) \quad (42)$$

$$X_P = \frac{X_{P(A)} + X_{P(B)}}{2} \quad (43)$$

$$Y_P = \frac{Y_{P(A)} + Y_{P(B)}}{2} \quad (44)$$

$$H_P = \frac{H_{P(A)} + H_{P(B)}}{2} \quad (45)$$

Sendo:

Z_A e Z_B : zênite entre as estações de referência (A, B) e o ponto P;

Az_A e Az_B : azimute entre as estações de referência (A, B) e o ponto P;

v_1, v_2, v_3 : erros residuais;

V, A, X, L: matrizes do modelo paramétrico do ajustamento por MMQ;

d'_{AP}, d'_{BP} : distâncias inclinadas entre as estações de referência (A, B) e o ponto P

$X_{P(i)}, Y_{P(i)}, H_{P(i)}$: coordenadas P calculadas a partir das estações de referência A e B;

$X_A, Y_A, H_A, X_B, Y_B, H_B$: coordenadas de A e B.

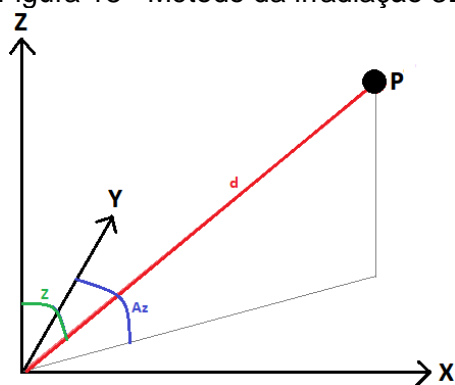
3.2.1.3 Irradiação 3D

O método da irradiação 3D, também conhecido como método polar, consiste em, a partir de uma linha de referência conhecida, medir um ângulo vertical, uma direção horizontal e uma distância inclinada.

Segundo Veiga, Zanetti e Faggion (2012), o equipamento fica estacionado sobre um ponto e faz-se a “varredura” dos elementos de interesse próximos ao ponto ocupado, medindo direções e distâncias para cada detalhe a ser representado.

Nesta dissertação, a irradiação é aplicada na determinação de pontos da fachada, para o estudo de ajuste de coordenadas no plano da fachada; e pontos de quadriculado/reticulado na laje, também para ajuste de coordenadas no plano horizontal. Para o caso da fachada, tem-se irradiação simples, dupla e tripla (item 6.1.4.1). As irradiações duplas e triplas permitiram a análise da qualidade das coordenadas, assim como o ajustamento por MMQ. Esse ajustamento é importante, considerando-se que para as medições na fachada, as distâncias inclinadas foram obtidas sem prisma.

Figura 18 - Método da irradiação 3D



Fonte: a autora

3.2.1.4 Nivelamento Geométrico Simples e Irradiante

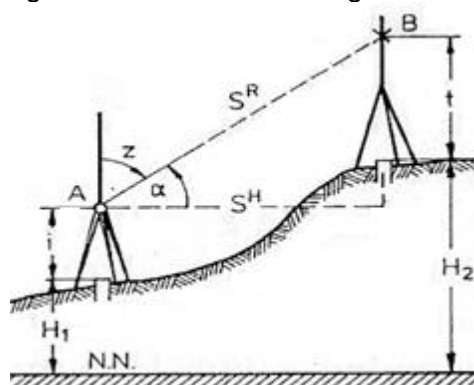
O nivelamento geométrico simples, é o que se faz com apenas uma instalação do nível. Para achar as diferenças de nível entre quaisquer pontos, subtraem-se as respectivas cotas ou altitudes ou as diferenças entre as visadas (ESPARTEL, 1987). O instrumento se localiza no ponto mais conveniente, oferecendo uma melhor visibilidade. A primeira leitura (Figura 14) se faz sobre a mira colocada em um ponto estável e fixo com coordenada altimétrica conhecida, denominada como Referência de Nível (RN).

3.2.1.5 Nivelamento Trigonométrico de Visadas Unilaterais

Diz-se que dois ou mais pontos estão nivelados quando estão à mesma cota ou altitude em relação ao mesmo plano de referência, caso contrário, diz-se que há uma diferença entre estas.

No método do nivelamento trigonométrico as diferenças de nível são determinadas pela resolução de triângulos retângulos (Figura 19).

Figura 19 - Nivelamento trigonométrico



Fonte: KAHMEN (2006)

Medindo-se a distância inclinada (S^R) e o ângulo zenital (Z), determina-se a distância vertical através da resolução do triângulo retângulo. Esse método é menos preciso que o nivelamento geométrico, mas em contrapartida permite a determinação de altitude(s) em linhas de visadas em diferentes elevações (KAHMEN, 2006).

Tem como objetivo determinar a diferença de nível entre dois pontos através da medição da distância inclinada e do ângulo zenital ou vertical. Na Topografia/Geodésia, tal método de nivelamento fornece uma forma rápida para a determinação dos pontos de elevações no terreno.

Conforme Kahmen (2006), além das informações relativas à distância horizontal (S^H) ou inclinada (S^R), ângulos verticais zenitais (Z), é necessário medir a altura do instrumento (i) e do refletor (t). A Figura 19 mostra a resolução com um triângulo retângulo vertical, evidenciando a obtenção do desnível através das equações 46 e 47:

$$\text{Com a distância horizontal: } \Delta h_{AB} = [S^H \times \cotg(Z)] + i - t \quad (46)$$

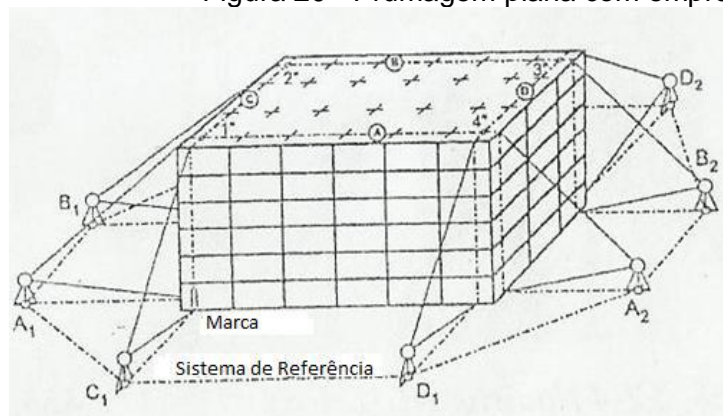
$$\text{Com a distância inclinada: } \Delta h_{AB} = [S^R \times \cos(Z)] + i - t \quad (47)$$

Para distâncias acima de 150m recomenda-se no nivelamento trigonométrico a utilização das correções do efeito da curvatura terrestre e da refração atmosférica (SILVA e SEGANTINE, 2015).

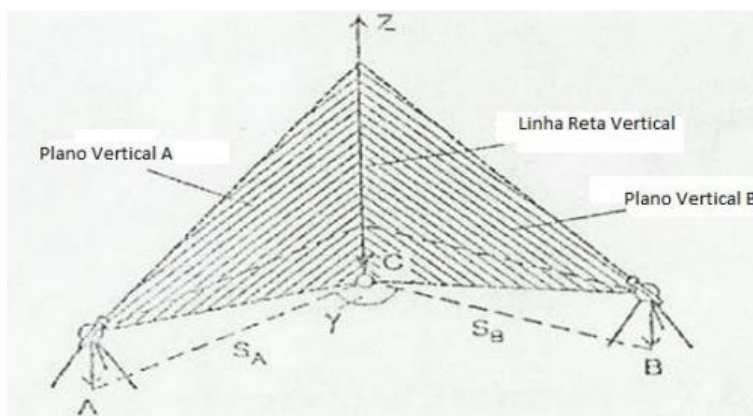
3.2.1.6 Prumagem Óptica: Plana e Zenital

Araújo et al. (2011) cita que o método da prumagem óptica plana, prumagem de alta precisão, é exigido na construção de objetos de grande porte vertical, como edifícios de grande porte (prédios de moradia e comercial, torres de comunicação, torres eólicas, guindastes, pilares de pontes), sendo também muito empregado em construções subterrâneas e de minas. A prumagem plana é realizada por meio de dois planos ópticos verticais estendidos por teodolitos a partir de dois pontos de estação A e B, de coordenadas conhecidas, de modo que esses planos se interceptem aproximadamente perpendicularmente (Figura 20a e Figura 20b) (MÖSER et al. (2000) apud ARAÚJO (2013)).

Figura 20 - Prumagem plana com emprego de teodolitos



(a) Formação de planos perpendiculares



(b) Linha formada pela interseção de dois planos perpendiculares

Fonte: MÖSER et al. (2000) apud ARAÚJO (2013)

A partir das coordenadas conhecidas e das observações angulares realizadas para o ponto-objeto C é possível determinar suas coordenadas. Este método está diretamente relacionado com o método da interseção a vante, onde se determina coordenadas de um determinado ponto normalmente inacessível, através de dois pontos de coordenadas (MOESER et al., 2000 apud ARAÚJO et al., 2011). A aplicação desse método é ideal para obras ainda em fase estrutural.

Na prumagem óptica a linha de referência vertical (linha de prumo) é realizada através de uma linha de visada óptica (Figura 21). A linha de visada, dependendo da construção do equipamento, poderá ser centralizada (co-axial) ou excêntrica e poderá ser instalada na vertical por meio de nível de bolha, compensador ou nível de horizonte líquido (MOESER et al., 2000 apud ARAÚJO et al., 2011).

Figura 21 - Prumo zenital de precisão
FG-L 100 (FPM Holding GmbH, Freiberg)



Fonte: MOESER et al. (2000)

3.2.2 Métodos Modernos

Os métodos modernos da geodésia/topografia são assim denominados por equipamentos que oferecem técnicas de medições além das fundamentais (ângulos e distâncias), usualmente com auxílio de métodos computacionais. Dentre esses equipamentos, cita-se a Máquina de Medição por Coordenadas (MMC), o *LASER scan 3D* e o braço robótico.

3.2.2.1 Máquina de Medição por Coordenadas (MMC)

Máquinas de Medição por Coordenadas (MMC) são máquinas que fornecem representações de sistemas coordenados cartesianos, retilíneos e tridimensionais (HAMBURG-PIEKAR, 2006).

A técnica de medição por coordenadas (Figura 22) vem a cada dia aumentando seu campo de atuação nas operações de controle geométrico devido ao seu elevado nível de flexibilidade, universalidade, informatização, automação, bem como os seus baixos níveis de incerteza frente as tolerâncias dimensionais e geométricas de um grande número de peças da indústria (BRITO NETO, 2003).

Figura 22 - Tipos de máquina de medir coordenadas



O emprego das MMCs possibilita o controle de dimensões lineares em uma ou duas direções, posições em três direções, alturas, rebaixos, superfícies únicas e inclinadas, contornos ou perfis, desvios geométricos, posicionamento de furos, e inter-relacionamento geométrico (ABACKERLI, 1997). O grande potencial e versatilidade para medição das mais diversas características geométricas e dimensionais é o principal motivo da sua grande aceitação, dos laboratórios de calibração até o chão de fábrica (HAMBURG-PIEKAR, 2006).

Com o desenvolvimento da MMC, tem-se uma melhor possibilidade de verificação da conformidade de peças com os requisitos de tolerâncias especificadas, ampliam as possibilidades de inspeção, reduzem os seus custos e ampliam a capacidade do equipamento de produção e do pessoal existente. O controle geométrico (dimensão, forma e posição) de peças depende da incerteza de medição dos sistemas de medição, a mesma constitui um importante critério de avaliação dos sistemas de medição (NORONHA, 1994).

Segundo Brito Neto (2003), pode-se considerar as MMCs como sendo sistemas de medição com excelente nível de exatidão (o quão próximo do valor real está). A desconsideração com as especificações do equipamento, a inadequada preparação do ambiente e o desconhecimento das fontes de incerteza que atuam sobre o processo de medição, podem ser as origens de elevados níveis de incerteza em medições utilizando-se MMCs. As fontes de incertezas associadas a medição por coordenadas podem ser classificadas dentro de quatro grupos: a. CMM; b. ambiente de medição; c. peça; e d. operador juntamente com a estratégia de medição.

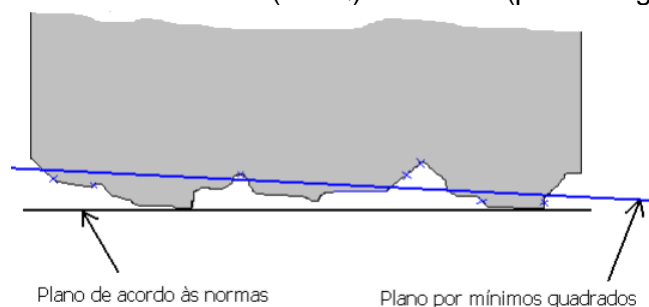
Ainda de acordo com Brito Neto (2003), a flexibilidade das MMC é, sem dúvida, a maior vantagem oferecida por esta tecnologia. A sua capacidade de adaptar-se

rapidamente a diferentes tipos de medições requeridas pelo controle dimensional e geométrico de componentes mecânicos, a torna a principal opção na medição de peças com geometrias complexas. As principais potencialidades do uso da técnica da medição por coordenadas são segundo o mesmo autor:

- a. Flexibilidade: medição de peças sob as mais variadas condições e quase sem limitações de forma;
- b. Elevado nível de automação: programação de rotinas de medição e diminuição da influência do operador;
- c. Universalidade: capaz de verificar toda a geometria de uma peça (dimensional, desvio de forma e posição);
- d. Integração com o processo produtivo automatizado: facilidade para o uso de ferramentas estatísticas;
- e. Ótimos níveis de exatidão: incerteza de medição compatível com as tolerâncias dimensionais e geométricas da maioria das peças; e
- f. Elevado nível de informatização: automação no tratamento e documentação dos dados de medição; programação de medições “*off-line*”; *softwares* oferecendo quase ilimitada capacidade de processamento geométrico; e integração de dados de CAD.

Na literatura, os erros de uma máquina de medir a três coordenadas são agrupados geralmente, segundo as suas fontes de erros. As fontes de incerteza atuantes na medição por coordenadas é categorizada em quatro grandes grupos: máquina, peça, ambiente, e finalmente, operador e estratégia de medição. Quanto a este último grupo, seja qual for a MMC que esteja sendo utilizada, a peça que será medida ou o ambiente de medição, o conhecimento de boas práticas metrológicas é essencial para o sucesso das medições. Um exemplo prático da problemática antes descrita é a determinação de um plano de referência quando é preciso realizar medições de elementos geométricos em relação a planos de referência. A prática comum dos operadores de MMC é a de criar um plano de referência como sendo aqueles que são tangentes às superfícies dos Mínimos Quadrados, obtido após a apalpação de uns poucos pontos na superfície da peça (Figura 23). Como consequência, qualquer medição posterior que esteja relacionada aos planos criados a partir desta estratégia apresentará um erro sistemático (HAMBURG-PIEKAR, 2006).

Figura 23 - Plano: MMC (MMQ) x Normas (plano tangente)



Fonte: HAMBURG-PIEKAR (2006)

As exigências de qualidade resultaram em especificações mais severas de projeto que conseqüentemente desencadearam mudanças no controle geométrico e dimensional na indústria. A popularização das MMCs tem demonstrado atender aos níveis de qualidade desejados, porém apesar do elevado desempenho para medir geometrias diversas, seus resultados estão sujeitos a erros e incertezas de medição. Especificamente para produtos caracterizados como superfícies de forma livre, têm-se desenvolvido técnicas especiais de medição na utilização de MMC (SILVA; PAPA; ASSUMPÇÃO, 2014).

3.2.2.2 Laser Scan 3D

A planeza e a prumagem de uma edificação predial deve ser apresentada no “*as built*”, assim como qualquer modificação no projeto executivo de uma obra.

De acordo com Dezen-Kempton et al. (2015), na história recente da construção civil, os processos de projeto, construção e gestão têm sido altamente beneficiados com as funcionalidades introduzidas pelas novas tecnologias da informação e comunicação, particularmente para as edificações complexas. Contudo, esses benefícios alcançam prioritariamente as novas edificações.

Assim, a captura de dados precisos e detalhados apresentam-se como ferramenta potencial para produzir um inventário abrangente que considere os requisitos de manutenção peculiares destas edificações, incluindo documentação sobre o ciclo de vida do edifício até o presente estado. O levantamento de edifícios existentes é um processo de engenharia reversa que, a partir das informações obtidas do objeto real, se reconstrói e interpreta a ideia anterior a sua realização, ou seja, o seu projeto (DEZEN-KEMPTER et al., 2015).

Esses processos dependem fortemente de levantamentos manuais para o desenvolvimento de desenhos e modelos. A verificação das condições de construção existentes, incluindo suas dimensões, materiais e estado, são realizadas comumente através de levantamentos de campo que utilizam câmeras digitais, fitas métricas e/ou dispositivos de medição a laser. Esses dados são usados para atualizar desenhos e modelos “*as built*” ou, no caso da inexistência de documentação *as built*, para gerar documentos digitais (DEZEN-KEMPTER et al., 2015).

Projetos “*as built*” tradicionalmente demandam operações manuais que exigem inspeções visuais, as quais dependem de julgamento pessoal, e por esse motivo, trazem resultados incompletos e imprecisos. Desde o início dos anos 2000, a indústria de construção civil reconheceu a necessidade de um processo mais rápido e preciso para a geração de projetos “*as built*”. O escaneamento a *laser* fornece uma forma rápida, precisa e detalhada dos dados 3D sobre cenas digitalizadas por meio de uma nuvem de pontos. Tais nuvens podem ser utilizadas para a criação de modelos “*as built*” 3D (ARAÚJO; ILHA, 2017).

Laser Scanning 3D é uma tecnologia que permite a obtenção de nuvens de pontos a partir da varredura das superfícies dos objetos por feixes de raios laser, empregando aparatos específicos, permitindo a captura automática de grande quantidade de dados em curto espaço de tempo. Dependendo do equipamento, da distância e das características do levantamento, pode ser usado com versatilidade na captura da geometria de diversos tipos de objetos, de pequenas ou grandes dimensões (elementos decorativos, edificações, centros urbanos), simples ou extremamente complexos, e, com precisão podendo chegar ao submilímetro. O modelo geométrico tipo “nuvem de pontos” é a representação mais básica obtida diretamente pelo scanner 3D. Cada ponto, que forma a nuvem de pontos, é representado por suas coordenadas cartesianas (x, y, e z) e um ou mais atributos associados ao mesmo (GROETELAARS; AMORIM, 2011). Dessa forma, a tecnologia *Laser Scanning* 3D pode ser aplicada de diversas maneiras, dentre elas nas soluções “*as built*”, controle geométrico, levantamento topográfico e medição de obras, sendo uma excelente ferramenta para levantamentos em áreas com geometria complexa ou mesmo de difícil acesso.

Durante o escaneamento, geralmente são usadas diferentes densidades, que variam de acordo com a forma do objeto ou a finalidade do levantamento. Nessa fase,

também é realizado o levantamento dos pontos de controle (geralmente com estações totais), que podem ser feições naturais do objeto, ou alvos aplicados sobre a superfície do mesmo, que tem como objetivos: o registro das cenas, a associação da nuvem de pontos para um sistema de coordenadas (arbitrário ou geodésico), e o controle da precisão dos resultados (GROETELAARS e AMORIM, 2011). A escolha da densidade do escaneamento garante que trabalhos sejam executados com alto nível de detalhamento, de maneira rápida, eficaz e segura.

3.2.2.3 Drone, *Laser Tracker* e braço robótico

Com o avanço tecnológico, diversos produtos vêm sendo lançados colaborando com a evolução tecnológica. Além da MMC e *laser scan* 3D, apresenta-se nesta dissertação drones, *laser tracker*, e braço robótico.

Nos últimos anos, o avanço tecnológico permitiu a integração de câmeras digitais de pequeno formato em plataformas de voo não tripuladas, conhecidos popularmente como drones. Essa tecnologia vem sendo utilizada para coleta de fotografias aéreas, mensuração de áreas, elaboração de dados altimétricos e diversos produtos cartográficos. Os veículos aéreos não tripulados surgiram para fins militares, contudo recentemente vem sendo utilizado para fins civis, inclusive para o mapeamento. Esses veículos podem executar voos a partir de controle remoto ou executar voos de modo autônomo (com rotas préprogramadas). Vários nomes vêm sendo atribuídos para estes veículos, como a sigla VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), sendo o termo mais comum, drone (OTAKE, 2017).

Laser Tracker (*laser* interferométrico capaz de rastrear um alvo) realiza a medição da posição de um alvo (refletor) em coordenadas esféricas. O *laser tracker* é um sistema que exige linha de visão ao objeto sendo medido, o que pode tornar necessário que o equipamento seja movido para diferentes posições de modo a “enxergar” todas as características que se deseja medir (EGER, 2013).

Um robô é uma máquina reprogramável, multifuncional que muitas vezes é construído na forma de um manipulador para mover materiais, partes, ferramentas ou dispositivos especializados, programados por movimentos para o desempenho de uma variedade de tarefas (TAYLOR, 1990 apud BETTIO, 2000). Através de muita evolução, as máquinas foram cada vez mais se adequando as tarefas para qual eram

fabricadas. Surgiu então o conceito de Automação Industrial, onde as máquinas faziam os serviços pesados, rotineiros e que não exigiam inteligência e sim uma sequência de passos bem definidos. Robôs existem nas mais diferentes formas e tamanhos e para as mais diversas utilidades. Classificando os robôs de acordo com o sistema de coordenadas da armação principal, distingue-se os robôs conforme o número de eixos lineares e rotacionais. O eixo é considerado linear quando o movimento entre as partes móveis é linear ao eixo cartesiano, ou seja, para cima, para baixo, para direita e assim por diante. O eixo é considerado rotacional quando não se move linearmente ao eixo cartesiano. Na indústria mecânica encontram-se os braços robóticos utilizados para a descrição 3D de superfícies (BETTIO, 2000).

As MMC podem apresentar algumas desvantagens quanto a medição de superfícies livres, dentre elas a baixa velocidade de medição e falta de portabilidade (NEROSKY, 2001). Visando tornar as MMC mais rápidas e convenientes para atuação em ambientes industriais, desenvolveram-se os chamados “robôs de medição”. A principal diferença entre as MMC comuns e esses “robôs” é a inexistência de uma mesa de medição. Porém, as limitações quanto à necessidade de uma instalação fixa e dificuldade para transporte do sistema de medição para o local onde o mensurando se encontra ainda são mantidas. Introduce-se então o braço de medição. Um braço de medição, também conhecido como máquina de medir por coordenadas portátil, é um sistema de medição manual, composto de eixos rotativos (NEROSKY, 2001).

Na extremidade de um braço de medição há um apalpador rígido. Portanto, para se medir as coordenadas de um ponto sobre a superfície deve-se posicionar manualmente o apalpador sobre o mensurando e então fazer a leitura das coordenadas indicadas no mostrador do equipamento (caso esteja disponível) ou através da tela de um computador. Nesse caso, a comunicação do braço com o computador é feita com auxílio de softwares especialmente desenvolvidos para tal aplicação, permitindo, não somente, a visualização dos dados mas, se necessário, um pós-processamento adequado. A determinação das coordenadas dos pontos apalpados é feita através do cálculo da posição e orientação do sistema de coordenadas local do apalpador em relação a um sistema de coordenadas global do braço de medição (NEROSKY, 2001).

A posição do apalpador é calculada através do conhecimento das leituras dos *encoders* rotativos e dos comprimentos das partes que compõem o braço. A acuracidade deste sistema é substancialmente inferior a das MMCs (PAZIANI, 2005).

4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS OBSERVAÇÕES E ANÁLISE DE SUPERFÍCIES

A tomada de várias medições de uma grandeza observada é de extrema importância. Isso permite o controle de erros que por ventura venham a existir. A partir da repetição de medições, diversos valores passam a representar a mesma grandeza. Segundo Gemael (1994), ao se realizar as observações se abdica da pretensão de ter um verdadeiro valor em uma grandeza medida, pois é inevitável a presença de erros de medidas. Os erros das observações podem ser atribuídos a imperfeição dos equipamentos, influência das condições ambientais e/ou falibilidade humana, sendo classificados em três tipos: a) erros grosseiros (ou falhas) – ex: falha do operador na anotação do dado; b) erros sistemáticos – ex: inconsistência na graduação do limbo do instrumento; e c) erros acidentais (ou aleatórios, ou randômicos) – ex: condições ambientais ou meio ambiente.

Existem atualmente várias recomendações normativas e alguns métodos bastante conhecidos e difundidos que tratam o tema “avaliação e melhoria de processos de medição”. Dentre as recomendações normativas, destacam-se as relacionadas com o sistema de gestão da qualidade, as quais dão maior ênfase à gestão e calibração dos sistemas de medição, negligenciando os outros elementos que compõem o processo de medição, os quais são: o operador; o meio ambiente; o mensurando e o método (SALGADO, 2004).

Para a presente dissertação, várias medidas foram tomadas durante a realização das atividades de campo. A superabundância desses dados permitiu a identificação de erros grosseiros, assim como a manipulação ou eliminação e/ou redução dos erros sistemáticos, permitindo maior confiabilidade na determinação de superfícies da construção civil.

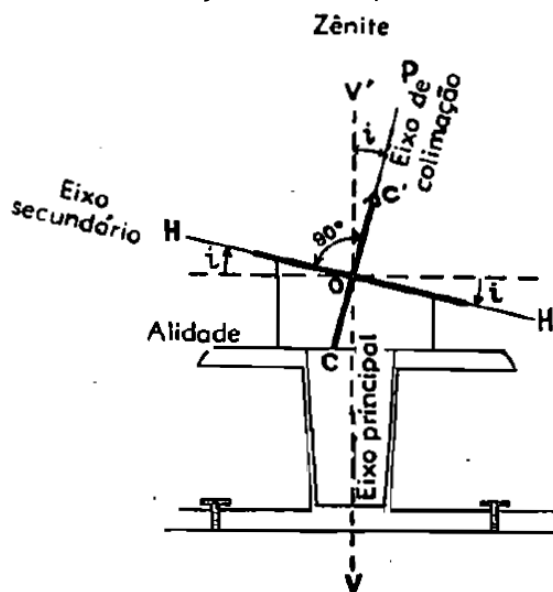
4.1 ERROS QUE PODEM AFETAR AS MEDIDAS ANGULARES

Segundo Espartel (1987), a influência dos erros residuais das retificações nas medidas dos ângulos podem ser de 3 tipos (Figura 24):

a. erro de colimação do eixo óptico (c): quando a linha de colimação não é perpendicular ao eixo secundário da luneta;

b. erro de inclinação do eixo secundário ou de rotação da luneta (i): quando da falta da horizontalidade do eixo secundário, originando o desvio angular i' na projeção da linha de visada sobre o plano paralelo ao limbo. Para visadas horizontais o erro de inclinação do eixo secundário não tem influência na medida dos ângulos horizontais e, sim, somente nas visadas inclinadas;

Figura 24 - Erro de colimação do eixo óptico e do eixo secundário

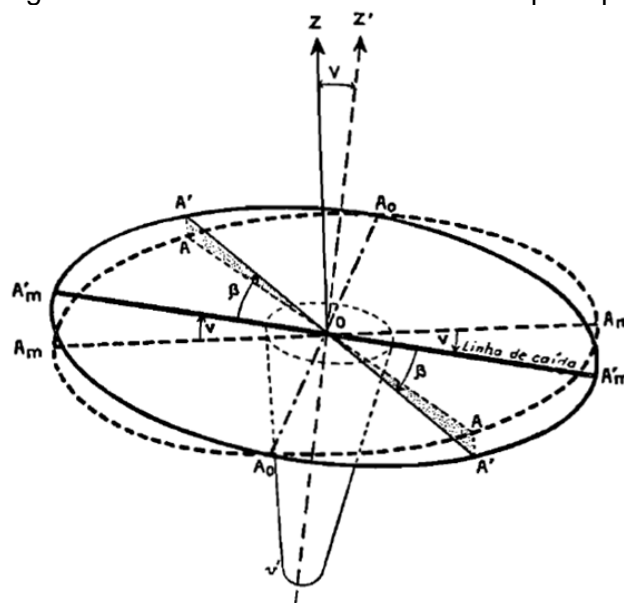


Fonte: ESPARTEL (1987)

c. erro de verticalidade do eixo principal (v): quando o eixo principal não coincide com a direção na vertical que passa pelo centro do equipamento (limbo horizontal). Nas estações totais que possuem compensadores eletrônicos, a correção desse erro é feita de forma automática. Isto ocorre desde que a inclinação do mesmo esteja dentro da margem de operação do instrumento (MIRANDA, 2007).

A ação do conjunto dos 3 erros instrumentais sobre a projeção de uma visada, é chamada de δ . Designa-se δ' e δ'' aos valores correspondentes de δ para a posição direta (PD) e inversa (PI) do instrumento usado. A média aritmética dos valores de δ' e δ'' somente é afetada no efeito do erro de verticalidade v do eixo principal (Figura 25), posto que, os efeitos dos erros de colimação e do eixo secundário se eliminam. É da maior importância para a medidas dos ângulos horizontais a boa verticalização do eixo principal do teodolito, sendo mais perfeita quanto maior for a grandeza dos ângulos verticais das visadas (ESPARTEL, 1987).

Figura 25 - Erro de verticalidade do eixo principal



Fonte: ESPARTEL (1987)

4.2 MÉTODO PROPORCIONAL À DISTÂNCIA

O método proporcional à distância foi metodologia do ajustamento das observações aplicado ao nivelamento geométrico para esta dissertação. Neste método, a correção a ser aplicada aos desníveis é proporcional ao comprimento de cada lance da linha nivelada. Algarve (2008) e Silva e Segantine (2015) citam que os erros da diferença de nível cometidos na medição devem ser distribuídos nas observações, sendo proporcional ao comprimento de cada lance. Dessa forma, quando se faz o transporte da altitude do ponto de partida para os demais pontos e ajusta-se tais pontos através dessa metodologia, para uma rede de circuito fechada, o valor da altitude final deve ser o mesmo do valor inicial (Equações 48 a 50).

$$E_f = \sum_1^n DN_i \quad (48)$$

$$C_i = \frac{E_f}{\sum_{i=1}^n d_i} \cdot d_i \quad (49)$$

$$DN_{ajust} = DN_i - C_i \quad (50)$$

Sendo:

Ef: erro de fechamento

DN: diferença de nível

C_i: compensação do erro de fechamentod_i: comprimento do lance

n: número de lances

DN_{ajust}: diferença de nível ajustada

i: i-ésima observação

4.3 MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS (MMQ)

O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) utiliza conjuntos de observações com superabundância (número de observações maior que o número das incógnitas). As observações só podem conter os erros acidentais. Para a aplicação do MMQ-modelo paramétrico, deve-se considerar a equação 51. Aceita-se como melhor estimativa da grandeza, o valor que torna mínima a soma dos quadrados dos resíduos (equação 52).

$$AX = L + V \quad (51)$$

$$\sum P \cdot V^2 = \sum (X - L_i)^2 = \text{mínimo} \quad (52)$$

Sendo:

A: matriz

X: valor a determinar

L: observações (medições)

V: resíduos

P: peso

O MMQ apresenta três tipos de modelos, subdividindo-se em: 1. modelo paramétrico, 2. modelo dos correlatos (equações de condição), e 3. modelo combinado. O modelo paramétrico trata de observações indiretas, para o modelo não linear das equações, deve-se adotar valores iniciais. Iterações são necessárias, de forma que durante a iteração o vetor das correções diminui, aproximando-se de zero. No caso do correlato requer obrigatoriamente equações de condição. E por último o combinado, que reúne tanto parâmetros quanto valores observados, ligados por uma função implícita. Para a presente dissertação foi utilizado o MMQ - modelo paramétrico.

O modelo matemático do MMQ de ajustamento paramétrico (também chamado de modelo das equações de observações) baseia-se na formulação das equações de observações, ou seja, para cada observação, formula-se ao menos uma equação. Então, obtém-se um conjunto de n equações com u parâmetros: $L_a = F(X_a)$. Onde L_a é o vetor ($n \times 1$) das observações ajustadas; X_a , o vetor ($u \times 1$) dos parâmetros ajustados; e F , uma função que relaciona L_a e X_a . O ajustamento das observações

pode ser processado pelo modelo paramétrico, quando os valores observados ajustados são escritos como função explícita dos parâmetros ajustados.

Os elementos da matriz A são formados pelas derivadas das equações de observações em relação aos parâmetros. Após encontrar os parâmetros que minimizam a forma quadrática, se as observações seguem uma distribuição normal, pode-se rever pela análise dos resíduos por meio do teste do Qui-Quadrado (X^2).

O teste X^2 da forma quadrática permite levar em conta os erros acidentais e por isso é uma maneira segura de avaliar levantamentos, dado um nível de significância α .

Em todas as etapas de processamento dos dados, quando cabível, será utilizado o MMQ, com o objetivo de minimizar a soma dos quadrados dos resíduos, desconsiderando-se os erros grosseiros, os quais serão eliminados do processamento após sua identificação. Também em todas as etapas o MMQ assume como peso a matriz unitária (identidade), pois para esta dissertação os equipamentos utilizados foram os mesmos, ou seja, não teve mudança de equipamento.

4.4 NÍVEL DE CONFIANÇA

Costa e Cabral (2013) dizem que, definida a medida de dispersão (desvio padrão), associa-se uma chance a um intervalo de variação definido para a medida, mantidas as condições de medição. Em outras palavras, definir um intervalo $[\bar{X} \pm \alpha]$, onde α é uma constante a ser definida pela lei de distribuição de tal modo que uma nova medida X tenha uma dada chance de estar dentro de um intervalo. A probabilidade $P(X_1, X_2)$ de uma medida estar no intervalo $[X_1, X_2]$ é dada pela equação 53:

$$P(X_1, X_2) = \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (53)$$

Para o intervalo $[\mu - \sigma, \mu + \sigma]$, a integral da equação 53 vale 0,6826. Isso significa que se deve esperar que 68,26% das medidas estejam neste intervalo. Tem-se assim, para σ um significado qualitativo (indicação da precisão da medida), um geométrico ($\pm \sigma$ são os pontos de inflexão da curva de Gauss) e um quantitativo (68,26% das medidas no intervalo $[\mu \pm \sigma]$). Para os intervalos $[\mu \pm 2\sigma]$ e $[\mu \pm 3\sigma]$ as probabilidades

são, respectivamente, 0,9545 e 0,9973. Isto significa que se deve esperar que 95,45% das medidas estejam no intervalo $[\mu \pm 2\sigma]$ e 99,73%, praticamente todas as medidas, no intervalo $[\mu \pm 3\sigma]$. A probabilidade definida pela equação 53, expressa em %, denomina-se nível de confiança (n.c.). Assim, diz-se que o n.c. para o intervalo $[\mu \pm \sigma]$ é 68,26% (COSTA e CABRAL, 2013). O nível de confiança de 95% será aplicado nessa dissertação para análises estatísticas.

