

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA**

**Rodrigo da Silva Ferraz**

**LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DO PARQUE**  
**ARQUEOLÓGICO SÃO MIGUEL ARCANJO POR VARREDURA**  
**A LASER TERRESTRE**

PORTO ALEGRE

Dezembro de 2014.

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA**

**Rodrigo da Silva Ferraz**

**LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DO PARQUE**  
**ARQUEOLÓGICO SÃO MIGUEL ARCANJO POR VARREDURA**  
**A LASER TERRESTRE**

Projeto Cartográfico do Curso de Engenharia Cartográfica apresentado na forma de monografia ao Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo.

Orientador: Prof. Dr. Mário Luiz Lopes Reiss.

PORTO ALEGRE

Dezembro de 2014.

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

**Reitor:** Carlos Alexandre Netto

**Vice-Reitor:** Rui Vicente Oppermann

## INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Diretor:** André Sampaio Mexias

**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Ferraz, Rodrigo da Silva

Levantamento Topográfico do Parque Arqueológico São Miguel Arcanjo por Varredura Laser Terrestre . / Rodrigo da Silva Ferraz. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014.  
[82 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Engenharia Cartográfica. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2014.

Orientador(es):Mário Luiz Lopes Reiss

1. Levantamento Topográfico 2. Laser Scanner Terrestre 3. LIDAR  
4. São Miguel das Missões. I. Título.

CDU 528

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sibila Francine T. Binotto

CRB 10/1743

# **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Rodrigo da Silva Ferraz**

## **LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DO PARQUE ARQUEOLÓGICO SÃO MIGUEL ARCANJO POR VARREDURA A LASER TERRESTRE**

Projeto Cartográfico do Curso de Engenharia Cartográfica apresentado na forma de monografia ao Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo.

Banca Examinadora:

---

Examinador 01: Prof. Dr. André Sampaio Mexias (UFRGS).

---

Examinador 02: Eduardo Hahn - Arquiteto Superintendente do IPHAN.

---

Examinador 03: Rodrigo de Avila Palermo - Eng. Cartógrafo - Planargeo.

---

Examinador 04: Prof. Dr. Sérgio Florêncio de Souza (UFRGS).

---

Orientador: Prof. Dr. Mário Luiz Lopes Reiss (UFRGS).

**PORTO ALEGRE**

Dezembro de 2014.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ter colocado em minha vida minha esposa Renata Fonseca Mello e minha mãe Delma da Silva Ferraz. Nos momentos mais difíceis e turbulentos de minha vida elas sempre estiveram comigo. Sem elas nada teria sentido nem significado.

Também gostaria de agradecer a Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Instituto de Geociências pela oportunidade de aprendizado e pela disponibilização de aparelhos de última tecnologia e recursos para a execução desse projeto.

Gostaria de agradecer aos colegas Luisa Morador, Vinicius Caixeiro, Maurício Yamawaki e Taina Nunes pela ajuda nos levantamentos executados nas ruínas de São Miguel das Missões.

Gostaria de agradecer também a todos os integrantes da 1ª Divisão de Levantamento, meu local de trabalho. Lá praticamente é minha segunda casa e um local onde eu tenho muitas amizades.

Ao professor Dr. Mário Luiz Lopes Reiss, meu orientador, pelos conselhos e orientações durante a execução deste trabalho.

Em especial também a todos os professores do Instituto de Geociências que sempre foram muito dedicados e atenciosos durante as diversas aulas no Curso de Engenharia Cartográfica.

## RESUMO

Os levantamentos topográficos são de fundamental importância para a gerência e planejamento de projetos básicos de engenharia. Eles servem de apoio a projetos das mais diversas áreas como a construção de pontes e estradas na engenharia civil, construção de prédios e loteamentos, estudos ambientais, geodinâmica, arquitetura, implantação de redes de drenagens pluviais, dentre outras áreas. Com o passar do tempo às técnicas de obtenção de dados foram evoluindo tecnologicamente desde o levantamento com teodolitos e a utilização do posicionamento por observação dos astros, utilização de trena, passando para o teodolito eletrônico, estações totais, GNSS (Global Navigation Satellite System) e por fim chegando à combinação de métodos, como, por exemplo, a utilização de Fotogrametria com utilização de rastreadores GNSS para obtenção de pontos de apoio. Todos os métodos possuem vantagens e desvantagens dependendo da necessidade de cada usuário. Nesse contexto tem-se os sistemas LIDAR Terrestre (Light Detection and Ranging - Detecção de Luz e Distância). O princípio da varredura a LIDAR é uma síntese de técnicas tradicionais. Neste tipo de levantamento é obtida a distância aos objetos sem a necessidade de refletores, como os do tipo prisma. Nesses levantamentos o principal produto gerado é uma nuvem de pontos com coordenadas tridimensionais no referencial do aparelho. A nuvem de pontos pode-se adicionar cores a partir de fotografias das cenas que são obtidas pelo sistema. Em alguns modelos de equipamentos de varredura LIDAR pode ser utilizado o controle geodésico, uma vez que durante o levantamento existe a possibilidade de se utilizar um rastreador GNSS integrado ao Laser Scanner. Durante a varredura com apoio geodésico não há a necessidade de execução de poligonais semelhantes aos métodos tradicionais, já que com a integração de um rastreador GNSS a posição do scanner é obtida no pós-processamento obtendo-se nuvens de pontos georeferenciadas. No presente trabalho é apresentada a execução de um levantamento topográfico, utilizando varreduras LIDAR, nas Ruínas do Parque São Miguel Arcaño, no município de São Miguel das Missões-RS e foi gerado um modelo digital de elevações (MDE) da área de estudo a partir dos dados coletados em campo. Os resultados obtidos mostram uma qualidade posicional com desvios-padrões acurácia posicional de 8,9 cm e 10,2 cm, nas coordenadas E e N respectivamente.

Palavras Chave: Levantamento Topográfico, Laser Scanner Terrestre, LIDAR, São Miguel das Missões.

## ABSTRACT

The topographic surveys are of first consideration for the administration and projection of basic draft of engineering. They serve to support projects from various fields such as building bridges and roads in civil engineering, construction of buildings and housing developments, environmental studies, geodynamics, architecture, implementation of stormwater drainage networks, among other areas. Over time the technical data collection have evolved technologically from the survey with theodolites and the use of positioning by observation of the stars, using tape, moving to the electronic theodolites, total stations, GNSS (Global Navigation Satellite System) and finally arriving to the combination of methods such as, for example, the use of photogrammetry using GNSS trackers for support points. All methods have advantages and disadvantages depending on the needs of each user. In this context has Terrestrial LIDAR systems (Light Detection and Ranging - Light and Distance Detection). The principle of the scanning the LIDAR is a synthesis of traditional techniques. In this type of lifting it is obtained to the distance to the objects without the reflectors necessity, like those of the type prism. In these surveys the main product generated is a cloud of points with three-dimensional coordinates in the frame of the apparatus. At point cloud can add colors from photographs of scenes that are obtained by the system. In some models LIDAR scanning equipment can be utilized geodetic control, since during the lifting it is possible to use an integrated GNSS tracking the laser scanner. During the scan with support geodetic there is no need to perform polygonal similar to traditional methods, since the integration of GNSS tracking the scanner position is obtained in post-processing yielding clouds of georeferenced points. In this study the performance of a survey is presented using LIDAR scans in Park Ruins of St. Michael the Archangel, in the municipality of San Miguel Mission-RS and generated a digital models of elevations (MDE) the study area from data collected in the field. The results obtained show a positional accuracy with quality standard deviations positional 8.9 cm and 10.2 cm, in the coordinates E and N respectively .

Keywords: Topographic survey, Laser Scanner Land, LIDAR, San Miguel Mission.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - AVENIDA INDEPENDÊNCIA EM PORTO ALEGRE EM 1930.....	18
FIGURA 2 - AVENIDA INDEPENDÊNCIA DIAS ATUAIS. ....	18
FIGURA 3 - RUÍNAS DE SÃO MIGUEL DAS MISSÕES 1846 .....	19
FIGURA 4 - RUÍNAS DE SÃO MIGUEL DAS MISSÕES - DIAS ATUAIS.....	19
FIGURA 5 - ÁREA DE ESTUDO.....	21
FIGURA 7- ESTAÇÃO TOTAL. ....	25
FIGURA 8 - EXEMPLO VÔO FOTOGAMÉTRICO. ....	27
FIGURA 9- LIDAR AEROTRANSPORTADO.....	27
FIGURA 10- ANÁLISE RETORNO LIDAR.....	28
FIGURA 11- LASER PRINCÍPIOS FÍSICOS. ....	29
FIGURA 12 - LST OPTECH ILRIS 3D HD.....	31
FIGURA 13 - EXEMPLO SISTEMA DINÂMICO. ....	32
FIGURA 14 - EXEMPLO INTENSIDADE CAPTADA PELO LST. ....	32
FIGURA 15 - LST CÁLCULO DE COORDENADAS. ....	33
FIGURA 16- PRINCÍPIO DA TRIANGULAÇÃO.....	34
FIGURA 17- PRINCÍPIO DE TEMPO DE VÔO DE SINAL. ....	34
FIGURA 18 - PRINCÍPIO DA DIFERENÇA DE FASE.....	35
FIGURA 19 - FARO FOCUS 3D - 905 NM.....	36
FIGURA 20 - OPTECH ALTM 2050 - 1046 NM. ....	37
FIGURA 21- <i>STEPSTARE</i> . ....	38
FIGURA 22 - <i>PROFILE</i> .....	38
FIGURA 23 - NUVEM DE PONTOS COLORIDA.....	38
FIGURA 24 - REGISTRO DE NUVENS DE PONTOS.....	41
FIGURA 25 - FOTOTRIANGULAÇÃO POR MODELOS INDEPENDENTES. ....	41
FIGURA 26 - GEOREFERENCIAMENTO.....	42
FIGURA 27 - MDT E MDS.....	43
FIGURA 28 - FLUXOGRAMA DO TRABALHO DESENVOLVIDO.....	47
FIGURA 29 - PROCESSAMENTO DOS DADOS GNSS. ....	48
FIGURA 30 - ESCANEAMENTOS EFETUADOS.....	50
FIGURA 31 - PC CONTROLER.....	51

FIGURA 32 - ARQUIVOS BRUTOS LST. ....	51
FIGURA 33 - TOTAL DE PONTOS ESCANEADOS. ....	52
FIGURA 34 - TOTAL DE PONTOS NO ESCANEAMENTO. ....	53
FIGURA 35 - CONFIGURAÇÃO DA COR NA NUVEM DE PONTOS.....	54
FIGURA 36 - PARÂMETROS BASE ROBÓTICA <i>PANTILT</i> . ....	54
FIGURA 37 - CENTRO DE FASE LST.....	55
FIGURA 38 - REGISTRO CENAS. ....	56
FIGURA 39 - REGISTRO A PARTIR DA E1. ....	56
FIGURA 40 - TRANSLAÇÃO 3D. ....	57
FIGURA 41 - ROTAÇÃO DE NUVENS DE PONTOS. ....	57
FIGURA 42 - REGISTRO FINO. ....	58
FIGURA 43 - CENAS GEOREFERENCIADAS.....	59
FIGURA 44 - PARTE INTERNA DO PARQUE - MODELO GERADO.....	59
FIGURA 45 - NUVEM DE PONTOS COLORIDA.....	60
FIGURA 46 - NUVEM DE PONTOS INTENSIDADE 8 BITS.....	60
FIGURA 47 - ESCANEAMENTO PRÓXIMO A POUSADA DAS MISSÕES .....	61
FIGURA 48 - EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES.....	61
FIGURA 49 - RECONHECIMENTO DE FEIÇÕES. ....	62
FIGURA 50 - FEIÇÕES NA NUVEM DE PONTOS. ....	62
FIGURA 51 - GNSS TOPCON GR3 NO MARCO M1 .....	63
FIGURA 52 - ESTAÇÃO TOPCON TP 7500.....	63
FIGURA 53 - DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS. ....	65

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS TEODOLITOS.....	26
TABELA 2 - CLASSIFICAÇÃO MEDIDORES ELETRÔNICOS DE DISTÂNCIA. .	26
TABELA 3 - CLASSIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES TOTAIS. ....	26
TABELA 4 - ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	36
TABELA 5 - PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA .....	45
TABELA 6 - RELAÇÃO DE COORDENADAS.....	49
TABELA 7 - COMPARAÇÃO COORDENADAS ESTAÇÃO TOTAL X GNSS.....	67
TABELA 8 - DISCREPÂNCIA DAS COORDENADAS.....	68
TABELA 9 - TESTE ESTATÍSTICOS. ....	69
TABELA 11 - CUSTOS INDIRETOS.....	71
TABELA 12 - MATERIAIS DA UFRGS EMPREGADOS. ....	71
TABELA 13 - CUSTOS DOS SERVIÇOS EXECUTADOS.....	71
TABELA 14 - IMPOSTOS E PREÇO FINAL DO LEVANTAMENTO. ....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**DEM** - *Digital Elevation Model* - Modelo Digital De Elevações;

**EM** - Espectro Eletromagnético;

**GNSS** - *Global Navigation Satellite System* - Sistema Global de Navegação Por Satélites;

**GPS** - *Global Positioning System* - Sistema de Posicionamento Global;

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

**IPHAN** - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional;

**ISPRS** - *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* - Associação Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto;

**LAFOTO** - Laboratório de Fotogrametria UFRGS;

**LASER** - *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* - Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação;

**LIDAR** - *Light Detection and Ranging* - Detecção de Luz e Distância;

**LST** - Laser Scanner Terrestre;

**MDT** - Modelo Digital de Terreno;

**MDS** - Modelo Digital De Superfície;

**PEC** - Padrão de Exatidão Cartográfica;

**REM** - Radiação Eletromagnética;

**UFRGS** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul;

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	14
1.2 OBJETIVOS .....	16
1.3 JUSTIFICATIVA .....	17
1.4 ÁREA DE ESTUDO .....	20
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	22
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	24
2.1 HISTÓRICO DO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO .....	24
2.2 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO PLANIALTIMÉTRICO .....	25
2.3 FOTOGRAMETRIA, LIDAR E LASER.....	26
2.4 LST OPTECH ILRIS – 3D - CARACTERÍSTICAS .....	30
2.5 SISTEMA LASER SCANNER TERRESTRE.....	31
2.6 NUVEM DE PONTOS .....	38
2.7 REGISTRO DAS NUVENS DE PONTOS.....	39
2.8 POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO .....	42
2.9 MDT, MDS E DEM.....	43
2.10 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES E PEC .....	44
3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS .....	46
3.1 MATERIAIS.....	46
3.2 PROCEDIMENTOS .....	47
4. CONTROLE DE QUALIDADE .....	63
5 . CUSTOS.....	70
6. CONCLUSÕES .....	73
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	73
6.2 RECOMENDAÇÕES .....	75
REFERÊNCIAS .....	77

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os egípcios chamavam os topógrafos de “esticadores de cordas”. Eles pertenciam a uma antiga guilda responsável por marcar novamente os terrenos após as enchentes anuais do Nilo, para fins de tributação. A Bíblia indica que havia topógrafos em Israel que definiam limites e títulos de propriedade. Provérbios 22:28 diz: “Não recues algum termo existente há muito tempo, feito pelos teus antepassados”. Os romanos até mesmo tinham um Deus chamado Término, ou Termo, protetor das fronteiras e marcos divisórios, e que era representado sob a forma de um bloco de pedra. Os aquedutos e as estradas romanas, muitos ainda em existência, dão testemunho das façanhas dos antigos romanos na área da topografia. Com instrumentos primitivos, os primeiros topógrafos obtiveram resultados impressionantes. Por volta de 200 a.C., o astrônomo, matemático e geógrafo grego Erastóstenes calculou a circunferência da Terra (BIBLIOTECA ONLINE DA TORRE DE VIGIA, 2014).

O levantamento topográfico tem como finalidade representar graficamente todas as características de determinado lugar, incluindo o relevo, que pode ser representado através de curvas de nível, edificações, distâncias, cálculo de área, norte magnético, coordenadas geográficas, acidentes geográficos, etc. Tais levantamentos são elaborados com a utilização de equipamentos específicos e sua representação gráfica é feita considerando-se os parâmetros, metodologia e legislação a fim de fornecer um trabalho topográfico de acordo com normas técnicas vigentes. O levantamento topográfico é utilizado em diversas aplicações tais como: planejamento militar, exploração geológica, engenharia civil, construção civil, obras públicas e trabalhos de recuperação de infraestrutura de obras diversas. Conforme a finalidade do levantamento, os objetivos da utilização da informação topográfica podem sofrer variações. A informação detalhada a cerca de um determinado terreno, contendo todas as características da superfície, é importante para o planejamento, a concepção e a implementação de projetos de engenharia, arquitetura ou de obras públicas (MENSURAL SERVIÇOS TOPOGRÁFICOS, 2014).

Na pesquisa mineral a topografia é necessária em algumas situações como na abertura de picadas para mapeamento geológico, piqueteamento para métodos geofísicos terrestres e locação de furos de sondagem. A etapa de lavra mineral, seja ela de céu aberta ou subterrânea, por ser um processo complexo e exigente nas questões de segurança, a topografia é de grande e indispensável utilidade (TECNICOEMINERAÇÃO, 2014).

Na construção civil a topografia é utilizada em levantamentos preliminares visando estudos referente à construções de estradas, prédios, rodovias, barragens. Assim, são levantadas coordenadas tridimensionais em um sistema de referência e a partir das quais podem ser gerados perfis transversais e longitudinais do terreno estudado. Cálculos de volumes e movimentação de materiais, como em obras de terraplenagem, são todos baseados em levantamentos topográficos.

As formas mais convencionais de se obter coordenadas tridimensionais vão desde a utilização de teodolitos combinados com níveis óticos, utilização de estações totais que com o tempo foram obtendo técnicas mais avançadas e com melhor qualidade comparadas aos métodos clássicos, utilização de tecnologia GNSS, levantamento aerofotogramétrico e interpretação de cartas topográficas. Outro aparelho de topografia muito utilizado nos levantamentos é o nível ótico. Nele são obtidas, diretamente, informações precisas em relação a parte altimétrica de um levantamento.

A Topografia atualmente é realizada com a utilização de estações totais onde a partir de medidas de ângulos e distâncias são obtidas coordenadas. Porém para se obter um trabalho com uma melhor qualidade posicional utiliza-se também o apoio geodésico com a utilização de tecnologia GNSS. Em relação a parte altimétrica também são utilizados níveis óticos que nos fornecem de maneira direta informações precisas a respeito do relevo.

A Fotogrametria com apoio geodésico é outra maneira de se obter coordenadas no espaço objeto, ou seja, referenciadas ao terreno em estudo. Porém, ela apresenta algumas limitações, como a correspondência de imagens. A aquisição de feições que se localizam abaixo de prédios ou árvores são fatores que a Fotogrametria aérea não consegue resolver.

O LASER é um feixe de luz monocromático, ou seja, possui um comprimento de onda bem definido, é coerente, todos os fótons que compõe o feixe estão em fase e ele é colimado, propagando-se como um feixe de ondas praticamente paralela. São essas características que a difere da luz comum onde não existe sincronia entre os fótons emitidos (LOPES, 2014).

LIDAR (*Light Detection And Ranging* - Detecção de Luz e Distância) é uma tecnologia óptica de detecção remota a partir das propriedades da luz refletida, onde se obtém informações a respeito de um objeto situado a um determinado alcance. Distância, esta obtida quando se obtém a diferença de tempo entre a emissão de um pulso laser e a detecção do sinal refletido (JENSEN, 2011).

A varredura LASER também é utilizada na preservação e manutenção de monumentos históricos, onde se captura detalhes das superfícies que possam apresentar danos

estruturais ou avarias. Pode-se documentar as condições em que se encontra determinado ambiente para a preservação de construções históricas a partir dos dados levantados e também pode ser utilizada de forma preventiva para monitoramento contínuo de estruturas.

Conforme Isidoro (2012), na geração de projetos pode-se verificar sua implantação através de varredura LASER via projetos de *as-built* 3D sendo utilizados em planejamentos de implantações e ampliações de peças industriais. A aplicação da topografia industrial por meio do controle dimensional no setor petroquímico torna-se de suma importância, uma vez que máquinas instaladas incorretamente, ou seja, sem alinhamento ou fora do nível, apresentarão um desgaste acelerado. No entanto possui também aplicação direta na fabricação e montagem de linhas de tubulações, pois necessita-se obter resultados próximos ao do projeto para que sejam obedecidas as tolerâncias pré-estabelecidas. Uma melhor definição sobre o funcionamento LST pode ser encontrado em Dalmolin e Santos (2004).

Este trabalho se insere no contexto da nova tecnologia de obtenção de dados tridimensionais por meio da varredura a LASER para efetuar levantamentos topográficos. Por meio desta tecnologia é possível obter uma ou várias nuvens de pontos com coordenadas tridimensionais de forma mais rápida e eficiente comparada com os métodos tradicionais.

As diferentes características dos diferentes tipos de LST, princípios de funcionamento, tipos de varreduras, registro de nuvens de pontos, extração de feições e geração de modelos de superfície (MDS), controle de qualidade dos dados adquiridos e custos envolvidos nessas etapas são temas que também serão abordados nesse trabalho. A área de estudo para o levantamento topográfico foi a das ruínas jesuíticas existente no município de São Miguel das Missões, mais especificamente no sítio arqueológico de São Miguel Arcanjo.

No presente estudo, foram realizadas trinta e cinco varreduras utilizando o sistema LST, gerando trezentos e cinquenta nuvens de pontos georeferenciadas onde cada nuvem gerou mais de setecentos mil pontos. Os resultados obtidos apresentaram uma qualidade posicional com acurácia de 8,9 cm e 10,2 cm nas coordenadas E e N, respectivamente.

