CÉSAR FRANCISCO DE PAULA

**Comparação de diferentes densidades de pontos em perfilamentos
LiDAR aerotransportado para ambiente urbano regular**

São Paulo
2017

CÉSAR FRANCISCO DE PAULA

**Comparação de diferentes densidades de pontos em perfilamentos
LiDAR aerotransportado para ambiente urbano regular**

Dissertação apresentada junto à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências

São Paulo
2017

CÉSAR FRANCISCO DE PAULA

**Comparação de diferentes densidades de pontos em perfilamentos
LiDAR aerotransportado para ambiente urbano regular**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada junto à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências

Área de Concentração: Engenharia de Transportes

Orientador: Professor Livre-Docente Jorge Pimentel Cintra

São Paulo

2017

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Paula, César Francisco de

Comparação de diferentes densidades de pontos em perfilamentos LiDAR aerotransportado para ambiente urbano regular / C. F. Paula -- versão corr. -- São Paulo, 2017.
265 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Topografia 2.Geoprocessamento 3.Laser 4.LiDAR aerotransportado
5.Nuvem de pontos I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Transportes II.t.

Dedico este trabalho as duas pessoas mais importantes de minha vida aos quais sem eles não estaria aqui: minha Mãe Marina e meu Pai José (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida, a minha mãe Marina, irmãs Sirlene, Sirlei e Célia, cunhado Oziel e afilhada Mariana que sempre me incentivaram e estimularam principalmente nas horas mais difíceis e também, minha namorada Josy que esteve sempre presente. Agradecimento aos meus amigos Juliana Takahashi, Camila Santos, Lidia Enami, Luiz Fernando, Rodrigo Pissardini, André Luis, Silvio Ribeiro, Wagner Guidi e a todos familiares, colegas e professores da pós graduação em Engenharia de Transportes que viveram comigo toda essa jornada.

Ao meu orientador Doutor Jorge Pimentel Cintra pelas valiosas orientações, conversas e por acreditar em mim.

Agradecimento em especial ao Professor Jorge Luiz Alves Trabanco da Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura da Universidade de Campinas e também ao Engenheiro Jefferson Rocco da Prefeitura Municipal de Campinas, pela concessão dos dados LiDAR utilizados nessa pesquisa.

À empresa Fototerra Atividades de Aerolevantamentos Ltda pela compreensão e incentivo à conclusão desse trabalho e também a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a concretização desse sonho.

“A um homem nada se pode ensinar. Tudo o que podemos fazer é ajudá-lo a encontrar as coisas dentro de si mesmo. ”

(Galileu Galilei)

RESUMO

A utilização do sistema LiDAR na obtenção de dados da superfície da Terra vem se disseminando cada vez mais pelo alto desempenho na aquisição da informação e pela efetiva utilização dos produtos e subprodutos. Diversos segmentos passaram a adotar os produtos LiDAR como insumo básico e fundamental em suas rotinas de trabalho e estudos. O sucesso em um projeto que envolve aquisição e utilização desse tipo de dado está atrelado diretamente à definição e seu planejamento. O usuário deve ser capaz de definir o escopo básico e as diretrizes técnicas fundamentais que irão garantir que a demanda final seja alcançada. Diante disto se faz necessário elaborar um planejamento estabelecendo a melhor configuração para a aquisição dos dados e também os tipos de informações que serão extraídas destes produtos. Referente ao primeiro aspecto pode-se dizer que este é a base para a todo o projeto. Por meio dele é garantido a obtenção de produtos conforme a necessidade do usuário (resoluções espaciais dos produtos, o nível de detalhamento dos objetos, representação da topografia e outros). Muitos dos usuários que contratam serviços de perfilamento LiDAR não possuem embasamento técnico suficiente para definir a melhor especificação a ser adotada. Isto faz com que a maioria deles opte por adquirir uma alta densidade de pontos que, muitas vezes é desnecessária e ainda que atendam à demanda final tornam o projeto financeiramente oneroso. Esta pesquisa mostra que para um ambiente urbano regular, nuvens de pontos com baixas densidades (4 pts/m² e 8 pts/m²) apresentam uma equivalência na qualidade geométrica para produtos e subprodutos obtidos que serão utilizados para determinadas aplicações, não havendo a necessidade de utilizar nuvens com uma alta densidade (16 pts/m²) em projetos que utilizam estes dados em estudos altimétricos: geração do Modelo Digital de Terreno, curvas de nível, pontos cotados e também planimétricos: Modelo Digital de Elevação (Superfície e Normalizada) e seus derivados (altura e contorno de objetos, imagem de intensidade, cobertura vegetal e outros).

Palavras-chave: Sistema LiDAR, Densidade de pontos, Padrão de Nuvem de Pontos.

ABSTRACT

The use of the LiDAR system in obtaining data from the Earth's surface has been increasingly disseminated by the high performance in the acquisition of information and the effective use of products and by-products. Several segments started to adopt LiDAR products as basic and fundamental input in their works and studies. Success in a project that involves the acquisition and use of this type of data is directly linked to the definition and its planning. The user must be able to define the basic scope and the fundamental technical guidelines that will guarantee that the final demand is reached. In view of this, it is necessary to prepare a planning establishing the best configuration for the data acquisition and also the types of information that will be extracted from these products. Regarding the first aspect can be said that this is the basis for the whole project. Through it is guaranteed to obtain products according to the user's needs (spatial resolutions of the products, the level of detail of the objects, representation of the topography and others). Many of the users who hire LiDAR profiling services do not have sufficient technical background to define the best specification to adopt. This makes the majority of them choose to acquire a high density of points that is often unnecessary and even if they meet the final demand make the project financially costly. This research shows that for a regular urban environment, low point density clouds (4 pts/m² and 8 pts/m²) present an equivalence in the geometric quality for products and by-products obtained that will be used for certain applications. The need to use clouds with a high density (16 pts/m²) in projects that use this data in altimetric studies: generation of Digital Terrain Model, contourlines, quoted points and also planimetric: Digital Elevation Model (Surface and Normalized) and its derivatives (height and contour of objects, intensity image, vegetation cover and others)

Keywords: LiDAR System, Point Density, Point Cloud Pattern.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de perfilamento laser do tipo <i>profile</i>	30
Figura 2 - Elementos integrantes do sistema LiDAR aerotransportado	31
Figura 3 - Componentes que integram o sistema de varredura laser.....	32
Figura 4 - Conjunto de matrizes de fibras-ópticas utilizadas na emissão e recepção dos pulsos laser	34
Figura 5 - Resoluções <i>along track</i> e <i>across track</i> em uma linha de perfilamento	34
Figura 6 - Tipos de linhas de perfilamento obtidas por diferentes sistemas escanerizadores	36
Figura 7 – Perfilamento LiDAR utilizando um sistema <i>Palmer Scanning</i>	37
Figura 8 - Penetração de pulsos laser em área de cobertura vegetal emitidos por (a) sistemas perfiladores com espelhos e (b) <i>Pushbroom</i>	38
Figura 9 - Unidade de Medida Inercial tipo <i>Gimballed</i>	39
Figura 10 - Esquema ilustrativo da ação do filtro de Kalman na integração entre o sistema inercial e GNSS	48
Figura 11 - Divisão dos ecos emitidos em pulsos intermediários.....	49
Figura 12 - Modelos Digitais de Superfície gerados a partir dos primeiros e últimos retornos	50
Figura 13 - Interação dos pulsos laser em corpos d'água	52
Figura 14 - Diferença entre o pulso laser discreto e contínuo (<i>Full Waveform</i>)	53
Figura 15 - Exemplo de um não ajustamento entre faixas de voo perfiladas vistas em uma área urbana	60
Figura 16 - Ajustamento vertical entre as faixas perfiladas realizadas por meio do <i>software</i> LPMaster.....	62
Figura 17 - Relatório estatístico das discrepâncias encontradas entre os PCV e o modelo tridimensional	64
Figura 18 - Execução do ajustamento planimétrico do modelo tridimensional	65
Figura 19 - Informações referentes a um ponto da nuvem no formato LAS 1.2	67

Figura 20 - Modelo Digital de Superfície obtido pelo interpolador <i>Point to Raster</i> para a região do <i>shopping</i> Dom Pedro.....	71
Figura 21 - Rede de Triângulos Irregulares (TIN) elaborado para uma amostra de pontos LiDAR localizados na região do <i>shopping</i> Dom Pedro.....	72
Figura 22 - Modelo Digital de Superfície obtido pelo interpolador <i>Point - TIN – Raster</i> para a região do <i>shopping</i> Dom Pedro.....	73
Figura 23 - Esquema gráfico que ilustra a definição do valor de uma variável a compor uma célula de um <i>raster</i> , utilizando o interpolador IDW	74
Figura 24 - Modelo Digital de Superfície obtido pela interpolador IDW para a região do <i>shopping</i> Dom Pedro	76
Figura 25 - Modelo Digital de Superfície obtido pelo interpolador <i>Natural Neighbors</i> para a região do <i>shopping</i> Dom Pedro.....	78
Figura 26 - Modelo Digital de Superfície obtido pelo interpolado <i>Spline</i> para a região do <i>shopping</i> Dom Pedro	79
Figura 27 - Edição 3D de um Modelo Digital de Terreno.....	84
Figura 28 -Imagem de Intensidade gerada a partir de diferentes valores de registro da Intensidade	93
Figura 29 - Análise do comportamento da intensidade em diferentes objetos.....	94
Figura 30 -Imagem de Intensidade obtida pelo interpolador IDW para a região do <i>shopping</i> Dom Pedro.....	96
Figura 31 - Definição do Modelo Digital de Superfície Normalizada.....	97
Figura 32 - Comparação entre o Modelo Digital de Superfície e o Modelo Digital de Superfície Normalizada	98
Figura 33 - Localização da área de interesse – UNICAMP (Coordenadas UTM).....	99
Figura 34 - Fluxograma metodológico da pesquisa.....	101
Figura 35 - Abrangência de cobertura realizada para o voo A (polígono amarelo) e delimitação da área de estudo – UNICAMP (polígono vermelho).....	103
Figura 36 - Amostras recortadas das nuvens de pontos com densidades de 16 pts/m ² e 8 pts/m ² para validação da NP sintética.....	105

Figura 37 - Distribuição em conjunto dos pontos nas nuvens original (marrom) e sintética (azul).....	106
Figura 38 - Avaliação da altimetria para os pontos das nuvens original (marrom à esquerda) e sintética (azul à direita)	107
Figura 39 - Nuvem de pontos classificada	109
Figura 40 - Classificação errônea da nuvem pontos (parte da edificação classificada como vegetação).....	110
Figura 41 - Modelo Digital de Superfície gerado por meio do interpolador IDW	112
Figura 42 - Modelo Digital de Superfície com resolução espacial de 0,50 m.....	113
Figura 43 - Modelo Digital de Superfície com resolução espacial de 0,40 m.....	113
Figura 44 - Modelo Digital de Superfície com resolução espacial de 0,30 m.....	114
Figura 45 - Nuvem de pontos filtrada contendo apenas pontos classificados como Terreno, nas vistas globais e aproximada	116
Figura 46 - Incoerências encontradas (imagens da esquerda) e suas respectivas correções (Imagens da direita): (a) ausência de pontos para interpolação (região na cor preta). (b) ponto abaixo do terreno (sulcos onde havia edificação) (c) ponto não pertencente ao terreno (protuberâncias).....	117
Figura 47 - Modelo Digital de Terreno com resolução espacial de 0,50 m gerado para a região da praça central da UNICAMP. À esquerda, MDT com sobreposição dos pontos de terreno (marrom).....	119
Figura 48 - Idem, com resolução espacial de 0,40 m.....	119
Figura 49 - Idem, com resolução espacial de 0,30 m.....	120
Figura 50 - Imagem de Intensidade com resolução espacial de 0,50 m gerada por meio dos primeiros ecos da nuvem com baixa densidade de pontos (4 pts/m ²).....	121
Figura 51 - Imagem de Intensidade com resolução espacial de 0,40 m gerada por meio dos primeiros ecos da nuvem com média densidade de pontos (8 pts/m ²)	121
Figura 52 - Imagem de Intensidade com resolução espacial de 0,30 m gerada por meio dos primeiros ecos da nuvem com alta densidade de pontos (16 pts/m ²).....	122
Figura 53 - Modelo Digital de Superfície Normalizada com resolução espacial de 0,50 m .	123
Figura 54 - Modelo Digital de Superfície Normalizada com resolução espacial de 0,40 m .	124

Figura 55 - Modelo Digital de Superfície Normalizada com resolução espacial de 0,30 m .	124
Figura 56 - Distribuição dos PVA e PVP na área de interesse	127
Figura 57 - Modelo de monografia elaborada para os pontos (PVA e PVP) rastreados em campo.....	128
Figura 58 - Resultado das discrepâncias entre a altitude de teste e altitude de referência-MDT 0,50 m.....	136
Figura 59 - Resultado das discrepâncias entre a altitude de teste e altitude de referência-MDT 0,40 m.....	136
Figura 60 - Resultado das discrepâncias entre a altitude de teste e altitude de referência-MDT 0,30 m.....	137
Figura 61 - PVP a ser analisado planimetricamente na nuvem de pontos	138
Figura 62 - Leitura das coordenadas planimétricas dos pontos amostrais - visualização tridimensional	139
Figura 63 - Resultado gráfico das discrepâncias obtidas para a amostra planimétrica avaliada na NP com densidade de 4 pts/m ²	142
Figura 64 - Resultado gráfico das discrepâncias obtidas para a amostra planimétrica avaliada na NP com densidade de 8 pts/m ²	143
Figura 65 - Resultado gráfico das discrepâncias obtidas para a amostra planimétrica avaliada na NP com densidade de 16 pts/m ²	144
Figura 66 - Distribuição espacial da amostra das edificações escolhidas para serem vetorizadas	147
Figura 67 - Ajuste dos vetores realizados em modo tridimensional por meio do <i>Software Global Mapper 15.0</i>	148
Figura 68 - Resultado gráfico das discrepâncias obtidas para a amostra dos 228 pontos (33 edificações) obtidas por meio dos produtos e subprodutos LiDAR com resolução espacial de 0,50 m.....	151
Figura 69 - Resultado gráfico das discrepâncias obtidas para a amostra dos 228 pontos (33 edificações) obtidas por meio dos produtos e subprodutos LiDAR com resolução espacial de 0,40 m.....	152

Figura 70 - Resultado gráfico das discrepâncias obtidas para a amostra dos 228 pontos (33 edificações) obtidas por meio dos produtos e subprodutos LiDAR com resolução espacial de 0,30 m.	153
Figura 71 - Análise dos pontos classificados como <i>outliers</i> : Pontos Vetorização (cor amarela) X Pontos Restituição (cor verde) X Modelos Digital de Superfície.....	156
Figura 72 - Desvios padrões das componentes planimétricas analisadas sobre as Nuvens de Pontos com diferentes densidades.....	162
Figura 73 - Desvios padrões das componentes planimétricas dos vetores extraídos nos Modelos Digitais de Superfície com diferentes resoluções	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componente dos sinais dos satélites do sistema GPS.....	41
Tabela 2 - Resumo das características dos sinais IRNSS	45
Tabela 3 - Vantagens e desvantagens dos sistemas GNSS e IMU.....	46
Tabela 4 - Exemplos de aplicações para as informações <i>Full Waveform</i>	54
Tabela 5 - Codificação das classes de atribuição dos pontos da nuvem, de acordo com a ASPRS	67
Tabela 6 - Altimetrias extraídas dos modelos tridimensionais obtidos pelos diferentes interpoladores	80
Tabela 7 - Valores para média e desvios padrões obtidos nos diferentes interpoladores	81
Tabela 8 - Relação entre densidades de pontos da nuvem planejada e constatada ao final do perfilamento	104
Tabela 9 - Parâmetros encontrados em cada nuvem de pontos.....	108
Tabela 10 - Produtos e subprodutos LiDAR e suas resoluções espaciais.	108
Tabela 11 - Análise da classificação realizada em cada nuvem de pontos.....	110
Tabela 12 - Padrão de Exatidão Planimétrico/ Altimétrico e Erro Padrão para as classes A+, A, B e C.....	130
Tabela 13 - Resultado do teste de tendência <i>t-student</i> para a componente altimétrica.....	133
Tabela 14 - Resultado do teste de Normalidade para a amostra dos pontos altimétricos ...	134
Tabela 15 - Resultado do teste <i>Qui-quadrado</i> para a componente altimétrica	134
Tabela 16 - Resultado da classificação da altimetria de acordo com o decreto que estabelece o PEC - Avaliação do EP	134
Tabela 17 - Resumo estatístico obtido para a avaliação da altimetria realizada para os MDT's com resoluções espaciais de 0,50 m, 0,40 m e 0,30 m.....	135
Tabela 18 - Resultado do teste de tendência <i>t-student</i> para a componente planimétrica....	140
Tabela 19 - Resultado do Teste de Normalidade da amostra realizado para as NP's com densidades de 4 pts/m ² , 8 pts/m ² e 16 pts/m ²	140

Tabela 20 - Resultado do Teste <i>Qui-quadrado</i> realizado para as nuvens de pontos com densidades 4 pts/m ² , 8 pts/m ² e 16 pts/m ²	141
Tabela 21 - Resultado da classificação da planimetria de acordo com o decreto que estabelece o PEC - Avaliação do EP	141
Tabela 22 - Resumo estatístico obtido para a avaliação da planimetria realizada para as nuvens de pontos com densidades de pontos de 4 pts/m ² , 8 pts/m ² e 16 pts/m ²	141
Tabela 23 - Resultado do teste de tendência <i>t-student</i> para as componentes planimétricas dos vetores	149
Tabela 24 - Resultado do Teste de Normalidade para as componentes planimétricas dos vetores.....	149
Tabela 25 - Resultado do Teste <i>Qui-quadrado</i> para as componentes planimétricas dos vetores.....	150
Tabela 26 - Resultado da classificação da planimetria dos vetores junto ao PEC - Avaliação do EP	150
Tabela 27 - Resumo estatístico obtido na avaliação da planimetria dos vetores	150
Tabela 28 - <i>Outliers</i> encontrados nos vetores analisados na escala 1:2.500	154
Tabela 29 - Resumo do enquadramento do PEC/ET-PCDG obtidos nos experimentos.....	166

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALS	<i>Airborne Laser Scanning</i>
CAS	<i>Commercial Acces Service</i>
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
DoD	<i>Departament of Defense</i>
DOP	<i>Dilution of Precision</i>
E	Coordenada UTM Este
EP	Erro Padrão
ESA	<i>European Space Agency</i>
ET-PCDG	Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geospaciais
FEC	Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP
FOV	<i>Field of View</i>
GLONASS	<i>Global Orbting Navigation Satellite System</i>
GEO	<i>Geostationary Earth Orbit</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
H	Altitude Ortométrica
h	Altura Geométrica
IGSO	<i>Inclined Geosynchronous Orbit</i>
I_{INT}	Imagem de Intensidade
IDW	<i>Inverse Distance Weigthed</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
IF	Inventário Florestal
IMU	<i>Inertial Measurmet Unit</i>
INC	<i>IRSS Navigation Centre</i>
ISPRS	<i>International Sociey for Photogrammetry and Remote Sensing</i>
ISRO	<i>Indian Space Navigation Satellite System</i>
IRNSS	<i>Indian Regional Navigation Satellite System</i>
ITD	<i>Individial Tree Detection</i>
JB	<i>Jarque-Bera</i>
kHz	Kilo Hertz

LADAR	<i>Laser Detection And Ranging</i>
LiDAR	<i>Ligth Detection and Ranging</i>
LGL	<i>Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung</i>
MDC	Modelo Digital de Cobertura
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDS_N	Modelo Digital de Superfície Normalizada
MDT	Modelo Digital de Terreno
MHz	Mega Hertz
N	Coordenada UTM Norte
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NP_C	Nuvem de Pontos Classificada
OAS	<i>Open Access Service</i>
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PCV	Pontos de Controle Vertical
PRS	<i>Public Regulated Service</i>
Pts/m²	Pontos por metro quadrado
PVA	Ponto de Verificação da Altimetria
PVP	Ponto de Verificação da Planimetria
m	Nanômetro
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RMS	<i>Residual Mean Square</i>
RS	<i>Restricted Service</i>
SAR	<i>Search and Rescue Service</i>
SAS	<i>Safety of Life Service</i>
SCCC	<i>Space Craft Control Centre</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SPS	<i>Standard Positioning Service</i>
<i>t</i>	<i>t-student</i>
TIN	<i>Triangular Irregular Network</i>
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas

UTM Universal Transversa de Mercator

2 *Qui-quadrado*

WDP *Waveform Data Packets*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DO TEMA	22
1.2	OBJETIVOS DA PESQUISA	27
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	28
2	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE PERFILAMENTO	29
2.1	SURGIMENTO E PRIMEIRAS APLICAÇÕES DO SISTEMA LASER AEROTRANSPORTADO	29
2.2	PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA LiDAR	30
2.2.1	Sistema de varredura laser	31
2.2.2	Unidade de Medida Inercial - IMU	38
2.2.3	Sistema de posicionamento GNSS	40
2.2.3.1	GPS	41
2.2.3.2	GLONASS	42
2.2.3.3	GALILEO	43
2.2.3.4	BEIDOU/COMPASS	44
2.2.3.5	IRNSS (<i>Indian Regional Navigation Satellite System</i>)	44
2.2.4	Integração entre GNSS e IMU	45
2.3	CARACTERÍSTICAS DO PULSO LASER	48
2.3.1	Informação LiDAR <i>Full Waveform</i>	52
3	TRATAMENTO DOS DADOS DE PERFILAMENTO E ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS LiDAR	56
3.1	PROCESSOS ENVOLVIDOS	56
3.1.1	Georreferenciamento direto dos pontos da nuvem perfilada	56
3.1.2	Ajustamento entre as faixas de voo e refinamento planialtimétrico do modelo	59
3.1.3	Classificação da nuvem de pontos	65
3.1.4	Interpolação do Modelo Digital de Superfície (MDS)	70
3.1.4.1	Algoritmos de interpolação utilizados para elaborar Modelos Digitais de Superfície	70
3.1.5	Filtro para elaboração do Modelo Digital de Terreno (MDT)	82
3.1.5.1	Algoritmos de filtragem da Nuvem de Pontos	84
3.1.5.1.1	Filtro Morfológico	86
3.1.5.1.2	Filtro Baseado em Superfície	88
3.1.6	Interpolação da Imagem de Intensidade	92
3.1.7	Modelo Digital de Superfície Normalizada (MDS _N): definição	97
4	DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO	99

4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	99
4.2	DADOS DE PERFILAMENTO	101
4.2.1	Nuvem de Pontos Sintética	104
4.3	METODOLOGIA EMPREGADA NA ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS E SUBPRODUTOS LiDAR 107	
4.3.1	Nuvem de Pontos Classificada (NP _C).....	109
4.3.2	Modelo Digital de Superfície (MDS).....	111
4.3.3	Modelo Digital de Terreno (MDT).....	114
4.3.4	Imagem de Intensidade (I _{INT}).....	120
4.3.5	Modelo Digital de Superfície Normalizada (MDS _N)	122
4.3.6	Análise da qualidade	125
4.3.7	Tratamento dos dados amostrais e análise estatística.....	133
4.3.8	Extração da informação nos produtos LiDAR com diferentes resoluções espaciais	145
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	159
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	165
	REFERÊNCIAS	168
	ANEXO A – CONFIGURAÇÃO DO SENSOR LIDAR HARRIER 68I PARA AQUISIÇÃO DOS DADOS NO ANO DE 2012.....	176
	ANEXO B – PLANO DE VOO GRÁFICO PARA O PERFILAMENTO REALIZADO EM 2012	177
	APÊNDICE A – INFORMAÇÕES TÉCNICAS DAS NUVENS DE PONTOS	178
	APÊNDICE B –TABELA RESUMO DO PROCESSAMENTO DOS PONTOS DE VERIFICAÇÃO DA ALTIMETRIA (PVA) E PONTOS DE VERIFICAÇÃO DA PLANIMÉTRIA (PVP)	187
	APÊNDICE C – MONOGRAFIAS DOS RASTREIOS PARA OS PONTOS DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA (PVA) E PLANIMÉTRICA (PVP)	190
	APÊNDICE D – COORDENADAS ALTIMÉTRICAS LIDAS NOS MODELOS DIGITAIS DE TERRENO TESTADOS.....	251
	APÊNDICE E – COORDENADAS PLANIMÉTRICAS LIDAS NAS NUVENS DE PONTOS TESTADAS	253
	APÊNDICE F – COORDENADAS PLANIMÉTRICAS DOS VÉRTICES DAS EDIFICAÇÕES OBTIDAS PELA RESTITUIÇÃO FOTOGRAMÉTRICA E PELA VETORIZAÇÃO	255

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DO TEMA

O sistema laser aerotransportado consiste em um sensor remoto ativo que utiliza a luz do espectro eletromagnético compreendido na faixa do infravermelho, com comprimento de onda de aproximadamente 1540 nm, que é utilizado para obter informações tridimensionais georreferenciadas e de intensidade da superfície da Terra e dos objetos localizados sobre ela (BUKATA *et al.*, 1995).

Segundo Jensen (2009), o termo LiDAR (*Light Detection and Ranging*) pode ser compreendido como Detecção de Luz e Distância, sendo este sistema capaz de realizar medidas de distâncias considerando a velocidade de propagação da luz e seu respectivo tempo de viagem, medido entre a emissão de um pulso laser e seu retorno ao sensor.

O surgimento deste equipamento aconteceu por volta da década de 1960 pela empresa *Hughes Aircraft Incorporation* porém, a sua utilização efetiva visando a obtenção de dados atrelados a um sistema de referência, ocorreu em meados de 1989 (JENSEN, 2009; PACHECO *et al.*, 2011).

Conforme registros encontrados na literatura, a primeira utilização do sistema LiDAR para fins comerciais ocorreu aproximadamente no ano de 1990 que possibilitou realizar medidas de contaminação do ar ocasionadas pela fumaça do cigarro. Este tipo de sistema era fisicamente grande e operava muito devagar não apresentando um alto desempenho em seu funcionamento. Neste período, os primeiros sistemas laser desenvolvidos operavam com uma baixa frequência de escanização (na ordem 5 kHz a 10 kHz) e não eram capazes de registrar múltiplos retornos registrando apenas os primeiros ou últimos pulsos emitidos (RENSLOW, 2012).

Com o avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos, estes sensores foram sendo modificados. Além de ter seu peso e tamanho diminuídos, eles passaram a registrar múltiplos pulsos e operarem com uma alta frequência de varredura, na ordem de 150 kHz a 400 kHz possibilitando a elaboração de produtos tridimensionais com uma acurácia vertical.

Por meio de buscas realizadas em periódicos e pela participação em congressos relacionados com a tecnologia LiDAR (e posterior leitura dos anais), é possível notar uma grande difusão desta nos mais variados campos de atuação e segmentos, visando melhores estudos, compreensão do sistema e suas possibilidades de trabalho.

Centeno e Mitishita (2007), em estudos realizados com dados provenientes deste sistema, apresentaram uma caracterização geral deste, dividindo-o em três componentes principais: uma unidade de medição a laser, a qual tem a função de emitir e receber o pulso, um sistema de varredura, composto por prismas ou espelhos rotativos e uma unidade de registro de medições de apoio. No que se refere a este último componente, tem-se que ele é composto por um conjunto de sensores tais como *Inertial Measurement Unit* (IMU) e receptores de posicionamento *Global Navigation Satellite System* (GNSS), cujas funções são, respectivamente, registrar os movimentos de atitude da aeronave por meio dos ângulos de Euler (α , ϕ e ψ), e também a posição exata da aquisição dos dados durante a execução do voo de perfilamento.

Desenvolver um projeto de perfilamento LiDAR envolve um estudo preliminar onde são definidas algumas variáveis fundamentais. Inicialmente deve-se estabelecer qual a densidade de pontos por metro quadrado (pts/m²) a ser obtida. Na fase de planejamento da missão, é fundamental estabelecer valores para as variáveis de funcionamento do sensor, uma vez que este, na maioria das vezes opera de maneira automática. Por fim, deve-se elaborar o plano de voo visando o recobrimento total da área de interesse.

Na definição da configuração de funcionamento do sensor, devem ser especificados parâmetros para as seguintes variáveis: taxa de frequência de varredura, ângulo de abertura (*Field of View* – FOV), velocidade de cruzeiro da aeronave e a altura de voo. É importante dizer que a execução da missão deve ser realizada obedecendo ao máximo os parâmetros definidos, pois o sucesso na execução de um perfilamento contribui significativamente para a elaboração de produtos finais com qualidade.

No que se refere à utilização de dados provenientes do sensor laser, uma grande quantidade de trabalhos podem ser encontrados na literatura.

Fan (2012) desenvolveu um algoritmo baseado em uma aproximação dos pontos da nuvem LiDAR com o intuito de realizar uma delimitação automática de telhados na área urbana da cidade de Vaihingen, Alemanha. A grande dificuldade deste projeto estava relacionada ao fato de que na Europa existem padrões diferentes de telhados, havendo a necessidade de o algoritmo identificar esta diversidade de geometria e ser eficiente em seu funcionamento e desempenho. Para este estudo, o autor contou com dados fornecidos pela *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS) onde, o perfilamento realizado apresentou uma densidade média de pontos de 6,7 pts/m², um FOV de 45° e superposição lateral de 30% entre as faixas de recobrimento.

Schuffert (2013) realizou um estudo bastante similar ao desenvolvido por Fan (2012) porém, o objetivo do trabalho consistia em estudar os telhados na área urbana, no que se refere ao potencial para instalação de sistemas solares de energia. Nessa pesquisa, por meio dos produtos laser, o autor analisou alguns parâmetros importantes e relevantes ao problema proposto tais como declividade do telhado, áreas de oclusão (ocorrência de sombras), tipos de telhados, exposição solar (conforme a época do ano) e outros. Para esse estudo foi desenvolvido um algoritmo para separação dos pontos que definiam os telhados. A separação destes objetos contou com a utilização de dados vetoriais das referidas construções, oriundos de processos aerofotogramétricos (restituição fotogramétrica). Os dados de insumo LiDAR apresentavam uma densidade de pontos compreendida entre 1,0 pts/m² a 2,0 pts/m² com uma acurácia posicional variando entre 0,20 m a 1,0 m e acurácia vertical compreendida entre 0,05 m a 0,20 m. Todos os dados de trabalho foram fornecidos por *Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung* (LGL), localizada em *Baden Württemberg*, Alemanha. Ao final deste estudo o autor elaborou um Sistema de Informação Geográfica (SIG), contendo as informações extraídas no projeto e que foram fundamentais para definição das áreas com potencial para instalação de sistemas de energia solar.

No ramo florestal, muitos estudos envolvendo dados laser são realizados visando principalmente o atendimento às diretrizes pertinentes ao Inventário Florestal.

Kankare *et al.* (2011) apresentou um estudo de análise de erros na estimativa de variáveis florestais (área, volume, área média da altura ponderada e diâmetro), fundamentais em um inventário florestal. Em sua pesquisa, os autores focaram na

identificação de erros ocasionados por omissão e comissão durante a execução do método automático de detecção de árvores individuais (*Individual Tree Detection – ITD_{AUTO}*). Para cada uma das variáveis estimadas foram apresentados os erros percentuais identificados pelo método considerado. Os dados LiDAR utilizados foram adquiridos com o sensor laser Leica ALS50-II SN058, para uma floresta localizada em *Heerbrug, Suíça*. O voo foi executado com uma altura de 400 m, uma velocidade de cruzeiro de 41 m/s, uma frequência de operação do sensor de 150 kHz, um FOV de 30° e uma densidade de 10,00 pts/m².

Ainda no segmento florestal, os dados laser têm sido uma alternativa rápida e eficaz na estimativa de volume de biomassa e também na identificação de tipos de florestas localizadas em diferentes regiões (ANDERSEN; McGAUGHEY; REUTEBUCH, 2005).

No Brasil, recentemente foi realizado um estudo por Paula e Lima (2014) voltado ao segmento de linhas de transmissão de energia. Eles verificaram a viabilidade da utilização dos produtos LiDAR em simulações e estudos referentes a catenária das linhas de transmissão de energia. Este trabalho constatou a eficiência dos produtos LiDAR em análises temporais em corredores de linhas de transmissão de energia. O trabalho concluiu que para este tipo de análise o voo LiDAR a ser utilizado requer uma alta densidade de pontos por metro quadrado (superior a 5,00 pts/m²).

Pelo descrito até o momento é notável uma heterogeneidade na densidade de pontos de perfilamentos aéreos com sensor LiDAR e, para alguns casos em estudos bastante similares. Diversos são os cenários existentes e informações a serem extraídas em cada um destes e com isso, existe a necessidade de verificar quais os padrões ideais de densidades de pontos relacionados com a precisão e acurácias necessárias para a extração das informações.

Assim, este trabalho tem como um dos objetivos estabelecer uma relação entre diferentes densidades de pontos para um ambiente urbano regular, correlacionando a informação obtida por meio dos produtos LiDAR com as precisões e acurácias esperadas nos produtos finais e por fim, verificar o quanto a densidade de pontos influencia na extração da informação dos objetos inerentes no contexto urbano.

Rolnik (1999), em estudos inerentes a paisagem urbana brasileira, classifica as cidades em dois tipos: regular e irregular. A diferença entre estas duas

classificações está atrelada ao fato da conformidade com a legislação urbana vigente. No que se refere ao ambiente urbano regular deve-se levar em conta as características de padrões recorrentes quanto à forma de ocupação, contextualizando melhor este cenário. Ainda segundo esse autor, uma cidade regular pode apresentar 04 formas de ocupação:

- **Padrão vertical:** Existe uma variação no número de pavimentos sendo limitado a 20 andares (na maioria dos casos), os edifícios se encontram isolados no lote e o acesso para a rua é mediada por portarias, guaritas e cercas.
- **Padrão horizontal:** modelo de baixa densidade com residências isoladas nos lotes, atendendo os recuos exigidos pela legislação (em 3 ou 4 lados da edificação), visando a proteção da qualidade de vida daqueles que vivem nos bairros.
- **Conjuntos de interesse social:** podendo ser de natureza horizontal ou vertical, sua implantação pelo poder público acabou por originar um padrão de morfologia urbana; localização em periferia ou grande vazio urbano, apresentando conjunto de blocos repetitivos de até 4 pavimentos isoladas em lotes entre 160 m² e 240 m², configurando quarteirões estreitos e compridos; grande quantidade de áreas residuais.
- **Condomínios fechados:** grandes glebas cuja ocupação apresenta uma estrutura urbana descontínua não havendo misturas de usos com dependência de transporte individual motorizado.

Para uma melhor compreensão da distinção entre o ambiente urbano regular do irregular, podemos citar como exemplo a disposição de edificações em um lote. No ambiente urbano regular a separação é bem articulada, realizada por meio de muros ao passo que nas cidades irregulares existe uma predominância da superlotação e a ausência de infra-estrutura que, muitas das vezes não é possível separar os elementos muro, edificação e lote.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Este trabalho tem como objetivo geral comparar nuvens de pontos LiDAR com diferentes densidades tomadas para uma mesma área, visando a construção de modelos tridimensionais (NP, MDS, MDT, MDS_N e outros) para aplicações em um ambiente urbano regular. As nuvens de pontos utilizadas foram adquiridas por meio de perfilamentos LiDAR aerotransportado distintos realizados para a Cidade Universitária “Zeferino Vaz” da Cidade de Campinas – UNICAMP. Estudou-se o efeito de suas diferentes densidades na extração de informações para o ambiente urbano regular bem como as qualidades inerentes aos produtos e subprodutos obtidos a partir das diferentes densidades.

Como objetivos específicos têm-se:

- a) Por meio da nuvem de pontos adquirida para a área da UNICAMP com maior densidade de pontos (16 pts/m²), realizar uma generalização e obter uma nuvem de pontos sintética com aproximadamente metade da densidade de pontos da nuvem original (8 pts/m²) para que seja um produto adicional para ajudar na pesquisa juntamente com a nuvem de pontos com baixa densidade (4 pts/m²).
- b) A partir das Nuvens de Pontos consideradas neste estudo com diferentes densidades, obter os seguintes produtos e subprodutos: Nuvem de Pontos Classificada (NP_C), Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital de Terreno (MDT), Modelo Digital de Superfície Normalizada (MDS_N) e Imagem de Intensidade (I_{INT}).
- c) Para cada densidade de pontos e por meio de seus produtos e subprodutos obtidos, identificar e interpretar por meio de padrões visuais geométricos, uma amostra de edificações que serão vetorizadas utilizando exclusivamente estes produtos e subprodutos elaborados.
- d) Realizar uma análise qualitativa e quantitativa dos vetores gerados, adotando como referência uma base cartográfica da área de estudo produzida no ano de 2014, por meio de técnicas aerofotogramétricas (restituição estereoscópica) e com qualidade conhecida.

- e) Avaliar as componentes Planimétricas e Altimétricas dos produtos e subprodutos LiDAR gerados e utilizados nessa pesquisa.
- f) Dentre as diferentes densidades de pontos estudadas apontar qual a mais indicada para projetos de perfilamento LiDAR aerotransportado em áreas urbanas consideradas regulares, tendo em conta a finalidade da aplicação.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O Capítulo 1 faz uma breve introdução sobre o sistema LiDAR Aerotransportado trazendo uma ideia relativa as aplicações de dados oriundos desse sensor, sendo elencados e descritos alguns trabalhos encontrados na comunidade científica que foram desenvolvidos utilizando produtos e subprodutos LiDAR com diferentes densidades e resoluções espaciais. Neste Capítulo foram apresentados os objetivos (gerais e específicos) da pesquisa.