4.5 ANÁLISE DE VARIÂNCIAS: ANOVA

A análise de variâncias, também conhecida por ANOVA, é um teste estatístico que compara três ou mais variáveis ou amostras. Para isso, a distribuição das variáveis/amostras deve ser normal. A aplicação da ANOVA pressupõe a verificação das condições que as amostras devem ser aleatórias e independentes, além de extraídas de populações normais; e as populações devem ter variâncias iguais. As situações possíveis em um teste de hipótese para hipótese nula $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu$ são:

H_0 é verdadeira: as amostras provêm de populações com médias iguais ($\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu$);

H_0 é falsa: as médias das populações não são iguais, ou seja, pelo menos duas têm média diferente. As amostras recolhidas provêm de populações diferentes (MUIAMBO, s.d.).

Quando a aplicação da análise de variância conduz à rejeição da hipótese nula, tem-se evidência de que existem diferenças entre as médias populacionais. Os testes de comparação múltipla permitem identificar entre que médias se registram essas diferenças, isto é, possibilitam investigar onde se encontram as diferenças possíveis entre as médias populacionais.

Marques (1991) cita que o teste para a diferença entre duas médias populacionais μ_1 e μ_2 quando seus desvios populacionais σ_1 e σ_2 são conhecidos, a estatística 'z' deve ser a utilizada. Para os desvios padrão populacionais σ_1 e σ_2 desconhecidos e supostamente iguais ou supostamente diferentes, a estatística 't' deve ser a trabalhada.

A ANOVA consiste em uma generalização do teste para a igualdade de duas médias populacionais. Enquanto no teste para a igualdade de duas médias utiliza-se as estatísticas z ou t, conforme os desvios padrão populacionais sejam conhecidos ou

não, na análise de variância, testa-se k ($k \geq 2$) médias populacionais com base estatística F . Portanto, a análise da variância é um teste para igualdade de médias que utiliza variâncias para a tomada de decisões. Na aplicação do método, supõe-se que as populações são normalmente distribuídas e as variâncias populacionais iguais. Na análise de variância há um critério de classificação. Os elementos observados são classificados segundo um critério, ou seja, existe apenas uma característica (significativa que os diferentes valores obtidos nas amostras são devidos apenas a essa característica) de interesse a ser testada (MARQUES, 1991).

Ainda segundo Marques (1991), a análise da variância testa a existência ou não de diferença significativa entre k ($k \geq 2$) médias populacionais. Mas, caso haja diferença através da análise da variância somente, não é possível identificar quais médias diferem das demais. Existem diversos métodos para a solução desse tipo de problema: método de Tukey, método de Scheffé, método de Duncan e método dos contrastes ortogonais. O método de Scheffé, mais geral e mais completo que os demais, será o trabalhado nessa dissertação, quando necessário detectar diferenças.

4.6 REGRESSÃO LINEAR

Regressão é uma coleção de métodos estatísticos para analisar a relação funcional entre uma variável dependente, comumente indicada com y , e uma variável independente, geralmente indicada com x (VASILYEVA; GIANNOTTI; GOEHL JR, 2015).

Qualquer conjunto de pontos em um espaço multidimensional apresentando uma tendência regular pode ser representado por uma função matemática. Frequentemente esta função é escolhida através de um processo de ajuste conhecido como Método de Mínimos Quadrados. Para o caso mais simples de um conjunto de pontos em um espaço bidimensional, cada ponto será representado por coordenadas x e y . A função matemática a ser construída pode representar a tendência de y como uma função de x , $y=f(x)$; em outras palavras, pode-se ter y como uma variável dependente de x (CUSTODIO; ANDRADE; AUGUSTO, 1996).

Segundo Lima Filho (2013), quando se analisa dados que sugerem a existência de uma relação funcional entre duas variáveis, surge então o problema de se determinar uma função matemática que exprima esse relacionamento, ou seja, uma

equação de regressão. Ao imaginar uma relação funcional entre duas variáveis, diga-se X e Y, estar-se-á interessado em uma função que explique grande parte da variação de Y por X. Entretanto, uma parcela da variabilidade de Y não explicada por X será atribuída ao acaso, ou seja, ao erro aleatório. Quando se estuda a variação de uma variável Y em função de uma variável X, diz-se que Y é a variável dependente e que X é a variável explanatória (ou independente).

O estudo de uma série de problemas práticos, nas mais diversas áreas, pode ser formatado sob esta abordagem, o que faz com que os modelos de regressão sejam largamente adotados e, provavelmente, os mais utilizados dentre as metodologias estatísticas (ZEVIANI; RIBEIRO JUNIOR; BONAT, 2013). Em resumo, o emprego da técnica de regressão é uma das possibilidades da aplicação do MMQ.

A regressão linear pode ser do tipo simples ou múltipla. Esta dissertação utilizou a metodologia da regressão linear múltipla para o estudo de planeza de fachadas e pisos/lajes.

4.6.1 Regressão Linear Simples

Regressão linear simples é a relação casual entre duas variáveis, e pode ser descrita por uma reta: uma variável chamada dependente, e uma outra chamada independente. Também tem por objetivo determinar a equação da reta ajustada utilizando-se de um modelo matemático linear (FARIA; ALCÂNTARA; NASCIMENTO, 2016). Segundo Lima Filho (2013), formalmente, a análise de regressão linear simples parte de um conjunto de observações pareadas (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) , ..., (X_n, Y_n) , relativas às variáveis X e Y, e considera que pode-se escrever a relação entre as duas variáveis, conforme equação 54:

$$Y_i = \alpha + \beta \cdot X_i + \varepsilon_i \quad (54)$$

Em que:

Y_i : variável resposta associada a i-ésima observação de y;

α , β : parâmetros que precisam ser estimados;

X_i : i-ésima observação do valor fixado para a variável independente (não aleatória) x;

ε_i : erro aleatório para a i-ésima observação, isto é, o efeito de fatores que estão afetando a observação de y de forma aleatória;

O objetivo é estimar valores para “ α ” e “ β ” através dos dados fornecidos pela amostra. Além disso, encontrar a reta que passe o mais próximo possível dos pontos observados segundo um critério preestabelecido (LIMA FILHO, 2013).

Segundo Lima Filho (2013), o Método dos Mínimos Quadrados é usado para estimar os parâmetros do modelo (“ α ” e “ β ”) e consiste em fazer com que a soma dos erros quadráticos seja menor possível, ou seja, este método consiste em obter os valores de “ α ” e “ β ” que minimizam a equação 55.

$$S = \sum \varepsilon_i = \sum (Y_i - \alpha - \beta \cdot X_i)^2 \quad (55)$$

Aplicando-se derivadas parciais nesta expressão e igualando-se a zero, acham-se as estimativas para “ α ” e “ β ”, chamadas de a e b, respectivamente, conforme pode ser visto nas equações 56 e 57. Segundo Lima Filho (2013), a chamada equação (reta) de regressão é dada pela equação 58. O resíduo relativo à i-ésima observação (ε_i) pode ser considerado uma estimativa do erro aleatório (equação 59).

$$a = \frac{\sum Y_i - b \cdot X_i}{n} \quad (56)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum X_i \cdot Y_i - \sum X_i \cdot \sum Y_i}{n \cdot \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (57)$$

$$\hat{Y}_i = a + b \cdot X_i \quad (58)$$

$$\varepsilon_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad (59)$$

Sendo:

\hat{Y} : valor predito/previsto, dado pela equação de regressão;

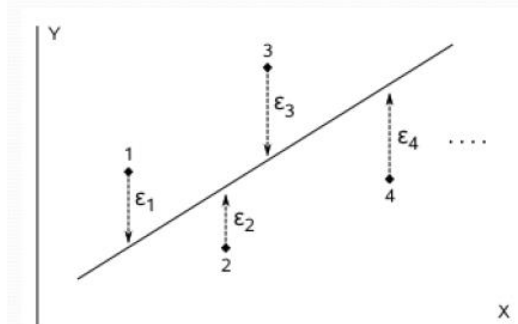
ε_i : resíduo do modelo de regressão (diferença entre valores observados e preditos);

\hat{y} : variação explicada pelo modelo de regressão;

i: i-ésima observação.

Para Vayego (2009), os erros (ε 's) são independentes e variam aleatoriamente segundo uma distribuição (normal) com média zero e variância constante (Figura 26).

Figura 26 - Valores observados, preditos e suas diferenças ($\epsilon_i = Y_i - \hat{Y}_i$)



Fonte: LIMA FILHO (2013)

É fundamentalmente impossível em princípio, a determinação da inclinação "correta" e interceptação da relação presumida a partir de dados experimentais que carregam incertezas. O termo "erro" tem um significado técnico específico: a diferença entre o valor observado de uma quantidade e aquele que seria previsto pela linha de melhor ajuste (REED, 2015). Historicamente, a regressão linear assume implicitamente que x (variável independente) está livre de erros. Contudo, diversos autores generalizaram a técnica incluindo erros em x e y (BORCHERDS; SHETH, 1995). Para a presente dissertação, os erros em x para a regressão linear não serão considerados, apenas y será considerado com erro.

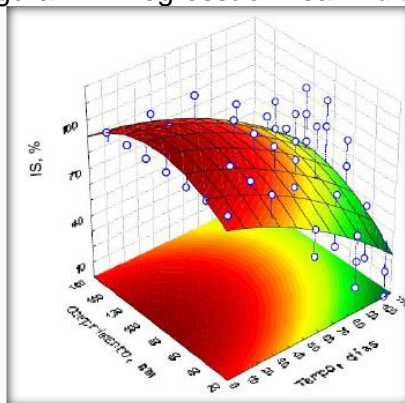
Reed (2010) cita que a premissa fundamental da adequação dos mínimos quadrados é que se deseja determinar a inclinação 'b' e o intercepto 'a' da linha reta onde X e Y são os preditos (ou ajustados) dos pontos de dados, ou seja, seus valores após o "ajuste" para o melhor ajuste linha. O "melhor ajuste" é definido como minimizar a soma dos resíduos quadrados ponderados (diferenças entre observado e calculado valores).

4.6.2 Regressão Linear Múltipla

Segundo Oliveira Filho (2002), a análise de regressão linear múltipla é uma extensão da análise de regressão simples. As aplicações com regressão múltipla envolvem duas ou mais variáveis independentes para estimar o valor da variável dependente. Para Faria, Alcântara e Nascimento (2016), regressão linear múltipla é a relação casual com mais de duas variáveis. Isto é, quando o comportamento de Y é explicado por mais de uma variável independente X_1, X_2, \dots, X_n . É a técnica adequada para se utilizar quando se quer investigar simultaneamente os efeitos, sobre Y , de 2

ou mais variáveis preditoras. Enquanto uma regressão simples de duas variáveis resulta na equação de uma reta, um problema de três variáveis implica num plano, e um problema de k variáveis implica em um hiperplano (Figura 27).

Figura 27 - Regressão linear múltipla



Fonte: FARIA, ALCÂNTARA, NASCIMENTO (2016)

O modelo matemático da equação de regressão linear múltipla deve ser obedecido conforme equação 60.

$$Y_c = a + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_k \cdot X_k \quad (60)$$

Sendo:

Y_c = variável dependente ("valor calculado de y");

a = intercepto do eixo y;

b_i = coeficiente angular da i-ésima variável (números de coeficientes angulares);

X_i = variáveis independentes;

k = número de variáveis independentes.

O modelo estatístico de uma regressão linear múltipla, sendo Y a variável dependente e X_1, X_2, \dots, X_k , as k ($k > 1$) variáveis independentes, é dado por (MARQUES, 1991) na equação 61, podendo ser expressa também pela equação 62, sendo $j = 1, 2, 3, \dots, n$.

$$Y_j = \alpha + \beta_1 \cdot X_{1j} + \beta_2 \cdot X_{2j} + \dots + \beta_k \cdot X_{kj} + \epsilon_j \quad (61)$$

$$Y_j = \alpha + \sum (\beta_i \cdot X_{ij}) + \epsilon_j \quad (62)$$

Em notação matricial, os parâmetros $Y = X \cdot \beta + \varepsilon$ são representados pelas equações 63 a 66.

$$X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} & \dots & X_{k1} \\ 1 & X_{12} & X_{22} & \dots & X_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} & \dots & X_{kn} \end{bmatrix} \quad (63)$$

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \dots \\ Y_n \end{bmatrix} \quad (64)$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \dots \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad (65)$$

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \dots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (66)$$

A equação de regressão linear múltipla estimada, na forma matricial $\hat{Y} = X \cdot b$, é dada pelas equações 67 e 68. A aplicação do MMQ fornece $b = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y$, através das equações 69 e 70. O referido modelo foi aplicado no capítulo 6 dessa dissertação.

$$b = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_k \end{bmatrix} \quad (67)$$

$$\hat{Y} = \begin{bmatrix} \hat{Y}_1 \\ \hat{Y}_2 \\ \dots \\ \hat{Y}_n \end{bmatrix} \quad (68)$$

$$X^T \cdot Y = \begin{bmatrix} \Sigma Y_j \\ \Sigma X_{1j} \cdot \Sigma Y_j \\ \Sigma X_{2j} \cdot \Sigma Y_{1j} \\ \dots \\ \Sigma X_{kj} \cdot \Sigma Y_{1j} \end{bmatrix} \quad (69)$$

$$X^T \cdot X = \begin{bmatrix} n & \Sigma X_{1j} & \Sigma X_{2j} & \dots & \Sigma X_{kj} \\ \Sigma X_{1j} & \Sigma X_{1j}^2 & \Sigma X_{1j} \cdot X_{2j} & \dots & \Sigma X_{1j} \cdot X_{kj} \\ \Sigma X_{2j} & \Sigma X_{1j} \cdot X_{2j} & \Sigma X_{2j}^2 & \dots & \Sigma X_{2j} \cdot X_{kj} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Sigma X_{kj} & \Sigma X_{1j} \cdot X_{kj} & \Sigma X_{2j} \cdot X_{kj} & \dots & \Sigma X_{kj}^2 \end{bmatrix} \quad (70)$$

A regressão linear é um resultado particular do MMQ - modelo paramétrico, em que para a função “ $Lb = F(Xa)$ ” o vetor “ Lb ” representa os “ Y ” preditos e o vetor “ Xa ” representa os coeficientes linear e angulares ($Xa = [a \ b_1 \ b_2 \ \dots \ b_n]$).

5 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este capítulo aborda a definição das áreas e objetos de estudo, os recursos tecnológicos utilizados na dissertação (equipamentos, *softwares* e acessórios) e os métodos aplicados, explanados através de um fluxograma. A metodologia consiste em determinar coordenadas dos pontos do piso/laje e de fachada por métodos geodésicos/topográficos. Além disso, utilizando o modelo da equação do plano determinada por regressão linear múltipla, determinar a planeza das lajes e pisos, assim como a verticalidade das fachadas.

5.1 DEFINIÇÃO DAS ÁREAS E OBJETOS DE ESTUDO

Este item aborda a descrição das duas áreas de estudo contempladas nessa dissertação, que são um edifício em fase de acabamento no *Campus Recife* da UFPE e um edifício empresarial em fase estrutural no bairro de Torreão do Recife-PE.

a. ÁREA 1: *CAMPUS RECIFE UFPE*

Na área 1, o objeto de estudo compõe uma parte de uma fachada, um trecho de uma calçada, e um trecho do piso do *hall* de entrada, do um prédio em fase de acabamento para a época de levantamento de campo da presente dissertação, o qual está situado dentro do *Campus Recife* da UFPE, em frente ao Centro de Tecnologia e Geociências-CTG, conforme pode ser visto na Figura 28. Uma metodologia para a identificação da planeza e prumagem através de métodos geodésicos/topográficos é desenvolvida nesta área 1.

Figura 28 - Identificação da área de estudo 1
Carta de identificação da área de estudo 1

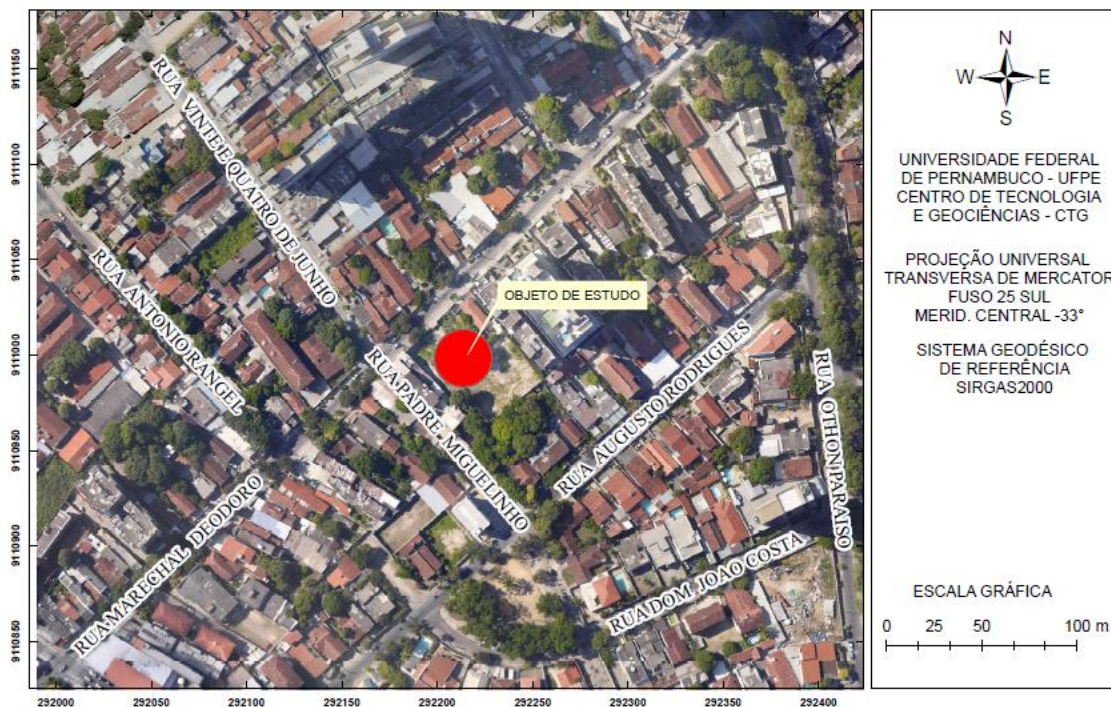


Fonte: Google Earth (26/08/2018)

b. ÁREA 2: BAIRRO DE TORREÃO-RECIFE-PE

O objeto de estudo compõe parte de uma fachada e de um pilar de um edifício empresarial com 25 pavimentos (22 tipos e 3 vazados) e em fase estrutural, no bairro de Torreão na cidade do Recife (Figura 29). Esta área foi escolhida para estudo de: transporte de base por GNSS, implantação de poligonal de referência para a obra, implantação de pontos em laje para estudo de planeja de piso/laje e verticalidade de pilar e interligação desses pontos com os vértices da poligonal implantada e com Referência de Nível (RN) da Obra. A vinculação desta RN ao Sistema Geodésico Brasileiro poderá ser realizada a partir da interligação desta RN da Obra com a RNSA (Referência de Nível Santo Amaro) implantada na Avenida Agamenon Magalhães, provinda de uma dissertação de mestrado em andamento (SILVA, 2019), que poderá interligar ao *Benchmark* (à RN) do prédio em questão.

Figura 29 - Identificação da área de estudo 2
Carta de identificação da área de estudo 2



Fonte: Google Maps (2018)

O item a seguir descreve todos os recursos tecnológicos (equipamentos e *softwares*) empregados para o desenvolvimento dessa dissertação, desde a aquisição até o processamento dos dados.

5.2 RECURSOS TECNOLÓGICOS

Para o desenvolvimento dessa dissertação, faz-se necessário os equipamentos descritos no

Quadro 2 (equipamentos e suas respectivas características), os *Softwares* apresentados no Quadro 3 (os *softwares* e respectivas versões e aplicações) e os acessórios expostos no Quadro 4.

Quadro 2 - Equipamentos e suas respectivas características

Equipamento	Marca/modelo	Qtd	Características
Estação total*	TOPCON GPT 3200 N/NW	2 un.	Precisão Angular: $\pm 5''$ Precisão Linear: - com prisma: $\pm(2\text{mm}+2\text{ppm})$ - sem prisma: $\pm(3\text{mm}+2\text{ppm})$ *De acordo com a NBR 13133 (ABNT, 1994), se enquadra na classe 2 de precisão média
Nível digital**	EL302A	1 un.	Precisão $\pm 0,7\text{mm/Km}$ duplo nivelado **De acordo com a NBR 13133 (ABNT, 1994), se enquadra na classe 4 de precisão muito alta
Receptor GNSS	HIPER LITE +	1 par	Precisão Horizontal: $\pm(3,0\text{mm}+0,5\text{ppm})$ Precisão Vertical: $\pm(5,0\text{mm}+0,5\text{ppm})$
Receptor GNSS	HIPER V	1 par	Precisão Horizontal: $\pm(3,0\text{mm}+0,1\text{ppm})$ Precisão Vertical: $\pm(3,5\text{mm}+0,4\text{ppm})$

Fonte: a autora

Quadro 3 - Softwares e suas respectivas versões e aplicações

Softwares	Versão	Aplicação
Microsoft office	2013	Cálculos e outros
AutoCad Map 3D (estudante)	2017	Desenho técnico
ArcGis	10.4	SIG
AstGeoTop (GARNÉS, 2018)	2018	Geodésia e/ou Topografia
Matlab	R2015a	Programação
Topcon tools	8.2	Processamento GNSS

Fonte: a autora

Quadro 4 - Acessórios

Acessório	Qtd (un.)	Acessório	Qtd (un.)
Tripé extensível	3	Suporte bastão tripé	1
Bastão	1	Marreta	1
Trena 30m	1	Base nivelante com adaptador base e prisma	2
Prisma*** (PSM=-30mm, PPP=5mm)	2	Mira de alumínio de encaixe de código de barra de 4m	1

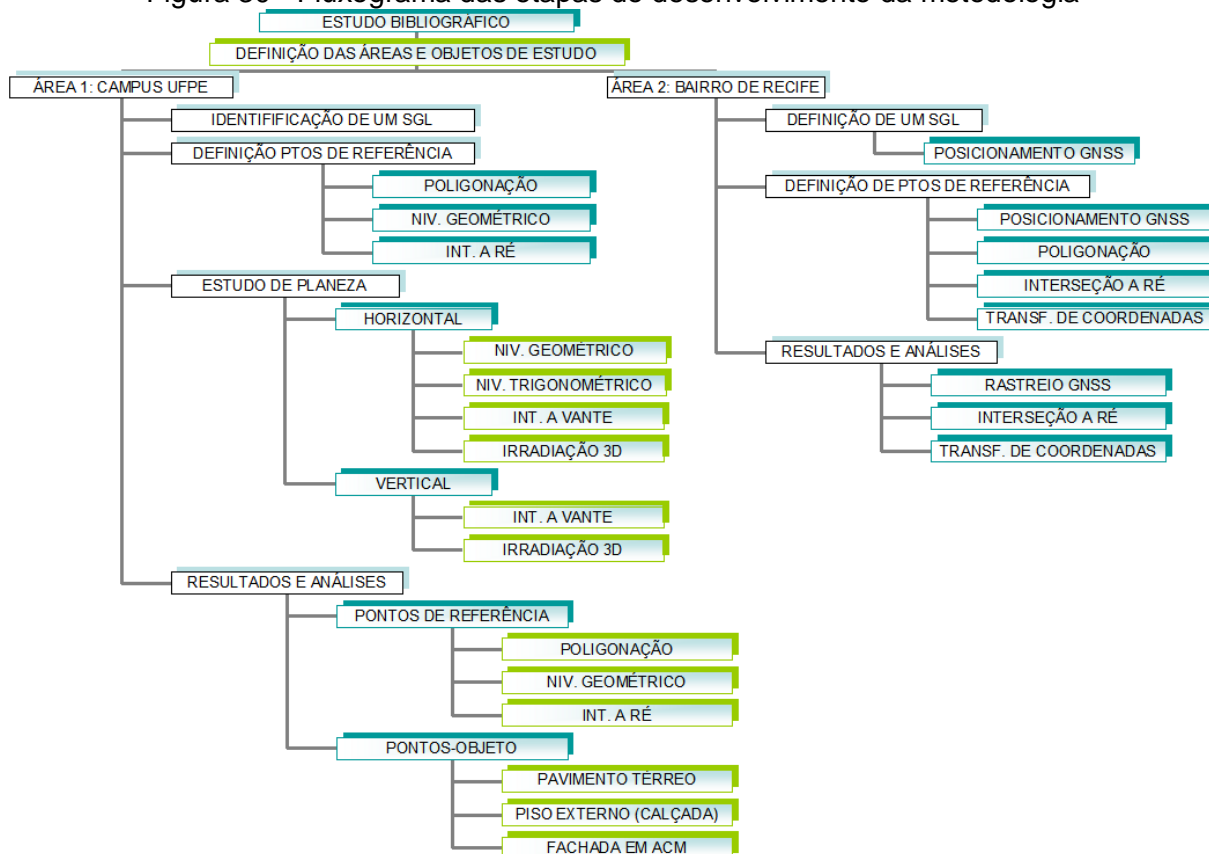
Fonte: a autora

***Prisma de superfície esférica com hastes metálicas

5.3 MÉTODOS

A metodologia utilizada nesta dissertação tem início com a definição dos objetivos da dissertação, sendo as demais etapas representadas no fluxograma da Figura 30.

Figura 30 - Fluxograma das etapas do desenvolvimento da metodologia



Fonte: a autora

Primeiramente, foram definidos os objetivos específicos da dissertação. Em seguida, fez-se um vasto estudo bibliográfico, seguido da escolha das áreas de aplicabilidade do tema da dissertação.

Definiu-se as áreas testes: a primeira no *Campus* Joaquim Amazonas na Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, denominada de 'Área de estudo 1: *Campus* Recife UFPE', e a segunda no Bairro de Torreão no município do Recife, denominada de 'Área de estudo 2: Torreão'. Inicialmente, fez-se o reconhecimento *in loco* para verificação do levantamento de campo e prévia visualização das possíveis metodologias de medição a serem aplicadas.

Na área de estudo no *Campus* UFPE foi desenvolvida uma metodologia para verificação de planos horizontais (lajes/pisos) e verticais (fachadas) na fase estrutural de uma obra, conforme projeto. A determinação dos pontos partiu de SGL preexistente dentro do *Campus*.

A área de estudo no bairro de Torreão em Recife foi escolhida para aplicar o transporte de base utilizando a tecnologia GNSS para criar um SGL na área da obra, identificando possível Referência de Nível, e pontos de poligonal de referência para a obra, além da implantação de pontos em laje e interligação desses pontos com os vértices da poligonal implantada. Em seguida, a partir da poligonal, realizou-se o transporte de coordenadas para o interior da obra (interseção a ré), permitindo a densificação de pontos para a aplicação da metodologia da técnica de prumagem plana.

a. ÁREA 1: *CAMPUS* RECIFE UFPE

Primeiramente, fez-se uma busca de pontos de referência pré existentes tanto na planimetria como na altimetria em torno do objeto de estudo (Figura 28), dessa forma, identificando um SGL preexistente.

Realizou-se o reconhecimento *in loco* dos arredores da área de estudo 1 para a delimitação de uma poligonal apoiada em pontos de referência mais próximos, que permitiu a identificação dos marcos geodésicos no padrão RIBaC/RBMC EPS-04 e EPS-07 (Figura 31) da Rede de Referência Cadastral (RRC) do *Campus* Recife da UFPE. Estes EPS's apresentam coordenadas no Sistema Geodésico Brasileiro-SGB (φ , λ , h), permitindo o georreferenciamento de novos pontos de referência ao SIRGAS2000, e suas respectivas transformações geodésicas nos sistemas planos UTM e SGL.

Figura 31 - Pontos de coordenadas conhecidas EPS-04 e EPS-07 e objeto de estudo1
Pontos de coordenadas conhecidas EPS-04 e EPS-07 e objeto de estudo 1



Fontes: Ortofotos da PCR (2014) e Google Earth (imagem de 26/08/2018)

Para o SGL do *Campus* Recife da UFPE foi estabelecida a estação RECF (estação integrante da RBMC do IBGE sob código internacional 93.110) como origem do sistema (Tabela 3), conforme descrito em (Mendonça et al., 2010) e em (Vila Flor, 2010).

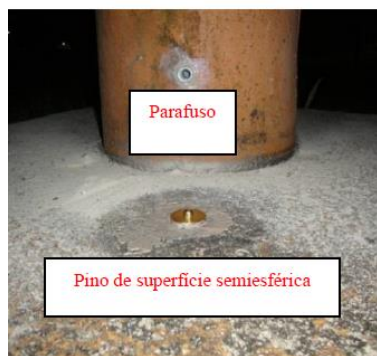
Tabela 3 - Coordenadas da estação RECF - RBMC

Coord.Geodésicas			Coord.Topocêntricas	
φ	λ	h (m)	X (m)	Y (m)
8 03'03,46970"S	34 57'05,45910"W	4,217	150.000,000	250.000,000

Fonte: Mendonça et al. (2010) e Vila Flor (2010)

Os EPS's supracitados possuem em suas bases pinos e parafusos de altitudes conhecidas (Figura 32 e Tabela 4), conforme apresentado em Silva (2017) e Silva e Seixas (2017). Além desses marcos geodésicos (EPS-04 e EPS-07) e das RRNN (RN-EPS-04 e RN-EPS-07), ressalta-se também as Referências de Nível RN CTG-01 e RN CTG-02, e a RN-D da base de verificação e ajuste de níveis de luneta, implantadas de acordo com o projeto em desenvolvimento em (SEIXAS e SEIXAS, 2015).

Figura 32 - Pino e parafuso no EPS-4



Fonte: SILVA e SEIXAS (2017)

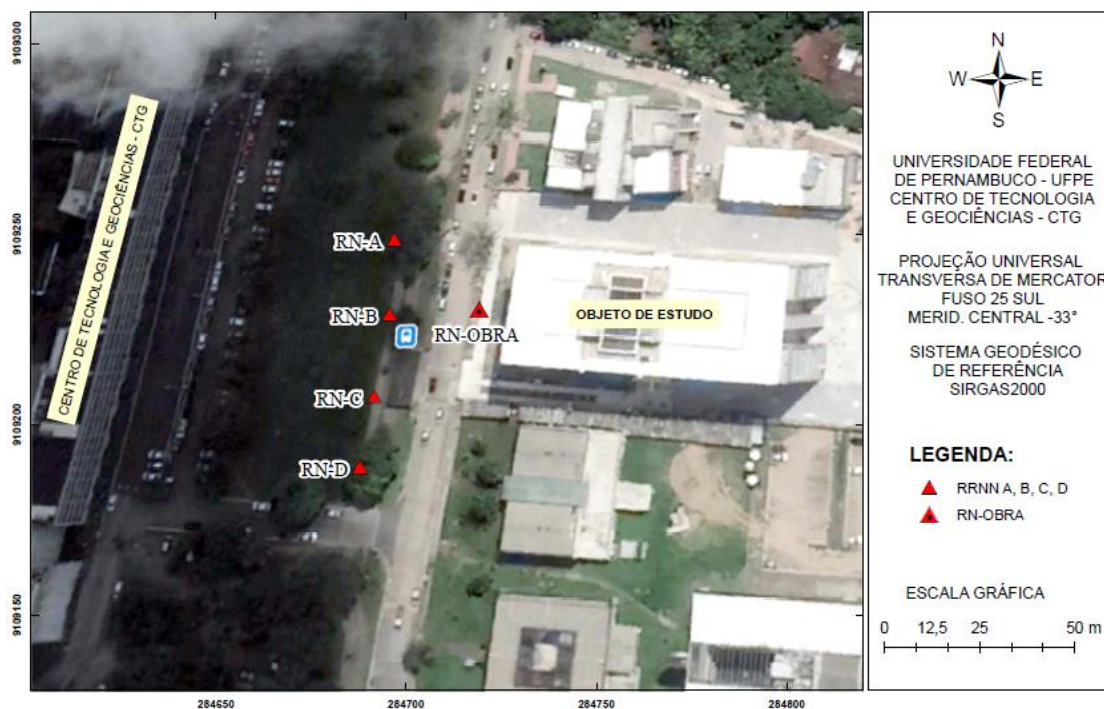
Tabela 4 - Altitudes normais-ortométricas ajustadas da Rede Geodésica Altimétrica Local (Campanha de medição 01 - Novembro de 2015)
PINOS DE SUPERFÍCIES SEMIESFÉRICAS

RN	H (m)
RN-EPS-04	9,13486 ± 0,00011
RN-EPS-07	8,82672 ± 0,00013
CTG-02	9,77063 ± 0,00014
CTG-01	9,73604 ± 0,00014

Fonte: Silva e Seixas (2017)

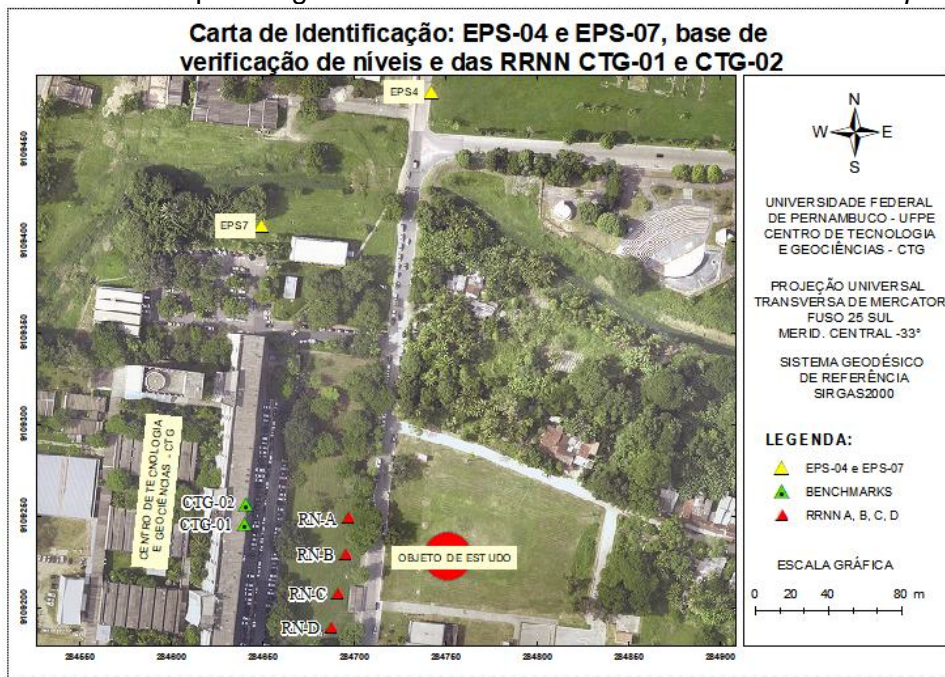
Observa-se também próximo à área de estudo 1, no *Campus* da UFPE, a RN-OBRA e uma base de verificação e retificação de nível composta por 4 pontos dispostos, alinhados e igualmente espaçados de 20 metros, denominados na sequência: RN-A, RN-B, RN-C e RN-D, implantadas conforme (SEIXAS e SEIXAS, 2015) e ilustradas na Figura 33. Na Figura 34 é possível visualizar a distribuição espacial dos marcos geodésicos EPS-04 e EPS-07 e RRNN.