## **1.2 OBJETIVOS**

O projeto teve como objetivo geral realizar um levantamento topográfico com varredura LIDAR apoiada e avaliar a aplicabilidade desta tecnologia. Neste contexto, a área de estudo foi o Sítio Arqueológico São Miguel Arcanjo localizado no município de São Miguel das Missões, no Estado do Rio Grande do Sul. Para atingir este objetivo geral foram

utilizadas técnicas que envolvem as seguintes áreas da Engenharia Cartográfica: Levantamento com varredura LIDAR, Posicionamento Geodésico e Ajustamento de Observações. Os produtos finais que foram gerados são:

- Modelo Digital de Elevações (MDE) georreferenciado;
- Mapa Topográfico, em escala compatível com escala 1:500, a partir do MDE por extração manual das feições de interesse, com preparação para ser utilizando em um SIG.

### **1.3 JUSTIFICATIVA**

As principais justificativas são inseridas, pois o LST é um sistema relativamente novo no mercado de trabalho embora existam publicações de trabalhos acadêmicos desde meados dos anos 2000. Possui grande potencial para aplicações futuras com o barateamento do sistema, o mesmo realiza coleta de um grande volume de dados com pouco intervalo de tempo, utilizando pouca mão de obra comparada com os levantamentos topográficos convencionais. Possui a possibilidade de classificação de dados para gerar informações qualitativas (árvores doentes, edificações com danos estruturais), sendo que isso é possível porque o LASER dá resposta espectral no infravermelho.

O patrimônio histórico pode ser definido como um bem material, natural ou imóvel que possui significado e importância artística, cultural, religiosa, documental ou estética para a sociedade. Estes patrimônios foram construídos ou produzidos pelas sociedades passadas, por isso representam uma importante fonte de pesquisa e preservação cultural. Há uma preocupação mundial em preservar os patrimônios históricos da humanidade, através de leis de proteção e restaurações que possibilitam a manutenção das características originais (IPHAN, 2014).

A preservação de monumentos históricos é prevista na nossa Carta Magna onde é especificado que cabe ao poder público com apoio da sociedade o dever de zelar pelo patrimônio nacional (IPHAN, 2014).

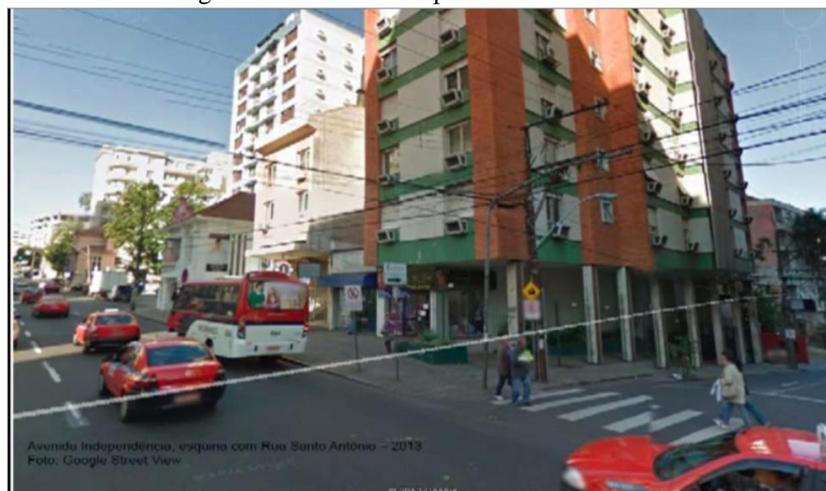
Na Figura 1 e Figura 2, nota-se claramente, exemplos de mudanças na paisagem original ocasionada por diversos fatores como ação do homem devido ao progresso, desastres naturais, guerras, falta de planejamento do poder público etc.

Figura 1 - Avenida Independência em Porto Alegre em 1930.



Fonte: Prefeitura Municipal de Porto Alegre (2014).

Figura 2 - Avenida Independência dias atuais.



Fonte: Google Earth (2014).

Assim surge a importância da medições de monumentos históricos, pois assim pode-se ter o registro de determinado bem e a partir dele realizar reconstituições de determinado ambiente. A partir dessas medições podem ser construídas maquetes para retratar a história de determinado lugar. Também pode-se efetuar restaurações, e a até mesmo a inteira reconstrução do monumento histórico a partir do registro e medição desses lugares. Na Figura 3 e Figura 4 há o registro das ruínas existentes no Sítio Arqueológico de São Miguel Arcanjo. Pode-se notar a grande alteração na paisagem original que ocorreu com o passar dos anos.

Figura 3 - Ruínas de São Miguel das Missões 1846



Fonte: Demersay (1846).

Figura 4 - Ruínas de São Miguel das Missões - Dias atuais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse contexto, o levantamento com LST efetua uma varredura das feições de interesse registrando uma nuvem de pontos tridimensional (X, Y, Z) com dados de intensidade e fotografia digital colorida, gerando modelos densos e acurados que permitem extrair informações com rapidez e precisão. Um levantamento com a utilização deste tipo de

tecnologia serve para obtermos o registro de um patrimônio do Rio Grande do Sul que foi tombado pela UNESCO em 1983. O Sítio Arqueológico de São Miguel Arcanjo, localizado na cidade de São Miguel das Missões retrata as origens da história do estado desde a época em que ele pertencia ao império espanhol.

As principais vantagens de se utilizar o LST para o levantamento das edificações citadas anteriormente encontram-se abaixo enumeradas:

- Permite em escritório extrair feições que sejam de interesse do usuário;
- Análises de deformações estruturais;
- Análises volumétricas;
- Layout de instalações;
- Digitalização de cenas forenses (área criminalística);
- Geração de modelos digitais de terreno para aplicação na elaboração de projetos de rodovias.

O LST também é utilizado em outras aplicações como levantamento topográfico em minas a céu aberto sendo útil no controle de ângulo de talude, cubagens de pilhas pulmão e depósito de estéril, levantamento de estruturas geológicas como falhas e dobras, monitoramento de cavidades, erosões, deslizamentos, levantamento de volumes de caçambas e conchas dos equipamentos.

Também é utilizado em levantamento e modelagem de objetos, muitas estruturas antigas não possuem dados de projetos disponíveis para futuras manutenções, consertos ou renovações. O levantamento de sua geometria por métodos convencionais demanda de muito tempo.

#### **1.4 ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo, Figura 5, localizada em São Miguel das Missões - RS, fica a uma distância de 490 Km de Porto Alegre.

Figura 5 - Área de Estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

São Miguel das Missões possui uma população estimada de 7714 habitantes, densidade demográfica de 6,03 habitantes/km<sup>2</sup> e uma área de 1.229,84km<sup>2</sup> (IBGE, 2014).

O antigo povo de São Miguel, localizado em São Miguel das Missões sobressai com o mais importante remanescente dos Sete Povos das Missões. Estas evidências materiais da singular civilização resultante do convívio do jesuíta europeu com o indígena provêm do início do século XVII, época da fundação dos sete Povos e, especificamente, da criação do povo de São Miguel. Sua instalação definitiva só se dá, no entanto, em 1697, já que, devido aos ataques dos bandeirantes, esta redução teve que ser transferida para a outra margem do Rio Uruguai, só se efetivando sua instalação no sítio atual quando cessaram as investidas paulistas. Em 1768, com a expulsão dos jesuítas, os Povos das Missões passaram a ser governados pela administração colonial espanhola e a partir de 1801, pela administração portuguesa. O processo de decadência ocorreu em função dos tratados que entre si vinham estabelecendo entre Portugal e Espanha: em 1750 o Tratado de Madri troca a Colônia de Sacramento (hoje Uruguai), pelo território dos Sete Povos das Missões, sendo os índios obrigados a abandonar suas terras. O Tratado de Madri é anulado pelo Tratado de El Pardo em 1761, que permite aos índios retornarem às suas terras até a definitiva expulsão dos jesuítas dos domínios espanhóis, decretada por Carlos III, rei da Espanha (IBGE, 2014).

Em 1750, o Tratado de Madri criou novos limites entre as terras de Portugal e Espanha, determinando a entrega das reduções localizadas à margem esquerda do rio Uruguai aos portugueses, em troca da Colônia do Sacramento. Tal fato provocou a Guerra Guaranítica, a expulsão dos jesuítas e a decadência das Missões, dizimadas por um exército constituído pelas duas Coroas (IPHAN, 2014).

Nas missões havia a prática de agricultura, pecuária e artesanato num sistema de trabalho cooperativo que aliava a introdução do conhecimento jesuítico e a utilização das técnicas indígenas tradicionais. Algumas reduções chegaram a reunir 7.000 indígenas, preparados, também, para a defesa contra a escravização resultante dos frequentes ataques dos bandeirantes paulistas (IPHAN, 2014).

A vila de São Miguel surgiu em 1926. Em 29 de abril de 1988, a vila de São Miguel emancipou-se de Santo Ângelo, tornando-se um município responsável, portanto, pela estruturação de condições administrativas e fiscais para seu desenvolvimento urbano e rural (IBGE, 2014).

## **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O trabalho é dividido em seis capítulos. No primeiro capítulo são abordadas as considerações iniciais sobre o contexto do trabalho, aplicações, importância da área de estudo e um breve histórico do Sítio Arqueológico de São Miguel Arcanjo em São Miguel das Missões-RS.

O Capítulo 2 apresenta um breve histórico da topografia e também uma abordagem em relação ao LST. Desde a sua comparação com a Fotogrametria, princípios físicos do LASER, conceituação de LIDAR, princípio de funcionamento do LST, tipos de sistemas, tipos de varreduras, especificações do LST Ilris 3D HD, sua classificação quanto ao comprimento de onda no espectro eletromagnético e registro. Também são abordados os produtos gerados como MDT, MDS, DEM, métodos de posicionamento, ajustamento de observações e a análise referente ao Padrão de Exatidão Cartográfica do produto em relação a escala de trabalho que se quer trabalhar.

No Capítulo 3 são abordadas os materiais e softwares utilizados durante os trabalhos de campo e gabinete para a aquisição dos produtos finais. São analisadas as etapas de processamento e os parâmetros utilizados durante as varreduras (tipos de escaneamento, espaçamento de pontos nas nuvens de pontos).

No Capítulo 4 é descrito as etapas realizadas para o controle de qualidade. Dados especificando os testes estatísticos e variáveis envolvidas no mesmo são analisadas nesta etapa. Também é feita uma descrição sucinta do levantamento executado para a coleta dos pontos de análise para o cálculo das discrepâncias das coordenadas.

No Capítulo 5 há uma abordagem em relação aos custos envolvidos durante o levantamento.

No Capítulo 6 esta descrita a conclusão que é dividida em considerações finais, baseadas nos resultados alcançados, e sugestão para trabalhos futuros com os dados levantados.

Por fim, foi gerado um anexo, com o Mapa Topográfico Planialtimétrico gerado.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 HISTÓRICO DO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Conforme Correa (2013), A Carta da França, documento publicado no início do século XIX pela Academia Francesa e elaborada pelo astrônomo Cassini, é considerado o primeiro trabalho executado com técnica e conceitos próprios da Topografia. Os melhoramentos da mecânica de precisão desenvolvidos nos instrumentos topográficos, devidos principalmente às pesquisas do engenheiro suíço Henrique Wild, do geodesta italiano Porro, das importantes contribuições da Casa Zeiss, e de tantos outros, contribuíram para o progresso crescente das aplicações dos métodos utilizados pela Topografia. Na Figura 6, há o exemplo da evolução de alguns aparelhos de topografia.

Figura 6 - Evolução dos Aparelhos de Topografia.



Fonte: Rodrigues (2003).

Em alguns modelos mais precisos onde se pretendeu apurar intervalos angulares de ordem decimal, surgiram os micrometros associados aos limbos verticais e horizontais.

Veiga (2006) relata que a primeira grande inovação nos aparelhos topográficos ocorreu no ano de 1943, com o lançamento do Medidor Eletrônico de Distância (MED) ou, simplesmente chamado de distanciômetro eletrônico. Os novos modelos de distanciômetros eletrônicos tornaram-se a base para o desenvolvimento dos atuais teodolitos, níveis e estações totais eletrônicas, que vieram revolucionar ainda mais a topografia na década de 80.

Em relação a estação total, exemplo na Figura 7, Correa (2013) define que a mesma é um instrumento eletrônico utilizado na medida de ângulos e distâncias que surgiu em 1971, na Alemanha, e que foi o instrumento primordial de trabalho de todo topógrafo durante duas

décadas . A evolução dos instrumentos de medida de ângulos e distâncias levou ao surgimento desse novo instrumento, que pode ser definido como a junção de um teodolito eletrônico digital com um distanciômetro eletrônico, montados em um só bloco.

Figura 7- Estação Total.



Fonte: Correa (2013).

Depois das estações totais começou a era espacial com o posicionamento por satélites. O sistema de posicionamento global, lançado em 1973 e conhecido por GPS é um sistema de navegação via sinal de satélite que fornece a um aparelho móvel receptor a sua posição, assim como informação horária, a qualquer momento e em qualquer ponto do planeta.

## 2.2 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO PLANIALTIMÉTRICO

Segundo a NBR13133, de 30 de junho de 1994, levantamento topográfico é um conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. Os levantamentos topográficos são executados geralmente com teodolitos, estações totais e também níveis óticos para se obter um controle altimétrico do levantamento.

A NBR13133 especifica a questão da acurácia dos teodolitos, níveis, medidores eletrônicos de distâncias e das estações totais. Abaixo, nas Tabelas 1 a 3, seguem algumas das especificações da referida Norma.

Tabela 1- Classificação dos teodolitos.

Classes de teodolitos	Desvio-padrão precisão angular
1 - precisão baixa	$\leq \pm 30''$
2 - precisão média	$\leq \pm 07''$
3 - precisão alta	$\leq \pm 02''$

Fonte: NBR13133.

Tabela 2 - Classificação Medidores Eletrônicos de Distância.

Classes do MED	Desvio-padrão
1 - precisão baixa	$\pm (10 \text{ mm} + 10 \text{ ppm} \times D)$
2 - precisão média	$\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm} \times D)$
3 - precisão alta	$\pm (3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \times D)$

Fonte: NBR13133.

Tabela 3 - Classificação das Estações Totais.

Classes de estações totais	Desvio-padrão Precisão angular	Desvio-padrão Precisão linear
1 - precisão baixa	$\leq \pm 30''$	$\pm (5\text{mm} + 10 \text{ ppm} \times D)$
2 - precisão média	$\leq \pm 07''$	$\pm (5\text{mm} + 5 \text{ ppm} \times D)$
3 - precisão alta	$\leq \pm 02''$	$\pm (3\text{mm} + 3 \text{ ppm} \times D)$

Fonte: NBR13133.

## 2.3 FOTOGRAMETRIA, LIDAR E LASER

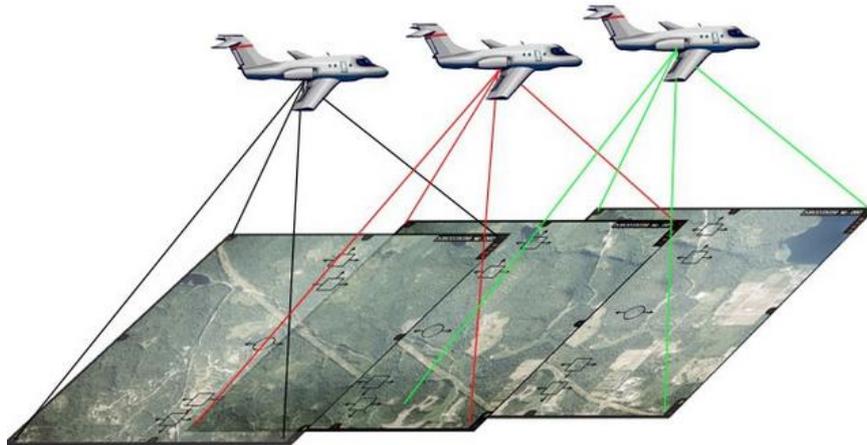
Conforme Jensen (2011), Fotogrametria é a arte e ciência de realizar medições precisas por meio de fotografia aérea. Diversos conceitos podem ser abordados na Fotogrametria além de cálculos que envolvem desde as etapas de planejamento, plano de vôo com a tomada das fotografias, exemplo na Figura 8, as orientações de fotografias e também a geração de modelos.

Já, Andrade (1998), define Fotogrametria como ciência de obter informações confiáveis através de processos de registro, interpretação e mensuração de imagens.

Segundo Wolf e Dewitt (2004), a Associação Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing – ASPRS*) define o termo Fotogrametria como a arte, a ciência e tecnologia de se obter

informações confiáveis sobre objetos e o ambiente, através dos processos de gravação, medição e interpretação de fotografias, imagens, padrões de radiação eletromagnética e outros elementos. A ASPRS também denomina a tecnologia LIDAR uma subdivisão da Fotogrametria.

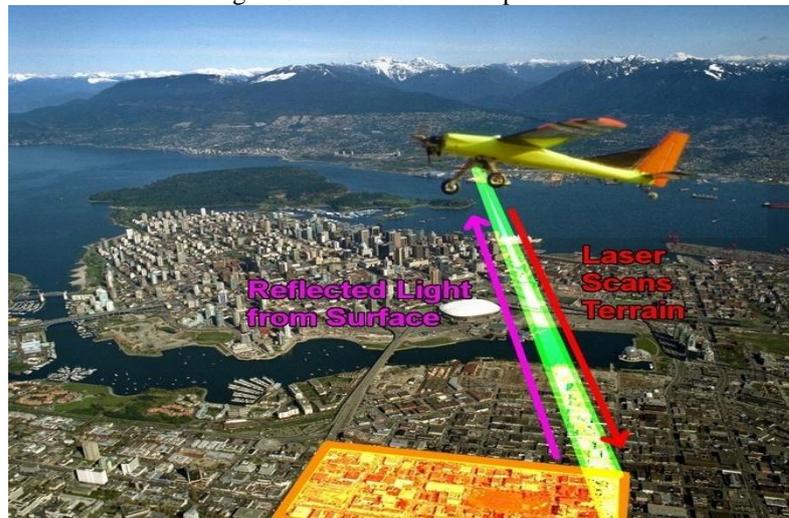
Figura 8 - Exemplo Vôo Fotogramétrico.



Fonte: Letecká Fotogrametria (2014).

Jensen (2011), define LIDAR (*Light Detection and Ranging* - Detecção de Luz e Distância) como instrumentos que transmitem pulsos de luz LASER em direção a determinados alvos usando um espelho de varredura. Grande parte desta energia é retroespalhada em direção a fonte de emissão do sinal e registrada eletronicamente pelo receptor (Exemplo Figura 9).

Figura 9- LIDAR aerotransportado.



Fonte: Stratus Aeronautics (2014).

Os sistemas LIDAR podem emitir pulsos a taxas superiores a 100.000 pulsos por segundo, normalmente denominadas de frequência de repetição de pulso. Um pulso de luz LASER desloca-se a velocidade da luz  $c$  ( $3 \times 10^8$  m/s). A tecnologia LASER é baseada na medição precisa do tempo que o pulso de luz leva do transmissor ao alvo e de volta ao receptor. O tempo de percurso de um pulso de luz é:

$$t = \frac{2 \cdot R}{c}, \quad (1)$$

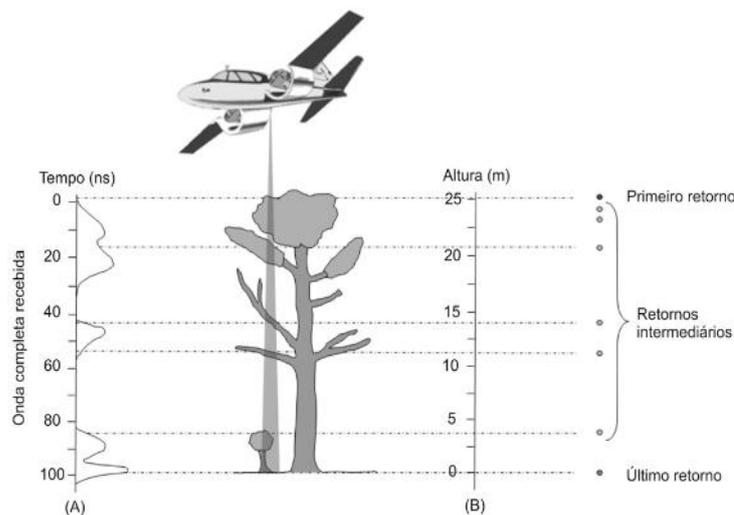
onde  $R$  é a distância (range) entre o sensor LIDAR e o objeto. A distância  $R$  pode ser determinada rearranjando a equação,

$$R = \left( \frac{1}{2} \right) \cdot t \cdot c. \quad (2)$$

O processo de medição das distâncias resulta em um conjunto de pontos com dados de elevação distribuídos sistematicamente no tempo.

Outro aspecto importante a se analisar a respeito da tecnologia LIDAR é em relação ao retorno do feixe de ondas eletromagnética (exemplo Figura 10). Um pulso de energia LASER é enviado diretamente em direção ao alvo, com um determinado ângulo em relação ao espelho rotativo. Este pulso pode gerar um ou múltiplos retornos. Assim eliminando retornos intermediários pode-se eliminar do terreno feições que não sejam de interesse do usuário e assim se gerar um modelo digital de terreno.

Figura 10- Análise retorno LIDAR.

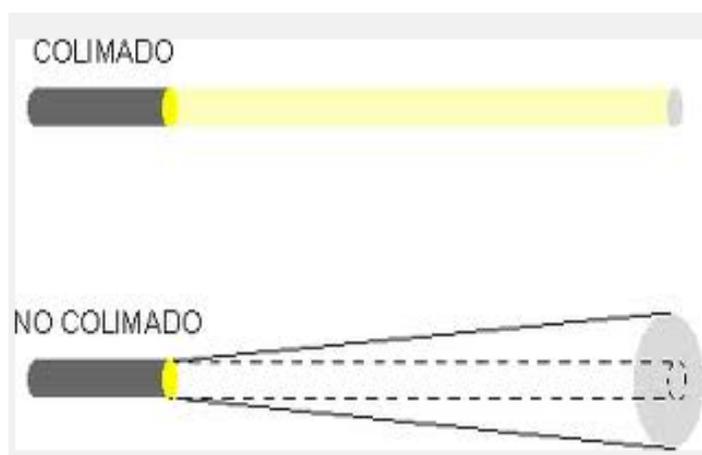


Fonte: Wagner et al (2004).