Nos Capítulos 2 e 3 apresentada a revisão bibliográfica referente aos principais aspectos associados ao sensor LiDAR: surgimento, componentes integrantes do sistema, princípio de funcionamento, aquisição e tratamento dos dados e processos envolvidos tais como georrefenciamento direto dos pontos da nuvem e principais algoritmos de interpolação de pontos visando a obtenção de dados *raster*. Especificamente no Capítulo 3 são descritos alguns algoritmos de filtragem dos pontos da nuvem utilizados na separação dos pontos de terreno dos pontos classificados como objetos.

O Capítulo 4 caracteriza a área da pesquisa bem como os dados LiDAR utilizados e também, suas especificações técnicas que permitiram obter os produtos e subprodutos. Neste capítulo são descritas as análises da qualidade dos produtos gerados assim como a descrição dos experimentos realizados.

A discussão dos resultados integram o Capítulo 5 dessa dissertação.

O Capítulo 6 traz as conclusões elaboradas e recomendações para pesquisas futuras.

2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE PERFILAMENTO

2.1 SURGIMENTO E PRIMEIRAS APLICAÇÕES DO SISTEMA LASER AEROTRANSPORTADO

Conforme apresentando em Jensen (2009), o primeiro sistema laser com dispositivo ótico para perfilamento foi desenvolvido no ano de 1960 pela empresa americana Hughes Aircraft Inc. Na criação deste sensor o cientista americano Theodore Maiman utilizou uma barra de rubi sintético o qual produzia uma luz de curta duração com uma alta densidade de energia, com comprimento de onda de aproximadamente 694,3 nm.

A partir do referido ano muitas pesquisas começaram a surgir visando à utilização e aplicação para esta descoberta. Os primeiros estudos foram realizados nos campos da biologia e da medicina, contudo, estudos relacionados com aquisição de dados da superfície da Terra também foram propostos.

As primeiras aquisições de informações da superfície da Terra utilizando esta tecnologia foram realizadas por volta do ano de 1970. Sua utilização nesta época buscava a identificação e mensuração de corpos d'água e também o mapeamento do dossel de florestas. Ambas as aquisições foram realizadas pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (HOGE; SWIFT; FREDERICK, 1980). Neste período os sistemas laser eram rudimentares e os *footprints*¹ dos pulsos emitidos pelo sensor estavam compreendidos entre 5 m e 30 m. Após a aquisição e processamento destes dados os cientistas constataram um efetivo emprego deste sensor em aplicações florestais (PARKER; LEFSKY; HARDING, 2001).

Os primeiros sistemas laser operavam no modo *profile*, ou seja, era emitido um único feixe perpendicular à linha de voo produzindo um único perfil de elevação (terreno e estruturas verticais existentes – Figura 1) ao longo da trajetória desenvolvida pela aeronave (JENSEN, 2008).

¹*Footprint*: Compreende na área de um pulso laser que atinge a superfície da Terra (ou objeto) durante a execução do perfilamento. Seu diâmetro é dado por algumas variáveis envolvidas tais como altura de voo, ângulo de abertura do sensor e ângulo de divergência do pulso emitido (RENSLOW, 2012).

Figura 1 - Esquema de perfilamento laser do tipo *profile*

Fonte: Popescu (2002).

Com o passar dos anos e o avanço tecnológico estes sensores laser passaram por grandes modificações principalmente em sua estrutura física e desempenho, sendo incorporadas tecnologias baseadas em GNSS (do inglês *Global Navigation Satellite Systems*) e também Unidades de Medição Inercial (em inglês *Inertial Measurement Unit* - IMU), tornando o sistema mais completo e trazendo mais possibilidades de aplicações para este sensor.

2.2 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA LiDAR

O termo LiDAR é o acrônimo para *Ligh Detection and Ranging*. Outros termos correntes na literatura incluem ALS (*Airborne Laser Scanning*) e mesmo LADAR (*Laser Detection And Ranging*), para se referir ao sistema de perfilamento aerotransportado.

Este sensor é classificado como sendo um sensor ativo possuindo uma fonte de radiação própria não dependendo de uma fonte externa. Esta característica permite que os dados da superfície da Terra sejam adquiridos em qualquer período do dia, não havendo a necessidade de se possuir uma fonte externa de Radiação Eletromagnética (Sol).

Os sistemas LiDAR aerotransportado utilizados hoje em dia são compostos basicamente pelos seguintes elementos:

- Sistema de varredura;
- Sistema inercial (IMU); e
- Sistema de posicionamento GNSS.

Conforme Huising (1998), esta configuração do sistema LiDAR permite determinar os pontos tridimensionais no terreno. A Figura 2 apresenta os três elementos descritos acima dispostos em uma aeronave.

Figura 2 - Elementos integrantes do sistema LiDAR aerotransportado

Fonte: Adaptado de Peixoto e Centeno (2010).

2.2.1 Sistema de varredura laser

Os sistemas de varredura laser utilizam conjuntos óticos-mecânicos para transmissão e recepção dos pulsos gerados.

Segundo Wehr *et al.* (1999), um sistema de escanização laser pode ser dividido em cinco componentes: unidade de medida, *scanner*, unidades de controle, monitoramento e gravação. Incorporados ao sistema de perfilamento LiDAR têm-se os sistemas de posicionamento GNSS e inercial (IMU). A Figura 3 apresenta o esquema gráfico da estrutura dos componentes de um sistema de varredura laser.

Figura 3 - Componentes que integram o sistema de varredura laser

Fonte: Adaptado de Wehr *et al.* (1999).

Conforme apresentado pela Figura 3 tem-se que no componente *scanner* são gerados os pulsos laser utilizando componentes eletrônicos e fotodiodos. Os pulsos gerados são direcionados para um sistema de espelhos rotativos que os enviam para a superfície da Terra. A rotação do espelho, que faz o direcionamento dos pulsos, apresenta movimento limitado e estabelecido de acordo com o ângulo de abertura (*Field of View* – FOV) configurado *a priori* pela unidade de controle. Após desenvolver toda uma trajetória, o pulso emitido e refletido pelo objeto na superfície perfilada é capturado novamente por esta unidade e também, por meio de um

conjunto de espelhos é encaminhado para a unidade de medida que irá registrar o instante no qual o pulso laser retornou ao sensor.

Durante o desenvolvimento do voo de perfilamento são registrados além dos dados originais referentes à escanerização, informações de atitude e posicionamento da aeronave. Todas estas informações são armazenadas em compartimentos distintos na unidade de gravação.

A unidade de monitoramento é responsável por apresentar informações referentes à escanerização que está sendo realizada. Por meio dela é possível verificar a quantidade de pulsos emitidos e recebidos, fornecendo estatísticas que mostram a quantidade de pontos que, por algum motivo, não retornaram ao sensor.

Os sistemas mais modernos de perfilamento LiDAR são dotados de um conjunto de fibras-ópticas. Estas são utilizadas no redirecionamento do pulso durante a sua emissão e recepção para junto do sensor. Elas proporcionam um melhor desempenho no funcionamento do equipamento evitando a ocorrência de desvios de trajetória dos pulsos (reflexos) enquanto estes estiverem em seu interior. A Figura 4 apresenta em detalhe o conjunto das matrizes de fibras-ópticas utilizadas na emissão e recepção dos pulsos laser presentes nos sistemas mais modernos de perfilamento.

Por meio de uma análise realizada na Figura 4 nota-se a presença de dois conjuntos de sistemas óticos (espelhos) que são responsáveis pelo redirecionamento do pulso durante a sua emissão e recepção. Dependendo do tipo de movimento desenvolvido por estes espelhos é possível se obter dois tipos de resoluções entre os pulsos emitidos.

A resolução conhecida como *along track* consiste na distância de separação entre duas linhas de perfilamento. A resolução *across track* está relacionada com a distância que separa dois pulsos emitidos e perfilados no terreno. É importante dizer que esta última irá definir qual a resolução espacial máxima de interpolação para obter os produtos LiDAR no formato *raster*. A Figura 5 apresenta um esquema gráfico de perfilamento em uma faixa de voo o qual ilustra as definições apresentadas para as resoluções *along track* e *across track*.

Figura 4 - Conjunto de matrizes de fibras-ópticas utilizadas na emissão e recepção dos pulsos laser

Fonte: Adaptado de Renslow (2012).

Figura 5 - Resoluções *along track* e *across track* em uma linha de perfilamento

Fonte: Diaz (2011).

Ainda no que se refere à importância do conjunto de espelhos em um sistema LiDAR tem-se que, dependendo do tipo e do movimento desempenhado é possível se obter diferentes padrões nas linhas de escanerização (RENSLOW, 2012). A seguir são elencados os tipos de espelhos encontrados nos sistemas de perfilamentos bem como algumas de suas características.

Espelho Oscilador: este tipo de espelho possibilita obter linhas de perfilamento formando uma trajetória com padrão sinusoidal (*zig-zag*). Como vantagem pode-se dizer que este se encontra direcionado para o solo durante toda a realização do perfilamento fazendo com que todos os pulsos gerados sejam emitidos. Como desvantagens na sua utilização tem-se que é evidenciada uma distorção no espaçamento entre os pontos e também na sua densidade, que é ocasionada pelo não sincronismo da velocidade de rotação do espelho com a aceleração desenvolvida pelo servo-motor. Como o espelho deve começar a rotacionar a partir de uma das extremidades, o perfilamento é realizado no sentido das bordas para o centro, o que irá ocasionar uma maior quantidade de pontos nas bordas quando comparados com os pontos obtidos na posição nadir. Esta maior concentração de pontos nas regiões das bordas está atrelada a velocidade de oscilação dos espelhos nesta região.

Espelho Rotativo: o espelho rotativo, assim como o próprio nome sugere, apresenta uma trajetória em constante rotação (velocidade constante). Em perfilamentos dotados com sistemas que utilizam este tipo de espelho, as linhas de escanerização apresentam-se paralelas sobre a superfície de interesse. Como vantagem para este modelo pode-se dizer que devido ao desenvolvimento de uma velocidade constante, existe uma minimização dos erros no campo de observação que seriam ocasionados devido à aceleração do servo-motor. Algumas desvantagens são encontradas em sistemas que utilizam este tipo de espelho no que se refere ao campo de visão o qual não pode ser alterado pelo fato de que este desenvolve uma rotação de 360° e também, devido à velocidade de rotação do motor, nem todos os pulsos gerados pelo sistema serão utilizados no perfilamento.

Sistema *Pushbroom*: estes sistemas escanerizadores são constituídos de fibras as quais uma das extremidades são dispostas em círculos e na outra sobre a forma de uma matriz linear.

O pulso laser gerado é direcionado para dentro de uma das fibras que se encontram dispostas em círculo assim, forma-se um feixe de laser estreito o qual é direcionado para o solo. Após a reflexão deste pulso laser, o mesmo é convergido para uma das fibras localizadas na matriz linear de recepção a qual redireciona o pulso para o arranjo circular das fibras para que seja realizado seu registro.

Este tipo de sistema é dito estável pois caso haja qualquer desalinhamento na posição das fibras, este por sua vez não irá comprometer o desvio de direção do pulso. Também pode-se dizer que neste tipo de sensor LiDAR as fibras e o IMU são montados bem próximos de modo a tornar invariável a orientação entre eles caso alguma força mecânica ou de outra natureza incida sobre o conjunto.

Como característica da linha de perfilamento no chão para sistemas dotados com fibras óticas, os círculos incidentes apresentam sobreposição uns com os outros ocasionando uma redundância de informação melhorando a geometria dos pontos do perfilamento.

A Figura 6 apresenta exemplos de linhas perfiladas com cada um dos sistemas escanerizadores apresentados, seguindo respectivamente a ordem (a) Espelho Oscilador; (b) Espelho Rotativo; (c) Sistema *Pushbroom*.

Figura 6 - Tipos de linhas de perfilamento obtidas por diferentes sistemas escanerizadores

Fonte: Adaptado de Diaz *et al.* (2014).

Sistema *Palmer Scanning*: sensores LiDAR com estes sistemas são capazes de produzir linhas de perfilamento elípticas com dados redundantes que podem ser

utilizados principalmente na calibração. É importante dizer que este sistema perfilador é bastante semelhante ao sistema *pushbroom* apresentado. A Figura 7 traz um esquema de um perfilamento LiDAR que utiliza o sistema *Palmer Scanning*.

No que se refere aos tipos de sistemas escanerizadores apresentados anteriormente, tem-se que o mais moderno e capaz de apresentar resultados com uma maior quantidade de informação é o Sistema *Pushbroom* onde, de acordo com TopoSys GmbH (2004), apresenta uma maior penetração principalmente em coberturas florestais densas. Para fins elucidativos, a Figura 8 traz um esquema de como seria o perfilamento em uma área com cobertura vegetal utilizando os sistemas perfiladores de espelhos (oscilador ou rotativo) e o tipo *Pushbroom*.

Figura 7 – Perfilamento LiDAR utilizando um sistema *Palmer Scanning*

Fonte: Adaptado de Renslow (2012).

Figura 8 - Penetração de pulsos laser em área de cobertura vegetal emitidos por (a) sistemas perfiladores com espelhos e (b) *Pushbroom*

Fonte: Renslow (2012).

Em uma análise da Figura 8 é possível notar que as respostas efetivas de perfilamento em área com cobertura vegetal, quando se utiliza sistemas de escanerização com espelhos (a), é inferior à quantidade de informação obtida por sensores com fibra ótica do tipo *pushbroom* (b).

2.2.2 Unidade de Medida Inercial - IMU

A unidade de medida inercial utilizada em um sistema de perfilamento LiDAR aerotransportado consiste em um dos equipamentos de importância para a orientação do pulso laser emitido na superfície. São instrumentos que compõem a base da navegação inercial.

Um sistema de navegação inercial é composto de acelerômetros e giroscópios, sendo que o primeiro é considerado um transdutor de acelerações lineares e são empregados para determinar a velocidade e posição do veículo. Os giroscópios são ditos transdutores de velocidade angular o qual o processamento de seus sinais permite definir a atitude (ângulos de orientação do objeto) (CARVALHO, 2011).

Os acelerômetros consistem em sensores capazes de apresentar a medida da força que atua sobre o objeto. Esta força é a resultante da aceleração inercial e da gravidade. Por meio da combinação das duas acelerações é possível determinar a aceleração linear que é integrada para se obter a velocidade e posição do objeto.

Os giroscópicos fornecem a medida da velocidade angular que é utilizada para se obter a atitude do objeto e para manutenção do referencial de medida das acelerações.

Para Carvalho (2011) um sistema de medida inercial é utilizado para o controle dos objetos ou plataformas apresentando como informações de saída os seguintes parâmetros:

- Posição do objeto em relação a um referencial. Quando este sensor está embarcado em uma aeronave e a Terra é considerada o referencial, as informações obtidas são latitude, longitude e altitude;
- Velocidade do objeto nas três direções (norte, leste e vertical); e
- Rumo e atitude do objeto descritos por meio dos ângulos de Euler (*yaw* - , *pitch* - e *roll* -).

A Figura 9 apresenta um esquema gráfico de uma unidade de medida inercial indicando seus principais elementos.

Figura 9 - Unidade de Medida Inercial tipo *Gimballed*

Fonte: DURAO (2009).

2.2.3 Sistema de posicionamento GNSS

A sigla GNSS (em inglês *Global Navigation Satellite System* – sistema de navegação global por satélites) é um sistema de posicionamento que utiliza um conjunto de satélites artificiais os quais enviam observáveis para usuários civis e militares na superfície da Terra. Este termo foi utilizado pela primeira vez no ano de 1991 pela Associação Internacional de Aviação Civil (ICAO – *International Civil Aviation Organization*) de modo a designar os sistemas de posicionamento por satélites artificiais com cobertura mundial (SEEBER, 2003).

Existem quatro constelações GNSS estão plenamente ou parcialmente operacionais: o americano GPS (*Global Positioning System*), o russo GLONASS (*GLobal Orbit Navigation Satellite System*), o europeu GALILEO e o chinês BEIDOU/COMPASS.

Para Vaz *et al.* (2013), no Brasil a maior parte das aplicações de posicionamento, navegação e mapeamento utilizam substancialmente o sistema GPS pelo fato deste ser o mais antigo e encontrando-se totalmente consolidado e modernizado.

Silva e Segantini (2015) apresentam uma série de vantagens da utilização do sistema GNSS quando comparado com outras técnicas de topografia e geodésia:

- As estações de medições não precisam ser intervisíveis;
- As medições podem ser realizadas em qualquer condição climática;
- A operação dos satélites é 24 horas por dia;
- Apresenta cobertura mundial; e
- Alta precisão no posicionamento, velocidade e tempo.

A seguir é apresentada uma breve caracterização de cada uma das constelações integrantes do sistema de posicionamento GNSS.

2.2.3.1 GPS

O sistema de posicionamento GPS foi originalmente desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD – *Department of Defense*), com o intuito de servir como sistema de navegação exclusivo do exército americano (MONICO, 2008).

A proposta inicial para a constelação previa um total de 24 satélites desenvolvendo órbita circular, com período de revisita de aproximadamente 12 horas no tempo universal. Sua órbita encontra-se aproximadamente a 20.200 km da Terra (órbita média) com inclinação de 55° em relação ao Equador. Esta configuração garante cobertura do sinal entre as latitudes 80° N e 83° S (SILVA; SEGANTINI, 2015).

Nos últimos anos a constelação GPS passou por uma modernização sendo evidenciado um aumento em sua quantidade, compreendendo hoje um total de trinta e dois satélites dispostos em seis planos orbitais.

Todas as observáveis GPS são emitidas sobre três ondas portadoras (L_1 , L_2 e L_5) que são geradas em cada satélite por meio de uma frequência fundamental na ordem de 10,23 MHz sendo que, cada uma destas possui um valor no qual multiplicado pela frequência fundamental origina a frequência da onda portadora.

Sobre estas são modulados os códigos C/A (1,023 MHz), P, L_2 C (10,23 MHz) e L_5 C (10,23 MHz) sendo que, a onda L_1 é capaz de modular os códigos C/A e P, a L_2 os códigos L_2 C e P e a onda L_5 apenas o código L_5 C. A Tabela 1 apresenta os componentes dos sinais dos satélites do sistema GPS.

Tabela 1 - Componente dos sinais dos satélites do sistema GPS

Componente	Frequência (MHz)
Frequência fundamental	$f_0 = 10,23$
Portadora L_1	$154f_0 = 1.575,42$ ($\cong 19,0$ cm)
Portadora L_2	$120f_0 = 1.227,60$ ($\cong 24,4$ cm)
Portadora L_5	$115f_0 = 1.176,45$ ($\cong 25,5$ cm)

Código-P	$f_0 = 10,23$
Código-C/A	$f_0/10 = 1,023$

Fonte: Silva e Segantini (2015).

2.2.3.2 GLONASS

O sistema GLONASS apresenta características semelhantes ao sistema de posicionamento GPS. Este conjunto de satélites, de autoria Russa, foi desenvolvido no início da década de 1970 e, seu objetivo era proporcionar um posicionamento tridimensional e de velocidade, considerando informações de tempo sobre quaisquer condições climáticas nas escalas local, regional e global (MONICO, 2008).

Este conjunto de satélites também fornece dois tipos de observáveis: código C/A, sendo disponível a usuários civis na frequência de 0,511 MHz e também o código P, que é acessado para apenas usuários autorizados e que é fornecido na frequência 5,11 MHz. Ambos sinais são modulados na portadora L1 e, a portadora L2 contém apenas o código P (SILVA; SEGANTINE, 2015).

Relativo ao segmento espacial da constelação GLONASS, tem-se um total de 24 satélites dispostos em três planos orbitais com inclinação de $64,8^\circ$ em relação ao Equador sendo que cada plano orbital contém quatro satélites. Sua órbita é bem próxima da constelação GPS com uma distância da Terra de aproximadamente 19.100 km (órbita média). O período de revisita de cada satélite é de 11h 15m 40s no tempo sideral. No que se refere ao sistema de coordenadas utilizado por esta constelação, diferentemente do sistema GPS (que utiliza o WGS84), esta tem como base o elipsóide PZ90 que é utilizado pelos sistemas geodésicos SGS85/SGS90. Para Silva e Segantine (2015) o PZ90 é similar em qualidade ao modelo da Terra utilizado pelo WGS84.

2.2.3.3 GALILEO

Este sistema de posicionamento vem sendo idealizado pela Agência Espacial Européia (ESA – *European Space Agency*) em conjunto com a União Européia .

O sistema apresenta quatro satélites operacionais porém, seu segmento espacial tem previsão para apresentar trinta satélites sendo que vinte sete estarão em total funcionamento enquanto que três ficarão de reserva.

O sistema GALILEO ainda se encontra em fase experimental com operação de 4 satélites os quais encontram-se disponíveis para testes. Quando o sistema estiver devidamente completo, prevê-se a disponibilidade de 30 satélites (distribuídos em três planos orbitais) sendo que, 27 serão operacionais e 3 ficarão de reserva. Cada plano orbital irá apresentar uma altitude de aproximadamente 23.600 km e inclinação de 56° em relação ao equador.

No que se refere ao sinal GALILEO, este será enviado em três bandas: E₅, E₆ e L₁ as quais utilizarão quatro tipos de ondas portadoras: E_{5a}, E_{5b}, E₆ e E₁ (SILVA; SEGANTINI, 2015). Ainda de acordo com os autores as ondas portadoras do GALILEO E_{5a} e E₁ possuem exatamente as mesmas frequências que as portadoras do GPS L₁ e L₅.

De acordo com Monico (2008), o diferencial da constelação GALILEO é que esta irá oferecer pacotes de serviços específicos tais como:

- Serviço de Acesso Aberto (*Open Access Service* - **OAS**);
- Serviço de Acesso Comercial (*Commercial Acces Service* – **CAS**);
- Serviço com Segurança de Vida (*Safety of Life Service* – **SAS**);
- Serviço Público Regulamentado (*Public Regulated Service* – **PRS**); e
- Serviço de Busca e Resgate (*Search and Rescue Service* – **SAR**).

Para um maior detalhamento destes serviços recomenda-se a leitura de Monico (2008) que realiza uma breve descrição para cada um deles.

2.2.3.4 BEIDOU/COMPASS

Idealizado pela China, este conjunto de satélite iniciou operações de testes no ano de 2000 (ano de lançamento do primeiro satélite desta constelação). A ideia para esta constelação é disponibilizar dados de navegação inicialmente apenas para o território chinês e também para alguns países vizinhos, uma vez que seus satélites inicialmente irão apresentar órbita geoestacionária.

Após o seu funcionamento efetivo, os chineses pensam em transformar sua constelação geoestacionária em abrangência global (SILVA; SEGANTINI, 2015).

2.2.3.5 IRNSS (*Indian Regional Navigation Satellite System*)

Como o próprio nome sugere, trata-se de um sistema de posicionamento regional desenvolvido pela ISRO (*Indian Space Research Organization*).

Segundo ISRO (2016) a abrangência do sinal desta constelação, além de se estender sobre o território Indiano, apresenta uma área de extrapolação de 1.500 km ao redor da Índia.

O principal objeto para o desenvolvimento desta constelação é de melhorar a geometria dos satélites de posicionamento minimizando os valores dos DOP's e consequentemente a quantidade de satélites visíveis no território (ISRO, 2016).

O segmento espacial do IRNSS é constituído por um total de 07 satélites (IRNSS-1A, IRNSS-1B, IRNSS-1C, IRNSS-1D, IRNSS-1E, IRNSS-1F e IRNSS-1G) onde, 03 destes operam em GEO (*Geostationary Earth Orbit*) nas longitudes de 32,5° E, 83° E e 131,5° E e 04 satélites operam em IGSO (*Inclined Geosynchronous Orbit*) com uma inclinação de 29° em relação ao equador e longitudes de 55° E e 111,5° E (ISRO, 2016).

Ainda segundo ISRO (2016), no que se refere às órbitas dos satélites, as mesmas são elipsoidais com excentricidade aproximadamente de 0,002° e um semi-eixo maior de 47.153 km possuindo um período orbital de 23 h 56 m (24 h siderais).

Compreende em uma constelação recente onde o primeiro satélite foi posto em órbita no dia 1 de julho de 2013 e o mais recente, enviado ao espaço em 28 de abril de 2016.

O seguimento de controle é composto por dois grandes sistemas: IRNSS *Space Craft Control Centre* (SCC) e IRNSS *Navigation Centre* (INC) cuja função consiste em estimar e prever as órbitas, calcular a integridade, correções ionosféricas e erros dos relógios dos satélites além de executar o *software* de navegação (ISRO, 2016).

Os usuários das informações provenientes da constelação IRNSS deverão contar com receptores de dupla frequência operantes nas bandas L5 e S. Quanto aos serviços disponíveis tem-se o *Standard Positioning Service* (SPS) e o *Restricted Service* (RS). A Tabela 2 apresenta um resumo das características dos sinais IRNSS.

Tabela 2 - Resumo das características dos sinais IRNSS

Código PRN	L5-SPS	L5-RS	S-SPS	S-RS
Frequência fundamental	1176,45 MHz		2492,028 MHz	
Banda	L5		S	
Acesso	CDMA		CDMA	
Componente do sinal	Data	Data	Data	Data
Modulação	BPSK (1)	BOC (5,2)	BPSK (1)	BOC (5,2)
Frequência do Código	1,023 MHz	2,046 MHz	1,023 MHz	2,046 MHz
Tipo Serviço	SPS	RS	SPS	RS
Velocidade dos dados	25bps	25bps	25 bps	25 bps

Fonte: Maurício (2015).

2.2.4 Integração entre GNSS e IMU

A integração da Unidade de Medida Inercial (IMU) com o sistema de posicionamento GNSS tem por finalidade minimizar os erros do sistema inercial durante a navegação sendo este o ponto principal da integração entre estes sensores.

Sabe-se que o sistema inercial e o GNSS possuem algumas vantagens e desvantagens quando estudados individualmente (DURAO, 2009) sendo estas descritas na Tabela 3.

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens dos sistemas GNSS e IMU

SISTEMA	VANTAGENS	DESvantagens
GNSS	<ul style="list-style-type: none"> - erro limitado - exatidão dos dados de posição e velocidade 	<ul style="list-style-type: none"> - baixa taxa de transmissão - sujeito à interferência externa - ausência de informação de atitude - dados corrompidos por algum ruído branco
IMU	<ul style="list-style-type: none"> - informação de posição, velocidade e atitude - alta taxa de amostragem - autonomia - baixo nível de ruído 	<ul style="list-style-type: none"> - erro crescente com o tempo

Fonte: Durao (2009).

A integração entre estes dois sensores é necessária para que sejam corrigidos os erros do sistema inercial em relação aos erros estimados para o sistema de GNSS. Esta estimativa dos erros pode ser realizada por meio do filtro de Kalman o qual utiliza como observações as medidas diferenciadas da solução de navegação inercial em conjunto com os dados observados no sensor de navegação e também, a estimativa para os erros do sistema inercial.

A solução de posição obtida por meio das observações GNSS contém erros que são caracterizados como ruídos e que podem ser analisados estatisticamente por uma elipse de erros com um volume fixo. Já os erros encontrados pelo sistema inercial são mais suaves, porém sem limites conhecidos *a priori* e considerados complementares, sendo possíveis de serem estimados pelo filtro de Kalman. Este por sua vez processa inicialmente as medições obtidas pela diferença da navegação inercial e as posições GNSS sendo possível compreender o ruído ocasionado que é

limitado pelos erros no posicionamento GNSS somado ao erro crescente das observações inerciais.

Diante do apresentado pode-se concluir que a estimativa da magnitude dos erros do sistema inercial está diretamente relacionada com a magnitude dos erros do posicionamento GNSS e também que a integração entre os sistemas de navegação inercial e GNSS utiliza a estimativa dos erros de navegação inercial no filtro de Kalman para corrigir as seguintes variáveis: posição, velocidade e atitude da aeronave. A Figura 10 apresenta o fluxograma da ação do filtro de Kalman durante a integração entre o sistema inercial e GNSS.

Durante o funcionamento integrado entre os sistemas tem-se que, o primeiro sensor irá integrar uma aceleração constante tendenciosa e também um erro de tempo em sua velocidade. O giroscópio inclinado irá rotacionar sobre um quadro de navegação a uma taxa angular constante e assim, o vetor gravidade será projetado na direção dos eixos de entrada dos acelerômetros horizontais e o sistema inercial irá integrar os erros oriundos da aceleração de tempo linear com o erro do tempo quadrático da velocidade. A partir deste momento o modelo matemático do filtro de Kalman é acionado, passando a estimar o viés dos erros observados para a velocidade (SCHERZINGER, 1997).

É importante dizer que a integração entre estes dois sistemas utiliza uma unidade de medida inercial para estimar as precisões relativas à inclinação e rotação desenvolvidas pela aeronave na ordem de alguns minutos de arco.

Para um conhecimento matemático mais aprofundado do modelo utilizado no filtro de Kalman é sugerida a leitura da tese de doutorado de Kwakkel (2009).

Figura 10 - Esquema ilustrativo da ação do filtro de Kalman na integração entre o sistema inercial e GNSS

Fonte: Scherzinger (1997).

2.3 CARACTERÍSTICAS DO PULSO LASER

O pulso laser emitido ao encontrar com o objeto localizado na superfície da Terra, pode apresentar algumas características únicas e de grande importância para os trabalhos que empregam este tipo de informação. Estas características estão relacionadas com o tipo de sensor LiDAR e a maneira pelo qual ocorre a interação entre o pulso emitido e o objeto.

Os primeiros sensores armazenavam apenas pulsos do tipo discreto, sendo registrados somente o intervalo para o primeiro ou último retorno dos pulsos (GONG *et al.*, 2011). Estes sensores não eram capazes de registrar os pulsos intermediários que se formam pela divisão deste ao atingir algumas posições em determinados

objetos. Com isso muitas informações importantes da superfície da Terra não eram registradas.

A divisão de um pulso laser pode ocorrer em qualquer cenário que possua objetos com alturas diferentes e, dependendo do diâmetro do pulso (*footprint*) e a posição deste ao atingir o objeto, podem ser evidenciadas “*N*” divisões, ou seja, quando o pulso laser encontra um objeto, parte de sua energia é refletida e será novamente identificada pelo sensor e, a outra parte continua se espalhando (dividindo) até que toda energia seja consumida (MA *et al.*, 2015).

Estes pulsos que foram divididos são conhecidos como pulsos intermediários que podem ser originários dos primeiros ou últimos ecos. A Figura 11 apresenta um esquema gráfico que ilustra a divisão de um pulso laser originando pulsos intermediários.

Figura 11 - Divisão dos ecos emitidos em pulsos intermediários

Fonte: O Autor.

Os pulsos LiDAR, dependendo do instante do retorno ao sensor LiDAR podem ser classificados em primeiros retornos e/ou últimos retornos. A diferença fundamental entre eles está atrelada ao tempo de emissão e retorno ao sensor. Os primeiros retornos voltam mais rapidamente devido ao fato de que os objetos nos quais estes atingiram estarem mais próximos da plataforma e, os últimos retornos demandam um tempo maior de viagem o que é de significativa relevância, pois eles são capazes de penetrar coberturas vegetais e atingir o solo coberto pela vegetação. Para uma melhor compreensão a respeito da diferença entre os primeiros e últimos pulsos tem-se a Figura 12 no qual apresenta, para uma mesma área, um Modelo Digital de Superfície gerado a partir dos primeiros pulsos (Figura 12-a) e um Modelo Digital de Superfície consolidado por meio dos últimos pulsos (Figura 12-b).

Figura 12 - Modelos Digitais de Superfície gerados a partir dos primeiros e últimos retornos

Fonte: O Autor.

A Figura 12 mostra que os primeiros retornos trazem informações mais superficiais dos objetos (maior definição do contorno das copas das árvores) ao passo que, os últimos pulsos são capazes de penetrar a cobertura vegetal e registrar a informação em diferentes níveis de vegetação, inclusive o terreno que, ao gerar a interpolação, para uma área de vegetação são evidenciadas falhas na definição do contorno da copa das árvores. Por meio desta ideia é possível compreender o fato no qual os Modelos Digitais de Superfície empregam apenas os primeiros retornos em sua elaboração.

A intensidade consiste no valor da reflectância da energia emitida pelos diferentes tipos de objetos que, dependendo da sua composição e do tipo de superfície podem apresentar comportamentos variados. O valor desta energia refletida pelo objeto e recebida pelo sensor pode variar de acordo com a superfície perfilada onde, a interação desta com o objeto pode ocorrer de diferentes maneiras sendo absorvida ou refletida em diferentes direções (GALVANIN; POZ, 2012). Esta informação está presente no pulso laser registrado pelo sensor o qual traz uma característica peculiar de cada ponto perfilado integrante da nuvem após a interação com o objeto.

No caso de corpos d'água, livre de cobertura vegetal e particulados em suspensão, tem-se que o pulso laser emitido não apresenta interação com este tipo de objeto (superfície) uma vez que, esta apresenta uma total absorção do sinal, não proporcionando retornos em corpos d'água. É importante mencionar que existem sistemas LiDAR que operam em diferentes faixas do espectro cujos pulsos emitidos são capazes de realizar uma interação com este tipo de objeto ocasionando uma reflexão do sinal emitido, sendo novamente reconhecido pelo sensor. Estes sensores são empregados para realizar batimetria de pequenos corpos d'água sendo possível obter um modelo tridimensional da superfície subaquática.

A Figura 13 apresenta parte de uma nuvem de pontos que contém um corpo d'água onde é possível verificar que não existem retornos efetivos sobre esta superfície, salvo alguns pontos que foram refletidos devido à presença de vegetação aquática e/ou particulado em suspensão.

Figura 13 - Interação dos pulsos laser em corpos d'água

Fonte: O Autor.

2.3.1 Informação LiDAR *Full Waveform*

Os sensores LiDAR mais modernos são capazes de registrar além dos pulsos discretos, pulsos do tipo contínuo que são conhecidos como *Full Waveform*. Este tipo de informação é registrada considerando uma elevada taxa de amostragem sendo possível obter um registro completo de cada sinal recebido para toda trajetória desenvolvida pelo pulso LiDAR, desde o momento de sua emissão até a sua última divisão.

Para Mallet e Bretar (2009), este tipo de registro pode ser utilizado para extrair informações sobre características mais detalhadas dos objetos, principalmente em estruturas do tipo vertical. Uma das vantagens para o dado *Full Waveform* está atrelada ao fato de que existe uma melhor detecção, precisão e resolução do alvo perfilado de tal modo que, cada objeto pode ser detectado individualmente devido à distribuição vertical dos alvos atingidos por um pulso laser. Uma desvantagem para

este tipo de dado é que a informação *Full Waveform* pode ser gerada e armazenada em 8, 16 ou 32 bits (dependendo do sensor), o que demanda um grande espaço de armazenamento além de que sua manipulação se torna um tanto quanto dispendiosa (computacionalmente) devido à grande quantidade de informação presente. A Figura 14 traz a representação do registro discreto e contínuo (*Full Waveform*) para um pulso laser emitido.

Figura 14 - Diferença entre o pulso laser discreto e contínuo (*Full Waveform*)

Fonte: Adaptado de Dias (2104).

Atualmente nota-se uma grande utilização dos dados *Full Waveform* principalmente no segmento florestal, uma vez que dentro do dossel uma maior quantidade de pontos possibilita uma maior visão do tipo de vegetação e seu estado porém, outros segmentos também podem utilizar este tipo de informação contribuindo em análises e estudos do ambiente (HARDING *et al.*, 2005). A Tabela 4 mostra algumas das aplicações para os dados contínuos do tipo *Full Waveform*.

Tabela 4 - Exemplos de aplicações para as informações *Full Waveform*

Áreas que utilizam informação <i>Full Waveform</i>	Principais utilizações
Mapeamento Florestal/ Vegetação	Mapeamento de diferentes camadas da vegetação, levantando informações inerentes aos aspectos biofísicos e estimativas de volume florestal, bem como classificação de diferentes tipos de espécies de árvores e mapeamento de gramíneas altas próximo a região de pântanos e terrenos subjacentes.
Aeroportos	Mapeamento preciso dos objetos verticais (postes e antenas) nas regiões das rotas de pouso e decolagem, obtendo assim um reconhecimento mais preciso destes obstáculos.
Detecção de alvos (militar)	Detecção de objetos (veículos e maquinários) localizados abaixo das copas das árvores.
Mapeamentos e análises do ambiente	Informações em relação ao heterogeneidade de <i>habitats</i> , melhorando a estimativa das métricas referentes a biodiversidade

Fonte: Adaptado de Renslow (2013).

Diante do exposto é possível concluir que os dados *Full Waveform* apresentam uma utilidade um tanto quanto pré-estabelecida principalmente no que se refere à identificação e estudos de objetos verticais. Para perfilamentos cujo interesse consiste na topografia de uma determinada região, a utilização de pulsos discretos é mais efetiva uma vez que esta informação utilizada se encontra ao nível do solo não havendo variações nos retornos.

É importante dizer que conforme estabelecido pela ASPRS (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* - Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto), os dados *Full Waveform* somente estão presentes em arquivos LAS a partir da versão 1.3 que podem estar acompanhados ou não de arquivos na extensão WDP (*Waveform Data Packets*). Para uma maior compreensão de como a informação *Full Waveform* é registrada, recomenda-se a leitura sobre as especificações dos arquivos LAS presentes no *sítio* da ASPRS.

3 TRATAMENTO DOS DADOS DE PERFILAMENTO E ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS LiDAR

3.1 PROCESSOS ENVOLVIDOS

Após a aquisição das informações por meio do perfilamento LiDAR inicia-se o procedimento de tratamento destes, com o intuito de prepará-los para a realização do georreferenciamento a um sistema geodésico de referência. Ao final do processo obtém-se como produto base a nuvem de pontos que, por meio de processos computacionais irá dar origem a outros produtos com características específicas.

No que se refere aos produtos e subprodutos elaborados a partir da nuvem de pontos georreferenciada tem-se: Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital de Terreno (MDT), Imagem de Intensidade (I_{INT}) e Modelo Digital de Superfície Normalizada (MDS_N).

Nas seções subsequentes será descrita a maneira no qual é realizado o georreferenciamento direto da nuvem e também definidos e apresentados os produtos e subprodutos gerados assim como toda morfologia matemática envolvida.