Figura 33 - Carta com ilustração dos RRNN A, B, C e D
Carta de identificação dos vértices RN-A, RN-B, RN-C, RN-D e RN-OBRA



Fonte: Google Earth (imagem de 26/08/2018)

Figura 34 - Rede de pontos geodésicos EPS-04 e EPS-07 e RRNN no *campus* UFPE



Fonte: Ortofotos da Prefeitura do Recife (2014)

A partir daí definiu-se os pontos no entorno da obra, para a implantação de uma poligonal no Sistema Geodésico Local-SGL. Escolheu-se uma fachada e um trecho do piso do pavimento térreo para servir de teste. Para a realização das medições vários procedimentos foram adotados, entre eles: poligonação, irradiação (simples, dupla e tripla), interseção a ré, interseção a vante, nivelamento geométrico e trigonométrico. Após a obtenção dos dados, foram realizadas diversas etapas de cálculos através de rotinas desenvolvidas em diversos *softwares* (Quadro 3), permitindo uma análise de resultados de modo geral, e especificamente para os casos de planeza e prumagem.

Para a análise de horizontalidade abordou-se dois procedimentos: em campo, para a aplicação de pisos e lajes; e em laboratório, a sugestão para a verificação do quão plano as placas foram entregues à obra para compor a fachada.

A poligonal em torno do objeto de estudo permitiu que com base nas coordenadas determinadas, fossem realizadas as medições na fachada frontal do edifício, utilizando-se as técnicas de irradiação 3D e de interseção a vante 3D, possibilitando determinar o plano da fachada e a sua prumagem. Além disso, a partir de RRNN estáveis, denominadas Benchmarks CTG-01 e CTG-02 (Figura 34), implantadas nos arredores da área de estudo, conforme apresentado em Seixas e

Seixas (2015), fez-se o transporte de altitudes ortométricas das RRNN definidas em Silva e Seixas (2017) para o interior do prédio, objeto de estudo, determinando-se no *hall* de entrada da edificação uma malha quadricular de altitudes, para a análise da planeza do piso, através de técnicas de nivelamento geométrico, trigonométrico, irradiação 3D e interseção a vante.

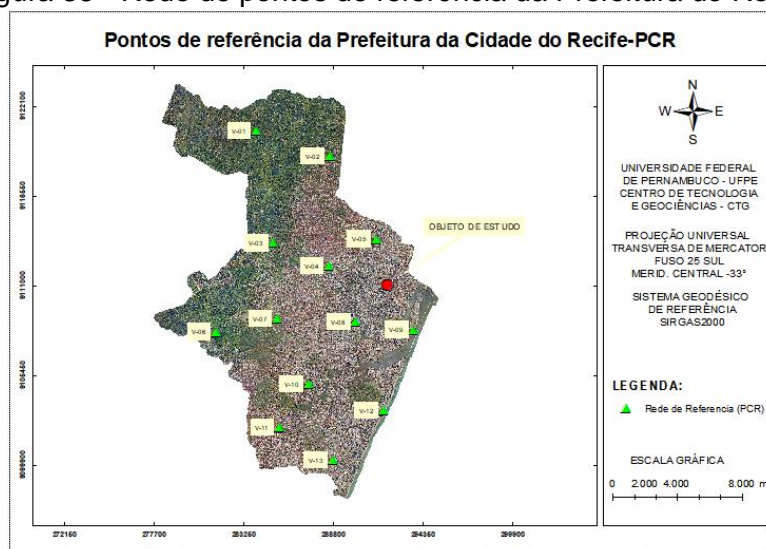
Com as coordenadas 3D obtidas através de métodos diversos, fez-se uma análise de correlação entre os dados, para saber se há diferença significativa entre eles. A partir daí foi possível determinar por regressão linear múltipla, o plano que mais se aproximava dos valores obtidos.

Vale salientar que o edifício estava em fase de acabamento, ou seja, a sua fase estrutural havia sido finalizada. Assim, a prumagem é verificada para a conferência da fachada revestida em ACM. Para uma situação hipotética da verificação do prumo em uma edificação ainda em fase estrutural, tal verificação pode permitir que para a hipótese de desaprumo, as devidas providências de retificação sejam adotadas ainda no levantar da obra.

b. ÁREA 2: TORREÃO-RECIFE-PE

Fez-se uma busca de pontos de referência pré existentes tanto na planimetria quanto na altimetria em torno do objeto de estudo (edifício empresarial em Torreão com 25 pavimentos). Porém essa busca não foi satisfatória, visto que as RRNN do IBGE não foram localizadas nos arredores da área de estudo, sendo a RN mais próxima localizada a 2.216,35 metros de distância, e os pontos planimétricos da referência cadastral da Prefeitura da Cidade do Recife (PCR) estavam a um raio maior que 2.950,00 metros da área de interesse (Figura 35).

Figura 35 - Rede de pontos de referência da Prefeitura do Recife



Fonte: Prefeitura do Recife-PCR (2014)

Ressalta-se assim, a problemática na escassez de pontos de apoio imediato nos bairros do Recife. Em contrapartida, localizou-se uma RN próximo a obra, na Avenida Agamenon Magalhães, provinda de pesquisa de mestrado em desenvolvimento de (SILVA, 2019).

Para esta área de estudo, considerando que os dados prévios obtidos estavam disponibilizados em coordenadas UTM em SIRGAS2000 e/ou em (φ, λ, h) , a metodologia para a transformação de coordenadas foi explanada em Santos e Seixas (2018), de forma a permitir para trabalhos futuros em outras áreas com este tipo de coordenadas, seu desenvolvimento no SGL.

Para a aplicação em obras em fase estrutural, e sem pontos de controle nas imediações, fica a recomendação de rastreamento de pontos por posicionamento GNSS.

Dessa forma, para a área 2 definiu-se quatro pontos de referência próximos a obra. A partir daí definiu-se a fachada e a aresta a se estudar a planeza e a prumagem, respectivamente. Implantou-se pinos em uma laje vazada da obra em construção para uma futura implantação de poligonal na laje. Para o transporte de coordenadas conhecidas para dentro da obra, fez-se o rastreamento GNSS nos pontos de referência, e em seguida empregou-se o método da interseção a ré. A partir de então, os procedimentos se assemelham aos empregados para a área 1.

6 RESULTADOS E ANÁLISES

Este capítulo detalha os resultados obtidos para as duas áreas de estudo, desde a implantação dos pontos de referência, passando pelo processamento de dados e seus ajustamentos, e finalizando com as análises estatísticas e de regressão linear.

6.1 ÁREA DE ESTUDO 1: *CAMPUS RECIFE DA UFPE*

Para esta dissertação, as superfícies planas estudadas são: parte de um pavimento térreo do *hall* de entrada, parte de um trecho de calçada de acesso para o *hall* de entrada, e parte de uma fachada em ACM.

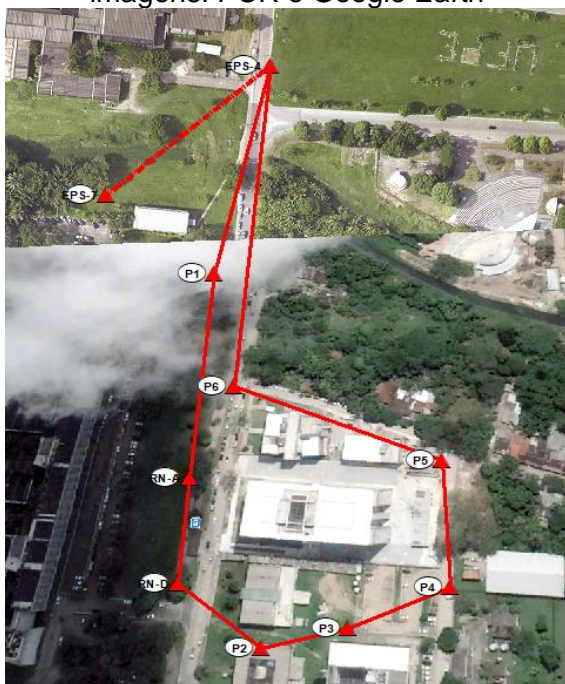
6.1.1 Determinação de Pontos de Referência

Pontos de referência foram implantados no entorno da obra, utilizando-se das seguintes técnicas: poligonação com centragem forçada, interseção a ré e nivelamento geométrico.

6.1.1.1 Poligonação com Centragem Forçada

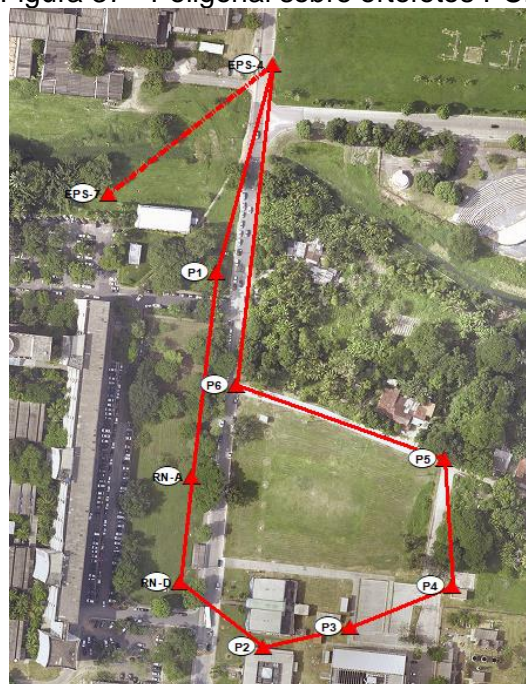
A partir da identificação prévia dos pontos conhecidos em torno da fachada da obra, realizou-se entre as datas 17 e 19 de maio de 2018 uma poligonal fechada ao redor do prédio composta de 9 pontos, tendo-se como pontos de partida de coordenadas conhecidas o EPS-4 e o EPS-7, como previamente identificados na Figura 31. A medição para a aquisição desses pontos deu-se inicialmente estacionando-se a estação total no vértice EPS-4 e visando-se o EPS-7, para obtenção do azimute inicial. A poligonal fechada possui 9 vértices, sendo eles: EPS-4, P1, RN-A, RN-D, P2, P3, P4, P5 e P6. As monografias dos novos vértices implantados estão dispostas no Apêndice D.3 As Figura 36 e Figura 37 mostram a poligonal envolvendo a área de estudo, identificando cada um de seus 9 vértices.

Figura 36 - Poligonal sobre mosaico de imagens: PCR e Google Earth



Fonte: Ortofotos anos 2013/2014 da PCR e Google Earth (imagem de 26/08/2018)

Figura 37 - Poligonal sobre ortofotos PCR



Fonte: Ortofotos 2013/2014 da PCR

O processamento e ajustamento da poligonal foi realizada no *software* AstGeoTop 2018. A Figura 38 ilustra a tela do módulo “poligonal fechada”, em que dispo de dos dados de entrada (ângulos horizontais, distâncias e pontos conhecidos), foi permitido o ajustamento para a classe IIP da poligonal.

Figura 38 - Ajustamento da poligonal fechada

Ajustamento de Poligonais 3D

Poligonal Fechada

Est	PtoV	Ang	Dist	dH	Az	DX	DY	DZ	X	Y	H
EPS04	P1	8°30'02,2"	121,459	-0,933	194°59'50,9"	-31,4307	-117,3218	-0,9330	149811,2152	249927,1358	4,8920
P1	RN-A	172°03'26,5"	116,075	-0,305	187°03'17,4"	-14,2562	-115,1962	-0,3050	149779,7845	249809,8140	3,9590
RN-A	RN-D	179°05'20,0"	60,023	-0,009	186°08'37,4"	-6,4238	-59,6783	-0,0090	149765,5282	249694,6178	3,6540
RN-D	P2	121°50'16,8"	59,660	-0,046	127°58'54,2"	47,0244	-36,7154	-0,0460	149759,1044	249634,9396	3,6450
P2	P3	128°41'36,0"	50,332	-0,302	76°40'30,2"	48,9770	11,6002	-0,3020	149806,1288	249598,2242	3,5990
P3	P4	171°08'43,7"	61,766	0,269	67°49'13,9"	57,1957	23,3172	0,2690	149855,1058	249609,8244	3,2970
P4	P5	108°47'32,3"	71,466	0,511	356°36'46,2"	-4,2224	71,3412	0,5110	149912,3015	249633,1416	3,5660
P5	P6	112°48'55,8"	124,608	-0,744	289°25'42,0"	-117,5126	41,4481	-0,7440	149908,0791	249704,4828	4,0770
P6	EPS04	257°03'25,8"	182,358	1,542	6°29'07,8"	20,5977	181,1910	1,5420	149790,5665	249745,9308	3,3330

Erros de Fechamento nas Projeções

Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)
-0,0510	-0,0140	-0,0170

Erros de Fechamento

Angular : -0°00'40,9"

Linear [ZD : 0,0529 m
3D : 0,0556 m

Precisão
Linear = 1/ 16018,04
Vertical = 1/ 49867,47

Classe de Poligonal

IP (NBR 13133)

IIP (NBR 13133)

IIIP (NBR 13133)

IVP (NBR 13133)

VP (NBR 13133)

Definida pelo usuário

Ajuste Angular

Partes iguais

Inverso dos lados adjacentes

Inv. lados e ang verticais adjacentes

Ajuste Linear

Proporcional aos lados

Proporcional as coordenadas parciais

Partes iguais as coordenadas parciais

Ajustar pelo Método Tradicional

Ajustar por MMQ Paramétrico

Ajustar

Nº Vértices: 9
Elementos do perímetro: Soma ângulos = 1259°59'19,1"
Perímetro = 847,747 m

Nº Ptos Irradiados: 2

Atualizar

Fonte: AstGeoTop 2018 (GARNÉS, 2018)

As coordenadas planimétricas da poligonal foram todas determinadas no plano SGL, tendo-se os valores apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Coordenadas: pontos da poligonal

Vértice	x (m)	Sigma_x (m)	y (m)	Sigma_y (m)
EPS-04	149811,215	0,0000	249927,136	0,0000
P01	149779,7849	±0,0039	249809,8157	±0,0145
RN-A	149765,5280	±0,0046	249694,6215	±0,0185
RN-D	149759,1029	±0,0055	249634,9454	±0,0196
P02	149806,1235	±0,0133	249598,2290	±0,0193
P03	149855,1009	±0,0159	249609,8239	±0,0193
P04	149912,2997	±0,0142	249633,1323	±0,0191
P05	149908,0896	±0,0137	249704,4764	±0,0159
P06	149790,5827	±0,0041	249745,9467	±0,0151

Fonte: AstGeoTop 2018 (GARNÉS, 2018)

Para as tolerâncias angular (T_a) e linear (T_L) da poligonal do tipo 1, e sabendo-se que os erros calculados angular e linear são, respectivamente, 40,9" e 52,29mm na planimetria para o comprimento (perímetro) total de 847,747m, a poligonal desenvolvida enquadra-se na classe IIP (Figura 39) de acordo com a NBR 13133 (ABNT,1994).

Figura 39 - Classe IIP da poligonal no AstGeoTop

The screenshot shows the AstGeoTop software interface for planimetric calculations. The main window is titled 'LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO - PLANIMETRIA'. It features a table with the following columns: Linha, Estação, Pto_Ré, Ang.Horário, Dist.horizantal, Pto_Vante, Ang.Horário, and Dist.horizantal. The data in the table corresponds to the vertices listed in Tabela 5. The 'Estação' column is set to 'EPS04'. To the right of the table, there are input fields for 'Estação: EPS04', 'Coord. X = 149811,2152', 'Coord. Y = 249927,1358', and 'Azimute Inicial (ggg.mmsss) 194°59'50.9"'. Below the table, there is a section titled 'RELATÓRIO PARCIAL PRÉ AJUSTAMENTO' which displays calculated errors: 'Erro em Y = -0,0121', 'Erro Linear = 0,0141', and 'Precisão Relativa = 1/60126,61'. The 'CONCLUSÃO' section states: 'Poligonal dentro das especificações de tolerâncias para a classe no pré-ajustamento'. At the bottom, there is a section 'DEFINA A CLASSE DA POLIGONAL' with radio buttons for different classes: 'IP (NBR 13133)', 'IIP (NBR 13133)', 'IIIP (NBR 13133)', 'IIVP (NBR 13133)', 'VP (NBR 13133)', and 'Definida pelo usuário'. The 'IIP (NBR 13133)' option is selected. To the right of this section, there are fields for 'Precisões dos equipamentos utilizados', 'Teodolito / Estação Total', 'Medidor Eletrônico de Distância', and 'Coeficiente b"', along with 'Ajuste Angular' and 'Ajuste Linear' options. The 'Ajuste Linear' option is selected with 'Proporcional aos lados' and 'Inv. soma lados adjacentes' checked. There is also an 'Ajustar' button and checkboxes for 'Ajustar pelo Método Tradicional' and 'Ajustar por MMQ Paramétrico'.

Fonte: AstGeoTop 2018 (GARNÉS, 2018)

O relatório completo do ajustamento pelo MMQ no software AstGeoTop está disposto do Anexo 2.

Os menores desvios padrão para os pontos da poligonal em “x” e em “y” são $\pm 0,0039\text{m}$ e $\pm 0,0145$, respectivamente, ambos para o ponto P1. Os maiores valores são $\pm 0,0159\text{m}$ (P3) e $\pm 0,0196\text{m}$ (RN-D) para “x” e “y”, respectivamente.

Com o ajustamento finalizado, visa-se determinar se a discrepância da variância da unidade de peso a posteriori é significativa a um certo nível de confiança da variância da unidade de peso a priori, a partir do teste de hipótese baseado na distribuição de χ^2 (Qui-Quadrado). O relatório fornecido pelo AstGeoTop apresenta um Qui-Quadrado ($\chi^2 = V^T \cdot P \cdot V$) de 8,096, o que para um nível de significância de 5% constata que as observações ponderadas são provenientes de uma distribuição normal, ou seja, não há problemas no ajustamento, como pode ser visto na Figura 40 ($0,22 < \chi^2 < 9,35$).

Figura 40 - Distribuição do Qui-Quadrado (χ^2)

n	$P(\chi_n^2 \leq x)$												
	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,25	0,5	0,75	0,9	0,95	0,975	0,99	0,995
1	3,93E-05	0,000157	0,000982	0,003932	0,016	0,102	0,455	1,323	2,706	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,010	0,020	0,051	0,103	0,211	0,575	1,386	2,773	4,605	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	0,584	1,213	2,366	4,108	6,251	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	1,923	3,357	5,385	7,779	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	1,610	2,675	4,351	6,626	9,236	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	2,204	3,455	5,348	7,841	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	2,833	4,255	6,346	9,037	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278

Fonte: <https://www.ime.unicamp.br/~hlauchos/TabelaQuiQuadrado.pdf>

Devido o erro de fechamento altimétrico da poligonal não ter sido satisfatório, apresentando um erro de 1,70cm (Figura 38), o nivelamento trigonométrico da poligonal não será considerado para fins dessa dissertação. Na Figura 38, o erro em Z apresentado é referente apenas ao fechamento nesta projeção, por outro lado, o erro linear 3D refere-se a diferença das coordenadas planialtimétricas de partida e chegada.

Devido a técnica do nivelamento geométrico ser mais precisa, e o valor da altimetria da RN-A ter sido determinada na época das observações e transferida também para o piso do *hall* de entrada em estudo (item 6.1.1.2), adotou-se nessa dissertação esse valor altimétrico como referência para aplicação dos métodos de medição com estação total.

6.1.1.2 Nivelamento Geométrico

A base de verificação e retificação de nível (RN-A, RN-B, RN-C, RN-D) permitiu a aplicação do procedimento de verificação do nível digital EL302A. Foi a partir dos comandos embutidos do nível digital para verificar o erro de colimação (C) através da metodologia kukkamäki descrita no subitem 3.1.5.2. Primeiramente, estacionou-se o nível no meio das Referências de Nível RN-A e RN-B, e mediu-se estas duas RRNN; em seguida estacionou-se o nível na RN-C e visou-se a RN-B e depois a RN-A. A verificação do erro de colimação (C) é uma etapa importante e necessária. Para o nivelamento geométrico simples, aplicação de irradiação no *hall* de entrada com o nível, essa correção nas leituras a mira fez-se necessária.

A Tabela 6 dispõe dos dados obtidos em campo para a aplicação do método *Kukkamäki*, o qual para cada visada foram realizadas 4 leituras. O emprego da equação 8 para a média dos valores médios de cada visada (FM médio) e para as melhores visadas da leitura fornecem o erro de colimação (C) apresentado na Tabela 7.

Tabela 6 - Dados para aplicação do método *Kukkamäki*

ESTAÇÃO	PT VISADO	FM (LEITURA) (m)	FM MÉDIO (m)
1	A	1,42640	
	A	1,42635	1,42637
	A	1,42639	
	A	1,42632	
1	B	1,44256	
	B	1,44257	1,44256
	B	1,44256	
	B	1,44256	
2	B	1,47405	
	B	1,47403	1,47406
	B	1,47409	
	B	1,47406	
2	A	1,45726	
	A	1,45722	1,45725
	A	1,45727	
	A	1,45723	

Fonte: a autora

Tabela 7 - Erro de colimação (C)

	FM escolhido	FM médio
2·C =	$(A_2 - B_2) - (A_1 - B_1)$	$(A_2 - B_2) - (A_1 - B_1)$
2·C =	$(1,45726 - 1,47403) - (1,42635 - 1,44256)$	$(1,45725 - 1,47406) - (1,42637 - 1,44256)$
2·C =	-0,00056 m	-0,00061 m
C =	-0,00028 m	-0,00031 m

Fonte: a autora

Dessa forma, obtém-se o valor $C = -0,00028\text{m}$ para a aceitação das leituras e o erro determinado no nível, condizente com a precisão do equipamento: $3 \cdot 0,7\text{mm}$ (intervalo $[\mu \pm 3\sigma]$), por este apresentar melhor resultado em relação ao “C” obtido com as médias dos fios médios.

As observações com o nível para cada ponto dispõem-se de uma série com quatro leituras de fio médio (FM) com cinco casas decimais. No *software* AstGeoTop os dados de entrada considerados foram as médias de cada série leitura de FM. Para o aceite de cada média de cada leitura, valores de FM maiores que a média em $0,0021\text{m}$ ($3 \times$ valor da precisão do equipamento) foram desconsiderados.

Identificados as RRNN e Benchmarks no entorno do objeto da área de estudo 1, adotou-se como partida do nivelamento geométrico o Benchmark RN-CTG-01 (Figura 41) no prédio CTG (Centro de Tecnologia e Geociência) do *Campus* da UFPE, cujo conhecimento da altitude do Benchmark está disponível em (Silva e Seixas, 2017).

Figura 41 - Benchmarks na proximidade da obra (Área 1) em 21/06/2018



(a) RN-CTG-01



(b) RN-CTG-01

Fonte: a autora

Executou-se a rede de nivelamento geométrico com a finalidade de transportar a altitude conhecida da RN CTG-01 para dentro da obra, denominado RN-OBRA, com o caminhamento: RN-CTG-01 > RN-CTG-02 > RN-A > RN-OBRA > RN-A > CTG-01.

A Figura 42 mostra o esboço em vista aérea das RN-CTG-01 e RN-CTG-02, estações do nível (EST-1 a EST-8) e dos pontos auxiliares de mudança de altitude (AUX-1, AUX-2, RN-A e RN-OBRA).

Figura 42 - RN-OBRA na área 1 de estudo em 21/06/2018



(a) RN-OBRA



(b) RN-OBRA

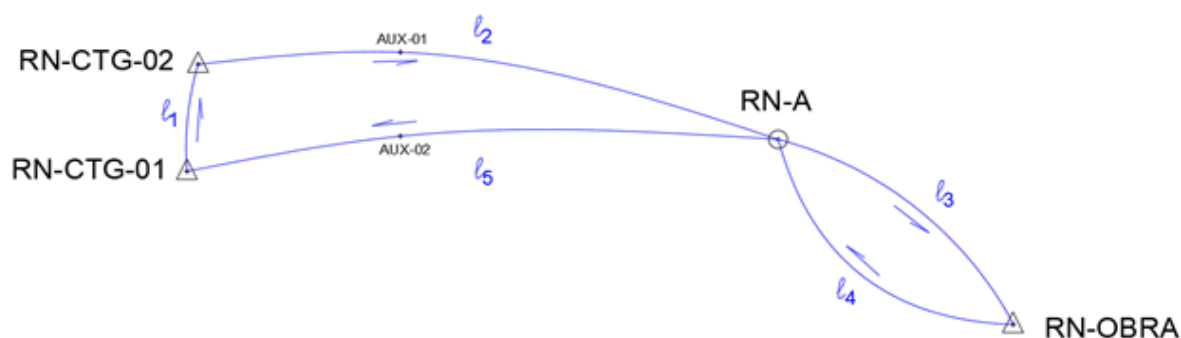
Fonte: a autora

A Figura 43 demonstra o caminhamento trabalhado, iniciando-se a rede de nivelamento na estação EST-1 e visando a ré na RN-CTG-01, prosseguindo estacionado-se nos demais pontos ESTs consecutivos, até a estação EST-4 visando a vante da RN final denominada RN-OBRA; o contranivelamento se inicia na estação EST-5 visando-se a ré na RN-OBRA e conclui-se estacionando-se na EST-8 e visando vante em RN-CTG-01.

Figura 43 - Croqui da 1ª rede de nivelamento geométrico



(a) Esboço em vista aérea das RRNN da rede de nivelamento geométrico



(b) Rede de referência altimétrica, linhas de nivelamento (l_1 , l_2 , l_3 , l_4 e l_5) e sentido da medição realizada em campo
Fonte: a autora

Para o processamento e ajustamento da rede de nivelamento geométrico trabalhou-se o módulo Nivelamento Geométrico @ Versão 2016.03.18 do *software* AstGeoTop e também o *Excel* utilizando-se do método proporcional à distância, descrito no item 4.2.

Adotando-se o valor inicial de $9,73604 \pm 0,00014$ metros para a altitude da RN CTG-01 (Tabela 4); realizou-se o transporte altimétrico. A Figura 44 ilustra o procedimento de campo com o nível na estação 2 e visada a vante na RN-A.

Figura 44 - Visada da estação 3 para o RN-A em 21.06.2018



Fonte: a autora

O erro de fechamento calculado pelo *Excel* e pelo AstGeoTop é de $-0,0034\text{m}$, em ambos os *softwares*, para o comprimento de circuito de $120,00\text{m}$, classificando a rede na classe IN de acordo com a NBR 13133 (ABNT, 1994). Considerando um erro de fechamento de $-0,0034\text{m}$ e os valores recomendados de tolerâncias para o nivelamento geométrico descritos em Silva e Segantine (2015), o nivelamento geométrico realizado obedece ao nível de qualidade alta, ou seja, $2 \text{ a } 4 \cdot \sqrt{d}$ ($= 4 \cdot \sqrt{0,12\text{km}} = 1,3856\text{mm}$). Dessa forma, o erro de fechamento está dentro da

tolerância 4,1568mm ($=3 \cdot 1,3856\text{mm}$). Devido os valores obtidos apenas diferenciarem no décimo de milésimo, os dados providos do AstGeoTop foram os considerados para fins dessa dissertação. A Figura 45 mostra o ajustamento do nivelamento e contranivelamento fornecido pelo AstGeotop, com uma precisão de 4,957 mm/km. O baixo valor alcançado na precisão deu-se devido diversos fatores, dentre eles: a mira utilizada foi de alumínio e do tipo encaixe, e condições climáticas não favoráveis (forte ventania) entre as RRNN CTG-01 e RN-OBRA.

Figura 45 - Ajustamento da 1ª rede do nivelamento e contranivelamento no AstGeoTop (data da observação de campo: 21/06/2018)

NIVELAMENTO

ESTAÇÃO	SEM AJUSTAMENTO COTA (m)	COM AJUSTAMENTO COTA (m)
CTG-1	9,73604	9,736040
CTG-2	9,770774	9,771572
Aux-1	9,526611	9,527751
RN-A	9,098973	9,100431
Obra	8,572818	8,574535

Número de Pontos ajustados Nivelamento = 4

CONTRANIVELAMENTO

ESTAÇÃO	SEM AJUSTAMENTO COTA (m)	COTA REDUZIDA (m)	AJUSTADAS AJUSTADA (m)
CTG-1	9,732606	9,736040	9,736040
Aux-2	9,526114	9,529548	9,528601
RN-A	9,097975	9,101409	9,100023
C4	9,053620	9,057054	9,055337
C3	9,118405	9,121839	9,120183
C2	9,122708	9,126142	9,124481
C1	9,060270	9,063704	9,061991
Obra	8,572818	8,576252	8,574535

Número de Pontos ajustados Contranivelamento = 7

AJUSTAMENTO COM VALORES MÉDIOS DOS PONTOS COMUNS

ESTAÇÃO	COTA NIV (m)	COTA CNIV (m)	MEDIA (m)	Precisão (mm)
CTG-1	9,736040	9,736040	9,736040	0,00
RN-A	9,098973	9,101409	9,100191	1,22
Obra	8,572818	8,576252	8,574535	1,72

Desnível entre CTG-1 e Obra = -1,161505 m
 Erro de fechamento = -0,003434 m => -3,434000 mm
 Comprimento do circuito = 120,00 m
 Precisão = 4,957 mm/km

Fonte: AstGeoTop 2018 (GARNÊS, 2018)

Os valores das altitudes ortométricas ajustadas dos pontos da rede de nivelamento geométrico são apresentados na Tabela 8. A altitude ortométrica calculada no AstGeoTop é dada pela média das altitudes obtidas no nivelamento e no contra-nivelamento, já a precisão, dá-se a partir da diferença calculada da média da

altitude e das altitudes de nivelamento e contra-nivelamento. As discrepâncias (módulos) das altitudes comparam os valores calculados atingidos através do Excel e do AstGeoTop.

Tabela 8 - Altitudes ortométricas ajustadas (niv. geométrico)

PONTO	Excel	AstGeoTop 2018		Discrepância
	H (m)	H (m)	σ (mm)	(m)
CTG-01	9,7360	9,7360	$\pm 0,00$	0,0000
RN-A	9,1004	9,1002	$\pm 1,22$	0,0002
RN-OBRA	8,5747	8,5745	$\pm 1,72$	0,0002

Fonte: a autora

6.1.1.3 Interseção a Ré

Para o desenvolvimento da metodologia na análise de planeza no plano vertical, foram implantados três pontos de referência em frente a fachada em ACM do prédio em construção, na Av. da Arquitetura, próximo a parada de ônibus e a base de verificação e ajuste de níveis. Estes foram denominados de vértices: FACH1, FACH2 e FACH3, todos intervisíveis entre si e intervisíveis aos vértices RN-A e RN-D, permitindo assim, a superabundância de dados.

Os pontos FACH_i ($i = 1, 2, 3$) foram locados entre os pontos da poligonal RN-D e RN-A de forma estratégica, para permitir a visibilidade desses 3 pontos para 2 vértices da poligonal implantada no entorno da obra. O transporte altimétrico foi realizado a partir da altitude da RN-A para os vértices FACH1, FACH2 e FACH3 utilizando o método de nivelamento trigonométrico e destes para os pontos da fachada. Além disso, a escolha da locação destes pontos de referência determinados pelo método de interseção a ré permitiu que a fachada em ACM fosse vista em sua maior parte. A Figura 46 ilustra os vértices, suas respectivas materializações e instalações de prismas e equipamento de medição.

Figura 46 - Pontos FACHi determinados por interseção a ré



(a) Vértice FACH1



(c) Vértice FACH2



(e) Vértice FACH3

(b) Estação em FACH1
(em 11.09.2018)(d) Estação em FACH2
(em 11.09.2018)
Fonte: a autora(f) Estação em FACH3
(em 17.05.2018)

Uma carta com a identificação dos três vértices em vista aérea pode ser vista na Figura 47. O processamento dos três pontos da interseção a ré deu-se através de um aplicativo desenvolvido para o software *Matlab* R2015a. O modelo apresenta a resseção bidimensional a partir de dois pontos, conforme demonstrado em Silva e Segantine (2015) e no subitem 3.1.4.

Figura 47 - Carta com ilustração dos pontos FACHi



As coordenadas planimétricas dos vértices $FACH_i$ foram determinadas por interseção a ré (método combinado de direções e distâncias), visando-se os pontos conhecidos RN-D e RN-A, com coordenadas planimétricas determinadas pela poligonal ajustada (Tabela 9). A altitude da RN-A foi obtida da rede de nivelamento/contra nivelamento apresentada no subitem 6.1.1.2. Em suma, os valores das coordenadas em 3D dos vértices $FACH_i$ estão dispostos na Tabela 10.

Tabela 9 - Coordenadas dos pontos conhecidos para interseção a ré

PONTO	x (m)	y (m)	H (m)
RN-A	149765,5280	249694,6215	9,1002
RN-D	149759,1029	249634,9454	-

Fonte: a autora

Tabela 10 - Coordenadas 3D dos $FACH_i$
obtidas por interseção a ré e nivelamento trigonométrico

PONTO	x (m)	σ_x (m)	y (m)	σ_y (m)	H (m)
FACH1	149771,8444	$\pm 0,0000$	249681,2462	$\pm 0,0000$	8,9411
FACH2	149766,6586	$\pm 0,0000$	249673,2713	$\pm 0,0014$	9,1331
FACH3	149768,4308	$\pm 0,0000$	249645,9599	$\pm 0,0000$	8,8885

Fonte: a autora

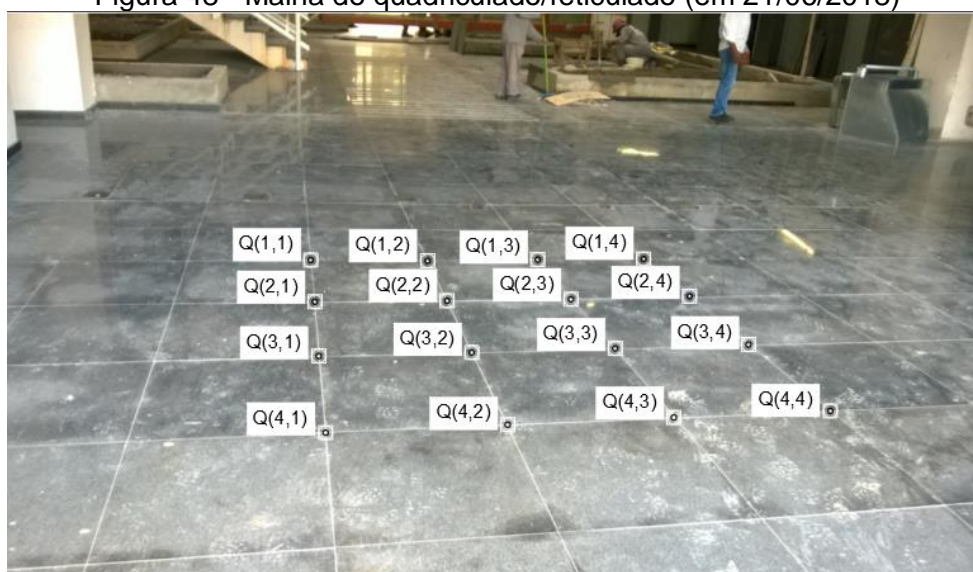
O Apêndice D.2 dispõe das monografias dos vértices FACHi. O apêndice E apresenta o modelo do cálculo MMQ - modelo paramétrico para a interseção a ré, quando se conhece 2 distâncias e 1 ângulo, exemplificado para o ponto FACH1.