O LASER é um dispositivo que produz um feixe de fótons coerentes por emissão estimulada (exemplo Figura 11). LASERS são também usados como componentes para um preciso alinhamento ao longo de grandes distâncias. Distâncias podem ser medidas pela reflexão de um pulso LASER a partir de um espelho e da medição de tempo que o pulso leva para se deslocar até o espelho e retornar. Um exemplo prático dessa aplicação esta na medida de distância da Terra até a Lua onde há um espelho instalado na Lua para tal propósito (TIPLER & MOSCA, 2006).

Uma grande preocupação ao se trabalhar com aparelhos emissores de raios LASER é com relação à segurança. Segundo Brandalize (2002), os problemas ocorrem em função da potência emitida pelo LASER, comprimento de onda, duração e taxa de repetição.

Figura 11- Laser princípios físicos.



Fonte: CPREUNI (2014).

O LASER produz um feixe de radiação eletromagnética muito intenso e altamente convergente. Quando ele é direcionado, refletido ou focado sobre um objeto, a luz do LASER é parcialmente absorvida, aumentando a temperatura da superfície ou do interior do objeto, podendo causar alterações ou deformações do material (GONÇALES, 2007).

De acordo com o padrão IEC (*International Electrothechnical Commission*) – 2001 existem quatro classes de LASER com subclasses, correspondendo a diferentes níveis de perigo, baseados no conhecimento médico atual (GONÇALES, 2007).

#### • Classe 1

Dispositivos LASER Classe 1 são extremamente seguros para os olhos. A potência do Laser é tão fraca que a visualização direta ou através de instrumentos óticos de aumento

não é danosa. Geralmente são aparelhos encapsulados ou com a potência LASER muito baixa (GONÇALES, 2007).

- **Classe 2**

Os dispositivos LASER Classe 2 emitem na região visível do espectro óptico (400-700nm) e podem operar tanto em modo contínuo quanto em pulso e são seguros para visualização acidental devido ao reflexo do olho (da pálpebra) que é de 0.25 segundos, que o protege contra longo tempo de exposição. A visualização longa e intencional, entretanto, pode ser perigosa, assim como a visualização do LASER através de instrumentos óticos (GONÇALES, 2007).

- **Classe 3R**

Equipamentos LASER Classe 3R são seguros quando manipulados com precaução, mas podem ser potencialmente perigoso aos olhos se observados por meio de instrumentos óticos ou por visualização direta próxima à fonte de emissão LASER (GONÇALES, 2007).

## **2.4 LST OPTECH ILRIS – 3D - CARACTERISTICAS**

O LST ILRIS – 3D, foi desenvolvido no Canadá pela empresa “OPTECH Incorporated. Seu princípio de funcionamento está baseado na emissão de um feixe LASER que é disparado na direção da superfície. Ao atingir a superfície, parte deste sinal é refletido na direção do sensor, onde é medido junto com o tempo decorrido entre a emissão e a captação do retorno. A partir do tempo decorrido entre a emissão e o registro do retorno, a distância entre o sensor e o objeto pode ser calculada. Junto a isso a intensidade da energia refletida e os parâmetros de altitude do feixe (azimute e elevação) também são determinados (Optech, 2014)

O equipamento em questão possui as seguintes especificações técnicas:

- Acurácia de Alcance: até 6 mm e acurácia de Posição: até 8 mm;

- Alcance máximo variável entre 400 metros, para objetos com refletância de 10%, e 1200 metros, para objetos com 80% de refletância;

- Campo de Visão: 45° x 45°;
- Frequência: 10 KHz;
- Comprimento de Onda Laser ( $\lambda$ ): 1500 nm;
- Classe Laser: classe 1 (inofensivo aos olhos);
- Câmara Digital Acoplada: 3.1 MegaPixel (CMOS Sensor);
- Peso do LST: 13 Kg;
- Duração das Baterias: 6 horas.

Exemplo do LST Iliris Optech 3D HD, Figura 12.

Figura 12 - LST Optech Iliris 3D HD.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 2.5 SISTEMA LASER SCANNER TERRESTRE

Equipamentos LST permitem a aquisição de uma nuvem de pontos com coordenadas tridimensionais a partir de uma posição terrestre fixa. O LET usa um feixe óptico de alta potência, com baixa divergência, para determinar a distância entre o sensor e a superfície dos objetos. Segundo Wutke (2006), existem dois tipos de sistemas de varredura LASER: os sistemas estáticos, em que o equipamento fica estacionado em um determinado local para coleta de dados, e os sistemas dinâmicos, Figura 13, em que o equipamento fica em movimento durante a coleta dados.

Figura 13 - Exemplo sistema dinâmico.

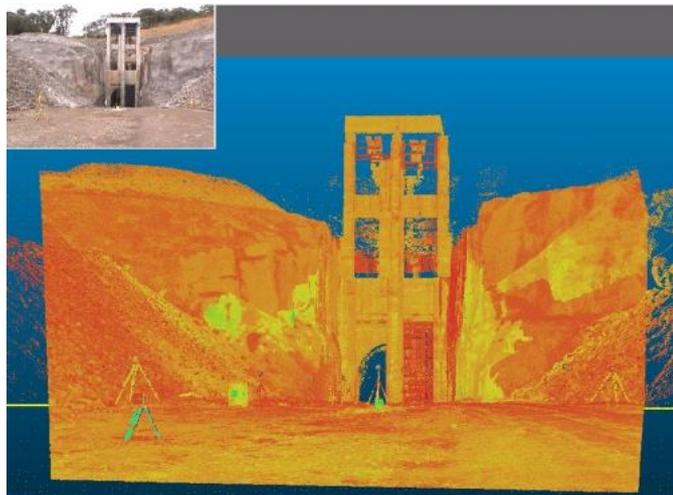


Fonte: Topcon 2014 (2014).

Segundo Medina (2012) os LASERS emitem um feixe de alta frequência permitindo a aquisição de milhões de pontos em um curto espaço de tempo, o deslocamento do raio LASER é medido com precisão o que permite um posicionamento preciso de todos os pontos do objeto que está sendo varrido. As medidas dos ângulos horizontais, verticais e da distância inclinada são efetuadas respectivamente utilizando codificadores angulares e um distanciômetro.

Conforme Wutke (2006), os LST são um aperfeiçoamento das estações totais robotizadas, com maior velocidade de coleta e recursos de automação mais avançados. O resultado final do processo de medição e processamento é um conjunto de dados e coordenadas tridimensionais, correspondentes aos pontos na superfície do objeto. Além das coordenadas de cada ponto atingido pelo feixe LASER, a intensidade do sinal de retorno, exemplo Figura 14, captada pelo sensor, é também registrada e armazenada.

Figura 14 - Exemplo Intensidade Captada pelo LST.

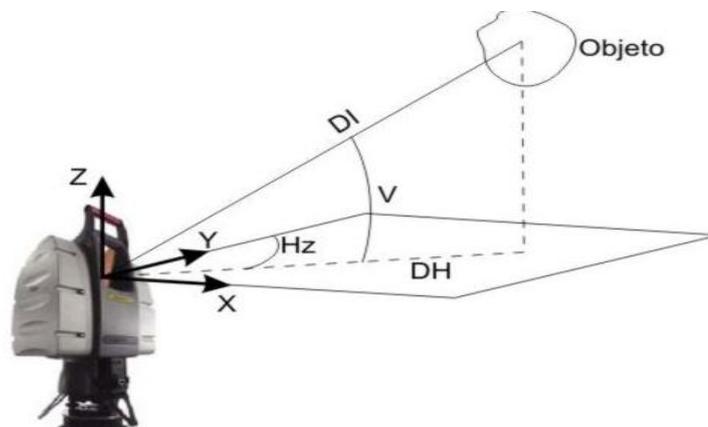


Fonte: Gonçalves (2007).

Os sistemas estáticos podem ser classificados em três grupos de equipamentos LST, de acordo com o seu princípio de funcionamento, sendo eles: tempo de voo do sinal, diferença de fase e triangulação (WUTKE, 2006).

As coordenadas (X, Y, Z), Figura 15, dos pontos sobre o objeto estão referenciadas ao centro do equipamento, o qual é definido pela interseção do eixo principal e do seu eixo secundário. Estas coordenadas são função dos parâmetros medidos conforme a equação abaixo (BOULAASSAL, 2009).

Figura 15 - LST Cálculo de Coordenadas.



Fonte: Boulaassal et al, (2009).

$$X = DI \cdot \cos(V) \cdot \text{sen}(Hz) \quad (3)$$

$$Y = DI \cdot \cos(V) \cdot \cos(Hz) \quad (4)$$

$$Z = DI \cdot \text{sen}(V) \quad (5)$$

onde:

DI: é a distância inclinada entre o LST e o objeto;

V: é o ângulo vertical;

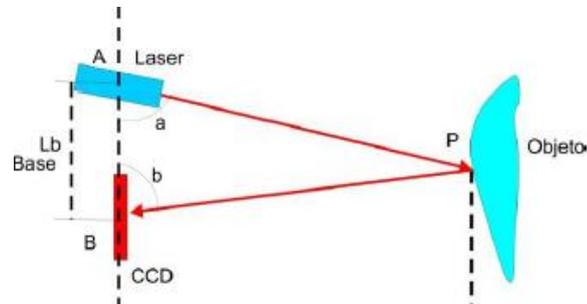
Hz: é o ângulo horizontal.

Em relação aos princípios de funcionamento os LST possuem três tipos de classificação: Triangulação, Diferença de Fase e Tempo de Voo do Sinal.

No princípio baseado na triangulação, Figura 16, um pulso de LASER é emitido pelo sistema e a luz refletida pelo objeto que retorna é registrada por uma ou mais câmaras digitais. O ângulo de varredura dos pulsos é registrado no sistema a cada pulso emitido e conhecendo-

se a base fixa entre o sensor LASER e a(s) câmara(s), por meio de um processo de calibração, determina-se a posição dos pontos refletidos pelo objeto (DALMOLIN, 2004).

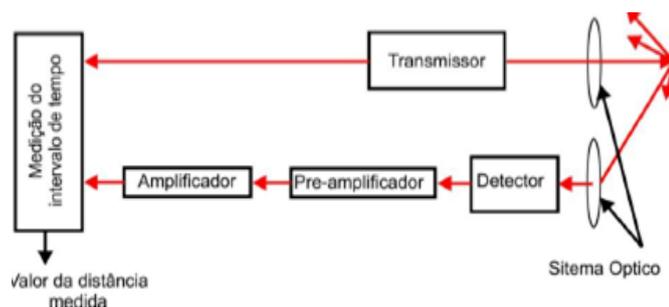
Figura 16- Princípio da Triangulação.



Fonte: Boehler e Marbs (2002).

No princípio da triangulação, um pulso Laser é emitido pelo sistema e a luz que é refletida pelo objeto é registrada por uma matriz de sensores CCD (Charge-Coupled Device). O sensor transforma a luz refletida em sinais elétricos e estes são convertidos em bits através de um conversor analógico digital. A precisão da reconstrução do modelo do objeto depende de elementos geométricos semelhantes, como a relação base/ distância (TOMASELLI, 2003). Assim, com esta tecnologia (triangulação), pode ser alcançada precisão de alguns micrômetros. Os LST que funcionam com o princípio do Tempo de Voo de Sinal, são equipamentos com medidores de distâncias, que normalmente empregam os componentes ilustrados na, tais como, um transmissor LASER, um receptor LASER, um relógio para medir o tempo e um transmissor e receptor óptico. Segundo Schofield e Breach (2007), no princípio de tempo de voo, Figura 17, um curto e intenso pulso de radiação é emitido pelo transmissor ao refletor, que reflete um sinal paralelo até o receptor. Assim, a distância é calculada pelo tempo decorrido entre a emissão e a recepção do sinal, o qual é multiplicado pela velocidade da luz.

Figura 17- Princípio de Tempo de Voo de Sinal.

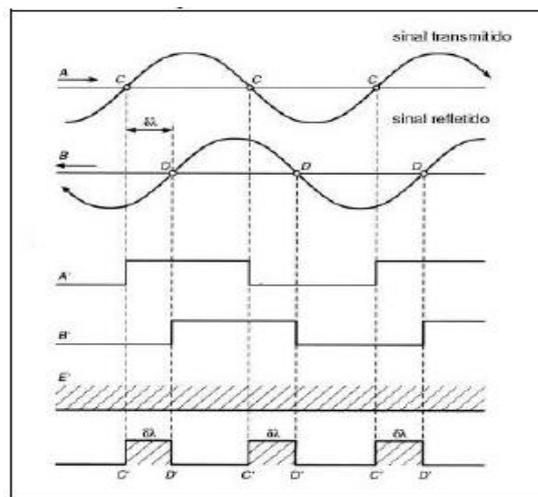


Fonte: Schan e Toth (2009).

Segundo Tomaselli (2003), o instrumento registra o tempo, a intensidade da energia refletida pelo objeto e os parâmetros de atitude do feixe, que são coordenadas polares do ponto em relação ao referencial do LASER. Com estes dados é possível calcular a distância e as coordenadas cartesianas tridimensionais dos pontos medidos em relação ao sensor.

Já em relação ao Princípio da Diferença de Fase, Medina (2012) define os sistemas LST baseados no método da medida de diferença de fase, Figura 18, usam ondas do espectro infravermelho, luz visível ou microondas para a medição da distância.

Figura 18 - Princípio da Diferença de Fase.



Fonte: Maia (1999).

A diferença de fase, entre os sinais transmitidos e refletidos, da parte fracionada do comprimento é menor que o valor da parte inteira do comprimento da onda modulada.

Seu intervalo de medição de distâncias é restrito ao máximo de 100 metros com precisão de medidas de distância de alguns milímetros (Fröhlich; Mettenleiter, 2004).

Em relação ao Espectro Eletromagnético (EM), o LST é um sensor ativo pois ele produz a sua própria fonte de radiação. Segundo Meneses (2012) todos os objetos do mundo real que estejam a uma temperatura acima de zero absoluto ( $-273,15$  C ou zero Kelvin) apresentam uma movimentação aleatória das partículas dos átomos e das moléculas.

Denomina-se espectro eletromagnético as regiões espectrais da Radiação Eletromagnética (REM) conhecidas pelo homem. O espectro eletromagnético conhecido se estende dos comprimentos de onda dos raios cósmicos aos comprimentos de corrente alternada emitidos pelas redes de alta tensão. A faixa de comprimento de onda da REM é praticamente ilimitada. Na Tabela 4, segue a divisão por comprimento de onda do espectro eletromagnético.

Tabela 4 - Espectro eletromagnético.

Intervalo Espectral	Comprimento de Onda
Raios cósmicos	$0,01 \text{ \AA}^{\circ}$
Raios gama	$0,01 - 0,1 \text{ \AA}^{\circ}$
Raios X	$0,1 - 10 \text{ \AA}^{\circ}$
Ultravioleta	$100\text{nm} - 0,38\mu\text{m}$
Visível	$0,38 - 0,76 \mu\text{m}$
Infravermelho próximo	$0,76 - 1,2 \mu\text{m}$
Infravermelho de ondas curtas	$1,2 - 3,0 \mu\text{m}$
Infravermelho médio	$3,0 - 5,0 \mu\text{m}$
Infravermelho termal	$5,0 \mu\text{m} - 1 \text{ mm}$
Micro-ondas	$1 \text{ mm} - 100 \text{ cm}$
Rádio	$1 \text{ m} - 10 \text{ km}$
Áudio	$10 - 100 \text{ km}$
Corrente alternada	$> 100 \text{ km}$

Obs:  $\text{\AA}^{\circ} = 10^{-10} \text{ m}$ ;  $\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ;  $\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$

Fonte: Meneses (2012).

Como já foi citado anteriormente, o comprimento do feixe de onda emitido pelo LST Iris 3D é de 1500 nm e o mesmo se encontra na faixa espectral do infravermelho de ondas curtas (essa faixa pode variar conforme o autor). Existem outros equipamentos que operam em faixas diferentes de comprimentos de onda como o LST Faro Focus 3D, Figura 19, e o LIDAR aerotransportado Optech ALTM 2050, Figura 20.

Figura 19 - Faro Focus 3D - 905 nm



Fonte: Faro (2014).

Figura 20 - Optech ALTM 2050 - 1046 nm.



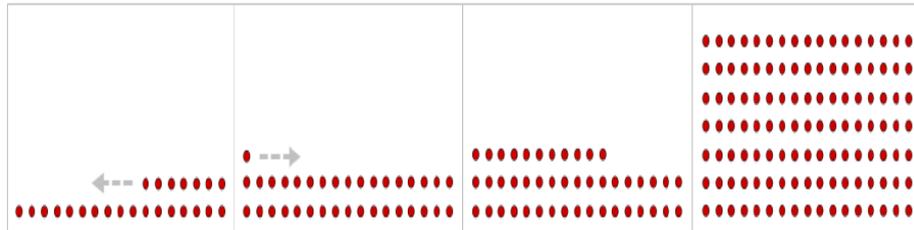
Fonte: Optech (2014).

Ainda, de acordo com Meneses (2012), o Infravermelho de ondas curtas (1,2 – 3,0  $\mu\text{m}$ ) - É a região espectral geológica, porque é nesta faixa espectral que os vários minerais de alteração hidrotermal têm as suas diagnósticas feições de absorção. Também é a região onde os comprimentos de onda em 1,4  $\mu\text{m}$  e em 1,9  $\mu\text{m}$  são totalmente absorvidos pelas moléculas de vapor d'água da atmosfera, proibindo o uso do sensoriamento remoto e, por consequência, de se determinar nos materiais terrestres a presença de água molecular nas suas estruturas.

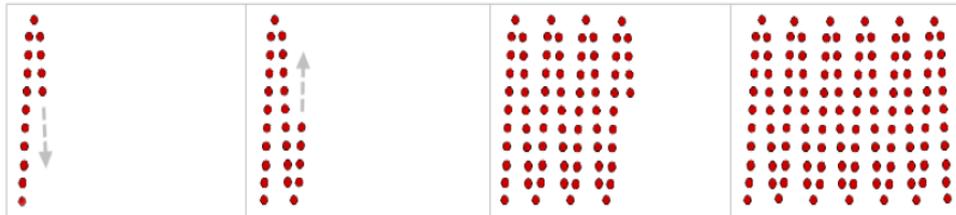
Em relação às varreduras do LST, a tomada de dados pode ser realizada somente de um ou de múltiplos pontos de instalação do LASER para coleta de dados dos objetos de uma cena. Quando o equipamento é instalado em somente um ponto de posicionamento chama-se essa metodologia de coleta de varredura simples. Já quando o equipamento é posicionado em vários pontos é denominada de varredura múltipla (MUNDOGEO, 2014)

Também, durante as varreduras o LST pode tirar fotografias das cenas escaneadas. É possível através *software* que, que será abordado nos próximos tópicos, ajustar o brilho e contraste das fotografias tiradas conforme a iluminação do ambiente.

Existem também dois tipos de escaneamentos realizados pelo LST. Um denominado de *StepStare* e outro de *Profile*. O *Stepstare*, Figura 21, efetua a varredura no sentido horizontal e captura uma densidade maior de pontos. O *Profile*, Figura 22, efetua a varredura no sentido vertical, captura uma densidade menor de pontos e durante as varreduras a câmera interna do LST não tira fotografias.

Figura 21- *Stepstare*.

Fonte: Optech (2014).

Figura 22 - *Profile*.

Fonte: Optech (2014).

## 2.6 NUVEM DE PONTOS

Conforme França (2014), o produto mais básico do LST é a nuvem de pontos. A nuvem de pontos, exemplo da Figura 23, é essencialmente a junção de todos os pontos medidos por cenas independentes, num único sistema de coordenadas.

Figura 23 - Nuvem de Pontos colorida.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além das coordenadas XYZ, também é obtida a intensidade de retorno do LASER para cada ponto, o que ajuda bastante a identificar elementos em campo em função do material e da cor. Se o LST possuir câmera fotográfica integrada, é possível associar a cor da fotografia ao ponto XYZ, gerando uma nuvem de ponto com a cor das fotografias tiradas.

Em relação aos métodos de levantamento utilizando a tecnologia LST França (2014) divide eles em dois métodos: *Poligonal Scanner* e *Scanner Livre*.

*Poligonal Scanner* é um método de levantamento similar ao procedimento de poligonal com uma estação total, o LST exige que ele esteja calado e centrado sobre um ponto coordenado e faça uma orientação a um ponto a ré, também coordenado ou com um azimute conhecido. A medição neste ponto à ré é feita utilizando um alvo. Desta forma, todos os pontos da nuvem de pontos estarão sendo medidos no sistema de coordenadas especificado. Feita a medição da nuvem de pontos, parte-se para a medição de um ponto à vante, também utilizando um alvo. O ponto à vante deve ser devidamente materializado que permita a futura ocupação do LST. O procedimento se repete com as cenas seguintes até que seja ocupado um ponto coordenado com o LST, realizando a visada à vante num outro ponto coordenado.

Em relação ao *Scanner Livre*, o LST é colocado em qualquer lugar sem a necessidade de ocupar com o LST os pontos coordenados, nem os pontos onde foram medidos pelos alvos. Porém a visada em pelo menos dois pontos coordenados com alvos é obrigatória para que a nuvem fique no mesmo sistema de coordenadas dos pontos de referência. As cenas não necessitam ser intervisíveis, permitindo que sejam escaneados locais de difícil acesso ou confinados, reduzindo o número de cenas. Este método permite também que o LST trabalhe sem estar calado (sem compensador angular ou com ele desligado), sendo, neste caso, necessários três pontos coordenados e medidos com alvos.

## **2.7 REGISTRO DAS NUVENS DE PONTOS**

Gonçales (2007) informa que é necessário dispor de todas as nuvens de pontos num mesmo sistema de coordenadas. Durante o trabalho de campo, para cada posição que o equipamento for estacionado para coleta de informações é criado um novo sistema de coordenadas, sendo que a origem do sistema é o centro de fase do equipamento. Assim, o registro corresponde a conexão das nuvens de pontos a partir de feições que são comuns em cada cena escaneada.