3.1.1 Georreferenciamento direto dos pontos da nuvem perfilada

Conforme já apresentado no Capítulo 2, o sistema inercial opera em conjunto com receptor GNSS, ambos acoplados e sincronizados com o sistema de perfilamento LiDAR que possibilita realizar o georreferenciamento de todos os pontos da nuvem adquiridos em uma missão de recobrimento LiDAR.

Para realizar o georreferenciamento dos dados oriundos de perfilamento é fundamental que se conheça o registro instantâneo e concomitante das informações posicionais e de atitude da aeronave. Diferentemente da fotogrametria tem-se que apenas a utilização de pontos de controle de campo não são suficientes para determinar os três parâmetros de orientação e os três parâmetros posicionais (orientação exterior) associados a cada faixa perfilada (EL-SHEIMY, 2000).

A integração entre os sensores GNSS e IMU é de fundamental importância devido ao fato de que a taxa de aquisição dos dados nos receptores GNSS não é compatível com a taxa de registro dos dados desenvolvidos em um sistema de perfilamento LiDAR sendo que, a taxa de gravação das observações nos receptores GNSS é inferior (máxima 100 Hz) a taxa de emissão de pulsos laser que está compreendido entre 80 kHz a 400 kHz.

De acordo com Schwarz *et al.* (1993) o georreferenciamento direto realizado em dados oriundos de um perfilamento LiDAR só é possível com a integração entre os sistema GNSS e IMU que, através de uma operação em conjunto entre eles é possível se obter todos os parâmetros de orientação exterior necessários com acurácia suficiente para cada instante de tempo.

A completude entre os dois sensores para se realizar o georreferenciamento direto se faz necessária uma vez que o sistema GNSS registra informação de posição e velocidade e a atitude é registrada pela IMU. No que se refere a este último sensor, a sua utilização pode também seguir outras vertentes tais como apoio ao GNSS corrigindo o registro de ciclos soltos (descontínuos) e também sendo capaz de manter a navegação constante em situações que ocorra perda de sinal.

O modelo matemático envolvido na integração entre GNSS e IMU consiste no Filtro de Kalman que é utilizado como um modelo estimador ótimo e um compensador entre os erros provenientes da integração dos dois sensores (MOAFIPOOR *et al.*, 2004).

Para El-Sheimy (1993) o georreferenciamento direto aplicado aos dados LiDAR consiste em um problema de transformação tridimensional de um vetor de coordenadas (r^s) localizados no sensor para um vetor tridimensional (r^m) no espaço objeto.

A realização do georreferenciamento direto aplicada aos dados LiDAR é descrita por meio da Equação 3.1 que relaciona a posição tridimensional do sensor (r_s^m) no instante t , no espaço objeto (m), com a posição tridimensional de um objeto (i) no sensor (r_i^s).

$$r_i^m = r_s^m(t) + R_s^m(t)r_i^s \quad (3.1)$$

Onde:

$\mathbf{r}_i^m$ = refere-se na posição tridimensional de um objeto (i) no espaço objeto (m).

$\mathbf{r}_s^m(t)$ = refere-se posição tridimensional do sensor (s) no espaço objeto (m) no instante (t).

$\mathbf{R}_s^m(t)$ = refere-se a matriz de rotação entre o sensor (s) e o espaço objeto (m) no instante (t).

$\mathbf{r}_i^s$ = refere-se posição tridimensional de um objeto (i) no sensor (s).

A Equação 3.2 apresenta o cálculo envolvido para se determinar a posição de um objeto (i) no sensor LiDAR (s), que é calculado considerando o valor definido para o ângulo *Field of View* – FOV () e a distância (d) entre o sensor e o objeto perfilado.

$$\mathbf{r}_i^s = \begin{pmatrix} -d \cdot \sin \alpha \\ 0 \\ -d \cdot \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

A Equação 3.2 apresentada consiste em uma aproximação inicial pois a posição tridimensional final de um pulso laser no espaço objeto deve levar em consideração pequenas rotações e translações existentes entre os diferentes centros dos sensores: LiDAR, antena GNSS e do sistema IMU que em qualquer situação não são capazes de ocuparem a mesma posição no espaço. Diante do apresentado a equação do georreferenciamento direto pode ser reescrita considerando as ocorrências supracitadas (Equação 3.3).

$$\mathbf{r}_i^m = \mathbf{r}_{GNSS/IMU}^m(t) + \mathbf{R}_b^m(t) \mathbf{a}^b \quad (3.3)$$

Onde:

$\mathbf{r}_i^m$ = refere-se na posição tridimensional de um objeto (i) no espaço objeto (m).

$\mathbf{r}_{GNSS/IMU}^m(t)$ = refere-se posição tridimensional da integração entre os sensores GNSS e IMU ($GNSS/IMU$) no espaço objeto (m) no instante (t).

$R_s^m(t)$ = refere-se à matriz de rotação entre o sensor (s) e o espaço objeto (m) no instante (t).

a^b = refere-se constante vetorial entre o centro do sensor laser e o centro de localização da IMU, que na maioria das vezes é determinado antes da execução da missão.

3.1.2 Ajustamento entre as faixas de voo e refinamento planialtimétrico do modelo

Em um perfilamento LiDAR aerotransportado todo o recobrimento de uma determinada área é realizado por faixas de voo que se compõem umas com as outras por meio de uma sobreposição lateral que normalmente varia de 10% a 30%. Está sobreposição entre as faixas de voo se faz necessária para que não sejam evidenciadas áreas sem aquisição da informação (vazios).

A aquisição de cada uma das faixas de voo é realizada individualmente e sobre condições externas diferentes e até mesmo em dias alternados principalmente em grande áreas a serem serem recobertas.

A situação ideal para executar o perfilamento seria que todas as faixas de voo possuíssem uma ligação e um ajuste perfeito no momento da aquisição da nuvem de pontos porém, isto quase nunca é evidenciado, ou seja, sempre entre as faixas de voo (área de sobreposição lateral) é encontrada uma variação na ligação entre elas principalmente no que se refere à altimetria.

Esta variação não pode ser algo muito acentuado uma vez que esta ocorrência é devido a alguns fatores externos e internos tais como a situação no qual o voo foi realizado, o planejamento do voo, condições climáticas, variações morfológicas no terreno e principalmente a falta de calibração dos sensores integrados (TOTH, 2004).

A identificação da ocorrência do não ajustamento da ligação entre as faixas de voo é melhor evidenciada em áreas que possuam objetos com geometria definida tais como construções ou edificações. A Figura 15 apresenta um exemplo da ocorrência

de um não ajustamento na ligação entre faixas de perfilamento LiDAR (área de sobreposição) visualizados para uma edificação.

Figura 15 - Exemplo de um não ajustamento entre faixas de voo perfiladas vistas em uma área urbana

Fonte: TOTH e SHAN (2009).

A Figura 15 mostra que a edificação presente é recoberta por quatro faixas distintas de perfilamento e que entre elas existe uma descontinuidade no ajustamento da ligação (sobreposição), ocorrendo deslocamentos horizontais e verticais como se vê pela geometria desse objeto nas diferentes faixas voadas.

A correção dessa problemática se faz necessária e caso não seja realizada durante a elaboração dos produtos finais será evidenciada uma incoerência dos objetos tais como variação na altimetria (ocorrência de “degraus”) que podem ser visualmente identificados principalmente nas regiões de ligação entre as faixas.

Diante do apresentado é possível concluir que no processo de elaboração dos produtos LiDAR a etapa de análise e correção da ligação entre as faixas de voo deve ser realizada. Segundo Toth (2004) foram desenvolvidas algumas técnicas para o ajustamento entre as faixas de voo com o intuito de corrigir e/ou minimizar os problemas referentes a planimetria e a altimetria, sendo estas elencadas a seguir.

- Calibração ou co-registro;
- Observação das discrepâncias entre as faixas;
- Correção 3D ou correção vertical;

- Correspondência entre múltiplas superfícies;
- Deformação de faixa;
- Utilização de dados de intensidade;
- Processamento baseado em *grids*;
- Requisitos de espaço objeto;
- Utilização de pontos de controle no solo; e
- Métodos manuais ou automáticos.

Cada uma das técnicas supracitadas apresenta suas peculiaridades e conforme experiências observadas no tratamento de dados LiDAR pode-se dizer que a mais utilizada é a que utiliza métodos manuais em conjunto com métodos automáticos, por meio de utilização de pontos de controle horizontal e vertical coletados em campo com receptores GNSS.

A correção entre as faixas de voo utilizando a combinação de métodos manuais e automáticos tem como base a utilização de um perfil longitudinal realizado entre as faixas de voo e uma faixa cruzada com todas as outras, apresentando uma parte em comum com cada uma das faixas perfiladas. Por meio desse perfil são analisadas as variações presentes na sobreposição de cada faixa de voo. Sua premissa básica para a execução desta etapa consiste em tomar como referência a faixa cruzada e, a partir desta, realizar manualmente os ajustes das demais faixas subindo ou descendo cada uma destas até que todas se apresentem coincidentes (objetos em comum presente em cada faixa de voo) com a faixa tomada como referência. A Figura 16 ilustra o ajustamento vertical entre as faixas de voo realizado por meio do *software* LPMaster da empresa Trimble.

Pela Figura 16 tem-se que o perfil longitudinal na cor preta refere-se a faixa cruzada que apresenta sobreposição com todas as demais faixas do voo. Os perfis representados na cor verde e marrom compreendem em regiões em comum com a faixa cruzada. Nota-se que entre elas existe um deslocamento vertical efetivo que deve ser corrigido pela aplicação de um ajuste manual e/ou automático de modo com os três perfis sejam coincidentes. É importante dizer que a faixa de referência é fixada e a movimentação vertical realizada com as demais.

Figura 16 - Ajustamento vertical entre as faixas perfiladas realizadas por meio do *software* LPMaster

Fonte: O Autor.

A faixa de voo escolhida como sendo referência para ajuste das demais não está completamente isenta de erros os quais não são possíveis de determinar nem mesmo mensurá-los. Sabe-se que os erros presentes nesta, principalmente para a altimetria, são propagados para as demais faixas durante este procedimento.

Com o intuito de minimizar a propagação desses erros (sistemáticos e/ou acidentais) ocasionados pelo ajustamento entre as faixas após o ajuste, realiza-se uma correção automática que tem como base a utilização de uma amostra de pontos de controle vertical (PCV), rastreados em campo com receptor GNSS e localizados diretamente no chão (preferencialmente longe de objetos altos) sendo bem distribuídos sobre toda a área de interesse.

O procedimento é bastante simples e têm como princípio uma análise estatística dos resíduos obtidos pela diferença entre os pontos de controle vertical levantados em

campo com seu correspondente no modelo ajustado. Por meio da análise dessas discrepâncias é possível determinar o quanto a aquisição da informação e o ajustamento vertical realizado comprometeu a altimetria dos modelos tridimensionais obtidos. Para corrigir este deslocamento é necessário aplicar automaticamente um *offset* cujo valor é definido por meio da análise estatística realizada para a componente altimétrica do modelo tridimensional e os pontos de controle vertical (coletados com receptor GNSS em campo), minimizando assim os erros obtidos e distribuídos pelos processo supracitados. A Figura 17 apresenta um exemplo de um relatório estatístico emitido pelo *software* LPMaster que apresenta as discrepâncias encontradas entre os pontos de controle vertical e o modelo tridimensional gerado.

Outro ajuste a ser aplicado ao modelo consiste no refinamento de suas coordenadas planimétricas. Para executar esse processo é necessário rastrear em campo (com receptor GNSS) pontos que definem objetos com geometria regular e com diferença de altura em relação ao chão de modo com que estes sejam identificáveis na nuvem de pontos. O ajustamento planimétrico é realizado manualmente sendo necessário inicialmente identificar sobre a nuvem de pontos os polígonos das feições que foram gerados a partir dos pontos de controle horizontal e então, analisar o quanto o modelo se encontra deslocado em relação a estes. O ajuste é realizado movimentando o modelo tridimensional no sentido Este/Oeste e Norte/Sul até que ocorra a adaptação deste com os polígonos que representam as edificações. A Figura 18 ilustra parte do ajustamento planimétrico de um modelo tridimensional utilizando os polígonos dos objetos cujo pontos foram rastreados em campo por meio de técnicas geodésicas.

Figura 17 - Relatório estatístico das discrepâncias encontradas entre os PCV e o modelo tridimensional

```
# Trimble GmbH - DATE: Tue Jan 20 15:54:52 2015

# Consider only points lower +- 2.00

# -----
# COUNT    EAST    NORTH    Z_REF    Z_MODEL    delta    delta^2    inFile
# -----
1  581852.97  9669558.31  16.00  16.11  -0.11  0.0130
2  579391.58  9671907.05  21.29  21.40  -0.11  0.0117
3  581833.67  9671420.51  15.14  15.24  -0.10  0.0093
4  580046.90  9671942.22  20.87  20.96  -0.09  0.0086
5  581234.67  9671969.80  15.83  15.91  -0.08  0.0063
6  579149.57  9669814.29  16.47  16.55  -0.08  0.0059
7  579636.53  9672797.88  18.35  18.43  -0.08  0.0059
8  579821.00  9670692.55  20.27  20.33  -0.06  0.0039
9  579385.14  9670651.70  20.28  20.33  -0.05  0.0026
10 579132.81  9670255.99  20.43  20.47  -0.04  0.0020
11 580292.01  9669808.26  18.48  18.51  -0.04  0.0014
12 579395.41  9671288.68  20.60  20.63  -0.03  0.0009

# -----
# Number of reference points:    12 (inside tiles)

# Number of differences    :    12 100.00 %

# Middle deviation [m,ft,yd]:  -0.0170

# Min deviation            :  -0.1141

# Max deviation            :    0.0117

# Sum of delta^2           :    0.0732

# Mid err / rms [m,ft,yd] +/-  0.0368

# -----
```

Fonte: O Autor.

Figura 18 - Execução do ajustamento planimétrico do modelo tridimensional

Fonte: O Autor.

3.1.3 Classificação da nuvem de pontos

Finalizado o tratamento geométrico dos dados LiDAR, a próxima etapa consiste na classificação dos pontos sendo atribuídos aos mesmos informações referentes às classes que cada um representa. Durante a aquisição das informações em voo os pontos coletados são dispostos em duas classes distintas: Terreno e Não-Terreno. Para os objetos localizados na Superfície da Terra, tais como vegetação, edificação, torres, linhas de transmissão de energia, etc, são classificados como sendo Não-Terreno.

A correta classificação dos pontos da nuvem é muito importante pois por meio dela é possível realizar estudos inerentes aos objetos (principalmente vegetação e edificações) e também, realizar a filtragem da nuvem com alto grau de assertividade visando à elaboração de um Modelo Digital de Terreno representativo.

Pela convenção internacional definida pela *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS), toda a nuvem de pontos LiDAR pode ser apresentada no formato de arquivo LAS (LASer). Segundo a ASPRS (2016) o formato de arquivo LAS consiste em um tipo de arquivo binário e público para armazenamento e troca de informação entre usuários de dados tridimensionais. Ainda segundo a referida associação existem quatro versões para os arquivos LAS: **LAS 1.0**, **LAS 1.1**, **LAS 1.2**, **LAS 1.3** e **LAS 1.4**. A diferença fundamental entre as diferentes versões estão relacionadas com a capacidade, forma e o tipo de armazenamento da informação. Para fins elucidativos tem-se que os dados discretos podem estar dispostos em qualquer uma das versões porém, a informação do tipo *Full Waveform* (contínuo) é armazenado somente a partir da versão LAS 1.3.

Todo arquivo LAS deve conter informações de assinatura que caracterizam cada ponto da nuvem perfilada. A disposição destas em cada ponto irá depender da versão LAS em que se encontra o arquivo porém, em qualquer versão do arquivo LAS encontra-se as seguintes informações básicas:

- Coordenadas planialtimétricas associadas a um *Datum* de referência;
- Classificação do ponto em uma das classes dos objetos;
- Valor da intensidade de retorno;
- Valor do ângulo de incidência durante o perfilamento; e
- Tempo GPS.

A Figura 19 traz as informações dispostas em um arquivo LAS na versão 1.2 visualizadas por meio do *software Global Mapper 15.0*.

No que se refere às classes de atribuição de cada ponto em um arquivo LAS tem-se que as mesmas seguem o disposto pela ASPRS apresentadas na Tabela 5.

Figura 19 - Informações referentes a um ponto da nuvem no formato LAS 1.2

Feature Information

Name: <NO LABEL>

Feature Type: LIDAR, Building

Geometry: Point location: 290725.433 7472483.307 (l)

Map Name: UNICAMP_NP_009.las

Right click on an entry for more options (i.e. open URL, etc.)

Attribute	Value
ELEVATION	636.198
CLASS	6 (Building)
INTENSITY	669
SCAN_ANGLE	-13.0
RETURN_CNT	1
RETURN_NUM	1

Edit... Delete Location... Copy to Clipboard

Fonte: O Autor.

Tabela 5 - Codificação das classes de atribuição dos pontos da nuvem, de acordo com a ASPRS

Código de identificação da classe	Definição
0	Criado, nunca classificado
1	Não classificado
2	Terreno
3	Baixa vegetação
4	Média vegetação
5	Alta vegetação
6	Construções
7	Ponto baixo (ruído)
8	Ponto chave do modelo
9	Água
12	Sobreposição

Fonte: Traduzido de ASPRS.

Não existe um algoritmo único e padrão que seja utilizado para realizar a classificação dos pontos da nuvem. O que ocorre é que a implementação de um algoritmo deve ser capaz de realizar a correta classificação de um ponto à sua respectiva representação com alto grau de assertividade (ABDULLAH *et al.*, 2009).

Ainda pela Tabela 5 é possível notar que para a classe vegetação existem três variações (subclasses): alta, média e baixa vegetação. A atribuição de um ponto a uma dessas três subclasses deve ser realizada levando em consideração o conhecimento prévio do operador no que se refere ao(s) tipo(s) predominante de cobertura vegetal proeminente na área de interesse.

A atribuição correta dos pontos da nuvem às classes de vegetação é uma tarefa difícil de ser realizada, uma vez que conforme mencionado anteriormente é necessário conhecer características peculiares inerentes aos tipos de vegetação, tais como espécies predominantes, idade, tamanho, densidade e declividade do solo.

Se a classificação da vegetação não for correta, durante a filtragem dos pontos, pode haver a remoção de alguns pontos importantes que fazem parte do terreno e que por algum motivo foram classificados erroneamente. A maior dificuldade na classificação dos pontos de vegetação está atrelada aos pontos mais baixos localizados próximos a áreas de drenagem e corpos d'água pois, muitas vezes essas regiões estão fora do padrão da maior parte da área de interesse e os parâmetros estabelecidos podem não ser válidos para estas regiões.

A classificação dos pontos de terreno na maioria das vezes leva em consideração a variação da elevação baseando-se no tipo de relevo (plano, levemente inclinado, muito inclinado e etc). Se o relevo apresenta uma grande variação da topografia na área de interesse então os filtros para classificação precisam ser ótimos para quase toda a área.

Para fins elucidativos será descrito de maneira sucinta a rotina de classificação empregada pelo algoritmo Scop++ desenvolvido pela empresa Trimble.

Por meio dos arquivos LAS originais georreferenciados inicia-se o algoritmo de classificação. As etapas compreendidas pelo algoritmo de classificação Scop++ são descritas a seguir:

- 1 – Os pontos originalmente classificados como terreno continuam atribuídos a esta classe até serem avaliados novamente.
- 2 – Os pontos fora dos limiares computados para a superfície (pontos não considerados importantes) são agrupados na classe “criado, nunca classificado” salvo que estes pontos tenham sido classificados anteriormente em alguma edição. Caso eles já possuam uma classificação a mesma é preservada.
- 3 – Os pontos que foram eliminados pelo algoritmo em algum momento são classificados como “Edificação”.
- 4 – Pontos com grandes diferenças de alturas quando comparados com um valor que defina o padrão de “Alta Vegetação” serão atribuídos a esta classe.
- 5 – Para os pontos que apresentam diferenças de alturas entre os limiares definidos para a classe “Alta Vegetação” e “Média Vegetação” são classificados como “Média Vegetação”.
- 6 – Para os pontos que apresentam diferenças de alturas entre os limiares estabelecidos pelas classes “Média Vegetação” e “Baixa Vegetação” são atribuídos a classe “Média Vegetação”.
- 7 – Para os pontos com diferenças de alturas menores que o valor definido na classe “Abaixo MDT” são classificados como “Pontos Baixos – Ruídos”.
- 8 – Os pontos que restaram sem serem classificados serão atribuídos à classe “Terreno”.

É importante dizer que as classes de “Vegetação” e “Pontos Baixo – Ruídos”, utilizam como parâmetro as diferenças encontradas nas alturas dos pontos comparadas com um Modelo Digital de Terreno preliminar.

Outros algoritmos de classificação de nuvem de pontos podem ser desenvolvidos pelos usuários desde que ao final apresentem os padrões de classificação conforme o estabelecido pela ASPRS.

Para um maior aprofundamento referente aos algoritmos de classificação de pontos recomenda-se a leitura de Schmidt, Rottensteiner, Sörgel (2012) e Kim, Sohn (2011).

3.1.4 Interpolação do Modelo Digital de Superfície (MDS)

Jensen (2009) define Modelo Digital de Superfície (MDS) como sendo um Modelo Digital de Elevação (MDE) que contém informações de altitude do terreno e de todas as feições presentes tais como vegetação, edificações e outros objetos.

O Modelo Digital de Superfície pode ser considerado como sinônimo de Modelo Digital de Cobertura (MDC) que corresponde a um modelo tridimensional que representa o topo da superfície em uma perspectiva ortogonal (SCHENK; CSHATO, 2007).

Este produto LiDAR é largamente utilizado em diversas aplicações principalmente no segmento florestal contribuindo para estudos de biomassa, emissão de CO₂, volume de madeira e outros.

Diversos são os métodos empregados para realizar a interpolação dos pontos da nuvem visando produção do MDS e, o maior desafio encontrado está na elaboração do arquivo final *raster* no qual existe a preocupação de preencher com o valor coerente da altimetria a célula do arquivo a ser elaborado. Na seção seguinte serão descritos os principais métodos de interpolação encontrados na literatura que são utilizados para obter os Modelos Digitais de Superfície.

3.1.4.1 Algoritmos de interpolação utilizados para elaborar Modelos Digitais de Superfície

Existe uma variedade de modelos matemáticos que transformam uma amostra de pontos irregulares, distribuídos no espaço, em uma superfície tridimensional. Todos os pontos dessa amostra possuem um conjunto de coordenadas tridimensionais X, Y e Z os quais utilizam a componente Z para construção da superfície.

Todos os métodos de interpolação resultam em superfícies que apresentam uma acurácia menor que a nuvem de pontos original. A escolha do interpolador correto deve levar em consideração o tipo de análise que se deseja realizar sobre o Modelo Digital de Superfície e a densidade de pontos da amostra.

Na sequência serão descritos alguns dos principais algoritmos interpoladores apresentados em Renslow (2012).

Point to Raster: este método consiste na transformação de um atributo do(s) ponto(s) em uma superfície interpolada. Inicialmente os pontos são sobrepostos às células de um *grid* regular onde valor a ser atribuído a uma célula é definido pelo usuário. É possível que mais de um ponto esteja contido na célula do arquivo *raster* a ser constituído e para isso é necessário indicar ao algoritmo como será definido o valor de representação da célula. É possível optar pelo valor máximo, mínimo, média ponderada ou resultados estatísticos do conjunto de pontos presentes em cada célula. A Figura 20 ilustra um Modelo Digital de Superfície obtido pela interpolação do algoritmo *Point to Raster* que neste caso utilizou os valores mais frequentes presentes na célula do *raster*.

Figura 20 - Modelo Digital de Superfície obtido pelo interpolador *Point to Raster* para a região do shopping Dom Pedro

Fonte: O Autor.

Como pode ser evidenciado na Figura 20 este método apresenta uma desvantagem que consiste em não ser capaz de realizar o preenchimento das células do arquivo *raster* onde não houve coincidência de pontos da nuvem com as células do *grid*, gerando alguns vazios no modelo final.

Point – TIN – Raster: este método é o mais utilizado em *softwares* de topografia e geoprocessamento pois sua compilação apresenta uma grande eficiência de processamento. Inicialmente é gerada uma rede de triângulos irregulares (TIN) a partir de uma amostra de pontos distribuídos de maneira irregular (Figura 21) (PEUKER *et al.*, 1978).

Figura 21 - Rede de Triângulos Irregulares (TIN) elaborado para uma amostra de pontos LiDAR localizados na região do *shopping Dom Pedro*

Fonte: O Autor.

Para obter o arquivo *raster* nessa metodologia o algoritmo implementado sobrepõe o *grid* regular ao TIN obtido e por meio de uma equação linear, o valor da altimetria do TIN correspondente ao centro da célula é transferido para esta constituindo o

arquivo *raster* final. A Figura 22 apresenta o modelo tridimensional (*raster*) gerado pela sobreposição do *grid* regular ao TIN apresentado na Figura 21.

Figura 22 - Modelo Digital de Superfície obtido pelo interpolador *Point - TIN - Raster* para a região do shopping Dom Pedro

Fonte: O Autor.

Inverse Distance Weighted (IDW): o funcionamento deste algoritmo utilizado para a interpolação de superfícies apresenta como premissa fundamental uma amostra de pontos distribuídos aleatoriamente dentro de um raio definido cujo valor de representação de uma variável em uma célula de um arquivo *raster* é obtido por meio de uma ponderação matemática de um peso estimado para cada ponto dessa amostra que é determinado por uma simples razão da distância medida entre o ponto da amostra e a localização central na célula elevada a potência n que define a taxa exponencial de decaimento da influência dos pontos vizinhos. Um alto valor para n irá resultar uma superfície mais detalhada e menos suavizada. A Figura 23 ilustra um esquema de interpolação da variável z em uma célula de um arquivo

raster que utiliza para este procedimento, uma amostra significativa de pontos definidos a partir de um raio.

Figura 23 - Esquema gráfico que ilustra a definição do valor de uma variável a compor uma célula de um *raster*, utilizando o interpolador IDW

Fonte: O Autor.

Pela Figura 23 nota-se que o ponto na cor vermelha, localizado no centro da célula do arquivo *raster*, corresponde ao ponto que será utilizado para representação da variável no *raster* a ser constituído e os pontos na cor verde referem-se aos pontos amostrais que estão definidos dentro do raio de busca estabelecido e que serão utilizados para estimar o valor de representação da variável. Os pontos na cor amarela são os pontos que ficaram fora da janela de busca (raio definido) logo não sendo utilizados pelo algoritmo. As Equações 3.4 e 3.5 definem a função matemática empregada pelo algoritmo IDW conforme visto em Longley *et al.* (2013).

$$z(x,y) = \sum_i w_i z_i / \sum_i w_i \quad (3.4)$$

$$w_i = \frac{1}{d_i^n} \quad (3.5)$$

Onde:

$z(x)$ = valor a ser determinado para a variável de interesse localizada no centro da célula do arquivo *raster*.

z_i = valor da variável de interesse para o ponto i da amostra.

w_i = valor do peso atribuído ao ponto i da amostra.

d_i = distância entre o ponto i da amostra com variável conhecida até a localização do centro da célula do *raster*.

n = potência que define a taxa exponencial de decaimento.

A ponderação matemática realizada pelo algoritmo IDW oferece uma forma simples de estimar valores de um campo contínuo para locais onde não se existe medições disponíveis (LONGLEY *et al.*, 2013).

Utilizar este método de interpolação possibilita ao usuário estabelecer alguns parâmetros tais como a quantidade de pontos da amostra e também a máxima distância de busca bem como o fator de peso a ser atribuído para a média. Em algumas implementações deste algoritmo também é possível utilizar linhas de quebra (*breaklines*) em regiões de corpos d'água ou com geomorfologia definida (HEIDMANN *et al.*, 2009).

Ainda segundo Heidmann *et al.* (2009) o sucesso da interpolação pelo método IDW está diretamente relacionado com a quantidade de pontos presentes na amostra sendo que quanto mais pontos considerados melhor a interpolação final.

A Figura 24 apresenta uma parte de um Modelo Digital de Superfície gerado a partir do interpolador IDW.

Figura 24 - Modelo Digital de Superfície obtido pela interpolador IDW para a região do *shopping Dom Pedro*

Fonte: O Autor.

Natural Neighbors: também conhecido como interpolador SIBSON ou *AREA-STEALING*, este método tem como fundamentação o diagrama de *Voronoy* gerado a partir dos dados de entrada (nuvem de pontos) e constituindo células que apresentam um ponto em sua porção central.

Esse método de interpolação utiliza a triangulação de Delaunay e o diagrama de Voronoi para encontrar a melhor vizinhança e assim realizar a interpolação da variável para um determinado ponto. Em seu processo é obtido o ponto mais próximo ou geometricamente mais conveniente em todas as direções. Uma subamostra e o ponto cuja variável irá ser determinada formam os vértices dos triângulos considerando como se esse ponto estivesse introduzido na triangulação. É importante dizer que esse interpolador considera um esquema de pesos que são aplicados tendo como princípio a quantidade de área que irá constituir o conjunto

dos polígonos de Voronoi formados pela subamostra sendo considerado como se o ponto cujo atributo estivesse sendo introduzido.

Esse interpolador é capaz de gerar uma superfície baseada em medidas de localização e longo da superfície gerada pelos polígonos. Também é possível estimar valores mais apropriados para múltiplos parâmetros. O modelo tridimensional obtido apresenta-se próximo da realidade e bastante natural quando a densidade de pontos estiver próxima da resolução espacial escolhida para representar a superfície de interesse.

Neste interpolador quando se tem pontos muito espaçados e com pouca densidade a superfície final pode vir a apresentar algumas anomalias e também, assim como o interpolador *Point-TIN-Raster*, pode constituir células vazias.

Estudos realizados por Galvanin e Poz (2012) mostraram que este método não se apresenta eficiente para áreas urbanas que possuem telhados com duas águas. Para estes objetos a interpolação final, apesar de apresentar uma boa definição, apresentou um efeito de serrilhado ao longo das bordas. A Figura 25 ilustra parte de um Modelo Digital de Superfície interpolado por meio do algoritmo *Natural Neighbors*.

Figura 25 - Modelo Digital de Superfície obtido pelo interpolador *Natural Neighbors* para a região do shopping Dom Pedro

Fonte: O Autor.

Spline: o método de interpolação *Spline* é capaz de produzir uma superfície que considera todos os pontos da amostra enquanto minimiza a curvatura da superfície. Outra particularidade deste algoritmo está relacionada ao fato de que em regiões com espaços vazios e/ou pontos esparsos na nuvem o modelo final não apresenta um bom comportamento.

Em alguns *softwares* de geoprocessamento é possível encontrar uma variação deste método. A variação *Spline with Barriers* possibilita ao usuário utilizar linhas de quebra (*breaklines*) na interpolação da superfície. A Figura 26 traz um exemplo de um Modelo Digital de Superfície obtido pelo interpolador *Spline*.

Figura 26 - Modelo Digital de Superfície obtido pelo interpolado *Spline* para a região do shopping Dom Pedro

Fonte: O Autor.

ANUDEM (Esri Topo to Raster): este método pode ser considerado uma variação do interpolador *Spline*. Segundo Hutchinson (2011) o método de interpolação *ANUDEM* foi desenvolvido para converter curvas de nível e dados hidrológicos em um *raster* de hidrografia. Este interpolador foi concebido antes da existência de dados LiDAR, que possuem uma alta densidade de pontos e por meio dele é possível conseguir bons resultados quando se possui dados esparsos. Por se tratar de um interpolador com grande eficiência, pesquisadores têm trabalhado no aprimoramento de seu algoritmo de modo com que possa apresentar bons resultados com uma alta densidade de pontos e amostras agrupadas.

Krigagem: consiste em um método de interpolação bastante robusto que é muito utilizado para gerar superfícies a partir de dados geoestatísticos. Na maioria dos casos não se apresenta como um bom interpolador de superfícies topográficas, principalmente com as que foram adquiridas por meio do sistema LiDAR uma vez

que se tem uma grande quantidade de pontos e estes se encontram bastante agrupados.

Por meio de alguns dos Modelos Digitais de Superfície elaborados nos exemplos supracitados e utilizando cada um dos métodos de interpolação mencionados realizou-se uma análise do comportamento da altimetria para os diferentes métodos interpoladores. O objetivo deste teste consiste em verificar se existe a influência do interpolador na componente altimétrica dos modelos apresentando uma alteração de seus valores. Para realizar este teste, estabeleceu-se ao longo da área considerada, uma amostra de 10 pontos aleatórios e bem distribuídos porém com a mesma localização em cada um dos diferentes modelos e dispostos sobre área de vegetação e terreno. Para cada Modelo Digital de Superfície gerado a partir de alguns dos métodos de interpolação supracitados obtiveram-se os valores das coordenadas planimétricas e altimetrias dos pontos testados sendo estes apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Altimetrias extraídas dos modelos tridimensionais obtidos pelos diferentes interpoladores

Pto	E (m)	N (m)	Point to Raster	Point - TIN - Raster	IDW	Nat.Neighbors	Spline
1	288209,268	7472891,253	646,700	646,557	646,670	646,658	646,612
2	288448,020	7472903,265	659,219	659,146	659,198	659,122	659,086
3	288646,230	7472892,754	666,289	666,269	666,273	666,274	666,303
4	288970,576	7472858,978	642,429	642,527	642,429	642,446	642,407
5	288617,700	7472696,046	650,690	650,211	650,640	650,531	649,939
6	288767,858	7472539,882	635,030	636,413	635,193	634,563	635,987
7	288632,715	7472412,247	629,429	629,413	629,379	629,444	629,377
8	288393,963	7472373,206	632,989	633,021	633,028	633,011	633,458
9	289006,610	7472395,729	646,510	646,523	646,517	646,501	647,128
10	288236,297	7472572,916	625,669	626,222	626,240	626,501	625,192

Fonte: O Autor.

Através de uma análise realizada sobre a Tabela 6 é possível verificar que os algoritmos interpoladores acima descritos mostram uma influenciaram na componente

altimétrica dos modelos tridimensionais sendo possível verificar pela variação dos valores encontrados para esta componente em cada um dos modelos analisados e oriundos de diferentes métodos de interpolação. Como estes pontos não possuem valor altimétrico conhecido *a priori* (verdade de campo) não é possível mensurar qual interpolador apresenta maior influência na componente altimétrica durante o processo de rasterização.

A Tabela 7 apresenta alguns valores estatísticos (média e desvios padrão) obtidos para cada um dos pontos nos diferentes interpoladores.

Tabela 7 - Valores para média e desvios padrões obtidos nos diferentes interpoladores

Ponto	Média	Desvio Padrão
1	646,639	0,056
2	659,154	0,054
3	666,282	0,014
4	642,448	0,046
5	650,402	0,319
6	635,437	0,749
7	629,408	0,030
8	633,101	0,200
9	646,636	0,275
10	625,965	0,528

Fonte: O Autor.

Fazendo uma média dos desvios padrão encontrados na Tabela 7 obtém-se o valor de 0,227 m que indica o valor da influência dos diferentes interpoladores na componente altimétrica dos Modelos Digitais de Superfície.

É deixado como sugestão a realização deste mesmo experimento utilizando uma amostra de pontos significativos (maior quantidade) e que seus valores altimétricos sejam conhecidos *a priori* (por meio de técnicas de rastreamento de campo de alta precisão) e que também seja possível explorar melhor os interpoladores e suas variações para nuvens de pontos com alta densidade.

3.1.5 Filtro para elaboração do Modelo Digital de Terreno (MDT)

O Modelo Digital de Terreno (MDT) compreende em um modelo tridimensional obtido por meio da interpolação das informações altimétricas (componente Z) de pontos localizados sobre o terreno e que representam a topografia.

Para El-Sheimy *et al.* (2005) o Modelo Digital de Terreno consiste em uma função contínua de um mapa 2D onde uma posição planimétrica apresenta uma correspondência de elevação do terreno ($z = f(x, y)$).

Na literatura também é encontrada a designação Modelo Digital de Elevação (MDE) para se referir também ao modelo tridimensional gerado a partir de pontos ao nível do terreno.

Por mais que ambas as designações apresentadas façam referência ao mesmo tipo de superfície existe uma diferença peculiar entre elas principalmente no que se refere à maneira pelo qual são elaboradas. Para Shan e Thoth (2009) a diferença entre o MDT e MDE está relacionado ao fato de que o primeiro utiliza linhas de quebra (*breaklines*) e/ou outras feições topográficos na sua elaboração ao passo que o segundo não.

Utilizar ou não as *breaklines* no processo de interpolação implica em se obter modelos com aspectos diferenciados no que concerne aos níveis de precisão, detalhamento e qualidade morfológica (MANDLBURGER, 2006).

Para obter um Modelo Digital de Terreno é fundamental que se possua uma quantidade de pontos considerável no terreno o que é um tanto quanto difícil em áreas que possuem cobertura vegetal ou outros obstáculos. Para áreas com densa cobertura vegetal a maioria dos pontos perfilados refere-se ao dossel, sendo poucos pontos que atingem no terreno (JENSEN, 2009).

A metodologia empregada para elaborar um Modelo Digital de Terreno, pode ser dividida basicamente em duas etapas: Filtragem Semi-Automática da Nuvem de Pontos LiDAR e Edição Manual da Nuvem de Pontos Filtrados (LEONARD, 2005).

Ainda segundo Leonard (2005), para as regiões da superfície da Terra que existem cobertura vegetal e outros objetos localizados sobre o terreno, é fundamental utilizar-se de técnicas computacionais e algoritmos eficientes para remover substancialmente os pontos da nuvem que não correspondem ao terreno. De acordo

com esse autor, para um experimento realizado, são removidos cerca de 90% a 98% dos pontos da nuvem. Todos os algoritmos utilizados para filtragem devem examinar cada ponto da nuvem individualmente bem como suas características de elevação associadas aos seus n vizinhos mais próximos e que ao final do processo consiga identificar os seguintes pontos:

- a) Pontos pertencentes à superfície desnuda do terreno;
- b) Pontos que se caracterizam como vegetação esparsa;
- c) Vegetação de grande porte; e
- d) Estruturas feitas pelo homem.