6.1.2 Determinação de Pontos-Objeto de Piso/Laje

Aborda-se neste subitem como as técnicas de nivelamento geométrico, nivelamento trigonométrico, irradiação 3D e interseção a vante 2D e 3D podem auxiliar na determinação de coordenadas planimétricas e altimétricas de pontos distribuídos em superfícies tomadas como planas e horizontais.

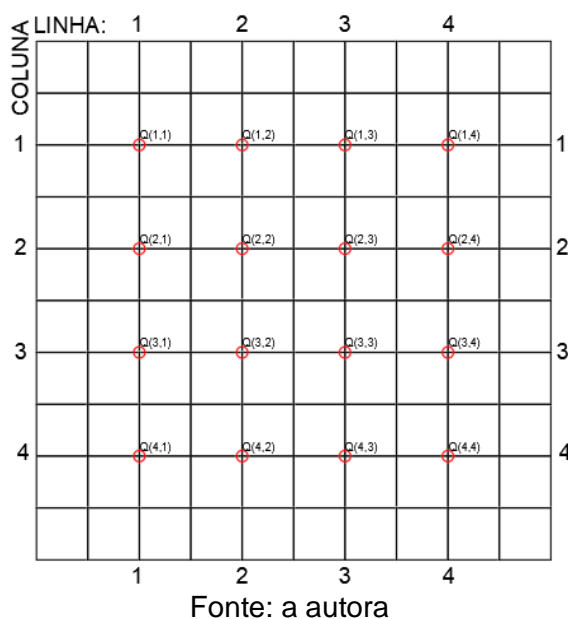
A metodologia empregada consistiu na criação de uma malha quadricular 4x4 (16 pontos) com espaçamento médio de 0,63cm (valor tirado com trena de *nylon* de ± 1 mm de precisão, medido em campo) no *hall* de entrada da área de estudo 1. O espaçamento é referente ao tamanho de cada pedra de granito, e suas altimetrias a serem medidas foram tomadas a partir das quinas marcadas com fita adesiva para se evitar medições equivocadas de quinas (Figura 48 e Figura 49). O tamanho adotado da malha (16 pontos) foi tomado apenas para fins de demonstração e aplicação da metodologia do experimento.

Figura 48 - Malha do quadriculado/reticulado (em 21/06/2018)



Fonte: a autora

Figura 49 - Croqui da malha do quadriculado/reticulado

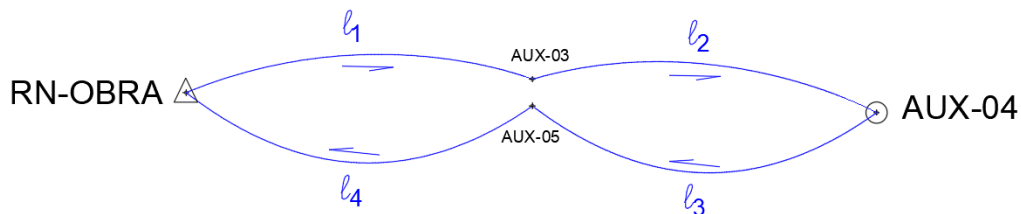


O sistema de referência do quadriculado seguiu a orientação de linhas e colunas, deste modo, os 16 pontos foram identificados por $Q(i,j)$, com $i,j = \{1, 2, 3, 4\}$.

Para as medições do *hall*, utilizou-se três técnicas para a determinação de coordenadas de pontos altimétricos, permitindo assim, a comparação dos diversos resultados. As técnicas empregadas foram: irradiação simples de nivelamento geométrico; nivelamento trigonométrico (irradiação simples 3D); e interseção a vante 3D. A irradiação e a interseção a vante permitem determinar coordenadas planialtimétricas. A vantagem da interseção a vante é que permite determinar a qualidade posicional dos pontos medidos.

A determinação da RN-OBRA permitiu o transporte de altitude para o interior da obra possibilitando a medição de duas superfícies planas horizontais: o *hall* de entrada e um trecho da calçada. Para o transporte de altitude até a malha do quadriculado, realizou-se uma segunda rede de nivelamento geométrico 'RN-OBRA > AUX-03 > AUX-04 > AUX-05 > RN-OBRA' (Figura 50):

Figura 50 - Croqui da 2ª rede de nivelamento geométrico
(rede de ref. altimétrica, linhas de nivelamento (l_1 , l_2 , l_3 e l_4) e sentido da medição)



Fonte: a autora

Adotou-se, então, um sistema de referência arbitrado localmente sem correlação na planimetria com o SGL, pois nenhum dos vértices da rede de nivelamento geométrico teve suas coordenadas planimétricas determinadas. Para a correspondência com o SGL, os dois vértices de apoio imediato deveriam ter sido determinados a partir da poligonal no entorno da obra ou determinados por posicionamento GNSS.

6.1.2.1 Nivelamento Geométrico

De posse do valor calculado da altimetria da RN-OBRA, realizou-se uma segunda rede de nivelamento/contra-nivelamento geométrico. O transporte de altitude até a malha do quadriculado permitiu que, através da altimetria calculada do ponto AUX-04 (para visada a ré), por meio de uma estação EST-12, a irradiação dos 16 pontos do quadriculado (malha regular 4x4) fosse executada (Figura 51). O nível não ficou posicionado no centro da malha regular, como recomendado, devido as linhas de alcance para o ponto visado serem curtas (< 2 metros).

Figura 51 - Croqui da rede de quadriculado/reticulado



(a) RN-OBRA e auxiliares

(b) Estação e malha

Fonte: Google Earth (imagem de 26/08/2018)

Para o processamento e ajustamento do segundo nivelamento geométrico trabalhou-se o módulo Nivelamento Geométrico @ Versão 2016.03.18 do software AstGeoTop e também o Excel utilizando-se do método proporcional à distância. Adotando-se o valor inicial de $8,5745 \pm 0,00172$ metros para a altitude da RN-OBRA, valor esse extraído do primeiro nivelamento-contranivelamento conforme Tabela 8 realizou-se o transporte altimétrico.




O erro de fechamento calculado pelo *Excel* e pelo AstGeoTop é de $-0,0008\text{m}$, em ambos os softwares, para o comprimento de circuito de $62,07\text{m}$. Considerando um erro de fechamento de $-0,0008\text{m}$ e os valores recomendados de tolerâncias para o nivelamento geométrico descritos em Silva e Segantine (2015), o nivelamento geométrico realizado obedece ao nível de qualidade alta, ou seja, $2 \text{ a } 4 \cdot \sqrt{d}$ ($= 4 \cdot \sqrt{0,06207\text{km}} = 0,9966\text{mm}$). Dessa forma, o erro de fechamento está dentro da tolerância $2,9898\text{mm}$ ($= 3 \cdot 0,9966\text{mm}$). Devido os valores obtidos apenas diferenciarem no décimo de milésimo, os dados providos do AstGeoTop foram os considerados para fins dessa dissertação. A Figura 52 mostra o ajustamento do nivelamento e contranivelamento fornecido pelo AstGeotop, com uma precisão de $1,545 \text{ mm/km}$. O baixo valor alcançado na precisão deu-se devido diversos fatores, dentre eles: a mira utilizada foi de alumínio e do tipo encaixe, e condições climáticas

não favoráveis (forte ventania) entre o percurso da RN-OBRA e a RN-AUX04 próxima ao hall de entrada do prédio LITPEG/CTG/UFPE.

Figura 52 - Ajustamento do nivelamento e contranivelamento no AstGeoTop

NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Nivelamento Geométrico

Nivelamento	Contranivelamento	Ajustamento do Nivelamento e Contranivelamento		Perfis do Terreno	
Gerar Relatório   	Aux-4	9,3467	9,3470		
	Q(1,1)	9,4350	9,4354		
	Q(1,2)	9,4303	9,4307		
	Q(1,3)	9,4259	9,4263		
	Q(1,4)	9,4270	9,4274		
	Q(2,1)	9,4331	9,4335		
	Q(2,2)	9,4280	9,4284		
	Q(2,3)	9,4247	9,4251		
	Q(2,4)	9,4262	9,4266		
	Q(3,1)	9,4307	9,4311		
	Q(3,2)	9,4299	9,4303		
	Q(3,3)	9,4256	9,4260		
	Q(3,4)	9,4262	9,4266		
	Q(4,1)	9,4308	9,4312		
	Q(4,2)	9,4310	9,4314		
	Q(4,3)	9,4270	9,4274		
	Q(4,4)	9,4269	9,4273		
	Aux-4	9,3475	9,3479		

	Número de Pontos ajustados Nivelamento = 19				
CONTRANIVELAMENTO					
SEM AJUSTAMENTO					
AJUSTADAS					

ESTAÇÃO	COTA (m)	COTA REDUZIDA (m)	AJUSTADA (m)		

Obra	8,5738	8,5745	8,5745		
Aux-5	8,9680	8,9687	8,9685		
Aux-4	9,3475	9,3482	9,3478		

Número de Pontos ajustados Contranivelamento = 2					
AJUSTAMENTO COM VALORES MÉDIOS DOS PONTOS COMUNS					
ESTAÇÃO	COTA NIV(m)	COTA CNIV(m)	MEDIA (m)	Precisão (mm)	

Obra	8,5745	8,5745	8,5745	0,00	
Aux-4	9,3475	9,3482	9,3479	0,37	

Desnível entre Obra e Aux-4 = 0,7733 m					
Erro de fechamento = -0,0008 m => -0,7700 mm					
Comprimento do circuito = 62,07 m					
Precisão = 1,545 mm/km					

Fonte: AstGeoTop 2018 (GARNÉS, 2018)

Os valores das altitudes ortométricas ajustadas dos pontos da rede de nivelamento geométrico são apresentados na Tabela 11. A altitude ortométrica calculada no AstGeoTop é dada pela média das altitudes obtidas no nivelamento e no

contra-nivelamento, já a precisão dá-se a partir da diferença calculada da média da altitude e das altitudes de nivelamento e contra-nivelamento. As discrepâncias (módulos) das altitudes comparam os valores calculados atingidos através do Excel e do AstGeoTop.

Tabela 11 - Altitudes ortométricas ajustadas (2º nivelamento-contranivelamento)

PONTO	Excel 2013	AstGeoTop 2018	Discrepância	
	H (m)	H (m)	σ (mm)	(m)
RN-OBRA	8,5747	8,5745	$\pm 0,00$	0,0000
AUX-04	9,3480	9,3479	$\pm 0,37$	0,0001

Fonte: a autora

Para o quadriculado, os valores das altitudes ortométricas irradiadas a partir da estação EST-12 (2º nivelamento), em metros, calculados no AstGeoTop, podem ser vistos na Tabela 12. Os dados nesta tabela são também apresentados em uma estatística descritiva, conforme Tabela 13.

Tabela 12 - Altitudes ortométricas do quadriculado irradiadas por niv. geom. simples

PONTO	ALTITUDE (m)	PONTO	ALTITUDE (m)	PONTO	ALTITUDE (m)	PONTO	ALTITUDE (m)
Q(1,1)	9,4354	Q(1,2)	9,4307	Q(1,3)	9,4263	Q(1,4)	9,4274
Q(2,1)	9,4335	Q(2,2)	9,4284	Q(2,3)	9,4251	Q(2,4)	9,4266
Q(3,1)	9,4311	Q(3,2)	9,4303	Q(3,3)	9,4260	Q(3,4)	9,4266
Q(4,1)	9,4312	Q(4,2)	9,4314	Q(4,3)	9,4274	Q(4,4)	9,4273

Fonte: a autora

Tabela 13 - Estatística descritiva das altitudes do quadriculado (niv. geom.)

Quantidade	=	16	Desvio padrão	=	0,0029683m
Média	=	9,4290438m	Variância	=	8,811·10 ⁻⁶ m
Mediana	=	9,4279m	Valor máximo	=	9,4354m
Moda	=	9,4274m	Valor mínimo	=	9,4251m
Soma	=	150,8647m	Amplitude	=	0,0103m

Fonte: a autora

6.1.2.2 Nivelamento Trigonométrico

Para fins de comparação de resultados, a superfície plana horizontal do *hall* de entrada teve suas altitudes medidas também através da técnica de nivelamento trigonométrico. Logo, os 16 pontos da malha regular do piso também tiveram suas medições através de nivelamento trigonométrico com visada unilateral.

A irradiação de pontos do *hall*, utilizando-se uma estação total, e tomando-se como ponto de referência altimétrica a RN AUX-04 (visada a ré), com o sistema bastão e prisma apoiado na superfície esférica da sapata (AUX-04) (Figura 53) permitiu a determinação das coordenadas planialtimétricas dos pontos do quadriculado. O processamento do nivelamento trigonométrico, deu-se através do *Matlab*.

Figura 53 - Visada a ré do vértice EST-A para o vértice AUX-04 materializado em uma sapata e sistema bastão e prisma. Data: 21/06/2018

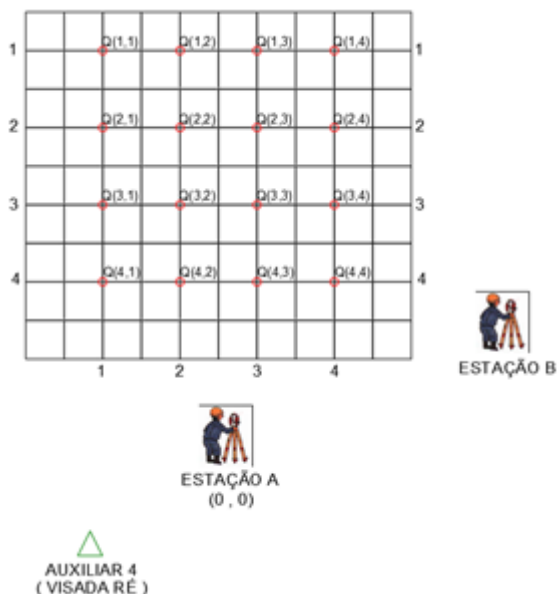


Fonte: a autora

O ponto AUX-04, o qual teve sua altitude determinada através da rede de nivelamento geométrico, foi tomado como referência para os pontos do quadriculado/reticulado. Esses 16 pontos, medidos com o sistema bastão e prisma apoiado em uma fita adesiva sobre a quina da placa de granito, foram tomados a partir de uma estação denominada EST-A.

Apenas para fins de comparação e controle dos resultados, uma segunda estação denominada EST-B mediu 4 pontos do referido quadriculado/reticulado, sendo esses os quatro extremos da malha: Q(1,1), Q(1,4), Q(4,1) e Q(4,4). A Figura 54 identifica a localização da estação dos pontos medidos. A Figura 55 mostra a irradiação do vértice EST-A para EST-B.

Figura 54 - Croqui dos pontos do quadriculado/reticulado



Fonte: a autora

Figura 55 - Irradiação de EST-B por EST-A
Data: 21/06/2018



Fonte: a autora

Para a determinação das coordenadas, criou-se um sistema local $x'y'$, onde o ponto EST-A foi tomado como referência (0,0) e o eixo y' orientado para o norte. Como para a aplicação deste método, faz-se necessário a estação em dois pontos de coordenadas conhecidas, a segunda estação considerada foi a EST-B, que teve suas coordenadas determinadas pelo método da irradiação a partir de EST-A (Tabela 14), partindo de um azimute aleatório ($Az_{A-B} = 65^{\circ}25'01,09''$ graus) pelo eixo y' do CAD, dessa forma, permitindo o eixo y' ficar transversal ao alinhamento das linhas do quadriculado. O processamento da determinação das coordenadas x',y' deu-se através do software *Matlab*.

Tabela 14 - Coordenada EST-B irradiada de EST-A

PONTO	x' (m)	y' (m)	H (m)
EST-A	0	0	10,1876
EST-B	5,9003	2,6993	10,2058

Fonte: a autora

As Tabela 15 e Tabela 16 expõem os valores calculados através do nivelamento trigonométrico, dos 16 pontos medidos da malha quadricular 4x4 através da estação EST-A e dos 4 pontos extremos da malha medidos através da estação EST-B.

Tabela 15 - Irradiação das altitudes do quadriculado por niv. trigonométrico (EST-A)

PONTO	ALTITUDE (m)	PONTO	ALTITUDE (m)	PONTO	ALTITUDE (m)	PONTO	ALTITUDE (m)
Q(1,1)	9,4340	Q(1,2)	9,4290	Q(1,3)	9,4252	Q(1,4)	9,4267
Q(2,1)	9,4320	Q(2,2)	9,4269	Q(2,3)	9,4240	Q(2,4)	9,4251
Q(3,1)	9,4299	Q(3,2)	9,4286	Q(3,3)	9,4240	Q(3,4)	9,4245
Q(4,1)	9,4296	Q(4,2)	9,4302	Q(4,3)	9,4255	Q(4,4)	9,4257

Fonte: a autora

Tabela 16 - Irradiação das altitudes do quadriculado por niv. trigonométrico (EST-B)

PONTO	ALTITUDE (m)	PONTO	ALTITUDE (m)	PONTO	ALTITUDE (m)	PONTO	ALTITUDE (m)
Q(1,1)	9,4372	Q(1,2)	-	Q(1,3)	-	Q(1,4)	9,4297
Q(2,1)	-	Q(2,2)	-	Q(2,3)	-	Q(2,4)	-
Q(3,1)	-	Q(3,2)	-	Q(3,3)	-	Q(3,4)	-
Q(4,1)	9,4317	Q(4,2)	-	Q(4,3)	-	Q(4,4)	9,4293

Fonte: a autora

As discrepâncias (módulos) das altitudes ortométricas dos 4 pontos medidos por nivelamento trigonométrico, a partir das duas estações EST-A e EST-B, e a média como resultado final, são apresentadas na Tabela 17. Observa-se assim, que as menores discrepâncias correspondem aos pontos visados mais distantes da linha de visão estação total. Logo, as maiores discrepâncias correspondem aos pontos mais próximos da estação total.

Tabela 17 - Discrepância (módulo) de altitude ortométrica por niv. trigonométrico

PONTO	H (m) por EST-A	H (m) por EST-B	discrepância (m)	H (m) média
Q(1,1)	9,4340	9,4372	0,0032	9,7356
Q(1,4)	9,4267	9,4297	0,0030	9,4282
Q(4,1)	9,4296	9,4317	0,0021	9,4307
Q(4,4)	9,4257	9,4293	0,0036	9,4275

Fonte: a autora

6.1.2.3 Irradiação 3D

As coordenadas x',y' determinadas a partir da irradiação plana, foram determinadas a partir da estação em EST-A e em EST-B, no *Matlab*. Assim, como

resultado da irradiação 3D, as coordenadas x',y',H são providas de resolução trigonométrica de triângulos. A Tabela 18 e Tabela 19 apresentam os valores das coordenadas planimétricas acompanhadas das altitudes calculadas pelo método do nivelamento trigonométrico no subitem 6.1.2.2.

Tabela 18 - Irradiação por EST-A

PONTO	x' (m)	y' (m)	H (m)
Q(1,1)	-1,1402	8,9193	9,4340
Q(1,2)	0,10864	8,8113	9,4290
Q(1,3)	1,3579	8,7229	9,4252
Q(1,4)	2,6070	8,6235	9,4267
Q(2,1)	-1,2426	7,674	9,4320
Q(2,2)	0,0091	7,5649	9,4269
Q(2,3)	1,2581	7,4667	9,4240
Q(2,4)	2,5065	7,3683	9,4251
Q(3,1)	-1,3357	6,4164	9,4299
Q(3,2)	-0,0901	6,3183	9,4286
Q(3,3)	1,1592	6,2188	9,4240
Q(3,4)	2,4086	6,1211	9,4245
Q(4,1)	-1,4393	5,1672	9,4296
Q(4,2)	-0,1866	5,0745	9,4302
Q(4,3)	1,0600	4,9763	9,4255
Q(4,4)	2,3045	4,8658	9,4257

Fonte: a autora

Tabela 19 - Irradiação por EST-B

PONTO	x' (m)	y' (m)	H (m)
Q(1,1)	-1,1440	8,9169	9,4372
Q(1,2)	-	-	-
Q(1,3)	-	-	-
Q(1,4)	2,6048	8,6197	9,4297
Q(2,1)	-	-	-
Q(2,2)	-	-	-
Q(2,3)	-	-	-
Q(2,4)	-	-	-
Q(3,1)	-	-	-
Q(3,2)	-	-	-
Q(3,3)	-	-	-
Q(3,4)	-	-	-
Q(4,1)	-1,4471	5,1705	9,4317
Q(4,2)	-	-	-
Q(4,3)	-	-	-
Q(4,4)	2,3024	4,8675	9,4293

Fonte: a autora

6.1.2.4 Interseção a Vante

Para determinação da qualidade posicional dos pontos coletados, quatro pontos do *hall* de entrada também foram medidos através de um segundo ponto estacionado (EST-B), permitindo a aplicação da técnica de interseção a vante 2D e 3D, cujos modelos matemáticos foram apresentados nos itens 3.2.1.1 e 3.2.1.2, respectivamente. O processamento das interseções a vante e respectivos ajustamentos pelo MMQ, deram-se através do *software Matlab*.

As estações nos pontos EST-A e EST-B, intervisíveis entre si, permitiram que os 4 pontos extremos do referido quadriculado/reticulado -Q(1,1), Q(1,4), Q(4,1) e Q(4,4)- tivessem ' x,y ' determinados através da interseção a vante.

O ajustamento pelo método MMQ – modelo paramétrico da interseção a vante 2D foi calculado no Matlab, fornecendo as matrizes A (capítulo 3.2.1.1) apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Matrizes A para o ajustamento da interseção a vante 2D

Para Q(1,1):	Para Q(1,4):	Para Q(4,1):	Para Q(4,4):
A =	A =	A =	A =
-0,1268 0,9919	0,2894 0,9572	-0,2683 0,9633	0,4280 0,9038
-0,7497 0,6617	-0,4864 0,8738	-0,9478 0,3188	-0,8565 0,5161

Fonte: a autora

A Tabela 21 mostra os valores ajustados resultantes da interseção a vante 2D. O desvio padrão de $\pm 0,000\text{m}$ em ambas as coordenadas planimétricas indicam que para os 4 pontos analisados, a qualidade dos dados está satisfatória. Outrossim, como a precisão do equipamento não foi considerada na matriz peso, é suficiente tirar a precisão do ponto flutuante da máquina.

Tabela 21 - Interseção a vante 2D

PONTO	x' (m)	Sigma_x' (m)	y' (m)	Sigma_y' (m)
Q(1,1)	-1,1421	$\pm 0,0000$	8,9191	$\pm 0,0000$
Q(1,4)	2,6060	$\pm 0,0000$	8,6248	$\pm 0,0000$
Q(4,1)	-1,4391	$\pm 0,0000$	5,1735	$\pm 0,0000$
Q(4,4)	2,3061	$\pm 0,0000$	4,8669	$\pm 0,0000$

Fonte: a autora

A interseção a vante 3D foi calculada no *Matlab*, fornecendo as matrizes A (capítulo 3.2.1.2) apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22 - Matrizes A para interseção a vante 3D

Para Q(1,1):	Para Q(1,4):	Para Q(4,1):	Para Q(4,4):
A =	A =	A =	A =
-0,1268 0,7497	0,2894 0,4864	-0,2683 0,9478	0,4280 0,8564
0,9919 -0,6617	0,9572 -0,8737	0,9633 -0,3188	0,9037 -0,5161
0,0042 -0,0057	0,0033 -0,0068	0,0061 -0,0062	0,0054 -0,0108

Fonte: a autora

A Tabela 23 mostra os valores resultantes da interseção a vante 3D (x,y,H).

Tabela 23 - Interseção a vante 3D

PONTO	x' (m)	y' (m)	H(m)
Q(1,1)	-1,1394	8,9128	9,4356
Q(1,4)	2,6054	8,6185	9,4282
Q(4,1)	-1,4395	5,1680	9,4307
Q(4,4)	2,3047	4,8661	9,4275

Fonte: a autora

As discrepâncias (módulos) das coordenadas planas dos 4 pontos medidos por interseção a vante 2D e 3D, são apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24 - Discrepância (módulo) das coordenadas planas por int. a vante

PONTO	Int. a vante 2D		Int. a vante 3D		Discrepância	
	x' (m)	y' (m)	x' (m)	y' (m)	$\Delta x'$ (m)	$\Delta y'$ (m)
Q(1,1)	-1,1421	8,9191	-1,1394	8,9128	0,0027	0,0063
Q(1,4)	2,6060	8,6248	2,6054	8,6185	0,0006	0,0063
Q(4,1)	-1,4391	5,1735	-1,4395	5,1680	-0,0004	0,0055
Q(4,4)	2,3061	4,8669	2,3047	4,8661	-0,0008	0,0008

Fonte: a autora

A comparação dos valores das altimetria dos nivelamentos geométrico, trigonométricos e da interseção a vante 3D estão dispostos no subitem 6.1.5.1.

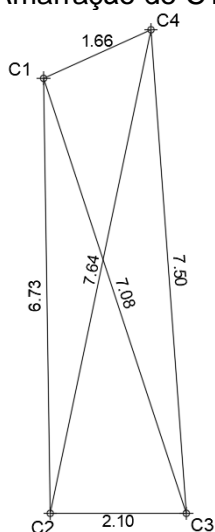
6.1.3 Determinação de Pontos-Objeto de Calçada

Apesar de no *hall* de entrada ter-se aplicado as três técnicas citadas, a fim de comparação dos resultados e apresentação de metodologias de medição, no trecho de uma calçada apenas os procedimentos de nivelamento geométrico e medição a trena foram utilizados.

6.1.3.1 Medição a Trena

De posse dos dados da primeira rede nivelamento/contra nivelamento realizada, irradiou-se através da estação EST-5 com visadas a ré para o ponto RN-OBRA e quatro visadas a vante da calçada (C1, C2, C3, C4), apenas para fins de conhecimento de sua planeza. A espacialização dos quatro pontos pode ser vista na Figura 56. As amarrações entre cada um dos quatro pontos foram obtidas com trena. Arbitrou-se coordenadas (x',y') para cada ponto medido nas medições da calçada, assim como foi feito para o quadriculado/reticulado. A arbitrariedade das coordenadas (x', y') foi definida de posse do croqui (Figura 56) obtido com medições à trena. O croqui foi trabalhado em uma plataforma CAD, de modo que seu vértice C2 coincidissem com a origem (0,0) do CAD com eixo x' orientado para o ponto C3. Dessa forma, as coordenadas dos demais pontos (C1, C3 e C4) foram obtidas. A Tabela 25 mostra os valores dessas coordenadas.

Figura 56 - Amarração de C1, C2, C3, C4



Fonte: a autora

Tabela 25 - Coordenadas x',y' da calçada

PONTO	x' (m)	y' (m)
C1	-0,1008	6,7292
C2	0,0000	0,0000
C3	2,1000	0,0000
C4	1,5547	7,4801

Fonte: a autora

6.1.3.2 Nivelamento Geométrico

Para o trecho de calçada, os valores das altitudes irradiadas (a Figura 57 identifica o ponto C1) a partir da estação EST-5 (rede de nivelamento 1), em metros, podem ser vistos na Tabela 26. Nota-se que pelos valores altimétricos obtidos, identifica-se uma inclinação que decresce do alinhamento C2-C3 para o alinhamento C1-C4, como pode ser visto na Figura 58.

Figura 57 - Irradiação do nivelamento geométrico para a calçada (em 21/06/2018)



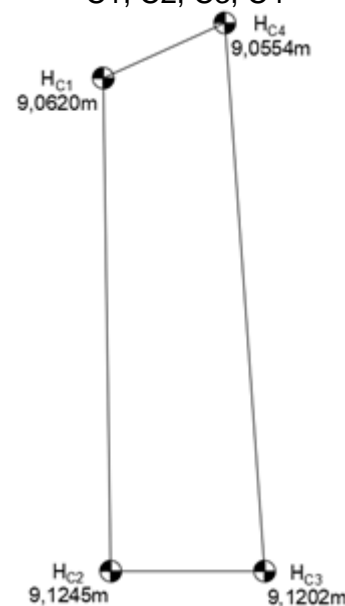
Fonte: a autora

Tabela 26 - Irradiação das altitudes ortométricas da calçada por niv. geométrico

PONTO	H (m)
C1	9,0620
C2	9,1245
C3	9,1202
C4	9,0554

Fonte: a autora

Figura 58 - Altitudes de C1, C2, C3, C4

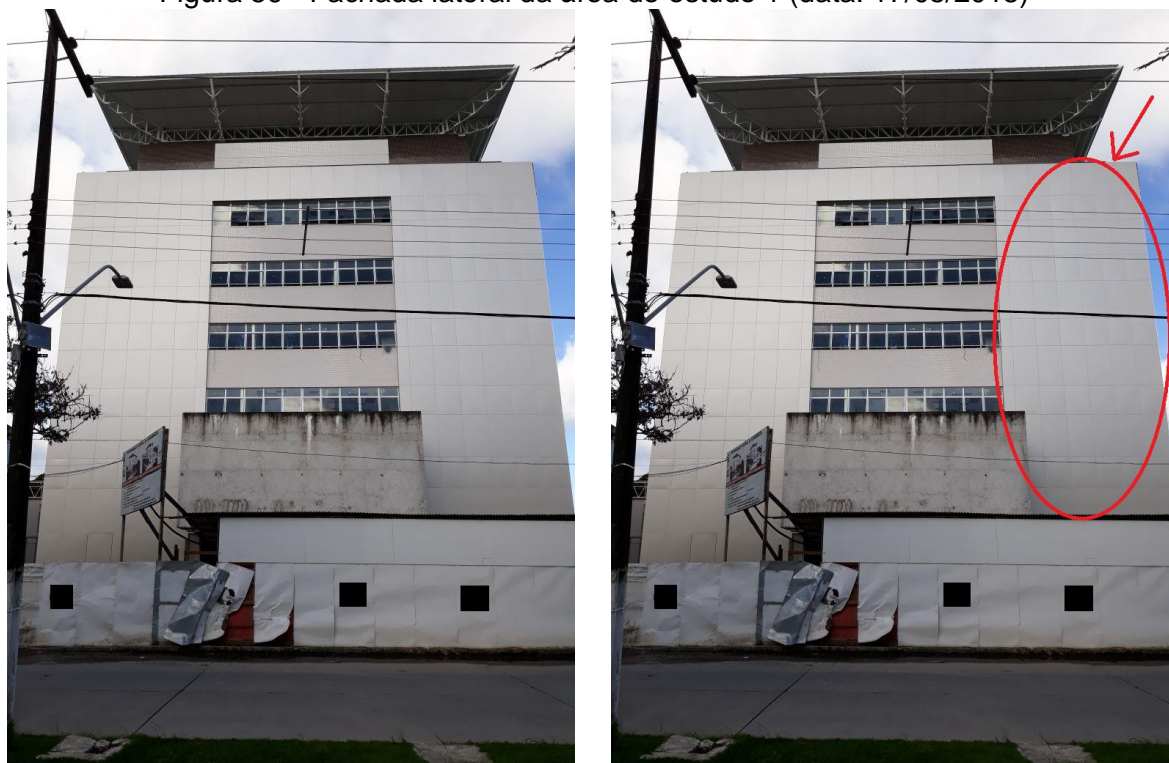


Fonte: a autora

6.1.4 Determinação de Pontos-Objeto de Fachada

A partir da realização da poligonal (item 6.1.1.1) e dos pontos de referência determinados pelo método da interseção a ré (item 6.1.1.3), escolheu-se uma fachada da área de estudo 1 para se fazer a análise de planeza, através das técnicas de irradiação 3D (item 3.2.1.3), nivelamento trigonométrico (item 3.2.1.5) e de interseção a vante 2D (item 3.2.1.1) e 3D (item 3.2.1.2). A fachada escolhida (Figura 59a) tem a face virada para o prédio CTG (Centro de Tecnologia e Geociências). Para fins de definição de uma metodologia, o estudo foi feito apenas em parte dessa fachada, a qual pode ser vista na Figura 59b.

Figura 59 - Fachada lateral da área de estudo 1 (data: 17/05/2018)



(a) Fachada lateral voltada para a Av. da Arquitetura

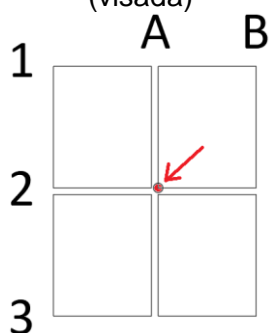
(b) Trecho da aplicação da metodologia

Fonte: a autora

Para a aplicação da interseção a vante, apesar de 2 pontos (estações) intervisíveis serem suficientes para a aplicação da técnica, utilizou-se da quantia de 3 desses, denominados de estações: FACH1, FACH2 e FACH3, todos intervisíveis entre si, permitindo a superabundância de dados, previamente disposto em Figura 47.

A partir do conhecimento dos três pontos estacionados (FACH1, FACH2, FACH3), a metodologia da interseção 3D aplicada a fachada pôde ser iniciada, mas para isso, fez-se necessário a definição dos pontos a serem medidos. Sabendo que a fachada teve seu revestimento externo por painéis de ACM (*Aluminium Composite Material*), definiu-se a malha a ser trabalhada pela junta entre as placas. Como quatro vértices (encontro das placas) define um ponto da malha, adotou-se como padrão de leitura o vértice superior mais à direita (Figura 60). Esta ideia de utilizar o vértice da malha para medição é uma alternativa para reduzir custos e tempo em contrapartida a aplicação de alvos refletivos (adesivos) nos pontos de monitoramento (Figura 61).

Figura 60 - Vértice visado como padrão (visada)



Fonte: a autora

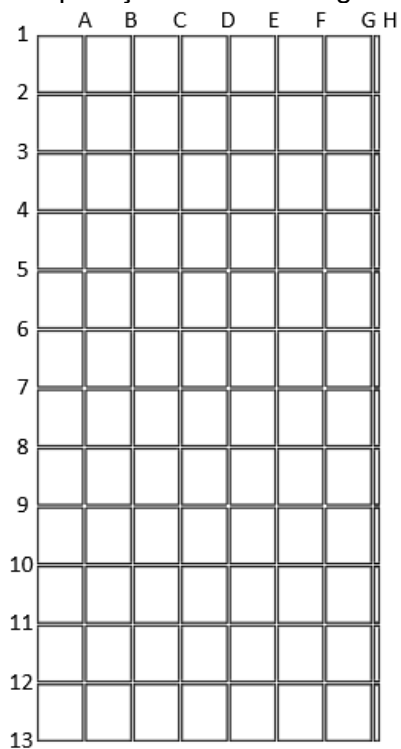
Figura 61 - Alvo de fita reflexiva 20x20mm (marca LETER)



Fonte: www.aliexpress.com

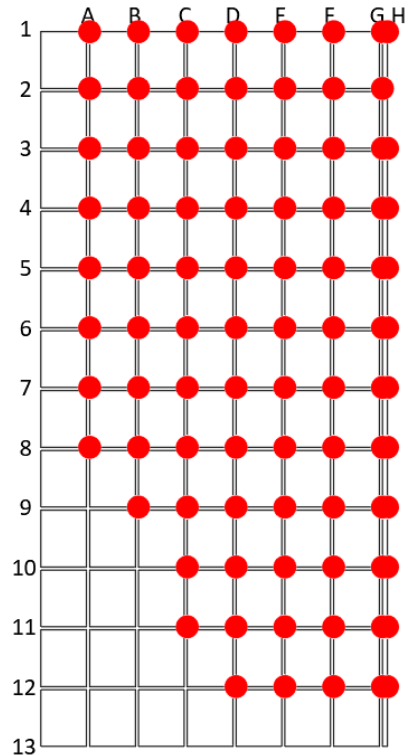
As linhas verticais foram identificadas por letras, e as horizontais por número, como indicado na Figura 62. Iniciou-se, então, o procedimento de coleta de dados da fachada, observando-se um total de 93 pontos (Figura 63), realizado em duas campanhas de medição. A medição foi realizada estacionando-se a estação total nos vértices FACH_i e mirando-se para cada vértice identificado na fachada, mediu-se o ângulo horizontal, o ângulo zenital e a distância inclinada. A realização do campo teve uma duração total de aproximadamente 12 horas para a medição (ângulo horizontal, zenital e distância na posição direta da luneta) desses 93 pontos da fachada.