Para o presente trabalho foi utilizada uma transformação geométrica de corpo rígido tridimensional com 07 (sete) parâmetros, onde ela servirá para conectar as nuvens de pontos

entre si a partir da posição do LST na varredura e depois será realizada uma orientação absoluta utilizando a mesma transformação para referenciar todas as nuvens de pontos conectadas ao espaço objeto.

A transformação de corpo rígido de 07 parâmetros segue abaixo detalhada. Ela consiste basicamente em três translações, três rotações e um fator de escala com valor igual a um.

Na Equação 6, X, Y, Z, são as coordenadas envolvidas no espaço imagem e X', Y', Z' são as coordenadas envolvidas no espaço objeto. R é a matriz de rotação e na fórmula acima o fator de escala já foi convertido para igual a um.

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (6)$$

Já a matriz de rotação é dada por  $R = R_x \cdot R_y \cdot R_z$ , onde,

$$R_x(\omega) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\omega) & \text{sen}(\omega) \\ 0 & -\text{sen}(\omega) & \cos(\omega) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$R_y(\varphi) = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & 0 & -\text{sen}(\varphi) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\varphi) & 0 & \cos(\varphi) \end{bmatrix} \quad (8)$$

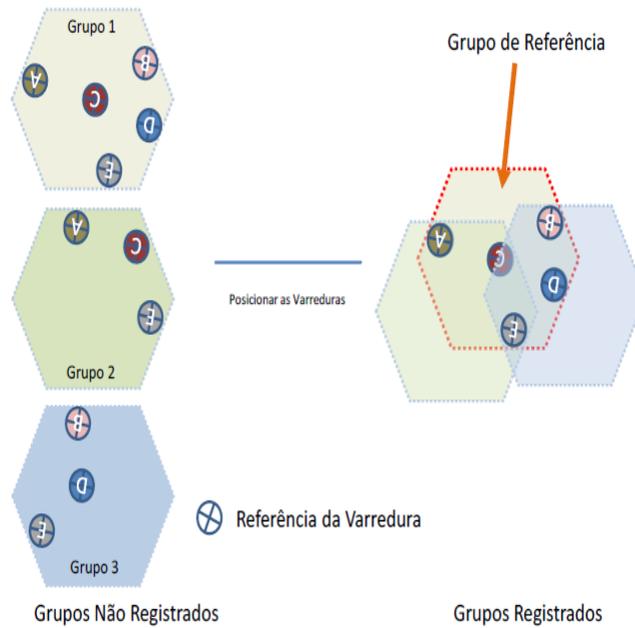
$$R_z(\kappa) = \begin{bmatrix} \cos(\kappa) & \text{sen}(\kappa) & 0 \\ -\text{sen}(\kappa) & \cos(\kappa) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Com  $\omega$   $\varphi$   $\kappa$  sendo as rotações em torno dos eixos X, Y e Z.

O registro de nuvens de pontos, Figura 24, possui uma abordagem muito parecida com a Fototriangulação por Modelos Independentes (FMI), Figura 25, descrita por Lugnani (1987). Na FMI a unidade fotogramétrica é o modelo. A FMI é dividida em Formação de Bloco e Formação de Faixa onde cada modelo é conectado um ao outro a partir de pontos homólogos entre eles.

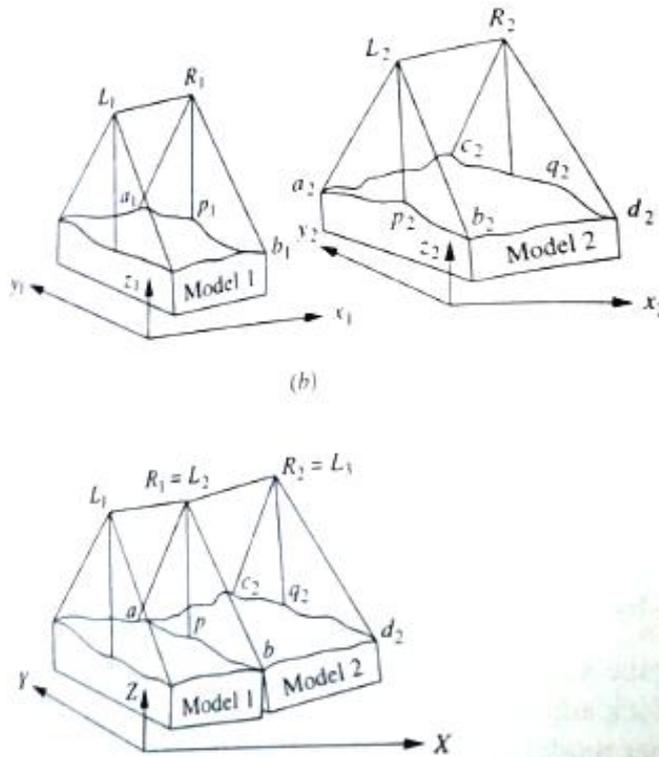
Depois é realizada o georeferenciamento das nuvens de pontos, Figura 26, em relação ao espaço objeto e assim obtém modelos tridimensionais georeferenciados.

Figura 24 - Registro de Nuvens de Pontos.



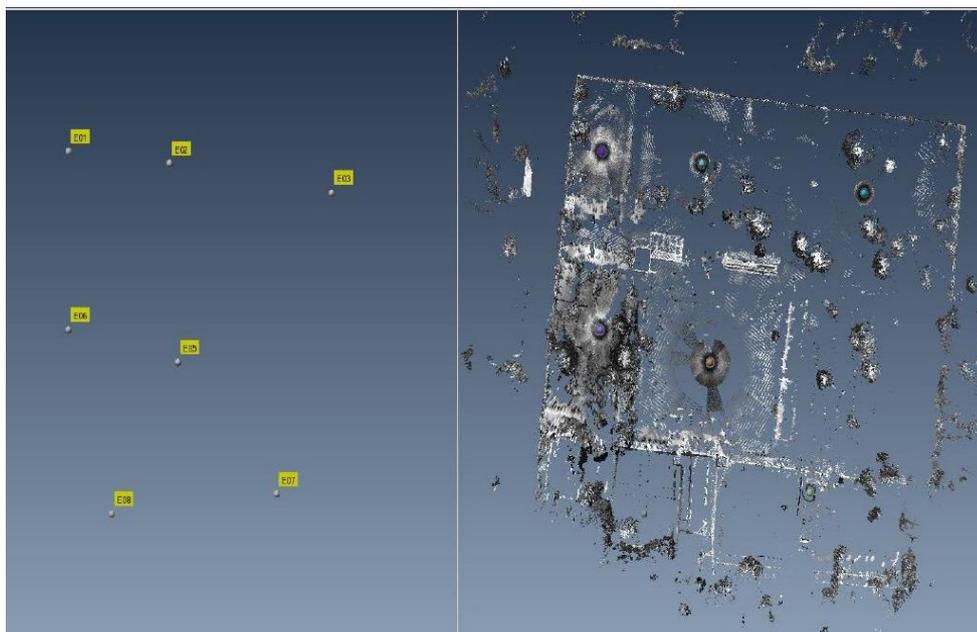
Fonte: Faro (2014).

Figura 25 - Fototriangulação por Modelos Independentes.



Fonte: Lugnani (1987).

Figura 26 - Georeferenciamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 2.8 POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO

Em cima do LST é acoplado um receptor GNSS. Esse receptor irá fornecer a posição do LST na nuvem de pontos de forma parecida com a Posição do Centro Perspectivo (CP) de uma fotografia aérea. No posicionamento relativo estático, as coordenadas são determinadas em relação a um referencial materializado através de uma ou mais estações com coordenadas conhecidas. Neste caso, é necessário que pelo menos dois receptores colem dados de, no mínimo, dois satélites simultaneamente, onde um dos receptores deve ocupar a estação com coordenadas conhecidas, denominada de estação de referência ou estação base.

O posicionamento relativo estático é o método mais utilizado em posicionamento geodésico de alta precisão. Como o período de ocupação é relativamente longo, somente as duplas diferenças da fase da onda portadora são normalmente incluídas como observáveis no processamento. Devido à precisão da fase da onda portadora ser muito superior à da pseudodistância, a utilização dessa última não melhora os resultados de forma significativa. Mesmo assim, as pseudodistâncias devem estar disponíveis, pois elas são utilizadas no pré-processamento para estimar o erro do relógio do receptor, ou calcular o instante aproximado de transmissão do sinal pelo satélite. Essa é a forma mais utilizada em softwares comerciais (MONICO, 2000, p.208). Além disso, como a duração da coleta de dados é relativamente longa, as ambiguidades, exceto em alguns problemas não esperados, são facilmente

solucionadas no processo de ajustamento. Isso se deve à alteração da geometria dos satélites durante a sessão, que reduz a correlação entre as componentes da base.

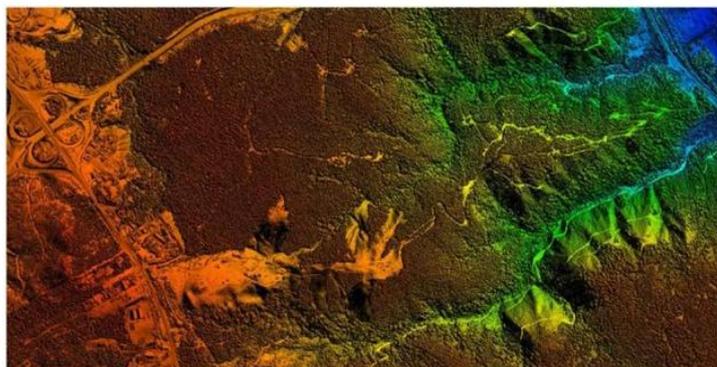
## 2.9 MDT, MDS E DEM

O modelo digital de superfície, juntamente com o Mapa Topográfico são os produtos que serão gerados após o registro e georeferenciamento das nuvens de pontos.

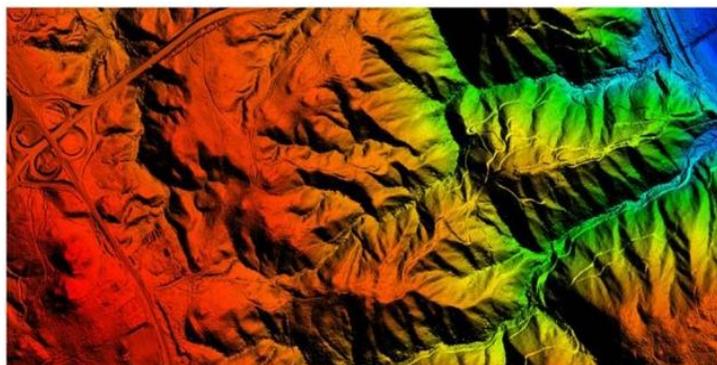
Em relação a modelos digitais, Andrade (1998) define que modelar um terreno significa reproduzir a sua forma. Quando esta reprodução é realizada por meios digitais, diz-se que se fez um modelo digital de terreno (MDT). O termo MDT é usado para designar a superfície física do terreno. É um termo recente, pois é diretamente dependente da era digital, que obteve avanços significativos a partir dos anos 90.

Modelos Digitais de superfície (MDS), conforme exemplo na Figura 27, segundo Jensen (2009) são aqueles que contêm informações de elevação de todas as feições na paisagem, como a vegetação, edifícios e outras estruturas.

Figura 27 - MDT e MDS.



MDS



MDT

Fonte: Globalgeo (2014).

Um MDE de acordo com LI (2005) é a superfície onde encontram -se representadas apenas as informações relacionadas a superfície do terreno (desconsiderando áreas edificadas e florestas).

## 2.10 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES E PEC

Para Camargo (2008), o ajustamento é um ramo da matemática aplicada. Tem por objetivo uma solução única para problemas onde o número de observações ou medidas é redundante e o sistema de equações inconsistente bem como a estimativa da precisão da solução adotada. Para o presente trabalho, o ajustamento de observações, será utilizado para estimar a qualidade dos dados levantados em campo utilizando os parâmetros de classificação para estimar a exatidão posicional dos dados levantados em campo.

Basicamente existem três métodos de ajustamento utilizados. Abaixo segue um descritivo de cada um.

**-Método Paramétrico –  $F(Xa) = La$**  – Utilizado para estimar a qualidade de redes de nivelamento, controle de erros em poligonais, ajustamento de redes geodésicas, controle de erros nos dados obtidos por rasterio GNSS, etc.

**- Método dos Correlatos –  $F(La) = 0$** . Os parâmetros não participam do ajustamento, apenas as observações. É utilizado no cálculo de interseção fotogramétrica, trilateração topográfica, transformação de coordenadas, determinação de coordenadas de centro de projeção, etc.

**- Método Combinado –  $F(La, Xa) = 0$** . Em síntese é uma combinação dos métodos anteriores. É utilizado na interseção fotogramétrica, trilateração topográfica, ajustamento de redes geodésicas, etc.

Para o presente estudo será utilizado o método paramétrico para a estimativa do controle de qualidade. No ajustamento de observações denominam-se parâmetros (ou observações indiretas) as grandezas que não são obtidas diretamente, ou seja, aquelas que são calculadas em função de grandezas medidas diretamente. Exemplos típicos de parâmetros são: coordenadas, altitudes, áreas, etc. O método dos mínimos quadrados estima o valor dos parâmetros. A aplicação deste método exige a formulação das equações de observações que correspondem aos modelos matemáticos que relacionam os parâmetros e as observações.

O método paramétrico tem grande aplicação no tratamento de dados corriqueiros da engenharia de posição, como é o caso do nivelamento, poligonação, triangulações, trilaterações, ou ainda, combinando-se mais de um dos métodos de obtenção de coordenadas.

Já em relação ao Padrão de Exatidão Cartográfica, para se determinação da melhor escala de trabalho para o levantamento topográfico serão utilizados os dados do Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira através de procedimentos e padrões a serem obedecidos na elaboração e apresentação de documentos cartográficos no Território Brasileiro, criando o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, Tabela 5, e uma classificação das cartas em: Classe A, B e C.

Tabela 5 - Padrão de Exatidão Cartográfica

Carta	PEC		PEC Altimétrico	
	Planimétrico	Erro padrão		Erro padrão
Classe A	0,5 mm x Escala	0,3 mm x Escala	1/2 equidistância	1/3 da equidistância
Classe B	0,8 mm x Escala	0,5 mm x Escala	3/5 equidistância	2/5 da equidistância
Classe C	1,0 mm x Escala	0,6 mm x Escala	3/4 equidistância	1/2 da equidistância

Fonte: Decreto Nº 89.817 de 20 de Junho de 1984.

Ainda segundo o Decreto, norma a ser seguida em relação à exatidão específica: as cartas devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfico - PEC, segundo os critérios indicados:

1. Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica, Planimétrico, estabelecido;

2. Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica, Altimétrico, estabelecido.

Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos. A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão - PEC. O Erro-Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.

### 3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

#### 3.1 MATERIAIS

Para a execução dos trabalhos de levantamento e de gabinete foram utilizados os seguintes materiais.

Equipamentos:

- 01 LST Ilris Optech 3D HD – Recursos REUNI;
- 01 Par de receptores GNSS Topcon GR3 – Recursos REUNI;
- 01 Estação Total Topcon 7500 – Recursos REUNI;
- Tripés, prismas, bastões de alumínio;
- Notebook – Recurso CNPq – Projeto 482409/2007-0.

Tais materiais serviram de apoio às atividades de campo durante os levantamentos.

Programas computacionais:

- PC Controler – Recursos REUNI;
- Parser – Recursos REUNI;
- Polyworks (com extensões IMAlign e IMSurvey) – Recursos REUNI;
- Topcon Tools – Doação da Empresa Santiago & Cintra;
- ArcGis Desktop 10.0 – Recursos da Universidade.

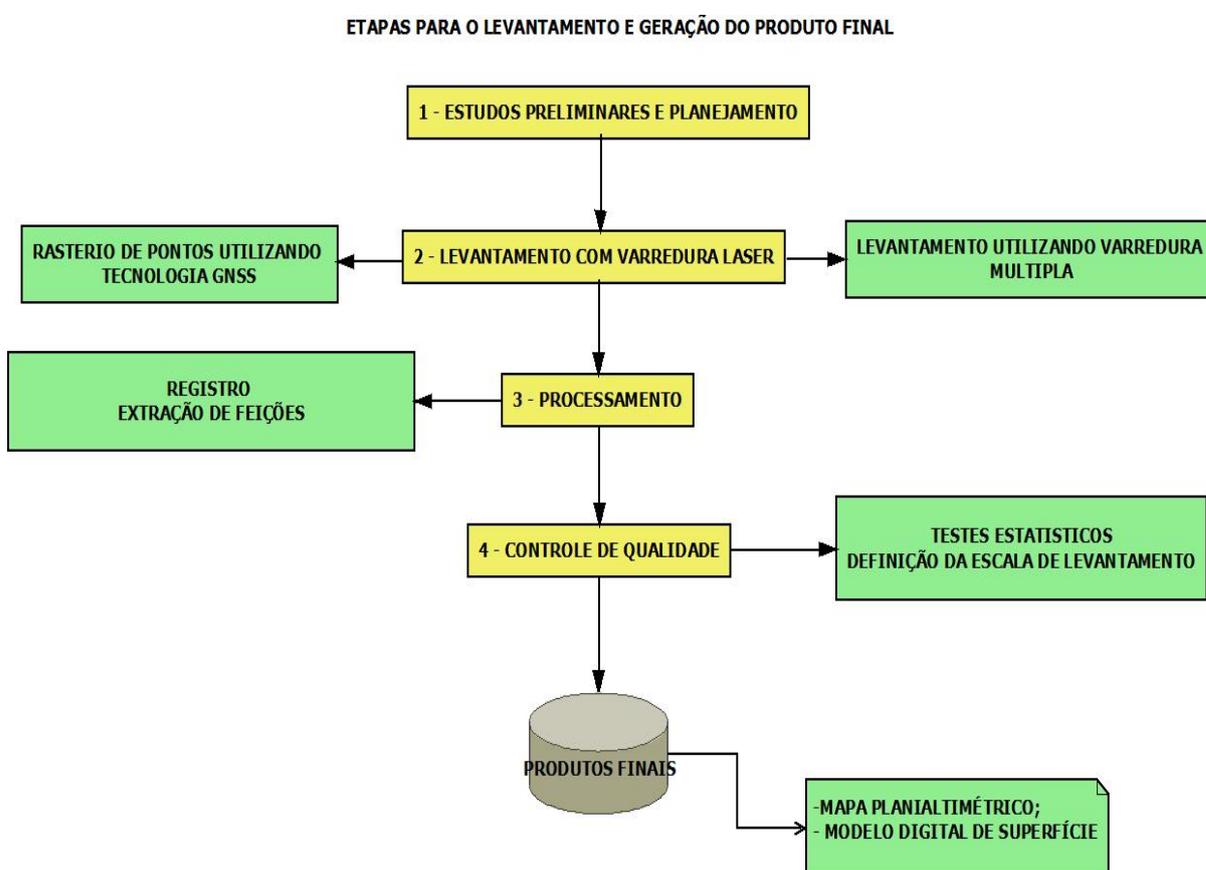
O software PC Controler foi utilizado para fazer a conexão do LST com o notebook. O Software Parser foi utilizado para a conversão dos dados brutos do LST para o formato compatível com o software Polyworks. O Topcon Tools foi utilizado para o processamento dos dados GNSS e o ArcGis serviu para a manipulação dos arquivos vetoriais para a confecção do mapa topográfico.

### 3.2 PROCEDIMENTOS

Os procedimentos para os levantamentos e os processamentos dos dados em escritório seguirão a sequência do da Figura 28.

No fluxograma, esta um resumo das etapas desenvolvidas até se chegar aos produtos finais. Primeiro, durante o primeiro semestre na disciplina de Projeto Cartográfico I são abordados conceitos e estudos referentes ao Projeto Cartográfico Final que será apresentado ao final do semestre como trabalho de conclusão.

Figura 28 - Fluxograma do trabalho desenvolvido.

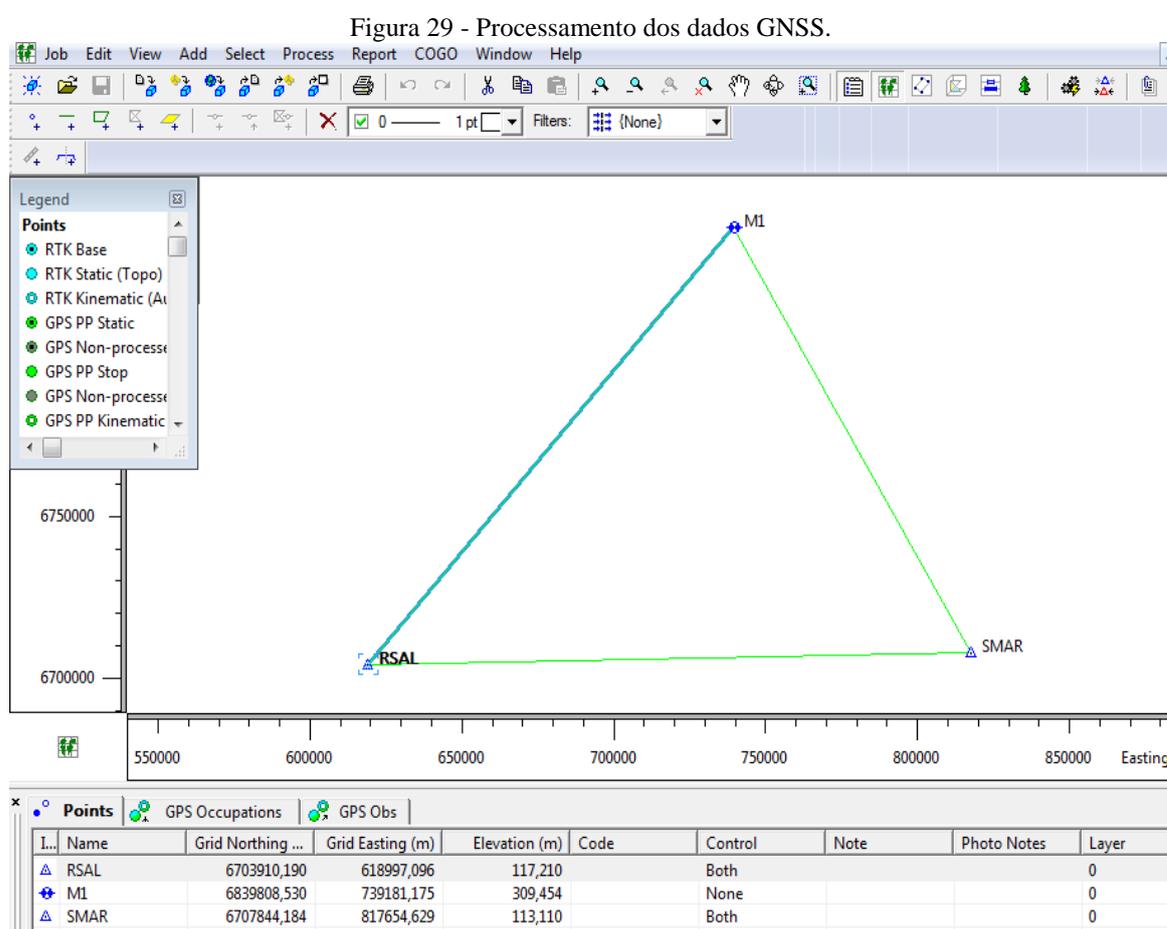


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na etapa 2 da Figura 28, é detalhado os métodos desenvolvidos no trabalho de campo, os tipos de varreduras adotados, no caso Varreduras Múltiplas com apoio geodésico com utilização de rastreamento da posição do LST na nuvem de pontos. Na etapa 3, são abordados os trabalhos desenvolvidos em gabinete como o processamento dos pontos obtidos por rastreamento GNSS, registro das nuvens de pontos, georeferenciamento e extração de feições que serão utilizadas no Mapa Topográfico. A etapa 4, é o controle de qualidade onde são

realizados testes estatísticos em cima de amostras coletadas com Estação Total e rastreamento GNSS e a partir desses testes é estimada a qualidade posicional dos produtos finais que são o Mapa Topográfico Planialtimétrico e um Modelo Digital de Superfície a partir das nuvens de pontos obtidas durante as varreduras com o LST.