Toda a filtragem de pontos não é totalmente eficiente sendo necessário realizar uma avaliação do resultado pelo operador e caso seja necessário realizar edições manualmente. Para a execução desta tarefa é fundamental que o analista seja devidamente treinado e sagaz no que tange a interpretação visual. Por meio de padrões visuais estabelecidos este deve ser capaz de identificar e remover pontos classificados erroneamente como terreno e que interferem na constituição do Modelo Digital de Terreno. Muitas das vezes a edição manual é realizada com recurso de visualização 3D e também pode contar com o auxílio de outros produtos geoespaciais tais como ortofotos e/ou imagens de satélites. A Figura 29 ilustra parte de um modelo tridimensional sendo editado com recurso de visualização 3D executado por meio do *software* Inpho da empresa Trimble.

Atualmente existe uma série de filtros de nuvem de pontos que se embasam no princípio supracitado e que serão melhores descritos no item 3.1.5.1 desta dissertação.

Figura 27 - Edição 3D de um Modelo Digital de Terreno

Fonte: O Autor.

Pela análise da Figura 27 nota-se que durante a filtragem dos pontos da nuvem, restaram alguns pontos que não pertencem ao terreno (destacados na cor vermelha da imagem localizada a esquerda da Figura 27) e que caso não sejam removidos irão interferir no Modelo Digital de Terreno.

3.1.5.1 Algoritmos de filtragem da Nuvem de Pontos

Diante do apresentado até o momento o Modelo Digital de Terreno é obtido por meio de uma interpolação aplicada sobre os pontos da nuvem que representam a topografia do terreno sendo necessário separar na nuvem original estes pontos dos demais. É necessário aplicar uma filtragem na nuvem original de modo que seja possível obter um conjunto de pontos que represente apenas o terreno sendo eliminados os pontos que caracterizam os objetos localizados acima deste.

Na literatura encontra-se a descrição de seis filtros que realizam satisfatoriamente esta tarefa porém, dois destes são mais utilizados devido a sua eficiência na separação e remoção dos pontos bem como também pela rapidez computacional.

Conforme encontrado em Shan e Thoth (2009) os principais algoritmos de filtragem utilizados são:

- Rasterização;
- Filtro Simples;
- Filtro Morfológico;
- Densificação Progressiva;
- Filtro Baseado em Superfície; e
- Filtro Baseado em Segmentação.

Ainda segundo os autores os dois filtros mais empregados e que serão descritos com detalhes nessa dissertação são o Filtro Morfológico e o Filtro Baseado em Superfície.

Antes de apresentar a abordagem desenvolvida em cada um dos dois filtros é necessário realizar uma caracterização da problemática o que implica na separação dos objetos em uma nuvem de pontos, e também algumas ponderações referentes às regras de filtragem estabelecidas (PFEIFER, 2005; MANDLBURGER, 2006).

Qualquer ponto da nuvem é definido em um espaço tridimensional: $p_i = (x_i, y_i, z_i) \in R^3, i = 1, \dots, n$. Em cada um destes pontos podem ser encontrados alguns atributos a_i , tais como: número do eco ou pulso (primeiro, intermediário ou último), medida de intensidade (amplitude de retorno), cor RGB obtida pela fusão com uma imagem digital, valor *Full Waveform* ou mesmo a sua precisão altimétrica. Do conjunto de pontos p_i que se encontram localizados sobre o terreno é possível verificar suas precisões e então definir um subconjunto dos pontos localizados no terreno $P_T (P_T \subseteq P)$.

Em qualquer algoritmo de filtragem utilizado o objetivo é separar o conjunto P_T , o que não é trivial de se realizar devido a três fatores inerentes:

- Alguns objetos localizam-se próximo ao terreno (baixa vegetação) e podem apresentar características geométricas semelhantes aos pontos localizados no terreno. Com isso utilizar um critério de separação entre eles baseado na análise de vizinhança dos pontos p_i , pode trazer falhas em sua separação

sendo passível de que alguns pontos de vegetação (baixa) sejam atribuídos como pontos pertencentes ao terreno.

- Os atributos a_i de cada ponto não podem ser utilizados na separação dos pontos de terreno e não terreno especialmente quando se tem múltiplos retornos pois nem sempre o último retorno pode ser oriundo de uma reflexão no terreno. Em um ambiente de floresta densa muitas vezes a cobertura vegetal impede que alguns pulsos atinjam ao nível de terreno sendo estes últimos retornos oriundos de uma baixa vegetação. Outra consideração refere-se que os últimos retornos são oriundos de um multicaminhamento o que caracteriza um ruído na amostra de pontos.
- A interpretação humana quando realizada sobre uma Nuvem de Pontos ou um Modelo Digital de Superfície pode ser considerada como um processo totalmente efetivo na separação entre os pontos, porém esta interpretação é impossível de ser modelada em um algoritmo computacional.

3.1.5.1.1 Filtro Morfológico

A matemática morfológica compreende em um conjunto de operações baseadas em teorias de conjuntos que é utilizada para extrair objetos em uma imagem (CHEN *et al.*, 2003). Esta lógica apresenta duas operações fundamentais: dilatação e erosão as quais são capazes de aumentar ou diminuir o tamanho das feições em imagens binárias.

Para Chen *et al.* (2003) o conceito de erosão e dilatação podem ser combinados e aplicadas no início ou encerramento de operações morfológicas com o intuito de encontrar valores de mínimos ou máximos para *pixels* em um arquivo/ imagem *raster*. Estes conceitos podem ser estendidos em análises de superfícies contínuas tais como em um Modelo Digital de Superfície.

No filtro morfológico existe um elemento importante denominado de Elemento Estrutural ($\Delta h_{max}(d)$) que é responsável em descrever uma função referente às diferenças das alturas admissíveis em relação a uma dada distância horizontal (d),

atribuída à operação de erosão. A Equação 3.6 descreve o cálculo da distância horizontal (d) entre dois pontos.

$$d_{(p_i p_k)} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 - (y_i - y_k)^2} \quad (3.6)$$

Inicialmente é encontrada a menor distância entre os pontos do terreno e os pontos da vizinhança e conseqüentemente as diferenças de alturas entre eles. É importante que sejam consideradas admissíveis as menores diferenças de altura encontradas.

O elemento estrutural é posicionado em cada ponto do conjunto classificado como pertencente ao terreno se uma ou mais diferenças de altura, quando comparadas com seus vizinhos, estiverem acima da diferença de altura considerada. Este elemento apresenta um efeito acima da máxima distância (d_{max}) contudo, a definição da vizinhança é importante para o ponto testado. Segundo estudos realizados por Vosselman (2000) o valor ideal utilizado para d_{max} está na ordem de 10 m.

Para se determinar o elemento estrutural deve-se conhecer previamente algumas variáveis: a máxima declividade do terreno encontrada na área bem como a precisão altimétrica dos pontos perfilados (Equação 3.7).

$$\Delta h_{max}(d) = \sqrt{2}\sigma_z + d \tan(\gamma), \quad d \leq d_{max} \quad (3.7)$$

Onde:

$\sqrt{2}\sigma_z$ = precisão da diferença de altura entre dois pontos.

$\tan(\gamma)$ = máxima declividade encontrada na área total.

De acordo com Vosselman (2000) após a análise de cada ponto do conjunto por meio do elemento estrutural é possível encontrar um subconjunto de pontos que são pertencentes exclusivamente ao terreno por meio da condição matemática apresentada pela Equação 3.8.

$$\mathbf{P}_T = \{p_i \in \mathbf{P} / \forall p_k \in \mathbf{P}: z_i - z_k \leq \Delta h_{max}(d_{ik})\}, d_{ik} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2} \quad (3.8)$$

Antes de executar o filtro morfológico é importante treinar o elemento estrutural de modo a diminuir a possibilidade da ocorrência da omissão de erros. Este treinamento é executado estabelecendo correlações entre pontos classificados como terreno e os pontos classificados como vegetação. Durante este processo são consideradas as diferenças entre as alturas dos pontos nas diferentes classes encontradas (VOSSELMAN, 2000).

Para encontrar o valor final do elemento estrutural sugere-se a utilização da média dos valores obtidos para elementos estruturais determinados entre os pontos de terreno e os pontos classificados como vegetação.

É importante dizer que podem existir variações na utilização do filtro morfológico, uma vez que é possível aplicar rotações ao elemento estrutural realizadas devido as inclinações do terreno. Este procedimento é recomendado para áreas íngremes onde são encontradas grandes diferenças de altitude (SITHOLE, 2001).

3.1.5.1.2 Filtro Baseado em Superfície

Este filtro traz como premissa fundamental a reconstrução da superfície por meio de pontos que pertencem exclusivamente ao terreno sendo que então devem ser removidos todos os pontos que não se enquadram a esta condição. Um modelo geral da superfície $s_l(x, y)$ é construído por meio de um processo iterativo do Modelo Digital de Terreno ($MDT(x, y)$) sendo que neste caso o elemento l compreende ao índice da iteração.

A descrição abordada compreende no método desenvolvido por Kraus e Pfeifer (1998) que é conhecido como interpolação robusta dos pontos de terreno e pontos de vegetação.

Neste método a interpolação linear dos mínimos quadrados é utilizada para descrever a superfície por meio da covariância $C(p_i, p_k)$ com uma variável planimétrica de distância e comportamento estocástico do terreno (Equação 3.9).

$$C(p_i, p_k) = C(o) e^{-d(p_i, p_k)^2 / c^2} \quad (3.9)$$

Os parâmetros c e $C(o)$ são obtidos por meio dos próprios dados porém a sua estimativa depende do tipo de terreno (KRAUS; PFEIFER, 1997).

A função de covariância é utilizada para definir um sistema de equações que computam a altura z de um ponto $p = (x, y, z)$ do conjunto total de pontos. Por meio de um ajustamento plano (aproximação polinomial de baixa ordem) aplicadas a todos os pontos é possível remover alguma tendência nos dados. A determinação do ajustamento plano é apresentada por meio da Equação 3.10 e os parâmetros c e C pelas Equações 3.11 e 3.12, respectivamente.

$$z(x, y) = \mathbf{c}^T \mathbf{C}^{-1} \mathbf{z} \quad (3.10)$$

$$\mathbf{c} = (C(p, p_1), \dots, C(p, p_n))^T, \mathbf{z} = (z_1, \dots, z_n)^T \quad (3.11)$$

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} V_{zzp1} & C(p_1, p_2) & \dots & C(p_1, p_n) \\ C(p_1, p_2) & V_{zzp2} & \ddots & C(p_2, p_n) \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ C(p_1, p_n) & C(p_2, p_n) & \dots & V_{zzpn} \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

Na interpolação linear realizada pelo método dos mínimos quadrados apresentados por Kraus e Mikhail (1972), a superfície não passa exatamente sobre os pontos considerados porém este modelo é capaz de eliminar os erros randômicos. Neste modelo o residual de cada ponto pode é determinado pela Equação 3.13.

$$r_i = z_i - z(x_i, y_i) \quad (3.13)$$

A filtragem dos pontos está fortemente relacionada como o valor da variância V_{zzpi} apresentada na diagonal principal da matriz $\mathbf{C}$ (Equação 3.12). No que se refere à

matriz das variâncias os altos valores apresentam grandes valores de filtros e o inverso faz com que a interpolação da superfície passe estritamente pelos pontos.

Os elementos da diagonal principal da matriz C (V_{zzpi}) são calculados em relação a variância encontrada na medida vertical bem como um peso w_i atribuído. A Equação 3.14 apresenta o cálculo da variância V_{zzpi} .

$$V_{zzpi} = \frac{\sigma_z^2}{w_i} + C(0) \quad (3.14)$$

No que se refere aos pesos w_i considerados tem-se que para os pontos mais acurados o peso é maior e este vai diminuindo a medida que são encontrados pontos menos acurados. Para os pontos mais acurados a diferença entre a variância V_{zzpi} e o parâmetro $C(0)$ (Equação 3.15) consiste na própria variância da medida vertical σ_z^2 que na prática é possível encontrar valores compreendidos na ordem de ± 10 e ± 30 cm.

$$V_{zzpi} - C(0) = \sigma_z^2 \quad (3.15)$$

Os pesos w_i a serem utilizados na Equação 3.14 são determinados de maneira iterativa onde na primeira iteração todos os pontos considerados apresentam o mesmo valor de peso, ou seja, $w_i = 1$ assim, todos os pontos têm a mesma influência na constituição da superfície. Os valores dos residuais r_i são computados e apresentam uma distribuição assimétrica podendo ser evidenciados conjuntos com valores negativos que correspondem a pontos abaixo da superfície. Os pontos classificados como vegetação não integram um agrupamento definido pois eles não estão necessariamente no topo da cobertura do dossel uma vez que existem diferentes camadas de vegetação com diferentes níveis de alturas.

Kock (1999) apresentou uma estimativa robusta no qual uma função de pesos foi utilizada na observação de grandes residuais encontrados presumindo grandes erros. Esta performance também é iterativa e as observações que apresentam altos valores de resíduos na primeira passagem se adaptam bem no modelo. As

observações que não se ajustam ao modelo e que apresentam pesos mais baixos e inferiores em cada iteração são descartadas.

A função peso deve atender propriedade fundamental que consiste em atribuir diferentes pesos aos pontos de terreno (peso = 1) e aos pontos considerados como baixa vegetação. Estas propriedades podem ser definidas por meio de uma função simétrica de pesos que é apresentada pela Equação 3.16.

$$w(r) = \begin{cases} r < g & : & 1 \\ g \leq r \leq g + h & : & \frac{1}{1 + (a(r - g))^b} \\ r > g + h & : & 0 \end{cases} \quad (3.16)$$

Por meio do peso w são obtidos os valores para as novas variâncias V_{zzpi} de cada ponto da nuvem. Pontos com grandes valores de variância possuem um baixo valor para os pesos que por consequência apresentam menor influência na constituição da superfície que neste caso, apresenta uma maior atração para pontos com altos valores de pesos. Como o processo é iterativo aos pontos de vegetação são atribuídos pesos com valor baixo.

Os parâmetros a e b presentes na Equação 3.16 estabelecem a velocidade no qual a função peso irá tender a zero considerando que o parâmetro g determina onde o processo se inicia. O parâmetro h está relacionado com a exclusão de pontos (vegetação) a partir do sistema de equações. Na prática tem-se que são adotados os seguintes valores os quais apresentam bons resultados (PFEIFER, 2005).

$$a = 2 \text{ m}^{-1}$$

$$b = 2 \text{ m}$$

$$h = 5 \text{ m}$$

Diante do apresentado pode-se deduzir que os pontos com residuais de 0,50 m e que estão acima do valor de g adquirem o peso igual a 0,50 e, aqueles com um residual igual a 5 m e que estão acima de g são ignorados. Segundo Kraus e Pfeifer (1998) o valor atribuído ao parâmetro g é estimado por meio de seus próprios residuais.

3.1.6 Interpolação da Imagem de Intensidade

O valor de intensidade presente nos dados LAS refere-se a uma informação associada a cada ponto da nuvem que foi registrada a partir da interação deste com cada objeto durante o perfilamento LiDAR.

A intensidade registrada não corresponde à interação dos ecos que retornaram de todos os pulsos mas apenas aos valores máximos ocorridos (BALTSAVIAS, 1999).

A intensidade é uma característica marcante de alguns sistemas de perfilamento e que está relacionada com a capacidade do registro da reflectância dos objetos que são disponibilizados sob a forma de intensidade de retorno dos pulsos ao sistema e seus valores podem variar de acordo com distância do alvo, o ângulo de incidência e a dispersão atmosférica (JENSEN, 2009; GALVANIN; POZ, 2012).

Em um perfilamento LiDAR é possível verificar interferências que refletem no registro da intensidade, ou seja, em uma mesma área, cujos dados foram adquiridos em dias e condições adversas, o produto gerado a partir deste atributo pode apresentar distorções em suas representações o que pode vir a dificultar análises interpretativas e aplicação de técnicas de processamento digital de imagens (LEONARD, 2005). A Figura 28 traz uma imagem de intensidade que apresenta, para uma mesma área, diferenças acentuadas nos valores registrados (triângulo mais escuro) devido a uma das faixas de voo ter sido adquirida algum tempo depois do perfilamento das demais.

É comum pensar que devido ao laser operar com a luz na faixa de frequência do infravermelho próximo do espectro eletromagnético o valor de intensidade para cada ponto coletado tenha um efeito bastante similar ao da reflectância no sensoriamento remoto óptico no espectro do Infravermelho próximo porém isso não ocorre. A Figura 29 extraída de Jensen (2009) apresenta uma análise bastante interessante do comportamento da intensidade em alguns objetos.

Figura 28 -Imagem de Intensidade gerada a partir de diferentes valores de registro da Intensidade

Fonte: O Autor.

Figura 29 - Análise do comportamento da intensidade em diferentes objetos

Fonte: Jensen (2009).

A imagem localizada a esquerda corresponde a um Modelo Digital da Superfície ao passo que a da direita apresenta uma imagem de intensidade, ambas representando a mesma área e foram elaboradas considerando apenas os primeiros ecos. Por meio da imagem de intensidade é possível notar que esta contém muitos objetos detalhados assemelhando-se a uma fotografia pancromática porém é possível observar que alguns objetos apresentam comportamentos peculiares quando comparamos esta imagem a uma imagem preto e branco no infravermelho próximo.

Na área de cobertura vegetal indicada pela letra “a”, que compreende uma floresta madura com relevo substancial, quando visto na imagem da esquerda (MDS) nota-se que esta é caracterizada por um brilho em sua representação o que na imagem de intensidade apresenta com um aspecto bastante escuro.

Comparando as áreas com maior brilho na imagem de intensidade e delimitadas pelo polígono indicado pela letra “c” nota-se que a metade superior dos três terraços experimentais foi limpa e plantada com uma espécie de grama. Estas áreas não apresentam biomassa como o identificado em “a” e “b” porém elas apresentam um brilho de retorno muito alto na imagem de intensidade.

Diante desta rápida reflexão apresentada em Jensen (2009) observa-se que quando os pulsos LiDAR encontram árvores (esparsas ou não) o espalhamento volumétrico evidenciado no dossel reduz substancialmente a quantidade de energia espalhada em direção ao receptor do sensor. Este seria o principal motivo pelo qual as árvores aparecem escuras na imagem de intensidade e em contrapartida, os pulsos que encontram o gramado natural (“b” e “c”) não são absorvidos ou espalhados na direção oposta aos ecos emitidos apresentando fortes retornos que se misturaram às áreas de gramíneas com solo exposto, ocasionando um maior brilho do objeto na imagem de intensidade.

Nas áreas edificadas também verifica-se um alto valor de brilho em sua representação na imagem de intensidade. Este fato se deve a ocorrência de um maior espalhamento do pulso laser incidente e também a relação existente entre intensidade e o material constituinte da superfície da edificação.

Uma observação no que concerne a imagem de intensidade apontada por Leonard (2005) diz respeito ao fato de que na execução de um perfilamento em uma única linha de voo a distância e o ângulo de incidência apresentam interferência nos valores de intensidade. Se o espelho de varredura se movimentar do nadir até o limite estabelecido pelo FOV tem-se um aumento significativo da quantidade de energia refletida para fora da ótica do receptor. Com isso pode-se inferir que os valores de registro da intensidade diminuem quando se afastam do nadir e, no que se refere à distância entre o alvo e o sensor, quanto menores forem às distâncias entre eles maiores os valores de intensidade registrados sendo menor a perda do sinal na atmosfera.

No que se refere a elaboração da imagem de intensidade, como o seu valor é encontrado na forma de atributo do arquivo LAS, basta utilizar algum algoritmo dentre os apresentados na seção 3.1.4.1 que refere-se aos diferentes métodos interpoladores de superfície.

Assim como o Modelo Digital de Superfície recomenda-se que a imagem de intensidade seja gerada a partir dos primeiros ecos, desta maneira o resultado final não apresenta influência de outros objetos (localizados em outros níveis de altura) como o que pode ocorrer principalmente em áreas de vegetação.

A Figura 30 apresenta uma imagem de intensidade com resolução espacial de 1,0 m e resolução radiométrica de 8 bits compilada por meio do interpolador IDW.

Figura 30 -Imagem de Intensidade obtida pelo interpolador IDW para a região do *shopping Dom Pedro*

Fonte: O Autor.

3.1.7 Modelo Digital de Superfície Normalizada (MDS_N): definição

O Modelo Digital de Superfície Normalizada compreende em um modelo de superfície que conceitualmente pode ser definido como o resultado de uma subtração realizada entre o Modelo Digital de Superfície e o Modelo Digital de Terreno. O resultado desta operação é um modelo tridimensional que visualmente se assemelha ao Modelo Digital de Superfície porém, todos os objetos presentes apresentam os seus valores de altura e não de altitude conforme encontrado no Modelo Digital de Superfície. A Figura 31 ilustra uma representação gráfica das três superfícies tridimensionais: Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital de Terreno (MDT) e Modelo Digital de Superfície Normalizada (MDS_N).

Figura 31 - Definição do Modelo Digital de Superfície Normalizada

Fonte: Adaptado de Mayer (2004).

O Modelo Digital de Superfície Normalizada quando utilizado em conjunto com dados oriundos de outras fontes possibilita ao usuário realizar análises principalmente no contexto urbano e florestal as quais são capazes de identificar a

quantidade de pavimentos das edificações e também auxiliar no monitoramento do crescimento de florestas por meio de análises temporais. A Figura 32 apresenta para uma mesma região, o Modelo Digital de Superfície Normalizada (Esquerda) e o Modelo Digital de Superfície (Direita).

Pela análise realizada na Figura 32 nota-se que existem dois pontos definidos na mesma posição em ambos os modelos. O ponto P01 localizado diretamente no terreno do Modelo Digital de Superfície Normalizada encontra-se com o valor de altura igual a 0,00 m já este mesmo ponto no Modelo Digital de Superfície apresenta altitude de 604,825 m. Para o ponto P02 que se localiza sobre uma edificação, no Modelo Digital de Superfície Normalizada apresenta a altura igual a 9,189 m e no Modelo Digital de Superfície valor de altitude encontrada é de 620,366 m.

Figura 32 - Comparação entre o Modelo Digital de Superfície e o Modelo Digital de Superfície Normalizada

Fonte: O Autor.

4 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área objeto de estudo nessa dissertação compreende a Cidade Universitária “Zeferino Vaz” da cidade de Campinas – UNICAMP, localizada no bairro Barão Geraldo, situada no fuso UTM 23K (Figura 33). Os limites da UNICAMP compreendem uma área de aproximadamente 3,38 km².

Figura 33 - Localização da área de interesse – UNICAMP (Coordenadas UTM)

Fonte: O Autor.

No que se refere às características inerentes a essa área tem-se seu enquadramento em um cenário urbano regular uma vez que são evidenciadas edificações com geometrias definidas, arruamentos regulares, presença de vegetação, corpos d'água, linhas de transmissão de energia e telecomunicações, solo exposto e outros.

A Figura 34 apresenta um fluxograma descrevendo a metodologia de pesquisa realizada nessa dissertação bem como os experimentos e análises realizadas.

Figura 34 - Fluxograma metodológico da pesquisa.

Fonte: O Autor.

4.2 DADOS DE PERFILAMENTO

Os dados de insumo utilizados neste projeto são provenientes de duas coberturas aéreas com sensores de perfilamento LiDAR diferentes. A primeira cobertura (voo A) contempla apenas a cidade universitária e foi realizada no ano de 2012 pela

empresa Fototerra Atividades de Aerolevantamento Ltda que utilizou o sensor LiDAR HARRIER 68i da empresa TRIMBLE sendo este devidamente configurado para obter uma densidade de pontos mínima de 10 pts/m². Estes dados foram gentilmente cedidos pela Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura da Universidade de Campinas para ser empregado nessa pesquisa. O segundo perfilamento foi contratado pela Prefeitura Municipal de Campinas e teve recobrimento para todo o município. Estes dados também foram gentilmente cedidos pela Prefeitura Municipal de Campinas para ser utilizado na pesquisa. Este último voo (voo B) foi realizado no ano de 2014 e conforme informações da Prefeitura Municipal a sua contratação previa se obter uma nuvem de pontos com densidade mínima de 2 pts/m².

Durante as duas coberturas aéreas foram utilizadas bases GNSS em solo com rastreamento simultâneo ao receptor GNSS da aeronave o que caracteriza o desenvolvimento de voos apoiados.

O voo A recobriu uma área extra à UNICAMP (entorno) e o limite definido para voo abrangeu uma área de 22,75 km² (Figura 35 – retângulo amarelo). O voo B apresentou uma escala maior sendo realizado para todo o município de Campinas englobando a área urbana e rural. Com isso tem-se que para ambos voos foram separadas apenas a área de estudo (UNICAMP).

Os ANEXOS A e B trazem algumas informações referentes ao plano de voo elaborado para o voo A. Estas por sua vez referem-se a configuração adotada para a operação do sistema e também o plano de voo gráfico. Para o voo B estas informações não foram disponibilizadas.

O voo A realizado pela empresa Fototerra Atividades de Aerolevantamentos Ltda, teve todo o tratamento e processamento realizados pelo autor desta dissertação que desenvolveu todo o tratamento dos dados originalmente adquiridos, o georreferenciamento direto dos pontos e também a produção de cada um dos produtos e subprodutos LiDAR utilizados.

A nuvem de pontos do voo B já foi fornecida devidamente tratada e georreferenciada sendo utilizada pelo autor na compilação dos produtos e subprodutos utilizados.

Ambas nuvens de pontos estavam referenciadas aos *Data* planimétrico SIRGAS2000 e altimétrico IMBITUBA (SC) e a redução do elipsóide para o geóide foi realizada por meio do modelo de ondulação geoidal MAPGEO2010.

Para as duas nuvens de pontos foi realizada uma análise preliminar obtendo a densidade de pontos final em cada perfilamento, sendo estas apresentadas na Tabela 8 onde é possível verificar que os valores obtidos para a densidade de pontos das nuvens são superiores ao valor planejado.

Figura 35 - Abrangência de cobertura realizada para o voo A (polígono amarelo) e delimitação da área de estudo – UNICAMP (polígono vermelho)

Fonte: Adaptado de Lima (2016).

Tabela 8 - Relação entre densidades de pontos da nuvem planejada e constatada ao final do perfilamento

VOO	DENSIDADE PLANEJADA	DENSIDADE OBTIDA
A (2012)	10 pts/m ²	16 pts/m ²
B (2014)	2 pts/m ²	4 pts/m ²

Fonte: O Autor, baseado na informação das nuvens de pontos finais.

4.2.1 Nuvem de Pontos Sintética

Como um dos objetivos específicos dessa dissertação consiste em apontar, dentre as nuvens disponíveis, qual a densidade de pontos em um perfilamento LiDAR que melhor representa uma área urbana regular. É considerado insuficiente utilizar apenas duas densidades de pontos (4 pts/m² e 16 pts/m²) e assim, optou-se por gerar uma nuvem sintética derivada da nuvem com maior densidade (16 pts/m²).

A nuvem sintética foi produzida por meio de uma operação de redução da quantidade de pontos da nuvem original (16 pts/m²). Este processo foi executado por meio do *software* LPMaster V 5.5.0 (TRIMBLE) o qual, por meio de algumas configurações estabelecidas para o fator de redução possibilitou obter uma nuvem de pontos com densidade de 8 pts/m².

Por se tratar de uma nuvem de pontos sintetizada é importante avaliar (validar) esta redução de modo a evitar erros que venham a comprometer de alguma forma os resultados obtidos.

Para esta análise foram separadas 5 amostras da nuvem original e da nuvem sintética para regiões aleatórias e distantes umas das outras. Estas por sua vez foram recortadas considerando áreas circulares com um raio de 100 m e sua distribuição sobre a área da UNICAMP podem ser visualizadas pela Figura 36.

Figura 36 - Amostras recortadas das nuvens de pontos com densidades de 16 pts/m² e 8 pts/m² para validação da NP sintética

Fonte: O Autor.

A primeira análise realizada com as amostras consistiu em verificar como foi desenvolvida a sintetização da nuvem de pontos na tentativa de compreender o critério utilizado pelo *software*. Na análise das amostras para a nuvem sintetizada foi evidenciado uma não coincidência dos pontos em relação aos seus respectivos na nuvem original. Com isso pode-se dizer que a elaboração da nuvem de pontos sintética não consistiu em apenas eliminar pontos da nuvem original de acordo com algum critério estabelecido (hipótese inicial: a cada “*N*” pontos da nuvem original fosse removidos “*Y*” pontos de modo a constituir a nuvem sintetizada). Assim tem-se que a posição planimétrica dos pontos desta nuvem foi obtida considerando algum

critério diferente de uma simples redução de pontos o qual foi associado uma reamostragem. A Figura 37 apresenta as duas nuvens sobrepostas onde os pontos na cor marrom representam a nuvem original e os pontos na cor azul a nuvem sintetizada.

Figura 37 - Distribuição em conjunto dos pontos nas nuvens original (marrom) e sintética (azul)

Fonte: O Autor.

Após a primeira análise ser concluída surgiu-se uma segunda hipótese de que além da redução de pontos haveria ocorrido apenas um deslocamento planimétrico dos pontos restantes sendo preservadas características da nuvem original tais como os valores para altimetria e outras informações (FOV, Classificação, etc). Esta hipótese também foi avaliada para as 5 amostras e o resultado encontrado apresentou-se diferente do que era previsto na segunda hipótese. Os valores constatados para a altimetria, intensidade e ângulo de incidência não se preservaram conforme pode ser visto pela Figura 38.

Figura 38 - Avaliação da altimetria para os pontos das nuvens original (marrom à esquerda) e sintética (azul à direita)

Fonte: O Autor

No exemplo apresentado na Figura 38 para os pontos avaliados (pontos bem próximos) existe uma diferença de 0,103 m na altimetria (591,346m/ 591,243 m), 105 para a intensidade (290 / 395) e de 9° (13°/ 22°) para o ângulo de incidência. Esta mesma avaliação foi estendida para outros pontos os quais não apresentaram um valor de diferença constante para as variáveis analisadas.

Diante do exposto é possível concluir que a nuvem de pontos sintética derivada da nuvem original com densidade de 16 pts/m² apresenta-se totalmente heterogênea, simulando um perfilamento diferente, o que é bom do ponto de vista que esta nuvem busca evitar o possível viés da amostra original, simulando um novo voo.

4.3 METODOLOGIA EMPREGADA NA ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS E SUBPRODUTOS LiDAR

Conforme apresentado na seção 4.2 que faz referencia aos dados de insumo utilizados nessa pesquisa serão consideradas três nuvens de pontos com densidades média de: 4 pts/m² (baixa densidade), 8 pts/m² (média densidade) e 16 pts/m² (alta densidade).

Para cada uma destas três nuvens foi realizada uma análise inerente às informações de alguns parâmetros de aquisição dos dados sendo estes apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros encontrados em cada nuvem de pontos

Pts/m ²	Total de Pontos	Núm.de Retornos	Espaçamento médio entre os pontos	FOV	Intensidade
16	54393707	1 - 7	0,25 m	-30°/ 31°	0 - 65535
8	27185752	1 - 7	0,35 m	-30°/ 31°	0 - 65535
4	12466667	1 - 7	0,52 m	-33°/ 33°	0 - 19859

Fonte: O Autor.

Para todos os produtos *raster* gerados por meio das diferentes nuvens de pontos a definição da resolução espacial teve embasamento no valor encontrado para espaçamento médio entre os pontos da nuvem obtidos pelos relatórios gerados por meio do *software* de análises de dados LiDAR LASTools v.170122 (APÊNDICE A).

A Tabela 10 apresenta a relação dos produtos e subprodutos LiDAR que serão gerados e utilizados nesta pesquisa bem como as resoluções espaciais de cada arquivo *raster*.

Tabela 10 - Produtos e subprodutos LiDAR e suas resoluções espaciais.

NPc (pts/m ²)	MDS (m)	MDT (m)	MDS _N (m)	I _{INT} (m)
16	0,30	0,30	0,30	0,30
8	0,40	0,40	0,40	0,40
4	0,50	0,50	0,50	0,50

Fonte: O Autor.

4.3.1 Nuvem de Pontos Classificada (NP_c)

Originalmente toda nuvem de pontos LiDAR após ser adquirida traz os seus pontos classificados em Terreno e/ou Vegetação. Mesmo os pontos que representam os objetos tais como edificações, alta vegetação, média vegetação e baixa vegetação serão atribuídos a uma das duas classes.

Conforme já mencionado na seção 3.1.3 que descreve a metodologia empregada na classificação da nuvem de pontos, existem algoritmos específicos que são capazes de realizar a classificação dos pontos de acordo com as classes apresentadas na Tabela 5.

Para cada uma das três nuvens de perfilamento utilizou o algoritmo SCOP++ contido na biblioteca do *software Applications Master V 5.5.0* (Trimble) para realizar a classificação dos pontos. Ao final deste processo todos os pontos das três nuvens foram atribuídos a uma classe de representação dos objetos perfilados. A Figura 39 apresenta parte da nuvem classificada onde os pontos na cor laranja correspondem a classificação dos pontos como edificação, os verde indicam a classificação referente à vegetação e os na cor marrom referem-se aos pontos de terreno.

Figura 39 - Nuvem de pontos classificada

Fonte: O Autor.

Na Figura 40 é possível verificar que existe uma confusão na classificação dos pontos onde é nítido que alguns deles que representam o telhado de uma edificação

foram atribuídos à classe vegetação (destacado com uma elipse na cor branca). Esta confusão mostra que o algoritmo classificador utilizado não apresenta uma total eficiência em sua funcionalidade.

Figura 40 - Classificação errônea da nuvem pontos (parte da edificação classificada como vegetação)

Fonte: O Autor.

A respeito da classificação dos pontos é importante dizer que uma vez finalizado este processo, cada ponto da nuvem apresenta sob a forma de atributo sua respectiva classe de representação.

Para cada uma das nuvens realizou-se uma análise referente a quantidade de pontos presente em cada uma das classes sendo o resultado encontrado disposto na Tabela 11.

Tabela 11 - Análise da classificação realizada em cada nuvem de pontos

CLASSE	16 pts/m ²		8 pts/m ²		4 pts/m ²	
	Pontos	(%)	Pontos	(%)	Pontos	(%)
0 – Criado, nunca classificado	58	0,0001	58	0,0002	58	0,0004
2 – Terreno	33985376	62,48	16987946	62,48	7074172	56,74
3 – Baixa	356863	0,65	172455	0,63	34800	0,28

Vegetação						
4 – Média Vegetação	-	-	-	-	-	-
5 – Alta Vegetação	14580057	26,80	7254744	26,68	3912962	31,39
6 – Construção	5355294	9,84	2713576	9,98	1438579	11,54
7 – Ponto Baixo (ruído)	116059	0,21	56973	0,21	6096	0,048
TOTAL DE PONTOS	54393707		27185752		12466667	

Fonte: O Autor.

Para todas as classes os valores percentuais obtidos para as nuvens com alta e média densidades foram similares, o que se leva a inferir que o algoritmo utilizado na redução dos pontos realiza a sintetização destes preservando os valores percentuais originais em cada uma das classes da nuvem reduzida.

As classes “Construções”, “Alta Vegetação” e “Ruído” apresentaram um maior percentual de pontos para a nuvem com baixa densidade, o que pode ser justificado pela variação temporal ocorrida na área de estudo que, conforme já mencionado apresenta uma diferença de dois anos entre o primeiro e segundo recobrimento.

Vale dizer que em cada uma das nuvens de pontos realizou-se uma edição em 3D de modo a remover *outliers* presentes (pássaros, particulados na atmosfera, ruídos e outros).

4.3.2 Modelo Digital de Superfície (MDS)

Os Modelos Digitais de Superfície obtidos por meio de cada uma das nuvens de pontos densidades foram gerados por meio do *software* ArcGIS 10.2.2. Para cada uma das nuvens foram separados os primeiros ecos obtendo assim uma nuvem de pontos utilizada para se obter os Modelos Digitais de Superfície nas diferentes resoluções.

No ArcMap 10.2.2 pela aba *ArcToolbox (Data Management Tools)* existe uma ferramenta com o nome *Create LAS Dataset* que é utilizada para leitura de arquivos na extensão LAS. Somente após compilar o arquivo LAS por meio desta ferramenta que é possível gerar o Modelo Digital de Superfície utilizando para tal o interpolador IDW (Figura 41).

Figura 41 - Modelo Digital de Superfície gerado por meio do interpolador IDW

Fonte: O Autor.

Por meio do processo supracitado foram gerados os três modelos digitais de superfície com diferentes resoluções espaciais. As Figuras 42, 43 e 44 trazem respectivamente, recortes dos Modelos Digitais de Superfícies oriundos das nuvens de pontos com baixa, média e alta densidade de pontos contendo apenas os primeiros ecos.

Figura 42 - Modelo Digital de Superfície com resolução espacial de 0,50 m

Fonte: O Autor.

Figura 43 - Modelo Digital de Superfície com resolução espacial de 0,40 m

Fonte: O Autor.

Figura 44 - Modelo Digital de Superfície com resolução espacial de 0,30 m

Fonte: O Autor.

Após analisar a definição das geometrias das edificações presentes nas Figuras 42, 43 e 44 nota-se que quanto maior a resolução espacial dos produtos, melhor a definição geométrica dos objetos no Modelo Digital de Superfície, conforme esperado.

4.3.3 Modelo Digital de Terreno (MDT)

Os Modelos Digitais de Terreno foram obtidos por meio do *software Applications Master V5.5.0* (Trimble). Através da ferramenta *DTMToolkit* foram realizadas algumas operações intermediárias até obter o produto final.

