

---

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

---

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL  
PLANIMÉTRICA DE DADOS LIDAR EM DUAS ÁREAS  
URBANAS NO MUNICÍPIO DO RECIFE/PE**

**MIRELE VIEGAS DA SILVA**

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler**



**Dissertação de Mestrado**

**RECIFE, 2014**

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

**Mirele Viegas da Silva**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL PLANIMÉTRICA DE  
DADOS LIDAR EM DUAS ÁREAS URBANAS NO MUNICÍPIO DO  
RECIFE/PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação defendida no dia 04 de junho de 2014.

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler**

Recife

2014

Catálogo na fonte

Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S586a

Silva, Mirele Viegas da.

Avaliação da qualidade posicional planimétrica de dados Lidar em duas áreas urbanas no município do Recife/PE / Mirele Viegas da Silva. - Recife: O Autor, 2014.

xviii, 107 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2014.

Inclui Referências e Apêndices.

1. Ciências Geodésicas. 2. Laser Scanner. 3. LIDAR. 4. Qualidade de dados. 5. Estatística espacial. I. Schuler, Carlos Alberto Borba. (Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2014-152

**“AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL PLANIMÉTRICA DE DADOS LIDAR EM  
DUAS ÁREAS URBANAS NO MUNICÍPIO DO RECIFE/PE”.**

**POR**

**MIRELE VIEGAS DA SILVA**

**Dissertação defendida e aprovada em 04/06/2014.**

**Banca Examinadora:**

---

**Prof. Dr. CARLOS ALBERTO BORBA SCHULER**

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

---

**Profa. Dra. VERÔNICA MARIA COSTA ROMÃO**

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

---

**Prof. Dr. HERNANDE PEREIRA DA SILVA**

Departamento de Engenharia Agrícola- Universidade Federal Rural de Pernambuco

A Deus por ter me dado forças e condições de vencer os desafios. Aos meus pais pela vida, incentivo e por tudo que sempre fizeram por mim. Ao meu marido Júnior, pelo companheirismo, compreensão e amor dedicados a mim.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus por sua grandeza e amor incondicional. Obrigado por nunca desistir de mim, por me amparar em meus momentos tristes e me ajudar a perseverar até aqui.

Aos meus pais, Rosilda e Antônio, o incentivo e dedicação em todos os momentos de crescimento; principalmente, por me terem ensinado o caminho da perseverança.

Ao meu marido João Júnior, amigo, companheiro, amor da minha vida, por tudo que és e fazes por nós. Você foi fundamental nessa jornada.

À minha família pelo apoio incondicional.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler, por ter aceitado o desafio de me orientar, pela atenção desde o primeiro contato contribuindo para minha formação como Mestre.

Agradeço pelo apoio institucional recebido, sem o qual o estudo não teria tido êxito, ao Diretor de Geoinformações Tarcísio da Fonte Neves e ao Engenheiro Cartógrafo Aurélio Melo Júnior da Prefeitura da Cidade do Recife, pelo incentivo e apoio constante.

Aos amigos queridos do INCRA/BA, em especial, Miguel Pedro da Silva Neto, o apoio manifestado no dia a dia, sempre torcendo por mim ajudando em tudo que esteve ao seu alcance.

Aos amigos de mestrado em especial: Betânia Queiroz da Silva, Luciana Maria da Silva, Vanessa Costa Maranhão, Anderson Marcolino, André Sá de Oliveira, o auxílio, contribuição e amizade durante todo o mestrado; com

com vocês passei momentos encantadores de amizade e apoio nos momentos mais difíceis e angustiantes.

Aos amigos e colegas de mestrado, colegas de caminhada; com vocês passei momentos encantadores de aprendizado e amizade.

A todos os professores e funcionários do programa de pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Àqueles que, de uma maneira ou outra, colaboraram na execução desta dissertação.

***“Cada novo dia é uma chance para ser melhor. Não melhor que os outros. Melhor que nós mesmos.”***

***Carlos Hilsdorf***

## RESUMO

SILVA, Mirele Viegas. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL PLANIMÉTRICA DE DADOS LIDAR EM DUAS ÁREAS URBANAS NO MUNICÍPIO DO RECIFE/PE.** Recife, 2014, Centro de Tecnologias e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

O laser scanner aerotransportado, ALS (Airborne Laser Scanner), também conhecido como LIDAR (Light Detection and Ranging), consiste atualmente numa das tecnologias mais utilizadas para a aquisição de enormes volumes de dados num curto período de tempo. Essa tecnologia envolve a emissão de um pulso eletromagnético em direção à superfície tendo como produto as coordenadas plani-altimétricas e a intensidade do feixe refletido pelo objeto atingido. A posição tridimensional somente pode ser calculada, se em qualquer momento, a posição e orientação do sistema de laser se façam conhecidos com respeito a um sistema de coordenadas, isso é possível devido ao fato que o sistema dispõe de GPS (Global Positioning System)/GNSS (Global Navigation Satellite System) e INS (Inertial Navigation System), auxiliando diretamente no georreferenciamento das imagens e nuvens de pontos adquiridas. O conjunto de dados do laser scanner é uma alternativa poderosa para ser aplicado na otimização de técnicas de mapeamento fotogramétrico, permitindo um ótimo desempenho para extrair informação espacial tridimensional. A imagem fotogramétrica permite, por sua vez, a extração exata de feições planimétricas. Este trabalho descreve uma metodologia para avaliar feições planimétricas em áreas urbanas obtidas com a tecnologia *laser scanner* aerotransportado tendo, como objetivo, estudar a qualidade posicional planimétrica das feições pontuais em imagens provenientes do *laser scanner* (imagens de intensidade), através da comparação da saída de dados deste com os

dados provenientes do método fotogramétrico aéreo e topográfico. Na presente pesquisa, foi concentrada a detecção principalmente de feições planimétricas de telhados e arruamentos. O método de avaliação da acurácia foi baseado na análise de pontos e medidas de feições lineares obtidas com imagens de intensidade do sistema *laser scanner* comparadas com medidas obtidas em levantamento GNSS e restituição fotogramétrica de duas áreas localizada no Campus da Universidade Federal de Pernambuco e no bairro da Macaxeira, município de Recife/PE, avaliando de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais – PEC PCD.

Palavras chaves: *Laser scanner*, LIDAR, qualidade de dados, estatística espacial.

## ABSTRACT

SILVA, Mirele Viegas. **QUALITY ASSESSMENT POSITIONAL PLANIMETRIC LIDAR DATA IN TWO URBAN AREAS IN THE MUNICIPALITY OF RECIFE/PE**. Recife, 2014, Centro de Tecnologias e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

The airborne laser scanning, ALS ( Airborne Laser Scanner ) , also known as LIDAR ( Light Detection and Ranging ) , is currently one of the most used technologies for acquiring huge volumes of data in a short period of time . This technology involves the emission of an electromagnetic pulse toward the surface as a product having the plani - altimetric coordinates and intensity of the beam reflected by the object hit. The three-dimensional position can only be calculated if at any time the position and orientation of the laser system is to make known with respect to a coordinate system, this is possible due to the fact that the system features GPS ( Global Positioning System) / GNSS ( Global Navigation Satellite System ) and INS ( Inertial Navigation System) , directly assisting the georeferencing of images and point clouds acquired . The data set of the laser scanner is a powerful alternative to be applied in optimization techniques photogrammetric mapping , allowing optimum performance to extract three-dimensional spatial information . The photogrammetric image allows, in turn, the accurate extraction of planimetric features. This paper describes a methodology for assessing planimetric features in urban areas obtained with the airborne laser scanner technology with the objective to study the planimetric positional quality of point features in images from the laser scanner ( intensity images ) , by comparing the output this data with the data from the aerial topographic and photogrammetric method . In the present study, we concentrated mainly on the detection planimetric features of roofs and roads . The method of assessment of accuracy was based on the analysis of points and measurements of linear features images obtained with laser intensity scanner system compared with measurements obtained in GNSS surveying and photogrammetric restitution of two areas located on the

campus of the Federal University of Pernambuco and in the neighborhood Macaxeira of the municipality of Recife / PE, evaluating according to the Map Accuracy Standards for Digital Cartographic Products - PEC PCD .

Keywords: Laser scanner, LIDAR, data quality, spatial statistics.

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 01	Área 01: Resultados da comparação entre imagem ALS x pontos GNSS	60
Tabela 02	Área 02: Resultados da comparação entre imagem ALS x restituição planimétrica	61
Tabela 03	Área 01: Teste <i>t</i> de Student para a componente E das coordenadas	62
Tabela 04	Área 01: Teste <i>t</i> de Student para a componente N das coordenadas	62
Tabela 05	Área 01: Teste <i>t</i> de Student para a planimetria (resultante)	63
Tabela 06	Área 02: Teste <i>t</i> de Student para a componente E das coordenadas	63
Tabela 07	Área 02: Teste <i>t</i> de Student para a componente N das coordenadas	64
Tabela 08	Área 02: Teste <i>t</i> de Student para a planimetria (resultante)	64
Tabela 09	Área 01: Qui-quadrado para a componente E na escala 1:2000	65
Tabela 10	Área 01: Qui-quadrado para a componente N na escala 1:2000	65
Tabela 11	Área 01: Qui-quadrado para a resultante planimétrica na escala 1:2000	65
Tabela 12	Área 01: Qui-quadrado para a componente E na escala 1:1000	66
Tabela 13	Área 01: Qui-quadrado para a componente N na escala 1:1000	66
Tabela 14	Área 01: Qui-quadrado para a resultante planimétrica na escala 1:1000	66
Tabela 15	Área 02: Qui-quadrado para a componente E na escala 1:2000	67
Tabela 16	Área 02: Qui-quadrado para a componente N na escala 1:2000	67

Tabela 17	Área 02: Qui-quadrado para a resultante planimétrica na escala 1:2000	67
Tabela 18	Área 02: Qui-quadrado para a componente E na escala 1:1000	68
Tabela 19	Área 02: Qui-quadrado para a componente N na escala 1:1000	68
Tabela 20	Área 02: Qui-quadrado para a resultante planimétrica na escala 1:1000	68
Tabela 21	Acurácia especificada pelo fabricante x classificação dos dados segundo o PEC-PCD	71

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 01	Retornos de um pulso laser	26
Figura 02	<i>Funcionamento integrado</i>	27
Figura 03	<i>Imagem de Intensidade (trecho da articulação 90_39-00)</i>	31
Figura 04	<i>Imagem Hipsométrica (trecho da articulação 81_64-00)</i>	32
Figura 05	<i>Imagem de Composição</i>	32
Figura 06	<i>Mapa de localização da Área de Estudo 01: Campus da UFPE</i>	46
Figura 07	<i>Mapa de Localização da Área de Estudo 02: Bairro da Macaxeira – Recife/PE</i>	47
Figura 08	Perfilador laser ALTM GEMINI	48
Figura 09	Plano de voo gráfico laser	49
Figura 10	<i>Fluxograma das etapas para avaliação da acurácia posicional planimétrica de dados laser scanner aerotransportado</i>	52
Figura 11	Pontos levantados pela tecnologia GNSS	54
Figura 12	Pontos adquiridos sobre a imagem de composição: Campus/UFPE	54
Figura 13	Pontos adquiridos sobre a imagem de composição: Macaxeira –Recife/PE	56
Figura 14	Pontos adquiridos sobre os vetores de restituição estereofotogramétrica	56
Figura 15	Área de estudo 01 (pontos19): Ortofoto x Laser Scanner	61