Durante as varreduras foram rastreadas, utilizando tecnologia GNSS, a posição do LST no terreno. Durante os rastreios foram utilizadas duas bases durante os levantamentos. A primeira base, se localiza dentro do Parque e fica junto a arquibancada em frente à Igreja. Essa base foi ajustada pelas estações da RBMC de Alegrete-RS e Santa Maria-RS, Figura 29.



Fonte: Elaborado pelo ator.

O tempo de rastreamento no primeiro dia foi de 06 horas e trinta minutos aproximadamente e no segundo dia foi de 04 horas e quarenta minutos. Os rastreios das estações ocorreram em três dias. No primeiro dia foram rastreadas as estações 1 a 3. No segundo dia foram rastreadas as estações 4 a 13 e no terceiro dia as estações 5 a 27. Em novembro durante o controle de qualidade foram rastreadas mais oito estações, gerando um total de 35 estações escaneadas. A técnica de rastreamento utilizada foi o método de

posicionamento relativo estático onde uma base de referência é ajustada pela RBMC e depois os outros pontos levantados são ajustados a partir dessa base. No presente trabalho cada estação teve em torno de 30 minutos de rastreamento e a distância máxima da base até as estações não ultrapassou 01 km.

Assim foi gerada, na Tabela 6, a seguinte relação de coordenadas obtidas nos levantamentos.

Tabela 6 - Relação de coordenadas.

Nome	COORD N (m)	COORD E (m)	ALT ORTOMÉTRICA (H)	DESV PAD N (m)	DESV PAD E (m)	DESV PAD H (m)
BASE_M1	6839808,530	739181,175	318,724	0,011	0,017	0,022
BASE_HOTEL	6839595,956	738933,688	306,343	0,014	0,013	0,039
E01	6839888,337	739067,224	316,146	0,001	0,001	0,002
E02	6839880,178	739152,291	318,335	0,001	0,001	0,002
E03	6839859,742	739289,006	320,380	0,001	0,001	0,002
E05	6839743,469	739159,425	319,587	0,011	0,017	0,022
E06	6839765,801	739066,945	318,271	0,011	0,017	0,022
E07	6839653,081	739242,711	321,996	0,011	0,017	0,022
E08	6839639,411	739103,62	320,007	0,012	0,018	0,026
E09	6839536,706	739104,247	314,009	0,011	0,017	0,022
E10	6839504,407	739228,778	318,964	0,011	0,017	0,022
E11	6839412,184	739134,352	312,036	0,011	0,017	0,022
E12	6839308,464	739281,688	311,152	0,014	0,013	0,039
E13	6839444,54	739370,429	311,006	0,014	0,013	0,039
E14	6839626,074	739436,916	314,629	0,014	0,013	0,039
E15	6839829,990	739524,554	319,350	0,014	0,013	0,04
E16	6839900,643	739551,486	318,621	0,014	0,013	0,039
E17	6839928,062	739372,598	320,686	0,014	0,013	0,039
E18	6839942,127	739256,392	319,628	0,016	0,014	0,044
E19	6839962,134	739039,798	314,423	0,014	0,013	0,039
E20	6839969,905	738889,844	310,754	0,014	0,013	0,039
E21	6839825,471	738914,514	313,465	0,014	0,013	0,039
E22	6839714,181	738966,587	315,646	0,014	0,013	0,039
E23	6839717,809	738866,074	308,828	0,014	0,013	0,04
E24	6839467,569	738856,676	309,225	0,014	0,013	0,039
E25	6839469,982	738958,318	309,643	0,014	0,013	0,039
E26	6839412,051	738968,821	312,075	0,014	0,013	0,040
E27	6839353,307	739153,402	313,762	0,014	0,013	0,039
E28	6839836,390	739018,289	316,976	0,011	0,017	0,022
E29	6839926,988	739029,845	314,937	0,011	0,017	0,022
E30	6839379,638	739333,542	310,708	0,002	0,002	0,004
E31	6839534,609	738868,361	305,020	0,001	0,001	0,003
E32	6839727,130	739316,467	319,721	0,001	0,001	0,002
E33	6839511,969	739251,141	319,486	0,001	0,001	0,002
E34	6839403,210	739213,352	313,385	0,001	0,001	0,003
E35	6839346,269	739282,181	310,498	0,002	0,002	0,006

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o levantamento do Parque Arqueológico de São Miguel das Missões, Figura 30, foram realizadas 35 (trinta e cinco) varreduras na área de estudo.

Figura 30 - Escaneamentos efetuados.



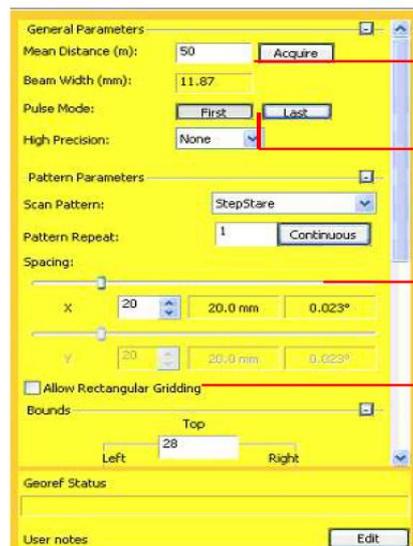
Fonte: Google Earth (2014)

O critério para a escolha das estações de escaneamento foi a intervisibilidade entre as mesmas e locais que abrangessem maior número de detalhes importantes como por exemplo os vértices de edificações. As distâncias de cada estação de escaneamento não ultrapassou 350 metros.

Durante a aquisição dos dados de campo foi utilizado o software *Controler PC 5.1.0.1*, Figura 31. Nele, pode-se escolher as distâncias em X e Y dos pontos escaneados, transferência de dados, configurar câmera interna do LST durante o levantamento. Pode configurar o espaçamento das nuvens de pontos em X e Y de 20 a 80mm. Nas estações que tinham visada para a Igreja foi utilizado um espaçamento de 20mm e nas regiões onde não se

tinha edificações dentro do parque foi utilizado o espaçamento de 50mm. O tempo médio de levantamento varia em função da quantidade de pontos definido pelo espaçamento. Com o espaçamento de 20 mm o tempo de escaneamento variava entre 45 minutos a uma hora enquanto com o espaçamento de 50mm, Figura 31, o tempo de rastreamento girava em torno de 15 minutos.

Figura 31 - PC Controller.



Deve-se inserir a distância entre o Alvo de interesse e o escaner. O número mostrado é a largura feixe laser no alvo a esta distância.

Indica se o primeiro ou último pulso do laser que vai determinar o ponto.

Determina o espaçamento entre um ponto e outro a ser coletado. Lembrando que quanto menor a distância entre os pontos, mais tempo demorará.

Caso esta lacuna esteja selecionada, o espaçamento entre X e Y pode ser configurado diferente. Se desabilitado, o espaçamento em X e Y será igual.

Fonte: Optech (2014).

Depois das varreduras foram gerados os arquivos brutos, conforme a Figura 32. e posteriormente manipulados no software Parser.

Figura 32 - Arquivos Brutos LST.

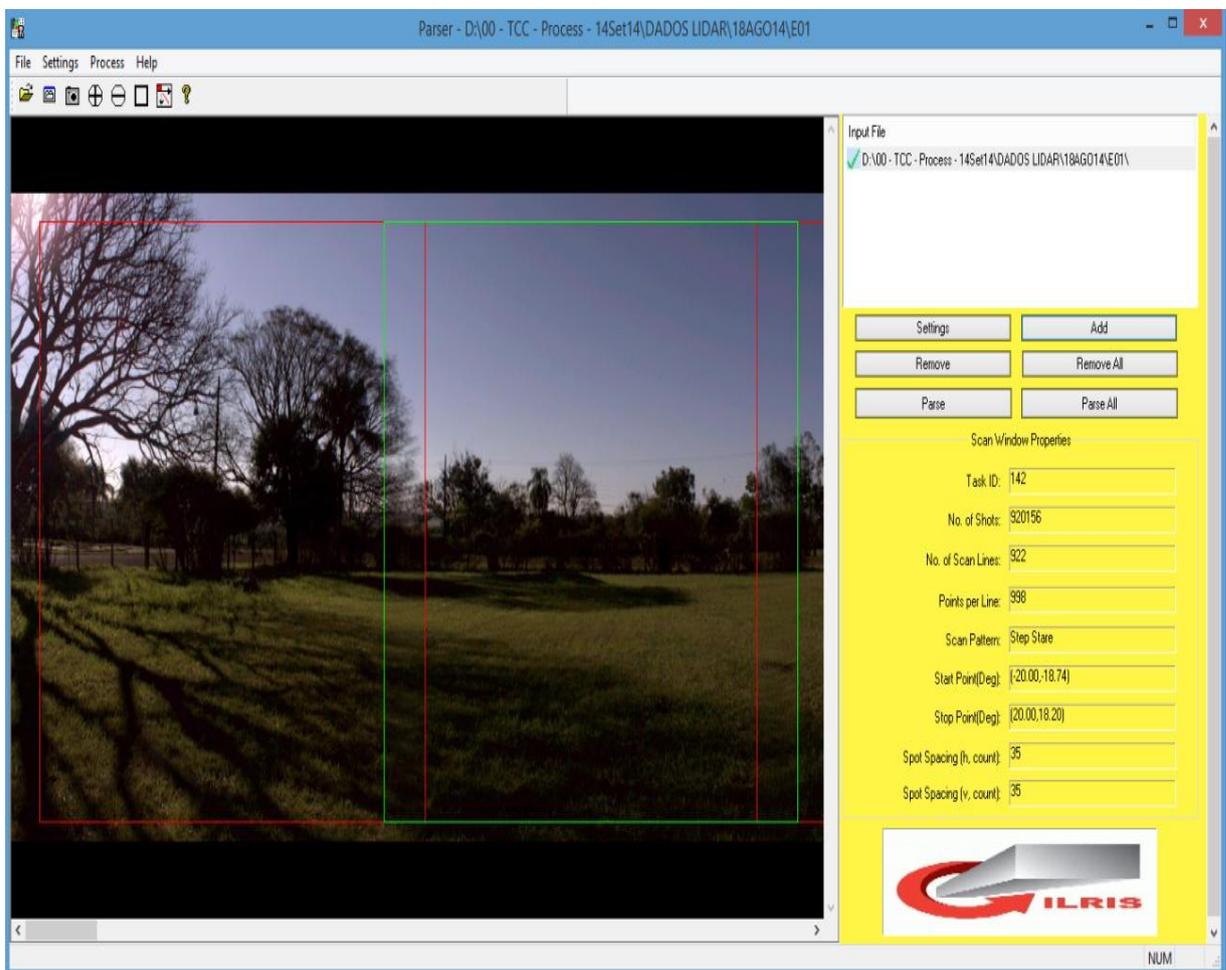
E01	30/08/2014 00:02	Arquivo	0 KB
141.asc	18/08/2014 16:20	Arquivo ASC	1 KB
142.asc	18/08/2014 16:24	Arquivo ASC	1 KB
143.asc	18/08/2014 16:28	Arquivo ASC	1 KB
144.asc	18/08/2014 16:32	Arquivo ASC	1 KB
145.asc	18/08/2014 16:36	Arquivo ASC	1 KB
146.asc	18/08/2014 16:40	Arquivo ASC	1 KB
147.asc	18/08/2014 16:44	Arquivo ASC	1 KB
148.asc	18/08/2014 16:47	Arquivo ASC	1 KB
149.asc	18/08/2014 16:51	Arquivo ASC	1 KB
150.asc	18/08/2014 16:53	Arquivo ASC	1 KB
141	18/08/2014 16:20	Arquivo BLK	16 748 KB
142	18/08/2014 16:24	Arquivo BLK	17 972 KB
143	18/08/2014 16:28	Arquivo BLK	17 972 KB
144	18/08/2014 16:32	Arquivo BLK	17 972 KB
145	18/08/2014 16:36	Arquivo BLK	17 972 KB
146	18/08/2014 16:40	Arquivo BLK	17 972 KB
147	18/08/2014 16:44	Arquivo BLK	17 972 KB
148	18/08/2014 16:47	Arquivo BLK	17 972 KB
149	18/08/2014 16:51	Arquivo BLK	17 972 KB
150	18/08/2014 16:53	Arquivo BLK	8 176 KB
.classid	30/08/2014 00:02	Arquivo CLASSID	1 KB
E02.hdr	18/08/2014 16:17	Arquivo HDR	3 KB
notes	18/08/2014 16:53	Documento de Te...	0 KB
141	18/08/2014 16:17	Imagem JPEG	299 KB
142	18/08/2014 16:21	Imagem JPEG	191 KB
143	18/08/2014 16:25	Imagem JPEG	201 KB
144	18/08/2014 16:29	Imagem JPEG	201 KB
145	18/08/2014 16:32	Imagem JPEG	216 KB
146	18/08/2014 16:36	Imagem JPEG	222 KB
147	18/08/2014 16:40	Imagem JPEG	212 KB
148	18/08/2014 16:44	Imagem JPEG	223 KB
149	18/08/2014 16:48	Imagem JPEG	221 KB
150	18/08/2014 16:52	Imagem JPEG	261 KB

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em cada varredura o LST tirava uma foto com a sua câmera interna acoplada e eram gerados arquivos com extensão .asc e .blk. Assim depois esses arquivos eram processados no software Parser que faz a conversão dos mesmos para arquivos que possam ser manipulados em programas para processamento de nuvens de pontos.

Nesse software, Figura 33, aparece informações da quantidade de pontos escaneados por varredura, espaçamento de pontos em X e Y, formato desejado para exportação, coloração das nuvens de pontos baseado nas fotos tiradas pelo LST.

Figura 33 - Total de Pontos Escaneados.

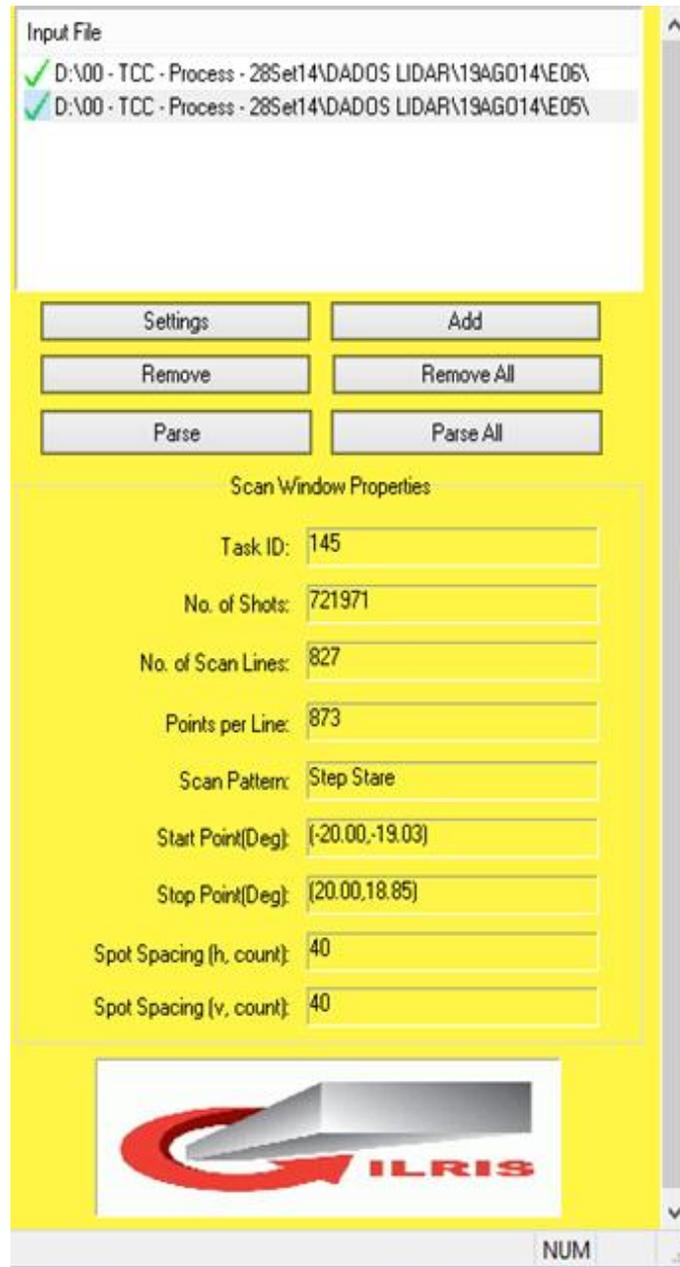


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o processamento dos dados as nuvens geradas foi utilizada a extensão .ixf compatível com o software Polyworks e também o formato padrão do LST Optech, com 24 bits e a textura com a cor das fotografias de cada cena. Cada escaneamento gerava dez nuvens de pontos. A quantidade de pontos coletada em cada nuvem variava muito em função do local do escaneamento.

Na Figura 33, por exemplo, no quadro verde, que representa uma nuvem de pontos escaneada foram coletados 721971 pontos durante 20 minutos de escaneamento (Figura 34). A densidade de pontos adotada nessa estação foi de 4 cm em X e Y.

Figura 34 - Total de Pontos no escaneamento.



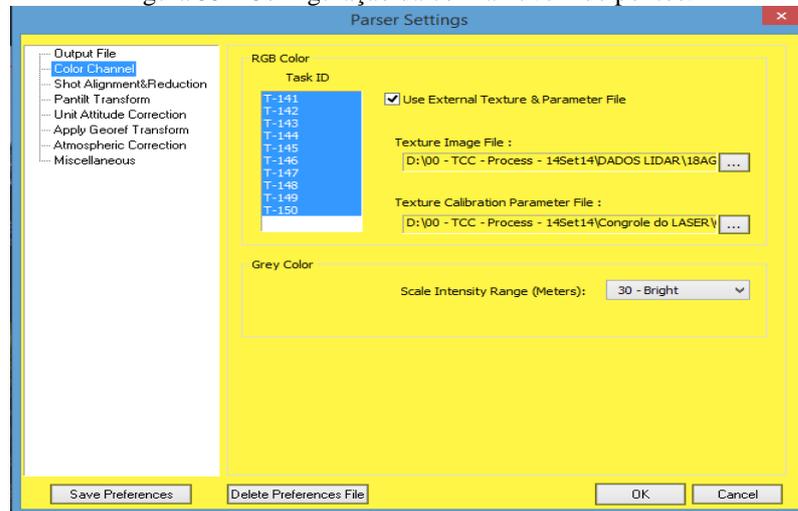
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 34, há outros dados informados como o número total de pontos por linha, espaçamento em h e v que é a densidade de pontos configurada pelo software *PC Controler*.

Nesse caso pode-se notar que o tipo de escaneamento utilizado foi o *Stepstare* e a densidade de pontos em X e Y foi de 4 centímetros. A densidade de pontos pode variar de 2 a

8 centímetros e a mesma pode ser configurada com espaçamentos diferentes em X e Y, dependendo da finalidade do trabalho.

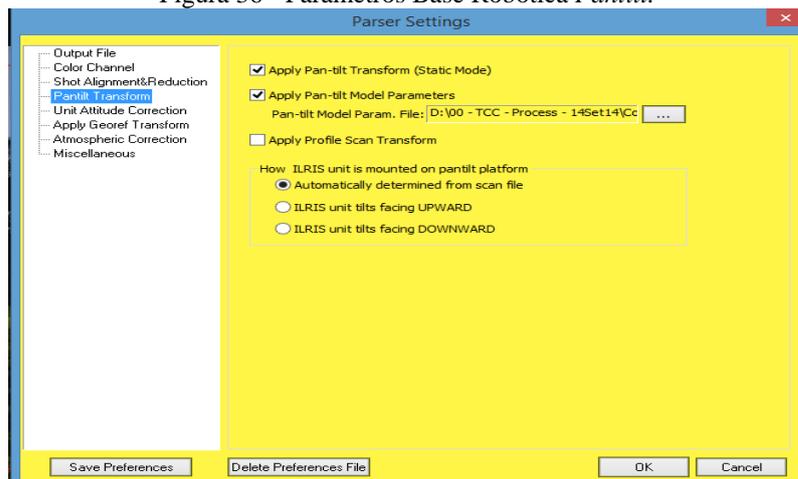
Figura 35 - Configuração da cor na nuvem de pontos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No software Parser também podem ser colocadas cores nas nuvens de pontos, Figura 35, a partir das fotografias. Nas estações 12 e 13 os levantamentos foram efetuados à noite e as fotografias não ficaram boas, assim essas nuvens de pontos não foram geradas coloridas, mas sim em tons de cinza com intensidade de 8 bits.