O primeiro procedimento consistiu em dividir a nuvem de pontos em *Tiles* com tamanho menores de modo a facilitar os processos computacionais envolvidos. O tamanho escolhido para a divisão de cada *Tile* foi de 800 m x 800 m. Outros tamanhos (maiores) foram testados porém alguns problemas puderam ser evidenciados:

- Classificação incorreta da Nuvem de Pontos;
- Remoção de todos os pontos de um/alguns *tile(s)*; e
- Filtragem incoerente.

Em concomitância com o recorte da área em *Tiles* é realizada a classificação dos pontos da nuvem utilizando o algoritmo SCOP++ já implementado na ferramenta *DTMToolkit*. Ao final deste processo se obtém uma nuvem de pontos classificada e recortada em *Tiles*.

Na sequencia realiza-se a filtragem dos pontos da nuvem sendo removidos todos os pontos que foram classificados como:

- 0 – Criado, nunca classificado;
- 3 – Baixa Vegetação;
- 4 – Média Vegetação;
- 5 – Alta Vegetação;
- 6 – Construção; e
- 7 – Ponto Baixo.

A Figura 45 apresenta uma nuvem de pontos filtrada contendo apenas os pontos classificados como terreno.

Devido a não total eficiência do algoritmo de classificação de pontos o resultado da filtragem pode vir a apresentar algumas incoerências, ou seja, pontos que se referem à vegetação ou edificação que podem ter sido classificados como terreno ou então pontos que integram o terreno podem ter sido removidos devido sua atribuição a alguma das classes que representam outros objetos. Devido a ocorrência de erros na filtragem dos pontos da nuvem é de fundamental relevância realizar uma análise do resultados e em alguns casos aplicar edições na nuvem de pontos filtrada de modo a melhorar o resultado.

A análise da qualidade da filtragem e algumas edições executadas foram realizadas em modo de visualização 3D por meio do módulo *DTMaster* (utilizado para edição de MDT) encontrado no *software Applications Master V 5.5.0*. A Figura 46 mostra alguns tipos de análises e edições realizadas sobre uma nuvem de pontos filtrada.

Figura 45 - Nuvem de pontos filtrada contendo apenas pontos classificados como Terreno, nas vistas globais e aproximada

Fonte: O Autor.

Figura 46 - Incoerências encontradas (imagens da esquerda) e suas respectivas correções (Imagens da direita): (a) ausência de pontos para interpolação (região na cor preta). (b) ponto abaixo do terreno (sulcos onde havia edificação) (c) ponto não pertencente ao terreno (protuberâncias)

Fonte: O Autor.

A Figura 46 apresenta três tipos de inconsistências ocasionadas pela filtragem da nuvem de pontos bem como suas edições que corrigiram as incoerências encontradas. Conforme visto por meio da Figura 46-a (primeira coluna) nota-se uma falha na interpolação do MDT em uma região onde o filtro removeu uma edificação. Devido a pouca quantidade de pontos que restaram após a filtragem não foi possível realizar a interpolação, ocasionando alguns vazios no modelo, e para a correção foram inseridos pontos sintéticos² na região com deficiência e realizada a correta interpolação (segunda coluna da figura).

A Figura 46-b (primeira coluna) mostra que após a remoção das edificações alguns pontos com valores altimétricos abaixo do modelo restaram na nuvem filtrada e que no processo de interpolação ocasionam sulcos nas regiões onde haviam edificações. A remoção deste(s) ponto(s) da nuvem durante o processo de edição fez com que a interpolação fosse corrigida apresentando-se adequada para a região (segunda coluna da figura).

A incoerência verificada no MDT apresentada na Figura 46-c (primeira coluna) refere-se à ocorrência de pontos da nuvem filtrada que pertencem à classe edificação e que não foram totalmente removidos pelo filtro. Estes pontos apresentam cota superior à média dos pontos classificados como terreno e devem ser removidos para que a interpolação seja corrigida pois como é evidenciado eles geram uma protuberância no modelo.

Uma vez finalizadas todas as análises e edições na nuvem de pontos filtrada é realizada a interpolação do Modelo Digital de Terreno. Este procedimento é executado pela ferramenta *DTM Toolkit* onde o operador necessita informar ao programa o valor da resolução espacial do Modelo Digital de Terreno a ser gerado.

As Figuras 47, 48 e 49 trazem respectivamente parte dos Modelos Digitais de Terreno oriundos das nuvens de pontos filtradas. As imagens da esquerda apresentam o Modelo Digital de Terreno obtido com sobreposição dos pontos da nuvem (de terreno – cor marrom) que deram origem ao modelo interpolado.

² Pontos sintéticos consistem em pontos criados durante a fase de edição. Estes por sua vez são utilizados para auxiliar a interpolação em regiões que apresentam um vazio na nuvem filtrada contribuindo para a geração de um modelo interpolado, não interferindo na representação altimétrica da superfície pois são inseridos em regiões que apresentam ausência de pontos tais como locais cuja edificações foram removidas e também em extensos corpos d'água.

Figura 47 - Modelo Digital de Terreno com resolução espacial de 0,50 m gerado para a região da praça central da UNICAMP. À esquerda, MDT com sobreposição dos pontos de terreno (marrom)

Fonte: O Autor.

Figura 48 - Idem, com resolução espacial de 0,40 m

Fonte: O Autor.

Figura 49 - Idem, com resolução espacial de 0,30 m

Fonte: O Autor.

Em uma análise detalhada das interpolações e pontos filtrados apresentados nas Figuras 47, 48 e 49 é possível notar que o algoritmo de filtragem se comportou de maneira diferente para cada um dos três casos apresentados não havendo um padrão comum para os três modelos. Essa diferença na filtragem pode estar relacionada à classificação errônea da nuvem de pontos onde podem ter sido realizadas diferentes filtragens.

4.3.4 Imagem de Intensidade (I_{INT})

As três imagens de intensidades foram geradas por meio do *software* ArcGIS 10.2.2 conforme descrição metodológica apresentada na seção 3.1.4 desta dissertação. É importante dizer que conforme apresentado por Leonard (2005) utilizou-se apenas os primeiros ecos da nuvem de pontos na interpolação da intensidade e a resolução radiométrica para as imagens obtidas foi de 8 bits.

As Figuras 50, 51 e 52 apresentam em detalhe, parte das Imagens de Intensidades geradas respectivamente nas resoluções espaciais de 0,50 m, 0,40 m e 0,30 m.

Figura 50 - Imagem de Intensidade com resolução espacial de 0,50 m gerada por meio dos primeiros ecos da nuvem com baixa densidade de pontos (4 pts/m²)

Fonte: O Autor.

Figura 51 - Imagem de Intensidade com resolução espacial de 0,40 m gerada por meio dos primeiros ecos da nuvem com média densidade de pontos (8 pts/m²)

Fonte: O Autor.

Figura 52 - Imagem de Intensidade com resolução espacial de 0,30 m gerada por meio dos primeiros ecos da nuvem com alta densidade de pontos (16 pts/m²)

Fonte: O Autor.

Nota-se que a Imagem de Intensidade apresentada na Figura 50 apresenta-se mais clara e com objetos mais nítidos e definidos quando comparada com as Figuras 51 e 52 que apesar de apresentarem uma melhor resolução espacial estão mais escuras e não apresentam uma boa definição de alguns objetos (edificação) especialmente destacados com polígonos amarelos. Esta diferença nas imagens apresentadas pode estar atrelada ao fato de que o sensor que adquiriu a nuvem com densidade de 4 pts/m² apresenta gravação da intensidade em 8 bits (conforme catálogo do fabricante) e o sistema Harrier 68i registra essa informação em 16 bits (conforme catálogo do fabricante).

4.3.5 Modelo Digital de Superfície Normalizada (MDS_N)

Uma vez obtidos os Modelos Digitais de Superfície e Terreno é possível gerar o Modelo Digital de Superfície Normalizada que, conforme apresentado na seção 3.1.6, consiste na subtração realizada entre o Modelo Digital de Superfície e o

Modelo Digital de Terreno. Por meio de cada uma dos produtos gerados nas 3 resoluções foram realizados os processos de subtração obtendo os Modelos Digitais de Superfície Normalizadas. Estes por sua vez foram obtidos por meio do *software Global Mapper v. 15.0*.

As Figuras 53, 54 e 55 ilustram respectivamente os Modelos Digitais de Superfície Normalizada com resoluções espaciais de 0,50 m, 0,40 m, e 0,30 m.

Figura 53 - Modelo Digital de Superfície Normalizada com resolução espacial de 0,50 m

Fonte: O Autor.

Figura 54 - Modelo Digital de Superfície Normalizada com resolução espacial de 0,40 m

Fonte: O Autor.

Figura 55 - Modelo Digital de Superfície Normalizada com resolução espacial de 0,30 m

Fonte: O Autor.

Assim como nos Modelos Digitais de Superfície tem-se que para os Modelos Digitais de Superfície Normalizadas quanto menor a abertura da malha (0,30 m) e maior a densidade de pontos da nuvem que deu origem (16 pts/m²) melhor a definição e identificação dos objetos no modelo.

4.3.6 Análise da qualidade

A análise da qualidade realizada para os produtos e subprodutos LiDAR gerados nessa pesquisa objetiva avaliar a precisão e acurácia³ posicionais e altimétrica do perfilamento realizado.

Este estudo busca estabelecer uma correlação entre a densidade de pontos da nuvem de perfilamento com a precisão dos produtos e subprodutos gerados nessa pesquisa, uma vez que deles são extraídas informações pelos usuários.

Os testes estatísticos realizados consideraram uma amostra de 38 pontos para avaliação da altimetria (PVA) e 22 pontos para avaliação da planimetria (PVP). Estes pontos foram previamente planejados levando em consideração uma boa distribuição geométrica na área de interesse, a visibilidade dos satélites e a possibilidade de identificá-los bem nos produtos a serem testados. A Figura 56 traz a localização e distribuição dos pontos amostrais rastreados em campo para a avaliação das componentes planimétrica e altimétrica dos modelos.

Para o rastreo destes pontos foram utilizados receptores geodésicos de dupla frequência (L1/L2). O método escolhido para coleta dos dados foi o estático rápido que prevê a ocupação do ponto por um período compreendido entre 10 a 20 minutos. O pós-processamento para estes foi realizado utilizando como base a estação SPC1 (Campinas) pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), que se localiza em um dos prédios da Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp (FEC). As tabelas contendo o resumo dos processamentos para os Pontos de Verificação da Altimetria e Pontos de Verificação da Planimetria encontram-se no APÊNDICE B e suas monografias elaboradas integram o

³ Acurácia compreende no grau de concordância entre o valor medido de uma grandeza e o tomado como verdade ou então com melhor qualidade (MONICO, 2008).

APÊNDICE C dessa dissertação. A Figura 57 traz um exemplo de uma monografia elaborada para os pontos (PVA e PVP) rastreados em campo. É importante dizer que foram elaboradas um total de 60 monografias.

Uma vez que os Pontos de Verificação da Altimetria serão utilizados para testar a componente altimétrica nos modelos o seu planejamento foi realizado considerando que os pontos estivessem localizados diretamente no chão e distantes de qualquer objeto com elevação uma vez que esta, durante o processo de interpolação, pode interferir no resultado. Já para os Pontos de Verificação da Planimetria cujo objetivo consiste em testar as coordenadas planimétricas dos modelos, foram escolhidos cantos de edificações uma vez que os objetos com altura significativa destacam-se nos produtos a serem testados facilitando a identificação.

Figura 56 - Distribuição dos PVA e PVP na área de interesse

Fonte: O Autor.

Figura 57 - Modelo de monografia elaborada para os pontos (PVA e PVP) rastreados em campo

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_001	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'42,75645"S	h (m): 585,562 σ_h : 0,005m
λ : 47°03'59,89966"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,48
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 590,042
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287882,950	σ_E : 0,003m
N (m): 7475821,565	σ_N : 0,003m

Descrição do ponto: Ponto localizado no estacionamento do Hotel da FUNCAMP.	

Fonte: O Autor.

A análise da qualidade foi realizada por meio do *software* GeoPEC 3.2 desenvolvido por Santos (2010).

Este *software* realiza testes estatísticos avaliando a normalidade da amostra, a exatidão cartográfica e também a acurácia que permite classificar os produtos avaliados de acordo com uma das classes do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) estabelecidas no Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984.

A normalidade da amostra foi verificada pelo teste *Jarque-Bera* que também é conhecido como *Bowman-Shelton*. Para Silva (2007) o teste *Jarque-Bera* utiliza como variáveis os valores da assimetria e curtose dos resíduos gerados pelo método dos mínimos quadrados. A Equação 4.1 apresenta formulação matemática (fórmula de cálculo) envolvida nesse teste.

$$JB = n \left[\frac{S^2}{6} + \frac{(K - 3)^2}{24} \right] \quad (4.17)$$

Onde:

n : Número de observações (amostra);

S : Valor da assimetria; e

K : Valor da curtose.

No caso de uma variável com distribuição normal espera-se que o resultado do teste *Jarque-Bera* seja igual a zero ($JB = 0$). Considerando a hipótese nula a estatística empregada neste teste utiliza a distribuição *Qui-quadrado* com 2 graus de liberdade.

O procedimento adotado na avaliação da exatidão cartográfica dos produtos LiDAR tem como premissa a avaliação das discrepâncias entre as coordenadas planialtimétricas extraídas dos modelos e suas respectivas coordenadas obtidas em campo por meio de rastreamento GNSS, consideradas como padrão para comparação.

A avaliação da exatidão cartográfica para os produtos testados consiste em realizar o enquadramento destes, por meio da avaliação de suas componentes planimétricas e altimétrica, em uma das classes do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), sendo necessário avaliar o erro padrão em função da escala considerada para a

componente planimétrica e da equidistância das curvas de nível para a componente altimétrica. A Tabela 12 apresenta os valores para Padrão de Exatidão Planimétrico e Altimétrico bem como o Erro Padrão para as classes A+, A, B e C considerando a escala 1:1000 e equidistancia vertical de 1,0 m.

Tabela 12 - Padrão de Exatidão Planimétrico/ Altimétrico e Erro Padrão para as classes A+, A, B e C

	PLANIMETRIA		ALTIMETRIA	
Classe	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (mm)	EP (mm)
A+	0,250	0,150	0,27	1/6
A	0,500	0,300	1/2	1/3
B	0,800	0,500	3/5	2/5
C	1,000	0,60	3/4	1/2

Fonte: Adaptado do Decreto Nº 89.817 de 20 de Junho de 1984 e ET-PCDG.

No que se refere a classe A+ apresentada na Tabela 12 esta corresponde a uma nova classe presente na Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geospaciais (ET-PCDG) que foi elaborado pelo Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro e tem como base o Decreto nº 89.817 que traz apenas as classes A, B e C.

A exatidão dos produtos LiDAR tem como fundamento a análise estatística das discrepâncias (Equação 4.2) entre as componentes planialtimétricas observadas nos produtos gerados e as suas respectivas componentes rastreadas em campo para os “*l*” pontos da amostra.

$$X_i = X_i - X_i^r \quad (4.2)$$

A média (Equação 4.3) e o desvio padrão (Equação 4.4) das discrepâncias amostrais também são calculados.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad (4.3)$$

$$S_{\Delta X} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \bar{X})^2} \quad (4.4)$$

No teste de tendência são avaliadas as seguintes hipóteses:

$H_0: \Delta X = 0$, hipótese nula, não existe tendência.

$H_1: \Delta X \neq 0$, rejeita-se a hipótese nula, existe tendência.

A análise de tendência é realizada por meio do teste *t-student* que consiste na comparação do valor “ t_x ” amostral calculado com o valor “ t_x ” tabelado para um determinado nível de confiança. As Equações 4.5 e 4.6 apresentam respectivamente, a equação para cálculo do “ t_x ” amostral e o cálculo do valor “ t_x ” tabelado.

$$t_x = \frac{\Delta \bar{X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n} \quad (4.5)$$

$$|t_x| < t_{(n-1, \alpha/2)} \quad (4.6)$$

Uma vez que o valor da estatística amostral “ t_x ” esteja fora do intervalo de confiança a hipótese nula é rejeitada e nesse caso existem tendências significativas na componente avaliada. Caso sejam detectadas tendências em uma mesma direção esta pode ser eliminada ou minimizada subtraindo de cada componente o valor da média calculada ($\bar{X}$). Por sua própria natureza esse teste deve ser aplicado a cada componente (E, N e H) isoladamente.

A análise da precisão é realizada confrontando o desvio padrão das discrepâncias com o Erro Padrão (EP) esperado para a classe no qual se deseja testar os produtos.

No teste de precisão são testadas as seguintes hipóteses:

$H_0: S_{\Delta X}^2 \leq \sigma_X^2$, hipótese nula, o produto possui uma precisão melhor ou igual à esperada para a componente considerada.

$H_1: S_{\Delta X}^2 > \sigma_X^2$, rejeita-se a hipótese nula, o produto possui uma precisão pior que a esperada.

Tem-se que $S_{\Delta X}$ corresponde ao desvio padrão esperado para a componente avaliada que nada mais é do que o Erro Padrão esperado para a classe o qual o teste está sendo realizado. Considerando que o Erro Padrão é fixo no teste de cada uma das componentes considera-se o disposto na Equação 4.7.

$$\sigma_X = EP \quad (4.7)$$

Uma vez calculada a variância esperada é determinado o valor *Qui-quadrado* para a amostra analisada seguindo o apresentado na Equação 4.8.

$$\chi_X^2 = (n - 1) \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_X^2} \quad (4.8)$$

O valor obtido no cálculo do teste *Qui-quadrado* é confrontado com o valor tabelado obtido por meio da Equação 4.9, considerando um nível de confiança .

$$\chi_X^2 < \chi_{(n-1, \alpha)}^2 \quad (4.9)$$

Para cada componente avaliada individualmente, se o resultado obtido pela Equação 4.9 não for obedecido, rejeita-se a hipótese H_0 , ou seja, o produto avaliado não atende a precisão esperada.

4.3.7 Tratamento dos dados amostrais e análise estatística

Uma vez obtidas as coordenadas dos pontos das amostras rastreadas em campo é realizada a leitura das coordenadas planialtimétricas nos produtos a serem testados.

A componente altimétrica foi testada nos Modelos Digitais de Terreno (MDT) com resoluções espaciais de uma malha quadrada interpolada com aberturas de 0,50 m, 0,40 m e 0,30 m. Para cada um dos Modelos Digitais de Terreno testados o valor da altimetria para cada ponto da amostra foi extraído automaticamente na mesma posição planimétrica dos pontos rastreados em campo e assim, as discrepâncias entre eles e as análises estatísticas puderam ser desenvolvidas pelo *software* GeoPEC 3.2. Antes de executar o programa foi definido o nível de confiança a ser utilizado nos testes que tanto para a altimetria como para a planimetria foi adotado como 90%. A equidistância vertical e escala de referência adotadas nos testes foram de 1,0 m e 1:1000 respectivamente. O APÊNDICE D traz as coordenadas altimétricas lidas em cada um dos Modelos Digitais de Terreno testados.

A Tabela 13 apresenta o resultado de tendência para o teste *t-student* aplicado para a amostra de 38 pontos nos Modelos Digitais de Terreno com resoluções espaciais de 0,50 m, 0,40 m e 0,30 m.

Tabela 13 - Resultado do teste de tendência *t-student* para a componente altimétrica

PRODUTO AVALIADO	t CALCULADO	t TABELADO	ERRO SISTEMÁTICO
MDT 0,50m	-1,233	1,688	Ausente
MDT 0,40m	0,520	1,688	Ausente
MDT 0,30m	-1,084	1,688	Ausente

Fonte: GeoPEC 3.2.

A Tabela 14 apresenta os resultados do teste *Jarque-Bera* aplicado para a amostra de 38 pontos nos Modelos Digitais de Terreno com resoluções espaciais de 0,50 m, 0,40 m e 0,30 m.

Tabela 14 - Resultado do teste de Normalidade para a amostra dos pontos altimétricos

PRODUTO AVALIADO	JB CALCULADO	JB TABELADO	AMOSTRA NORMAL
MDT 0,50m	21,702	2,658	Não
MDT 0,40m	0,866	2,658	Sim
MDT 0,30m	1,165	2,658	Sim

Fonte: GeoPEC 3.2.

A Tabela 15 traz os resultados do teste *Qui-quadrado* aplicado para a amostra de 38 pontos nos Modelos Digitais de Terreno com resoluções espaciais de 0,50 m, 0,40 m e 0,30 m.

Tabela 15 - Resultado do teste *Qui-quadrado* para a componente altimétrica

PRODUTO AVALIADO	CLASSE	² CALCULADO	² TABELADO	RESULTADO
MDT 0,50m	A+	10,194	48,350	Aprovado
MDT 0,40m	A+	8,394	48,350	Aprovado
MDT 0,30m	A+	10,618	48,350	Aprovado

Fonte: GeoPEC 3.2.

A Tabela 16 apresenta o resultado da classificação da altimetria de acordo com o PEC trazendo o percentual de pontos amostrais cujo valor do RMS é menor que o Erro Padrão considerado para a classe.

Tabela 16 - Resultado da classificação da altimetria de acordo com o decreto que estabelece o PEC - Avaliação do EP

PRODUTO AVALIADO	CLASSE	% AMOSTRA < PEC	RMS < EP	RESULTADO
MDT 0,50m	A+	97,368	Passou	Aprovado
MDT 0,40m	A+	100	Passou	Aprovado
MDT 0,30m	A+	100	Passou	Aprovado

Fonte: GeoPEC 3.2.

A Tabela 17 traz o resumo estatístico obtido na avaliação dos pontos amostrais altimétrico.

Tabela 17 - Resumo estatístico obtido para a avaliação da altimetria realizada para os MDT's com resoluções espaciais de 0,50 m, 0,40 m e 0,30 m

ESTATÍSTICAS	MDT_{0,50m}	MDT_{0,40m}	MDT_{0,30m}
Nº pontos	38	38	38
Média	-0,0175	-0,0067	-0,0157
Desvio Padrão	0,0875	0,0794	0,0893
Variância	0,008	0,006	0,008
RMS	0,0892	0,0797	0,0907
Discrep. Máx.	0,147	0,158	0,16
Discrep. Mín.	-0,330	-0,175	-0,247
Curtose	5,5219	2,4498	3,0209
Assimetria	-1,3552	-0,2471	-0,4287
Soma	-0,666	-0,255	-0,597

Fonte: GeoPEC 3.2

Os resultados apresentados na Tabela 17 e seguintes (resumos estatísticos) serão comentados na discussão dos resultados.

As Figura 58, 59 e 60 apresentam os gráficos das discrepâncias encontradas para a altimetrias avaliadas para os 38 pontos amostrais quando comparados com suas respectivas altimetrias extraídas automaticamente dos Modelos Digitais de Terreno com resoluções espaciais de 0,50 m, 0,40 m e 0,30 m.

Figura 58 - Resultado das discrepâncias entre a altitude de teste e altitude de referência-MDT 0,50 m

Fonte: O Autor.

Figura 59 - Resultado das discrepâncias entre a altitude de teste e altitude de referência-MDT 0,40 m

Fonte: O Autor.

Figura 60 - Resultado das discrepâncias entre a altitude de teste e altitude de referência-MDT 0,30 m

Fonte: O Autor.

A planimetria foi analisada por meio das nuvens de pontos com densidades de 4 pts/m², 8 pts/m² e 16 pts/m². A leitura das coordenadas dos cantos das edificações rastreadas em campo foi realizada em modo 3D utilizando para tal o visualizador para nuvem de pontos *Fugro Viewer 2.2.* que possibilita ao usuário realizar um perfil sobre a nuvem de pontos e assim, verificar as coordenadas e atributos de cada ponto analisado individualmente na nuvem. A Figura 61 traz uma parte da nuvem de pontos que contém um Ponto de Verificação da Planimetria a ser analisado.

Figura 61 - PVP a ser analisado planimetricamente na nuvem de pontos

Fonte: O Autor.

Para a região da nuvem de pontos apresentada pela Figura 61, no próprio *software Fugro Viewer 2.2* é realizado um perfil na região que contém o canto da edificação e assim, é identificado na visualização tridimensional o ponto da nuvem que está mais próximo do canto do elemento que foi rastreado em campo com receptor GNSS. A Figura 62 apresenta o perfil gerado para a edificação cujas coordenadas planimétricas estão sendo analisadas.

Figura 62 - Leitura das coordenadas planimétricas dos pontos amostrais - visualização tridimensional

Fonte: O Autor.

Todos os pontos amostrais para verificação da planimetria tiveram suas coordenadas observadas pela visualização tridimensional na nuvem de pontos. É importante dizer que alguns pontos são de difícil identificação na nuvem, o que é agravado pela quantidade de pontos perfilados e incidentes sobre o objeto e também pela presença de pontos de vegetação que estão próximos ao ponto a ser observado.

Ao final deste procedimento para cada ponto da amostra obteve-se um conjunto de coordenadas planimétricas (E, N) que tiveram suas estatísticas geradas individualmente pelo *software* GeoPEC 3.2. O APÊNDICE E traz as coordenadas planimétricas lidas nas nuvens de pontos testadas.

A Tabela 18 apresenta o resultado de tendência para o teste *t-student* aplicado para a amostra de 22 pontos nas Nuvens de Pontos com densidades de 4 pts/m², 8 pts/m² e 16 pts/m².

Tabela 18 - Resultado do teste de tendência *t-student* para a componente planimétrica

PRODUTO AVALIADO	t CALCULADO		t TABELADO	ERRO SISTEMÁTICO
	ESTE	NORTE		
NP 4 pts/m ²	0,048	0,579	1,720	Ausente
NP 8 pts/m ²	0,711	1,552	1,720	Ausente
NP 16 pts/m ²	1,379	0,424	1,720	Ausente

Fonte: GeoPEC 3.2.

A Tabela 19 apresenta os resultados do teste *Jarque-Bera* aplicado para a amostra de 22 pontos nas Nuvens de Pontos com densidades de 4 pts/m², 8 pts/m² e 16 pts/m².

Tabela 19 - Resultado do Teste de Normalidade da amostra realizado para as NP's com densidades de 4 pts/m², 8 pts/m² e 16 pts/m²

PRODUTO AVALIADO	JB CALCULADO		JB TABELADO	AMOSTRA NORMAL
	ESTE	NORTE		
NP 4 pts/m ²	1,821	0,844	2,020	Sim
NP 8 pts/m ²	2,347	0,242	2,020	Não
NP 16 pts/m ²	2,279	0,515	2,020	Não

Fonte: GeoPEC 3.2.

O teste *Qui-quadrado* para a planimetria não foi realizado no *software* GeoPEC 3.2 uma vez que o mesmo traz uma interpretação equivocada do Decreto 89.817. No cálculo para o valor do σ_x apresentado na Equação 4.7 (para cada componente), Santos (2010) realiza a divisão do Erro Padrão (EP) por 2 o que torna o valor calculado na Equação 4.8 mais apertado. A Tabela 20 traz os resultados do teste *Qui-quadrado* aplicado para a amostra de 22 pontos nas Nuvens de Pontos com densidades de 4 pts/m², 8 pts/m² e 16 pts/m².

Para uma melhor compreensão e correta interpretação do Decreto 89.817 recomenda-se a leitura da tese de doutorado de Nero (2005).

Tabela 20 - Resultado do Teste *Qui-quadrado* realizado para as nuvens de pontos com densidades 4 pts/m², 8 pts/m² e 16 pts/m²

PRODUTO AVALIADO	CLASSE	² CALCULADO		² TABELADO	RESULTADO
		ESTE	NORTE		
NP 4 pts/m ²	A	18,667	13,300	29,600	Aprovado
NP 8 pts/m ²	A	11,900	5,833	29,600	Aprovado
NP 16 pts/m ²	A+	21,799	17,439	29,600	Aprovado

Fonte: O Autor.

A Tabela 21 apresenta o resultado da classificação da planimetria de acordo com o decreto que estabelece o PEC apresentando o percentual de pontos amostrais cujo valor do RMS é menor que o Erro Padrão considerado para a classe.

Tabela 21 - Resultado da classificação da planimetria de acordo com o decreto que estabelece o PEC
- Avaliação do EP

PRODUTO AVALIADO	CLASSE	% AMOSTRA < PEC		RMS < EP	RESULTADO
		ESTE	NORTE		
NP 4 pts/m ²	A	100	100	Passou	Aprovado
NP 8 pts/m ²	A	100	100	Passou	Aprovado
NP 16 pts/m ²	A+	100	100	Passou	Aprovado

Fonte: O Autor.

A Tabela 22 traz o resumo estatístico obtido pela avaliação dos pontos amostrais planimétrico.

Tabela 22 - Resumo estatístico obtido para a avaliação da planimetria realizada para as nuvens de pontos com densidades de pontos de 4 pts/m², 8 pts/m² e 16 pts/m²

ESTATÍSTICAS	NP 4 pts/m ²		NP 8 pts/m ²		NP 16 pts/m ²	
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
Nº pontos	22	22	22	22	22	22
Média	-0,003	-0,030	0,034	-0,053	-0,051	0,014
Desvio Padrão	0,283	0,240	0,227	0,160	0,173	0,155
Variância	0,080	0,057	0,051	0,025	0,030	0,024

RMS	0,283	0,242	0,229	0,169	0,181	0,155
Discrep. Máx.	0,386	0,318	0,375	0,325	0,205	0,385
Discrep. Mín.	-0,529	-0,617	-0,311	-0,371	-0,465	-0,241
Curtose	1,811	2,582	1,459	2,599	2,865	2,414
Assimetria	-0,379	-0,432	0,151	0,161	-0,786	0,234
Soma	1,681	1,206	1,081	0,535	0,631	0,503

Fonte: GeoPEC 3.2.

As Figura 63, 64 e 65 apresentam os gráficos das discrepâncias encontradas para a planimetria avaliada para os 22 pontos amostrais em comparação com suas respectivas coordenadas planimétricas extraídas nas nuvens de pontos com densidades de 4 pts/m², 8 pts/m² e 16 pts/m².

Figura 63 - Resultado gráfico das discrepâncias obtidas para a amostra planimétrica avaliada na NP com densidade de 4 pts/m²

(a) Coordenada E (m)

Fonte: O Autor.

(b) Coordenada N (m)

Fonte: O Autor.

Figura 64 - Resultado gráfico das discrepâncias obtidas para a amostra planimétrica avaliada na NP com densidade de 8 pts/m²

(a) Coordenada E (m)

Fonte: O Autor.

(b) Coordenada N (m)

Fonte: O Autor.

Figura 65 - Resultado gráfico das discrepâncias obtidas para a amostra planimétrica avaliada na NP com densidade de 16 pts/m²

(a) Coordenada E (m)

Fonte: O Autor.

(b) Coordenada N (m)

Fonte: O Autor.

4.3.8 Extração da informação nos produtos LiDAR com diferentes resoluções espaciais

A vetorização das edificações foi executada sobre os produtos e subprodutos LiDAR em diferentes resoluções espaciais considerando uma amostra de trinta e três edificações bem distribuídas ao longo da área de estudo. Os polígonos na cor amarela presentes na Figura 66 mostram a localização das edificações escolhidas para serem vetorizadas.

Estas edificações, em cada um dos produtos, tiveram os seus limites interpretados e vetorizados manualmente por meio do *software* ArcMap 10.2.2.

Para cada resolução espacial foi criado um projeto no referido *software* e foram inseridos os seus produtos correspondentes. Na sequência e por meio do *software* ArcCatalog 10.2.2 foi gerado um *geodatabase* contendo a *feature class* “Edificacao” com a representação vetorial do tipo polilinha. Assim como nos demais produtos

este *geodatabase* também foi importado para cada projeto criado (um projeto para cada uma das três resoluções consideradas).

É importante dizer que para cada resolução espacial diferente foram vetorizadas as mesmas edificações pois assim é possível mensurar, quantificar e comparar as variações referentes à extração da mesma informação nas diferentes resoluções espaciais.

Como esta vetorização é desenvolvida no plano bidimensional realizou-se uma análise desta (para cada vetor) de maneira tridimensional cujo objetivo consiste em corrigir erros de interpretação e acurácia visual cometidos durante o processo de extração da informação. Por meio do recurso de visualização tridimensional proporcionada pelo *Software Global Mapper 15.0* realizou-se análises dos vetores das edificações em conjunto com o Modelo Digital de Superfície (MDS). O critério estabelecido consistiu que para cada vetor o mesmo estivesse seguindo as bordas que definem os limites dos objetos (Figura 67).

Este procedimento foi executado para cada um dos conjuntos de vetores (33 edificações) sendo utilizado para esta atividade cada um dos seus produtos e subprodutos disponíveis.

Figura 66 - Distribuição espacial da amostra das edificações escolhidas para serem vetorizadas

Fonte: O Autor.

Figura 67 - Ajuste dos vetores realizados em modo tridimensional por meio do *Software Global Mapper 15.0*

Fonte: O Autor.

Ao final da vetorização das trinta e três edificações obteve-se um conjunto de 228 pontos (vértices) para serem testadas as suas componentes planimétricas (E, N). Para cada uma das edificações escolhidas foram obtidos seus respectivos vetores oriundos da restituição estereoscópica que serão utilizados como padrão nos testes da qualidade. O APÊNDICE F traz as coordenadas planimétricas de cada vértice que compõe as edificações obtidas pela restituição fotogramétrica e pela vetorização.

Para cada conjunto de 33 vetores foram realizados os seguintes testes: análise de tendência (teste *t-student*) em cada componente, normalidade da amostra (teste *Jarque-Bera*) e enquadramento dos vetores em uma das classes do Padrão de Exatidão Cartográfica (teste *Qui-quadrado*). Todos os testes foram realizados considerando a escala de 1:2.500 e nível de confiança de 90%.

A Tabela 23 apresenta o resultado de tendência para o teste *t-student* aplicado para a amostra de 228 pontos (33 edificações) cujos vetores foram obtidos a partir do Modelo Digital de Superfície com resoluções espaciais de 0,50 m, 0,40 m e 0,30 m.

Tabela 23 - Resultado do teste de tendência *t-student* para as componentes planimétricas dos vetores

PRODUTO AVALIADO	t CALCULADO		t TABELADO	ERRO SISTEMÁTICO
	ESTE	NORTE		
Vetor MDS _{0,50 m}	15,590	1,954	1,653	Presente
Vetor MDS _{0,40 m}	13,433	1,807	1,653	Presente
Vetor MDS _{0,30 m}	23,642	4,465	1,653	Presente

Fonte: GeoPEC 3.2.

A Tabela 24 apresenta os resultados do teste *Jarque-Bera* aplicado para a amostra de 228 pontos (33 edificações) cujos vetores foram obtidos a partir do Modelo Digital de Superfície com resoluções espaciais de 0,50 m, 0,40 m e 0,30 m.

Tabela 24 - Resultado do Teste de Normalidade para as componentes planimétricas dos vetores

PRODUTO AVALIADO	JB CALCULADO		JB TABELADO	AMOSTRA NORMAL
	ESTE	NORTE		
Vetor MDS _{0,50 m}	28,174	0,7226	3,514	Não
Vetor MDS _{0,40 m}	1,316	1,219	3,514	Sim
Vetor MDS _{0,30 m}	2,642	17,966	3,514	Não

Fonte: GeoPEC 3.2.

Como já mencionado no item 4.3.7 desta dissertação, o teste *Qui-quadrado* não foi realizado no *software* GeoPEC 3.2 uma vez que o mesmo traz uma interpretação equivocada do Decreto 89.817. No cálculo para o valor do σ_x apresentado na Equação 4.7 (para cada componente), Santos (2010) realiza a divisão do Erro Padrão (EP) por 2 o que torna o valor calculado na Equação 4.8 mais apertado. A Tabela 25 traz os resultados do teste *Qui-quadrado* aplicado para a amostra de 228

pontos (33 edificações) cujos vetores foram obtidos a partir do Modelo Digital de Superfície com resoluções espaciais de 0,50 m, 0,40 m e 0,30 m.

Tabela 25 - Resultado do Teste *Qui-quadrado* para as componentes planimétricas dos vetores

PRODUTO AVALIADO	CLASSE	² CALCULADO		² TABELADO	RESULTADO
		ESTE	NORTE		
Vetor MDS _{0,50 m}	A	117,744	203,772	249,911	Aprovado
Vetor MDS _{0,40 m}	A	102,453	138,212	253,030	Aprovado
Vetor MDS _{0,30 m}	A	69,200	102,400	251,990	Aprovado

Fonte: O Autor.

A Tabela 26 apresenta o resultado da classificação da planimetria junto ao PEC a qual apresenta o percentual de pontos amostrais cujo valor do RMS foram menores que o Erro Padrão considerado para a classe.

Tabela 26 - Resultado da classificação da planimetria dos vetores junto ao PEC - Avaliação do EP

PRODUTO AVALIADO	CLASSE	% AMOSTRA < PEC		RMS < EP	RESULTADO
		ESTE	NORTE		
Vetor MDS _{0,50 m}	A	98,24	98,24	Passou	Aprovado
Vetor MDS _{0,40 m}	A	99,56	99,56	Passou	Aprovado
Vetor MDS _{0,30 m}	A	99,12	99,12	Passou	Aprovado

Fonte: O Autor.

A Tabela 27 traz o resumo estatístico obtido na avaliação dos 228 pontos (33 edificações) amostrais para testes das componentes planimétricas dos vetores.

Tabela 27 - Resumo estatístico obtido na avaliação da planimetria dos vetores

ESTATÍSTICAS	Vetor MDS _{0,50 m}		Vetor MDS _{0,40 m}		Vetor MDS _{0,30 m}	
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
Nº pontos	224	224	227	227	226	226
Média	-0,568	0,094	-0,453	0,067	-0,653	0,150
Desvio Padrão	0,545	0,717	0,505	0,586	0,415	0,5061

Variância	0,297	0,514	0,255	0,344	0,173	0,256
RMS	0,788	0,723	0,679	0,590	0,776	0,528
Discrep. Máx.	1,940	2,014	0,924	1,435	0,773	1,746
Discrep. Mín.	-1,951	-1,986	-2,179	-1,547	-1,769	-1,755
Curtose	4,450	2,896	3,261	2,955	3,328	4,353
Assimetria	0,471	0,129	0,133	-0,178	0,207	-0,138
Soma	66,203	114,580	57,647	77,632	38,834	57,625
Outliers	4	4	1	1	2	2

Fonte: GeoPEC 3.2.