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 01	Sistemas <i>Laser Scanner</i> Aerotransportados	34
Quadro 02	Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimetria dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD).	36
Quadro 03	Características do sistema ALS Gemini	48
Quadro 04	Discrepâncias referente à Área de Estudo 01	58
Quadro 05	Discrepâncias referente à Área de Estudo 02	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALS	<i>Airborne Laser Scanner</i>
CCD	<i>Charge-Coupled Device</i>
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico
EDM	<i>Electronic Distance Measurer</i>
EP	Erro Padrão
ET-ADGV	Especificações Técnicas – Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais
ET-PCDG	Especificações Técnicas – Produtos dos Conjuntos de Dados Geoespaciais
GLONASS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
INDE	<i>Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais</i>
INS	<i>Inertial Navigation System</i>
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
MASER	<i>Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
MTLS	<i>Mobile Terrestrial Laser Scanner</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PCD	Produtos Cartográficos Digitais
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfico
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RMS	<i>Root Mean Square Error</i>
SCN	Sistema Cartográfico Nacional

SMI	Sistemas de Medição Inercial
SIRGAS	<i>Sistema de Referência das Américas</i>
UTM	<i>Universal Transversa Mercator</i>

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>XV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA .....	21
1.2. HIPÓTESE .....	22
1.3. OBJETIVOS.....	22
1.3.1. <i>Objetivo Geral</i> .....	22
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	23
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	23
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>25</b>
2.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....	25
2.2. O SISTEMA A LASER AEROTRANSPORTADO (ALS).....	27
2.2.1. <i>Sistemas Estáticos</i> .....	30
2.2.2. <i>Sistemas Dinâmicos</i> .....	31
2.3. IMAGENS PROVENIENTES DE DADOS LASER SCANNER AEROTRANSPORTADO .....	32
2.4. SISTEMAS LASER SCANNER AEROTRANSPORTADOS COMERCIALIZADOS .....	35
2.5. PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA - PEC .....	37
2.6. QUALIDADE POSICIONAL DOS DADOS .....	39
2.6.1. <i>Análise Estatística para Controle de Qualidade de Documentos Cartográficos</i> .....	41
2.6.2. <i>Análise de Tendências</i> .....	41
2.6.3. <i>Avaliação da precisão</i> .....	43
2.6.3.1. Obtenção de Valores Resultantes .....	46
<b>3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>47</b>
3.1. RECOBRIMENTO AÉREO - PERFILAMENTO DO TERRENO A LASER .....	49
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>52</b>
4.1. MATERIAIS .....	52
4.2. MÉTODOS .....	52
4.2.1. <i>Seleção de dados nas imagens laser scanner e na base cartográfica</i> .....	55
4.2.1.1. Área de Estudo 01.....	55
4.2.1.2. Área de Estudo 02.....	57

4.2.2.	<i>Escolha e Distribuição da amostra</i> .....	59
4.2.3.	<i>Cálculo das Discrepâncias</i> .....	59
4.2.4.	<i>Análise de Tendência dos Dados</i> .....	61
4.2.5.	<i>Análise de precisão dos dados</i> .....	61
4.2.6.	<i>Análise da acurácia dos dados</i> .....	61
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>62</b>
5.1.	CÁLCULO DAS DISCREPÂNCIAS .....	62
5.1.1.	<i>Área de Estudo 01</i> .....	62
5.1.2.	<i>Área de Estudo 02</i> .....	63
5.2.	RESULTADO DA TENDÊNCIA DOS DADOS .....	64
5.2.1.	<i>Área de estudo 01</i> .....	64
5.2.2.	<i>Área de estudo 02</i> .....	65
5.3.	RESULTADO DA PRECISÃO DOS DADOS .....	66
5.4.	RESULTADO DA ACURÁCIA DOS DADOS .....	71
5.5.	RESULTADO DAS COMPARAÇÕES ÀS ACURÁCIAS ESPECIFICADAS PELO FABRICANTE DO SISTEMA ....	72
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>74</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>78</b>
	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>84</b>
	APÊNDICE 1 - MONOGRAFIAS DOS PONTOS LEVANTADOS PELA TECNOLOGIA GNSS .....	84
	APÊNDICE 2 – CÁLCULOS ESTATÍSTICOS UTILIZANDO A ESCALA 1:2000 COMO REFERÊNCIA (ÁREA 01) .....	104
	APÊNDICE 3 – CÁLCULOS ESTATÍSTICOS UTILIZANDO A ESCALA 1:2000 COMO REFERÊNCIA (ÁREA 02) .....	105
	APÊNDICE 4 – CÁLCULOS ESTATÍSTICOS UTILIZANDO A ESCALA 1:1000 COMO REFERÊNCIA (ÁREA 01) .....	106
	APÊNDICE 5 – CÁLCULOS ESTATÍSTICOS UTILIZANDO A ESCALA 1:1000 COMO REFERÊNCIA (ÁREA 02) .....	107

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema de *laser scanner*, também chamado de LIDAR (*Light Detection And Ranging*) é um sistema de sensoriamento remoto ativo que vem sendo gradativamente incorporado ao processo de mapeamento para representar o terreno (modelo digital de terreno) e as elevações contidas nele (modelo digital de superfície).

Seu princípio de funcionamento baseia-se na utilização de um pulso de laser que é disparado na direção da superfície. Ao atingir a superfície, parte do sinal emitido é refletida na direção do sensor. O sensor mede tanto a intensidade do sinal de retorno, como também o tempo decorrido desde o momento que o pulso laser é emitido até regressar depois de ser refletido pelo alvo. Este tempo é usado para calcular a distância sensor-objeto, sabendo que o pulso laser desloca-se à velocidade da luz (BALTSAVIAS, 1999 citado por CENTENO & MITSUTA, 2007).

Com base na distância entre o sensor e o objeto, a posição e a orientação de cada pulso emitido é determinada a posição tridimensional do local de onde o pulso refletiu, e após uma sequência de localizações de cada ponto de reflexão, é formada uma nuvem de pontos, atribuídas de coordenadas tridimensionais. Cada ponto, que forma a nuvem de pontos, é representado por suas coordenadas cartesianas (x, y, e z) e outros atributos como, por exemplo, valores de intensidade.

Segundo Jensen (2009), a localização tridimensional (x,y,z) do laser no espaço durante a varredura laser é obtida a partir da tecnologia de GPS Diferencial. O DGPS é baseado no uso de dois receptores GPS que registram, simultaneamente, a informação de posicionamento. Um dos receptores, estação-base terrestre tem suas coordenadas x, y, z bem definidas e registra sua posição durante a coleta de dados LIDAR. O segundo receptor GPS, localizado na aeronave, registra a posição da antena LIDAR durante aquisição de cada um dos pontos.

Os sistemas de Perfilamento a LASER, em geral, apresentam uma precisão altimétrica de 2 a 4 vezes melhor que a planimétrica. Esta relação é válida para terrenos com inclinação menor que 30%. Algumas pesquisas independentes dos fabricantes mostraram que conforme a inclinação do terreno e o tipo de cobertura (que prejudica a reflexão do pulso), esta relação pode ainda ser muito menor, principalmente pela deterioração altimétrica (BRANDALIZE, 2010). Em terrenos com inclinação superior a 30% e camada vegetal heterogênea e densa, a componente altimétrica deteriora de 0,5 a 1 m para 1.000 m de altura de voo (KRAUS et al, 1998).

Os fabricantes de sistemas de Perfilamento a LASER estabelecem como tolerâncias aceitáveis para a qualidade planimétrica dos pontos LASER, após processamento, valores na ordem de  $1/1.000 \times H$  a  $1/2.000 \times H$  onde H é a altura de voo. Assim, a qualidade planimétrica esperada para uma altura de voo de 750 m seria de 0,38 a 0,75 m e para uma altura de voo de 1.200 m, seria de 0,60 a 1,20 m., sendo estes valores válidos para 68% (1s) dos pontos testados (BALTSAVIAS, 1999a).

Devido ao campo de aplicação primário na geração de modelos digitais de terreno, a pesquisa sobre a precisão dos dados de laser scanner até agora tem sido focada sobre a componente altura das nuvens de pontos, no entanto, a precisão de coordenadas planimétricas torna-se tão importante quanto.

O aumento na quantidade de pontos por metro quadrado (10, 20, 50) na nuvem de pontos, obtidas por escaneamento a laser permite o mapeamento de contornos de construção, detecção de alterações, captura da geometria de diversos tipos de objetos, de pequenas ou grandes dimensões (elementos decorativos, edificações, centros urbanos), e modelagem tridimensional. Para este tipo de mapeamento, a análise de precisão planimétrica é altamente relevante.

De forma a verificar a acurácia posicional das medidas planimétricas, foi aplicado na pesquisa um método que compreende a confrontação, por meio de técnicas estatísticas, entre os resultados obtidos do emprego do referido sistema *laser scanner* e os resultados obtidos do emprego de GNSS e

restituição fotogramétrica. Tal confrontação se deu com base nas coordenadas planimétricas dos pontos extraídos das imagens laser scanner com as coordenadas planimétricas de levantamento GNSS e restituição fotogramétrica de áreas localizadas no Campus da UFPE e no bairro da Macaxeira, município de Recife –PE.

Em seguida, os valores foram avaliados segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD). Com tais resultados, pretende-se que os usuários de produtos cartográficos gerados a partir do emprego da técnica de *laser scanner* possam avaliar, com maior segurança e confiabilidade, a qualidade de tais produtos oriundos de dados *laser scanner* aerotransportado em áreas urbanas.

Para a área de estudo no campus da Universidade Federal de Pernambuco, considerando a escala 1: 2000, o conjunto de dados analisados obteve qualidade compatível com a classe B, ou seja, um PEC-PCD de 0,50m e para a escala 1:1000, qualidade compatível com a classe C, ou seja, 0,80m do PEC-PCD. Para a área de estudo no bairro da Macaxeira no município de Recife/PE, o conjunto de dados analisados obteve qualidade compatível com a escala 1:2000, classe A, ou seja um PEC de 0,56m. Considerando a escala 1:1000, classe B, ou seja, um PEC-PCD de 0,50m.

### **1.1. Justificativa da Pesquisa**

O crescimento acelerado da população nas últimas décadas e sua concentração nos espaços urbanos, somado à evolução das tecnologias de transporte e comunicação, ampliaram as áreas urbanizadas e sua abrangência. Isso alterou a paisagem trazendo diversos impactos que justificam estudos sobre a sua forma de expansão e organização no território. Assim, tornou-se imprescindível conhecer o espaço em que se vive de forma a dinamizar o planejamento, controle e desenvolvimento urbano.

Diferentes tecnologias fornecem subsídios para obtenção dessas informações, dentre elas está o sistema *laser scanner* aerotransportado.

A precisão dos dados de *laser scanner* aerotransportado tem sido muitas vezes especificada apenas em relação a componente altura. Os sistemas de aquisição desse sistema, no entanto, têm provocado um aumento acentuado na densidade de pontos adquiridos. Com base em conjuntos de dados de alta densidade, altura e precisão planimétrica dos dados são de igual importância. Nesse sentido, a avaliação da exatidão planimétrica dos dados e produtos derivados do *laser scanner* aerotransportado tem sido muitas vezes negligenciada.

Considerando a relação custo, eficácia, eficiência e precisão da tecnologia, as aplicações que utilizam dados LIDAR estão aumentando. A capacidade de fazer a utilização de dados LIDAR para a extração de feições é real, porém a acurácia posicional em termos de aplicação desses dados é o que será abordado nessa pesquisa, pois apesar dos progressos notáveis em tecnologia e processamento de dados LIDAR a intensidade LIDAR não coincide com as imagens produzidas por câmaras digitais.