Figura 62 - Croqui da malha utilizada para aplicação da metodologia



Fonte: a autora

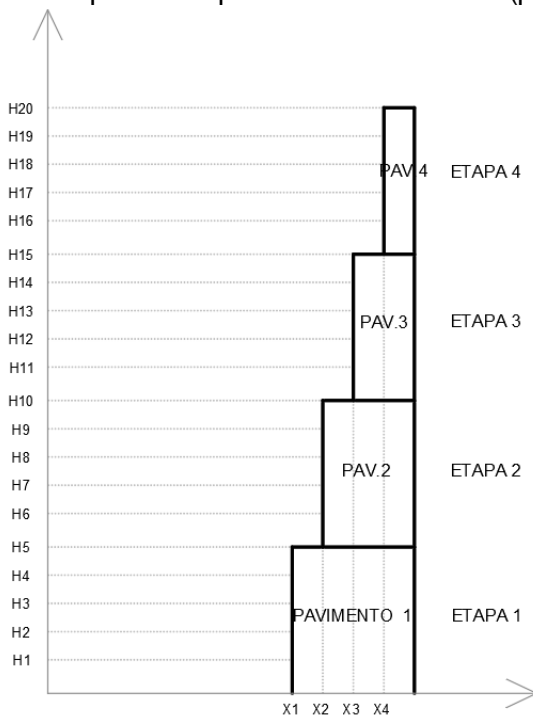
Figura 63 - Identificação dos 93 vértices coletados



Fonte: a autora

Quando na fase estrutural da edificação, as fachadas devem ser medidas por pavimentos, principalmente quando estes apresentam recuos ou avanço (Figura 64).

Figura 64 - Exemplo de etapas da fase estrutural (pavimentos)



Fonte: a autora

As medições permitiram diversas metodologias de cálculos para a determinação das coordenadas dos pontos-objeto em questão, dessa forma, além da interseção a vante 3D, utilizou-se das técnicas de: irradiação 3D e interseção a vante 2D/nivelamento trigonométrico. Os processamentos dos dados foram realizados em dois *softwares*: *Excel* e *Matlab*. Para fins de comparação, considerou-se apenas os dados em comum entre as metodologias aplicadas, ou seja, apenas os pontos que tiveram suas distâncias inclinadas medidas foram consideradas, pois para o cálculo da irradiação 3D, faz-se fundamental a determinação deste parâmetro.

6.1.4.1 Irradiação 3D

A superfície plana vertical (fachada) teve sua planimetria e altitudes medidas através da técnica de irradiação 3D, através dos pontos estacionados FACH1, FACH2 e FACH3, tendo-se um total de pontos irradiados de 71, 76 e 60, respectivamente. O processamento foi realizado através do *software Matlab*, os resultados são apresentados no Apêndice A.

6.1.4.2 Interseção a Vante 2D e Nivelamento Trigonométrico

Os pontos visados de 3 diferentes estações permitiram o ajustamento das 51 coordenadas x,y através da interseção a vante 2D pelo MMQ - modelo paramétrico (capítulo subitem 3.2.1.1). O nivelamento trigonométrico permitiu a determinação das altitudes ortométricas através da irradiação 3D, sem utilização de prisma ou adesivo refletor.

O ajustamento da interseção a vante 2D levou em consideração as visadas a vante combinadas duas a duas, onde para cada uma dessas interseções o ponto P foi determinado. O valor de P é dado então pela média ponderada em relação a matriz dos pesos. Os resultados são apresentados no Apêndice B. Este apêndice também traz um exemplo do cálculo MMQ - modelo paramétrico para um ponto P.

Os menores desvios padrão para os pontos da interseção a vante 2D em “x” e em “y” são $\pm 0,0192\text{mm}$ e $\pm 0,0111\text{mm}$, respectivamente, ambos para o ponto E6. Os maiores valores são $\pm 17,1430\text{mm}$ (A2) e $\pm 7,3522\text{mm}$ (F10) para “x” e “y”, respectivamente.

6.1.4.3 Interseção a Vante 3D

A estação em 2 pontos de coordenadas conhecidas permite a determinação de coordenadas por interseção a vante 3D. Dessa forma, através dos 3 pontos estacionados que foram implantados, e que tiveram suas coordenadas determinadas por interseção a ré (capítulo 6.1.1.3), foram combinados dois a dois.

O ajustamento foi realizado para cada ponto, onde foram determinados os parâmetros 'k', 'm' e 'n', para a composição da matriz 'A'. A Tabela 27 mostra como exemplo as matrizes A para as 3 interseções a vante 3D do ponto E2 da fachada. Dessa forma, para cada interseção a vante 3D, há 3 matrizes 'A' por ponto ajustado.

Tabela 27 - Matrizes A para interseção a vante 3D para o ponto E2 da fachada

Para FACH1-FACH2:	Para FACH1-FACH3:	Para FACH2-FACH3:
A =	A =	A =
0,7348 -0,8748	0,7587 -0,9518	0,7754 -0,7787
-0,6685 0,4714	-0,6494 -0,3010	-0,3501 -0,2790
0,1151 -0,1119	0,0519 -0,0594	0,5255 -0,5620

Fonte: a autora

Assim, os pontos da fachada foram determinados a partir das estações FACH1-FACH2 (70 pontos), FACH1-FACH3 (52 pontos) e FACH2-FACH3 (56 pontos) e os seus resultados estão apresentados no Apêndice C. Este apêndice também traz um exemplo do cálculo MMQ – modelo paramétrico para um ponto P.

6.1.5 Análise de Superfícies

Foram realizadas análises estatísticas quanto aos dados dispostos para as altitudes ortométricas obtidas para a planeza horizontal do piso/laje e coordenadas planas para a planeza vertical da fachada.

A superfície plana da calçada apenas teve a medição da altitude ortométrica realizada por nivelamento geométrico, dessa forma, não é possível realizar a análise estatística, pois não há dados para serem comparados. Porém, é possível verificar se o plano apresenta-se horizontal ou inclinado.

6.1.5.1 Teste Estatístico

Para esta dissertação, o tratamento dos dados deu-se através de 3 testes estatísticos: ANOVA, teste t para dados com mesma variância e teste t para dados com variâncias diferentes. Em todos os casos, adotou-se nível de confiança de 95%.

a. PLANEZA HORIZONTAL: PISO/LAJE

As altitudes ortométricas do piso *hall* de entrada foram obtidas de diversas formas. Sendo assim, realizou-se uma análise de correlação no *software* AstGeoTop, utilizando o módulo “Análise de grupos amostrais – versão 2014.09.08”, entre esses métodos.

Primeiramente, a análise cumpriu-se para os 4 pontos extremos do quadriculado. Os dados de entrada no *software* correspondem assim as altitudes (H) obtidas:

- a. por nivelamento trigonométrico estacionado em EST-A;
- b. por nivelamento trigonométrico estacionado em EST-B;
- c. pela média dos nivelamentos trigonométricos;
- d. por interseção a vante espacial (3D); e
- e. por nivelamento geométrico.

Sendo a ANOVA um teste para a igualdade de médias que utiliza variância para a tomada de decisões, testou-se as 5 médias populacionais com base na estatística F, com nível de significância de 5%. A Figura 65 ilustra o módulo de análise estatística ANOVA, exibindo os dados de entrada e o relatório de conclusão da análise das diferenças.

Figura 65 - Análise estatística ANOVA: quadriculado com 4 pontos

The screenshot shows the AstGeoTop software interface. The title bar reads 'Análise Estatística'. The menu bar includes 'Abrir Arquivo', 'Salvar Dados', 'Limpar Dados', 'Calcular', 'Salvar Relatório', and 'Gerar Gráficos'. The toolbar contains icons for these functions. The main window is divided into several sections:

- Settings:** N.º de amostras: 5; Nivel de Significância: 5%; Sistema de unidades: Sistema Decimal (d,dddd); Tipo de Análise: ANOVA: fator único.
- DADOS DE ENTRADA:** A table with 5 columns: Linha, NIV.TRIG.A, NIV.TRIG.B, NIV.TRIG.A,B, VANTE3D, and NIV.GEOM. The data is as follows:

Linha	NIV.TRIG.A	NIV.TRIG.B	NIV.TRIG.A,B	VANTE3D	NIV.GEOM.
1	9,4340	9,4372	9,4356	9,4356	9,4354
2	9,4267	9,4297	9,4282	9,4282	9,4274
3	9,4296	9,4317	9,4306	9,4307	9,4312
4	9,4257	9,4293	9,4275	9,4275	9,4273
- RELATÓRIO:** ANÁLISE DAS DIFERENÇAS PELO MÉTODO DE SCHEFFÉ. A table showing the results of the Scheffé test:

GRUPOS	DALFA	Med_i - med_j	CONCLUSÃO
NIV.TRIG.A x NIV.TRIG.B	0,009	0,003	Não diferem
NIV.TRIG.A x NIV.TRIG.A,B	0,009	0,001	Não diferem
NIV.TRIG.A x VANTE3D	0,009	0,002	Não diferem
NIV.TRIG.A x NIV.GEOM.	0,009	0,001	Não diferem
NIV.TRIG.B x NIV.TRIG.A,B	0,009	0,002	Não diferem
NIV.TRIG.B x VANTE3D	0,009	0,001	Não diferem
NIV.TRIG.B x NIV.GEOM.	0,009	0,002	Não diferem
NIV.TRIG.A,B x VANTE3D	0,009	0,000	Não diferem
NIV.TRIG.A,B x NIV.GEOM.	0,009	0,000	Não diferem
VANTE3D x NIV.GEOM.	0,009	0,000	Não diferem

Fonte: AstGeoTop 2018 (GARNÉS, 2018)

Dessa forma, conclui-se que não há diferença significativa entre os dados obtidos, para uma significância de 5%. Para fins de ratificação desta análise estatística, os dados foram também testados dois a dois (teste t), considerando primeiramente que não há diferença nas variâncias testadas, e em seguida com a possibilidade de variâncias das amostras diferentes, conforme pode ser visto nas Figura 66 e Figura 67.

Figura 66 - Análise estatística t (mesmas variâncias): quadriculado com 4 pontos

Análise Estatística

Prof. Dr. Sílvio Jacks dos Anjos Garnés
AstGeoTop: Análise Estatística © Versão 2014.09.08

N.º de amostras : Sistema de unidades
 Sistema Decimal (d,dddd)
 Sistema Sexagesimal (ggº mm' ss")

Nível de Significância: % Tipo de Análise
 Teste T: análise de médias com mesma variância

DADOS DE ENTRADA

Linha	NIV.TRIG.A	NIV.TRIG.B	NIV.TRIG.A,B	VANTE3D	NIV.GEOM.
1	9,4340	9,4372	9,4356	9,4356	9,4354
2	9,4267	9,4297	9,4282	9,4282	9,4274
3	9,4296	9,4317	9,4306	9,4307	9,4312
4	9,4257	9,4293	9,4275	9,4275	9,4273

RELATÓRIO

RESUMO DA ANÁLISE PELO TESTE T

GRUPOS	Estatística t	t-crítico	CONCLUSÃO
NIV. TRIG. A X NIV. TRIG. B	1,1433	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. A X NIV. TRIG. A, B	0,5648	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. A X VANTE3D	0,5742	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. A X NIV. GEOM.	0,4956	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. B X NIV. TRIG. A, B	0,5809	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. B X VANTE3D	0,5711	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. B X NIV. GEOM.	0,6239	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. A, B X VANTE3D	0,0096	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. A, B X NIV. GEOM.	0,0565	2,447	Não diferem
VANTE3D X NIV. GEOM.	0,0659	2,447	Não diferem

Fonte: AstGeoTop 2018 (GARNÉS, 2018)

Figura 67 - Análise estatística t (variâncias diferentes): quadriculado com 4 pontos

Análise Estatística

Prof. Dr. Sílvio Jacks dos Anjos Garnés
AstGeoTop: Análise Estatística © Versão 2014.09.08

N.º de amostras : Sistema de unidades
 Sistema Decimal (d,dddd)
 Sistema Sexagesimal (ggº mm' ss")

Nível de Significância: % Tipo de Análise
 Teste T: análise de médias com variâncias diferentes

DADOS DE ENTRADA

Linha	NIV.TRIG.A	NIV.TRIG.B	NIV.TRIG.A,B	VANTE3D	NIV.GEOM.
1	9,4340	9,4372	9,4356	9,4356	9,4354
2	9,4267	9,4297	9,4282	9,4282	9,4274
3	9,4296	9,4317	9,4306	9,4307	9,4312
4	9,4257	9,4293	9,4275	9,4275	9,4273

RELATÓRIO

RESUMO DA ANÁLISE PELO TESTE T

GRUPOS	Estatística t	t-crítico	CONCLUSÃO
NIV. TRIG. A X NIV. TRIG. B	1,1433	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. A X NIV. TRIG. A, B	0,5648	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. A X VANTE3D	0,5742	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. A X NIV. GEOM.	0,4956	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. B X NIV. TRIG. A, B	0,5809	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. B X VANTE3D	0,5711	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. B X NIV. GEOM.	0,6239	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. A, B X VANTE3D	0,0096	2,447	Não diferem
NIV. TRIG. A, B X NIV. GEOM.	0,0565	2,447	Não diferem
VANTE3D X NIV. GEOM.	0,0659	2,447	Não diferem

Fonte: AstGeoTop 2018 (GARNÉS, 2018)

Desse modo, constata-se que é legítima a informação que não há diferença significativa entre os dados obtidos, para uma significância de 5%.

Para a análise dos 16 pontos coletados do quadriculado, os dados de entrada no *software* correspondem às altitudes (H) obtidas:

- por nivelamento trigonométrico estacionado em EST-A, e
- por nivelamento geométrico.

Os dados foram testados dois a dois (teste t), considerando primeiramente que não há diferença nas variâncias testadas, e em seguida com a possibilidade de variâncias das amostras diferentes, com nível de significância de 5%, conforme pode ser visto nas Figura 68 e Figura 69.

Figura 68 - Análise estatística t (mesmas variâncias): quadriculado com 16 pontos

Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés
AstGeoTop: Análise Estatística © Versão 2014.09.08

Abrir Arquivo Salvar Dados Limpar Dados Calcular Salvar Relatório Gerar Gráficos

N.º de amostras: 2 Sistema de unidades: Sistema Decimal (d,dddd) Sistema Sexagesimal (gg° mm' ss")
 Tipo de Análise: Teste T: análise de médias com mesma variância

Nível de Significância: 5 %

DADOS DE ENTRADA

Linha	NIV.TRIG.A	NIV.GEOM.
1	9,4340	9,4354
2	9,4290	9,4307
3	9,4252	9,4263
4	9,4267	9,4274
5	9,4320	9,4335
6	9,4269	9,4284

RELATÓRIO

ANÁLISE NIV.TRIG.A X NIV.GEOM.
 Teste de hipótese
 Hipótese -> H0: médias populacionais iguais
 Hipótese -> H1: médias populacionais diferentes
 Nível de significância do teste = 5%
 Graus de Liberdade = 30
 Estatística do teste t = 1,4068
 Probabilidade resultante = 91,5%
 t_Critico bi-caudal = 2,042

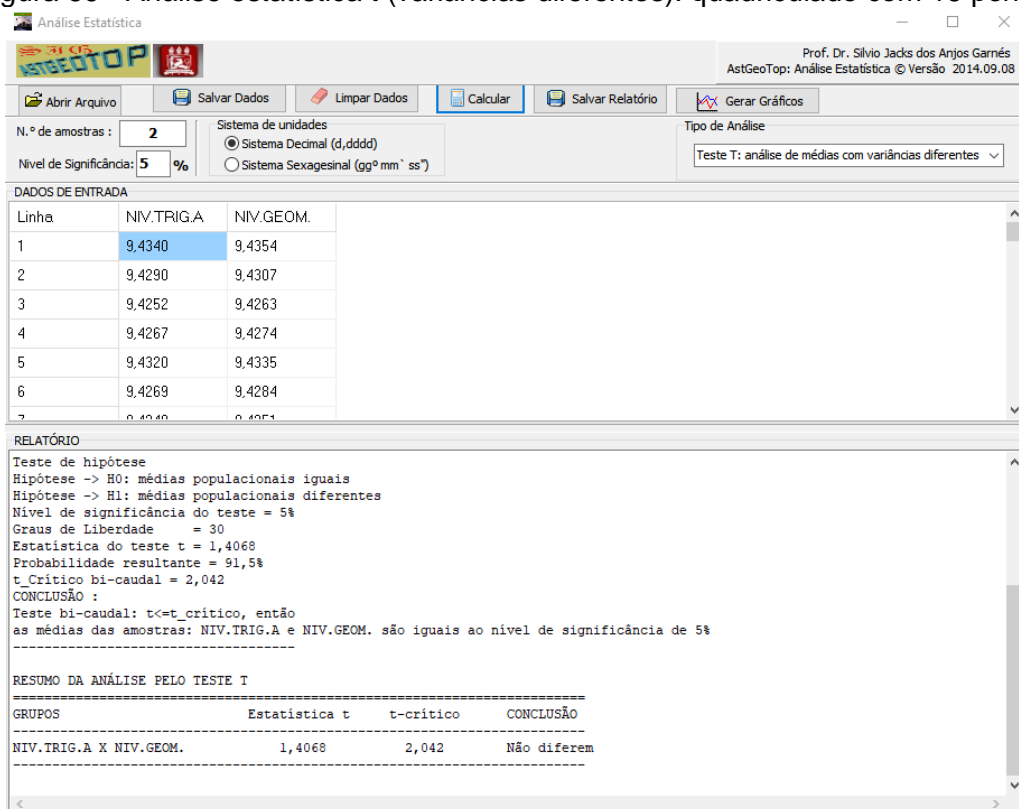
CONCLUSÃO :
 Teste bi-caudal: $t \leq t_{\text{critico}}$, então
 as médias das amostras: NIV.TRIG.A e NIV.GEOM. são iguais ao nível de significância de 5%

RESUMO DA ANÁLISE PELO TESTE T

GRUPOS	Estatística t	t-critico	CONCLUSÃO
NIV.TRIG.A X NIV.GEOM.	1,4068	2,042	Não diferem

Fonte: AstGeoTop 2018 (GARNÉS, 2018)

Figura 69 - Análise estatística t (variâncias diferentes): quadriculado com 16 pontos



Fonte: AstGeoTop 2018 (GARNÉS, 2018)

Dessa forma, conclui-se que não há diferença significativa entre os dados obtidos, para uma significância de 5%. Portanto, não se faz necessário a obtenção das coordenadas tridimensionais de um plano horizontal por diversos métodos, sendo que uma das metodologias é suficiente para evidenciar os resultados com 95% de confiança.

Recomenda-se, então, que as medições sejam aplicadas utilizando-se de apenas um método. Sendo a irradiação 3D a técnica mais célere e que apresenta cálculos mais simplistas (resolução de triângulos), podem vir a serem utilizadas no mínimo duas séries para verificação de possíveis erros grosseiros para levantamentos desta natureza, uma vez que a simples irradiação não permite confrontar discrepâncias.

b. PLANEZA VERTICAL: FACHADA

Devido a diversas metodologias terem sido aplicadas para os cálculos na determinação das coordenadas dos pontos-objeto em questão foi possível realizar a análise de correlação entre os métodos, considerando tamanhos de amostras iguais.

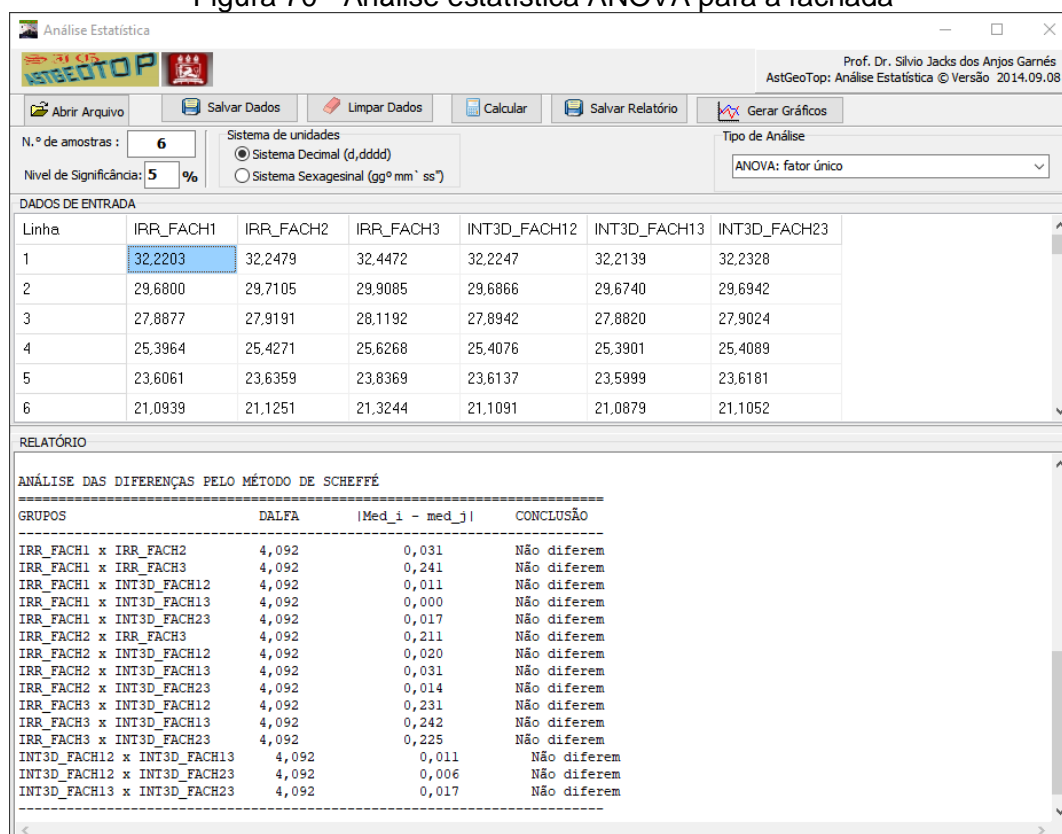
A análise de correlação deve ser realizada com os dados de cada pavimento (etapa), comparando as diferenças entre as médias entre dois (ou mais) grupos. Para a presente dissertação, todos os pavimentos observados estavam concluídos, porém para o trecho de aplicação da metodologia, como todos seguem o mesmo alinhamento (não há recuo ou avanço da fachada), foi possível a realização do estudo de planeza da fachada com revestimento em ACM como um todo.

Para fins de comparação, considerou-se apenas os dados em comum, que são 51, entre as metodologias aplicadas. Para a análise dos pontos coletados da fachada, os dados de entrada no *software* AstGeoTop correspondem às altitudes (H) obtidas:

- a. por irradiação 3D estacionado em FACH-1,
- b. por irradiação 3D estacionado em FACH-2,
- c. por irradiação 3D estacionado em FACH-3,
- d. por interseção a vante espacial (3D), estações em FACH1 e FACH2,
- e. por interseção a vante espacial (3D), estações em FACH1 e FACH3, e
- f. por interseção a vante espacial (3D), estações em FACH2 e FACH3.

Sendo a ANOVA um teste para a igualdade de médias que utiliza variância para a tomada de decisões, testou-se as 6 médias populacionais com base na estatística F, com nível de significância de 5%. A Figura 70 ilustra o módulo de análise estatística ANOVA, exibindo parte dos dados de entrada e o relatório de conclusão da análise das diferenças.

Figura 70 - Análise estatística ANOVA para a fachada



Fonte: AstGeoTop 2018 (GARNÉS, 2018)

Dessa forma, conclui-se que não há diferença significativa entre os dados obtidos, para uma significância de 5%. Para fins de ratificação desta análise estatística, os dados foram também testados dois a dois (teste t), considerando primeiramente que não há diferença nas variâncias testadas, e em seguida com a possibilidade de variâncias das amostras diferentes, conforme pode ser visto nas Figura 71 e Figura 72.

Figura 71 - Análise estatística t (mesmas variâncias) para a fachada

Análise Estatística

Prof. Dr. Sílvio Jacks dos Anjos Garnés
AstGeoTop: Análise Estatística © Versão 2014.09.08

Abrir Arquivo Salvar Dados Limpar Dados **Calcular** Salvar Relatório Gerar Gráficos

N.º de amostras: **6** Sistema de unidades: Sistema Decimal (d,dddd) Sistema Sexagesimal (ggº mm' ss")

Nível de Significância: **5** % Tipo de Análise: Teste T: análise de médias com variâncias diferentes

DADOS DE ENTRADA

Linha	IRR_FACH1	IRR_FACH2	IRR_FACH3	INT3D_FACH12	INT3D_FACH13	INT3D_FACH23
1	32,2203	32,2479	32,4472	32,2247	32,2139	32,2328
2	29,6800	29,7105	29,9085	29,6866	29,6740	29,6942
3	27,8877	27,9191	28,1192	27,8942	27,8820	27,9024
4	25,3964	25,4271	25,6268	25,4076	25,3901	25,4089

RELATÓRIO

RESUMO DA ANÁLISE PELO TESTE T

GRUPOS	Estatística t	t-crítico	CONCLUSÃO
IRR_FACH1 X IRR_FACH2	0,0252	1,984	Não diferem
IRR_FACH1 X IRR_FACH3	0,1976	1,984	Não diferem
IRR_FACH1 X INT3D_FACH12	0,0089	1,984	Não diferem
IRR_FACH1 X INT3D_FACH13	0,0004	1,984	Não diferem
IRR_FACH1 X INT3D_FACH23	0,0136	1,984	Não diferem
IRR_FACH2 X IRR_FACH3	0,1724	1,984	Não diferem
IRR_FACH2 X INT3D_FACH12	0,0163	1,984	Não diferem
IRR_FACH2 X INT3D_FACH13	0,0256	1,984	Não diferem
IRR_FACH2 X INT3D_FACH23	0,0116	1,984	Não diferem
IRR_FACH3 X INT3D_FACH12	0,1887	1,984	Não diferem
IRR_FACH3 X INT3D_FACH13	0,1980	1,984	Não diferem
IRR_FACH3 X INT3D_FACH23	0,1840	1,984	Não diferem
INT3D_FACH12 X INT3D_FACH13	0,0093	1,984	Não diferem
INT3D_FACH12 X INT3D_FACH23	0,0047	1,984	Não diferem
INT3D_FACH13 X INT3D_FACH23	0,0140	1,984	Não diferem

Fonte: AstGeoTop 2018 (GARNÉS, 2018)

Figura 72 - Análise estatística t (variâncias diferentes) para a fachada

Análise Estatística

Prof. Dr. Sílvio Jacks dos Anjos Garnés
AstGeoTop: Análise Estatística © Versão 2014.09.08

Abrir Arquivo Salvar Dados Limpar Dados **Calcular** Salvar Relatório Gerar Gráficos

N.º de amostras: **6** Sistema de unidades: Sistema Decimal (d,dddd) Sistema Sexagesimal (ggº mm' ss")

Nível de Significância: **5** % Tipo de Análise: Teste T: análise de médias com mesma variância

DADOS DE ENTRADA

Linha	IRR_FACH1	IRR_FACH2	IRR_FACH3	INT3D_FACH12	INT3D_FACH13	INT3D_FACH23
1	32,2203	32,2479	32,4472	32,2247	32,2139	32,2328
2	29,6800	29,7105	29,9085	29,6866	29,6740	29,6942
3	27,8877	27,9191	28,1192	27,8942	27,8820	27,9024
4	25,3964	25,4271	25,6268	25,4076	25,3901	25,4089

RELATÓRIO

RESUMO DA ANÁLISE PELO TESTE T

GRUPOS	Estatística t	t-crítico	CONCLUSÃO
IRR_FACH1 X IRR_FACH2	0,0252	1,984	Não diferem
IRR_FACH1 X IRR_FACH3	0,1976	1,984	Não diferem
IRR_FACH1 X INT3D_FACH12	0,0089	1,984	Não diferem
IRR_FACH1 X INT3D_FACH13	0,0004	1,984	Não diferem
IRR_FACH1 X INT3D_FACH23	0,0136	1,984	Não diferem
IRR_FACH2 X IRR_FACH3	0,1724	1,984	Não diferem
IRR_FACH2 X INT3D_FACH12	0,0163	1,984	Não diferem
IRR_FACH2 X INT3D_FACH13	0,0256	1,984	Não diferem
IRR_FACH2 X INT3D_FACH23	0,0116	1,984	Não diferem
IRR_FACH3 X INT3D_FACH12	0,1887	1,984	Não diferem
IRR_FACH3 X INT3D_FACH13	0,1980	1,984	Não diferem
IRR_FACH3 X INT3D_FACH23	0,1840	1,984	Não diferem
INT3D_FACH12 X INT3D_FACH13	0,0093	1,984	Não diferem
INT3D_FACH12 X INT3D_FACH23	0,0047	1,984	Não diferem
INT3D_FACH13 X INT3D_FACH23	0,0140	1,984	Não diferem

Fonte: AstGeoTop 2018 (GARNÉS, 2018)

Desse modo, constata-se que é legítima a informação que não há diferença significativa entre os dados obtidos, para uma significância de 5%.

Dessa forma, conclui-se que não há diferença significativa entre os dados obtidos, para uma significância de 5%. Portanto, não se faz necessário a obtenção das coordenadas tridimensionais de um plano vertical por diversos métodos, sendo que uma das metodologias é suficiente para evidenciar os resultados com 95% de confiança.

Recomenda-se, então, que as medições sejam aplicadas, utilizando-se de apenas um método. Sendo a irradiação 3D a técnica mais célere e que apresenta cálculos mais simplista (resolução de triângulos), fica assim, aconselhada para levantamentos desta natureza (superfícies planas verticais), ressaltando-se a necessidade de pelo menos duas séries de observações para a verificação de possíveis erros grosseiros.

6.1.5.2 Regressão Linear Múltipla

Para fins de conhecimento do quão plano uma determinada superfície encontra-se nivelada, metodologias diversas de determinação de coordenadas foram empregadas, a fim de se comparar as técnicas utilizadas, seguido do ajuste dos dados ao plano mais próximo através de regressão linear múltipla.

Com a finalidade de determinar o plano horizontal/vertical mais próximo dos dados, utilizou-se apenas os dados de uma das técnicas apresentadas, devido não haver diferenças significativas entre os dados obtidos.

a. PLANEZA HORIZONTAL: PISO/LAJE

Com a finalidade de determinar o plano horizontal do quadriculado/reticulado (*hall* de entrada) mais próximo da realidade, utilizou-se apenas os dados de uma das técnicas apresentadas, devido não haver diferenças significativas entre os valores obtidos. Dessa forma, considerou-se apenas as altitudes ortométricas (H) providas da irradiação do nivelamento geométrico. Para as coordenadas arbitradas x',y' considerou-se as irradiações da estação total quando estacionada em EST-A.

Aplicou-se o modelo de regressão linear múltipla calculado no *software Excel*, resultando nos seguintes coeficientes para a equação $Y = a + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2$:

$a = 9,4281$ (intercepto do eixo Y)

$b_1 = -0,0017$ (coeficiente angular da variável X_1)

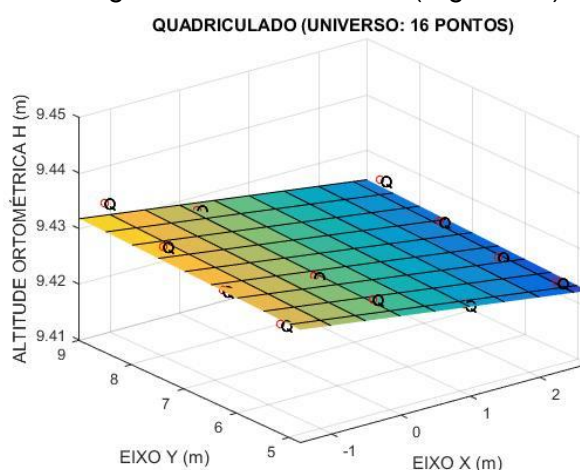
$b_2 = 0,0003$ (coeficiente angular da variável X_2)

A Tabela 28 mostra a $H_{\text{regressão}}$ (altitude predita) após a aplicação da equação de regressão, e a discrepância (ϵ) em milímetros entre o “H” e o “ $H_{\text{regressão}}$ ”. A Figura 73 (plotada em *Matlab*) possibilita a visualização do plano do trecho de *hall* de entrada que mais se ajusta aos dados observados. Nota-se que o maior valor da discrepância máxima e mínima para o piso de granito é de $\epsilon = 3\text{mm}$, o que se pode considerar um valor “alto”, fora do usual para uma área não molhável/molhada, apesar de não existirem normas que determinem essa dissonância. Ressalta-se que a mira utilizada foi uma mira de alumínio com nível esférico para sua verticalização (nível de cantoneira) e que a mira é de encaixe. Descartando-se os pontos Q(1,1) e Q(2,3), observa-se que os resultados de discrepâncias obtidos variam em módulo de 0,3mm a 1,9mm.

Tabela 28 - Coordenadas 3D do quadriculado e altitudes pela regressão

PONTO	x' (m)	y' (m)	H (m)	Hregressão (m)	ϵ (m)
Q(1,1)	-1,1402	8,9193	9,4354	9,4325	0,0029
Q(1,2)	0,1086	8,8113	9,4307	9,4304	0,0003
Q(1,3)	1,3579	8,7229	9,4263	9,4282	-0,0019
Q(1,4)	2,6070	8,6235	9,4274	9,4261	0,0013
Q(2,1)	-1,2426	7,6740	9,4335	9,4324	0,0011
Q(2,2)	0,0091	7,5649	9,4284	9,4302	-0,0018
Q(2,3)	1,2581	7,4667	9,4251	9,4281	-0,0030
Q(2,4)	2,5065	7,3683	9,4266	9,4259	0,0007
Q(3,1)	-1,3357	6,4164	9,4311	9,4322	-0,0011
Q(3,2)	-0,0901	6,3183	9,4303	9,4300	0,0003
Q(3,3)	1,1592	6,2188	9,4260	9,4279	-0,0019
Q(3,4)	2,4086	6,1211	9,4266	9,4257	0,0009
Q(4,1)	-1,4393	5,1672	9,4312	9,4320	-0,0008
Q(4,2)	-0,1866	5,0745	9,4314	9,4298	0,0016
Q(4,3)	1,0600	4,9763	9,4274	9,4277	-0,0003
Q(4,4)	2,3045	4,8658	9,4273	9,4256	0,0017

Fonte: a autora

Figura 73 - Plano do *hall* (regressão)

Fonte: a autora

b. PLANEZA HORIZONTAL: CALÇADA

Com a finalidade de determinar o plano horizontal da calçada (acesso ao *hall* de entrada) mais próximo da realidade, utilizou-se dos dados da técnica de nivelamento geométrico, devido esta ser a única metodologia aplicada para esta superfície. Dessa forma, considerou-se apenas as altitudes ortométricas (H) provindas da irradiação do nivelamento geométrico. Para as coordenadas arbitradas x',y' considerou-se os valores providos da medição com trena.