As Figura 68, 69 e 70 apresentam os gráficos das discrepâncias encontradas para a planimetria avaliada para os 228 pontos amostrais (33 edificações) comparados com suas respectivas coordenadas planimétricas dos vetores obtidos por meio da restituição aerofotogramétrica.

Figura 68 - Resultado gráfico das discrepâncias obtidas para a amostra dos 228 pontos (33 edificações) obtidas por meio dos produtos e subprodutos LIDAR com resolução espacial de 0,50 m

(a) Coordenada E (m)

Fonte: O Autor.

(b) Coordenada N (m)

Fonte: O Autor.

Figura 69 - Resultado gráfico das discrepâncias obtidas para a amostra dos 228 pontos (33 edificações) obtidas por meio dos produtos e subprodutos LiDAR com resolução espacial de 0,40 m

(a) Coordenada E (m)

Fonte: O Autor.

(b) Coordenada N (m)

Fonte: O Autor.

Figura 70 - Resultado gráfico das discrepâncias obtidas para a amostra dos 228 pontos (33 edificações) obtidas por meio dos produtos e subprodutos LiDAR com resolução espacial de 0,30 m.

(a) Coordenada E (m)

Fonte: O Autor.

(b) Coordenada N (m)

Fonte: O Autor.

Pela Tabela 27 nota-se que nos 3 conjuntos de vetorizações realizadas houveram pontos classificados como *outliers* os quais foram separados e elencados na Tabela 28.

Tabela 28 - *Outliers* encontrados nos vetores analisados na escala 1:2.500

PONTO	RESOLUÇÃO 0,50 m		RESOLUÇÃO 0,40 m		RESOLUÇÃO 0,30 m	
	E (m)	N(m)	E (m)	N(m)	E (m)	N(m)
92	287875,860	7475050,605	-	-	287876,047	7475050,755
117	287898,409	7474892,254	-	-	-	-
120	287911,264	7474869,116	-	-	-	-
136	288189,178	7474630,431	-	-	-	-
213	-	-	288437,934	7474003,15	288437,9	7474002,962

Fonte: O Autor.

Analisando a Tabela 28 nota-se que existem 5 pontos que foram definidos como *outliers* na escala 1:2.500 e destes, 4 estão presentes na vetorização realizada utilizando os produtos LiDAR com resolução espacial de 0,50 m e 2 são coincidentes nas vetorizações executadas com os produtos com resolução espacial 0,50 m/ 0,30 m (ponto 92) e também nas resoluções espaciais 0,40 m/ 0,30 m (ponto 213).

Para cada um dos *outliers* realizou-se uma análise considerando o Modelo Digital de Superfície nas três resoluções espaciais com o intuito de compreender esta ocorrência. Nesta avaliação foram também utilizados os pontos das vetorizações classificados como *outliers* e seus respectivos pontos oriundos da restituição fotogramétrica. A Figura 71 apresenta uma comparação dos pontos da vetorização (cor amarela) com os pontos da restituição (cor verde) sobrepostos aos Modelos Digitais de Superfície nas diferentes resoluções espaciais.

Figura 71 - Análise dos pontos classificados como *outliers*: Pontos Vetorização (cor amarela) X Pontos Restituição (cor verde) X Modelos Digital de Superfície

(a) Análise sobre o $MDS_{0,50m}$

PONTOS VETORIZAÇÃO X PONTOS RESTITUIÇÃO X $MDS_{0,50m}$

(b) Análise sobre o $MDS_{0,40m}$ PONTOS VETORIZAÇÃO X PONTOS RESTITUIÇÃO X $MDS_{0,40m}$ (c) Análise sobre o $MDS_{0,30m}$ PONTOS VETORIZAÇÃO X PONTOS RESTITUIÇÃO X $MDS_{0,30m}$

Fonte: O Autor

Pela Figura 71 nota-se que o ponto 136 encontra-se localizado sobre uma árvore próxima ao canto da edificação não sendo possível definir com exatidão a posição do canto do objeto. Para os demais pontos analisados verifica-se que os pontos dos vetores da restituição estão fora dos limites que definem os objetos no Modelo Digital de Superfície o que sugere que a restituição fotogramétrica, para estas

edificações, não está coerente com a representação do objeto o que pode ter sido ocasionado pelo deslocamento devido a altura do objeto durante o processo de restituição aerofotogramétrica.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para realizar as análises estatísticas optou-se por utilizar o *software* GeoPEC 3.2 desenvolvido por Santos (2010). Os testes estatísticos (*t-student*, *Jarque-Bera* e *Qui-quadrado*) realizados neste aplicativo para a componente altimétrica apresentam a mesma fundamentação conforme o estabelecido na literatura porém, a aplicação destes mesmos testes para as componentes planimétricas mostrou que o GeoPEC 3.2 traz uma interpretação equivocada do Decreto 89.817 para o teste *Qui-quadrado* que realiza a classificação dos produtos no Padrão de Exatidão Cartográfica. Conforme descrito no item 4.3.6 dessa dissertação, cada componente deve ser analisada individualmente sendo que o valor calculado para a variável σ_x corresponde ao valor do Erro Padrão na respectiva escala, referente ao teste que está sendo realizado. Durante a aplicação do teste *Qui-quadrado* por meio do GeoPEC 3.2. observou-se que para o cálculo da variável σ_x o mesmo, apesar de realizar a análise de cada componente (E, N) de maneira individual, traz uma fundamentação mais exigente que difere do que está estabelecido no Decreto 89.817. Assim, para a componente planimétrica optou-se por desenvolver manualmente todos os cálculos envolvidos no teste *Qui-quadrado*.

Os resultados dos testes executados para a altimetria dos Modelos Digitais de Terreno nas três resoluções espaciais mostraram-se satisfatórios. Por meio do teste *t-student* pode se verificar que em nenhum caso houve a existência de erros sistemáticos. O teste *Jarque-Bera* classificou como não sendo normais as amostras analisadas com o Modelo Digital de Terreno na resolução espacial de 0,50 m o que pode ser justificado pelos altos valores encontrados para as variáveis estatísticas curtose e assimetria.

Conforme hipótese inicial, todos os Modelos Digitais de Terreno nas diferentes resoluções espaciais oriundos das nuvens de pontos com diferentes densidades, foram enquadrados na Classe A+ da Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geospaciais (ET-PCDG). Apenas o Modelo Digital de Terreno com resolução espacial de 0,50 m não se obteve 100% dos pontos amostrais aprovados no teste uma vez que alguns valores das discrepâncias estavam acima de 0,27 m, que corresponde ao valor estabelecido pelas Especificação Técnica para

Produtos de Conjuntos de Dados Geospaciais (ET-PCDG) para a classe A+ considerando a equidistância vertical de 1,0 m.

O resumo estatístico para a componente altimétrica dos três modelos analisados mostrou que o maior valor para o desvio padrão foi encontrado para o Modelo Digital de Terreno com resolução espacial de 0,50 m. Este alto valor pode ter a influência da quantidade de pontos utilizados na geração do modelo bem como a abertura da malha regular estabelecida para se obter o arquivo *raster* porém, para se comprovar esta hipótese é necessário o desenvolvimento outros experimentos variando a abertura da malha quadrada e aplicando os mesmos testes.

Nos Modelos Digitais de Terreno com resolução espacial de 0,40 m e 0,30 m os valores encontrados para o desvio padrão se apresentaram bem próximos o que pode ser justificado pelo fato de que a nuvem de pontos utilizada para gerar o Modelo Digital de Terreno com resolução espacial de 0,40 m foi derivada da nuvem de pontos que deu origem ao Modelo Digital de Terreno com resolução espacial de 0,30 m.

Para a análise das componentes planimétricas utilizou-se a Nuvem de Pontos classificada uma vez que a identificação dos objetos e a leitura das coordenadas dos respectivos pontos rastreados em campo com receptor GNSS mostraram-se satisfatórias e com alto grau de acerto em sua identificação, não havendo interferência da interpolação nem mesmo da abertura da malha quadrada e também da acuidade visual para identificação do local escolhido para leitura das coordenadas. Uma contribuição para esta eficiência foi a visualização tridimensional da Nuvem de Pontos proporcionada para os casos de dúvida na identificação e a escolha do ponto que representa o canto da edificação rastreada *in locu*.

Os mesmos testes estatísticos aplicados para a altimetria foram empregados na análise da qualidade das componentes planimétricas. O teste *t-student* mostrou que nenhuma Nuvem de Pontos apresentou erro sistemático. No que se refere a normalidade da amostra apenas a Nuvem de Pontos com densidade de 4 pts/m² apresentou-se dentro da normalidade sendo que as demais foram classificadas como amostras não normais.

O teste *Qui-quadrado* aplicado na escala de 1:1.000 enquadrou apenas a nuvem de pontos com densidade de 16 pts/m² na classe A+ da Especificação Técnica para

Produtos de Conjuntos de Dados Geospaciais (ET-PCDG) sendo que as demais Nuvens de Pontos (8 pts/m² e 4 pts/m²) foram enquadradas na classe A. O enquadramento da nuvem de 16 pts/m² na classe A+ das Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geospaciais (ET-PCDG) pode ser explicado pelo fato de que esta apresenta uma maior quantidade de pontos perfilados principalmente nos limites que definem os objetos (bordas das edificações) e também por consequência um menor espaçamento entre os pontos no terreno. Para as nuvens de pontos com menores densidades além de possuírem um maior espaçamento entre os pontos perfilados, os limites que definem as edificações podem ter ausência de pontos nas proximidades dos cantos escolhidos para rastreamento GNSS dos pontos amostrais ocasionando um erro maior durante a leitura das coordenadas devido a esta deficiência.

No que se refere as estatísticas obtidas para cada uma das componentes planimétricas analisadas nas diferentes nuvens de pontos nota-se que os valores dos desvios padrões diminuem à medida que se aumenta a densidade de pontos. Este fato nos faz inferir que quanto maior a densidade de pontos da nuvem (e menor o espaçamento entre os pontos perfilados) tem-se uma maior definição os limites dos objetos e consequentemente uma maior precisão na sua identificação. A Figura 72 apresenta o comportamento gráfico dos desvios padrões nas nuvens de pontos com densidades de 4 pts/m², 8 pts/m² e 16 pts/m².

Na análise qualitativa realizada sobre os produtos e subprodutos LiDAR observou-se que quanto menor a abertura da malha quadrada dos produtos *raster* melhor é a definição dos objetos (limites das edificações) e consequentemente melhor o resultado da extração da informação.

Os produtos LiDAR, apesar de proporcionarem uma alta definição dos objetos não podem ser considerados efetivos para a extração manual dos limites das edificações (bordas) de modo a comporem uma base cartográfica com qualidade.

Figura 72 - Desvios padrões das componentes planimétricas analisadas sobre as Nuvens de Pontos com diferentes densidades

Fonte: O Autor.

Os vetores obtidos para as edificações apresentam uma qualidade cartográfica (bons resultados) somente a partir da escala 1:2.500. Muitas foram as dificuldades encontradas no processo de vetorização das edificações pois após delimitar seus limites por meio dos vetores foram encontradas uma série de erros cometidos principalmente na definição do objeto que deveria seguir os limites das bordas dos telhados das edificações. Para minimizar estas inconsistências, como se indicou, foi utilizada a visualização tridimensional do Modelo Digital de Superfície em conjunto com a vetorização realizada o qual foi possível realizar alguns ajustes nos vetores proporcionando uma melhor adaptação ao modelo tridimensional (Figura 67).

Na avaliação da qualidade da extração da informação o teste *t-student* aplicado as três vetorizações distintas identificou a existência de erros sistemáticos nos conjuntos analisados principalmente na coordenada Este que apresentou os maiores valores no referido teste.

A amostra se mostrou com comportamento normal apenas na vetorização realizada a partir do Modelo Digital de Superfície com resolução espacial de 0,40 m o que era esperado pelos baixos valores encontrados para as variáveis estatísticas assimetria e curtose.

O teste *Qui-quadrado* aplicado na escala 1:2.500 enquadraram todos os produtos na classe A do PEC porém, em nenhum dos casos tivemos 100% dos pontos onde os valores das discrepâncias encontradas nas componentes planimétricas (E, N) abaixo do valor do PEC estabelecido para a escala considerada, que neste caso é de 1,25 m.

Pelo resumo estatístico apresentado na Tabela 27 tem-se que os desvios padrões encontrados apresentam-se maiores para os vetores extraídos a partir dos modelos com maior resolução espacial e vão diminuindo à medida que se diminui a abertura da malha dos produtos *raster* utilizados. A Figura 73 traz o comportamento gráfico dos desvios padrões para as componentes planimétricas (E, N) dos vetores extraídos a partir dos Modelos Digitais de Superfície nas diferentes resoluções.

Ainda sobre as estatísticas geradas para os vetores verifica-se que foram encontrados *outliers* nas três análises apresentadas na Figura 71 a qual evidencia possíveis erros ocasionados na restituição fotogramétrica durante o processo de interpretação e/ou ocasionados pelo deslocamento do objeto devido à influência de sua altura.

Figura 73 - Desvios padrões das componentes planimétricas dos vetores extraídos nos Modelos Digitais de Superfície com diferentes resoluções

Fonte: O Autor.

É importante dizer que todos os resumos estatísticos apresentados mostraram altos valores para curtose e assimetria porém, como estas variáveis não interferem nos resultados os seus valores foram mantidos porém, sabe-se que estes valores podem vir a ser melhorados com a remoção de pontos que apresentam alta discrepância. A curtose apresentada pelo GeoPEC 3.2 é calculada por uma fórmula diferente do Excel e pressupõe que neste *software* o seu valor considerado (ideal) esteja em torno de 3.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento dessa pesquisa contribuiu para uma melhor compreensão da utilização de dados LiDAR aplicados ao ambiente urbano regular.

A variável densidade de pontos compreende em um dos quesitos fundamentais para execução de um projeto de perfilamento LiDAR aerotransportado. A sua correta definição possibilita ao usuário gerar produtos e subprodutos com precisão e acurácia desejadas e também contratar um projeto financeiramente não oneroso, uma vez que um perfilamento LiDAR com uma alta densidade de pontos implica em maiores custos na coleta da informação devido a uma maior quantidade de horas de voo necessárias para o recobrimento da área interesse.

Os resultados obtidos nessa pesquisa mostraram que a altimetria dos produtos e subprodutos gerados a partir de nuvens perfiladas com diferentes densidades de pontos (4 pts/m², 8 pts/m² e 16 pts/m²) não apresentam diferença significativa na qualidade altimétrica, ou seja, um perfilamento LiDAR com densidade de 4 pts/m² seria suficiente para obter produtos e subprodutos altimétricos enquadrados na classe A+ da Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geospaciais (ET-PCDG) considerando uma equidistância vertical de 1,0 m.

O resultado da análise da planimetria desenvolvidos sobre as nuvens de pontos com diferentes densidades enquadrou na classe A+ da Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geospaciais (ET-PCDG) (na escala 1:1.000) apenas a nuvem de pontos com densidade de 16 pts/m² (maior densidade) sendo que as demais nuvens foram atribuídas à classe A. Cabe ao usuário analisar se essa melhoria de classe é necessária em suas aplicações: geração de MDT, Curvas de Nível, Pontos Cotados, MDS, MDS_N, Imagem de Intensidade, contorno das edificações e cobertura vegetal.

A avaliação da extração da informação analisada por meio da vetorização das edificações também contribuiu para a escolha da densidade de pontos para um perfilamento LiDAR em um ambiente urbano regular. Para as três vetorizações realizadas nas diferentes resoluções espaciais a planimetria dos vetores, em todos os casos analisados, foram enquadrados na classe A do PEC (na escala 1:2.500), o

que levaria à escolha da menor densidade por apresentar menores custos de aquisição.

A Tabela 29 apresenta o resumo do enquadramento do PEC das 3 Nuvens de Pontos LiDAR com diferentes densidades que foram analisadas do ponto de vista da altimetria e da planimetria dos produtos e subprodutos obtidos e também, a classificação do PEC e conforme as Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geospaciais (ET-PCDG) para extração da informação por meio da vetorização realizada.

Tabela 29 - Resumo do enquadramento do PEC/ET-PCDG obtidos nos experimentos

Densidade Pts.	PEC Altim. MDT	PEC Planim. NP	PEC Planim. Vetor. MDS
4 pts/m²	A+	A	A
8 pts/m²	A+	A	A
16 pts/m²	A+	A+	A

Fonte: O Autor.

Conforme pode ser visto na Tabela 29 tem-se que densidade de 16 pts/m² apresentou-se mais precisa em altimetria e planimetria no que se refere enquadramento do PEC realizado porém, considerando que o Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984 encontra-se ainda em fase de reformulação, não sendo reconhecida ainda a classe A+ da Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geospaciais (ET-PCDG), pode-se concluir nessa pesquisa que a densidade de 4 pts/m² é suficiente para se obter produtos e suprodutos LiDAR com precisão e acurácia da mesma classe, sendo possível a utilização destes em um ambiente urbano regular para aplicações e estudos.

Esta pesquisa levou em consideração apenas 3 densidades de pontos onde 2 delas compreendem à superfícies efetivamente perfiladas (4 pts/m² e 16 pts/m²) por diferentes tipos de sensores, épocas e condições. Sugere-se que a metodologia seja aplicada para nuvens de pontos com outras densidades de pontos e que estas sejam adquiridas pelos mesmos sensores e na mesma época pois alguns erros proporcionados pelos diferentes sensores e *softwares* utilizados no georreferenciamento direto da nuvem são imputados pelo fato de corresponderem a

aquisições realizadas em diferentes épocas (intervalo de 2 anos) e talvez ao fato de uma das nuvens ter sido sintetizada a partir da outra.

Recomenda-se também realizar o mesmo estudo em outros contextos e ambientes na superfície da Terra tais como rural, florestas, de favelas e outros, visando as possibilidades das diferentes aplicações dos produtos e subprodutos LiDAR.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, A.F.; RAHMAN, A.A.; VOJINOVIC, Z. Lidar Filtering Algorithms for Urban Flood Application: Review on Current Algorithms and Filters Test. **IAPRS**, Paris, v. XXXVIII, n. 3, p. 30-36, 2009.

ANDERSEN, H.E.; McGAUGHEY, R.J.; REUTEBUCH, S.E. Estimating forest canopy fuel parameters using LIDAR data. **Remote Sensing of Environment**, Seattle, v. 94, n. 4, p.441-449, 2005.

ASPRS: AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. Disponível em: <<http://http://www.asprs.org/>>. Acesso em: 13 fev. 2016.

BALTSAVIAS, E.P. Airborne laser scanning: basic relations and formulas. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. Zurich, v. 54, n. 22-3, p. 199-214, 1999.

BEHAN, A. On the matching accuracy of rasterized scanning laser altimeter data. **IAPRS**. Amsterdam, v. XXXIII, p. 75-82, 2000.

BRASIL. Decreto-lei nº 89.917, de 20 de junho de 1984. Estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. Diário Oficial da União, Brasília, 1984.

BUKATA, R.P.; JEROME, J.H.; KONDRATYEV, K.Y.; POZDNYAKOV, D.V. **Optical Properties and Remote Sensing of Inland and Coastal Waters**. Florida: CRC PRESS, 1995. 384 p.

CARVALHO, A.G. **Influência da Modelagem dos Componentes de BIAS Instabilidade dos Sensores Inerciais no Desempenho do Navegadores Integrado SNI/GPS**. 2011. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2011.

CENTENO, J.A.; MITISHITA, E.A. Laser scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: INPE, 2007 p. 3645-3652.

CHEN, S.; WHITMAN, D.; SHYU, M.; YAN, J.; ZANG, C. A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LiDAR.

IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. v.41, n. 4,p. 872-882, 2003.

CONCAR-Comissão Nacional de Cartografia. **Especificação Técnica de Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais**. Disponível em: <<http://http://www.geoportal.eb.mil.br/index.php/inde2?id=134>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

DIAS, J.C.F.; CARTER. W.E.; SHRESTHA, R.L.; GLENNIE, C.L. Now You See It...Now You Don't: Understanding Airborne Mapping LiDAR Collection and Data Product Generation for Archaeological Research in Mesoamerica. **Remote Sensing**. v. 6, n. 10, p.9951 – 10001, 2014.

DIAZ, J.C.F. Lifting the canopy veil, Airborne LiDAR for archeology of forested areas Imaging Notes. **Earth Remote Sensing for Security Energy and the Environment**. v. 26, n. 2, p. 31-34, 2011.

DURAO, C.R.C. **Utilização de Medidas Inerciais Baseadas em Sistemas Microeletromecânicos em Navegadores Integrados**. 2009. 183 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

EL-SHEIMY, N. **Inertial Navigation and INS/GPS integration**. Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Calgary, Canada, 2000.

EL-SHEIMY, N.; VALEO, C.; HABIB, A. **Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation and Applications**. Norwood: Artech House, 2005. 270 p.

FILIN, S.; PFEIFER, N. Neighborhood System for Airborne Laser Data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 71, n. 6, p. 743-755, 2005.

FAN, H. A Novel Approach Segmentation of Airbone Laser Scanning Point Cloud Located on Roof Structure. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Melbourne, v. XXXIX-B1, p. 97-270, 2012.

FARRELL, J.A.; BARTH, M. **TheGlobal Positioning System and Inertial Navigation**, 1 ed. New York: McGraw-Hill Professional, 1998, 340 p.

GALVANIN, E.A.S.; POZ, A.P.D. Sistema LiDAR e métodos de interpolação de dados. **Revista de Geografia (UFPE)**. v. 30, n. 1, p. 91-102, 2013.

GONG, W.; MAO, F.; SONG, S. Signal simplification and cloud detection with an improved Douglas-Peucker algorithm for single-channel lidar. **Meteorology and Atmosphere Physics**. v. 113, p. 89-97, 2011.

HARDING, D.J.; CARABAJAL, C.C. ICESat waveform measurements of within-footprint topographic relief and vegetation vertical structure. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 21, p. 1-4, 2005.

HOGUE, F.E.; SWIFT, R.N. FREDERICK, E.B. Water depth measurement using an airborne pulsed neon laser system. **Applied Optics**, v. 19, n. 6, p. 871-883, 1980.

HUISING, E.J.; PEREIRA, L.M.G. Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning systems for topographic applications. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 53, n. 5, p. 245-261, 1998.

HUTCHINSON, M.; XU, T.; STEIN, J. Recent Progress in the ANUDEM Elevation Gridding Procedure. **Geomorphometry**. p. 19-22, 2011.

ISRO: INDIAN SPACE RESEARCH ORGANIZATION. Disponível em: <<http://www.isro.gov.in/>>. Acesso em: 17 de out. 2016.

JENSEN, J.R.; HODGSON, M.E.; JR, H.E.M.; KRABILL, W. Correlation between aircraft MSS and LiDAR remotely sensed data on a forested Wetland. **Geocarto International**, v. 2, n. 4, p. 39-54, 2008.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 1. ed. São José dos Campo: Parêntese, 2009, 598 p.

KANKARE, V.; VASTARANTA, M.; HOLOPAINEN M.; YU, X.; HYYPPÄ, J.; HYYPPÄ, H. The Fusion of Individual Tree Detection and Visual Interpretation in Assesment of Forest Variables from Laser point Clouds. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Calgary, v. XXXVIII-5/W12, p. 157-161, 2011.

KIM, H.B.; SOHN G. Random Forests Based Multiple Classifier System for Power-Line Scene Classification. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Calgary, v. XXXVIII-5/W12, p. 253-258, 2011.

KOCK, K. **Parameter estimation and Hypothesis testing in linear models**. 2nd. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1999, 334 p.

KRAUS, K.; MIKHAIL, E. Linear least squares interpolation. **Photogrammetry Engineering**, v. 38, p. 1016-1029, 1972.

KRAUS, K.; PFEIFER, N. A new method for surface reconstruction from laser scanner data. **IAPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. XXXII3/W3, p. 234-241, 1997.

KRAUS, K.; PFEIFER, N. Derivation of digital terrain models in wooded areas. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 53(4), p. 193-203, 1998.

KWAKKEL, S.P. **Human Lower Limb Kinematics Using GPS/INS**. 2009. 169 f. Dissertação (Master of Science) – Departament of Geomatics Engineering, University of Calgary, Calgary, 2009.

LEONARD, J. **Technical Approach for LiDAR Acquisition and Processing**, Frederick, MD: Earth Data Inc., 20 p., 2005.

LIMA, L.A. **Avaliação da Técnica de Georreferenciamento Direto em Mapeamento Aerofotogramétrico**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2016, 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura, UNICAMP, Campinas, 2016.

LOHMANN, P.; KOCK, A.; SCHAEFFER, M. Approaches to the filtering of laser scanner data. **IAPRS**. v. 33, p. 534-541, 2006.

LONGLEY, P.A.; GOODCHILD, M.F.; MAGUIRE, D.J.; RHIND, D.W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MA, Y.; WEI, C.; HU, T.; WANG, R.; ZHOU, G. Hybrid Filtering of Lidar Data Based on the Echoes. **IAPRS**. v. XXXVIII, p. 147 -151, 2015.

MALLET, C.; BRETAR, F. Full-waveform topographic lidar: State-of-the art. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. v.64, n. 1, p. 1-16, 2009.

MANDLBURGER, G. **Topographische Modelle für Anwendungen in Hydraulik und Hydrologie**. Vienna: Vienna University of Technology, 2006, 166 f. Phd Thesis, University of Technology. Vienna, 2006.

MAURICIO, A. F. Q. **Global Navigation Satellite System: passado, presente e futuro**. Alfeite: Escola Naval de Alfeite, 2015, 192 f. Dissertação (Mestre em Ciências Militares Navais, na especialidade de Marinha), Alfeite, 2015.

MAYER, S. **Automatisierte Objekterkennung zur Interpretation hochauflösender Bilddaten in der Erdfernerkundung**. Berlin: Humboldt Universität zu Berlin, 2004, 211 f. Dissertation (im Fach Informatik), Berlin, 2004.

MOAFIPOOR, S.; GREJNER-BRZEZINSKA, D.; TOTH, C.K. Tightly coupled GPS/INS integration based on GPS Carrier phase velocity update. **ION NTM**. San Diego, p. 1094-1102, 2004.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2 ed. São Paulo: UNESP, 2008. 480 p.

MONICO, J. F.G.; POZ, A.P.D.; GALO, M.; SANTOS, M.C.; OLIVEIRA, L.C. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Curitiba, v. 15, n. 3, p.469-483, 2009.

NERO, M. A. **Propostas para controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005, 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP, São Paulo, 2005.

PACHECO, A.P.; CENTENO, J.A.S.; ASSUNÇÃO, M.G.T.; BOTELHO, M.F. Classificação de pontos LiDAR para a geração do MDT. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Curitiba, v.17, n. 13, p.417-438, 2011.

PARKER, G.G.; LEFSKY, M.A.; HARDING, D.J. Light transmittance in forest canopies determined using laser altimetry and in-canopy quantum measurements. **Remote Sensing of Environment**. v. 76, n. 3, p. 298-309, 2001.

PAULA, C.F.; LIMA, L.A. Sistema LiDAR: Uma Perspectiva para Estudos Ambientais e Espaciais no Segmento de Linhas de Transmissão de Energia. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEOPROCESSAMENTO DO SETOR ELÉTRICO, n. 3º, 2014, Foz do Iguaçu. Anais III Encontro Nacional de Geoprocessamento do Setor Elétrico. Maio, 2014.

PEIXOTO, E. B.; CENTENO, J. A. Análise comparativa de resultados altimétricos obtidos por perfilamento a laser e topografia convencional. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, Recife, 2010. p. 001-003.

PEUKER, T.K.; FOWLER, R.J.; LITTLE, J.J.; MARK, D.M. The triangulated irregular network, Proceedings of the Digital Terrain Models (DTM). **American Society for Photogrammetry in cooperation with American Congress on Surveying and Mapping**. p. 516-540, 1978.

PFEIFER, N.A subdivision algorithm for smooth 3D terrain models. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. v.59, n. 3, p.115-127, 2005.

POPESCU, S.C. **Estimating Plot-Level Forest Biophysical Parameters Using Small-Footprint Airborne Lidar Measurements**. Blacksburg: Virginia Tech, 2002, 115 f. Tese (Doutorado em Floresta) – Department of Forestry, Virginia, 2002.

RENSLOW, M.S. **Manual of Airborne Topographic Lidar**. Bethesda: ASPRS, 2012, 884 p.

ROLNIK, R. **Regulação urbanística e exclusão territorial**. São Paulo, Pólis, 1999. 136 p.

ROTTENSTEINER, F.; BRIESE, C.A New Method for Building Extraction in Urban Areas from High-Resolution LiDAR Data. **International Society for Photogrammetry and Remote Sense – ISPRS**. v. 14, n. 3, p.27-34, 2012.

SANTOS, A.P. **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com o Uso da Estatística Espacial**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2010, 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, UFV, Viçosa, 2010.

SCHENK, T.; CSATO, B. Fusing imagery and 3D point clouds for reconstructing visible surfaces of urban scenes. **Urban Remote Sensing Joint Event**, Paris, p. 007-014, 2007.

SCHERZINGER, B. A Position and Orientation Pos-Processing software package for inertial/GPS integration (POSProc). **Proceedings of the International Symposium on Kinematic System in Geodesy, Geomatics and Navigation**. Canada, p. 197-204, 1997.

SCHIMIDT, A.; ROTTEENSTEINER, U.; SÖRGEL U. Classification of Airbone Laser Scanning Data in Wadden Sea Areas Using Conditional Random Fields. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Melbourne, vol, XXXIX-B3, p. 161-166, 2012.

SCHUFFERT, S. An Automatic Data Driven Approach to Derive Photovoltaic-Suitable Roof Surfaces from ALS Data. **Urban Remote Sensing Event (JURSE)**. São Paulo, p. 267-270, 2013.

SCHWARZ, K.P.; CHAPMAN, M.A.; CANNON, M.E.; GONG, P. An integrated INS/GPS approach to the georeferencing of remotely sensed data. **PE&RS**, v. 59, n. 11, p. 1667 – 1674, 1993.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. 2ed. New York: Walter de Gruyter, 2003. 589 p.

SHAN, J.; TOTH, C.K. **Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing**. 1. ed. Indiana: CRC Press, 2009. 616 p.

SILVA, I.; SEGANTINI, P.C.L. **Topografia para engenharia: teoria e prática de geomática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 411 p.

SILVA, R. A. **Estimação Dinâmica do Beta do Modelo CAPM em Fundos de Ações: Uma Aplicação do Filtro de Kalman**, São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007, 109 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante “Modelagem Matemática em Finanças”) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, São Paulo, 2007.

SITHOLE, G. Filtering of laser altimetry data using a slope adaptative filter. **IAPRS**, v. 59, n. 3, p. 85-101, 2001.

TOTH, C.K. Future trends in LiDAR. **Proceedings of ASPRS 2004 Annual Conference**, Denver, p.123-138, 2004.

VAZ, J.A.; PISSARDINI, R.S.; JUNIOR, E.S.F. Comparação da cobertura e acurácia entre os sistemas GLONASS e GPS obtidas dos dados de observação de uma estação da rede brasileira de monitoramento contínuo. **Revista Brasileira de Cartografia**. n. 65/3, p. 529-529, 2013.

VOSSelman, G. Slope based filtering of laser altimetry data. **IAPRS** v. XXXIII, B3/2, Amsterdam, p. 001-008, 2000.

WEHR, A.; LOHR, U. Airborne laser scanning – an introduction and overview. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. v. 54, p. 68-82, 1999.

ANEXO A – CONFIGURAÇÃO DO SENSOR LIDAR HARRIER 68i PARA AQUISIÇÃO DOS DADOS NO ANO DE 2012

```

Unicamp_Scrip_Config_Harrier
-----
Trimble Harrier ScanScript for Riegl LMS-Q680 scanner
-----
Generated by: Harrier Config v2.9
at: 5/11/2012 08:03:19
-----
Used Parameters and Statistics:
- Logging Mode:      Log Mode 7: 400 kHz, 1 first + 1 last
- Viewing Angle:     60 deg
- Angle Step:        34.18 mdeg (fixed to: 34 mdeg)
- Pulses per Scanline: 1755.56 (fixed to: 1755)
- Flight Speed:      48.00 m/s (172.80 km/h)
- Flight Height:     480.43 m (1576.22 ft)
- Scanline Rate:     151.90 Hz
- Point Density:     10.01 /sqm
- Point Spacing (ALT): 0.32 m
- Point Spacing (ACT): 0.32 m
- Swath Width:       554.76 m
-----
AP; *AM; 1000;
ICAN^AM; *ICAN^AM;;
SCAN^AM; *SCAN^AM;;
F77^AM; *F77^AM;;
ROS^AM; *ROS^AM;;
SCN_TRIGMODE2^AM; *SCN_TRIGMODE2^AM;;
SCN_OPMODE1^AM; *SCN_OPMODE1^AM;;
MS_MTA_ZONE2^AM; *MS_MTA_ZONE2^AM;;
MS_NRS_LEVEL0^AM; *MS_NRS_LEVEL0^AM;;
LOG_MODE7^AM; *LOG_MODE7^AM;;
SCN_THETAS600000^AM; *SCN_THETAS600000^AM;;
SCN_THETAD340^AM; *SCN_THETAD340^AM;;
SCN_THETAN1755^AM; *SCN_THETAN1755^AM;;
SCN_MSM16^AM; *SCN_MSM16^AM;;
GPS_STATUS^AM; *GPS_STATUS0^AM;;
LASER1^AM; *LASER1^AM;;
SCN_APPLY^AM; *SCN_APPLY^AM;;
W^AM; *W^AM;;
Q^AM; *Q^AM; 1000;

```

ANEXO B – PLANO DE VOO GRÁFICO PARA O PERFILAMENTO REALIZADO EM 2012

APÊNDICE A – INFORMAÇÕES TÉCNICAS DAS NUVENS DE PONTOS

- Nuvem de pontos LiDAR com densidade de 4 pts/m² (Baixa Densidade)

```
lasinfo
E:\@MESTRADO_USP\PRODUTOS_FINALIS_02\VOO_03PTS\NP_3PTS_CLASS_UNICAMP\NP_3PTS_CLASS_U
NICAMP.las
```

reporting all LAS header entries:

```
file signature:          'LASF'
file source ID:          0
global_encoding:         0
project ID GUID data 1-4: 00000000-0000-0000-0000-000000000000
version major.minor:     1.1
system identifier:       ''
generating software:     'Global Mapper'
file creation day/year:  67/2016
header size:             227
offset to point data:    447
number var. length records: 2
point data format:       1
point data record length: 28
number of point records: 12466667
number of points by return: 9708907 2147255 524851 78530 7124
scale factor x y z:      0.001 0.001 0.001
offset x y z:            287053.773999999998 7473322.87999999999 0
min x y z:               287053.774 7473322.880 0.000
max x y z:               289016.149 7476025.914 702.660
```

variable length header record 1 of 2:

```
reserved                43707
user ID                  'LASF_Projection'
record ID                34735
length after header     88
description               'Georeferencing Information'
GeoKeyDirectoryTag version 1.1.0 number of keys 10
```

key 1024 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 1 - GTModelTypeGeoKey:
ModelTypeProjected

key 2048 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 4674 - GeographicTypeGeoKey:
look-up for 4674 not implemented

key 2054 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 9102 - GeogAngularUnitsGeoKey:
Angular_Degree

key 2056 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 7019 - GeogEllipsoidGeoKey:
Ellipse_GRS_1980

key 2057 tiff_tag_location 34736 count 1 value_offset 0 - GeogSemiMajorAxisGeoKey:
6378137

key 2058 tiff_tag_location 34736 count 1 value_offset 1 - GeogSemiMinorAxisGeoKey:
6356752.314

key 2059 tiff_tag_location 34736 count 1 value_offset 2 - GeogInvFlatteningGeoKey:
298.2572221

key 3072 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 31983 - ProjectedCSTypeGeoKey:
look-up for 31983 not implemented

key 3076 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 9001 - ProjLinearUnitsGeoKey:
Linear_Meter

key 4099 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 9001 - VerticalUnitsGeoKey:
Linear_Meter

variable length header record 2 of 2:

```
reserved          43707
user ID           'LASF_Projection'
record ID         34736
length after header 24
description       'Double Param Array'
    GeoDoubleParamsTag (number of doubles 3)
        6.37814e+006 6.35675e+006 298.257
```

reporting minimum and maximum for all LAS point record entries ...

```
x          0    1962375
y          0    2703034
z          0     702660
intensity  0     19859
return_number  1         7
number_of_returns  0         7
edge_of_flight_line  0         1
scan_direction_flag  0         0
classification  0         7
scan_angle_rank  -33        33
```

```

user_data          0          0
point_source_ID    0          1

```

```

gps_time 0.000000 47030.837501

```

WARNING: there is coordinate resolution fluff (x10) in z

number of last returns: 9679009

covered area in square meters/kilometers: 3351600/3.35

point density: all returns 3.72 last only 2.89 (per square meter)

spacing: all returns 0.52 last only 0.59 (in meters)

WARNING: number of points by return is different than reported in header: 9708907
2147255 524851 78530 6731

WARNING: there are 376 points with return number 6

WARNING: there are 17 points with return number 7

overview over number of returns of given pulse: 7536556 3261401 1345646 288752
31975 2148 131

WARNING: there are 58 points with a number of returns of given pulse of 0

histogram of classification of points:

58 never classified (0)

7074172 ground (2)

34800 low vegetation (3)

3912962 high vegetation (5)

1438579 building (6)

6096 noise (7)