## **1.2. Hipótese**

Esta pesquisa tem como interesse, a partir da avaliação das componentes planimétricas dos dados obtidos por *laser scanner* aerotransportado, mostrar o quanto os produtos do sistema LIDAR podem atender as tolerâncias estabelecidas pelo mapeamento convencional (PEC - PCD) quanto à qualidade planimétrica em áreas urbanas.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo Geral**

Avaliar a qualidade posicional planimétrica de um conjunto de dados *laser scanner* aerotransportado obtidos no município do Recife - PE obtidos

com o emprego da técnica de varredura *laser* (*laser scanner* aerotransportado) em áreas urbanas, tendo como embasamento suas principais características de funcionamento e operação e o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais – PEC-PCD (CONCAR, 2011).

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Utilizar indicadores de qualidade que permitam confrontar os resultados das avaliações com o PEC - PCD, bem como, classificar os produtos *laser scanner* disponibilizados segundo este padrão;
- Utilizar análise estatística de forma a verificar se os resultados das avaliações concordam com as especificações do fabricante do sistema avaliado.
- Verificar o comportamento da acurácia posicional dos produtos *laser scanner* nas feições pontuais quando é aplicada estatística espacial nas discrepâncias entre estes e um documento de referência.

### **1.4. Estrutura da Dissertação**

Esta pesquisa está dividida em 6 capítulos. O primeiro capítulo introduz à pesquisa, justificando-a e identificando os objetivos a serem alcançados para se fazer uma análise dos produtos do sensor *Laser Scanner* em áreas urbanas. O capítulo 2 trata da revisão da literatura onde são apresentados os conceitos fundamentais do *laser scanner* aerotransportado. Nele está descrito um breve histórico do sistema *laser scanner*, composição do sistema, sistemas comercializados, produtos gerados. Ainda no capítulo 2 detalham-se as ideias fundamentais de legislação cartográfica brasileira e qualidade de dados espaciais, em particular o Padrão de Exatidão Cartográfico – PEC-PCD.

No capítulo 3 são abordados os aspectos gerais das áreas de estudo, o Campus da Universidade Federal de Pernambuco e o bairro da Macaxeira, em Recife/PE.

No capítulo 4, descreve-se a metodologia aplicada, assim como os materiais e os métodos. No capítulo 5, os resultados e discussões do que se obteve e termos de acurácia posicional em relação à aplicação da estatística espacial. E finalmente no capítulo 6, as conclusões e recomendações.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

No presente capítulo apresentam-se os principais conceitos associados à revisão e ao desenvolvimento da pesquisa. De forma mais central são abordados os principais aspectos associados às ideias fundamentais do sistema a *laser* aerotransportado, conceituação, finalidades e importância para esta pesquisa.

### 2.1. Evolução Histórica

A utilização de *lasers* como instrumento de sensoriamento remoto tem uma história que retrocede mais de 30 anos. Charles Townes estabeleceu a teoria do *laser* em 1958 quando construiu o MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation, ou amplificação de microondas pela emissão estimulada de radiação). O MASER estimulava os fótons na frequência das micro-ondas, transformando o MASER numa fonte amplificadora de micro-ondas (MACHADO, 2006).

Theodore Maiman demonstrou o primeiro *laser* óptico, funcional, a base de rubi, em 1960. Foi desenvolvido para, inicialmente, medir o tempo gasto pela luz para se deslocar do transmissor *laser* até o alvo e retornar até o receptor *laser* (JENSEN, 2009).

A importância desse experimento não foi reconhecida imediatamente. Outros cientistas começaram a construir seus próprios *lasers* e rapidamente se descobriu que outros materiais, além do rubi, poderiam ser utilizados como emissor. E então, mais experimentos da era dos *lasers* nasceram (MACHADO, 2006).

Em meados dos anos 60 o *laser* começou a ser usado em levantamentos topográficos para a medição de distâncias, isto permitiu o desenvolvimento de aparelhos que produziam, de maneira manual, perfis, usados inicialmente em minas e em túneis.

As aplicações experimentais iniciais do *LIDAR* datam dos anos 1970 e 1980, mas a tecnologia foi introduzida para a comunidade de mapeamento somente na última década. Recentemente, a maturidade da tecnologia e também o rápido desenvolvimento dos sistemas de orientação direta GPS e IMU apoiando o *LIDAR* tem aumentado o potencial econômico do sistema baseado em LASER. Três períodos principais podem ser identificados com respeito às aplicações (TOTH & GREJNER-BRZEZINSKA, 2000).

Inicialmente, *LIDAR* foi quase que exclusivamente usado para explorações científicas, principalmente sob a supervisão da NASA. Com o aperfeiçoamento da tecnologia e queda nos preços, o *LIDAR* entrou no mercado comercial há aproximadamente uma década. Novas companhias foram fundadas para oferecer serviços para aplicações especiais como levantamento de linhas de transmissão. Operando com helicópteros ou com aviões, estes sistemas *LIDAR* tinham capacidades limitadas – a baixa altura de voo permitia somente mapeamento de corredores, embora a densidade da nuvem fosse bastante boa. Finalmente a terceira era de aplicações *LIDAR* chegou nos anos 1990 (TOTH & GREJNER-BRZEZINSKA, 2000).

No Brasil, o sistema de perfilamento a laser foi introduzido em 2001, e vem sendo utilizado principalmente na geração de Modelos Digitais da Superfície (MDS) e de Modelos Digitais do Terreno (MDT). Os dados podem mostrar detalhes como altura de árvores, mapas precisos de corredores lineares e contornos de edificações em áreas de risco, definição de volumes para a manutenção do cadastro imobiliário, bem como para a regularização e tributação apropriada. Aplicando esta tecnologia, combinada com outros produtos cartográficos, é possível a redução da intervenção humana na captação dos dados necessários para localização de construções clandestinas e determinação de altura de edificações (FALAT, 2008).

Laser scanner tem aumentado a sua eficiência de forma exponencial quando comparado ao estado da arte há dez anos. Mais dados podem ser adquiridos e maior precisão pode ser atingida graças aos avanços na tecnologia de sensor. O avanço da tecnologia aliado à acessibilidade ao

LIDAR permitiram que companhias de aerolevanteamento tradicional adquirissem o sistema e o integrasse então na produção de mapeamento.

## **2.2. O Sistema a Laser Aerotransportado (ALS)**

Segundo Huising (1998), apud Souza (2009) o sistema de varredura a laser aerotransportado é um sistema de sensoriamento remoto ativo composto por uma unidade de varredura a LASER (*Laser Scanner*), um receptor GPS/GNSS e um INS, integrados e montados sobre uma plataforma aérea.

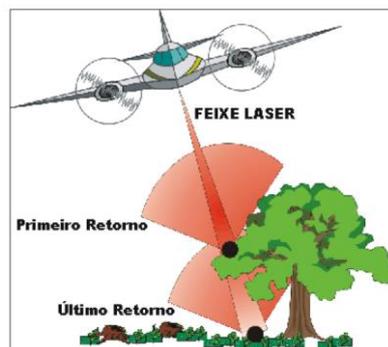
O princípio básico de funcionamento deste sistema é a obtenção de registros contínuos com coordenadas espaciais, as quais constituem os elementos primários para modelagem do terreno e geração de um mapa topográfico derivado destas informações.

A unidade de varredura LASER usa um feixe ótico de alta potência e bem direcionado, coerente no espaço e no tempo, para medir esta distância. Ela pode ser instalada em diferentes plataformas, tal como aeronaves e serve para medir a distância entre os objetos da superfície e o sensor. A determinação da posição do sensor no momento da medição de cada ponto é possível graças ao uso de um sistema de GPS diferencial (DGPS), encarregado de calcular a posição (X,Y,Z) da aeronave/sensor no espaço. Um segundo sistema de apoio, o sistema de navegação inercial (INS) é encarregado de calcular a inclinação do sensor nessas três direções (WERH E LOHR, 1999).

Os sistemas de varredura laser permitem registrar mais de um feixe refletido por pulso antes de emitir o próximo pulso laser, devido à rapidez com que o sinal viaja no espaço e ao tempo de funcionamento do dispositivo laser que o caracteriza como sistema de laser pulsado. Parte do feixe que atinge a superfície e é refletida por um determinado objeto (mais próximo), chega antes ao sensor e é registrado por ele como o primeiro retorno (ou eco) do pulso emitido, enquanto a parte do feixe que atinge a

superfície do terreno (mais distante) e que retorna ao sensor logo depois é registrado por ele como o último retorno daquele mesmo pulso. Este princípio encontra-se ilustrado na figura 01. Este sistema é instalado em uma plataforma aérea onde pulsos são disparados em direção ao terreno. Os pulsos são refletidos pelos objetos e parte do sinal emitido retorna ao sensor. Com base no tempo decorrido entre a emissão e o registro do retorno do sinal calcula-se a altimetria dos objetos (BALTSAVIAS, 1999).

Figura 01 – Retornos de um pulso Laser.

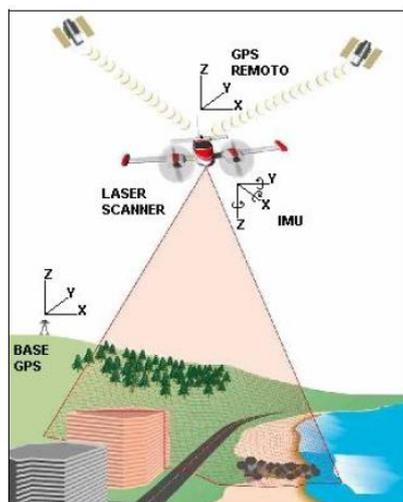


Fonte: Brandalize (2004)

O sistema LIDAR permite a separação dos pulsos emitidos de maneira a posicionar os objetos em seu topo e ao nível do terreno, respectivos e genericamente denominados primeiro retorno e último retorno possibilitando a construção do modelo digital de elevações (MDE) para o primeiro pulso e do modelo digital do terreno (MDT) para o último pulso.

O conjunto de medições de apoio, os dados do INS e do GPS diferencial são coletados e armazenados simultânea e paralelamente à medição da distância pelo sistema *LASER* (HUISING, 1998). Na etapa seguinte, os dados coletados são sincronizados e a posição exata de cada ponto é calculada determinando assim grades ou malhas regulares de pontos 3D georreferenciados (E, N, H). A figura 02 mostra o funcionamento integrado do sistema.

Figura 02 – Funcionamento integrado



Fonte: Brandalize (2004)

A varredura é feita no sentido transversal à direção de voo com um ângulo de abertura especificado pelo operador permitindo a determinação da largura de faixa abrangida pelo perfilamento a *laser*, enquanto o movimento da aeronave permite a cobertura na direção de voo (BRANDALIZE, 2010).

Os pulsos laser refletidos pelos objetos são coletadas pelo receptor e convertidos de sinal óptico para eletrônico. O tempo gasto para o feixe sair do receptor e refletir no objeto é medido e, baseado na velocidade conhecida da luz, determina-se a distância do sensor ao objeto.

Quanto maior a potência do pulso recebido, melhor a acurácia. Quanto menor a duração do pulso, maior a qualidade alcançada. De forma a garantir uma potência recebida satisfatória em voos altos, a potência emitida e a área de recepção devem ser aumentadas (SOUZA, 2009).

Outra característica marcante dos sistemas de Perfilagem a Laser mais modernos é a capacidade de registrar múltiplos retornos (máximo quatro) por pulso, a tecnologia também permite o registro da intensidade ou refletância de cada um destes retornos. Estes recursos permitem num processamento posterior que se faça a distinção de objetos acima do solo

(árvores, casas, postes, etc.), além da detecção de reflexões múltiplas oriundas de objetos pequenos como fios e cabos suspensos acima do solo.

Uma das infinitas aplicações do *laser scanner* aerotransportado é o mapeamento urbano, pois as informações altimétricas detalhadas, por ele fornecidas, permitem detectar mudanças do relevo ou da ocupação do terreno. Visto que o *laser scanner* permite também estimar a elevação dos objetos acima da superfície, seu potencial no uso de monitoramento da vegetação é promissor. Embora o *laser scanner* não permita uma detalhada descrição das características espectrais dos objetos, ele pode dar informações a respeito de sua altura e forma (MIQUELES & CENTENO, 2005). Há dois tipos de sistema de varredura a *laser*: estáticos e dinâmicos.