Aplicou-se o modelo de regressão linear múltipla calculado no *software Excel*, resultando nos seguintes coeficientes para a equação $Y = a + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2$:

$a = 9,1236$ (intercepto do eixo Y)

$b_1 = -0,0012$ (coeficiente angular da variável X_1)

$b_2 = 0,0090$ (coeficiente angular da variável X_2)

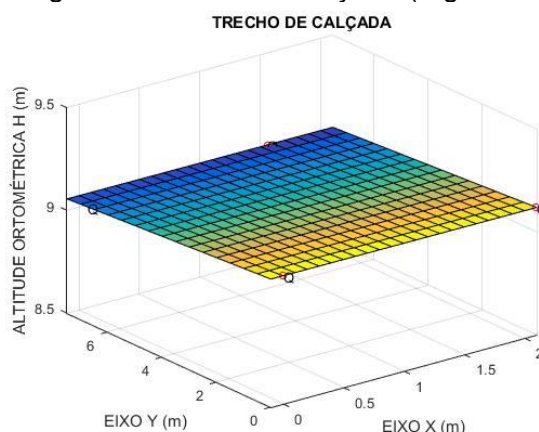
A Tabela 29 mostra a $H_{\text{regressão}}$ (altitude predita) após a aplicação da equação de regressão, e as discrepâncias (ϵ) máxima e mínima em milímetros entre o "H" e o " $H_{\text{regressão}}$ ", a Figura 74 (plotada em *Matlab*) possibilita a visualização do plano do trecho de calçada que mais se ajusta aos dados observados.

Tabela 29 - Altitudes da calçada de acordo com o modelo de regressão

PONTO	x' (m)	y' (m)	H (m)	$H_{\text{regressão}}$	ϵ (mm)
C1	-0,1008	6,7292	9,0620	9,0631	-0,0011
C2	0,0000	0,0000	9,1245	9,1236	0,0009
C3	2,1000	0,0000	9,1202	9,1210	-0,0008
C4	1,5547	7,4801	9,0554	9,0544	0,0010

Fonte: a autora

Figura 74 - Plano da calçada (regressão)



Fonte: a autora

Nota-se que o maior valor da discrepância máxima e mínima para o trecho de calçada é de $\epsilon = 1\text{mm}$, para uma distância entre o nível e os pontos medidos menor que 8m. Levando-se em consideração que foi utilizada uma mira de alumínio e de encaixe esse valor está dentro do que se espera com esse equipamento.

c. PLANEZA VERTICAL: FACHADA

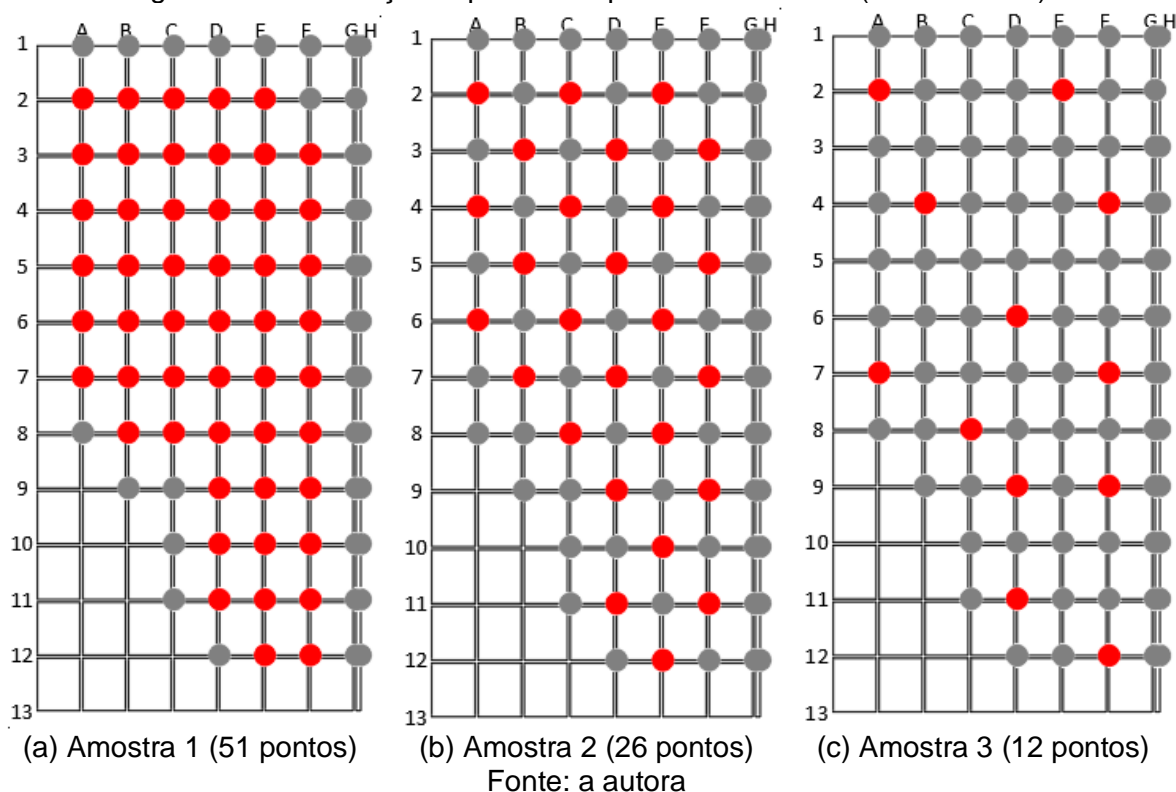
Com a finalidade de determinar o plano vertical da fachada revestida em ACM mais próximo da realidade, utilizou-se apenas os dados de uma das técnicas apresentadas, devido não haver diferenças significativas entre os valores obtidos. Dessa forma, considerou-se apenas as coordenadas tridimensionais provindas da irradiação 3D quando a estação total está estacionada em FACH-1.

Com o universo de 93 pontos coletados, esta dissertação propõe a estipulação de um número mínimo de pontos necessários para definir a planeza em fachadas, e/ou superfícies verticais de modo geral. Para fins de comparação, considerou-se apenas os dados em comum, que são 51, entre as metodologias aplicadas.

Assim, para o estudo da redução de coleta de pontos, a consideração da quantidade de coordenadas tridimensionais foi realizada três vezes, com: 51, 25, e 12 pontos. Assim, o tempo de coleta se reduz de 12h para 6,58, 3,35 e 1,55 horas, respectivamente.

A distribuição espacial desses pontos é apresentada na Figura 75. Os pontos escolhidos para a amostra visam abranger a extremidade do plano e seu centro.

Figura 75 - Distribuição espacial dos pontos da amostra (em vermelho)



Aplicou-se o modelo de regressão linear múltipla calculado no *software Excel*. Não foram tomadas como variáveis independentes o par x,y por estes representarem para cada linha vertical, variados valores de H, resultando em altos valores de resíduos. Assim, considerando-se 'x' como variável dependente, e 'y' e 'H' como independentes, os coeficientes para a equação $Y = a + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2$ são descritos na Tabela 30.

Tabela 30 - Coeficientes do plano vertical da fachada

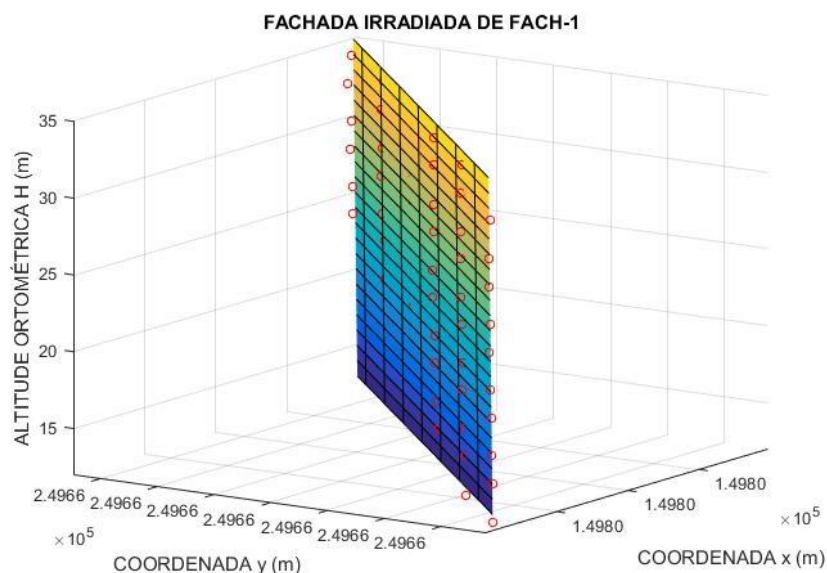
Coeficientes	51 pontos	26 pontos	12 pontos	
a	123098,6940	123055,4451	123152,6579	intercepto do eixo Y
b₁	0,1070	0,1071	0,1067	coeficiente angular da variável X ₁
b₂	-0,0005	-0,0005	-0,0007	coeficiente angular da variável X ₂

Fonte: a autora

A Tabela 31 mostra as coordenadas (x,y,H) para cada ponto da malha da fachada (51 pontos), além do $x_{\text{regressão}}$ (x predito) após a aplicação da equação de regressão, e a discrepância (ϵ) em metros entre o "x" e o " $x_{\text{regressão}}$ ". A Figura 76

(plotada em *Matlab*) possibilita a visualização do plano da fachada que mais se ajusta aos dados observados.

Figura 76 - Plano da fachada (regressão dos 51 pontos)



Fonte: a autora

Tabela 31 - Coordenadas (x,y,H) dos pontos objeto (51) da fachada e regressão (continua)

PONTO	x(m)	y(m)	H(m)	x _{regressão} (m)	ε (m)
F3	149801,0180	249656,2475	32,2203	149801,0152	0,0028
F4	149801,0160	249656,2508	29,6800	149801,0168	-0,0008
F5	149801,0160	249656,2508	27,8877	149801,0177	-0,0017
F6	149801,0183	249656,2519	25,3964	149801,0191	-0,0008
F7	149801,0163	249656,2559	23,6061	149801,0205	-0,0042
F8	149801,0219	249656,2587	21,0939	149801,0220	-0,0001
F9	149801,0234	249656,2629	19,3016	149801,0234	0,0000
F10	149801,0265	249656,2641	16,7850	149801,0248	0,0017
F11	149801,0275	249656,2686	14,9931	149801,0262	0,0013
F12	149801,0292	249656,2669	12,4430	149801,0273	0,0019
E2	149801,1688	249657,6904	34,0102	149801,1686	0,0002
E3	149801,1673	249657,6917	32,2155	149801,1697	-0,0024
E4	149801,1679	249657,6919	29,6818	149801,1710	-0,0031
E5	149801,1679	249657,6967	27,8839	149801,1724	-0,0045
E6	149801,1688	249657,6993	25,3958	149801,1739	-0,0051
E7	149801,1701	249657,6998	23,6039	149801,1749	-0,0048
E8	149801,1742	249657,6975	21,0925	149801,1759	-0,0017
E9	149801,1731	249657,7025	19,3025	149801,1774	-0,0043
E10	149801,1799	249657,7067	16,7834	149801,1791	0,0008

PONTO	x(m)	y(m)	H(m)	X _{regressão} (m)	ε (m)
E11	149801,1819	249657,7093	14,9922	149801,1803	0,0016
E12	149801,1825	249657,7086	12,4408	149801,1815	0,0010
D2	149801,3209	249659,1327	34,0094	149801,3229	-0,0020
D3	149801,3213	249659,1342	32,2169	149801,3239	-0,0026
D4	149801,3210	249659,1316	29,6798	149801,3250	-0,0040
D5	149801,3199	249659,1340	27,8863	149801,3261	-0,0062
D6	149801,3188	249659,1380	25,3952	149801,3278	-0,0090
D7	149801,3197	249659,1417	23,6028	149801,3291	-0,0094
D8	149801,3263	249659,1367	21,0939	149801,3299	-0,0036
D9	149801,3262	249659,1432	19,3074	149801,3315	-0,0053
D10	149801,3298	249659,1421	16,7843	149801,3326	-0,0028
D11	149801,3366	249659,1469	14,9939	149801,3341	0,0025
C2	149801,4932	249660,5718	34,0129	149801,4768	0,0164
C3	149801,4917	249660,5726	32,2198	149801,4778	0,0139
C4	149801,4927	249660,5737	29,6824	149801,4792	0,0135
C5	149801,4920	249660,5743	27,8897	149801,4802	0,0118
C6	149801,4959	249660,5734	25,3983	149801,4813	0,0146
C7	149801,4972	249660,5749	23,6055	149801,4824	0,0148
C8	149801,4947	249660,5784	21,0926	149801,4841	0,0106
B2	149801,6387	249662,0123	34,0077	149801,6309	0,0078
B3	149801,6334	249662,0153	32,2160	149801,6321	0,0013
B4	149801,6361	249662,0191	29,6818	149801,6338	0,0023
B5	149801,6332	249662,0196	27,8899	149801,6348	-0,0016
B6	149801,6377	249662,0173	25,3979	149801,6358	0,0019
B7	149801,6429	249662,0179	23,6060	149801,6367	0,0062
B8	149801,6449	249662,0185	21,0946	149801,6381	0,0068
A2	149801,7783	249663,4538	34,0143	149801,7850	-0,0067
A3	149801,7689	249663,4573	32,2204	149801,7863	-0,0174
A4	149801,7804	249663,4585	29,6847	149801,7877	-0,0073
A5	149801,7778	249663,4599	27,8931	149801,7888	-0,0110
A6	149801,7843	249663,4587	25,4027	149801,7899	-0,0056
A7	149801,7835	249663,4614	23,6099	149801,7911	-0,0076

(conclusão)

Fonte: a autora

Observa-se que a menor discrepância dá-se no ponto F9 e a maior em A3. Apesar da identificação do ponto A3, os vértices C2 a C8 são os que apresentaram maiores discrepâncias.

6.1.6 Inclinação do Plano Vertical

De posse da equação do plano vertical da fachada que mais se aproxima da realidade, é possível saber o ângulo que esta superfície faz com a vertical do lugar, através do coeficiente angular b_2 .

Para a irradiação 3D provinda de FACH-1, os valores máximos e mínimos de altitude são 34,0143 (ponto A2) e 12,4408 (ponto E12), respectivamente.

Dessa forma, para uma diferença vertical de 21,5735 m (máxima diferença de altitude) entre A2 e E12, tem-se em termo de mapeamento de fachada, para a construção civil, os valores de inclinação dados pela resolução de triângulo retângulo, utilizando-se dos ângulos verticais provindos dos coeficientes b_2 .

Para fins de ratificação, outra maneira de determinação da inclinação do referido plano vertical, dá-se pela determinação da épura e seu traço vertical do plano, determinando a reta formada pela interseção do plano em estudo com o plano de projeção vertical, na épura. Para fins de exemplificação, escolheu-se os pontos A2, A7, F3 e F12. Os cálculos foram realizados no *software Matlab*.

A Tabela 32 mostra os valores obtidos a respeito da inclinação do plano trabalhado, dado como vertical. Sendo os valores de “ b_2 ” obtidos através da regressão linear múltipla (Tabela 30) para 51, 26 e 12 pontos, e “ b_2 ” obtido através da épura para 4 pontos.

Tabela 32 - Mapeamento de fachada (cm)

	Coeficiente b_2	Desvio vertical (ArcoTangente b_2)	Inclinação (cm)
51 pontos	-0,0005	- 0° 1' 43,13"	1,07 cm
26 pontos	-0,0005	- 0° 1' 43,13"	1,07 cm
12 pontos	-0,0007	- 0° 2' 24,39"	1,51 cm
4 pontos	-0,0005	- 0° 1' 43,13"	1,07 cm

Fonte: a autora

A Tabela 32 demonstra que para a determinação da inclinação do plano, é possível trabalhar com uma quantidade mínima de pontos igual a quatro.

6.2 ÁREA DE ESTUDO 2: BAIRRO DE TORREÃO-RECIFE-PE

Esta etapa da dissertação mostra a aplicabilidade real da metodologia desenvolvida na área 1 para uma obra em fase estrutural, para dessa forma, o

acompanhamento da verticalidade da estrutura ser corrigida assim que detectada algum tipo de erro de prumagem.

6.2.1 Determinação de um SGL (Posicionamento GNSS)

Para o posicionamento GNSS, realizou-se o rastreamento GNSS (modo estático) de 4 pontos na data de 17.10.2017. Utilizou-se 2 pares de receptor GNSS (1 “HIPERLITE +” e 1 “HIPER V”), para o levantamento estático. Os receptores foram configurados para tempo de gravação a cada 5s e máscara de elevação de 15 graus. O levantamento geodésico teve duração de 2 horas. Para o georreferenciamento ao SIRGAS2000, foi utilizada a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS – RBMC, a qual ainda estava ativa para a época das medições, com a finalidade da realização de rede dos pontos determinados por GNSS. A estação da RBMC denominada de RECF, localizada na biblioteca central da UFPE, possui as seguintes coordenadas geodésicas: $-08^{\circ} 03' 3,46972''$; $-34^{\circ} 57' 5,45911''$; 20,180 m" (IBGE, 2017).

Os dados GNSS medidos foram processados no *software* topcon tools v. 8.2. Os quatro pontos (Figura 77) foram ajustados, tendo como referência os dados da RBMC RECF. O tratamento dos dados e seus ajustes apresentam os resultados dados na Figura 78. O relatório gerado pelo software está disposto no Anexo 1 e as monografias dos marcos (RMM340, CA268, CV346, EMC411) estão dispostos no apêndice D.1.

Figura 77 - Visualização em vista aérea dos 4 pontos obtidos por GNSS
Vista aérea dos 4 pontos obtidos por GNSS - área de estudo 2



Fonte: Ortofotos anos 2013/2014 da PCR

Figura 78 - Coordenadas geodésicas dos pontos rastreados

I...	Name	Latitude	Longitude	Ell.Height (m)	Control	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev u (m)	Std Dev Hz (m)
+	RMM340_luiz	8°02'15,85412"S	34°53'06,85800"W	-1,818	None	0,006	0,007	0,011	0,009
+	ERG404_marcio	8°02'13,98306"S	34°53'05,32096"W	-2,123	None	0,005	0,005	0,010	0,007
+	C346_catarina	8°02'16,38841"S	34°53'09,87051"W	-1,321	None	0,004	0,005	0,009	0,007
+	C268_seixas	8°02'14,48468"S	34°53'11,34847"W	-0,982	None	0,004	0,005	0,009	0,007
△	RECF	8°03'03,46972"S	34°57'05,45911"W	20,180	Both	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: *Software Topcon Tools v.8.2*

A Figura 79 mostra a transformação de coordenadas do sistema geodésico SIRGAS2000 para o plano do Sistema Geodésico Local, através do *software* ASTGEOTOP no módulo “Transformação de Coordenadas – versão 2013.05.24”. Adotando-se arbitrariamente como origem do SGL o vértice ‘CA268’ e aplicando-se as equações apresentadas no subitem 3.1.2, os quatro pontos determinados para esta área de estudo apresentam as coordenadas geodésicas locais apresentadas na Tabela 33.

Figura 79 - Transformação de coordenadas no software AstGeoTop

TRANSFORMAÇÕES DE COORDENADAS

Prof. Dr. Sílvio Jacks dos Anjos Garnês
Departamento de Eng. Cartográfica/UFPE
Transformações de Coordenadas © Versão: 2013.05.24

Opção de entrada: Teclado Arquivo

GroupBoxSistGeodesico: Córrego Alegre SAD69 (Brasil) WGS84 SIRGAS2000 PERSONALIZADO

Tipo de Transformação: Planas -> Geodésicas Geodésicas -> Cartesianas Geocêntricas Cartesianas Geocêntricas -> Geodésicas Geodésicas -> Planas

Projecção: UTM RTM LTM TM (Generalizada) Sist. Geodésico Local Sist. Topográfico Local

Coord. Geodésicas da Origem Topocêntrica: Latitude: $8^{\circ}02'14,48468''$ Longitude: $-34^{\circ}53'11,34847''$ Fator de elevação: 0,999999845538817 Alt.Elipsoidal: -0,982

Origem das Coordenadas Planas: $x = 150000,000$ $y = 250000,000$

Elipsoide de entrada: WGS84 6378137 298,257223563

COORDENADAS GEODÉSICAS gg,mmsssssss gg" mm' ss,sssss "

ID_Pto	Latitude	Longitude	Alt.Elip. (m)
0			
1	RMM340	-8,021585412	-34,530685800
2	EMC411	-8,021398306	-34,530532096
3	CV346	-8,021638841	-34,530987051
4	CA268	-8,021448468	-34,531134847

Elipsoide de saída: WGS84 6378137 298,257223563

ID_Pto	x(m)	y(m)	Alt.Elip. (m)
0			
1	RMM340	150137,500	249957,929
2	EMC411	150184,564	250015,410
3	CV346	150045,256	249941,515
4	CA268	150000,000	250000,000

Observação: A latitude SUL e a longitude OESTE devem ter valores NEGATIVOS

Limpar Salvar Dados CAD Google

Calcular > Resultados CAD

Fonte: AstGeoTop 2018 (GARNÊS, 2018)

Tabela 33 - Coordenadas no SGL em SIRGAS2000 dos pontos da área de estudo 2

VÉRTICE	X (m)	Y (m)
CV346	150.045,255	249.941,515
CA268 (origem)	150.000,000	250.000,000
RMM340	150.137,500	249.957,929
EMC411	150.184,564	250.015,410

Fonte: AstGeoTop 2018 (GARNÊS, 2018)

6.2.2 Implantação e Análise dos Pontos de Referência

Pontos de referência foram implantados no entorno e dentro da obra, abordando as seguintes técnicas: poligonação, interseção a ré, prumagem plana e óptica, e irradiação 3D.

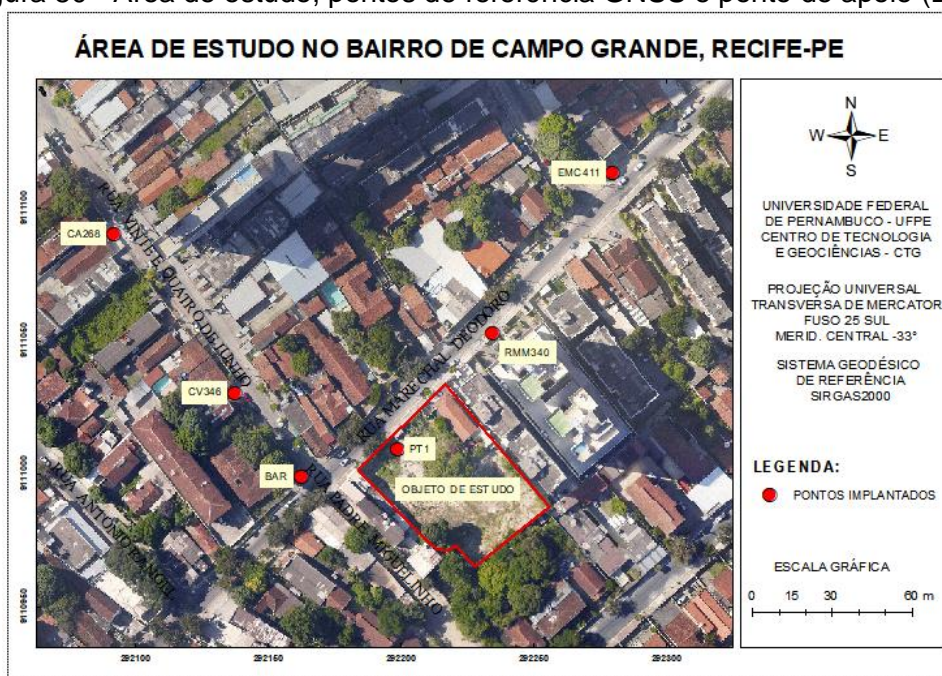
6.2.2.1 Poligonação

Para a materialização da poligonal no entorno da obra, foram escolhidos 5 (cinco) pontos, tomando-se como ponto de referência as benfeitorias próximas ao local. Os pontos receberam nomenclaturas remetendo como referência o nome e número da residência mais próximo, como: CV346 (casa verde, nº 346), CA268 (casa

amarela, nº 268), RMM340 (Residencial Matheus Maia, nº 340), EMC411 (Edifício Maria do Carmo, nº 411), e BAR (próximo a um bar de esquina). A poligonal incluiu depois a possibilidade da inclusão de mais um ponto, denominado PT1, proveniente de uma interseção a ré na poligonal.

A configuração espacial dos 5 pontos implantados ao redor da área de estudo, pode ser vista na Figura 80. O croqui representa a área de estudo, os pontos de referência determinados pelo posicionamento GNSS (CA268, CV346, RMM340, EMC411), o ponto de apoio (BAR) e o ponto “PT01” da interseção a ré.

Figura 80 - Área de estudo, pontos de referência GNSS e ponto de apoio (BAR)



Fonte: Ortofotos anos 2013/2014 da PCR

6.2.2.2 Interseção a Ré

A formulação para o transporte de coordenadas para dentro da área de estudo é a interseção a ré em dois pontos através de, pelo menos, três pontos de coordenadas conhecidas nas imediações do objeto de interesse. Para o exemplo prático aqui mostrado, realizou-se a interseção a ré para um ponto (PT1) localizado em um dos vazados da obra (vazado 3). Para a determinação do ponto “PT1” na laje “vazado 3”, optou-se pela interseção a ré com quatro pontos de coordenadas conhecidas, que são: CA268, CV346, RMM340 e EMC411.

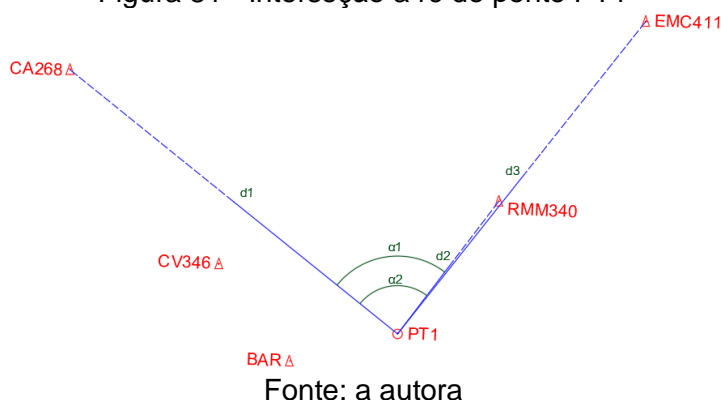
Na campanha de medição para a realização da interseção a ré em 24/10/2017, a intervisibilidade entre “PT01” e “CV346” foi perdida, devido às obras verticais de um imóvel situado entre o ponto estacionado e o visado. Dessa forma, fez-se um ponto de apoio denominado “BAR”, pertencente a poligonal, intervisível para estes 2 últimos pontos citados.

Devido a não visibilidade de PT1 ao CV346, e a ausência do levantamento da poligonal abrangendo o ponto ‘BAR’, a interseção a ré (Figura 81) para a determinação das coordenadas de PT1 foi realizada considerando-se os 3 (três) pontos: CA268, RMM340 e EMC411. Tem-se assim, considerando-se a origem do SGL o vértice CA268, as coordenadas do ponto PT1: $150.105,008 \pm 5,45 \cdot 10^{-5} \text{ m}$, $249.915,428 \pm 2,78 \cdot 10^{-5} \text{ m}$, no Sistema Geodésico Local. A matriz ‘A’ do ajustamento MMQ é dada por:

A =

$$\begin{bmatrix} 0,7788 & -0,6273 \\ -0,6074 & -0,7944 \\ -0,6227 & -0,7825 \\ -2103,2391 & 3533,1272 \\ -303,5961 & 2196,5979 \end{bmatrix}$$

Figura 81 - Interseção a ré do ponto PT1

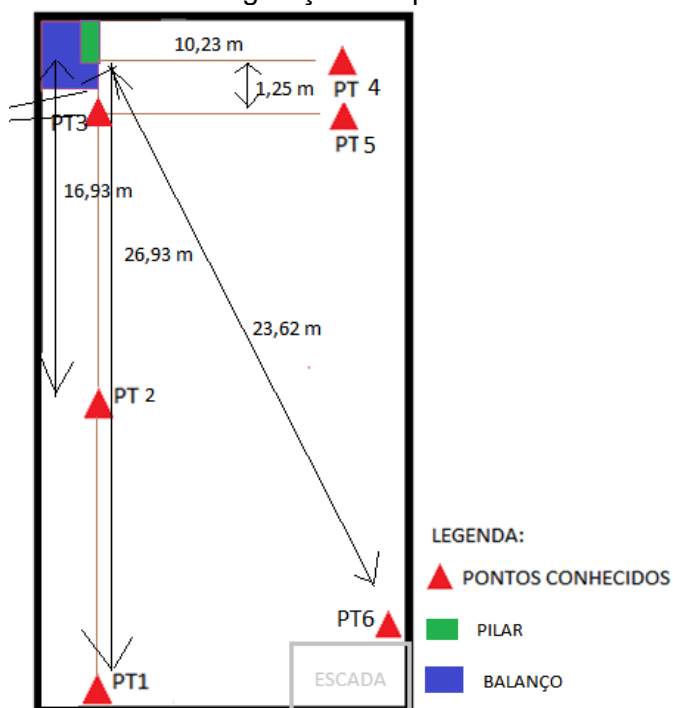


O apêndice F apresenta o modelo do cálculo MMQ paramétrico para a interseção a ré, exemplificando para o ponto PT1.

6.2.2.3 Prumagem Plana e Óptica

A teoria consistiu na idealização de uma poligonal no pavimento aberto ‘vazado 3’, irradiação para pontos de apoio, e transporte de Referência de Nível. Para o estudo de prumagem, sugere-se medições em uma das fachadas além de um pilar. Para isso, fez-se necessário a implantação de pontos (neste caso, seis) na laje ‘vazado3’ (Figura 82). O alinhamento formado pelos vértices PT1-PT2-PT3 perpendicularmente com o alinhamento PT3-PT5 permite a aplicação da metodologia da prumagem plana.

Figura 82 - Modelo da configuração dos pontos em 'vazado 3' (croqui)



Fonte: a autora

Definidos os pontos na área externa da área de estudo, a laje “vazado 3” recebeu a implantação dos pinos (2 para planialtimetria e 4 para altimetria), conforme Figura 83a, para a configuração da rede de estudo. Após a realização dessa etapa, a partir do ponto PT1 (Figura 83b), fez-se a irradiação para cada um dos pontos da laje (PT2, PT3, PT4, PT5 e PT6), como mostrado na Figura 83c.

Figura 83 - Irradiação para cada um dos pontos da laje



A partir de então, as determinações no SGL são permitidas. Esse agrupamento de técnicas, de rastreamento GNSS a conversão para o SGL, propiciam o entendimento para a aplicabilidade real das técnicas de levantamento em uma área sem pontos de apoio.

6.2.2.4 Irradiação 3D

Com o modelo apresentado na Figura 81, é possível a determinação dos pontos irradiados na laje. Sendo a estação total em PT1 visando a ré o ponto CA268, os valores das coordenadas no SGL dos pontos irradiados PT2, PT3, PT4, PT5 e PT6 são dados pela Tabela 34.

Tabela 34 - Irradiação dos pontos na laje

PONTO	x (m)	y (m)
CA268	150.000,000	250.000,000
PT1	150.105,060	249.915,448
PT2	150110,141	249906,732
PT3	150117,919	249893,387
PT4	150109,454	249887,510
PT5	150108,735	249888,537
PT6	150098,834	249905,180

Fonte: a autora

6.3 MEDIÇÃO DE PLACAS DE REVESTIMENTOS POR MMC

Uma utilização é proposta para averiguar a placa ACM antes de sua instalação na fachada. A planeza da placa deve ser analisada por uma MMC.

A precisão da MMC chega a alcançar o micrômetro, diferentemente das precisões dos métodos geodésicos/topográficos propostos. Portanto, devido ao alto custo dessas MMC, recomenda-se que apenas uma amostra das placas que compõem o revestimento externo da edificação tenha sua superfície medida por MMC.

O custo poderá ser reduzido, fazendo-se medição terceirizada confiável em laboratório. Além disso, só a averiguação das placas não garantirá a prumagem das instalações, pois as mesmas serão fixadas nas estruturas da edificação, exigindo-se também um controle sistemático e cuidados especiais durante as suas instalações.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta dissertação permitiu o desenvolvimento de uma metodologia a ser aplicada na construção civil para controle geométrico da prumagem e planeza de fachada de edifícios, além da planeza de laje/piso, através da aplicação de métodos geodésicos/topográficos de precisão para o ajuste de planos (lajes/pisos e fachadas). A obtenção de resultados que apresentam o comportamento da verticalidade de fachadas de um prédio, além da horizontalização de lajes e pisos, é também um indicador sobre prováveis erros de projeto e/ou execução.

7.1 CONCLUSÕES

Nesta dissertação a avaliação da qualidade das observações e a análise de superfícies seguiram os Métodos dos Mínimos Quadrados, aplicando-se o modelo paramétrico. A análise de superfícies foi realizada a partir de análises de variância (ANOVA) e aplicando-se a regressão linear simples e múltipla. Para essa avaliação, foram desenvolvidos nessa dissertação módulos computacionais (em *Excel* e *Matlab*) e utilizados módulos do *software* AstGeoTop: “análise estatística t (mesmas variâncias), análise estatística t (variâncias diferentes), análise estatística ANOVA”. Também foi possível uma análise estatística para a comparação de metodologias de medição (item 6.1.5.1). Além da utilização de outros módulos, aplicados para a determinação de coordenadas através dos métodos geodésicos/topográficos, tais como: “nivelamento geométrico, levantamento topográfico – planimetria, poligonal fechada e transformação de coordenadas”, os quais serviram de controle para o processamento dos dados realizados em módulos computacionais desenvolvidos em *Excel* e *Matlab*.

Os resultados alcançados apresentados resumidamente no subitem 6.1.5.1 demonstram que independentemente dos métodos utilizados, as qualidades das observações foram atingidas para cada experimento realizado, pois em todas as análises estatísticas concluiu-se que não há diferença significativa entre os dados obtidos, para uma significância de 5%. Este permite concluir que os resultados obtidos não diferem entre si com confiabilidade de 95% para as metodologias utilizadas. Sendo assim, o método de irradiação 3D executado com estação total, por ser mais simples e rápido, atende aos resultados, quando as regressões lineares são

aplicadas. Recomenda-se a utilização de no mínimo duas séries para verificação de possíveis erros grosseiros para levantamentos desta natureza (superfícies planas horizontais e superfícies planas verticais), uma vez que a simples irradiação não permite confrontar discrepâncias.