- Nuvem de pontos com densidade de 8 pts/m² (Média Densidade)

lasinfo for

E:\@MESTRADO_USP\PRODUTOS_FINALIS_02\VOO_06PTS\NP_6PTS_CLASS_UNICAMP\NP_6PTS_CLASS_UNICAMP.las

reporting all LAS header entries:

```
file signature:          'LASF'
file source ID:          0
global_encoding:         0
project ID GUID data 1-4: 00000000-0000-0000-0000-000000000000
version major.minor:     1.1
system identifier:       ''
generating software:     'Global Mapper'
file creation day/year:  67/2016
header size:             227
offset to point data:    447
number var. length records: 2
point data format:       0
point data record length: 20
number of point records: 27185752
number of points by return: 23874727 2854449 418324 36456 1796
scale factor x y z:      0.001 0.001 0.001
offset x y z:            287053.773999999998 7473322.87999999999 0
min x y z:               287053.774 7473322.880 0.000
max x y z:               289016.149 7476025.914 716.387
```

variable length header record 1 of 2:

```
reserved                43707
user ID                  'LASF_Projection'
record ID                34735
length after header     88
description              'Georeferencing Information'
```

GeoKeyDirectoryTag version 1.1.0 number of keys 10

key 1024 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 1 - GTModelTypeGeoKey:
ModelTypeProjected

key 2048 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 4674 - GeographicTypeGeoKey:
look-up for 4674 not implemented

key 2054 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 9102 - GeogAngularUnitsGeoKey:
Angular_Degree

key 2056 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 7019 - GeogEllipsoidGeoKey:
Ellipse_GRS_1980

key 2057 tiff_tag_location 34736 count 1 value_offset 0 - GeogSemiMajorAxisGeoKey:
6378137

key 2058 tiff_tag_location 34736 count 1 value_offset 1 - GeogSemiMinorAxisGeoKey:
6356752.314

key 2059 tiff_tag_location 34736 count 1 value_offset 2 - GeogInvFlatteningGeoKey:
298.2572221

key 3072 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 31983 - ProjectedCSTypeGeoKey:
look-up for 31983 not implemented

key 3076 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 9001 - ProjLinearUnitsGeoKey:
Linear_Meter

key 4099 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 9001 - VerticalUnitsGeoKey:
Linear_Meter

variable length header record 2 of 2:

reserved 43707

user ID 'LASF_Projection'

record ID 34736

length after header 24

description 'Double Param Array'

GeoDoubleParamsTag (number of doubles 3)

6.37814e+006 6.35675e+006 298.257

reporting minimum and maximum for all LAS point record entries ...

x 0 1962375

y 0 2703034

z 0 716387

intensity 0 65535

return_number 1 7

number_of_returns 0 7

edge_of_flight_line 0 0

scan_direction_flag 0 0

classification 0 7

scan_angle_rank -30 31

user_data 0 0

point_source_ID 0 15

number of last returns: 23874753

covered area in square meters/kilometers: 3358824/3.36

point density: all returns 8.09 last only 7.11 (per square meter)

spacing: all returns 0.35 last only 0.38 (in meters)

WARNING: number of points by return is different than reported in header: 23874727
2854449 418324 36456 1744

WARNING: there are 49 points with return number 6

WARNING: there are 3 points with return number 7

overview over number of returns of given pulse: 21018846 4874838 1144492 138952
8311 234 21

WARNING: there are 58 points with a number of returns of given pulse of 0

histogram of classification of points:

58 never classified (0)

16987946 ground (2)

172455 low vegetation (3)

7254744 high vegetation (5)

2713576 building (6)

56973 noise (7)

- Nuvem de pontos com densidade de 16 pts/m² (Alta Densidade)

```
lasinfo                                     for
E:\@MESTRADO_USP\PRODUTOS_FINALIS_02\VOO_12PTS\NP_12PTS_CLASS_UNICAMP\NP_12PTS_CLASS
_UNICAMP.las
```

reporting all LAS header entries:

```
file signature:          'LASF'
file source ID:          0
global_encoding:         0
project ID GUID data 1-4: 00000000-0000-0000-0000-000000000000
version major.minor:     1.2
system identifier:       ''
generating software:     'Global Mapper'
file creation day/year:  88/2013
header size:             227
offset to point data:    447
number var. length records: 2
point data format:       0
point data record length: 20
number of point records: 54393707
number of points by return: 47769648 5712592 835164 72829 3474
scale factor x y z:      0.001 0.001 0.001
offset x y z:            287053.773999999998 7473322.87999999999 0
min x y z:              287053.774 7473322.880 0.000
max x y z:              289016.149 7476025.914 714.850
```

variable length header record 1 of 2:

```
reserved                43707
user ID                  'LASF_Projection'
record ID                34735
length after header      88
description              'Georeferencing Information'
```

GeoKeyDirectoryTag version 1.1.0 number of keys 10

```
key 1024 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 1 - GTModelTypeGeoKey:
ModelTypeProjected
```

```
key 2048 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 4674 - GeographicTypeGeoKey:
look-up for 4674 not implemented
```

key 2054 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 9102 - GeogAngularUnitsGeoKey: Angular_Degree

key 2056 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 7019 - GeogEllipsoidGeoKey: Ellipse_GRS_1980

key 2057 tiff_tag_location 34736 count 1 value_offset 0 - GeogSemiMajorAxisGeoKey: 6378137

key 2058 tiff_tag_location 34736 count 1 value_offset 1 - GeogSemiMinorAxisGeoKey: 6356752.314

key 2059 tiff_tag_location 34736 count 1 value_offset 2 - GeogInvFlatteningGeoKey: 298.2572221

key 3072 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 31983 - ProjectedCSTypeGeoKey: look-up for 31983 not implemented

key 3076 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 9001 - ProjLinearUnitsGeoKey: Linear_Meter

key 4099 tiff_tag_location 0 count 1 value_offset 9001 - VerticalUnitsGeoKey: Linear_Meter

variable length header record 2 of 2:

reserved 43707

user ID 'LASF_Projection'

record ID 34736

length after header 24

description 'Double Param Array'

GeoDoubleParamsTag (number of doubles 3)

6.37814e+006 6.35675e+006 298.257

reporting minimum and maximum for all LAS point record entries ...

x 0 1962375

y 0 2703034

z 0 714850

intensity 0 65535

return_number 1 7

number_of_returns 0 7

edge_of_flight_line 0 0

scan_direction_flag 0 0

classification 0 7

scan_angle_rank -30 31

user_data 0 0

point_source_ID 0 15

number of last returns: 47769221

covered area in square meters/kilometers: 3361520/3.36

point density: all returns 16.18 last only 14.21 (per square meter)

spacing: all returns 0.25 last only 0.27 (in meters)

WARNING: number of points by return is different than reported in header: 47769648
5712592 835164 72829 3384

WARNING: there are 84 points with return number 6

WARNING: there are 6 points with return number 7

overview over number of returns of given pulse: 42056620 9755148 2287077 277797
16497 468 42

WARNING: there are 58 points with a number of returns of given pulse of 0

histogram of classification of points:

58 never classified (0)

33985376 ground (2)

356863 low vegetation (3)

14580057 high vegetation (5)

5355294 building (6)

116059 noise (7)

APÊNDICE B –TABELA RESUMO DO PROCESSAMENTO DOS PONTOS DE VERIFICAÇÃO DA ALTIMETRIA (PVA) E PONTOS DE VERIFICAÇÃO DA PLANIMÉTRIA (PVP)

- RESUMO DOS PROCESSAMENTOS DOS RASTREIOS GNSS PARA OS PONTOS DE VERIFICAÇÃO DA ALTIMETRIA - PVA

DATA	PONTO	INICIO RASTREIO	TÉRMINO RASTREIO	ANTENA (m)	E (m)	σ_E (m)	N (m)	σ_N (m)	h (m)	σ_h (m)	N (m) - MAPGEO2010	H (m)	LATITUDE (° ' ")	LONGITUDE (° ' ")
22/08/2016	PVA022	10:35	10:45	2,03	288644,036	0,003	7473725,733	0,003	652,411	0,006	-4,42	656,831	22°49'51,21651"S	47°03'34,24302"W
	PVA039	10:55	11:05	2,03	288499,964	0,004	7473502,393	0,004	662,551	0,007	-4,42	666,971	22°49'58,40969"S	47°03'39,40381"W
	PVA010	11:15	11:25	2,03	288332,600	0,015	7473618,801	0,015	645,617	0,027	-4,43	650,047	22°49'54,55045"S	47°03'45,21498"W
	PVA037	11:32	11:42	2,03	288059,850	0,004	7473853,970	0,004	623,095	0,008	-4,44	627,535	22°49'46,78354"S	47°03'54,66280"W
	PVA023	11:50	12:00	2,03	287819,644	0,006	7474099,494	0,006	613,909	0,009	-4,45	618,359	22°49'38,69479"S	47°04'02,96420"W
	PVA036	12:05	12:15	2,03	287752,167	0,004	7474014,380	0,004	612,940	0,010	-4,45	617,390	22°49'41,43024"S	47°04'05,37181"W
	PVA021	12:30	12:40	2,03	288096,688	0,021	7474407,802	0,021	610,535	0,043	-4,45	614,985	22°49'28,80081"S	47°03'53,09958"W
	PVA034	12:49	13:01	2,03	288352,808	0,008	7474553,733	0,008	597,829	0,020	-4,44	602,269	22°49'24,17440"S	47°03'44,04848"W
	PVA016	14:21	14:32	2,03	288547,495	0,006	7474948,827	0,006	625,790	0,013	-4,45	630,240	22°49'11,42219"S	47°03'37,02950"W
	PVA015	14:39	14:49	2,03	288673,407	0,006	7475136,473	0,006	641,805	0,014	-4,45	646,255	22°49'05,38075"S	47°03'32,52339"W
	PVA014	14:55	15:05	2,03	288464,151	0,007	7475155,476	0,007	624,980	0,014	-4,45	629,430	22°49'04,66828"S	47°03'39,85032"W
	PVA003	15:10	15:20	2,03	288473,531	0,002	7475553,075	0,002	621,873	0,003	-4,46	626,333	22°48'51,75056"S	47°03'39,32699"W
	PVA007	15:25	15:35	2,03	288662,357	0,004	7475367,718	0,004	641,697	0,006	-4,45	646,147	22°48'57,86028"S	47°03'32,79775"W
	PVA031	15:40	15:50	2,03	288835,803	0,003	7475608,806	0,003	648,655	0,004	-4,45	653,105	22°48'50,10345"S	47°03'26,59932"W
23/08/2016	PVA004	08:37	08:48	2,03	288298,443	0,003	7475489,076	0,003	612,690	0,006	-4,46	617,150	22°48'53,75110"S	47°03'45,49648"W
	PVA028	08:46	08:56	2,03	288126,386	0,003	7475699,898	0,003	598,272	0,004	-4,47	602,742	22°48'46,82128"S	47°03'51,42514"W
	PVA002	09:14	09:24	2,03	288359,617	0,006	7475806,333	0,006	607,811	0,014	-4,47	612,281	22°48'43,46801"S	47°03'43,19658"W
	PVA001	09:37	09:47	2,03	287882,950	0,003	7475821,565	0,003	585,562	0,005	-4,48	590,042	22°48'42,75645"S	47°03'59,89966"W

PVA027	09:55	10:05	2,03	287556,057	0,004	7475670,091	0,004	576,289	0,007	-4,48	580,769	22°48'47,53058"S	47°04'11,43391"W
PVA029	10:14	10:24	2,03	287332,045	0,004	7475311,389	0,004	588,602	0,007	-4,48	593,082	22°48'59,08626"S	47°04'19,46355"W
PVA009	10:29	10:39	2,03	287268,916	0,005	7475209,161	0,005	590,787	0,009	-4,48	595,267	22°49'02,37988"S	47°04'21,72702"W
PVA008	10:50	11:00	2,03	287212,676	0,001	7475378,306	0,001	587,203	0,003	-4,49	591,693	22°48'56,85704"S	47°04'23,61545"W
PVA026	10:59	11:10	2,03	287192,532	0,001	7475630,400	0,001	580,178	0,002	-4,49	584,668	22°48'48,65483"S	47°04'24,19760"W
PVA011	11:28	11:38	2,03	287465,522	0,003	7475307,223	0,003	591,433	0,005	-4,48	595,913	22°48'59,28251"S	47°04'14,78616"W
PVA006	11:44	11:54	2,03	287621,138	0,002	7475410,758	0,002	586,307	0,004	-4,48	590,787	22°48'55,98852"S	47°04'09,27971"W
PVA012	12:04	12:14	2,03	287722,154	0,002	7475168,231	0,002	592,790	0,004	-4,47	597,260	22°49'03,91661"S	47°04'05,85739"W
PVA030	12:20	12:30	2,03	287910,694	0,004	7475109,019	0,004	586,330	0,012	-4,47	590,800	22°49'05,92675"S	47°03'59,27653"W
PVA005	12:35	12:45	2,03	287907,548	0,008	7475376,518	0,008	582,012	0,022	-4,47	586,482	22°48'57,23165"S	47°03'59,25560"W
PVA018	13:10	13:20	2,03	287771,160	0,007	7474791,730	0,007	599,272	0,011	-4,46	603,732	22°49'16,17512"S	47°04'04,32414"W
PVA019	14:00	14:10	2,03	287352,359	0,003	7474955,188	0,003	593,753	0,006	-4,47	598,223	22°49'10,67198"S	47°04'18,92658"W
PVA033	14:15	14:25	2,03	287634,236	0,003	7474618,597	0,003	601,863	0,021	-4,46	606,323	22°49'21,73960"S	47°04'09,20965"W
PVA020	14:29	14:39	2,03	287766,022	0,002	7474504,734	0,002	606,112	0,005	-4,46	610,572	22°49'25,50011"S	47°04'04,64520"W
PVA032	14:44	14:54	2,03	287960,896	0,002	7474626,002	0,002	606,062	0,004	-4,45	610,512	22°49'21,64758"S	47°03'57,75345"W
PVA017	15:00	15:10	2,03	288103,157	0,003	7474726,907	0,003	596,314	0,008	-4,45	600,764	22°49'18,43287"S	47°03'52,71636"W
PVA024	15:20	15:30	2,03	288413,043	0,001	7474158,807	0,001	613,781	0,002	-4,43	618,211	22°49'37,03681"S	47°03'42,13000"W
PVA025	15:39	15:48	2,03	288397,132	0,001	7473861,187	0,001	635,528	0,002	-4,43	639,958	22°49'46,70223"S	47°03'42,83361"W
PVA038	16:00	16:10	2,03	288264,769	0,004	7474155,695	0,004	617,932	0,006	-4,44	622,372	22°49'37,07064"S	47°03'47,33015"W
PVA013	16:20	16:30	2,03	288161,233	0,002	7475075,274	0,002	592,412	0,005	-4,46	596,872	22°49'07,13736"S	47°03'50,50949"W

• RESUMO DOS PROCESSAMENTOS DOS RASTREIOS GNSS PARA OS PONTOS DE VERIFICAÇÃO DA PLANIMETRIA – PVP

DATA	PONTO	INICIO RASTREIO	TÉRMINO RASTREIO	ANTENA (m)	E (m)	σ_E (m)	N (m)	σ_N (m)	h (m)	σ_h (m)	N (m) - MAPGEO2010	H (m)	LATITUDE (° ' ")	LONGITUDE (° ' ")
03/09/2016	PVP037	09:22	09:32	3,585	288174,308	0,002	7475330,804	0,002	599,027	0,004	-4,46	603,487	22°48'58,83856"S	47°03'49,92591"W
	PVP008	09:47	09:57	2,750	287927,564	0,013	7474898,636	0,013	595,213	0,026	-4,46	599,673	22°49'12,77187"S	47°03'58,78830"W
	PVP039	11:39	11:49	3,100	287385,186	0,004	7475251,334	0,004	592,274	0,007	-4,48	596,754	22°49'01,06228"S	47°04'17,63008"W
	PVP006	11:56	12:06	2,650	287368,049	0,003	7475153,054	0,003	592,638	0,005	-4,48	597,118	22°49'04,24854"S	47°04'18,27921"W
	PVP012	12:18	12:28	2,950	287557,078	0,008	7475067,670	0,008	596,257	0,010	-4,47	600,727	22°49'07,10964"S	47°04'11,69411"W
	PVP007	12:38	12:48	3,100	287652,955	0,021	7475229,080	0,021	594,238	0,062	-4,47	598,708	22°49'01,90751"S	47°04'08,25349"W
	PVP005	14:37	14:47	3,000	288803,989	0,006	7475701,077	0,006	640,746	0,009	-4,46	645,206	22°48'47,09022"S	47°03'27,66957"W
	PVP036	14:58	15:08	3,200	288643,586	0,005	7475520,077	0,005	636,754	0,006	-4,46	641,214	22°48'52,90007"S	47°03'33,38136"W
	PVP011	15:20	15:30	2,900	288076,123	0,008	7475041,650	0,008	587,885	0,015	-4,46	592,345	22°49'08,19146"S	47°03'53,50983"W
	PVP014	15:52	16:02	3,558	288156,951	0,007	7475241,031	0,007	596,355	0,017	-4,46	600,815	22°49'01,74831"S	47°03'50,57839"W
	PVP010	16:20	16:30	3,050	288277,231	0,014	7475055,413	0,014	606,809	0,021	-4,46	611,269	22°49'07,83550"S	47°03'46,45247"W
	PVP019	16:43	16:53	2,350	288430,869	0,010	7474433,237	0,010	606,799	0,015	-4,44	611,239	22°49'28,12595"S	47°03'41,37068"W
	PVP020	17:20	17:30	3,300	288595,797	0,005	7474517,377	0,005	614,895	0,006	-4,44	619,335	22°49'25,46622"S	47°03'35,54709"W
09/12/2016	PVP038	07:27	07:37	3,585	288322,756	0,002	7475220,689	0,004	617,000	0,011	-4,46	621,460	22° 49' 02,4847,"S	47° 03' 44,7755,"W
	PVP013	08:11	08:21	2,700	287738,644	0,002	7474832,922	0,003	597,536	0,011	-4,46	601,996	22° 49' 14,8216"S,	47° 04' 05,4439,"W
	PVP017	09:11	09:22	2,850	287884,908	0,003	7474443,981	0,005	610,252	0,009	-4,45	614,702	22° 49' 27,5287"S,	47° 04' 00,5069,"W
	PVP025	10:56	11:06	3,850	287857,212	0,004	7474102,395	0,005	614,623	0,006	-4,45	619,073	22° 49' 38,6176"S,	47° 04' 01,6456,"W
	PVP024	11:19	11:29	3,000	287967,929	0,003	7474154,302	0,005	615,672	0,011	-4,44	620,112	22° 49' 36,9810"S,	47° 03' 57,7383,"W
	PVP033	11:44	11:54	2,900	288361,767	0,004	7473743,962	0,005	614,995	0,007	-4,43	619,425	22° 49' 50,4960"S,	47° 03' 44,1310,"W
	PVP030	12:25	12:35	3,950	288465,395	0,004	7474075,037	0,005	619,952	0,008	-4,43	624,382	22° 49' 39,7831"S,	47° 03' 40,3355,"W
	PVP031	12:40	12:50	3,500	288476,951	0,003	7473989,112	0,005	626,365	0,008	-4,43	630,795	22° 49' 42,5809"S,	47° 03' 39,9724,"W
	PVP032	13:00	13:15	3,900	288205,985	0,003	7473907,342	0,005	628,291	0,008	-4,43	632,721	22° 49' 45,1154"S,	47° 03' 49,5129,"W

**APÊNDICE C – MONOGRAFIAS DOS RASTREIOS PARA OS PONTOS DE
VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA (PVA) E PLANIMÉTRICA (PVP)**

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_001	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'42,75645"S	h (m): 585,562 σ_h : 0,005m
λ : 47°03'59,89966"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,48
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 590,042
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287882,950	σ_E : 0,003m
N (m): 7475821,565	σ_N : 0,003m

Descrição do ponto: Ponto localizado no estacionamento do Hotel da FUNCAMP.	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_002	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'43,46801"S	h (m): 607,811 σ_h : 0,014m
λ : 47°03'43,19658"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,47
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 612,281
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288359,617	σ_E : 0,006m
N (m): 7475806,333	σ_N : 0,006m
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div>	
<p>Descrição do ponto: Ponto localizado no estacionamento do Instituto Eldorado.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_003	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 22/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
ϕ : 22°48'51,75056"S	h (m): 621,873 σ_h : 0,003m
λ : 47°03'39,32699"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,46
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 626,333
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288473,531	σ_E : 0,002m
N (m): 7475553,075	σ_N : 0,002m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado no caminho de identificação para deficientes visuais, próximo ao instituto Eldorado</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_003	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'53,75110"S	h (m): 612,690 σ_h : 0,006m
λ : 47°03'45,49648"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,46
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 617,150
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288298,443	σ_E : 0,003m
N (m): 7475489,076	σ_N : 0,003m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado no estacionamento do R.U. da Engenharia Civil.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_005	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'57,23165"S	h (m): 582,012 σ_h : 0,022m
λ : 47°03'59,25560"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,47
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 586,482
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287907,548	σ_E : 0,008m
N (m): 7475376,518	σ_N : 0,008m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na faixa de pedestre que fica na cruzamento das ruas Bertrand Russel com Rua Pitágoras.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_006	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'55,98852"S	h (m): 586,307 σ_h : 0,004 m
λ : 47°04'09,27971"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,48
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 590,787
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287621,138	σ_E : 0,002 m
N (m): 7475410,758	σ_N : 0,002 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado no estacionamento (vaga idoso) que fica nos fundos do prédio do Instituto da Linguagem, próximo a praça central.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_007	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 22/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'57,86028"S	h (m): 641,697 σ_h : 0,006m
λ : 47°03'32,79775"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,45
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 646,147
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288662,357	σ_E : 0,004 m
N (m): 7475367,718	σ_N : 0,004 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na faixa de pedestre da rua Walter August Hadler, esquina com o parque científico tecnológico (Rua Oscar Niemeyer).</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_008	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'56,85704"S	h (m): 587,203 σ_h : 0,003m
λ : 47°04'23,61545"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,49
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 591,693
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287212,676	σ_E : 0,001m
N (m): 7475378,306	σ_N : 0,001m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado no canto da primeira quadra de esportes do segundo conjunto de quadras que fica na Escola de Educação Física da UNICAMP.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA		
Nome do Ponto: PVA_009		Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas		
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2		Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS		
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000		DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ: 22°49'02,37988"S		h (m): 590,787

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_010	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 22/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'54,55045"S	h (m): 645,617 σ_h : 0,027m
λ : 47°03'45,21498"W	$N_{\text{MAPGEO2010}}$ (m): -4,43
Altura da Antena(m): 2,03 m	H (m): 650,047
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288332,600	σ_E : 0,015m
N (m): 7473618,801	σ_N : 0,015m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na faixa listrada da rotatória dentro da UNICAMP, após a portaria 05, em frente a um dos prédios da faculdade de Fonoaudiologia.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_011	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'59,28251"S	h (m): 591,433 σ_h : 0,005m
λ : 47°04'14,78616"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,48
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 595,913
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287465,522	σ_E : 0,003m
N (m): 7475307,223	σ_N : 0,003m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na Praça Central que fica de frente a escadaria que dá acesso a Biblioteca Central. O ponto fica diretamente no chão entre 2 coqueiros e a placa póstuma ao estudante assassinado em 2013.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_012	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'03,91661"S	h (m): 592,790 σ_h : 0,004m
λ : 47°04'05,85739"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,47
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 597,260
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287722,154	σ_E : 0,002m
N (m): 7475168,231	σ_N : 0,002m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado no estacionamento de moto localizado em frente ao prédio do ciclo básico e cantina da Química. Esquina com as ruas Sérgio Buarque de Holanda e Mendeleyev.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_013	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'07,13736"S	h (m): 592,412 σ_h : 0,005m
λ : 47°03'50,50949"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,46
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 596,872
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288161,233	σ_E : 0,002m
N (m): 7475075,274	σ_N : 0,002m
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div>	
<p>Descrição do ponto: Ponto localizado no canteiro central que fica próximo ao prédio novo da Faculdade de Engenharia Mecânica.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_014	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 22/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'04,66828"S	h (m): 624,980 σ_h : 0,014m
λ : 47°03'39,85032"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,45
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 629,430
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288464,151	σ_E : 0,007 m
N (m): 7475155,476	σ_N : 0,007 m
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div>	
<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na faixa de pedestre da rua da lateral da FEAGRI, mais precisamente na esquina do prédio da construção do arquivo central.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_015	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 22/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'05,38075"S	h (m): 641,805 σ_h : 0,014m
λ : 47°03'32,52339"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,45
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 646,255
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288673,407	σ_E : 0,006 m
N (m):7475136,473	σ_N : 0,006 m

Descrição do ponto: Ponto localizado na rua lateral da FEAGRI, em frente ao estacionamento do LACTAD.	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA		
Nome do Ponto: PVA_016		Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas		
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2		Data do Rastreio: 22/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS		
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000		DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ: 22°49'11,42219"S		h (m): 625,790

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_017	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'18,43287"S	h (m): 596,314 σ_h : 0,008m
λ : 47°03'52,71636"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,45
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 600,764
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288103,157	σ_E : 0,003m
N (m): 7474726,907	σ_N : 0,003m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na rua da gráfica da UNICAMP, mais precisamente de frente a uma garagem que contém as siglas DGHR (DSSO).</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_018	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'16,17512"S	h (m): 599,272 σ_h : 0,011m
λ : 47°04'04,32414"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,46
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 603,732
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287771,160	σ_E : 0,007m
N (m):7474791,730	σ_N : 0,007m

Descrição do ponto: Ponto localizado na faixa de pedestre em frente a caixa d'água que fica na Faculdade de Engenharia de Alimentos.	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_019	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'10,67198"S	h (m): 593,753 σ_h : 0,006m
λ : 47°04'18,92658"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,47
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 598,223
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287352,359	σ_E : 0,003m
N (m): 7474955,188	σ_N : 0,003m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na Avenida externa a UNICAMP, que passa aos fundos do Instituto de Biologia. O ponto fica próximo a uma lixeira onde no chão se encontra as seguintes inscrições 06 de um lado da lixeira e 07 do outro lado.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA		
Nome do Ponto: PVA_020		Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas		
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2		Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS		
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000		DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'25,50011"S		h (m): 606,112 σ_h : 0,005m
λ : 47°04'04,64520"W		$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,46
Altura da Antena(m): 2,03		H (m): 610,572
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC		
E (m): 287766,022		σ_E : 0,002m
N (m): 7474504,734		σ_N : 0,002m

Descrição do ponto: Ponto localizado na faixa do estacionamento que fica próximo ao prédio da reitoria V (próximo da cancela de controle de acesso ao estacionamento).		

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA		
Nome do Ponto: PVA_021		Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas		
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2		Data do Rastreio: 22/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS		
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000		DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'28,80081"S		h (m): 610,535 σ_h :0,043m
λ : 47°03'53,09958"W		N _{MAPGEO2010} (m): -4,45
Altura da Antena(m): 2,03m		H (m): 614,985
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC		
E (m): 288096,688		σ_E : 0,021m
N (m): 7474407,802		σ_N : 0,021m

Descrição do ponto: Ponto localizado na faixa de pedestre do retorno do Instituto de Geociências com Santander Select.		

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_022	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 22/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'51,21651" S	h (m): 652,411 σ_h : 0,006 m
λ : 47°03'34,24302"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,42
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 656,831
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288644,036	σ_E : 0,003 m
N (m): 7473725,733	σ_N : 0,003 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na sarjeta do canteiro central, em frente a portaria 05, sentido Shopping Dom Pedro.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_023	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 22/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'38,69479"S	h (m): 613,909 σ_h : 0,009m
λ : 47°04'02,96420"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,45
Altura da Antena(m):	H (m): 618,359
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287819,644	σ_E : 0,006m
N (m): 7474099,494	σ_N : 0,006m

Descrição do ponto: Ponto localizado na faixa de pedestre do hospital SOBRAPAR de crânio e face.	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_024	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'37,03681"S	h (m): 613,781 σ_h : 0,002m
λ : 47°03'42,13000"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,43
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 618,211
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288413,043	σ_E : 0,001m
N (m): 7474158,807	σ_N : 0,001m

Descrição do ponto: Ponto localizado no estacionamento que fica aos fundos da creche, próximo ao hemocentro e pronto socorro.	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_025	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'46,70223"S	h (m): 635,528 σ_h : 0,002m
λ : 47°03'42,83361"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,43
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 639,958
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288397,132	σ_E : 0,001m
N (m): 7473861,187	σ_N : 0,001m
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div>	
<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na rotatória que fica aos fundos do CECON e na frente do CIPED.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_026	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'48,65483"S	h (m): 580,178 σ_h : 0,002m
λ : 47°04'24,19760"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,49
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 584,668
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287192,532	σ_E : 0,001 m
N (m): 7475630,400	σ_N : 0,001 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na pista de atletismo que fica próximo ao portão de entrada na referida pista.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA		
Nome do Ponto: PVA_027		Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas		
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2		Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS		
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000		DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'47,53058"S		h (m): 576,289 σ_h : 0,007m
λ : 47°04'11,43391"W		$N_{\text{MAPGEO2010}}$ (m): -4,48
Altura da Antena(m): 2,03		H (m): 580,769
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC		
E (m): 287556,057		σ_E : 0,004m
N (m): 7475670,091		σ_N : 0,004m

Descrição do ponto: Ponto localizado na faixa de pedestre que interliga o novo prédio do Instituto de Geociências co a agência dos correios.		

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_028	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'46,82128"S	h (m): 598,272 σ_h : 0,004m
λ : 47°03'51,42514"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,47
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 602,742
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288126,386	σ_E : 0,003m
N (m): 7475699,898	σ_N : 0,003m
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div>	
<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na rotatória da ADUNICAMP, que fica em frente ao terreno da FUCAMP.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA		
Nome do Ponto: PVA_029		Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas		
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2		Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS		
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000		DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'59,08626"S		h (m): 588,602 σ_h :0,007m
λ : 47°04'19,46355"W		$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,48
Altura da Antena(m): 2,03		H (m): 593,082
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC		
E (m): 287332,045		σ_E : 0,004m
N (m): 7475311,389		σ_N : 0,004m

Descrição do ponto: Ponto localizado no Heliporto do estacionamento do ginásio de esportes.		

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_030	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'05,92675"S	h (m): 586,330 σ_h : 0,012m
λ : 47°03'59,27653"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,47
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 590,800
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287910,694	σ_E : 0,004m
N (m): 7475109,019	σ_N : 0,004m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na faixa de pedestre que fica na esquina da rua Mendeleyev com a rua Bertrand Russel.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_031	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 22/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'50,10345"S	h (m): 648,655 σ_h : 0,004m
λ : 47°03'26,59932"W	$N_{\text{MAPGEO2010}}$ (m): -4,45
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 653,105
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288835,803	σ_E : 0,003m
N (m): 7475608,806	σ_N : 0,003m

Descrição do ponto: Ponto localizado no estacionamento da FACAMP.	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_032	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'21,64758"S	h (m): 606,062 σ_h : 0,004m
λ : 47°03'57,75345"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,45
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 610,512
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287960,896	σ_E : 0,002m
N (m): 7474626,002	σ_N : 0,002m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na esquina da praça da Paz com o fundo do prédio da Faculdade de Engenharia Elétrica.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_033	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'21,73960"S	h (m): 601,863 σ_h : 0,021m
λ : 47°04'09,20965"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,46
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 606,323
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287634,236	σ_E : 0,003 m
N (m): 7474618,597	σ_N : 0,003 m
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div>	
<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na faixa do estacionamento para deficientes físicos, atrás do centro de informações que fica próximo a praça da Paz.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_034	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 22/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'24,17440"S	h (m): 597,829 σ_h : 0,020 m
λ : 47°03'44,04848"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,44
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 602,269
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288352,808	σ_E : 0,008 m
N (m): 7474553,733	σ_N : 0,008 m

Descrição do ponto: Ponto localizado na rotatória de acesso da Editora UNICAMP.	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_036	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 22/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'41,43024"S	h (m): 612,940 σ_h : 0,010m
λ : 47°04'05,37181"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,45
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 617,390
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287752,167	σ_E : 0,004 m
N (m): 7474014,380	σ_N : 0,004 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na faixa de divisão de vaga de estacionamento do SOBRAPAR, próximo a quadra de esportes que na data do rastreio estava em construção.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA		
Nome do Ponto: PVA_037		Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas		
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2		Data do Rastreio: 22/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS		
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000		DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ: 22°49'46,78354"S		h (m): 623,095

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA		
Nome do Ponto: PVA_038		Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas		
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2		Data do Rastreio: 23/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS		
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000		DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'37,07064"S		h (m): 617,932 σ_h : 0,006m
λ : 47°03'47,33015"W		N _{MAPGEO2010} (m): -4,44
Altura da Antena(m): 2,03		H (m): 622,372
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC		
E (m): 288264,769		σ_E : 0,004m
N (m): 7474155,695		σ_N : 0,004m

Descrição do ponto: Ponto localizado na faixa amarela da esquina da rua Alexandre Fleming com rua Carlos Chagas (frente da creche).		

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO ALTIMÉTRICA - PVA	
Nome do Ponto: PVA_039	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 22/08/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'58,40969"S	h (m): 662,5 σ_h : 0,007m
λ : 47°03'39,40381"W	$N_{\text{MAPGEO2010}}$ (m): -4,42
Altura da Antena(m): 2,03	H (m): 666,971
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288499,964	σ_E : 0,004 m
N (m):7473502,393	σ_N : 0,004 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado no canto da faixa do canteiro central que dá acesso a portaria sentido PUC.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_005	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 03/09/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'47,09022"S	h (m): 640,746 σ_h : 0,009 m
λ : 47°03'27,66957"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,46
Altura da Antena(m): 3,000	H (m): 645,206
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288803,989	σ_E : 0,006m
N (m): 7475701,077	σ_N : 0,006m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na portaria de entrada da FACAMP.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_006	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 03/09/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'04,24854"S	h (m): 592,638 σ_h : 0,005m
λ : 47°04'18,27921"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,48
Altura da Antena(m): 2,650	H (m): 597,118
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287368,049	σ_E : 0,003 m
N (m):7475153,054	σ_N : 0,003 m

Descrição do ponto: Ponto localizado no muro que fica atrás do R.U. central.	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP		
Nome do Ponto: PVP_007		Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas		
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2		Data do Rastreio: 03/09/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS		
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000		DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ: 22°49'01,90751"S		h (m): 594,238

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP		
Nome do Ponto: PVP_008		Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas		
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2		Data do Rastreio: 03/09/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS		
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000		DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'12,77187"S		h (m): 595,213 σ_h : 0,026m
λ : 47°03'58,78830"W		N _{MAPGEO2010} (m): -4,46
Altura da Antena(m): 2,750		H (m): 599,673
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC		
E (m): 287927,564		σ_E : 0,013 m
N (m): 7474898,636		σ_N : 0,013 m

Descrição do ponto: Ponto localizado no início da cobertura da passarela de acesso aos prédios da Faculdade de Engenharia Mecânica.		

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_010	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 03/09/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'07,83550"S	h (m): 606,809 σ_h : 0,021m
λ : 47°03'46,45247"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,46
Altura da Antena(m): 3,050	H (m): 611,269
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288277,231	σ_E : 0,014 m
N (m):7475055,413	σ_N : 0,014 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado no canto da edificação que fica em frente ao galpão chamado de sala de aula EA-20 Piso I.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_011	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 03/09/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'08,19146"S	h (m): 587,885 σ_h : 0,015m
λ : 47°03'53,50983"W	$N_{\text{MAPGEO2010}}$ (m): -4,46
Altura da Antena(m): 2,900	H (m): 592,345
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288076,123	σ_E : 0,008 m
N (m):7475041,650	σ_N : 0,008 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na cobertura de acesso a oficina mecânica da Faculdade de Engenharia Mecânica.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP		
Nome do Ponto: PVP_012		Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas		
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2		Data do Rastreio: 03/09/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS		
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000		DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'07,10964"S		h (m): 596,257 σ_h : 0,010m
λ : 47°04'11,69411"W		N _{MAPGEO2010} (m): -4,47
Altura da Antena(m): 2,950		H (m): 600,727
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC		
E (m): 287557,078		σ_E : 0,008m
N (m): 7475067,670		σ_N : 0,008m

Descrição do ponto: Ponto localizado no canto de uma edificação com telhado de 5 lados que fica na frente do Instituto de Biologia. No referido prédio havia a seguinte inscrição: “Centro Acadêmico de Biologia”.		