### **2.2.1. Sistemas Estáticos**

Os sistemas de varredura *laser* estáticos podem ser classificados em três grupos, em função de seu princípio de funcionamento: O primeiro grupo inclui aqueles baseados no princípio "time of flight" ou intervalo de tempo decorrido desde o instante da emissão do pulso até o instante do retorno do mesmo, ou seja, ele estima a distância através do tempo de retorno do pulso *laser*, emitindo milhares de pulsos por segundo (WUTKE, 2006).

O pulso é difusamente refletido pelo objeto e parte dele retorna ao sistema. O tempo ( $\Delta t$ ) que o sinal leva para ir do transmissor ao objeto e retornar ao sistema é medido. Com isso, calcula-se a distância ( $D$ ) sensor-objeto utilizando-se a velocidade da luz ( $c = 300 \times 10^3$  km/s). A constante  $\frac{1}{2}$  é utilizada, pois é considerado o tempo de ida e de volta do sinal (LICHTI E HARVEY, 2002).

No segundo grupo, estão os sistemas baseados no método de diferença de fase, onde a distância é calculada através da diferença de fase da onda modulada. Estes funcionam a partir da seguinte comprovação: a medida de diferença de fase, entre os sinais transmitidos e refletidos, da parte fracional do comprimento total, é menor que o valor da parte inteira do comprimento de onda modulada (MAIA, 1999).

Já o terceiro grupo, corresponde aos sistemas baseados no princípio da triangulação onde um pulso de *laser* é emitido pelo sistema e a luz refletida pelo objeto que retorna é registrada por uma ou mais câmaras digitais (sensores CCD's). 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 câmara por meio de um processo de calibração determina-se a posição dos pontos refletidos pelo objeto (DALMOLIN & SANTOS, 2004).

### **2.2.2. Sistemas Dinâmicos**

O sistema dinâmico utiliza um feixe ótico de alta potência e bem direcionado coerente no espaço e no tempo, para garantir a qualidade da medição da distância criando coordenadas com coordenadas x, y e z de diversos pontos sobre a superfície em um curto período de tempo (DALMOLIN & SANTOS, 2004).

O varredor *laser* é instalado em plataformas e serve para medir a distância entre os objetos na superfície e o sensor. A posição exata dos pontos no terreno e a qualidade dos mesmos é obtida com o auxílio de um sistema de posicionamento com precisão compatível. A posição do sensor no momento da medição de cada ponto é determinada mediante um sistema de GPS diferencial (DGPS), encarregado de obter a posição (X, Y, Z) do avião/sensor no espaço em intervalos fixos. Um segundo sistema de apoio, a unidade de medição inercial (SMI – Sistema de Medição Inercial) é encarregada de calcular a inclinação  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$  do sensor em torno dos eixos X, Y, Z em relação à XGPS, YGPS, ZGPS do sistema de posicionamento GPS (CENTENO, 2003).

A precisão do laser dinâmico é de  $\pm 10$  cm, por isso os sistemas de apoio devem ter uma precisão igual, ou melhor. Na prática, os sistemas possuem precisão menor que 10 cm (DGPS) e menor que  $0,02^\circ$  (SMI). Os dados do SMI e DGPS são medidos e armazenados simultânea e paralelamente à medição da distância pelo sistema *laser*. Ou seja, existir um

sincronismo entre SMI, GPS e *laser* é condição básica (DALMOLIN & SANTOS, 2004).

### **2.3. Imagens Provenientes de Dados *Laser Scanner* Aerotransportado**

Os produtos provenientes de dados *laser scanner* são as imagens de intensidade, hipsométrica e de composição. Para Falat (2008), a imagem de intensidade é uma imagem formada por uma matriz de pontos cujas posições são determinadas pelas suas coordenadas bidimensionais georreferenciadas (E, N). Em cada ponto é atribuído um valor de cor (normalmente numa escala de 256 tons de cinza) que corresponde à quantidade de luz *laser* refletida por cada ponto amostrado sobre a superfície do terreno.

A imagem de intensidade (figura 03) é formada a partir do valor de intensidade do sinal de retorno. Esse valor mede a amplitude de pico dos impulsos de retorno em que são refletidas a partir do alvo até o sensor LIDAR.

Dessa forma, a porcentagem de reflexão dos materiais presentes na superfície tem influência sobre a quantidade de pulsos que retornam ao sistema. Neste caso, a reflexão dos materiais depende basicamente da sensibilidade a determinados comprimentos de onda e das características desta superfície (GALVANIN & POZ, 2013).

Valores de intensidade são relativos e variam de acordo com as características dos objetos refletidos incluindo a altitude, as condições atmosféricas, as propriedades de refletância direcional, refletividade do alvo ou o quanto lisa ou rugosa a superfície é. Maior retorno de intensidades estão associados com suavidade, superfícies ásperas dispersam energia. Geralmente os objetos com refletividade elevada tais como telhados de metal apresentam um maior retorno de intensidade do que objetos escuros. Superfícies escuras absorvem mais da energia do *laser* enquanto superfícies mais ásperas resultam em intensidades de retorno menor. Em superfícies

impermeáveis é mais fácil extrair informações provenientes de imagens de intensidade devido ao contraste normalmente acentuado, sendo uma vantagem da análise de imagens baseadas em objetos.

Figura 03 – Imagem de intensidade (trecho da articulação 90\_39-00)

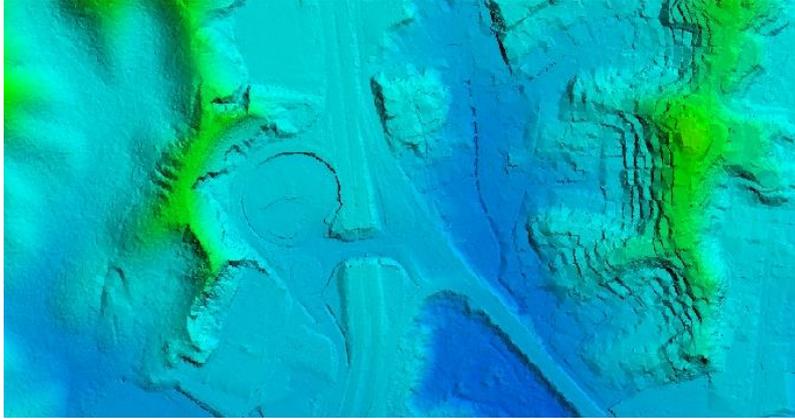


Fonte: Prefeitura da Cidade do Recife (2013)

O resultado se assemelha a uma fotografia P&B, no entanto, no caso de valor de intensidade LIDAR, o valor de um *pixel* particular na imagem corresponde à refletividade da superfície no comprimento de onda do *laser*.

A imagem hipsométrica é uma imagem que tem como principal objetivo representar as diferenças altimétricas entre as feições, a partir de uma escala de cores correlacionadas às diferenças altimétricas.

Figura 04 – Imagem hipsométrica (trecho da articulação 81\_64-00)



Fonte: Prefeitura da Cidade do Recife (2013)

A imagem de composição (figura 05) por sua vez é a fusão das imagens de intensidade e hipsométrica. Esta imagem é de visualização mais agradável que as imagens isoladas que a compõem, uma vez que os detalhes aparecem realçados.

Figura 05 – Imagem de Composição



Fonte: Prefeitura da Cidade do Recife (2013)

O processo de obtenção das imagens *Laser* (Intensidade, Hipsometria e Composição) para a extração planimétrica dos pontos de apoio são ortorretificadas, tanto no nível do solo como no nível das edificações, já que o sistema laser levanta pontos diretos no terreno e com coordenadas tridimensionais.

Assim, no processamento das imagens cada *pixel* tem uma coordenada que representa uma porção real do terreno que é ortorretificado, resultando numa ortoimagem (MARTINS & MITISHITA, 2007).

A melhor qualidade das imagens geradas a partir dos pontos do levantamento *LASER* se dá em função da emissão da quantidade de pulsos por segundo através do sensor. Com isso, obtem-se uma densidade maior de pontos no terreno. Quanto maior a densidade de pontos melhor será a qualidade das imagens geradas e melhor o delineamento do terreno (FILHO, 2007).

#### **2.4. Sistemas Laser Scanner Aerotransportados Comercializados**

Martin Flood vem mantendo, desde 1977, através do site "airbornelasermapping.com", um levantamento dos sistemas ALS em operação no mundo (fabricantes, modelos, aplicações, entre outros). Este levantamento tem por objetivo traçar um perfil do emprego da técnica ALS no mercado cartográfico mundial. Os dados incluem apenas os sistemas proprietários utilizados comercialmente.

De acordo com dados compilados por Flood, três fabricantes dominam o mercado mundial: a Optech Inc. (Canadá), com 49% dos sistemas comercializados; a Leica Geosystems (Suíça), com 19%; e, a TopEye AB (Suécia), com 8%. A Leica Geosystems fez sua estréia no mercado dos sistemas ALS somente em abril de 2001, quando adquiriu a Azimuth Corporation (USA) e passou a fabricar e distribuir o sensor AeroScan, relançado como ALS40 (BRANDALIZE, 2003).

Segundo Pirotti, Guarnieri e Vettore (2013), os sistemas ALS atualmente disponíveis no mercado mundial, assim como seus respectivos fabricantes, encontram-se apresentados no quadro 01 criado a partir de informações obtidas dos referidos fabricantes de sistemas ALS, apresenta algumas das características mais marcantes dos modelos apresentados.

QUADRO 01 – Sistemas Laser Scanner Aerotransportados

Informações do sensor		Características do Pulso Laser								Precisão e Resolução		
Empresa e Modelo	Data de Introdução ou Atualização	Comprimento de onda [nm]	Comprimento de pulso [ns]	Divergência do feixe [mrad]	Método de digitalização Varredura de frequência [Hz]	Frequência de pulso # (min-max) [kHz]	Max. varredura angular (FOV) [graus]	Max. ecos / pulso de onda (Y / N)	Frequência de amostragem de pulso	Precisão apontador (rotação / inclinação / título) [MDEG]	Precisão elevação de 1 km ( $\sigma$ ) [cm]	Precisão planimétrica de 1 km ( $\sigma$ ) [cm]
IGI mbH LiteMapper 2400	2010	905	8	2.7	1 29	30	60 - 80	1 N	-	8 / 8 / 15	< 7	< 7
IGI mbH LiteMapper 5600	2010	1550	3	0.3	1 10 - 160	240	60	$\infty$ Y	1 GHz	3 / 3 / 7	< 7	< 7
IGI mbH LiteMapper 6800	2010	1550	3	0.3	1 10 - 200	400	60	$\infty$ Y	1 GHz	3 / 3 / 7	< 7	< 7
Optech ALTM Gemini	2006	1064	7 ns	0.8/0. 25 l/e	2 70	167	50	4 Y(opt.)	<2.0 m	2.5 / 2.5 /5	<10	35
Optech ALTM Orion M/C	2008	1064	<7 ns	0.25 l/e	2 70 / 90	200	50	4 Y(opt.)	<0.7 m	5 / 5 / 8	<10	15/2 5
Optech ALTM Pegasus HD500	2011	1064	<7 ns	0.25 l/e	2 140	500	65	4 Y(opt.)	<1.0 m	5 / 5 / 8	<10	20
RIEGL VQ- 580	2010	1064	3 ns	0.2 mrad	1 10 - 100	50 - 300	60	$\infty$ Y(online)			3 - 5	3 - 5
RIEGL LMS-Q680i	2010	1550	3 ns	<0.5 mrad	1 10 - 200	80 - 400	60	$\infty$ Y(offline)	1 GHz		2 - 4	3 - 4

Fonte: Pirotti, Guarnieri e Vettore (2013)

## **2.5. Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC**

Para classificar a qualidade de um determinado produto cartográfico criou-se o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), dividido em 3 classes: A, B e C, descrito do Decreto-lei nº 89817, de 20 de junho de 1984, o qual 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.