Dessa forma, realizou-se também uma análise da redução desses pontos-objeto, a fim de conhecer a quantidade mínima suficiente para que a equação do plano ($Y = a + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2$) apresente-se de forma semelhante aos coeficientes do universo da coleta dessa dissertação.

Os resultados alcançados apresentados resumidamente no subitem 6.1.5.2 demonstram que os planos obtidos pela regressão linear múltipla apresentaram valores de discrepância máxima de 3mm e 1,7cm para os planos horizontal e vertical, respectivamente. Para o mapeamento de fachadas, os coeficientes linear e angulares retratam aproximadamente os mesmos valores, permitindo otimização na coleta de pontos amostrais, já que denotam valor aproximado no mapeamento de fachada.

De posse dos dados da Tabela 30, observa-se que a equação da regressão linear múltipla se mostrou como o esperado para o plano vertical. Conclui-se então que a determinação de um plano obtido por métodos geodésicos/topográficos pode ser sim aplicada para o acompanhamento da estrutura de uma obra. Os dados obtidos dessa dissertação demonstram para este caso, que a determinação da planitude vertical pode ser obtida apenas considerando-se os pontos provindos de uma das técnicas, que é a irradiação 3D.

O emprego de tecnologias geodésicas pode ser algo esperado de construtoras. Visto que resultados positivos de maior confiabilidade na verificação da verticalização da edificação e planeza das lajes/pisos podem resultar em maior confiabilidade e redução de custo.

Nesta dissertação foi proposta uma metodologia alternativa em substituição aos procedimentos tradicionais da construção civil que permita o atendimento dessa análise, de forma a acompanhar o desenvolvimento da construção e verificar em tempo hábil a planeza de pisos/lajes e a prumagem de fachadas, permitindo sua correção quando necessária, diminuindo assim, os custos envolvidos.

7.2 RECOMENDAÇÕES

- Recomenda-se acrescentar aos experimentos a utilização da Máquina de Medição por Coordenadas (MMC) para a verificação da planeza da placa em ACM e a viabilidade desta medição servir como padrão de referência de peças pré fabricadas e verificação destas após instalação.
- Recomenda-se acrescentar às técnicas de medição o emprego do *Laser Scanner* e de drones para a aquisição de dados e a análise de superfícies após construção e comparação com o projeto de construção.
- Recomenda-se aplicar os métodos na área de estudo 2, Bairro de Torreão, para o estudo de planeza do pavimento vazado e da verticalidade de pilar a partir dos pontos de referência implantados na obra.

REFERÊNCIAS

- ABACKERLI, A. J. **Tecnologia de Medição por Coordenadas**: Aplicação. Apostila de Curso, Fundação CERTI, Florianópolis, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de Levantamento Topográfico. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: Revestimentos de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755**: Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante - Projeto, execução, inspeção e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14166**: Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14645-1**: Elaboração do “como construído” (as built) para edificações Parte 1: Levantamento planialtimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área até 25 000 m², para fins de estudos, projetos e edificação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.
- AECWEB. **Painéis de ACM são usados no revestimento de fachadas, coberturas e marquises**. s.d. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/paineis-de-acm-sao-usados-no-revestimento-de-fachadas-coberturas-e-marquises_12603_10_0. Acesso em: 15 mar. 2019.
- ALGARVE, UNIVERSIDADE DO ALGARVE. **Nivelamento Geométrico** – Cálculo. Nota de aula. Licenciatura em Engenharia Topográfica, Portugal, 2008. Disponível em: <http://w3.ualg.pt/~dpereira/topografica/topografia0708.html#info>. Acesso em: 15 dez. 2018.
- ARAÚJO, A. I. P. **Geodésia Aplicada aos Estudos de Verticalização de Edifício Predial de Grande Porte**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.
- ARAÚJO de. A. I. P.; DE SEIXAS, A.; GARNÉS. S. J. A.; DE SEIXAS. J. R. **Geodésia Aplicada aos Estudos de Verticalização de Edifício Predial de Grande Porte**: Método da Prumagem Plana. In: Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 7. Anais. Curitiba-PR. 2011.

ARAÚJO, L. S. M.; ILHA, M. S. O. **BIM e laser scanning na geração de projeto “as built” de sistemas prediais hidráulicos e sanitários.** Revista Hydro, Ano - XI No 126, Abril 2017.

ARRAES, N. **Os riscos da reforma sem acompanhamento técnico.** 2016. Disponível em: <https://naarraes.wordpress.com/2016/08/01/os-riscos-da-reforma-sem-acompanhamento-tecnico/>. Acesso em: 15 dez. 2018.

BARBOSA, A. S. **Estudo numérico-computacional e analítico do choque térmico em fachadas de edificações.** 2013. Dissertação (Mestrado em estruturas e construção civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

BETTIO, R. W. **Um estudo das metodologias de programação de braços robóticos e implementação do protótipo de uma linguagem aplicando as principais estruturas existentes.** 2000. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Ciência da Computação) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2000.

BLITZKOW, D. CAMPOS, I. O., FREITAS, S. R. C. **Altitude: o que interessa e como equacionar?.** In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 1. Anais. Recife. 2004.

BORCHERDS, P. H.; SHETH, C. V. **Least squares fitting of a straight line to a set of data points.** Sch. of Phys. & Space Res., Birmingham Univ., UK.1995.

BOTELHO, F. J. L. **Métodos geodésicos para racionalização construtiva no posicionamento preciso de edificações prediais.** 2003. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo.** Vol1. 6ª Ed. São Paulo: Blucher. 2010.

BRASIL. Norma Regulamentadora. **NR 18 - Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção.** Alteração Portaria MTb n.º 261, de 18 de abril de 2018.

BRITO NETO, A. A. **A tecnologia da medição por coordenadas na calibração de peças padrão e medição de peças com geometrias complexas.** 2003. Dissertação (Mestrado em Metrologia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CHAVES, J. C. **Controle de Deformações em Barragens: Métodos de Monitoramento e Viabilidade de Utilização do GPS.** 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Manual de Revestimento de Fachada.** Salvador, 2006. Disponível em: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/280/anexo/ativosmanu.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2019.

COSTA, A. B.; CABRAL, F. C. F. **Textos de laboratório - teoria de erros - física I**. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

CUSTODIO, R.; ANDRADE, J. C.; AUGUSTO, F. **O ajuste de funções matemáticas a dados experimentais**. Universidade de Campinas. 1996.

DAL'FORNO, G. L.; AGUIRRE, A. J.; HILLEBRAND, F. L.; GREGÓRIO, F. V. **Transformação de Coordenadas Geodésicas em Coordenadas no Plano Topográfico Local Pelos Métodos da Norma NBR 14166:1998 e o de Rotações e Translações**. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3. **Anais**. Recife-PE, 2010.

DEBETIO, N. G. **Execução da segunda etapa da obra de construção e ampliação do hospital geral e maternidade Tereza Ramos**. 2017. Relatório de Estágio Curricular Supervisionado (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade do planalto catarinense, Lages, 2017.

DEZEN-KEMPTER, E.; SOIBELMAN, L.; CHEN, M.; MÜLLER, A.V. **Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 113-124, jul./dez. 2015.

DEUMILICH, F.; STEIGER, R. **Instrumentenkunde der Vermessungstechnik**. Aufl. 9. Wichmann, 2002.

EGER, J. S. **Determinação da posição de referências fixas por multilateração sequencial aplicada a um sistema indoor-GPS**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

ERBA, D. A.; OLIVEIRA, F. L.; LIMA JUNIOR, P. N. **Cadastro multifinalitário como instrumento da política fiscal e urbana**. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

ESPARTEL, L. **Curso de topografia**. 9ª edição. Editora globo. UFRS. 1987.

FARIA, J. C.; ALCÂNTARA, M.; NASCIMENTO, J. **Regressão linear simples e múltipla**. Nota de aula. Universidade Estadual de Santa Cruz. 2016.

FIG. International Federation of Surveyors. Disponível em: <http://www.fig.net/index.asp>. Acesso em: 15 mar. 2019.

GARNÉS, S. J. A. **Sistema de projeção e orientação das plantas topográficas**. In.: COBRAC 98. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário - UFSC Florianópolis - 18 a 22 de Outubro 1998.

GARNÉS, S.J.A; DALMOLIN, Q. **Trilateração em redes topográficas: solução do problema linear por ajustamento livre**. Cartografia e Cadastro, Lisboa, n.9, dez. 1998.

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

GHILANI, C. D.; WOLF, P.R. **Geomática**. São Paulo: Pearson Education do Brasil. 13ª Ed. 2013.

GIRIBOLA, M. **Apesar de simples, a instalação de painéis em ACM deve ser feita com cuidado para garantir desempenho e resultado estético**: Entenda como é feita a montagem do sistema. Newsletter Construção Mercado. Edição 153 - Março/2014.

GOOGLE EARTH-MAPAS. <https://www.google.com.br/maps>. Acesso em: 13 nov. 2018.

GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. **Tecnologia 3D Laser Scanning**: características, processos e ferramentas para manipulação de nuvens de pontos. In: Congreso de la Sociedad Interamericana de Gráfica Digital (SiGraDi), 15. Anais. Universidad Nacional del Litoral (FADU-UNL), Santa Fe, Argentina. 2011.

HAMBURG-PIEKAR, D. S. **Calibração de peças padrão em máquinas de medir por coordenadas**. 2006. Dissertação (Mestrado em Metrologia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

IAU. **Instituto de arquitetura e urbanismo**. USP. SÃO CARLOS. disponível em <http://www.iau.usp.br>. Acessado em 2017.

IBGE. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS**. Abril, 2008.

IBGE. **Parâmetros para transformação de sistemas geodésicos**. Resolução nº 23. 21 de fevereiro de 1989.

IBGE. **RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS - Relatório de Informação de Estação - RECF - Recife**. 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1101:2017**. Geometrical Product Specifications (GPS) -geometrical tolerancing- tolerances of form, orientation, location and run-out. 2017.

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

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

KRELLING, P. S. L. **Concepção de um inclinômetro foto-mecânico para controle geodésico de estruturas**. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

LIMA FILHO, M. A. L. **Correlação e regressão**. Nota de aula. Universidade Federal da Paraíba. 2013.

MARQUES, J. M. **Estatística** - Cursos de engenharia. Livro. Universidade Federal do Paraná. 1991.

MARTINS, A. A.; SILVA, J. C.; FIALHO, P. F. **Viabilidade econômica de painéis de alumínio composto em retrofit de fachadas: comparativo com sistema convencional.** Revista espaço academico. Faculdade Brasileira – Multivix-Vitória. 2018.

MENDONÇA, F. J. B. M.; GARNÉS, S. J. A. G.; PEREIRA, C. M.; NETO, J. A. B.; MELO, W. D. A. **Análise do ajustamento por mínimos quadrados de uma trilateração topográfica com injunções nos planos UTM e topocêntrico.** In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3. Anais. Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010.

MILITO, J. A. **Técnicas de construção civil.** 2009. Notas de aula. Disponível em: <http://demilito.com.br/apostila.html>. Acesso em: 14 fev. 2019.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Educação Profissional. Referenciais curriculares nacionais da educação profissional de nível técnico. Área profissional: construção civil. Brasília. 2000.

MIRANDA, F. D. A. **Metodologia para o monitoramento de pontos em áreas instáveis empregando-se estações totais.** 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

MOESER, M.; MUELLER, G.; SCHLEMMER, H.; WERNER, H. (Hrsg.). **Handbuch Ingenieurgeodäsie. Grundlagen.** Herbert Wichmann Verlag: Heidelberg, 3., voellig neugearbeitet und erweiterte Auflage, 2000. 642p

MOREIRAS, S. T. F.; PARAGUASSÚ, A. B. **Viabilidade do uso de placas de granito como lajes em edificações.** Periódico científico. Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo. 2012.

MOTTA, J. F. M., JUNIOR, M. C., TANNO, L. C. **Panorama das matérias-primas utilizadas na indústria de revestimentos cerâmicos: desafios ao setor produtivo.** Revista cerâmica industrial. SP. 1998.

MUIAMBO, A. **Análise de variância.** S.d. Disponível em https://www.academia.edu/37996772/AN%C3%81LISE_DE_VARI%C3%82NCIA_1. Acesso em: 8 mar. 2019.

MUSSE, D. S. **Desempenho de revestimento de argamassas reforçadas com telas: estudo de fissuração e comportamento mecânico.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

NEROSKY, L. A. R. **medição de formas livres através da integração de um sensor óptico tipo "folha de luz" em um braço de medição.** 2001. Dissertação (Mestrado em Metrologia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

NORONHA, J. L. **Qualificação de máquinas de medir por coordenadas com padrões corporificados.** 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

OLIVEIRA FILHO, M. L. **A Utilização da Regressão Linear Como Ferramenta Estratégica Para a Projeção dos Custos Produção**. In: Congresso Brasileiro de Custos, 9. Anais. São Paulo, SP, Brasil. 2002.

OTAKE, V. S. **Produtos cartográficos gerados a partir de drones e aplicações na agricultura**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia). UNICESUMAR - Centro universitário de Maringá, Maringá, 2017.

PARAVASI, S. **Avaliação de sistemas de produção de revestimentos de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

PAZIANI, F. T. **Desenvolvimento de um sistema automatizado e dedicado de medição**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

REED, C. **A spreadsheet for linear least-squares fitting with errors in both coordinates**. Department of Physics, Alma College, Alma, MI 48801, USA. 2010.

REED, C. **Straight-line fits with uncertainties in both coordinates: from Gauss to spreadsheets**. Department of Physics, Alma College, Alma, MI 48801, USA. 2015.

SALGADO, J. V. F. **Sistemática de avaliação e melhoria do processo de medição com suporte de um laboratório de serviços e assessoramento remoto**. 2004. Dissertação (Mestrado em Metrologia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SANTOS, C. M. R. S.; SEIXAS, A. DE. **A gestão territorial das prefeituras municipais e o problema das coordenadas pseudo-UTMS na avaliação de áreas e posicionamento de imóveis**. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 7. Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.

SEIXAS, A.; GAMA, L. F.; MORAES, J. N.; SOUZA, A. M. B. **Estabelecimento de padrões de referência altimétrica utilizando o nivelamento geométrico para a definição de alvos altos e inacessíveis**. Boletim de Ciência Geodésica, Curitiba, v.20, nº2, p.388-410, 2014.

SEIXAS, A. de; SEIXAS, J. R de. **Controle e monitoramento de recalques** - edifício em construção do laboratório integrado de tecnologia em petróleo, gás e biocombustíveis - LITPEG CTG/UFPE. Projeto de Pesquisa nº 3076.040512/2015-15 Propesq/UFPE, 2015.

SIGUEL, A. R.; FAGGION, P. L.; KOENIG, L. A. **Aplicação do método de irradiação tridimensional no monitoramento de barragens**. BCG - Boletim de Ciências Geodésicas - On-Line version, ISSN 1982-2170. 2013.

SILVA, E. V. **Monitoramento de estruturas geodésicas altimétricas e estabelecimento de padrões de referência metrológica: campus Recife da UFPE**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

SILVA, E. V.; SEIXAS, A. DE. **O estabelecimento de padrões de referência metrológica**: controle e análise da qualidade de estruturas geodésicas altimétricas implantadas no campus Recife da UFPE. Revista Brasileira de Cartografia. v. 69, n. 9, 2017.

SILVA, G. P. **Uma abordagem geodésica da locação e controle dimensional de estruturas da construção civil**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

SILVA, G. P.; SEIXAS, A. DE; GARNÉS, S. J. DOS. A.; ROMÃO, V. M. C. **Definição do sistema de referência para a locação de edificações** prediais – área experimental: bairro da Madalena, Recife – PE. Revista Brasileira de Cartografia. V. 67, n. 2. 2015

SILVA, H. O. L.; PAPA, M. C. O.; ASSUMPÇÃO, M. R. P. **Avaliação de métodos para estimar os erros e incertezas de medição de superfícies de forma livre**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 34. Anais. Curitiba, PR, Brasil, 07 a 10 de outubro de 2014.

SILVA, I. DA; SEGANTINE, P. C. L. **Topografia para engenharia** – teoria e prática de geomática. 4ª Edição. Editora Elsevier. 2015.

SILVA, M. B. **Implantação e análise de estruturas geodésicas altimétricas para o levantamento geodésico de prédios históricos localizados no município de Olinda-PE**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

SILVA, M. B., CARANASSIOS, A. **Considerações sobre a utilização das rochas ornamentais em revestimentos de pisos e fachadas com base nos seus valores de índices físicos e desgaste AMSLER**. In: Jornada do Programa de Capacitação Interna do CETEM, 3., Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013.

SILVA, T. F.; SEIXAS, A. de; ROMÃO, V. M. C. **Conceituação de campo de pontos na medição de deformação de objetos**. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 1. Recife – Pe, 2004. 7p.

SOUZA, R.; MEKBEKIAN, G. **Qualidade na aquisição de materiais e execução de obras**. PINI. São Paulo. CTE - Centro de Tecnologia de Edificações. 1997.

SOUZA, U. E. L. de. **Como reduzir perdas nos canteiros**: manual de gestão de consumo de materiais na construção civil. 1ed. São Paulo: PINI, 2005.

SOUZA, W. O. **Aplicação de métodos para determinação do desvio da vertical na integração de posicionamento gnss com levantamentos topográficos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

TAYLOR, P. M. **Understanding robotics**. New York: CRC Press Inc 2000 Corporate, 1990.

TESKEY, W. F.; PORTER, T. R. **An intergrated method for monitoring the deformation behaviour of engineering structures**. In: International (FIG) Symposium on Deformation Measurements, 5., and Canadian Symposium on Mining Surveying and Rock Deformation Measurements, 5., Fredericton, Proceedings. P. 536-47, 1988.

TORGE, W. **Geodesy**. Third completely revised and extended edition. Berlin, p. 416, ISSN 3-11-017072-8. 2001.

VASILYEVA, D.; GIANNOTTI, M.; GOEHL JR. J. F. **Comparison of different approaches in extraction of a parameter in a linear fit**. Department of Physical Sciences, Barry University, Florida. 2015.

VAYEGO, S. A. **Regressão linear simples**. Departamento de Estatística. Notas de aula. Universidade Federal do Paraná. 2009.

VEIGA, L. A. K., ZANETTI, M. A. Z., FAGGION, P. L. **Metodologia de ensino para topografia**: proposta didática para o método de estação livre. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 4. Anais. Recife, 2012.

VILA FLOR, C. D. R. **Rede geodésica cadastral do campus Recife da UFPE**: Fase I – planejamento e implantação da rede principal. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Cartográfica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

XAVIER, A. M. **Emprego de instrumentação topográfica/geodésica no contexto da NBR 14645**: aplicações ao controle dimensional de edificações e ao cadastro. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Cartográfica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

ZEISS. Tecnologia em Medição Industrial. Disponível em: <https://www.zeiss.com.br/metrologia/produtos/sistemas.html>. s.d. Acesso em: 23 abr. 2019.

ZEVIANI, W. M.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; BONAT, W. H. **Curso modelos de regressão não linear**. Universidade Federal do Paraná. 2013.

APÊNDICE A - COORDENADAS DOS PONTOS OBJETO DA FACHADA, DETERMINADAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE IRRADIAÇÃO 3D

Tabela A.1 - Coordenadas dos pontos objeto da fachada por irradiação 3D

(continua)

PT	POR FACH1			POR FACH2			POR FACH3		
	x	y	H	x	y	H	x	y	H
G1	149800,8586	249654,7959	36,4437	149800,8630	249654,7967	36,4808			
G2	149800,8593	249654,8064	34,0000	149800,8643	249654,8064	34,0312			
G3	149800,8606	249654,8120	32,2115	149800,8649	249654,8089	32,2441			
G4	149800,8633	249654,8083	29,6789	149800,8639	249654,8099	29,7074			
G5	149800,8616	249654,8098	27,8903	149800,8615	249654,8143	27,9165			
G6	149800,8668	249654,8090	25,3961	149800,8661	249654,8123	25,4243			
G7	149800,8677	249654,8155	23,6023	149800,8679	249654,8191	23,6312			
G8	149800,8584	249654,8169	21,0886	149800,8595	249654,8196	21,1166			
G9	149800,8680	249654,8196	19,2997	149800,8688	249654,8239	19,3298			
G10	149800,8734	249654,8284	16,7819	149800,8736	249654,8312	16,8123			
G11	149800,8772	249654,8317	14,9934	149800,8761	249654,8334	15,0217			
G12	149800,8728	249654,8263	12,4426	149800,8702	249654,8319	12,4743			
F1	149801,0238	249656,2357	36,4566	149801,0293	249656,2370	36,4901			
F2	149801,0163	249656,2456	34,0085				149801,0147	249656,2410	34,2388
F3	149801,0180	249656,2475	32,2203	149801,0209	249656,2509	32,2479	149801,0131	249656,2457	32,4472
F4	149801,0160	249656,2508	29,6800	149801,0183	249656,2549	29,7105	149801,0120	249656,2490	29,9085
F5	149801,0160	249656,2508	27,8877	149801,0196	249656,2550	27,9191	149801,0156	249656,2501	28,1192
F6	149801,0183	249656,2519	25,3964	149801,0183	249656,2556	25,4271	149801,0165	249656,2513	25,6268
F7	149801,0163	249656,2559	23,6061	149801,0208	249656,2598	23,6359	149801,0163	249656,2548	23,8369
F8	149801,0219	249656,2587	21,0939	149801,0206	249656,2605	21,1251	149801,0185	249656,2564	21,3244
F9	149801,0234	249656,2629	19,3016	149801,0237	249656,2648	19,3359	149801,0228	249656,2589	19,5330
F10	149801,0265	249656,2641	16,7850	149801,0271	249656,2720	16,8150	149801,0242	249656,2668	17,0150
F11	149801,0275	249656,2686	14,9931	149801,0279	249656,2737	15,0241	149801,0263	249656,2688	15,2228
F12	149801,0292	249656,2669	12,4430	149801,0287	249656,2725	12,4725	149801,0297	249656,2699	12,6728
E1	149801,1886	249657,6828	36,4576	149801,1938	249657,6837	36,4889			
E2	149801,1688	249657,6904	34,0102	149801,1774	249657,6867	34,0366	149801,1622	249657,6866	34,2617
E3	149801,1673	249657,6917	32,2155	149801,1733	249657,6945	32,2465	149801,1634	249657,6931	32,4669
E4	149801,1679	249657,6919	29,6818	149801,1699	249657,6960	29,7109	149801,1587	249657,6944	29,9284
E5	149801,1679	249657,6967	27,8839	149801,1726	249657,6982	27,9194	149801,1582	249657,6939	28,1329
E6	149801,1688	249657,6993	25,3958	149801,1721	249657,6984	25,4275	149801,1663	249657,7005	25,6462
E7	149801,1701	249657,6998	23,6039	149801,1712	249657,7035	23,6360	149801,1624	249657,6991	23,8514
E8	149801,1742	249657,6975	21,0925	149801,1741	249657,7024	21,1237	149801,1685	249657,7016	21,3415
E9	149801,1731	249657,7025	19,3025	149801,1776	249657,7049	19,3357	149801,1690	249657,7021	19,5538
E10	149801,1799	249657,7067	16,7834	149801,1778	249657,7123	16,8174	149801,1754	249657,7105	17,0324
E11	149801,1819	249657,7093	14,9922	149801,1834	249657,7136	15,0230	149801,1783	249657,7062	15,2397
E12	149801,1825	249657,7086	12,4408	149801,1817	249657,7143	12,4724	149801,1779	249657,7119	12,6892
D1	149801,3511	249659,1239	36,4633	149801,3573	249659,1264	36,4906			
D2	149801,3209	249659,1327	34,0094	149801,3259	249659,1318	34,0413	149801,3137	249659,1309	34,2600
D3	149801,3213	249659,1342	32,2169	149801,3249	249659,1369	32,2463	149801,3126	249659,1329	32,4647
D4	149801,3210	249659,1316	29,6798	149801,3239	249659,1373	29,7100	149801,3142	249659,1359	29,9290
D5	149801,3199	249659,1340	27,8863	149801,3225	249659,1387	27,9178	149801,3133	249659,1356	28,1348
D6	149801,3188	249659,1380	25,3952	149801,3265	249659,1395	25,4279	149801,3118	249659,1373	25,6438
D7	149801,3197	249659,1417	23,6028	149801,3296	249659,1404	23,6381	149801,3186	249659,1406	23,8543
D8	149801,3263	249659,1367	21,0939	149801,3265	249659,1423	21,1226	149801,3181	249659,1404	21,3423
D9	149801,3262	249659,1432	19,3074	149801,3298	249659,1445	19,3349	149801,3204	249659,1438	19,5510
D10	149801,3298	249659,1421	16,7843	149801,3352	249659,1480	16,8160	149801,3260	249659,1483	17,0337
D11	149801,3366	249659,1469	14,9939	149801,3362	249659,1536	15,0245	149801,3302	249659,1518	15,2420
D12	149801,3356	249659,1512	12,4410	149801,3376	249659,1564	12,4725			
C1	149801,5153	249660,5641	36,4590	149801,5231	249660,5674	36,4886			
C2	149801,4932	249660,5718	34,0129	149801,4948	249660,5732	34,0418	149801,4851	249660,5723	34,2603
C3	149801,4917	249660,5726	32,2198	149801,4922	249660,5754	32,2464	149801,3638	249660,5224	32,6758
C4	149801,4927	249660,5737	29,6824	149801,4968	249660,5761	29,7124	149801,4835	249660,5757	29,9303
C5	149801,4920	249660,5743	27,8897	149801,4970	249660,5787	27,9218	149801,4840	249660,5781	28,1392
C6	149801,4959	249660,5734	25,3983	149801,4977	249660,5788	25,4297	149801,4854	249660,5784	25,6461
C7	149801,4972	249660,5749	23,6055	149801,4990	249660,5812	23,6362	149801,4867	249660,5789	23,8533
C8	149801,4947	249660,5784	21,0926	149801,4946	249660,5851	21,1238	149801,4885	249660,5823	21,3407
C9				149801,5005	249660,5835	19,3337	149801,4899	249660,5833	19,5503

PT	POR FACH1			POR FACH2			POR FACH3		
	x	y	H	x	y	H	x	y	H
C10				149801,4995	249660,5901	16,8132	149801,4903	249660,5892	17,0297
C11				149801,4978	249660,5928	15,0228	149801,4899	249660,5921	15,2412
C12				149801,4914	249660,5986	12,4735			
B1	149801,6733	249662,0048	36,4571	149801,6768	249662,0099	36,4846			
B2	149801,6387	249662,0123	34,0077	149801,6415	249662,0145	34,0387	149801,6278	249662,0118	34,2571
B3	149801,6334	249662,0153	32,2160	149801,6408	249662,0149	32,2500	149801,6238	249662,0110	32,4647
B4	149801,6361	249662,0191	29,6818	149801,6410	249662,0200	29,7124	149801,6271	249662,0168	29,9304
B5	149801,6332	249662,0196	27,8899	149801,6399	249662,0203	27,9208	149801,6251	249662,0176	28,1398
B6	149801,6377	249662,0173	25,3979	149801,6402	249662,0216	25,4277	149801,6324	249662,0196	25,6477
B7	149801,6429	249662,0179	23,6060	149801,6447	249662,0235	23,6368	149801,6331	249662,0205	23,8552
B8	149801,6449	249662,0185	21,0946	149801,6512	249662,0237	21,1263	149801,6373	249662,0225	21,3435
B9				149801,6449	249662,0273	19,3364	149801,6365	249662,0268	19,5547
B10							149801,6349	249662,0294	17,0329
B11							149801,6375	249662,0323	15,2415
A1	149801,8378	249663,4439	36,4615	149801,8441	249663,4493	36,4870			
A2	149801,7783	249663,4538	34,0143	149801,7841	249663,4591	34,0419	149801,7852	249663,4492	34,1976
A3	149801,7689	249663,4573	32,2204	149801,7751	249663,4593	32,2504	149801,7746	249663,4516	32,4045
A4	149801,7804	249663,4585	29,6847	149801,7838	249663,4605	29,7150	149801,7911	249663,4591	29,8709
A5	149801,7778	249663,4599	27,8931	149801,7883	249663,4624	27,9269	149801,7876	249663,4573	28,0794
A6	149801,7843	249663,4587	25,4027	149801,7898	249663,4623	25,4314	149801,7830	249663,4520	25,5804
A7	149801,7835	249663,4614	23,6099	149801,7885	249663,4653	23,6396	149801,7794	249663,4518	23,7893
A8				149801,7918	249663,4699	21,1289	149801,7923	249663,4603	21,2807
A9							149801,7950	249663,4614	19,4906

(conclusão)

APÊNDICE B - COORDENADAS DOS PONTOS OBJETO DA FACHADA, DETERMINADAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE INTERSEÇÃO A VANTE 2D

Tabela B.1 - Coordenadas dos pontos objeto da fachada por interseção a vante 2D

PT	x (m)	Sigma_x (mm)	y (m)	Sigma_y (mm)
F3	149801,0158	8,1976	249656,2518	5,0877
F4	149801,0137	8,9366	249656,2554	5,5458
F5	149801,0134	10,1957	249656,2560	6,3270
F6	149801,0164	6,1589	249656,2553	3,8218
F7	149801,0139	10,8169	249656,2611	6,7109
F8	149801,0221	2,5876	249656,2592	1,6052
F9	149801,0249	5,5109	249656,2631	3,4176
F10	149801,0200	11,8592	249656,2731	7,3522
F11	149801,0243	8,7345	249656,2738	5,4143
F12	149801,0245	7,4433	249656,2731	4,6141
E2	149801,1697	1,0450	249657,6900	0,6052
E3	149801,1624	7,8960	249657,6979	4,5722
E4	149801,1611	5,6734	249657,6989	3,2852
E5	149801,1655	5,8119	249657,7003	3,3647
E6	149801,1670	0,0192	249657,7008	0,0111
E7	149801,1665	5,9766	249657,7044	3,4593
E8	149801,1673	5,0690	249657,7044	2,9339
E9	149801,1699	7,0613	249657,7070	4,0861
E10	149801,1737	5,0840	249657,7132	2,9408
E11	149801,1806	9,3902	249657,7130	5,4305
E12	149801,1763	6,4832	249657,7154	3,7494
D2	149801,3195	1,4294	249659,1341	0,7694
D3	149801,3174	6,1926	249659,1388	3,3324
D4	149801,3122	8,3613	249659,1405	4,4997
D5	149801,3137	7,8138	249659,1408	4,2049
D6	149801,3148	6,9198	249659,1429	3,7233
D7	149801,3187	5,0602	249659,1438	2,7223
D8	149801,3182	6,3920	249659,1445	3,4387
D9	149801,3226	3,3168	249659,1468	1,7839
D10	149801,3198	10,1084	249659,1523	5,4355
D11	149801,3276	7,5746	249659,1557	4,0714
C2	149801,4892	1,3908	249660,5750	0,6924
C3	149801,4854	2,0654	249660,5775	1,0282
C4	149801,4861	3,8363	249660,5793	1,9096
C5	149801,4832	7,3746	249660,5824	3,6706
C6	149801,4856	5,7464	249660,5821	2,8600
C7	149801,4870	7,9460	249660,5841	3,9542
C8	149801,4861	8,3494	249660,5866	4,1545
B2	149801,6334	3,0207	249662,0165	1,3856
B3	149801,6319	3,4548	249662,0171	1,5848
B4	149801,6332	3,3395	249662,0219	1,5315
B5	149801,6300	4,2649	249662,0227	1,9559

Como exemplo para o cálculo de 1 ponto (Q(1,1)), segue o algoritmo em *Matlab*:

```

%% DADOS DE ENTRADA
% ÂNGULOS INTERNOS (MEDIDOS)
beta = 66.0162500; % estB visando estA e Q(1,1)
Aext = 215.657431; % ângulo externo: estA visando AUX-4 e estB
alpha = Aext-142.955486; % estA visando estB e Q(1,1)
% DISTÂNCIAS INCLINADA (MEDIDAS)
dI_AP = 8.992; % estA visando Q(1,1)
dI_BP = 9.396; % estB visando Q(1,1)
dI_AB = 6.4885; % estA visando estB
% ÂNGULOS ZENITAIS (MEDIDOS)
zA = 89.761806; % estA visando Q
zB = 89.6751389; % estB visando Q
zAB = 89.71548611111111; % estA visando estB
% ESTAÇÃO A (SISTEMA GEODÉSICO ARBITRADO)
estA = [0
0];

```

```

% AZIMUTE INICIAL (ESCOLHIDO ALEATORIAMENTE)
AzAB = 65.4169732774437; % esta E estB INTERVISÍVEIS
% COORDENADAS DE EST-B (TRANSPORTE DE COORDENADAS)
estB = [estA(1) + (dI_AB * sind(zAB)) * (sind(AzAB))
        estA(2) + (dI_AB * sind(zAB)) * (cosd(AzAB))];

%% CÁLCULOS GERAIS
% ETAPA 1: azimutes
AzBA = AzAB + 180;
AzAP = AzAB - alpha;
AzBP = AzBA + beta;
% ETAPA 2: soma ângulos internos: alpha + beta + gama = 180°
gama = 180 - (alpha(1)+ beta);
% ETAPA 3: distância horizontal
distAB = dI_AB*sind(zAB);
% ETAPA 4: lei dos senos (distAP e distBP: estimadas)
distBPzero = ( distAB * sind(alpha)) / sind(gama);
distAPzero = ( distAB * sind(beta) ) / sind(gama);
% ETAPA 5: coordenadas estimadas Xo,Yo de P
xA = estA(1); % ou xB = estB(1);
yA = estA(2); % ou yB = estB(2);
Xo = xA + distAPzero(1)*sind(AzAP); % ou Xo = xB + distBPzero*sind(AzBP)
Yo = yA + distAPzero(1)*cosd(AzAP); % ou Yo = yB + distBPzero*cosd(AzBP)
% ETAPA 6: vetor das distâncias estimadas
Sij_zero = [distAPzero(1) % distância de A para Q
            distBPzero(1)]; % distância de B para Q
% ETAPA 7: vetor das distâncias medidas com instrumento de medição
Sij = [dI_AP(1)*sind(zA(1)) % distância de A para Q(1,1)
       dI_BP(1)*sind(zB(1))]; % distância de B para Q(1,1)
% ETAPA 8: vetor da diferença entre as distâncias medidas e as calculadas
L = Sij - Sij_zero;

%% AJUSTAMENTO PELO MMQ (MÉTODO PARAMÉTRICO)
j=1;
L = [ Sij(j) - Sij_zero(j)
      Sij(j+1) - Sij_zero(j+1)];
% matriz A (matriz dos coeficientes)
A = [(Xo(j) - xA)/(Sij_zero(j+(j-1))) (Yo(j) - yA)/(Sij_zero(j+(j-1)))
      (Xo(j) - xB)/(Sij_zero(j+1+(j-1))) (Yo(j) - yB)/(Sij_zero(j+1+(j-1)))];
% demais matrizes
N = A'*A; % matriz dos coef. eq. normais
n = A'*L; % vetor dos termos independentes
X = inv(N)*n; % vetor das correções (dx, dy)
dx = X(1);
dy = X(2);
V = A*X-L; % resíduos
e = 3; % número de equações
u = 2; % número de incógnitas
So2 = ( V'*V )/(e-u);
Sx = sqrt( So2 * inv(N(1,1)) ); %desvio padrão X
Sy = sqrt( So2 * inv(N(2,2)) ); %desvio padrão Y
X = Xo(j) + dx; % coordenada x do ponto Q
Y = Yo(j) + dy; % coordenada y do ponto Q