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_013	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: GNSS Solutions	Data do Rastreo: 09/12/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22° 49' 14,8216"S	h (m): 597,536 σ_h : 0,011 m
λ : 47° 04' 05,4439"W	$N_{\text{MAPGEO2010}}$ (m): -4,46
Altura da Antena(m): 2,70	H (m): 601,996
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287738,644	σ_E : 0,002 m
N (m): 7474832,922	σ_N : 0,003
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div>	
<p>Descrição do ponto: Ponto localizado no canto do ponto de ônibus que se localiza na calçada da creche que se localiza de frente a caixa d'água da Faculdade de Engenharia de Alimentos.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_014	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 03/09/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'01,74831"S	h (m): 596,355 σ_h : 0,017m
λ : 47°03'50,57839"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,46
Altura da Antena(m): 3,558	H (m): 600,815
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288156,951	σ_E : 0,007 m
N (m): 7475241,031	σ_N : 0,007 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado no canto da casa de energia que fica em frente ao prédio da vigilância comunitária.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_017	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: GNSS Solutions	Data do Rastreio: 09/12/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'27,5287"S	h (m): 610,252 σ_h :0,009 m
λ : 47°04'00,5069"W	N _{MAPGEO2010} (m):-4,45
Altura da Antena(m): 2,85	H (m): 614,702
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287884,908	σ_E : 0,003 m
N (m): 7474443,981	σ_N : 0,005 m

Descrição do ponto:Ponto localizado na entrada do prédio da reitoria da UNICAMP.	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_019	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 03/09/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'28,12595"S	h (m): 606,799 σ_h : 0,015m
λ : 47°03'41,37068"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,44
Altura da Antena(m): 2,350	H (m): 611,239
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288430,869	σ_E : 0,010 m
N (m): 7474433,237	σ_N : 0,010 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado no canto do telhado do estacionamento do carro oficial que fica na editora UNICAMP.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_020	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 03/09/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'25,46622"S	h (m): 614,895 σ_h : 0,006m
λ : 47°03'35,54709"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,44
Altura da Antena(m): 3,300	H (m): 619,335
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288595,797	σ_E : 0,005 m
N (m): 7474517,377	σ_N : 0,005 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado no telhado rebaixado do prédio onde se encontra o estacionamento de caminhões e tratores. Rua cinco de Junho.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_024	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: GNSS Solutions	Data do Rastreio: 09/12/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'36,9810"S	h (m): 615,672 σ_h : 0,011 m
λ : 47°03'57,7383"W	$N_{\text{MAPGEO2010}}$ (m): -4,44
Altura da Antena(m): 3,00	H (m): 620,112
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 287967,929	σ_E : 0,003 m
N (m): 7474154,302	σ_N : 0,005 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na cobertura do prédio da agência do banco Santander localizado dentro do estacionamento do Hospital das Clínicas.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP		
Nome do Ponto: PVP_025		Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas		
Software de Proc.: GNSS Solutions		Data do Rastreio: 09/12/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS		
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000		DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'38,6176"S		h (m): 614,623 σ_h :0,006 m
λ : 47°04'01,6456"W		N _{MAPGEO2010} (m):-4,45
Altura da Antena(m): 3,85		H (m): 619,073
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC		
E (m): 287857,212		σ_E : 0,004 m
N (m): 7474102,395		σ_N : 0,005 m

Descrição do ponto:Ponto localizado na portaria de controle de acesso de veículos no estacionamento do Hospital das Clínicas (de frente ao SOBRAPAR).		

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_030	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: GNSS Solutions	Data do Rastreio: 09/12/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'39,7831"S	h (m): 619,952 σ_h : 0,008 m
λ : 47°03'40,3355"W	$N_{MAPGEO2010}$ (m): -4,43
Altura da Antena(m): 3,95	H (m): 624,382
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288465,395	σ_E : 0,004 m
N (m): 7474075,037	σ_N : 0,005 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado no prédio ao lado do portão de entrada da Escola Estadual Sérgio Porto (dentro da UNICAMP e próximo a portaria 6).</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_031	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: GNSS Solutions	Data do Rastreio: 09/12/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'42,5809"S	h (m): 626,365 σ_h : 0,008 m
λ : 47°03'39,9724"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,43
Altura da Antena(m): 3,500	H (m): 630,795
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288476,951	σ_E : 0,003 m
N (m): 7473989,112	σ_N : 0,005 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na caixa de força da Escola Estadual Sérgio Porto (próximo a portaria 06).</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_032	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: GNSS Solutions	Data do Rastreio: 09/12/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'45,1154"S	h (m): 628,291 σ_h : 0,008 m
λ : 47°03'49,5129"W	$N_{\text{MAPGEO2010}}$ (m): -4,43
Altura da Antena(m): 3,90	H (m): 632,721
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288205,985	σ_E : 0,003 m
N (m): 7473907,342	σ_N : 0,005 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado junto a caixa de força que se encontra no estacionamento de frente ao prédio da Faculdade de Ciências Médicas.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_033	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: GNSS Solutions	Data do Rastreio: 09/12/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'50,4960"S	h (m): 614,995 σ_h : 0,007 m
λ : 47°03'44,1310"W	$N_{\text{MAPGEO2010}}$ (m): -4,43
Altura da Antena(m): 2,90	H (m): 619,425
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288361,767	σ_E : 0,004 m
N (m): 7473743,962	σ_N : 0,005 m
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div>	
<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na guarita de acesso ao estacionamento da faculdade de Fonoaudiologia.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_036	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2	Data do Rastreio: 03/09/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°48'52,90007"S	h (m): 636,754 σ_h : 0,006m
λ : 47°03'33,38136"W	N _{MAPGEO2010} (m): -4,46
Altura da Antena(m): 3,200	H (m): 641,214
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288643,586	σ_E : 0,005m
N (m): 7475520,077	σ_N : 0,005m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado na casa de energia do prédio chamado: Laboratório de Pesquisa SAMSUNG.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP		
Nome do Ponto: PVP_037		Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas		
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2		Data do Rastreio: 03/09/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS		
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000		DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ: 22°48'58,83856"S		h (m): 599,027

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP	
Nome do Ponto: PVP_038	Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas	
Software de Proc.: GNSS Solutions	Data do Rastreio: 09/12/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS	
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000	DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'02,4847"S	h (m): 617,000 σ_h : 0,011 m
λ : 47°03'44,7755"W	$N_{\text{MAPGEO2010}}$ (m): -4,46
Altura da Antena(m): 3,585	H (m): 621,460
COORDENADAS UTM (MC: -45) – SIRGAS2000/ IMBITUBA-SC	
E (m): 288322,756	σ_E : 0,002 m
N (m): 7475220,689	σ_N : 0,004 m

<p>Descrição do ponto: Ponto localizado no canto do telhado do estacionamento do prédio da EMBRAPA.</p>	

MONOGRAFIA PONTO DE VERIFICAÇÃO PLANIMÉTRICA - PVP		
Nome do Ponto: PVP_039		Localização do Ponto: UNICAMP
RBMC utilizada no processamento: SPCA – Campinas		
Software de Proc.: Topcon Tools 8.2		Data do Rastreio: 03/09/2016
COORDENADAS GEODÉSICAS		
DATUM PLANIMÉTRICO: SIRGAS2000		DATUM ALTIMÉTRICO: IMBITUBA - SC
φ : 22°49'01,06228"S		h (m): 592,274

APÊNDICE D – COORDENADAS ALTIMÉTRICAS LIDAS NOS MODELOS DIGITAIS DE TERRENO TESTADOS

PTO	H _{REF.} (m)	H _{0,50 m} (m)	H _{0,40 m} (m)	H _{0,30 m} (m)
PCA001	590,042	590,031	590,029	590,024
PCA002	612,281	612,337	612,439	612,324
PCA003	626,333	626,349	626,336	626,415
PCA004	617,150	617,148	617,118	617,142
PCA005	586,482	586,466	586,448	586,450
PCA006	590,787	590,712	590,741	590,703
PCA007	646,147	646,144	646,073	646,112
PCA008	591,693	591,537	591,573	591,578
PCA009	595,267	595,107	595,106	595,097
PCA010	650,047	650,123	650,144	650,207
PCA011	595,913	595,886	595,882	595,857
PCA012	597,260	597,164	597,170	597,100
PCA013	596,872	596,838	596,832	596,798
PCA014	629,430	629,498	629,411	629,423
PCA015	646,255	646,289	646,231	646,234
PCA016	630,240	630,267	630,265	630,237
PCA017	600,764	600,78	600,835	600,729
PCA018	603,732	603,776	603,800	603,747
PCA019	598,223	598,370	598,335	598,337
PCA020	610,572	610,578	610,622	610,575
PCA021	614,985	615,062	615,031	615,042
PCA022	656,831	656,843	656,844	656,898
PCA023	618,359	618,358	618,313	618,300
PCA024	618,211	618,056	618,086	618,180
PCA025	639,958	639,903	639,998	639,986
PCA026	584,668	584,656	584,696	584,633
PCA027	580,769	580,835	580,888	580,824
PCA028	602,742	602,760	602,779	602,817
PCA029	593,082	593,031	593,027	592,992

PCA030	590,800	590,734	590,775	590,702
PCA031	653,105	653,107	653,097	653,168
PCA032	610,512	610,568	610,594	610,557
PCA033	606,323	605,993	606,148	606,127
PCA034	602,269	602,298	602,271	602,252
PCA036	617,390	617,219	617,228	617,143
PCA037	627,535	627,526	627,597	627,566
PCA038	622,372	622,36	622,331	622,380
PCA039	666,971	666,997	667,024	667,119

APÊNDICE E – COORDENADAS PLANIMÉTRICAS LIDAS NAS NUVENS DE PONTOS TESTADAS

PTO	E _{REF.} (m)	N _{REF.} (m)	E _{4pts} (m)	N _{4pts} (m)	E _{4pts} (m)	N _{4pts} (m)	E _{16pts} (m)	N _{16pts} (m)
PCP005	288803,989	7475701,077	288803,460	7475700,790	288803,990	7475700,870	288803,960	7475700,910
PCP006	287368,049	7475153,054	287367,630	7475152,920	287368,010	7475152,950	287367,760	7475153,020
PCP007	287652,955	7475229,080	287653,120	7475229,380	287652,750	7475229,170	287652,490	7475228,960
PCP008	287927,564	7474898,636	287927,880	7474898,730	287927,890	7474898,650	287927,630	7474898,720
PCP010	288277,231	7475055,413	288277,220	7475055,140	288276,950	7475055,240	288277,190	7475055,230
PCP011	288076,123	7475041,650	288075,840	7475041,690	288076,390	7475041,760	288076,200	7475041,490
PCP012	287557,078	7475067,670	287557,220	7475067,800	287557,040	7475067,520	287556,970	7475067,740
PCP013	287738,644	7474832,922	287739,030	7474833,230	287739,010	7474833,000	287738,760	7474833,070
PCP014	288156,951	7475241,031	288156,750	7475241,010	288156,760	7475240,660	288156,770	7475240,790
PCP017	287884,908	7474443,981	287885,120	7474444,070	287884,780	7474444,010	287884,520	7474444,070
PCP019	288430,869	7474433,237	288431,020	7474432,620	288430,700	7474433,000	288430,850	7474433,300
PCP020	288595,797	7474517,377	288595,970	7474517,620	288596,080	7474517,170	288595,820	7474517,240
PCP024	287967,929	7474154,302	287967,440	7474154,080	287968,150	7474154,370	287967,890	7474154,440
PCP025	287857,212	7474102,395	287857,280	7474102,390	287857,530	7474102,720	287857,270	7474102,780
PCP030	288465,395	7474075,037	288465,770	7474075,010	288465,590	7474074,840	288465,600	7474075,220
PCP031	288476,951	7473989,112	288477,220	7473989,430	288476,640	7473989,060	288476,950	7473989,110
PCP032	288205,985	7473907,342	288206,280	7473907,030	288206,360	7473907,450	288206,170	7473907,520

PCP033	288361,767	7473743,962	288361,440	7473743,940	288361,760	7473743,980	288361,510	7473744,040
PCP036	288643,586	7475520,077	288643,570	7475520,100	288643,760	7475519,850	288643,500	7475519,910
PCP037	288174,308	7475330,804	288174,190	7475330,520	288174,160	7475330,790	288174,280	7475330,750
PCP038	288322,756	7475220,689	288322,750	7475220,520	288322,650	7475220,590	288322,860	7475220,750
PCP039	287385,186	7475251,334	287384,970	7475251,510	287385,040	7475251,370	287385,160	7475251,430

APÊNDICE F – COORDENADAS PLANIMÉTRICAS DOS VÉRTICES DAS EDIFICAÇÕES OBTIDAS PELA RESTITUIÇÃO FOTOGRAMÉTRICA E PELA VETORIZAÇÃO

EDIFICACAO	VERT.	VETOR RESTITUIÇÃO		VETOR MDS _{0,50 m}		VETOR MDS _{0,40 m}		VETOR MDS _{0,30 m}	
		E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)
EDIF. 1	1	287524,358	7475522,648	287524,122	7475522,707	287523,722	7475522,113	287523,812	7475522,368
	2	287550,981	7475529,450	287550,298	7475529,718	287550,948	7475529,334	287550,608	7475529,551
	3	287543,111	7475559,816	287542,088	7475559,033	287543,159	7475559,460	287542,841	7475559,133
	4	287516,319	7475552,872	287516,799	7475552,311	287516,501	7475552,922	287516,195	7475552,428
EDIF. 2	5	287614,600	7475671,689	287615,112	7475670,796	287615,461	7475671,132	287614,508	7475671,862
	6	287702,185	7475705,731	287701,865	7475703,745	287702,170	7475704,839	287701,887	7475705,496
	7	287715,767	7475670,786	287714,720	7475671,726	287715,288	7475671,141	287715,436	7475670,589
	8	287628,182	7475636,744	287627,194	7475637,604	287628,637	7475637,203	287627,955	7475636,738
EDIF. 3	9	287854,938	7475607,267	287854,609	7475607,174	287854,464	7475607,921	287854,722	7475607,368
	10	287844,849	7475622,470	287844,450	7475622,480	287844,920	7475622,000	287844,913	7475622,494
	11	287855,745	7475629,702	287855,206	7475629,792	287855,546	7475628,892	287855,360	7475629,274
	12	287865,834	7475614,499	287865,048	7475614,575	287865,181	7475614,671	287865,027	7475614,498
EDIF. 4	13	287689,496	7475440,206	287689,283	7475438,941	287689,184	7475439,134	287689,224	7475439,882
	14	287707,124	7475423,114	287705,919	7475422,744	287706,136	7475423,316	287706,052	7475423,162
	15	287702,110	7475417,944	287700,777	7475417,567	287701,344	7475418,112	287701,481	7475418,281
	16	287703,373	7475416,720	287702,128	7475416,269	287702,523	7475416,882	287702,656	7475417,155
	17	287698,136	7475411,319	287696,934	7475410,867	287697,920	7475411,683	287697,465	7475411,571

	18	287696,951	7475412,468	287695,636	7475412,218	287696,363	7475413,011	287696,044	7475412,796
	19	287691,777	7475407,132	287690,961	7475407,544	287691,503	7475407,653	287691,212	7475407,343
	20	287674,164	7475424,386	287674,186	7475424,163	287674,212	7475424,387	287673,924	7475424,582
EDIF. 5	21	288136,054	7475638,519	288136,038	7475638,076	288136,519	7475638,156	288136,164	7475638,187
	22	288171,374	7475655,577	288170,550	7475655,137	288171,104	7475655,097	288170,800	7475655,246
	23	288175,830	7475646,350	288174,834	7475646,879	288175,575	7475646,503	288175,110	7475646,529
	24	288140,510	7475629,292	288140,799	7475629,990	288140,435	7475629,293	288140,337	7475629,240
EDIF. 6	25	288240,130	7475642,611	288240,123	7475642,401	288240,312	7475641,935	288240,339	7475642,243
	26	288298,600	7475642,632	288297,613	7475642,186	288297,973	7475642,042	288297,634	7475642,063
	27	288298,605	7475631,309	288297,768	7475631,747	288298,062	7475631,148	288297,728	7475631,381
	28	288277,181	7475631,301	288276,500	7475631,747	288276,453	7475631,255	288276,304	7475631,693
	29	288277,183	7475627,445	288276,345	7475628,319	288276,524	7475627,279	288276,298	7475627,730
	30	288269,155	7475627,442	288269,177	7475628,241	288268,982	7475627,279	288268,868	7475627,810
	31	288269,153	7475631,344	288269,255	7475631,747	288269,071	7475631,523	288268,844	7475631,729
	32	288240,134	7475631,334	288240,197	7475632,058	288240,269	7475631,337	288240,297	7475631,475
EDIF. 7	33	288212,474	7475566,387	288212,068	7475566,918	288212,191	7475566,642	288211,635	7475566,489
	34	288199,148	7475594,086	288198,512	7475594,029	288198,743	7475593,280	288198,558	7475593,475
	35	288189,504	7475589,447	288189,319	7475588,887	288189,783	7475589,204	288189,205	7475589,287
	36	288202,830	7475561,748	288202,250	7475561,876	288202,556	7475561,747	288202,280	7475561,690
EDIF. 8	37	288277,605	7475469,793	288276,827	7475468,573	288276,966	7475468,272	288277,065	7475468,038
	38	288232,342	7475456,009	288232,733	7475455,563	288232,955	7475454,879	288232,895	7475454,675
	39	288235,948	7475444,169	288236,082	7475443,956	288235,673	7475445,486	288235,465	7475445,715

	40	288281,211	7475457,953	288280,080	7475457,831	288280,122	7475458,911	288279,753	7475459,331
EDIF. 9	41	288163,157	7475389,576	288162,094	7475388,608	288162,557	7475389,115	288162,480	7475388,922
	42	288144,912	7475381,814	288144,323	7475380,844	288144,781	7475380,871	288144,408	7475381,282
	43	288143,149	7475385,959	288142,713	7475384,626	288142,926	7475385,353	288142,400	7475385,640
	44	288140,008	7475384,622	288139,631	7475383,363	288139,938	7475384,014	288139,707	7475384,514
	45	288141,771	7475380,478	288141,242	7475379,788	288141,638	7475379,840	288141,470	7475380,155
	46	288123,729	7475372,803	288123,723	7475372,068	288124,068	7475372,151	288123,692	7475372,417
	47	288127,722	7475363,417	288127,219	7475363,203	288127,623	7475363,919	288127,120	7475363,944
	48	288145,888	7475371,144	288145,223	7475371,131	288144,987	7475371,699	288145,042	7475371,647
	49	288144,624	7475374,116	288144,063	7475373,547	288143,854	7475374,172	288143,919	7475374,180
	50	288147,482	7475375,332	288147,110	7475374,931	288147,151	7475375,718	288147,009	7475375,628
	51	288148,746	7475372,360	288148,270	7475372,482	288148,491	7475372,884	288148,228	7475372,907
	52	288167,150	7475380,189	288165,790	7475380,272	288166,318	7475380,871	288166,153	7475380,694
EDIF. 12	53	287467,900	7475016,351	287467,369	7475016,903	287467,268	7475016,968	287467,027	7475017,009
	54	287437,654	7475016,332	287437,298	7475017,050	287437,280	7475016,753	287437,188	7475016,798
	55	287437,646	7475029,358	287437,339	7475028,861	287437,333	7475029,109	287437,231	7475029,094
	56	287467,892	7475029,377	287467,092	7475029,091	287467,340	7475029,215	287467,009	7475029,115
EDIF. 13	57	287567,115	7475054,262	287566,019	7475054,083	287566,384	7475053,966	287566,274	7475053,984
	58	287547,285	7475053,962	287546,881	7475053,278	287546,553	7475053,680	287546,390	7475053,886
	59	287547,218	7475058,384	287546,639	7475057,658	287546,553	7475058,309	287546,341	7475058,294
	60	287543,830	7475058,333	287542,899	7475057,554	287543,466	7475058,195	287543,255	7475058,294
	61	287543,897	7475053,910	287542,986	7475053,486	287543,638	7475053,566	287543,255	7475053,837

	62	287524,296	7475053,614	287523,613	7475053,070	287523,635	7475053,108	287523,469	7475053,494
	63	287524,229	7475058,032	287523,475	7475057,294	287523,521	7475057,966	287523,469	7475058,000
	64	287520,799	7475057,980	287520,393	7475057,208	287520,377	7475057,795	287520,237	7475058,000
	65	287520,866	7475053,562	287520,601	7475053,070	287520,549	7475053,051	287520,384	7475053,200
	66	287501,275	7475053,265	287501,456	7475052,956	287501,269	7475052,479	287500,969	7475052,942
	67	287501,430	7475043,050	287501,445	7475043,877	287501,262	7475043,504	287500,990	7475043,454
	68	287521,295	7475043,351	287520,584	7475044,102	287520,498	7475043,916	287520,335	7475043,846
	69	287521,249	7475046,340	287520,480	7475046,665	287520,429	7475047,111	287520,384	7475046,833
	70	287524,154	7475046,384	287523,631	7475046,665	287523,692	7475047,179	287523,959	7475046,931
	71	287524,199	7475043,395	287523,596	7475044,068	287523,727	7475043,916	287523,910	7475043,797
	72	287544,298	7475043,699	287543,115	7475044,345	287543,409	7475044,364	287543,207	7475043,993
	73	287544,252	7475046,747	287543,185	7475047,184	287543,466	7475047,507	287543,109	7475047,323
	74	287547,201	7475046,791	287546,786	7475047,149	287546,953	7475047,565	287546,880	7475047,421
	75	287547,247	7475043,744	287546,751	7475044,414	287547,124	7475044,307	287547,027	7475044,042
	76	287567,270	7475044,047	287566,097	7475044,890	287566,499	7475044,707	287566,274	7475044,385
EDIF. 14	77	287569,263	7474916,679	287568,284	7474916,965	287568,381	7474916,799	287568,133	7474917,069
	78	287549,651	7474916,401	287549,073	7474916,693	287549,179	7474916,906	287549,026	7474916,576
	79	287549,717	7474911,751	287549,177	7474912,070	287549,286	7474912,092	287549,059	7474912,208
	80	287546,329	7474911,703	287545,853	7474912,070	287545,969	7474912,146	287546,002	7474912,258
	81	287546,263	7474916,353	287545,853	7474916,796	287545,862	7474916,746	287545,985	7474916,307
	82	287526,450	7474916,073	287526,014	7474916,641	287526,607	7474916,639	287526,177	7474916,400
	83	287526,307	7474926,160	287526,169	7474925,626	287526,714	7474926,213	287526,049	7474926,308

	84	287546,254	7474926,478	287545,646	7474925,833	287545,400	7474926,383	287545,578	7474926,505
	85	287546,302	7474923,399	287545,642	7474923,204	287545,435	7474923,111	287545,591	7474923,491
	86	287549,343	7474923,447	287548,649	7474923,204	287549,232	7474923,218	287548,893	7474923,465
	87	287549,294	7474926,527	287548,762	7474925,989	287549,179	7474926,320	287548,918	7474926,414
	88	287569,120	7474926,766	287568,290	7474926,093	287568,220	7474926,481	287568,045	7474926,691
EDIF. 15	89	287861,978	7475066,661	287861,253	7475064,978	287861,204	7475065,256	287860,976	7475065,432
	90	287810,014	7475013,193	287811,954	7475013,925	287810,401	7475014,173	287810,636	7475012,674
	91	287826,374	7474997,293	287826,313	7474999,188	287825,729	7474998,480	287825,549	7474998,073
	92	287878,338	7475050,760	287875,860	7475050,605	287876,159	7475051,112	287876,047	7475050,755
EDIF. 16	93	288083,265	7475043,792	288082,740	7475045,291	288082,779	7475044,890	288082,940	7475045,538
	94	288049,281	7475057,034	288049,293	7475058,431	288050,205	7475058,209	288050,054	7475058,466
	95	288057,719	7475078,690	288056,759	7475077,690	288057,693	7475077,143	288057,425	7475077,517
	96	288091,703	7475065,448	288089,752	7475064,456	288090,275	7475064,071	288089,934	7475064,108
EDIF. 17	97	288276,356	7475057,297	288275,833	7475058,960	288276,687	7475058,376	288275,803	7475058,347
	98	288259,494	7475094,437	288259,996	7475094,068	288260,320	7475094,480	288259,704	7475094,268
	99	288271,026	7475099,672	288270,301	7475098,614	288269,941	7475098,875	288270,561	7475099,118
	100	288287,888	7475062,532	288286,583	7475063,790	288286,690	7475063,110	288286,928	7475063,473
EDIF. 18	101	288193,540	7474989,236	288192,547	7474988,244	288192,715	7474988,685	288192,553	7474989,059
	102	288208,837	7474948,519	288207,366	7474948,137	288208,011	7474947,995	288208,211	7474947,978
	103	288210,023	7474948,964	288209,002	7474948,755	288209,901	7474948,708	288209,512	7474948,483
	104	288213,340	7474940,135	288212,006	7474940,982	288212,825	7474940,756	288212,619	7474940,794
	105	288197,394	7474934,145	288196,641	7474935,616	288197,314	7474934,801	288196,854	7474934,892

	106	288193,969	7474942,985	288193,655	7474944,099	288194,033	7474942,789	288193,747	7474942,580
	107	288195,373	7474943,505	288195,525	7474944,860	288195,852	7474943,502	288195,320	7474943,338
	108	288180,091	7474984,184	288180,403	7474984,057	288180,367	7474984,082	288180,003	7474984,211
EDIF. 19	109	288087,005	7474838,435	288086,533	7474839,494	288086,366	7474838,855	288086,497	7474838,829
	110	288094,171	7474845,806	288092,350	7474846,454	288092,998	7474845,327	288092,846	7474845,411
	111	288079,950	7474859,631	288078,483	7474859,386	288078,985	7474859,180	288078,809	7474859,215
	112	288086,698	7474866,573	288085,234	7474866,917	288085,991	7474866,615	288086,090	7474866,554
	113	288081,824	7474871,311	288081,235	7474870,604	288081,605	7474870,948	288081,372	7474871,155
	114	288075,076	7474864,369	288074,691	7474863,177	288074,652	7474863,406	288074,266	7474864,107
	115	288061,133	7474877,923	288060,409	7474877,200	288060,399	7474876,518	288060,462	7474877,620
	116	288053,967	7474870,551	288053,678	7474870,734	288054,701	7474870,359	288053,565	7474870,777
EDIF. 20	117	287900,424	7474893,615	287898,409	7474892,254	287899,696	7474892,890	287899,653	7474893,507
	118	287834,478	7474857,987	287835,348	7474857,805	287834,606	7474857,684	287834,463	7474857,697
	119	287847,967	7474833,019	287847,927	7474834,877	287847,917	7474833,481	287847,408	7474833,224
	120	287913,914	7474868,647	287911,264	7474869,116	287913,156	7474868,715	287912,991	7474868,753
EDIF. 21	121	287989,188	7474644,895	287988,245	7474646,070	287988,206	7474645,903	287988,317	7474645,629
	122	287978,410	7474661,468	287977,698	7474661,702	287977,455	7474661,682	287977,677	7474661,653
	123	287982,298	7474663,996	287981,576	7474664,484	287981,199	7474664,143	287981,301	7474664,190
	124	287980,493	7474666,772	287979,914	7474666,977	287979,488	7474666,496	287979,627	7474666,641
	125	287976,605	7474664,244	287976,137	7474664,506	287975,744	7474664,089	287976,003	7474664,121
	126	287965,828	7474680,816	287965,029	7474680,555	287965,077	7474680,282	287964,924	7474680,447
	127	287957,203	7474675,208	287957,447	7474675,414	287957,825	7474675,536	287957,347	7474675,351

	128	287968,056	7474658,518	287968,111	7474659,377	287968,148	7474659,596	287967,905	7474659,501
	129	287970,718	7474660,250	287970,304	7474660,693	287970,181	7474660,987	287970,210	7474660,938
	130	287972,376	7474657,700	287971,966	7474658,061	287972,213	7474658,152	287972,063	7474657,989
	131	287969,714	7474655,969	287970,027	7474656,561	287970,020	7474656,547	287969,606	7474656,439
	132	287980,563	7474639,286	287980,299	7474640,564	287980,878	7474640,554	287980,190	7474640,450
EDIF. 22	133	288212,237	7474643,925	288211,200	7474645,498	288210,670	7474644,187	288210,631	7474644,129
	134	288172,748	7474704,517	288172,001	7474703,817	288172,568	7474703,929	288172,091	7474703,713
	135	288148,814	7474688,918	288149,213	7474688,782	288149,584	7474689,107	288148,959	7474689,235
	136	288188,303	7474628,326	288189,178	7474630,431	288188,103	7474629,579	288188,298	7474629,363
EDIF. 23	137	287905,349	7474348,686	287904,277	7474349,568	287904,463	7474348,807	287903,797	7474348,895
	138	287891,936	7474363,394	287890,808	7474363,782	287891,198	7474363,249	287890,906	7474363,301
	139	287895,247	7474366,414	287894,218	7474366,932	287894,051	7474366,244	287894,245	7474366,407
	140	287893,007	7474368,870	287892,574	7474368,923	287892,268	7474368,383	287892,110	7474368,776
	141	287889,696	7474365,851	287888,834	7474365,963	287889,094	7474365,281	287888,654	7474365,630
	142	287876,518	7474380,302	287876,292	7474380,083	287875,798	7474379,874	287875,918	7474379,842
	143	287868,985	7474373,434	287869,341	7474374,204	287869,001	7474373,857	287868,689	7474374,029
	144	287882,325	7474358,806	287881,598	7474360,700	287881,927	7474359,362	287881,703	7474359,185
	145	287884,528	7474360,815	287884,298	7474362,829	287884,637	7474361,680	287884,421	7474361,437
	146	287886,534	7474358,616	287887,363	7474359,402	287886,955	7474359,041	287886,363	7474359,185
	147	287884,330	7474356,607	287884,766	7474357,013	287884,459	7474356,634	287883,761	7474356,855
	148	287897,816	7474341,817	287897,802	7474342,747	287897,456	7474342,567	287897,066	7474342,106
EDIF. 24	149	288066,541	7474358,084	288066,114	7474358,242	288065,912	7474358,042	288065,722	7474358,120

	150	288036,914	7474344,082	288036,562	7474344,427	288036,565	7474344,090	288036,210	7474344,146
	151	288039,541	7474338,526	288038,900	7474338,973	288038,580	7474339,268	288038,392	7474339,919
	152	288069,167	7474352,528	288068,253	7474353,054	288068,266	7474353,549	288067,706	7474353,868
EDIF. 25	153	288239,041	7474384,615	288238,483	7474385,897	288238,573	7474384,993	288238,214	7474385,030
	154	288225,544	7474414,977	288225,135	7474414,982	288225,361	7474414,840	288225,173	7474415,081
	155	288210,937	7474408,483	288210,637	7474408,512	288210,535	7474408,704	288210,416	7474409,025
	156	288224,434	7474378,122	288223,733	7474378,782	288224,292	7474377,665	288223,699	7474378,623
EDIF. 26	157	288115,128	7474361,077	288114,117	7474361,513	288114,448	7474361,618	288114,401	7474361,907
	158	288050,361	7474329,884	288049,215	7474330,243	288049,386	7474330,604	288049,049	7474330,950
	159	288056,533	7474317,069	288055,338	7474317,809	288055,696	7474317,269	288055,531	7474317,060
	160	288121,300	7474348,262	288119,726	7474348,659	288121,021	7474348,474	288121,148	7474348,810
EDIF. 27	161	287890,572	7474224,987	287889,019	7474226,169	287889,566	7474225,159	287889,326	7474225,410
	162	287846,441	7474203,839	287846,483	7474204,317	287846,182	7474203,931	287845,799	7474203,811
	163	287841,056	7474215,070	287841,576	7474214,952	287841,176	7474215,258	287840,841	7474215,272
	164	287885,206	7474236,228	287884,461	7474235,869	287884,310	7474236,185	287884,455	7474236,079
EDIF. 28	165	288115,213	7474145,632	288114,879	7474145,669	288114,411	7474145,403	288113,920	7474145,742
	166	288219,187	7474195,601	288217,498	7474195,683	288218,329	7474195,826	288218,202	7474196,542
	167	288234,850	7474163,093	288233,449	7474162,729	288234,275	7474163,292	288234,400	7474163,374
	168	288130,822	7474113,043	288129,680	7474112,948	288129,858	7474113,142	288129,826	7474112,794
EDIF. 29	169	288065,585	7474060,801	288064,914	7474061,014	288065,285	7474061,020	288064,665	7474061,074
	170	288057,160	7474078,513	288056,726	7474079,146	288057,093	7474079,331	288056,575	7474079,067
	171	288052,991	7474076,530	288052,328	7474076,734	288052,555	7474076,852	288052,531	7474076,950

	172	288051,562	7474079,534	288051,117	7474078,904	288051,414	7474079,277	288051,208	7474079,974
	173	288055,731	7474081,517	288055,583	7474081,535	288055,987	7474081,791	288055,366	7474082,129
	174	288047,114	7474099,630	288047,057	7474099,263	288047,207	7474099,603	288046,861	7474099,762
	175	288056,110	7474103,809	288055,981	7474103,239	288055,301	7474103,596	288055,128	7474103,535
	176	288064,846	7474085,639	288064,092	7474086,281	288063,538	7474086,150	288063,342	7474086,135
	177	288062,219	7474084,372	288061,123	7474084,594	288060,925	7474084,765	288061,036	7474085,020
	178	288063,498	7474081,683	288062,837	7474081,062	288062,433	7474081,773	288062,397	7474081,902
	179	288066,190	7474082,963	288065,676	7474082,435	288065,036	7474082,995	288064,854	7474083,187
	180	288074,676	7474065,125	288073,778	7474065,530	288073,487	7474065,504	288073,510	7474065,345
EDIF. 30	181	287954,079	7474014,768	287953,132	7474014,841	287953,163	7474015,161	287952,845	7474015,129
	182	287939,605	7474045,085	287938,953	7474044,211	287938,773	7474044,828	287938,635	7474044,895
	183	287929,554	7474040,286	287929,361	7474039,562	287929,414	7474040,087	287929,166	7474040,302
	184	287944,029	7474009,970	287943,549	7474010,401	287943,856	7474010,401	287943,341	7474010,478
EDIF. 31	185	288129,677	7473968,736	288129,839	7473967,951	288129,550	7473968,670	288129,380	7473968,962
	186	288149,934	7473927,032	288149,725	7473927,469	288149,744	7473927,149	288149,344	7473927,457
	187	288147,583	7473925,890	288147,517	7473926,274	288147,224	7473925,680	288147,292	7473926,395
	188	288152,053	7473916,653	288151,958	7473917,003	288151,339	7473917,717	288151,440	7473917,362
	189	288165,795	7473923,328	288164,579	7473923,937	288164,646	7473924,308	288164,642	7473924,079
	190	288161,260	7473932,666	288160,372	7473932,273	288160,641	7473932,036	288160,332	7473932,738
	191	288158,888	7473931,514	288158,242	7473931,208	288158,474	7473930,995	288158,080	7473931,728
	192	288150,205	7473949,389	288149,361	7473948,970	288149,501	7473950,027	288149,077	7473949,814
	193	288159,258	7473953,786	288158,138	7473953,800	288158,074	7473954,141	288158,132	7473954,418

	194	288156,300	7473959,875	288155,282	7473959,461	288155,330	7473959,628	288155,488	7473959,544
	195	288148,235	7473955,958	288146,297	7473955,203	288146,472	7473955,342	288146,737	7473955,397
	196	288138,771	7473973,153	288138,143	7473971,822	288138,017	7473972,790	288137,669	7473973,069
EDIF. 32	197	288269,654	7474036,640	288269,894	7474036,145	288269,531	7474036,674	288269,350	7474036,760
	198	288289,636	7473994,838	288289,837	7473995,271	288289,509	7473994,530	288289,267	7473994,774
	199	288287,371	7473993,755	288286,929	7473993,765	288287,369	7473993,353	288287,049	7473993,589
	200	288291,896	7473984,289	288291,008	7473984,829	288291,247	7473984,469	288291,182	7473984,568
	201	288305,756	7473990,914	288304,302	7473991,129	288304,664	7473991,213	288304,790	7473991,170
	202	288301,194	7474000,457	288300,225	7474000,101	288300,421	7473999,522	288300,305	7474000,091
	203	288298,681	7473999,256	288297,991	7473999,010	288298,067	7473998,452	288297,659	7473998,806
	204	288290,266	7474016,861	288289,448	7474017,344	288289,322	7474016,509	288289,053	7474016,868
	205	288306,346	7474024,548	288305,652	7474025,706	288306,224	7474024,692	288305,959	7474024,702
	206	288314,710	7474007,050	288314,325	7474007,632	288314,515	7474007,362	288314,199	7474007,701
	207	288323,783	7474011,386	288322,739	7474011,631	288322,966	7474011,374	288322,704	7474011,528
	208	288303,898	7474052,985	288302,847	7474052,245	288303,122	7474052,613	288303,228	7474052,778
	209	288294,767	7474048,620	288294,615	7474048,471	288294,510	7474048,495	288294,638	7474048,865
	210	288303,359	7474030,645	288303,289	7474031,124	288303,871	7474030,844	288302,803	7474030,693
	211	288287,340	7474022,988	288286,669	7474022,451	288286,487	7474022,553	288286,303	7474022,812
	212	288278,738	7474040,982	288277,736	7474040,525	288278,084	7474040,427	288277,741	7474040,537
EDIF. 33	213	288440,151	7474002,385	288439,056	7474003,070	288437,934	7474003,150	288437,900	7474002,962
	214	288373,435	7473970,336	288372,564	7473970,817	288372,550	7473971,771	288372,555	7473971,006
	215	288361,723	7473994,717	288362,081	7473994,293	288362,044	7473994,047	288361,473	7473994,430

	216	288428,439	7474026,766	288427,720	7474025,506	288426,882	7474025,331	288426,991	7474025,772
EDIF. 34	217	288324,235	7473802,130	288324,149	7473802,310	288323,919	7473802,523	288323,534	7473802,817
	218	288371,117	7473815,778	288369,879	7473816,177	288369,876	7473816,169	288369,974	7473816,227
	219	288367,710	7473827,480	288366,373	7473827,240	288366,720	7473827,455	288366,479	7473827,798
	220	288320,828	7473813,832	288320,691	7473813,730	288320,827	7473814,457	288320,116	7473814,867
EDIF. 35	221	288268,837	7473715,155	288267,074	7473714,821	288267,423	7473715,304	288267,446	7473715,610
	222	288223,947	7473726,360	288223,295	7473725,618	288223,235	7473726,415	288223,025	7473726,648
	223	288221,482	7473716,482	288221,032	7473717,314	288220,782	7473717,390	288220,423	7473717,474
	224	288240,717	7473711,680	288240,976	7473712,640	288240,144	7473712,576	288239,527	7473712,310
	225	288238,301	7473702,002	288238,639	7473703,447	288237,898	7473703,215	288237,430	7473702,602
	226	288244,902	7473700,355	288244,560	7473701,733	288244,423	7473701,611	288243,954	7473701,010
	227	288247,318	7473710,033	288246,975	7473711,160	288246,777	7473711,025	288245,973	7473710,640
	228	288266,371	7473705,277	288265,438	7473706,408	288265,337	7473706,050	288265,271	7473705,825