O PEC é obrigatório e deve ser empregado por todas as entidades públicas e privadas, produtoras e usuárias de serviços cartográficos ou de natureza cartográfica e de atividades correlatas do Brasil. No entanto, o referido padrão, possui limitações. Com a evolução tecnológica e dos processos para aquisição de dados espaciais vetoriais vários erros inerentes à elaboração de produtos cartográficos foram reduzidos ou mesmo suprimidos. Contudo outros, em menor número, foram criados.

A produção cartográfica atual sinaliza que é necessário efetuar uma análise, com o objetivo de definir novos padrões para a aceitabilidade da qualidade dos produtos cartográficos digitais.

A DSG está elaborando as novas Especificações Técnicas relativas aos Produtos dos Conjuntos de Dados Geoespaciais Vetoriais. Estas especificações definem os padrões de qualidade de cada tipo de produto, entre os quais, os padrões de acurácia e precisão sugeridos para os dados geoespaciais vetoriais, produzidos para o Sistema Cartográfico Nacional, e por consequência, para a INDE-Brasil.

Os padrões de precisão e acurácia definidos no trabalho de pesquisa da ET-PCDGV serão propostos para os produtos digitais, complementando aqueles estabelecidos no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. A nova especificação técnica cria um novo indicador estatístico, o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais – PEC-PCD. Este

indicador continua a ser calculado pelo produto do desvio padrão e a constante 1,6449 e num nível de confiança de 90%.

A norma torna-se mais rigorosa com os valores do PEC-PCD, inclusive criando uma nova classe de acurácia, sendo agora os produtos cartográficos classificados nas classes A, B, C e D (PEREIRA & NERO, 2012).

Portanto, para avaliar um produto cartográfico digital de acordo com a ET-ADGV, é necessário calcular o PEC-PCD e comparar com o valor correspondente à escala do produto. Esse padrão preliminar tem 4 classes (A, B, C e D) com valores de precisão e acurácia apresentados no quadro 02 a seguir:

Quadro 02 – Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimetria dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD).

PEC-PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1: 10.000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
<b>A</b>	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70
<b>B</b>	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00
<b>C</b>	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00
<b>D</b>	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00

Fonte: Pereira & Nero (2012)

No quadro 02, o PEC-PCD Planimétrico e o EP das classes B, C e D correspondem, nessa ordem, as classes A, B, C do PEC Planimétrico previstas no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. A Classe A tem um PEC de 0,28 mm, na escala da carta, sendo de 0,17mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente. A Classe B tem um PEC de 0,5 mm, na escala da carta, sendo de 0,3 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente. A Classe C tem PEC de 0,8 mm na escala da carta, sendo de 0,5 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente e a Classe D tem um Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 1,0 mm na escala da carta, sendo de 0,6 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.

O PEC Planimétrico expressa diferentes categorias de classificação dos produtos de natureza cartográfica (por meio de sua acurácia e precisão) e está relacionado à qualidade planimétrica destes (BRANDALIZE, 2004).

## 2.6. Qualidade Posicional dos Dados

Segundo Ariza (2002) entende-se por qualidade a propriedade ou conjunto de propriedades inerentes a uma coisa, que permite apreciá-la como igual, melhor ou pior que as restantes de sua espécie.

Em informações espaciais, a componente posicional é uma das mais estudadas e importantes no controle de qualidade. A acurácia posicional de um dado espacial é realizada comparando, estatisticamente, o posicionamento horizontal e vertical deste dado em relação à posição mais provável no terreno (obtida de um produto ou método mais acurado que o original).

De acordo com a CONCAR (2011), para que um produto digital possa ser aceito como produto de Referência do SCN, e conseqüentemente para a INDE, a exemplo do previsto para o PEC (produtos impressos em papel), noventa por cento (90% ou  $1,6449 \cdot EP$ ) dos erros dos pontos coletados no produto cartográfico, quando comparados com as suas coordenadas levantadas em campo, devem apresentar os valores iguais ou inferiores aos previstos ao PEC-PCD, devendo ainda apresentar os valores de EP (Erros Padrões) também iguais, ou inferiores, aos previstos nas tabelas deste tópico.

O conjunto de pontos obtidos pelo Laser Scanner, denominado nuvem de pontos, é denso e contém uma elevada quantidade de pontos. Porém, estes pontos não correspondem apenas ao terreno, eles correspondem também a edificações e ao topo da vegetação. Alguns pontos, dependendo da regulagem do sensor, conseguem penetrar na vegetação e podem dar uma noção da topografia em áreas cobertas por vegetação. Em áreas urbanas, onde predominam os telhados, que são sólidos, pontos no terreno ocorrem apenas nas ruas ou pátios. O problema central, na produção de modelos digitais do terreno em áreas urbanas, é separar os pontos correspondentes ao terreno daqueles originados em construções e árvores (CENTENO, KISHI E MITISHITA, 2009).

Outra problemática é a dificuldade em detectar e comparar elementos planimétricos com produtos cartográficos de referência, pois os

produtos acima mencionados não constam com uma metodologia própria para classificação de qualidade cartográfica (SOUZA, 2009). Ou seja, não existe uma especificação técnica ou padronização que determine a metodologia e os padrões de classificação de qualidade para cada produto cartográfico gerado.

Schäfer (2004) trata da aplicação de produtos fotogramétricos e do sensor *laser scanner* em projetos rodoviários, com o emprego de algoritmos de filtragem e classificação dos pontos *LASER*, não sendo estes suficientemente eficientes a ponto de apresentar resultados aceitáveis apenas através de classificação automática. A edição manual com auxílio de imagens (mosaico de ortofotos e imagem de intensidade laser) foi essencial para aumentar a qualidade da filtragem e da classificação da nuvem de pontos *laser*.

Além disso, é importante salientar que a boa qualidade do produto final depende da metodologia cartográfica e dos cuidados tomados nas diversas etapas. Um dos fatores cruciais é a especificação técnica adequada no momento da contratação e obtenção dos produtos (NERO, 2005), onde esta deve orientar a elaboração do produto final de forma a que seja possível o atendimento a precisão requerida para o produto final.

No caso específico de erros que podem ser ocasionados para os produtos oriundos do sistema *laser scanner* aerotransportado estão a distribuição de pontos em torno do contorno do objeto, bem como a precisão da localização dos pontos *laser*. A precisão da localização dos pontos de *laser* depende dos erros sistemáticos e estocásticos no GPS, IMU, espelho ângulos e medidas de alcance. No entanto, nesta pesquisa não foram considerados os erros inerentes à fase de aquisição de dados se levou em conta, somente a classificação que lhes foi imputada a fim de atender o que determinam as normas consideradas.

### 2.6.1. Análise Estatística para Controle de Qualidade de Documentos Cartográficos

A análise estatística da exatidão cartográfica planimétrica segundo Merchant (1982) é composta de duas fases, que são a análise de tendências (erros sistemáticos) e análise de precisão. Tais procedimentos são baseados na realização de testes de hipótese sobre a média e desvio padrão amostrais das discrepâncias observadas em cada uma das coordenadas planimétricas.

### 2.6.2. Análise de Tendências

Para analisar se um dado é tendencioso pode-se realizar o teste t de *Student* e o teste Z. De acordo com Montgomery & Runger (2008), para uma amostra menor que trinta elementos o teste t de *Student* é indicado. Já para amostra com mais de trinta elementos o recomendado é o teste Z.

Para analisar se um dado é tendencioso utilizam-se as discrepâncias entre as coordenadas do dado que se quer avaliar e do dado de referência (considerando este ser mais acurado do que o dado que se quer avaliar) como amostras para o teste de hipótese. É verificado se a média das discrepâncias pode ser considerada estatisticamente igual à zero (nula), ou seja, se a amostra está livre de tendência. Então as hipóteses a serem avaliadas são as seguintes:

$$H_0: \mu_{\Delta X} = 0 \quad (1)$$

versus

$$H_1: \mu_{\Delta X} \neq 0$$

No caso de coordenadas planimétricas:

Para a Coordenada N (Norte):

Hipóteses:

$$\begin{aligned} H_0: \mu_{\Delta N} &= 0 && \text{versus} && (2) \\ H_1: \mu_{\Delta N} &\neq 0 \end{aligned}$$

$H_0$ : Se  $\mu_{\Delta N} = 0$ , então N não é tendencioso.

$H_1$ : Se  $\mu_{\Delta N} \neq 0$ , então N é tendencioso.

Para a coordenada E (Leste):

Hipóteses

$$\begin{aligned} H_0: \mu_{\Delta E} &= 0 && (3) \\ H_1: \mu_{\Delta E} &\neq 0 \end{aligned}$$

$H_0$ : Se  $\mu_{\Delta E} = 0$ , então E não é tendencioso.

$H_1$ : Se  $\mu_{\Delta E} \neq 0$ , então E é tendencioso.

A média, bem como o desvio padrão das discrepâncias amostrais devem ser estimadas por:

$$\mu_{\Delta X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad (4)$$

$$\sigma_{\Delta X} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \Delta \bar{X})^2} \quad (5)$$

Onde:

$$\Delta X_i = X_i - X_i^r \quad (6)$$

Sabendo-se que  $\Delta X_i$  são as discrepâncias entre as coordenadas  $X_i$  observadas no documento cartográfico que se quer analisar e as referidas coordenadas de referência  $X_i^r$ , calculadas para cada ponto "i",  $\Delta \bar{X}$  é a média dos resíduos da amostra e n o tamanho da amostra.

Onde, para as coordenadas planimétricas,  $\sigma_{\Delta N}$  e  $\sigma_{\Delta E}$  correspondem aos desvios-padrão das discrepâncias nas direções N e E, sendo obtidos das fórmulas:

$$\sigma_{\Delta E} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\Delta E_i - \Delta \bar{E})^2} \quad (7)$$

$$\sigma_{\Delta N} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\Delta N_i - \Delta \bar{N})^2} \quad (8)$$

O teste de t de *Student* é aplicado observando um nível de confiança  $(1-\alpha)$  igual a 90% ( $\alpha = 0,10$ ) e é dada por:

$$t_X = \frac{\mu_{\Delta X} \cdot \sqrt{n}}{\sigma_{\Delta X}} \quad (9)$$

No caso das coordenadas planimétricas, os valores de t para as coordenadas N e E são calculados por meio das seguintes equações:

$$t_E = \frac{\mu_{\Delta E} \cdot \sqrt{n}}{\sigma_{\Delta E}} \quad (10)$$

$$t_N = \frac{\mu_{\Delta N} \cdot \sqrt{n}}{\sigma_{\Delta N}} \quad (11)$$

A partir do número de pontos coletados, obtém-se um valor limite t  $n-1, \alpha/2$ , obtido por meio de tabela bilateral. Dessa forma se o valor absoluto calculado for menor que o tabelado, a imagem estará livre de erros sistemáticos. Ou seja:

$$|t_X| < t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})} \quad (12)$$

### 2.6.3. Avaliação da precisão

A INDE apresenta para o controle de qualidade posicional como deve ser realizada a avaliação do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfico) a partir de testes de duas condições: a primeira é se 90% dos pontos quando testados são menores ou iguais ao valor do PEC; a segunda é se o erro médio quadrático ou desvio padrão da amostra de teste é menor ou igual

ao valor do erro-padrão (EP) da norma. Se as duas condições forem verdadeiras, o produto cartográfico é classificado de acordo com a classe e a escala testada. Se uma das duas condições falhar, o produto não é classificado para a classe e escala de teste.