Figura 36 - Parâmetros Base Robótica *Pantilt*.

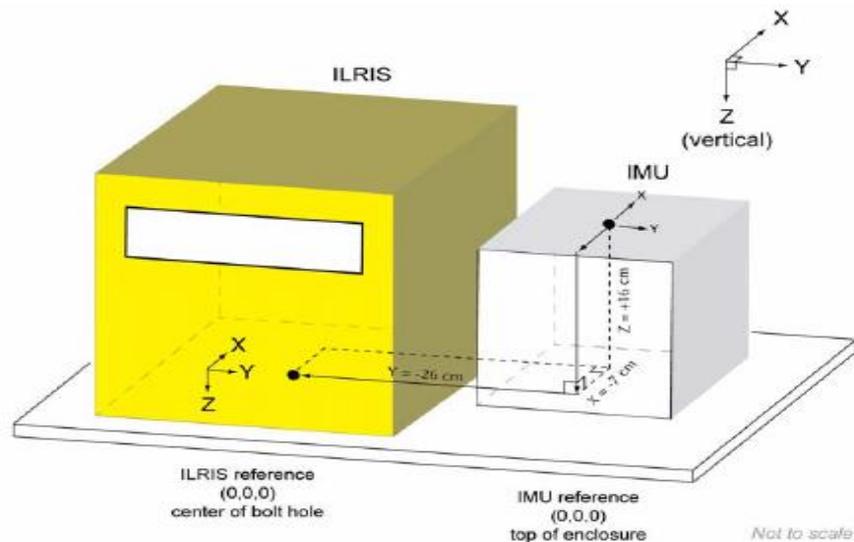


Fonte: Elaborado pelo autor.

Também no software Parser foi realizada a configuração dos parâmetros da base robótica *Pantilt*, Figura 36, onde no arquivo de calibração da mesma há os valores dos parâmetros que a mesma utiliza para fazer as rotações para efetuar as varreduras em 360 graus

e a distância da mesma ao centro de fase do LST, Figura 37. Isso é muito importante, haja vista que a partir desse arquivo a altura do instrumento não é necessária medir já que a partir desse arquivo de calibração, por semelhança de triângulos ele calcula automaticamente esse dado.

Figura 37 - Centro de Fase LST.



Fonte: Optech 2014.

Após as varreduras realizadas em campo a próxima etapa é o processamento desses dados. Assim, o registro consiste em conectar cada cena escaneada uma na outra e todas no mesmo sistema de referência. Durante o escaneamento cada varredura grava dez arquivos com uma varredura de  $36^\circ$  gerando um escaneamento de  $360^\circ$  de varredura. O alinhamento de cada cena funcionava fixando uma cena, tomada como referência e através dos pontos homólogos de cada nuvem de pontos o software deslocava aquela nuvem até a mesma se conectar com a nuvem de referência.

Para realizar o registro das cenas escaneadas foi utilizado o software *Polyworks* com a extensão *IMAlign*. Na mesma foi realizado o registro de todas as cenas. Para se proceder o registro das cenas primeiramente foram colocadas as coordenadas obtidas com rastreamento GNSS durante os escaneamentos. Depois todas as cenas escaneadas foram carregadas no programa. Durante o registro das nuvens de pontos todas as coordenadas obtidas por rastreamento GNSS foram transformadas para um sistema topográfico local utilizando o ponto 01 como origem do sistema, Figura 38.

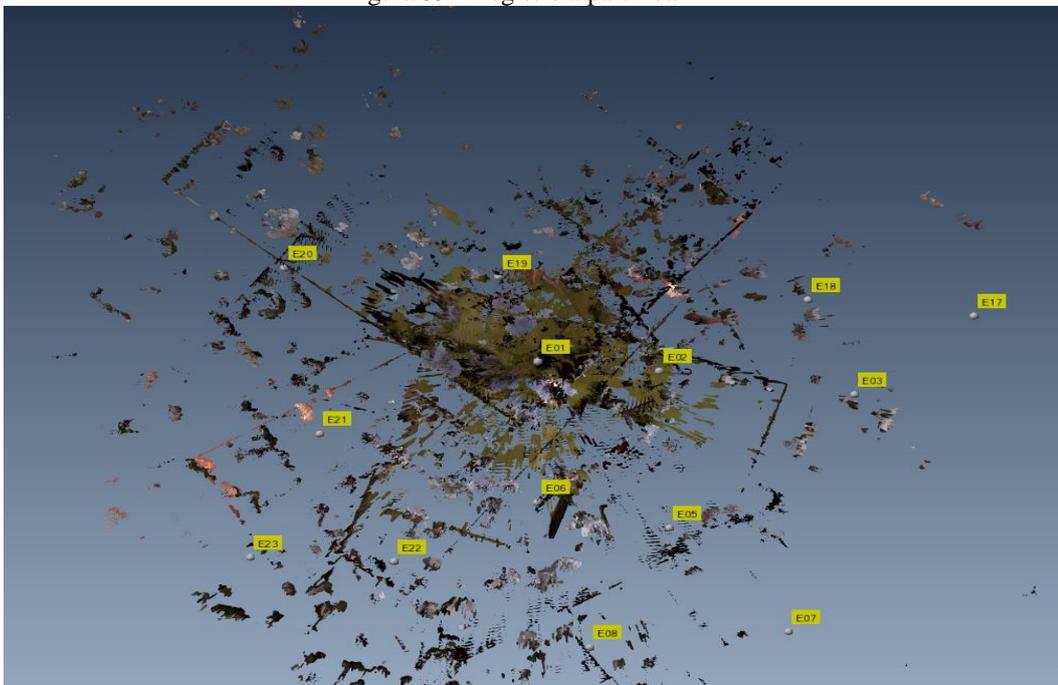
Figura 38 - Registro cenas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, todas as cenas, a partir da posição do LST, exemplo na Figura 39, nas mesmas foram carregadas em cima do ponto E01.

Figura 39 - Registro a partir da E1.

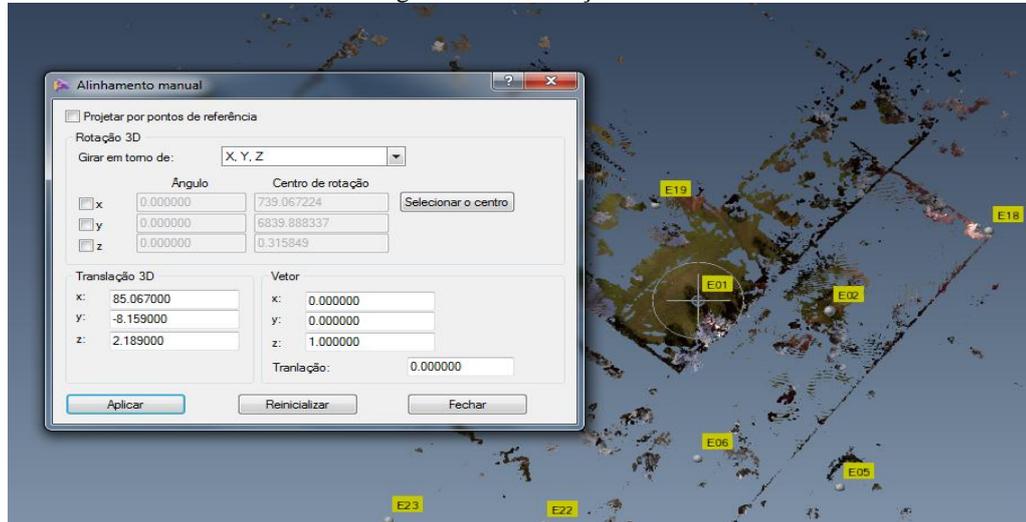


Fonte: Elaborado pelo ator.

Para o alinhamento das cenas foi tomado como ponto de origem o ponto E01 e assim foi calculada a distância tridimensional do ponto E01 para o ponto E02, E03 e assim por

diante até o ponto E35. Essa distância depois foi utilizada como uma translação tridimensional, Figura 40, para deslocar cada cena escaneada, a partir da posição do LST na mesma, para a sua posição de referência.

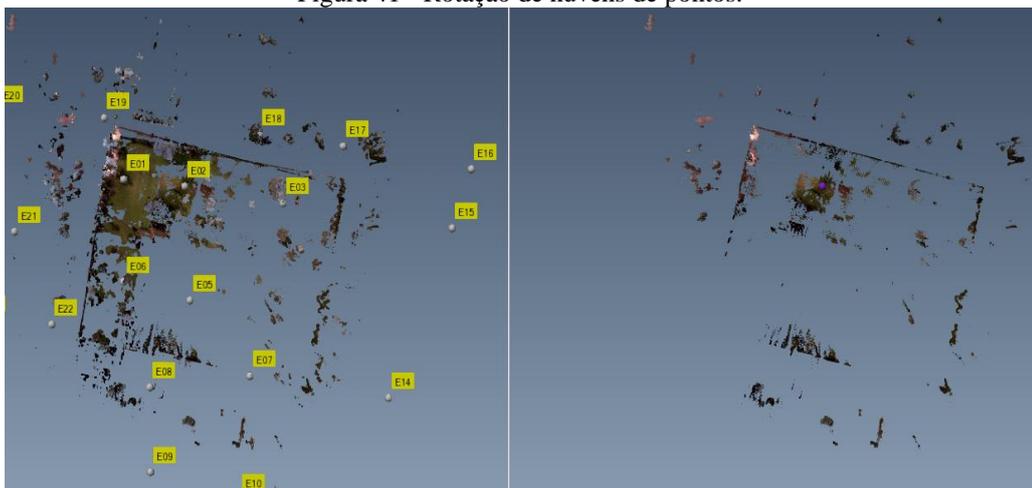
Figura 40 - Translação 3D.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Depois foi realizado o alinhamento das cenas 02 e 01, Figura 41, e assim foi realizada uma rotação em cada cena até que as elas ficassem bem próximas uma da outra.

Figura 41 - Rotação de nuvens de pontos.

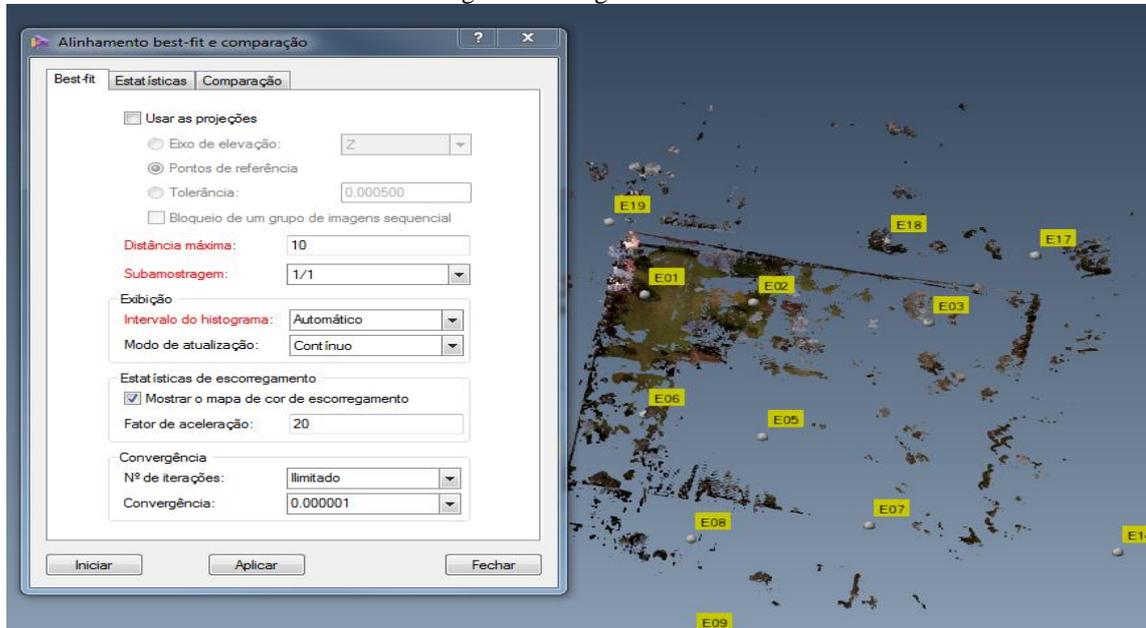


Fonte: Elaborado pelo autor.

Com as cenas bem próximas uma da outra foi realizado no software um alinhamento fino, Figura 42, onde no mesmo se configura uma distância mínima entre as cenas e a partir

de feições homólogas o software vai efetuando translações bidimensionais iterativamente, ou seja, apenas os eixos X e Y sofrem translação e o eixo Z permanece fixo.

Figura 42 - Registro fino.

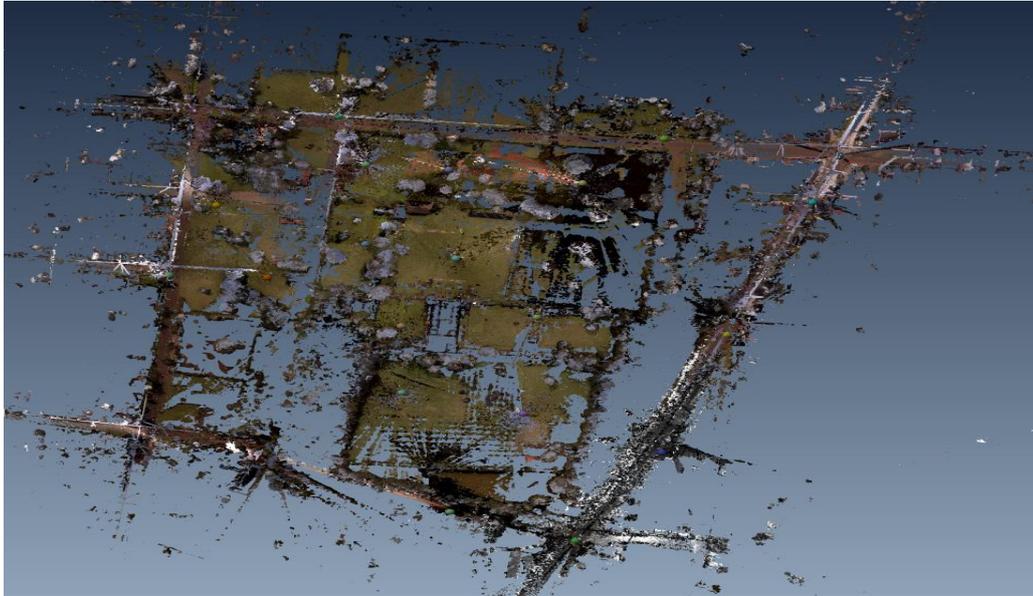


Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, todas as cenas foram orientadas uma em relação à outra. Porém as mesmas não estão referenciadas a um sistema de coordenadas. Elas estão sendo ligadas umas nas outras a partir de feições homólogas. Depois de as cenas estarem alinhadas foi realizado o registro das cenas a partir das posições do LST em cada cena e o a sua respectiva coordenada, obtida por rastreamento GNSS. Para efetuar o registro foi utilizada a transformação geométrica Isogonal ou de Helmert tridimensional (07 parâmetros) onde a mesma necessita de pelo menos três pontos para que exista grau de liberdade para que ocorra ajustamento. O método do registro das cenas é semelhante a Fototriangulação por Modelos Independentes onde a unidade fotogramétrica é o modelo, no caso o modelo é a cena escaneada, a posição do centro perspectivo é equivalente a posição do LST durante a com o LST e a orientação de cada modelo é realizada semelhante a orientação relativa na fotogrametria e o referenciamento das mesmas em relação ao espaço objeto é a orientação absoluta utilizando a transformação geométrica de corpo rígido com 07 (sete) parâmetros (três rotações, 03 translações e 01 fator de escala igual a 1. A vantagem de se utilizar a transformação geométrica isogonal é que a mesma não deforma o modelo, ela apenas efetua rotações e translações.

Assim, todas as cenas estão referenciadas a um sistema de coordenadas e orientadas em relação ao espaço objeto. No exemplo da Figura 43 e Figura 44 todas as cenas escaneadas, registradas e georeferenciadas.

Figura 43 - Cenas Georeferenciadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44 - Parte Interna do Parque - Modelo gerado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na etapa do registro cada cena foi conectada individualmente uma com a outra. Depois que todas as sofreram o processo de registro foi realizada a orientação absoluta das nuvens de pontos baseado na posição do LST e a sua correspondente posição no terreno a

partir das coordenadas obtidas pelo rastreamento GNSS. Após essa etapa foram extraídas as nuvens de pontos feições tipo linha, Figura 48, que definem os contornos das principais geometrias existentes no terreno. Essa etapa foi realizada no software Polyworks na extensão IMSurvey.

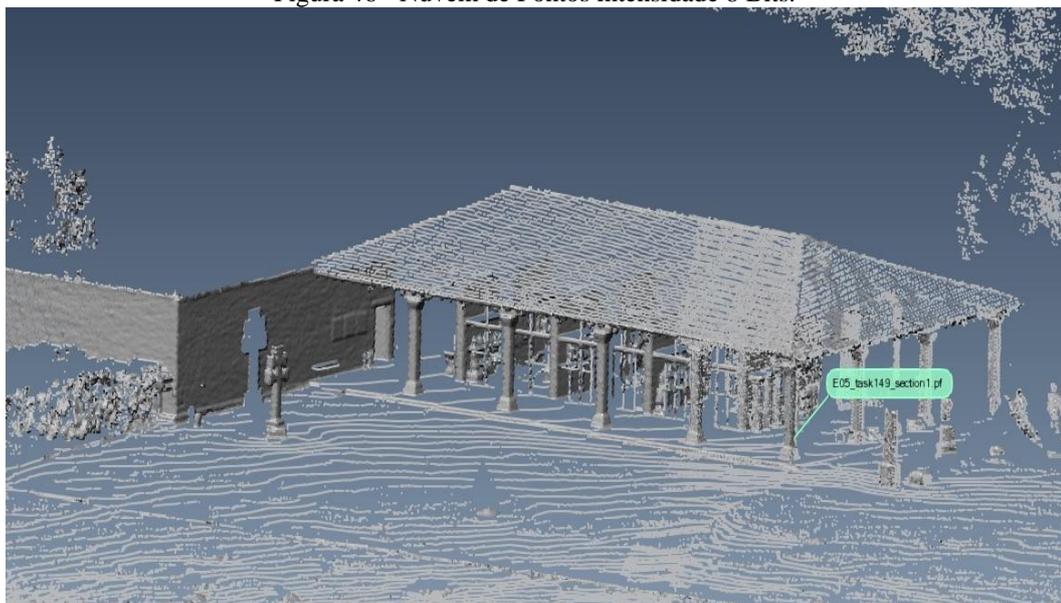
Assim, após as nuvens de pontos registradas e georeferenciadas foi possível extrair feições das diversas cenas registradas (Exemplos Figura 45 a Figura 50).

Figura 45 - Nuvem de Pontos colorida.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 46 - Nuvem de Pontos intensidade 8 Bits.



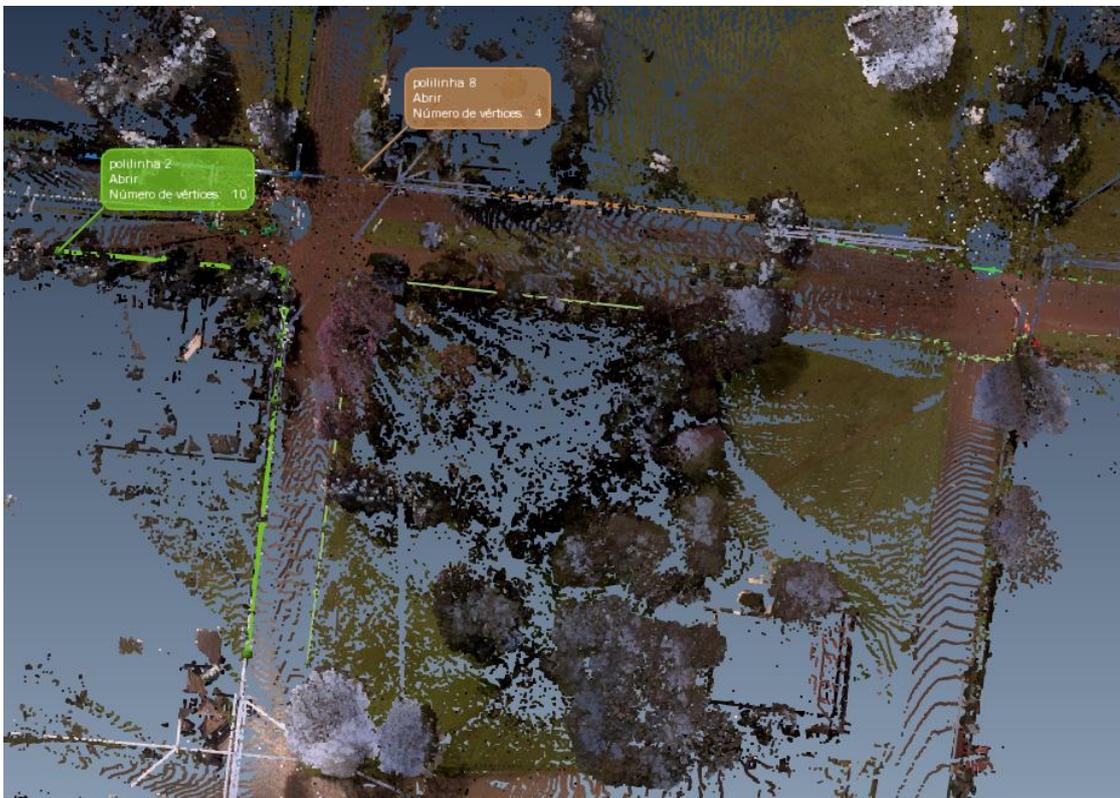
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 47 - Escaneamento próximo a Pousada das Missões



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 48 - Extração de Feições.