```

APÊNDICE C - COORDENADAS DOS PONTOS OBJETO DA FACHADA, DETERMINADAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE INTERSEÇÃO A VANTE 3D

Tabela C.1 - Coordenadas dos pontos objeto da fachada por interseção a vante 3D (continua)

PT	POR FACH1- FACH2			POR FACH1-FACH3			POR FACH2- FACH3		
	x	y	H	x	y	H	x	y	H
G1	149800,8487	249654,8034	36,4529						
G2	149800,8513	249654,8126	34,0083						
G3	149800,8617	249654,8099	32,2275						
G4	149800,8576	249654,8125	29,6898						
G5	149800,8495	249654,8201	27,8969						
G6	149800,8589	249654,8154	25,4068						
G7	149800,8579	249654,8238	23,6127						
G8	149800,8501	249654,8240	21,0997						
G9	149800,8561	249654,8301	19,3114						
G10	149800,8667	249654,8344	16,7957						
G11	149800,8754	249654,8334	15,0074						
G12	149800,8632	249654,8352	12,4580						
F1	149801,0131	249656,2439	36,4629						
F2				149801,0208	249656,2443	34,0053			
F3	149801,0052	249656,2577	32,2247	149801,0193	249656,2490	32,2139	149801,0281	249656,2526	32,2328
F4	149801,0024	249656,2617	29,6866	149801,0173	249656,2520	29,6740	149801,0268	249656,2559	29,6942
F5	149801,0005	249656,2634	27,8942	149801,0173	249656,2518	27,8820	149801,0276	249656,2559	27,9024
F6	149801,0091	249656,2592	25,4076	149801,0191	249656,2532	25,3901	149801,0263	249656,2564	25,4089
F7	149801,0004	249656,2691	23,6137	149801,0180	249656,2564	23,5999	149801,0283	249656,2603	23,6181
F8	149801,0199	249656,2600	21,1091	149801,0235	249656,2588	21,0879	149801,0276	249656,2608	21,1052
F9	149801,0190	249656,2664	19,3176	149801,0272	249656,2610	19,2962	149801,0333	249656,2635	19,3149
F10	149801,0055	249656,2820	16,7958	149801,0240	249656,2673	16,7774	149801,0343	249656,2708	16,7944
F11	149801,0142	249656,2800	15,0067	149801,0273	249656,2695	14,9857	149801,0350	249656,2721	15,0022
F12	149801,0162	249656,2783	12,4570	149801,0270	249656,2693	12,4355	149801,0332	249656,2712	12,4506
E1	149801,1812	249657,6881	36,4657						
E2	149801,1697	249657,6892	34,0214	149801,1694	249657,6880	34,0167	149801,1714	249657,6905	34,0283
E3	149801,1537	249657,7020	32,2202	149801,1644	249657,6925	32,2183	149801,1718	249657,6973	32,2370
E4	149801,1555	249657,7013	29,6886	149801,1625	249657,6950	29,6823	149801,1683	249657,6991	29,7000
E5	149801,1600	249657,7026	27,8964	149801,1669	249657,6961	27,8882	149801,1730	249657,7006	27,9081
E6	149801,1691	249657,6987	25,4112	149801,1667	249657,7000	25,3983	149801,1684	249657,7025	25,4144
E7	149801,1607	249657,7071	23,6160	149801,1681	249657,7007	23,6061	149801,1741	249657,7045	23,6245
E8	149801,1627	249657,7065	21,1044	149801,1687	249657,7012	21,0938	149801,1738	249657,7045	21,1112
E9	149801,1626	249657,7108	19,3157	149801,1719	249657,7027	19,3061	149801,1783	249657,7062	19,3239
E10	149801,1691	249657,7154	16,7985	149801,1751	249657,7102	16,7851	149801,1800	249657,7128	16,8033
E11	149801,1699	249657,7191	15,0058	149801,1835	249657,7079	14,9942	149801,1911	249657,7112	15,0105
E12	149801,1695	249657,7193	12,4559	149801,1783	249657,7119	12,4426	149801,1835	249657,7140	12,4588
D1	149801,3393	249659,1324	36,4654						
D2	149801,3211	249659,1322	34,0241	149801,3196	249659,1319	34,0142	149801,3218	249659,1355	34,0301
D3	149801,3125	249659,1405	32,2248	149801,3191	249659,1344	32,2200	149801,3246	249659,1390	32,2373
D4	149801,3045	249659,1437	29,6844	149801,3146	249659,1351	29,6803	149801,3217	249659,1403	29,6990
D5	149801,3069	249659,1436	27,8945	149801,3160	249659,1359	27,8879	149801,3228	249659,1408	27,9067
D6	149801,3089	249659,1453	25,4054	149801,3168	249659,1386	25,3979	149801,3228	249659,1430	25,4155
D7	149801,3154	249659,1449	23,6170	149801,3202	249659,1405	23,6068	149801,3248	249659,1443	23,6244
D8	149801,3126	249659,1469	21,1037	149801,3201	249659,1407	21,0950	149801,3255	249659,1443	21,1113
D9	149801,3208	249659,1473	19,3193	149801,3237	249659,1450	19,3070	149801,3268	249659,1473	19,3212
D10	149801,3089	249659,1579	16,7956	149801,3230	249659,1468	16,7857	149801,3309	249659,1509	16,8027
D11	149801,3199	249659,1596	15,0069	149801,3300	249659,1516	14,9951	149801,3360	249659,1547	15,0114
D12	149801,3203	249659,1630	12,4558						
C1	149801,5018	249660,5735	36,4603						
C2	149801,4925	249660,5723	34,0266	149801,4895	249660,5731	34,0146	149801,4911	249660,5766	34,0299
C3	149801,4875	249660,5755	32,2304	149801,4806	249660,5376	32,3629	149801,4791	249660,5521	32,3720
C4	149801,4859	249660,5785	29,6924	149801,4872	249660,5763	29,6835	149801,4905	249660,5803	29,6995
C5	149801,4784	249660,5838	27,8973	149801,4855	249660,5776	27,8908	149801,4912	249660,5827	27,9088
C6	149801,4828	249660,5826	25,4078	149801,4874	249660,5784	25,3983	149801,4919	249660,5828	25,4160
C7	149801,4809	249660,5863	23,6140	149801,4895	249660,5794	23,6061	149801,4956	249660,5841	23,6238
C8	149801,4792	249660,5894	21,1032	149801,4888	249660,5820	21,0934	149801,4951	249660,5865	21,1112

PT	POR FACH1- FACH2			POR FACH1-FACH3			POR FACH2- FACH3		
	x	y	H	x	y	H	x	y	H
C9							149801,4953	249660,5868	19,3199
C10							149801,4960	249660,5925	16,7994
C11							149801,4947	249660,5947	15,0099
C12									
B1	149801,6608	249662,0130	36,4599						
B2	149801,6366	249662,0139	34,0211	149801,6345	249662,0133	34,0111	149801,6365	249662,0176	34,0272
B3	149801,6343	249662,0149	32,2316	149801,6331	249662,0141	32,2212	149801,6354	249662,0183	32,2374
B4	149801,6352	249662,0199	29,6955	149801,6344	249662,0191	29,6855	149801,6366	249662,0230	29,7009
B5	149801,6305	249662,0216	27,9025	149801,6315	249662,0195	27,8939	149801,6344	249662,0236	27,9093
B6	149801,6280	249662,0238	25,4080	149801,6334	249662,0192	25,3998	149801,6380	249662,0239	25,4163
B7	149801,6301	249662,0265	23,6160	149801,6365	249662,0212	23,6077	149801,6415	249662,0260	23,6249
B8	149801,6279	249662,0297	21,1040	149801,6381	249662,0223	21,0957	149801,6444	249662,0272	21,1128
B9							149801,6406	249662,0299	19,3234
B10									
B11									
A1	149801,8226	249663,4533	36,4600						
A2	149801,7645	249663,4625	34,0164	149801,7839	249663,4584	33,9849	149801,7946	249663,4634	34,0048
A3	149801,7654	249663,4599	32,2314	149801,7750	249663,4612	32,1920	149801,7819	249663,4645	32,2102
A4	149801,7792	249663,4596	29,6985	149801,7832	249663,4639	29,6537	149801,7879	249663,4663	29,6713
A5	149801,7689	249663,4657	27,9029	149801,7832	249663,4634	27,8640	149801,7920	249663,4679	27,8833
A6	149801,7750	249663,4647	25,4117	149801,7882	249663,4627	25,3711	149801,7963	249663,4665	25,3883
A7	149801,7738	249663,4676	23,6200	149801,7889	249663,4638	23,5802	149801,7977	249663,4681	23,5977
A8							149801,8029	249663,4716	21,0861

(conclusão)

Como exemplo para o cálculo de 1 ponto (G1), segue o algoritmo em *Matlab*:

```

%% DADOS DE ENTRADA
% ALTURAS DOS INSTRUMENTOS
AI_FACH1 = 1.504;
AI_FACH2 = 1.512;
% COORDENADAS CONHECIDAS
D = [149759.1029 % RN-D
     249634.9454];
A = [149771.8444 % FACH-1
     249681.2462
     8.9411+AI_FACH1];
FACH1 = A;
B = [149766.6586 % FACH-2
     249673.2713
     9.1331+AI_FACH2];

%% AZIMUTES CALCULADOS
azAD = azimuth(A,D);
azBD = azimuth(B,D);
%% distI, Z e angH: MEDIDOS
angH_FACH1_P = 296.967014;
angH_FACH2_P = 287.222083;
zA = 56.487639;
zB = 56.392500;

%% INTERSEÇÃO A VANTE ANALÍTICA 3D
% DELTAS
delta_X = B(1)-A(1);
delta_Y = B(2)-A(2);
delta_H = B(3)-A(3);

% AZIMUTES DOS PONTOS CONHECIDOS PARA P
azAP = azAD + angH_FACH1_P - 360;
azBP = azBD + angH_FACH2_P - 360;

% PARÂMETROS k, m e n
kA = sind(zA)*sind(azAP);
kB = sind(zB)*sind(azBP);
mA = sind(zA)*cosd(azAP);
mB = sind(zB)*cosd(azBP);
nA = cosd(zA);
nB = cosd(zB);

%% AJUSTAMENTO
A = [kA -kB
     mA -mB
     nA -nB];
L = [delta_X
     delta_Y
     delta_H];
x = (inv(A'*A))*(A'*L);
V = A*x-L;

%% COORDENADAS FINAIS
xA = FACH1(1)+(kA * x((1)));
yA = FACH1(2)+(mA * x((1)));
H_A = FACH1(3)+(nA * x((1)));
xB = B(1)+(kB * x((2)));
yB = B(2)+(mB * x((2)));
H_B = B(3)+(nB * x((2)));

x_MEDIO = (xA+xB)/2
y_MEDIO = (yA+yB)/2
H_MEDIO = (H_A+H_B)/2

```

APÊNDICE D - MONOGRAFIA DOS VÉRTICES

Apêndice D.1 – Marcos provenientes dos rastreios GNSS (área de estudo 2)

Estação: RMM340	
Município: Recife-PE.	
Data do rastreio: 17/10/2017	
Localização: Localizada em frente edifício residencial Matheus Maia de número 340 na rua Marechal Deodoro. Bairro de Torreão.	
DADOS PLANIMÉTRICOS SIRGAS2000	
Latitude: 8°02'15,85412"S	UTM (N): 9111052,156m
Longitude: 34°53'06,858"W	UTM (E): 292231,147m
Foto:	
	

Estação: CA268	
Município: Recife-PE.	
Data do rastreio: 17/10/2017	
Localização: Localizada em frente a casa amarela de número 268 na rua 24 de junho. Bairro de Torreão.	
DADOS PLANIMÉTRICOS SIRGAS2000	
Latitude: 8°02'14,48468"S	UTM (N): 9111093,599m
Longitude: 34°53'11,34847"W	UTM (E): 292093,436m
Foto:	
SEM FOTO	

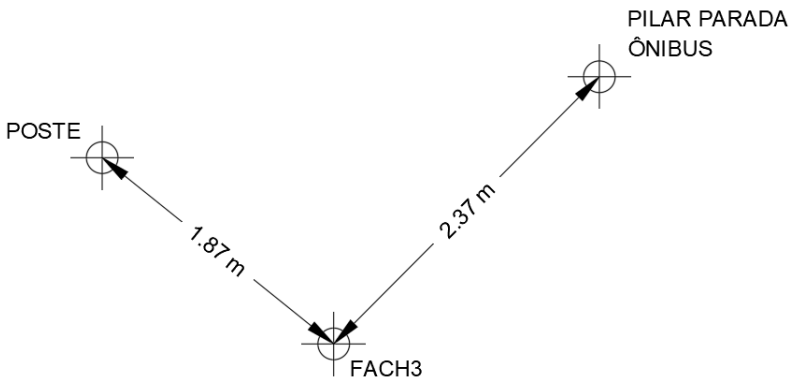

Estação: CV346	
Município: Recife-PE.	
Data do rastreio: 17/10/2017	
Localização: Localizada em frente a casa verde de número 346 na rua 24 de junho. Bairro de Torreão.	
DADOS PLANIMÉTRICOS SIRGAS2000	
Latitude: 8°02'16,38841"	UTM (N): 9111035,315m
Longitude: 34°53'09,87051"W	UTM (E): 292138,967m
Foto: SEM FOTO	

Estação: EMC411	
Município: Recife-PE.	
Data do rastreio: 17/10/2017	
Localização: Localizada em frente edifício Maria do Carmo de número 411 na rua Marechal Deodoro. Bairro de Torreão.	
DADOS PLANIMÉTRICOS SIRGAS2000	
Latitude: 8°02'13,98306"S	UTM (N): 9111109,861m
Longitude: 34°53'05,32096"W	UTM (E): 292277,953m
Foto: SEM FOTO	

Apêndice D.2 – Marcos provenientes da interseção a ré (área de estudo 1)

Estação: FACH1		
Município: Recife-PE.		
Localização: Localizada no gramado entre a ciclovia do CTG e a Avenida da Arquitetura, no Campus UFPE da Cidade Universitária.		
DADOS PLANIALTIMÉTRICOS (SGL)		
$X = 149771,8444 \text{ m}$	$Y = 249681,2462 \text{ m}$	$H = 8,9411 \text{ m}$
Amarração e Fotos:		


Estação: FACH2		
Município: Recife-PE.		
Localização: Localizada na ciclovia em frente ao CTG, no Campus UFPE da Cidade Universitária.		
DADOS PLANIALTIMÉTRICOS (SGL)		
$X = 149766,6586 \text{ m}$	$Y = 249673,2713 \text{ m}$	$H = 9,1331 \text{ m}$
Amarração e Fotos:		

Estação: FACH3		
Município: Recife-PE.		
Localização: Localizada na parada de ônibus do prédio CTG no Campus UFPE da Cidade Universitária.		
DADOS PLANIALTIMÉTRICOS (SGL)		
X = 149768,4308 m	Y = 249645,9599 m	H = 8,8885 m
Amarração e Foto:		
 <p>Diagrama de amarração mostrando o ponto FACH3 conectado por linhas com setas aos pontos POSTE (1,87 m) e PILAR PARADA ÔNIBUS (2,37 m).</p>		 <p>Foto de uma parada de ônibus com piso de pedras coloridas e uma pessoa usando um tênis azul.</p>

Apêndice D.3 – Marcos provenientes da poligonal fechada (área de estudo 1)

Estação: P1	
Município: Recife-PE.	
Localização: Localizada na calçada em frente ao prédio do museu de oceanografia, próximo ao CTG.	
DADOS PLANIMÉTRICOS (SGL)	
X = 149779,7849 m	$\sigma_x = 0,0039$ m
Y = 249809,8157 m	$\sigma_y = 0,0145$ m
Amarração e Foto:	

Estação: RN-A	
Município: Recife-PE.	
Localização: Localizada na pista de passeio entre o CTG e o LITPEG.	
DADOS PLANIMÉTRICOS (SGL)	
X = 149765,5280 m	$\sigma_x = 0,0046$ m
Y = 249694,6215 m	$\sigma_y = 0,0185$ m
Foto:	

Estação: RN-D
Município: Recife-PE.
Localização: Localizada na pista de passeio entre o CTG e o LITPEG.
DADOS PLANIMÉTRICOS (SGL)
X = 149759,1029 m $\sigma_x = 0,0055$ m
Y = 249634,9454 m $\sigma_y = 0,0196$ m
Foto:





Estação: P2
Município: Recife-PE.
Localização: Localizada no prédio ao lado direito do LITPEG (ponto de visada: CTG), na beira da calçada.
DADOS PLANIMÉTRICOS (SGL)
X = 149806,1235 m $\sigma_x = 0,0133$ m
Y = 249598,2290 m $\sigma_y = 0,0193$ m
Fotos:


Estação: P3
Município: Recife-PE.
Localização: Localizada no estacionamento ao lado direito do LITPEG (ponto de visada: CTG).
DADOS PLANIMÉTRICOS (SGL)
X = 149855,1009 m $\sigma_x = 0,0159$ m
Y = 249609,8239 m $\sigma_y = 0,0193$ m
Foto: SEM FOTO

Estação: P4
Município: Recife-PE.
Localização: Localizada por trás do LITPEG (ponto de visada: CTG).
DADOS PLANIMÉTRICOS (SGL)
X = 149912,2997 m $\sigma_x = 0,0142$ m
Y = 249633,1323 m $\sigma_y = 0,0191$ m
Amarração:

Estação: P5
Município: Recife-PE.
Localização: Localizada do lado esquerdo do LITPEG (ponto de visada: CTG), na calçada que possui uma pequena vila.
DADOS PLANIMÉTRICOS (SGL)
X = 149908,0896 m $\sigma_x = 0,0137$ m
Y = 249704,4764 m $\sigma_y = 0,0159$ m
Foto: SEM FOTO

Estação: P6
Município: Recife-PE.
Localização: Localizada na rua, de esquina da Avenida da Arquitetura e Rua ao lado esquerdo do LITPEG (ponto de visada: CTG).
DADOS PLANIMÉTRICOS (SGL)
X = 149790,5827 m $\sigma_x = 0,0041$ m
Y = 249745,9467 m $\sigma_y = 0,0151$ m
Foto: SEM FOTO

MONOGRAFIA DE MARCO GEODÉSICO DA REDE DE REFERÊNCIA CADASTRAL DA UFPE	
Nome da Estação: EPS04	Obra / Ano: TCC - VILA FLOR / 2010
DADOS GERAIS	COORDENADAS
Município: Recife Localidade: Várzea a - Campus Recife da UFPE TCC (VILA FLOR, 2010)	* LAT. = 8°03' 05.84148"S * LONG. = -34°57' 11.02466"W * N = 9100481,118 m * E = 284742,576 m * H (GEOM) = 4,992 m
SISTEMA DE PROJEÇÃO-UTM	
Meridiano Central = 33° W Origem N (Equador) = 10000000 m Origem E (MC 33° W) = 500000 m K0 = 0,9996 DATUM: H SIRGAS2000 DATUM V: Imbituba/SC	
SISTEMA TOPOCÊNTRICO LOCAL	
* Origem: RECF Latitude: 8° 03'03,46970"S Longitude: -34° 57'05,46910"W Altitude: -4,217 m	Coordenadas Topocêntricas: * X: 149811,215 m * Y: 249927,136 m
CROQUI	ITINERÁRIO
 Fonte: VILA FLOR (2010)	Estação EPS04 está localizada no canteiro central, a 42 m a leste do prédio do Centro de Artes e Comunicação - CAC, no Campus da Universidade Federal de Pernambuco.
	FOTO
	 
	Data da foto: Maio de 2017
Monografia elaborada em (Souza, 2017) - PIBIC - Propeq / UFPE	

Fonte: <https://www.ufpe.br/latop/marcos-geodesicos>

APÊNDICE E - MODELO EM *MATLAB* DE AJUSTAMENTO DE INTERSEÇÃO A RÉ NO CAMPUS UFPE

```

RND = [149759.1029
       249634.9454];
RNA = [149765.5280
       249694.6215];
FACH1 = [149771.844360561
         249681.246228303];

% ÂNGULO HORIZONTAL                                % DISTÂNCIAS INCLINADAS
FACH1_RND = 0;                                     dI = [48.02175
FACH1_RNA = [139.3350694444444];                  14.79175];
alpha = FACH1_RNA;

Z = [89.93659722222222 % ÂNGULOS ZENITAIS
     89.75444444444444];

Lb = [sind(Z(1)) * dI(1)
      sind(Z(2)) * dI(2)
      FACH1_RNA      ]

[distFACH1RND] = distancia(FACH1,RND); % DIST
[distFACH1RNA] = distancia(FACH1,RNA);
[AzFACH1RND] = azimuth(FACH1,RND); % AZ.
[AzFACH1RNA] = azimuth(FACH1,RNA);
alpha0 = AzFACH1RNA - AzFACH1RND; % ÂNGULO ALPHA

Lo = [distFACH1RND      L = Lo - Lb;                ro = 206264,8063;
      distFACH1RNA      L(3)=L(3)*3600;            P = eye(3);
      alpha0      ]

% DERIVADAS
DER_do1_xFACH1 = -( RND(1)-FACH1(1) )/Lo(1);
DER_do1_yFACH1 = -( RND(2)-FACH1(2) )/Lo(1);
DER_do2_xFACH1 = -( RNA(1)-FACH1(1) )/Lo(2);
DER_do2_yFACH1 = -( RNA(2)-FACH1(2) )/Lo(2);
[A(3,1),A(3,2),djx,djy,dkx,dky]=DANG(FACH1(1),FACH1(2),RND(1),RND(2),RNA(1),RNA(2))

% MATRIZ DAS DERIVADAS (A)
A(1,1) = DER_do1_xFACH1;
A(1,2) = DER_do1_yFACH1;
A(2,1) = DER_do2_xFACH1;
A(2,2) = DER_do2_yFACH1;
A(3,1) = A(3,1)*ro;
A(3,2) = A(3,2)*ro;

X = -inv(A'*P*A)*A'*P*L
Xa(1) = FACH1(1) + X(1);
Xa(2) = FACH1(2) + X(2);
V = A*X+L
X2 = V'*P*V
delta = sqrt(V'*P*V)
MVC = inv(A'*P*A)*(V'*P*V)
sigmaX_FACH1 = sqrt(MVC(1,1))
sigmaY_FACH1 = sqrt(MVC(2,2))

```

APÊNDICE F - MODELO EM *MATLAB* DE AJUSTAMENTO DE INTERSEÇÃO A RÉ NO BAIRRO DE TORREÃO-RECIFE

```

% COORDENADAS
S = [150000
     250000];
LU = [150137.500
     249957.929];
M = [150184.564
     250015.410];
PT1 = [150105.006    % ESTIMADA
       249915.428];

% ÂNGULOS HORIZONTAIS
PT1_S = 0;
alpha1 = 88.55006944444444;
alpha2 = 89.66166666666666;

Z = [ 93.96916666666667    % ZENITES
     100.78694444444444
       94.724375    ];

dI = [135.1785    % DIST. INCLINADAS
     54.39975
     128.1595];

% DISTÂNCIAS HORIZONTAIS MÉDIAS
d = [ sind(Z(1))* dI(1)
     sind(Z(2))* dI(2)
     sind(Z(3))* dI(3) ];

% VETOR DAS OBSERVAÇÕES
Lb = [d(1)    % d1
     d(2)    % d2
     d(3)    % d3
     alpha1    % alpha1
     alpha2]; % alpha2

% DIST., AZIMUTES E ÂNGULO
[distPT1S] = distancia(PT1,S);
[distPT1LU] = distancia(PT1,LU);
[distPT1M] = distancia(PT1,M);
[AzPT1S] = azimute(PT1,S);
[AzPT1LU] = azimute(PT1,LU);
[AzPT1M] = azimute(PT1,M);
alpha10 = AzPT1LU - AzPT1S + 360;
alpha20 = AzPT1M - AzPT1S + 360;

Lo = [distPT1S    % do1
     distPT1LU    % do2
     distPT1M    % do3
     alpha10    % alpha10
     alpha20 ] % alpha20

% DIF. (OBSERVADOSxCALCULADOS)
L = Lo - Lb;
L(4)=L(4)*3600;
L(5)=L(5)*3600;

ro = 206264,8063;

P = eye(5); % MATRIZ DOS PESOS

% DERIVADAS DAS DISTÂNCIAS
DER_do1_xPT1 = -( S(1)-PT1(1)
)/Lo(1);
DER_do1_yPT1 = -( S(2)-PT1(2)
)/Lo(1);
DER_do2_xPT1 = -( LU(1)-
PT1(1))/Lo(2);
DER_do2_yPT1 = -( LU(2)-
PT1(2))/Lo(2);
DER_do3_xPT1 = -( M(1)-PT1(1)
)/Lo(3);
DER_do3_yPT1 = -( M(2)-PT1(2)
)/Lo(3);

% DERIVADA DOS ÂNGULOS
[A(4,1),A(4,2),djx,djy,dkx,dky]=DANG(
PT1(1),PT1(2),S(1),S(2),LU(1),LU(2));
[A(5,1),A(5,2),djx,djy,dkx,dky]=DANG(
PT1(1),PT1(2),S(1),S(2),M(1),M(2));

% MATRIZ DAS DERIVADAS (A)
A(1,1) = DER_do1_xPT1;
A(1,2) = DER_do1_yPT1;
A(2,1) = DER_do2_xPT1;
A(2,2) = DER_do2_yPT1;
A(3,1) = DER_do3_xPT1;
A(3,2) = DER_do3_yPT1;
A(4,1) = A(4,1)*ro;
A(4,2) = A(4,2)*ro;
A(5,1) = A(5,1)*ro;
A(5,2) = A(5,2)*ro;

X = -inv(A'*P*A)*A'*P*L
Xa(1) = PT1(1) + X(1);
Xa(2) = PT1(2) + X(2);
V = A*X+L
X2 = V'*P*V
delta2 = V'*P*V/3
delta = sqrt(delta2)
MVC = inv(A'*P*A)*delta2 sigmaX_PT1 =
sqrt(MVC(1,1))
sigmaY_PT1 = sqrt(MVC(2,2))

```

ANEXO A - RELATÓRIO DE AJUSTAMENTO DO RASTEIO GNSS DO SOFTWARE TOPCON TOOLS NA ÁREA DE ESTUDO 1 (BAIRRO TORREÃO-RECIFE)



Project Summary

Project name: CAMPO_GRANDE.ttp

Surveyor:

Comment:

Linear unit: **Meters**

Projection:

Geoid:

Points

Name	Latitude	Longitude	Ell.Height (m)	Code
C268_seixas	8°02'14,48468"S	34°53'11,34847"W	-0,982	
C346_catarina	8°02'16,38841"S	34°53'09,87051"W	-1,321	
ERG404_marcio	8°02'13,98306"S	34°53'05,32096"W	-2,123	
RECF	8°03'03,46972"S	34°57'05,45911"W	20,180	
RMM340_luiz	8°02'15,85412"S	34°53'06,85800"W	-1,818	

...	Name	Latitude	Longitude	Ell.Height (m)	Control	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev u (m)	Std Dev Hz (m)
+	RMM340_luiz	8°02'15,85412"S	34°53'06,85800"W	-1,818	None	0,006	0,007	0,011	0,009
+	ERG404_marcio	8°02'13,98306"S	34°53'05,32096"W	-2,123	None	0,005	0,005	0,010	0,007
+	C346_catarina	8°02'16,38841"S	34°53'09,87051"W	-1,321	None	0,004	0,005	0,009	0,007
+	C268_seixas	8°02'14,48468"S	34°53'11,34847"W	-0,982	None	0,004	0,005	0,009	0,007
Δ	RECF	8°03'03,46972"S	34°57'05,45911"W	20,180	Both	0,000	0,000	0,000	0,000

**ANEXO B - RELATÓRIO DE AJUSTAMENTO DA POLIGONAL FECHADA PELO
ASTGEOTOP: MÓDULO "LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO - PLANIMETRIA
(VERSÃO 2012.11.11)" NO CAMPUS UFPE**

AstGeoTop - Lev.Planimétrico@Versão 2012.11.11

AJUSTAMENTO PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

MODELO PARAMÉTRICO (Variação de Coordenadas)

DADOS CLASSIFICATÓRIOS DA POLIGONAL NBR 13.133(94)

Classe de Poligonal :IIP (NBR13133)

Goniômetro - Classe 3: precisão alta

Precisão Angular : 02 "

MED - Classe 1: precisão baixa

Precisão Linear : (10mm + 10ppm x D)

VECTOR DOS RESÍDUOS DO AJUSTAMENTO (V=AX-L)

Est.	P.Vis.	Ângulo	Distância
EPS04	P1	1,5186"	-0,0017
P1	RN-A	1,6397"	-0,0020
RN-A	RN-D	3,3861"	-0,0020
RN-D	P2	6,0100"	-0,0024
P2	P3	10,1690"	-0,0008
P3	P4	10,2728"	-0,0005
P4	P5	4,4445"	0,0022
P5	P6	2,0963"	0,0020
P6	EPS04	1,3630"	0,0020

PARÂMETROS AJUSTADOS Xa, Desvios-padrão e Erro Posicional(1*sigma)

Est.	X(m)	SigmaX(m)	Y(m)	SigmaY(m)	P.Posição(m)
EPS04	149811,2152	0,0000	249927,1358	0,0000	0,0000
P1	149779,7849	0,0039	249809,8157	0,0145	0,0150
RN-A	149765,5280	0,0046	249694,6215	0,0185	0,0191
RN-D	149759,1029	0,0055	249634,9454	0,0196	0,0204
P2	149806,1235	0,0133	249598,2290	0,0193	0,0235
P3	149855,1009	0,0159	249609,8239	0,0193	0,0250
P4	149912,2997	0,0142	249633,1323	0,0191	0,0238
P5	149908,0896	0,0137	249704,4764	0,0159	0,0210
P6	149790,5827	0,0041	249745,9467	0,0151	0,0156

OBSERVACOES AJUSTADAS La e Desvios-padrão (1*sigma)

Est.	P.Vis.	Ângulo	Sigma Âng."	Distância (m)	Sig. Dist. (m)
EPS04	P1	8°30'03,7"	4,2835	121,457	0,0150
P1	RN-A	172°03'28,1"	4,6156	116,073	0,0150
RN-A	RN-D	179°05'23,5"	6,6622	60,021	0,0150
RN-D	P2	121°50'22,7"	8,6334	59,658	0,0142
P2	P3	128°41'46,5"	10,4305	50,331	0,0142
P3	P4	171°08'53,5"	10,3790	61,766	0,0143
P4	P5	108°47'37,0"	7,3234	71,468	0,0149
P5	P6	112°48'57,7"	5,1360	124,610	0,0141
P6	EPS04	257°03'27,3"	4,2769	182,360	0,0151

CONTROLE DE QUALIDADE DO AJUSTAMENTO

Variância da Unidade Peso Estimada a Posteriori = 2,699

***** Teste de Hipótese Qui-quadrado *****

Estatística do teste vTPV = 8,096

Percentil inferior da distribuição Qui-quadrado = 0,22

Percentil superior da distribuição Qui-quadrado = 9,35

Conclusão

Ao nível de significancia de 5%:

NÃO É REJEITADA a hipótese de que as observações ponderadas sejam provenientes de uma distribuição normal

PLANILHA COM ELEMENTOS DA POLIGONAL AJUSTADOS POR MMQ

Est.	P.Vis.	Ângulo	Distância	Azimute	Coord. Totais	
					X	Y
EPS04	P1	8°30'03,7"	121,457	194°59'50,9"	149811,2152	249927,1358
P1	RN-A	172°03'28,1"	116,073	187°03'19,0"	149779,7849	249809,8157
RN-A	RN-D	179°05'23,5"	60,021	186°08'42,5"	149765,5280	249694,6215
RN-D	P2	121°50'22,7"	59,658	127°59'05,2"	149759,1029	249634,9454
P2	P3	128°41'46,5"	50,331	76°40'51,7"	149806,1235	249598,2290
P3	P4	171°08'53,5"	61,766	67°49'45,1"	149855,1009	249609,8239
P4	P5	108°47'37,0"	71,468	356°37'22,2"	149912,2997	249633,1323
P5	P6	112°48'57,7"	124,610	289°26'19,9"	149908,0896	249704,4764
P6	EPS04	257°03'27,3"	182,360	6°29'47,2"	149790,5827	249745,9467

Perímetro = 847,744 m

Área = 18941,469 m²

Área = 1,8941469 ha

Área = 0,7827053 Alq.SP

COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS

Ponto	Coord. Totais	
	X	Y
EPS07	149718,403	249854,312
RNEPS07	149718,507	249854,021

PLANILHA COM ELEMENTOS DA POLIGONAL AJUSTADOS PELO MÉTODO TRADICIONAL

Est.	P.Vis.	Ângulo	Distância	Azimute	Coord. Totais	
					X	Y
EPS04	P1	8°30'05,6"	121,457	194°59'50,9"	149811,2152	249927,1358
P1	RN-A	172°03'29,0"	116,073	187°03'19,9"	149779,7849	249809,8156
RN-A	RN-D	179°05'24,2"	60,022	186°08'44,1"	149765,5275	249694,6212
RN-D	P2	121°50'20,0"	59,660	127°59'04,1"	149759,1018	249634,9440
P2	P3	128°41'43,0"	50,332	76°40'47,2"	149806,1241	249598,2267
P3	P4	171°08'51,2"	61,766	67°49'38,4"	149855,1023	249609,8229
P4	P5	108°47'40,0"	71,467	356°37'18,4"	149912,3011	249633,1335
P5	P6	112°49'01,4"	124,608	289°26'19,8"	149908,0897	249704,4763
P6	EPS04	257°03'25,5"	182,361	6°29'45,3"	149790,5843	249745,9460

Perímetro = 847,746 m

Área = 18941,948 m²

PLANILHA DE DISCREPÂNCIAS DOS AJUSTAMENTOS (MMQ - MÉTODO TRADICIONAL)

Est.	P.Vis.	Ângulo	Distância	Azimute	Coord. Totais	
					X	Y
EPS04	P1	-0°00'01,8"	0,000	0°00'00,0"	0,0000	0,0000
P1	RN-A	-0°00'00,9"	0,000	-0°00'00,9"	0,0000	0,0001
RN-A	RN-D	-0°00'00,7"	-0,001	-0°00'01,6"	0,0005	0,0003
RN-D	P2	0°00'02,6"	-0,002	0°00'01,1"	0,0011	0,0014
P2	P3	0°00'03,4"	-0,001	0°00'04,5"	-0,0006	0,0023
P3	P4	0°00'02,3"	-0,001	0°00'06,8"	-0,0014	0,0010
P4	P5	-0°00'03,0"	0,001	0°00'03,8"	-0,0014	-0,0012
P5	P6	-0°00'03,7"	0,002	0°00'00,1"	-0,0001	0,0001
P6	EPS04	0°00'01,8"	-0,001	0°00'01,9"	-0,0016	0,0007

Perímetro = -0,002 m

Área = -0,478 m²