Para Nero (2005), o limite de 90% para variáveis unidimensionais é  $Z=1,6449$  na curva normal, atendendo a norma brasileira onde o  $PEC=1,6449*EP$  e 90% dos pontos quando testados não devem apresentar erro superior ao valor do PEC.

No caso de uma variável bidimensional, o valor de comparação deveria ser  $PEC = 2,146*EP$ , correspondendo a  $Z=2,146$ , que é o valor do volume abaixo da superfície normal, correspondendo a 90% de probabilidade (Nero, 2005). O autor mostra que o limite para os 10% dos pontos rejeitados deve ser  $3*EP$ .

A análise da precisão consiste em verificar, a partir de amostras de discrepâncias se o valor do desvio-padrão populacional estimado é estatisticamente menor do que o valor limite admissível em precisão de acordo com o PEC. Para isso, é realizado o teste do Qui-Quadrado, pois este possibilita estimar, dentro dos limites de confiança, o desvio-padrão populacional, a partir do desvio-padrão amostral (SPIEGEL, 1994).

O teste estatístico é realizado comparando-se o desvio-padrão obtido da amostra dos resíduos com o Erro-Padrão esperado da classe do PEC almejado.

O teste de hipótese a ser comparado para validação da precisão é o seguinte:

$$H_0: \sigma_{\Delta X}^2 \leq \sigma_{PEC}^2$$

versus

(13)

$$H_1: \sigma_{\Delta X}^2 > \sigma_{PEC}^2$$

O desvio-padrão final é obtido a partir das coordenadas nas direções N e E ( $\sigma_{\Delta N}$  e  $\sigma_{\Delta E}$ ) conforme Equações 7 e 8.

Desta forma, para a coordenada N:

$$H_0: \sigma_{\Delta N}^2 \leq \sigma_{\text{PEC}(\Delta N)}^2$$

versus

$$H_1: \sigma_{\Delta N}^2 > \sigma_{\text{PEC}(\Delta N)}^2 \tag{14}$$

Para a coordenada E:

$$H_0: \sigma_{\Delta E}^2 \leq \sigma_{\text{PEC}(\Delta E)}^2$$

versus

$$H_1: \sigma_{\Delta E}^2 > \sigma_{\text{PEC}(\Delta E)}^2 \tag{15}$$

O Erro Padrão Planimétrico (EPP) é estabelecido a partir da qualidade exigida para o documento cartográfico final, segundo a classe, e:

$$\sigma_{\text{PEC}(\Delta N)} = \sigma_{\text{PEC}(\Delta E)} = \text{EPP}/\sqrt{2} \tag{16}$$

Com isto, queremos verificar se a variância amostral é considerada menor ou igual à variância referente à classe do PEC requerida, com 90% de confiabilidade.

Utilizando as variâncias amostral e populacional (variância esperada), a estatística pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$X_{calc}^2 = \frac{(N-1)\sigma_{\Delta X}^2}{\sigma_{\text{PEC}}^2} \tag{17}$$

Onde,  $\sigma_{\Delta X}^2$  é o quadrado do desvio-padrão (variância) das discrepâncias da amostra,  $\sigma_{\text{PEC}}^2$  é o quadrado do Erro-Padrão – EP (variância) aceitável, inerente à classe do PEC e N é o tamanho da amostra.

A partir da amostra (coordenadas observadas N e E) depois de calculados os respectivos desvios-padrão, calculam-se os valores calculados do qui-quadrados nas direções N e E:

$$X_{calcN,n-1}^2 = \frac{(N-1)\sigma_{\Delta N}^2}{\sigma_{PEC(\Delta N)}} \quad (18)$$

$$X_{calcE,n-1}^2 = \frac{(N-1)\sigma_{\Delta E}^2}{\sigma_{PEC(\Delta E)}} \quad (19)$$

O intervalo de confiança condicionante à aceitação da hipótese  $H_0$  é:

$$X_{calc}^2 \leq X_{(N-1,\alpha)}^2 \quad (20)$$

Se  $X_{calcE,n-1}^2 < X_{(N-1,\alpha)}^2$  então o documento cartográfico atende à precisão na direção E, sendo que a mesma análise deve ser efetuada para as coordenadas na direção N da mesma maneira onde o valor de  $X_{calcN,n-1}^2$  ser  $< X_{(N-1,\alpha)}^2$ .

Portanto, para uma determinada escala, a imagem será classificada com a classe A, B, C ou D em função dos resultados obtidos nos testes de precisão.

Segundo Vieira & Genro (2011), como o PEC trata apenas de um valor modular resultante, desconsiderando suas componentes e orientação, a validação deve ser baseada no módulo resultante das diferenças nas componentes E e N (X e Y ou Long e Lat), embora não se despreze a análise por componente, visando a estratificação de uma possível tendência encontrada.

### 2.6.3.1. Obtenção de Valores Resultantes

Para cada ponto de teste, deve-se calcular a diferença entre o ponto no documento cartográfico e o respectivo referencial de campo, para cada uma das coordenadas E e N, equivalentes a um  $\Delta E$  e um  $\Delta N$  para cada ponto. A partir destas diferenças mencionadas, calcula-se a média aritmética de cada uma delas:  $\Delta \bar{E}$  e  $\Delta \bar{N}$ .

O módulo do resultante é obtido com o cálculo da média das diferenças na planimetria  $\Delta\bar{P}$ , a partir da média das diferenças em N ( $\Delta\bar{N}$ ) e da média das diferenças em E ( $\Delta\bar{E}$ ), como mostra a fórmula abaixo:

$$\Delta\bar{P} = \sqrt{\Delta\bar{N}^2 + \Delta\bar{E}^2} \quad (21)$$

De acordo com Gemael (1994) o desvio-padrão da média das diferenças na planimetria ( $\sigma_{\Delta\bar{P}}$ ) é calculado a partir da Lei de Propagação das Variâncias de  $\Delta\bar{E}$  e  $\Delta\bar{N}$ , segundo a equação 22:

$$\sigma_{\Delta\bar{P}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta\bar{N}}{\sqrt{\Delta\bar{N}^2 + \Delta\bar{E}^2}}\right)^2 \cdot \sigma_{\Delta\bar{N}}^2 + \left(\frac{\Delta\bar{E}}{\sqrt{\Delta\bar{N}^2 + \Delta\bar{E}^2}}\right)^2 \cdot \sigma_{\Delta\bar{E}}^2} \quad (22)$$

### 3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Recife, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), dados do censo de 2010, conta com uma população de 1.537.704 habitantes e apresenta uma superfície territorial de 218,498 km<sup>2</sup>, com 7.037,6 hab./km<sup>2</sup>. Limitando-se ao norte com as cidades de Olinda e Paulista, ao sul com o município de Jaboatão dos Guararapes, a oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe, e a leste com o Oceano Atlântico.

As áreas de estudo estão localizadas na Cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco. A Cidade do Recife está situada na porção leste do território pernambucano, banhado pelo Oceano Atlântico e banhado pelos rios Beberibe e Capibaribe. Foram escolhidas duas áreas com características distintas em relação ao relevo, uma plana, outra acidentada.

A área de estudo 01 tem superfície do terreno predominantemente plana, com média densidade da cobertura vegetal com predominância de edificações.

A Figura 06 apresenta um mapa de localização do Campus Universitário da UFPE, cidade do município de Recife no estado de Pernambuco, a ampliação da área onde se encontra a folha da articulação





Figura 08 - Perfilador Laser ALTM GEMINI



Fonte: Relatório de Atividades (ENGEFOTO, 2013)

As características do sistema ALS Gemini se encontram resumidas no quadro 03 abaixo:

Quadro 03 – Características do sistema ALS Gemini

	PARÂMETRO	VALOR
SCANNER	Ângulo de Varredura (FOV)	Variável de 0° a ±50° (Máximo)
	Frequência de Varredura	Máxima de 70 Hz
	Padrão de Varredura	Dente de Serra
LASER	Tipo	ALTM Gemini
	Classificação	Class IV (Conforme padrão FDA 21 CFR - EUA)
	Divergência de feixe	Dupla: 0.25 mrad (1/e) and 0.8 mrad(1/e), nominal
	Distância segura para os olhos	150 m AGL, nominal
	Alcance máximo	4000 m AGL, nominal
	Frequência de Pulsos Laser (PRF)	Programável: 33-167 kHz
POS	Receptor GPS	BD960 GNSS receiver (GPS and GLONASS)
	IMU	POS AV 510 OEM
CONTROLE	Armazenamento de Dados	Discos rígidos SCSI
	Requisitos de potência	28V, 35A (Pico)
	Temperatura Operacional	Rack: +10° to +35°C, Sensor -10° to +35°C
	Umidade	0-95 sem condensação
	Acurácia de Roll e Pitch	±5°
PRECISÃO	Acurácia Vertical (Elevação)	< 5 - 30 cm; 1 s
	Acurácia Horizontal (Posição 2D)	1/5500 x altitude (m AGL); 1 s

Fonte: Relatório de atividades (ENGEFOTO, 2013)

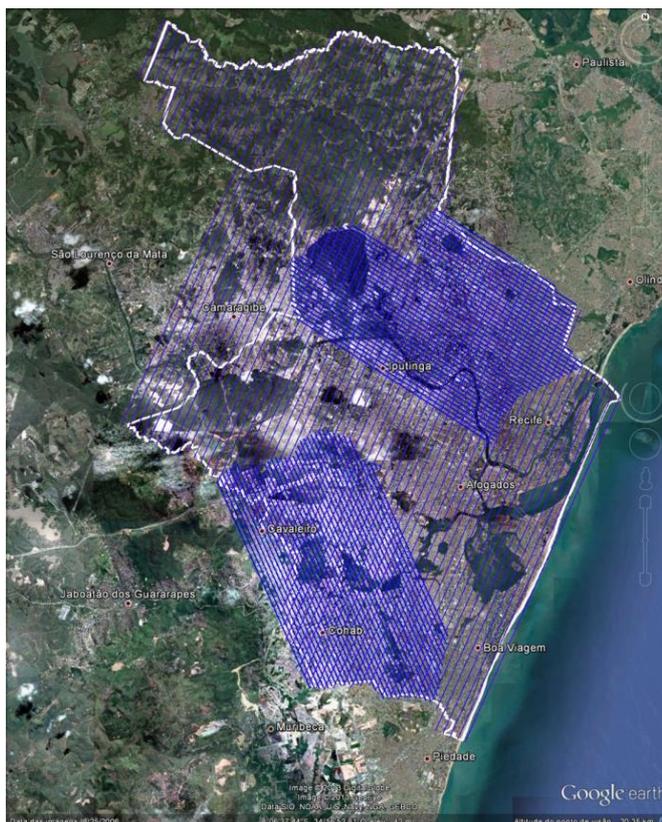
No planejamento para a execução da etapa de recobrimento aéreo laser foram elaborados os planos de voos gráficos e analíticos. De acordo

com o Relatório de Atividades da empresa contratada, foram utilizados os seguintes parâmetros para o recobrimento segundo o sistema ALS:

- Altura de voo: 600 metros
- Ângulo de abertura (FOV): 20°;
- Superposição lateral (entre faixas): Min 30%
- Número de faixas: 137;
- Densidade de pontos MDE (média): 5,51/m<sup>2</sup>.

A figura 09 a seguir mostra o plano de voo gráfico executado. Pode-se observar que nas áreas mais densas o perfilamento a *laser* foi executado no sentido E – W e N- S. Como especifica Termo de Referência em Edital, necessário para que não haja sombras *laser*.