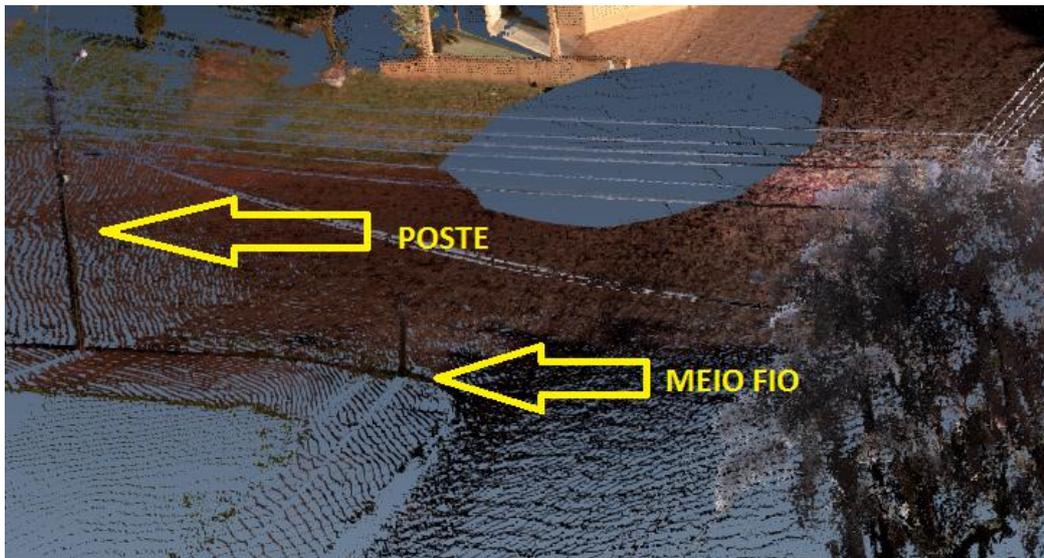
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 49 - Reconhecimento de Feições.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 50 - Feições na Nuvem de Pontos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Depois de todas as cenas registradas foi realizada a etapa de extração das curvas de nível a partir de todas as feições existentes no terreno. A equidistância das mesmas foi definida de metro em metro. Depois essas feições foram exportadas em formato com a extensão dxf e no *Software* ArcMap essas feições foram incorporadas ao um banco de dados espacial proprietário da ESRI em formato Mbd.

#### 4. CONTROLE DE QUALIDADE

O controle de qualidade foi realizado com estação total e rastreamento de pontos utilizando rastreamento GNSS. Foi utilizado o marco M1, Figura 51 como base e utilizando o método relativo estático rápido foram determinados pontos que serviram de apoio para levantamento de feições no terreno utilizando estação total, Figura 52.

Figura 51 GNSS Topcon GR3 no Marco M1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses pontos foram comparados com as feições extraídas das nuvens de pontos e depois foram realizado dois testes. Um de tendência para verificar se existe componentes sistemáticas nas coordenadas extraídas e um de exatidão para se verificar a acurácia das delas.

Figura 52 - Estação Topcon TP 7500.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a determinação do tamanho da amostra, ou seja, o total de pontos que deverão ser analisados para se ter uma estimativa da qualidade posicional do produto gerado foi utilizado a equação apresentada em Pereira (1978) e Rocha (2002).

$$\eta = \frac{Z^2 \cdot \gamma^2 \cdot N}{(N - 1) \cdot \varepsilon r^2 + Z^2 \cdot \gamma^2} \quad (8)$$

onde:

$\eta$  = tamanho da amostra;

$N$  = tamanho da população;

$\gamma = \sigma / \mu$ , sendo:

$\sigma$  = desvio-padrão amostral;

$\mu$  = média amostral;

$Z$  = intervalo de confiança;

$\varepsilon r = \varepsilon / \mu$  (erro amostral relativo) onde,  $\varepsilon$  = erro amostral máximo permitido.

Para a determinação do valor da amostra alguns valores foram estimados na Fórmula 8. Assim o valor da média amostral ( $\mu$ ) foi adotado como 30 cm em virtude dele ser o valor máximo aceitável para o Erro Padrão num produto com Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) A para a escala 1:1.000, previsto no Decreto 89.817, de 20 de Junho de 1984.

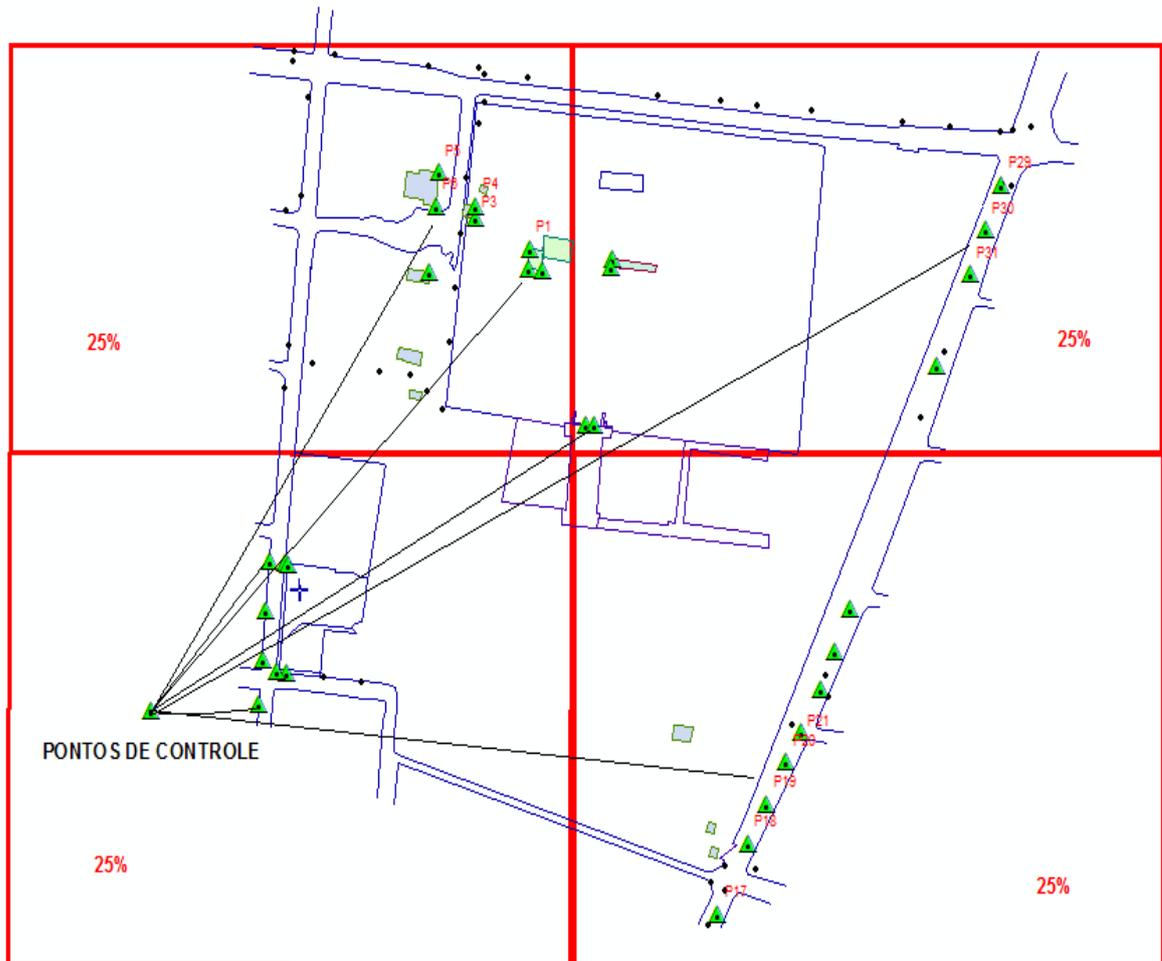
No presente trabalho foi adotado um intervalo de confiança de 95% e o valor do erro amostral máximo permitido ( $\varepsilon$ ) de 0,03m. O desvio-padrão amostral adotado foi adotado de forma que o mesmo seja 1/3 do valor da média amostral, assim o valor de  $\sigma = 10$  cm. Segundo Rocha (2002) para um intervalo de confiança de 95% tem-se um valor de  $Z = 1,96$ .

Em relação ao tamanho da população ( $N$ ) foi adotado o valor de 3550 que é o número de vértices existentes no produto cartográfico capaz de ser identificado no terreno. Assim o valor da amostra foi de 32 pontos. Caso o valor do tamanho da população fosse adotado o total de pontos existentes nas nuvens de pontos esse valor também não seria alterado, haja vista que a partir de um determinado valor de  $N$  (tamanho da população) o tamanho da amostra se estabiliza.

Para a realização do controle de qualidade foram levantadas no terreno feições de fácil identificação no mapa topográfico. Assim foram levantados feições como quinas de postes, cantos de edificações e bordos de meio-fio, Figura 53. O levantamento desses pontos

foi realizado com a utilização de pontos obtidos por rastreamento GNSS e a partir desses pontos foram irradiadas as feições de interesse no terreno.

Figura 53 - Distribuição dos pontos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise de tendência foi realizada para verificar se existem componentes sistemáticas nas coordenadas obtidas durante os levantamentos. E a mesma foi obtida a partir dos valores das discrepâncias, que é a diferença do valor da diferença das coordenadas obtidas por estação total com apoio GNSS e as coordenadas extraídas das nuvens de pontos. Para cada valor de  $\Delta E$  e  $\Delta N$ , depois foi calculada a média, Fórmula 9, desvio padrão, Fórmula 10 e o número de graus de liberdade.

$$\overline{\Delta M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta M_i \quad (9)$$

$$\sigma_{\Delta\mathbf{M}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta\mathbf{M}_i - \overline{\Delta\mathbf{M}})^2} \quad (10)$$

Na análise de tendência são avaliadas as seguintes hipóteses básicas:

$$H_0: \Delta\mathbf{M} = 0, \text{ Favorável} \quad (11)$$

$$H_1: \Delta\mathbf{M} \neq 0,$$

O significado disso é que:  $H_0$  indica a não existência de tendências, ou seja, o produto cartográfico não possui um deslocamento tendencioso e  $H_1$  indica que há tendências no produto. Para este teste deve-se calcular a estimativa T-Student, por meio da seguinte equação:

$$t_m = \frac{\overline{\Delta\mathbf{M}}}{\sigma_{\Delta\mathbf{M}}} \cdot \sqrt{n} \quad (12)$$

A significância de um teste é a probabilidade máxima de rejeitar acidentalmente uma hipótese nula  $H_0$ , quando na realidade ela é verdadeira. Adotando uma probabilidade  $p$  de 95%, e o nível de significância  $\alpha$  do teste de 5%, abaixo segue os resultados obtidos.

O teste de exatidão é analisado a partir da comparação da variância das discrepâncias com a variância esperada, por meio das seguintes hipóteses:

$$\begin{aligned} H_0 : \sigma_{\Delta\mathbf{M}}^2 &= \sigma_m^2, \text{ contra} \\ H_1 : \sigma_{\Delta\mathbf{M}}^2 &> \sigma_m^2 \end{aligned} \quad (13)$$

onde  $\sigma_m^2$  é a variância esperada para a análise, de acordo com a especificação do produto.

Essa análise é feita por meio da distribuição Qui-quadrado, sendo o Qui-quadrado da amostra definido por:

$$\chi_{\Delta\mathbf{M}}^2 = v \cdot \frac{\sigma_{\Delta\mathbf{M}}^2}{\sigma_m^2}, \quad (14)$$

onde  $v$  são os graus de liberdade. A verificação da exatidão é dada por:

$$\chi_{(v,\alpha/2)}^2 < \chi_{\Delta M}^2 \leq \chi_{(v,1-\alpha/2)}^2 \quad (15)$$

onde  $\chi_{(v,\alpha/2)}^2$  e  $\chi_{(v,1-\alpha/2)}^2$  são valores teórico da distribuição Qui-quadrado, calculados por meio dos graus de liberdade ( $v$ ) da amostra e pela significância do teste ( $\alpha$ ). Uma vez que a expressão é satisfeita, se aceita a hipótese nula, ou seja, o produto é aceito como atendendo a exatidão analisada, correspondente à especificação do produto.

Foi realizado um teste comparativo entre as diferenças de coordenadas obtidas por rastreamento GNSS com alguns pontos irradiados a partir da estação total. Assim foi levantado no terreno três pontos no terreno de maneira aleatória e na Tabela 7 segue a comparação entre as essas coordenadas.

Tabela 7 - Comparação Coordenadas Estação Total X GNSS

COORDS GNSS			COORDS ESTAÇÃO TOTAL				
DESC	N (m)	E (m)	DESC	N (m)	E (m)	DIF N (m)	DIF E (m)
PF1	6839917,137	739071,456	PF1	6839917,131	739071,449	0,006	0,007
PF2	6839929,581	738996,097	PF2	6839929,572	738996,090	0,009	0,007
PF4	6839536,840	738894,676	PF4	6839536,831	738894,668	0,009	0,008

Segundo a NBR 13133 uma estação total com precisão angular de 5" (cinco segundos), no caso a estação total Topcon TP 7500, da figura 54, é considerada como uma estação total com uma precisão média. Assim, para o levantamento dos pontos irradiados não foi realizada uma poligonal. Para a execução da mesma seria necessário 20 pontos e pela propagação de erros isso iria acabar degradando o resultado obtido no controle de qualidade.

Logo, foram levantados 5 pares de pontos, com distância média de 100 (cem) metros um do outro, a partir de rastreamento GNSS. Assim instalava-se a estação total num dos pontos, orientava-se a mesma com o azimute a ré de suas coordenadas e a partir daí foi realizado o levantamento de feições, com distâncias curtas de até 250. Também durante os levantamentos não houve a necessidade de se utilizar nenhuma estação auxiliar.

Tabela 8 - Discrepância das coordenadas.

PONTO	Estação Total/GNSS		LIDAR		DISCREPÂNCIAS	
	COORD N	COORD E	COORD N	COORD E	$\Delta E$	$\Delta N$
P1	6839823,227	739096,528	6839823,077	739096,400	0,150	0,128
P2	6839806,592	739094,774	6839806,692	739094,546	-0,100	0,228
P3	6839847,599	739044,039	6839847,562	739043,819	0,037	0,220
P4	6839857,278	739045,065	6839857,317	739045,169	-0,039	-0,104
P5	6839884,538	739010,224	6839884,482	739010,003	0,056	0,221
P6	6839857,309	739007,350	6839857,388	739007,513	-0,079	-0,163
P7	6839804,468	739001,415	6839804,354	739001,446	0,114	-0,031
P8	6839805,213	739107,562	6839805,266	739107,640	-0,053	-0,078
P9	6839571,258	738850,772	6839571,164	738850,645	0,094	0,127
P10	6839531,512	738846,905	6839531,589	738846,996	-0,077	-0,091
P11	6839492,061	738843,091	6839492,085	738843,047	-0,024	0,044
P12	6839457,161	738839,715	6839457,105	738839,742	0,056	-0,027
P13	6839481,465	738866,792	6839481,503	738866,805	-0,038	-0,013
P14	6839483,638	738856,513	6839483,699	738856,595	-0,061	-0,082
P15	6839569,437	738864,876	6839569,489	738864,956	-0,052	-0,080
P16	6839569,157	738867,963	6839569,205	738867,905	-0,048	0,058
P17	6839306,368	739280,933	6839306,339	739280,808	0,029	0,125
P18	6839343,982	739302,195	6839343,978	739302,108	0,004	0,087
P19	6839376,419	739320,357	6839376,369	739320,262	0,050	0,095
P20	6839409,611	739338,893	6839409,671	739338,811	-0,060	0,082
P21	6839433,097	739352,165	6839433,139	739352,104	-0,042	0,061
P22	6839466,114	739370,579	6839466,329	739370,736	-0,215	-0,157
P23	6839461,834	739379,228	6839462,052	739379,424	-0,218	-0,196
P24	6839439,67	739345,047	6839439,690	739344,966	-0,020	0,081
P25	6839680,442	739149,927	6839680,467	739149,907	-0,025	0,020
P26	6839680,213	739152,636	6839680,171	739152,511	0,042	0,125
P27	6839679,39	739159,942	6839679,406	739159,834	-0,016	0,108
P28	6839679,186	739162,202	6839679,281	739162,162	-0,095	0,040
P29	6839875,086	739542,781	6839874,842	739542,862	0,244	-0,081
P30	6839838,068	739527,314	6839837,888	739527,380	0,180	-0,066
P31	6839802,796	739512,443	6839802,939	739512,561	-0,143	-0,118
P32	6839729,436	739481,576	6839729,562	739481,695	-0,126	-0,119
			<b>MÉDIA</b>		-0,015	0,015

Na Tabela 8, encontra-se as discrepâncias das coordenadas obtidas com a utilização de Estação Total/GNSS e LST. A partir desses dados foram determinados os desvios-padrões, variância e média amostral dessas diferenças. A maior variação das coordenadas obtidas ocorreu no ponto P23 com uma diferença absoluta de 21,8 cm e a menor diferença obtida ocorreu no ponto P18 com uma diferença absoluta de 4 mm.

Tabela 9 - Teste estatísticos.

COORD E		COORD N	
Média	-0,015	Média	0,015
Erro padrão	0,018	Erro padrão	0,021
Desvio padrão	0,103	Desvio padrão	0,118
Variância da amostra	0,011	Variância da amostra	0,014
Mínimo	-0,218	Mínimo	-0,196
Máximo	0,256	Máximo	0,228
Contagem	32,000	Contagem	32,000
Nível de confiança(95,0%)	0,037	Nível de confiança(95,0%)	0,042

ANÁLISE TENDÊNCIA		ANÁLISE TENDÊNCIA	
TM TEÓRICO	2,040	TM TEÓRICO	2,040
TM CALCULADO	-0,810	TM CALCULADO	0,710
TM TEÓRICO > TM CALCULADO = NÃO TENDENCIOSO		TM TEÓRICO > TM CALCULADO = NÃO TENDENCIOSO	

ANÁLISE EXATIDÃO		ANÁLISE EXATIDÃO	
QUI-QUADRADO TEÓRICO	41,422	QUI-QUADRADO TEÓRICO	41,422
VARIÂNCIA CALCULADA	0,011	VARIÂNCIA CALCULADA	0,014
VARIÂNCIA ESPERADA	0,008	VARIÂNCIA ESPERADA	0,010
DESV. PAD. ESPERADO	0,089	DESV. PAD. ESPERADO	0,102

Pelos resultados obtidos, nas Tabela 8 e Tabela 9, chega-se a conclusão que as componente E e N não possuem tendência, o que torna os seus desvios-padrões medidas de acurácia de 8,9 cm e 10,2 cm, respectivamente.

## 5 . CUSTOS

Em relação as tabelas de preços (Tabela 10 a Tabela 14) que serão analisadas, foi adotado para os levantamentos cinco dias de aluguel do LST. Foram considerados dois dias de deslocamento e três dias para a execução dos levantamentos realizando escaneamento com varreduras múltiplas.

Foi utilizado como base a tabela de preços da Associação das Empresas de Topografia do Estado de São Paulo (AETSP) de janeiro de 2012. Nessa tabela, o salário mensal de um Engenheiro Agrimensor é de R\$ 5.100,00. Adotando esse valor de salário e considerando o mês com 22 dias úteis o valor pago por hora é de R\$ 28,27, onde na tabela 10 esse valor foi arredondado para R\$ 30,00. Dependendo da região do país esses valores podem variar. Os encargos sociais também podem sofrer variação desde 98% a 123%, dependendo da tabela de preços a ser pesquisada. Como já foi citado, na tabela da AETSP, o total de encargos sociais é de 105%.

Tabela 10- Custos Mão de Obra

<b>1. CUSTOS DIRETOS</b>			
<b>MÃO DE OBRA</b>			
<b>CARGO/FUNÇÃO</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>SALÁRIO (Hora)</b>	<b>TOTAL (R\$)</b>
Engenheiro	01	R\$ 30,00	R\$ 3.600,00
Motorista	01	R\$ 4,86	R\$ 583,20
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 4.183,20</b>
<b>ENCARGOS SOCIAIS</b>		<b>105%</b>	<b>R\$ 4.392,36</b>
<b>TOTAL DA MÃO DE OBRA DIRETA</b>			<b>R\$ 8.575,56</b>

Para o levantamento utilizando o LST foi utilizado apenas uma pessoa como auxiliar, no caso um motorista. O Valor do aluguel do LST, pela tabela de preços da Manfra, para um período de 05 dias é de R\$ 8.500,00 onde é necessário fazer um seguro obrigatório de R\$ 1.500,00 gerando um custo total de R\$ 10.000,00 por cinco dias.

Tabela 11 - Custos Indiretos.

<b>2. CUSTOS INDIRETOS</b>			
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>V. UNIT.</b>	<b>TOTAL (R\$)</b>
Despesas com Hospedagem	10	R\$ 75,00	R\$ 750,00
Despesas com Alimentação	20 Refeições	R\$ 25,00	R\$ 500,00
Aluguel de minivan com Km livre	10 Dias	R\$ 270,00	R\$ 1.350,00
Combustível	1500 km	R\$ 3,30	R\$ 412,50
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 3.012,50</b>

Tabela 12 - Materiais da UFRGS empregados.

<b>3. MATERIAIS DA UFRGS QUE SERÃO UTILIZADOS NO PROJETO</b>			
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>V. AQUISIÇÃO</b>	<b>V. DEPRECIADO</b>
Par de receptor GNSS de Dupla Frequência (Topcon GR3)	01	R\$ 90.000,00	R\$ 2.250,00
Pacote de Softwares de Modelagem 3D (Licenças do Software Polyworks)	01	R\$ 60.200,00	R\$ 3.010,00
Computador	01	R\$ 4.000,00	R\$ 200,00
Software para restituição de dados (ArcGIS)	01	R\$ 40.000,00	R\$ 2.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 7.460,00</b>

Tabela 13 - Custos dos Serviços Executados.