Figura 09 – Plano de voo gráfico *laser*



Fonte: Relatório de Atividades (ENGEFOTO, 2013)

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Das áreas de estudo se tem a nuvem de pontos resultante do processamento relativo a um levantamento realizado no ano de 2013, de propriedade da empresa vencedora da licitação, ENGEFOTO e da Prefeitura do Recife, as respectivas imagens de intensidade, hipsométrica e de composição georreferenciadas, ortofotos digitais coloridas georreferenciadas geradas a partir de voo fotogramétrico 1:6.000 realizado em 2006/2007, assim como a restituição planimétrica do ano de 2007 da área em questão.

A seguir são apresentados os materiais utilizados e os métodos.

### 4.1. Materiais

Este estudo foi desenvolvido a partir dos seguintes materiais:

- Restituição planimétrica, na escala 1:1000 do ano de 2007;
- Imagens de Intensidade e de Composição obtidas a partir do processamento dos dados laser aerotransportado do ano de 2013;
- Levantamento GNSS executado pelo Instituto Tecnológico de Pernambuco;
- Utilização do softwares ArcGis® para elaboração de dados em formato *Shapefile* (*ArcCatalog: ArcInfo*), interpretação de feições cartográficas, elaboração de mapas temáticos, construção de um Banco de Dados Espaciais.

### 4.2. Métodos

A organização dos dados da área de estudo foi o suporte inicial para a definição da metodologia adotada, imagem de intensidade e de

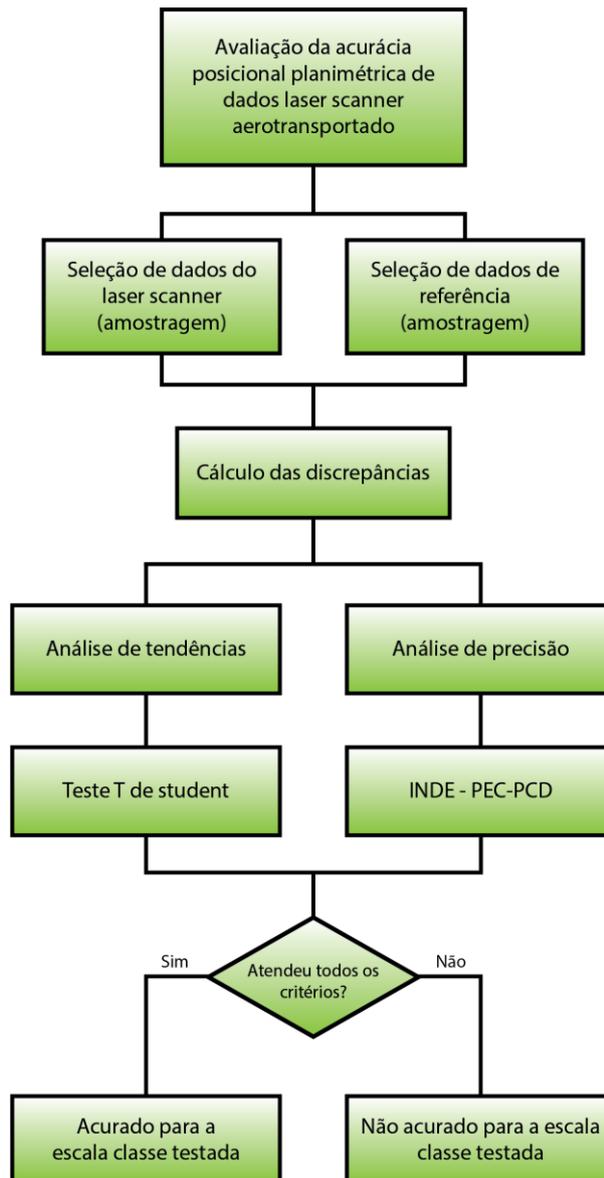
composição, além dos dados do levantamento GNSS executado pelo Instituto Tecnológico de Pernambuco, e dos vetores de restituição. A Figura 10 apresenta o fluxograma de trabalho.

Primeiramente foi realizada a organização e preparação das referências e documentos cartográficos, a escolha da posição e do número da amostra, o processo de obtenção das coordenadas dos pontos a partir das imagens *laser scanner*. Em seguida foram realizados os procedimentos para avaliação da acurácia posicional. Desta forma foi realizada a comparação entre feições pontuais das imagens de composição, dados de levantamento GNSS e restituição planimétrica, através dos cálculos das discrepâncias, análises de tendência e precisão computadas de acordo com as especificações de qualidade impostas pelo PEC-PCD.

Para isso, o procedimento foi realizado em duas etapas, sendo primeiramente a distribuição *t-Student* destinada à verificação da ausência de tendência (erro sistemático) e em segundo, a distribuição Qui-Quadrado destinada à verificação da validade do Erro-Padrão obtido da amostra em relação à precisão requerida para o produto.

Nesta etapa foram utilizadas tabelas onde foram expostas as seguintes estatísticas: valores mínimos, valores máximos, médias e desvios-padrão, relativamente às diferenças X e Y encontradas, assim como a utilização de indicadores de qualidade estatísticos, para confrontar os resultados encontrados segundo o PEC-PCD.

Figura 10 – Fluxograma das etapas para avaliação da acurácia posicional planimétrica de dados *laser scanner* aerotransportado



#### **4.2.1. Seleção de dados nas imagens *laser scanner* e na base cartográfica**

##### **4.2.1.1. Área de Estudo 01**

A área de estudo 01, com área aproximada de 574.000 m<sup>2</sup> situada no Campus da UFPE, entre os bairros da Várzea e Cidade Universitária, compreende as áreas do canteiro central, onde está localizado o nome UFPE, além do Centro de Artes e Comunicação, Centro de Convenções, Centro de Ciências Exatas e da Natureza , Centro de Tecnologia e Geociências e Editora UFPE.

Os conjuntos de pontos comparados relativos a esta área foram:

- Imagens *Laser scanner*;
- Levantamento com receptores GNSS L1/L2;

O levantamento dos pontos identificados foram rastreados em campo com receptores GNSS geodésicos, pelo método relativo estático utilizando dois receptores L1/L2 pela Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP/OS com linhas-base de no máximo 10 km, além dos dados da RBMC incluídos no processamento e ajustamento dos dados adquiridos do levantamento.

O tempo de rastreio mínimo foi de 20 minutos em cada ponto de verificação segundo relatório do plano de trabalho.

Foram disponibilizados cerca de 20 (vinte) pontos com coordenadas UTM, Fuso 25S. Em seguida, foram escolhidos pontos fotoidentificáveis nas imagens *laser scanner* homólogos aos pontos levantados em campo.

Utilizou-se as imagens no formato Tiff (2013) e arquivos de pontos no formato shapefile georreferenciados no sistema geodésico de referência SIRGAS 2000 na obtenção dos dados de entrada para aplicação da metodologia.

A figura 11 apresenta o conjunto de pontos levantados por GNSS representados na ortofoto digital da Prefeitura da cidade do Recife enquanto a figura 12 apresenta o conjunto de pontos adquiridos na imagem de composição.



#### 4.2.1.2. Área de Estudo 02

Para a área de estudo 02 os conjuntos de pontos comparados relativos a esta área foram:

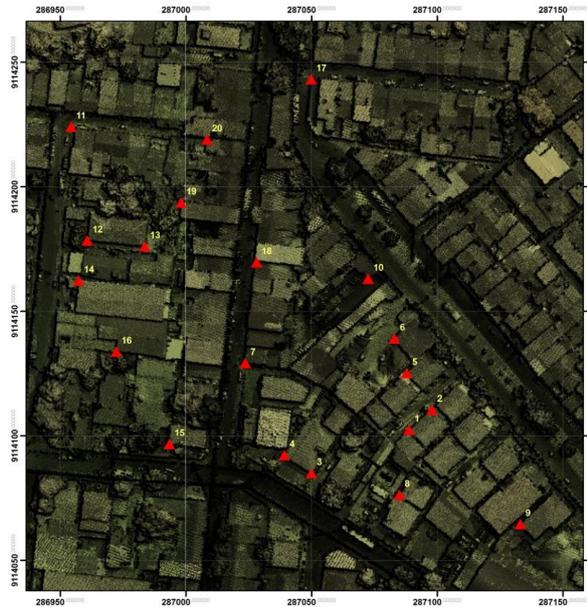
- Imagens *Laser scanner* (composição);
- Restituição Planimétrica na escala 1:1000 de 2007.

Foram levantadas as restituições estereofotogramétricas e as ortofotocartas existentes. Assim, da região de interesse, foram disponibilizados os seguintes produtos: a) ortofotografia digital na escala 1:1.000 gerada em 2007 a partir de fotografias aéreas coloridas 1:6.000 obtidas em 2006; b) restituição estereofotogramétrica planimétrica 1:1.000 gerada em 2007. Em seguida, foram escolhidos pontos fotoidentificáveis e homólogos como: cantos de quadra e vértices de edificações nas imagens *laser scanner* e nos vetores restituídos pelo método fotogramétrico convencional.

Utilizaram-se as imagens no formato Tiff de 2013 e arquivos de linhas e polígonos dos vetores restituídos no formato shapefile georreferenciados no sistema geodésico de referência SIRGAS 2000 na obtenção dos dados de entrada para aplicação da metodologia.

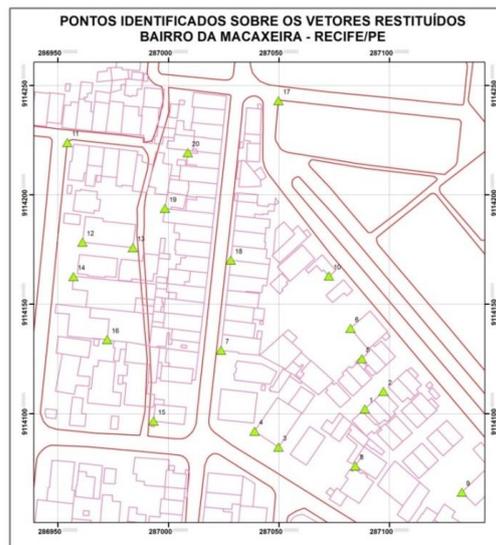
A Figura 13 apresenta o conjunto de 20 (vinte) pontos adquiridos na imagem de composição enquanto a figura 14 apresenta pontos comuns provenientes de restituição estereofotogramétrica (pontos definidores das quadras viárias e edificações).

Figura 13 – Pontos adquiridos sobre a imagem de composição: Macaxeira-  
Recife/PE



Fonte: A autora (2014)

Figura 14 – Pontos adquiridos sobre os vetores de restituição  
estereofotogramétrica



Fonte: A autora (2014)

#### **4.2.2. Escolha e Distribuição da amostra**

A área de estudo 01 dispõe de um levantamento GNSS realizado pelo Instituto Tecnológico de Pernambuco, no entanto, o mesmo não acontece com a área de estudo 02. Para esta, os dados de referência disponíveis para aplicação na pesquisa é a restituição planimétrica obtida a partir de voo fotogramétrico realizado em 2006/2007.

Após a obtenção das informações de referência, planimétricas das áreas de estudo para serem usadas como parâmetros de comparação na avaliação da qualidade planimétrica das imagens do perfilamento a *laser*, passou-se a selecionar as entidades geométricas dessa base com parâmetros de homogeneidade, abrangendo a área de estudo.

Segundo Rocha (2002), a distribuição de dados teste deve seguir um padrão de uniformidade para garantir a abrangência da área a ser avaliada. Portanto, as amostras para a execução desse experimento foram selecionadas, de forma que a amostragem tivesse uma distribuição uniforme em toda a área estudada.

Nas duas áreas de estudo foram interpretadas as feições nas imagens composição e na base de dados cadastrais do município de Recife para serem utilizadas nos testes de avaliação posicional explicados nas próximas seções deste documento.