<b>4. CUSTOS DOS SERVIÇOS</b>			
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>V. UNIT.</b>	<b>V. TOTAL</b>
Mobilização e desmobilização para distâncias entre 300 e 600 Km.	01	R\$ 3.347,02	R\$ 3.347,02
Custo diário do aparelho de varredura Laser	Período	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 13.347,02</b>

Tabela 14 - Impostos e Preço final do levantamento.

<b>5. IMPOSTOS</b>	
TOTAL DE TODAS AS DESPESAS	R\$ 32.395,08
IMPOSTOS (ISS 5% + COFINS 3% +PIS 0,65%+ CSLL 2.88%+ IR 4.8%) – 16,33%	R\$ 5.290,12
TOTAL DAS DESPESAS COM IMPOSTOS	R\$ 37.685,20
LUCRO 20%	R\$ 7.537,04
<b>FATURAMENTO TOTAL DOS SERVIÇOS PRESTADOS</b>	<b>R\$ 45.222,24</b>

Para o mesmo período de tempo, caso o mesmo serviço fosse executado utilizando GNSS e Estação Total esse custo, por dia já com encargos sociais, despesas fiscais de 17% , almoço e um veículo, seria de R\$ 3.377,96. Como a área de estudo é pequena , 0,5 Km<sup>2</sup>, o levantamento por topografia convencional também levaria três dias com a diferença no número de pessoas empregadas no levantamento em comparação com a utilização do LST. Na tabela da AETSP o custo de uma equipe de topografia, por dia, considerando os três dias de levantamento mais dois dias de deslocamento esse preço seria de R\$ 16.889,80 sem contar nesse preço o valor da estadia num hotel de R\$ 75,00, onde em cinco dias para uma equipe com três pessoas daria um valor de R\$ 1.175,00. Assim o total desse levantamento desconsiderando a margem de lucro que pode varias de 10% a 30% dependendo da empresa. Adotando uma margem de lucro de 20% o valor total do serviço com topografia convencional e utilizando o mesmo valor de mobilização e desmobilização utilizando na Tabela 13, R\$ 3.347,02 gera um valor final de R\$ 25.694,18.

## 6. CONCLUSÕES

### 6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos propostos pelo presente trabalho foram totalmente obtidos. A execução de um levantamento topográfico utilizando um LST durante as atividades foram executadas de maneira plena e eficiente. A acurácia posicional obtida foi de 8,9 cm 10,2 cm para as coordenadas E e N respectivamente para trinta e cinco estações de escaneamento com trezentos e cinquenta nuvens de pontos obtidas e georeferenciadas. A acurácia alcançada é compatível com levantamentos topográficos realizados com estação total. Comparando com um levantamento topográfico executado com técnicas tradicionais houve um acréscimo de tempo na execução dos serviços com um emprego menor de mão de obra.

O levantamento com o LST é um método que abrange várias áreas de conhecimento relativas a Engenharia Cartográfica, desde conceitos que envolvem a medição eletrônica de distâncias, semelhante ao de uma Estação Total, englobando Sensoriamento Remoto como a reflectância dos alvos que influencia diretamente a distância que um objeto pode ser medido. Envolveu conceitos de posicionamento geodésico por satélites artificiais já que a posição do LST foi obtida por rastreamento GNSS pelo método de posicionamento relativo estático. Num comparativo com a Fotogrametria, a posição do LST, obtida por técnicas de posicionamento GNSS, funcionou de maneira equivalente a posição do centro perspectivo de uma fotografia aérea e foi utilizada para a conexão das nuvens de pontos.

A conexão das nuvens de pontos, ou seja, o registro das mesmas possui semelhança muito grande com a Fototriangulação Por Modelos Independentes com Formação de Faixa ou formação de bloco descrita por LUGNANI (1987), onde cada nuvem de pontos era conectada a outra sem um sistema de referência ou pontos de controle definidos, apenas pela posição do LST e uma rotação. Após a junção de todas as nuvens de pontos numa mesma cena, foi realizada uma orientação absoluta a partir da posição do LST na cena e as suas respectivas posições no espaço objeto.

A utilização de um LST possui muitas vantagens que foram descritas durante esse trabalho como rapidez nos levantamentos e como o mesmo levanta uma grande quantidade de pontos durante os escaneamentos o terreno pode ser detalhado de maneira ampla. Feições como calçadas, canteiros, postes, detalhes de fachadas de edificações, ruas, árvores e etc. podem ser adquiridas de maneira rápida e eficiente.

A utilização do LST também possui algumas desvantagens. Uma das desvantagens é que ele é muito pesado e difícil de transportar em ambientes com relevo acidentado já que ele é transportado pela sua caixa de armazenamento que possui rodas iguais as de uma mala de bagagens comum.

Por esse mesmo motivo a utilização de um LST também não seria indicada para execução de levantamentos em ambiente de mata fechada como abertura de picadas pela dificuldade de transporte o que demandaria a utilização de muitas pessoas para o seu transporte. A utilização de um notebook durante os levantamentos com o LST também é algo que demanda mais auxiliares e tempo durante os deslocamentos nos levantamentos.

Em relação ao processamento dos dados os softwares em plataforma livre são pouco divulgados e a maioria são desenvolvidos por Universidades da America do Norte e Europa. O preço para a aquisição de um software para a manipulação de dados LIDAR pode variar de R\$ 40.000,00 a R\$ 100.000,00 o que para uma empresa da iniciativa privada no Brasil ficaria muito oneroso, impactando no custo dos levantamentos.

Outro aspecto importante é a configuração de um computador para o processamento desse tipo de dados. Para o processamento desses dados foram utilizadas duas máquinas. A configuração do primeiro computador é uma máquina com processador Xeon da AMD com 12 núcleos com frequência de 3.2 Ghz, 16 Gb de memória RAM e placa de vídeo de 02 Gb 3D da Nvidia Geforce K4000. O outro computador possui um processador da Intel Core I5 com 4 núcleos, 08 Gb de memória RAM e placa de vídeo de 02 Gb da Nvidia Geforce 710A. O computador com processador Core I5, conseguiu processar os dados até o total de 15 cenas com 10 nuvens de pontos, ou seja, ele conseguiu processar até 150 nuvens de pontos com resolução variando de 04 a 06 cm em X e Y sem fator de redução para o processamento. A partir das 150 nuvens de pontos o mesmo já não conseguia efetuar os processamentos e acusava falta de memória. Esse fator tem influência direta na execução do trabalho pois, para trabalhos com muitas cenas escaneadas é necessário uma máquina com configurações que podem deixar o preço de aquisição de um computador muito oneroso. Como exemplo o computador utilizado no LAFOTO da UFRGS saiu mais de R\$ 10.000,00.

Em relação aos custos envolvidos o aluguel por cinco dias mais seguro de um LST sai R\$ 10.000,00. Caso exista a necessidade de alugar um software para efetuar o registro de nuvens de pontos mais a extração de feições teria que ser acrescido a esse valor mais R\$ 4.080,00 por semana de aluguel.

No Pregão 04/2014 do IPHAN há um valor estimado para a execução de um levantamento topográfico cadastral para uma área de 74 Ha e o valor desse levantamento com

o custo de R\$ 39.800,00. Embora sejam serviços diferentes com finalidades também diferentes ambos possuem uma área em comum, que é a mesma cidade e o Sítio Arqueológico.

Na comparação de preços dos serviços de topografia com estação total e GNSS o preço do levantamento topográfico com estação total e GNSS sai mais barato porém necessita de mais pessoas e mais dias de trabalho para a execução do mesmo levantamento. Já a execução do mesmo serviço de topografia com o LST necessita de menos auxiliares e a execução do serviço é efetuada de maneira mais rápida. Outro fator a se analisar é que o levantamento topográfico com estação total e GNSS não nos fornece um modelo de elevações tridimensional no mesmo nível de detalhamento obtido com a utilização do LST. Dados como intensidade do retorno do feixe de radiação eletromagnética a topografia convencional também não nos fornece assim como a resposta espectral de alvos na faixa do espectro do infravermelho também.

Logo, os dados obtidos pelo levantamento do LST nos fornecem bem mais informações que o levantamento topográfico convencional. E esses dados podem ser futuramente utilizados para controle de monitoramento de estruturas, análise de infiltração na estrutura da fachada da igreja, criação de projetos *as built*, criação de maquetes físicas e digitais e até produzir uma abordagem de realidade virtual a partir desse levantamento.

## **6.2 RECOMENDAÇÕES**

Em relação aos dados que foram levantados durante o presente trabalho segue abaixo as recomendações para trabalhos futuros.

- Geração de um modelo digital de terreno como a eliminação de feições existentes no terreno como árvores, postes e edificações;
- Controle de qualidade altimétrico do modelo digital de terreno e das curvas de nível utilizando um nível de alta precisão;
- Como se trata de uma região que possui monumentos históricos seria interessante estudar um modelo de ondulação geoidal para se obter altitudes científicas caso exista a necessidade de estudos referentes a escavações ou até movimentos de massas como terraplenagem ou outras obras de construção civil para se proteger a região ao redor do sítio;

- Execução de um levantamento topográfico ao redor de todo o sítio arqueológico utilizando uma estação total de alta acurácia posicional com acurácia angular superior a cinco segundos e rastreamento GNSS para comparação dos levantamentos obtidos com outras técnicas como Fotogrametria e LST;

- Estudos em relação a saúde das árvores existentes dentro do sítio arqueológico com os dados das coordenadas tridimensionais e mais o valor de intensidade do retorno do feixe LASER;

- Elaboração de uma metodologia para execução de levantamento com LST com especificações detalhadas, passo-a-passo, das etapas de levantamento com o LST Optech, detalhes da resolução das nuvens de pontos, melhores distâncias para posicionamento do LST, registro das cenas, georeferenciamento e etapas do processamento em cada software existente no LAFOTO, de modo que qualquer pessoa que execute um levantamento com os aparelhos e softwares já citados tenha condições de processar e manipular esses dados de maneira rápida;

- Seria interessante ao LAFOTO a aquisição de um software específico para o processamento de dados LST com a finalidade de levantamentos geodésicos e topográficos (exemplo *software Cyclone* da Leyca);

- Confecção de placas com alvos planos e tridimensionais esféricos semelhantes aquelas desenvolvidas em Wutke (2006) para se realizar estudos de acurácia de distância e posicionamento do LST;

- Criação e implementação de um banco de dados geográficos em plataforma livre (*Spatialite* ou *Postgis*) para a divulgação e repasse dos dados levantados de maneira rápida e de fácil acesso a pessoas e entidades interessadas;

- Estudos e pesquisa para tentativa de realizar o processamento dos mesmos num software livre. Atualmente, estudantes conseguem baixar todas as versões do Autocad, inclusive o módulo de processamento de dados LASER - *Recap*, e utilizar todas as funcionalidades da plataforma por um período de três anos.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE J. B., Fundamentos de Fotogrametria, 1998, páginas 202 a 204.

ASSOCIAÇÃO DAS EMPRESAS DE TOPOGRAFIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. COMPOSIÇÃO DE PREÇOS UNITÁRIOS REFERENCIAIS DE SERVIÇOS DE TOPOGRAFIA DE ACORDO COM A NBR 13133. 2014. Disponível em: <<http://www.aetesp.com.br/>>. Acesso em : 18 Dez. 2014.

BIBLIOTECA ONLINE DA TORRE DE VIGIA. Disponível em <<http://wol.jw.org/pt/wol/d/r5/lp-t/102002409>>. Acesso em 05 Dez. 2014.

BOEHLER, W., MARBS, A. 3D Scanning Instruments. Proceeding of de CIPA WG6. International Workshop on scanning for cultural heritage recording. 2002.

BOULAASSAL, H., LANDES, T., GRUSSENMEYER, P. Automatic extraction of planar clusters and their contours on building façades recorded by terrestrial laser scanner. International Journal of Architectural Computing - IJAC, Volume 7, Number 1, pp. 1-20, 2009.

BRANDALIZE, M. C. B.; PHILIPS, J. W.: Laseres nos Levantamentos Terrestres. Revista InfoGeo, Ano 4, No. 22, Jan/Fev 2002, p. 52-55.

BRASIL. DECRETO LEI nº 89.917 de 20 de junho de 1984.

CORRÊA, F. K., O Uso de Tecnologias Modernas em Levantamentos Topográficos de Obras de Infraestrutura Aeroportuária, São José dos Campos, 2013.

CAMARGO, P.O, Notas de Aula de Ajustamento de Observações, UNESP, 2000;

CPREUNI, disponível em <<http://cpreuni.blogspot.com.br/2011/02/topicos-de-fisica-moderna-rayo-laser.html>>. Acesso em : 16 Dez.2014.

DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. R. Sistema Laserscanner: Conceitos e Princípios de Funcionamento. 3ª Edição – UFPR – Curitiba/PR – Brasil. 97 pg – 2004.

DEMERSAY, Alfred. São Miguel das Missões. 1846. Litografia. Disponível em: <<http://imagenshistoricas.blogspot.com.br/2009/11/jesuitas.html>>. Acesso em : 14 Dez. 2014.

FARO. Laser scanner for fast and exact indoor and outdoor measurements in three dimensions: Simply at your fingertips. 2014. Disponível em: <<http://www.faro.com/products/3d-surveying/laser-scanner-faro-focus-3d/overview>>. Acesso em : 18 Dez. 2014.

FRANÇA, M. R. , Site Revista MundoGeo. Disponível em < <http://mundogeo.com/>>. Acesso em : 10 Mai. 2014.

FRÖHLICH, C.; METTENLEITER, M..Terrestrial laser scanning – new perspectives in 3D surveying. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Freiburg, v. 36, n. 8/W2,p. 7 -13, oct. 2004.

GLOBALGEO. Disponível em < <http://www.globalgeo.com.br/servicos/geracao-de-mdt-e-mds/>>. Acesso em : 02 Nov. 2014.

GOOGLE EARTH. Guia do usuário . Disponível em: <[http://earth.google.com/intl/pt-BR/userguide/v4/ug\\_toc.html](http://earth.google.com/intl/pt-BR/userguide/v4/ug_toc.html)>. Acesso em : 20 Nov. 2014.

GONÇALES, R., Dispositivo de varredura laser 3D terrestre e suas aplicações na Engenharia, com ênfase em túneis, Dissertação de Mestrado da Escola politécnica de São Paulo, São Paulo, São Paulo; 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em : 06 Abr. 2014.

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Disponível em < <http://portal.iphan.gov.br/portal/montarPaginaInicial.do;jsessionid=544B31FEC82A95C8B70179CBDEB1F803>>. Acesso em : 05 Dez. 2014.

IZIDORO, R. S., SANTOS A. P., POZ W. M. R. A IMPORTÂNCIA DO AS BUILT (“COMO CONSTRUÍDO”) EM PROJETOS DE CONTROLE DIMENSIONAL VOLTADOS PARA TOPOGRAFIA INDUSTRIAL. 2012. V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Disponível em : <[https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/Todos\\_Artigos/113\\_3.pdf](https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/Todos_Artigos/113_3.pdf)>. Acesso em : 14 Dez. 2014.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente - Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. Editora Parêntese, 2011.

LETECKÁ FOTOGRAMETRIA, Disponível em <<http://www.aadopyt.sk/dodavatelja/5-it-pocitace-a-telekomunikacia/310-software-instalacia-poradenstvo/265688-k-data-s-r-o/174-letecka-fotogrametria.html>>. Acesso em : 16 Dez.2014.

LI, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C. Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology. Florida, U.S.A. Editora CRC Press, 2005. 318p.

LOPES, Luciana Almeida. LaserTerapia - Conceitos e Aplicações. 2014. Disponível em: <[http://www.nupen.com.br/Revista\\_port/fund\\_fisicos1.php](http://www.nupen.com.br/Revista_port/fund_fisicos1.php)>. Acesso em: 14 Dez. 2014.

LUGNANI, J. B. Introdução à Fototriangulação. Curitiba: UFPR, 1987;

MAIA, T. C. B. Estudo e Análise de Poligonais Segundo a NBR 13.133 e o Sistema de Posicionamento Global. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – São Carlos/SP. 1999.

MEDINA, A.S., Uma Proposta De Metodologia Para A Extração Semi-automática De Formas Arquitetônicas Planas Utilizando Dados Provenientes De Laser Escaner Terrestre, Tese Doutorado, 2012.

MENESES, P.R., Introdução ao Processamento Imagens de Sensoriamento Remoto, Brasília, Distrito federal, 2012.

MENSURAL SERVIÇOS TOPOGRÁFICOS. Topografia. 2014. Disponível em: <<http://www.mensural.com.br/Topografia>>. Acesso em : 14 Dez. 2014.

MONICO, J.F.G, Posicionamento pelo GNSS descrição, fundamentos e aplicações, 2ª Edição, 2008, Editora Unesp.

MUNDOGEO, disponível em <<http://mundogeo.com/blog/2005/09/29/gnss-na-navegacao-maritima/>>. Acesso em : 02 Nov. 2014.

NBR 13133 - Execução de Levantamento Topográfico. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994.

OPTECH. Disponível em: < <http://www.optech.ca/altmhow.html>>. Acesso em : 22 Nov. 2014.

PEREIRA, R. S. A estatística e suas aplicações. Porto Alegre: Grafosul, 1978.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. Transformações Urbanas 2014. Disponível em <[http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smc/usu\\_doc/catalogo\\_transformacoes\\_urbanas.pdf](http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smc/usu_doc/catalogo_transformacoes_urbanas.pdf)>. Acesso em : 14 Dez. 2014.

ROCHA, S. R. Exatidão Cartográfica para as Cartas Digitais Urbanas. 2002.123f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

RODRIGUES, D. A., Evolução dos Equipamentos Topográficos Aliados a Qualidade na Construção Civil, Trabalho de Conclusão de Curso, São Paulo, 2003.

SCHOFIELD, W., BREACH, M. Engineering Surveying. 6a edição. Butterworth-Heinemann Ltda., 2007.

SHAN, J.K., TOTH, C. Topographic Laser ranging and scanning, principles and processing. ISBN-13: 978-1-4200-5142-1, 590 P., 2009.

STRATUS AERONAUTICS. Disponível em <[http://stratus-aero.com/?page\\_id=106](http://stratus-aero.com/?page_id=106)>. Acesso em : 16 Dez. 2014.

TECNICOEMINERAÇÃO. A importância da topografia na mineração. 2014. Disponível em: <<http://tecnicoeminerao.com.br/topografia-na-mineracao/>>. Acesso em: 14 dez. 2014.

TIPLER P. A., MOSCA G. Física, Volume 2, Quinta Edição, Editora LTC, 2006.

TOPCON. Disponível em <<http://www.positionpartners.com.au/survey-newsletters/survey-spatial-e-news-january-2012/ip-s2-captures-3000kms-of-roads-in-2-months/>>. Acesso em: 21 Dez. 2014.

TOMMASELLI A. M. G. Um Estudo sobre as Técnicas de Varredura a Laser e Fotogrametria para Levantamento 3D a Curta Distância. Geodésia online, 2003.

VEIGA, L.A.K. Topografia Automatizada. Curso de Especialização Em Geotecnologias - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. 61f.

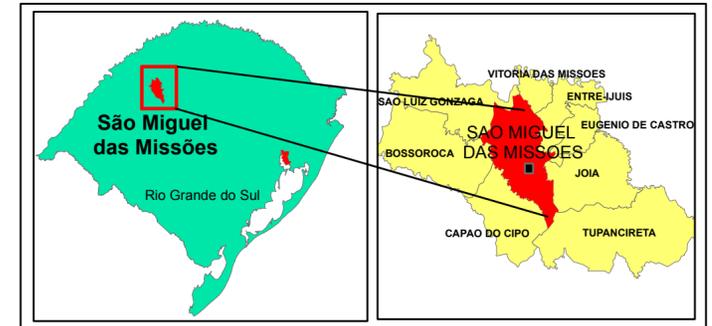
WOLF, P.R., DEWIT, B.A., Elements Of Photogrametry with aplications in GIS, Third Edition, New York, U.S.A. MacGraw-Hill, 2004, 608p.

WAGNER, W.; ULLRICH, A.; MELZER, T.; BRIESE, C.; KRAUS, K. From single-pulse to fullwaveform airborne laser scanners: potential and practical challenges. In: ISPRS Congress, 2004, Istanbul, Turkey. Geo-Imagery Bridging Continents: proceedings. Istanbul, Disponível em: < <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm3/papers/267.pdf> >. Acesso em : 10 Dez. 2014.

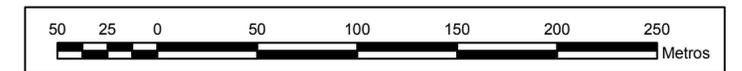
WUTKE, J.D. , Métodos Para Avaliação De Um Sistema Laser Scanner Terrestre, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2006.

**MAPA TOPOGRÁFICO PLANIALTIMÉTRICO  
DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO DE SÃO MIGUEL DAS MISSÕES - RS  
A PARTIR DE VARREDURA LIDAR TERRESTRE**

**LOCALIZAÇÃO**



**ESCALA 1: 2.500**



LEGENDA			
	Arvores		Estações LIDAR
	Portao		Postes
	Escavação		Ruínas
	Cultivo Citricos		Praça
	Arquibancada		Edificacao
	Canteiro		Museu
			Cerca Parque
			Arruamentos
			Curvas de Nível
			Vegetacao

SISTEMA DE REFERÊNCIA: SIRGAS 2000 (ÉPOCA 2000,4)  
 SISTEMA DE PROJEÇÃO: UTM  
 MERIDIANO CENTRAL: 57° W  
 CONVERGÊNCIA MERIDIANA: 1° 10' 7.66"  
 DECLINAÇÃO MAGNÉTICA: 14° 36,6"  
 VARIAÇÃO ANUAL DECL. MAGNÉTICA: 09' 54"  
 EXATIDÃO PLANIMÉTRICA: 0.10 m  
 ALTITUDE ORTOMÉTRICA - MODELO MAPGEO2010 IBGE  
 EQUIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 1 m

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**ENGENHARIA CARTOGRÁFICA**



Local: São Miguel das Missões - RS	Data: Dezembro 2014	Escala: 1:2.500
Equipe Técnica: Acadêmico Rodrigo da Silva Ferraz	Orientador: Prof. Dr. Mário Luiz Lopes Reiss	Folha: ÚNICA