Foi realizada a escolha e identificação de pontos distribuídos. Os pontos de controle foram vértices de edificações e de quadras viárias, representados na imagem de composição e no documento de referência (vetores restituídos).

Em seguida, foram coletadas manualmente as coordenadas dos pontos nos dois documentos a partir da vetorização dos pontos, conforme distribuição vista nas figuras 11, 12,13 e14 sendo estes nomeados e gerado um arquivo, para cada documento, com a lista de coordenadas (N, E).

#### **4.2.3. Cálculo das Discrepâncias**

Para realizar a comparação entre as coordenadas foi montada uma tabela com os dois grupos de coordenadas, conforme quadros 04 e 05. As discrepâncias ( $\Delta X_i$ ) entre as coordenadas  $X_i$  observadas no documento cartográfico que se quer analisar e as referidas coordenadas de referência  $X_i^r$  foram calculadas para cada ponto "i". Em seguida foram calculados os resíduos, os resíduos médios e os desvios padrão nas duas coordenadas (E, N).

Quadro 04 – Discrepâncias referentes à Área de Estudo 01

Cálculo das Discrepâncias		
PONTOS	$\Delta E$	$\Delta N$
1	0,3459	0,5003
2	0,1285	-0,2743
3	0,2120	-0,0513
4	-0,2426	0,0856
5	-0,1701	-0,2985
6	-0,1624	-0,0959
7	-0,5707	0,1942
8	-0,3379	-0,1826
9	-0,7083	-0,2539
10	-0,7652	0,2780
11	-0,6020	-0,2670
12	-0,2353	-0,5866
13	-0,1577	-0,1962
14	-0,1952	-0,4045
15	-0,2163	0,1999
16	-0,2270	0,0909
17	-0,3170	-0,1340
18	-0,8145	0,3802
19	-1,3403	-0,0727
20	-0,2380	-0,2708

Quadro 05– Discrepâncias referentes à Área de Estudo 02

PONTOS	$\Delta E$	$\Delta N$
1	0,1427	-0,1580
2	-0,4947	-0,1711
3	-0,0732	-0,2789
4	-0,0737	-0,2325
5	-0,3430	0,0001
6	-0,5180	0,0201
7	0,1785	-0,2654
8	-0,2911	-0,2037
9	-0,2340	-0,3605
10	0,2350	-0,0866
11	0,1116	-0,1468
12	0,4025	0,0188
13	0,4306	-0,2929
14	-0,2136	0,2946
15	0,0378	-0,0767
16	0,0764	0,0318
17	0,0787	-0,1984
18	0,1333	0,4506
19	0,3854	0,0696
20	0,4194	0,3160

#### **4.2.4. Análise de Tendência dos Dados**

Aplicou-se então, análise de tendência e precisão conforme descrito no capítulo 2, subitem 4.2.

Realizadas as comparações, procedeu-se a avaliação e, conseqüentemente, a análise dos resultados encontrados. Na seqüência, portanto, serão apresentados os indicadores de qualidade utilizados na avaliação dos resultados de cada conjunto de pontos ALS comparado, bem como, serão feitas algumas considerações quanto aos resultados obtidos das comparações.

#### **4.2.5. Análise de precisão dos dados**

A precisão dos dados se apoiou nos valores de discrepâncias entre as coordenadas de referência (GNSS e restituição estereofotogramétrica ) e as coordenadas da imagem. A partir dos valores de discrepância obtidos foi aplicada a estatística do teste qui-quadrado conforme subitem 2.4.3. Foi verificado se as variâncias amostral e a obtida a partir do erro padrão são iguais. Esse teste indicou o grau de dispersão dos erros e, conseqüentemente, a precisão.

#### **4.2.6. Análise da acurácia dos dados**

A análise da acurácia foi realizada a partir da junção da análise de tendência e da análise de precisão. Portanto, se o dado avaliado fosse aprovado em todas as análises de tendência e precisão, este dado era considerado acurado para a escala e a classe testada. Se alguma etapa da análise de tendência e precisão falhasse, o dado espacial não poderia ser considerado acurado para a dada escala e classe testada.

## 5. RESULTADOS

Excluído: <objeto>

Formatado: Fonte: (Padrão) Century Gothic, 14 pt, Negrito, Todas em maiúsculas

### 5.1. Cálculo das discrepâncias

#### 5.1.1. Área de Estudo 01

A comparação entre os conjuntos de pontos foi realizada com base em pontos comuns provenientes do levantamento GNSS e do levantamento ALS, sobre a imagem de composição conforme mostrado no quadro 04.

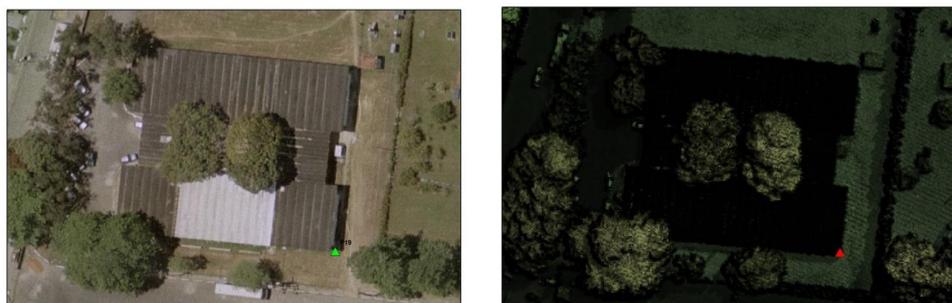
A tabela 01 a seguir apresenta um resumo dos parâmetros calculados: os resíduos, os resíduos médios e os desvios padrão nas duas coordenadas (E, N) computados para os pontos amostrados e seus respectivos resultados.

Tabela 01 – Área 01: Resultados da comparação entre imagem ALS x pontos GNSS

Parâmetros	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)
<b>Discrepância máxima</b>	-1,3403	-0,5866
<b>Discrepância mínima</b>	0,1285	-0,0727
<b>Média</b>	-0,331	-0,068
<b>Desvio padrão</b>	0,386	0,277

Percebe-se que existe um valor superior a três vezes o desvio-padrão na discrepância da coordenadas E (discrepância máxima) do ponto 19 na área de estudo 01 (tabela 01). Analisando os dados constatou-se que na imagem *laser* (de composição), a representação do telhado levou em consideração a sombra do mesmo, tornando-se uma figura com maior área e localização dos vértices de limite diferente da realidade de campo prejudicando dessa forma a coleta precisa na imagem do ponto levantado em campo conforme figura 15 a seguir:

Figura 15 – Área de estudo 01 (ponto 19): Ortofoto x *Laser Scanner*



### 5.1.2. Área de Estudo 02

A comparação foi realizada com base em pontos comuns provenientes de restituição estereofotogramétrica (pontos definidores de topo de vértices de edificações e quadras viárias restituídos tridimensionalmente na escala 1:1000) e do levantamento ALS (pontos identificados sobre imagem de composição). Desta comparação resultaram as estatísticas constantes da tabela 02.

Tabela 02 – Área 02: Resultados da comparação entre imagem ALS x restituição planimétrica

Parâmetros	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)
<b>Discrepância máxima</b>	-0,5180	0,4506
<b>Discrepância mínima</b>	0,0378	0,0001
<b>Média</b>	0,0195	-0,0635
<b>Desvio padrão</b>	0,294	0,218

## 5.2. Resultado da Tendência dos Dados

### 5.2.1. Área de estudo 01

As tabelas 03, 04 e 05 a seguir apresenta o resumo dos parâmetros calculados para o teste de tendência *T Student* nas duas coordenadas (E, N) e na resultante planimétrica considerando 90% de confiabilidade computados para os pontos amostrados e seus respectivos resultados.

Tabela 03 – Área 01: Teste *t* de *Student* para a componente E das coordenadas

Parâmetros	Coordenada E
Valor de <i>t</i> amostral (equação 10) ( <i>t-Student</i> )	-3,831
Estatística <i>t</i> (grau de confiança igual a 90%) ( <i>t-Student</i> )	1,729
Análise de Tendência: $ t_x  < t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})}$	FALHOU
Hipótese H0 aceita?	

Tabela 04 – Área 01: Teste *t* de *Student* para a componente N das coordenadas

Parâmetros	Coordenada N
Valor de <i>t</i> amostral (equação 11) ( <i>t-Student</i> )	-1,096
Estatística <i>t</i> (grau de confiança igual a 90%) ( <i>t-Student</i> )	1,729
Análise de Tendência: $ t_x  < t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})}$	PASSOU
Hipótese H0 aceita?	

Tabela 05 – Área 01: Teste t de *Student* para a Planimetria (resultante)

Parâmetros	Planimetria
Valor de t amostral (equação 9) (t-Student)	3,950
Estatística t (grau de confiança igual a 90%) (t-Student)	1,729
Análise de Tendência: $ t_X  < t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})}$	FALHOU
Hipótese H0 aceita?	

Com base nos resultados apresentados nas tabelas 03, 04 e 05, aceitaram-se as hipóteses nulas (teste t de *Student*) apenas para a componente N, ou seja, rejeita-se  $H_0$  e a amostra apresenta tendências na coordenada E e na resultante planimétrica. Sendo assim o teste de tendência reprovou a qualidade do produto.

### 5.2.2. Área de estudo 02

A tabela 06 , 07 e 08 a seguir apresenta o resumo dos parâmetros calculados para o teste de tendência t de *Student* nas duas coordenadas (E, N) e na resultante planimétrica considerando 90% de confiabilidade computados para os pontos amostrados e seus respectivos resultados.

Tabela 06 – Área 02: Teste t de *Student* para a componente E das coordenadas

Parâmetros	Coordenada E
Valor de t amostral (equação 10) (t-Student)	0,297
Estatística t (grau de confiança igual a 90%) (t-Student)	1,729
Análise de Tendência: $ t_X  < t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})}$	PASSOU
Hipótese H0 aceita?	

Tabela 07 – Área 02: Teste t de *Student* para a componente N das coordenadas

Parâmetros	Coordenada N
Valor de t amostral (equação 11) (t-Student)	-1,302
Estatística t (grau de confiança igual a 90%) (t-Student)	1,729
Análise de Tendência: $ t_X  < t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})}$	PASSOU
Hipótese H0 aceita?	

Tabela 08 – Área 02: Teste t de *Student* para a Planimetria (resultante)

Parâmetros	Planimetria
Valor de t amostral (equação 9) (t-Student)	1,317
Estatística t (grau de confiança igual a 90%) (t-Student)	1,729
Análise de Tendência: $ t_X  < t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})}$	PASSOU
Hipótese H0 aceita?	

Com base nos resultados apresentados nas tabela 06, 07 e 08, aceitaram-se as hipóteses nulas (teste t de *Student*) para as componentes E, N e conseqüentemente para a resultante planimétrica. Ou seja, Considerando 90% de confiabilidade, não existe tendência (erro sistemático) nesta análise.

### 5.3. Resultado da precisão dos dados

A partir das amostras tratadas estatisticamente, foram realizados os testes de qualidade cartográfica (teste de precisão) conforme metodologia apresentada no capítulo anterior.

As tabelas 09, 10 e 11 a seguir apresentam os resultados da satisfação ao PEC-PCD para a área 01 na escala 1:2000:

Tabela 09 – Área 01: Qui-quadrado para a Componente E na escala 1:2000

<b>Parâmetros</b>	<b>Classe A</b>	<b>Classe B</b>
Valor de $\chi^2$ amostral relativo ao PEC-PCD (equação 19) (Qui-Quadrado)	48,982	15,729
Estatística $\chi^2$ (grau de confiança igual a 90%) (Qui-Quadrado)	27,204	27,204
Análise de Precisão: $X_{calc}^2 \leq X_{(N-1,\alpha)}^2$ Hipótese H0 aceita?	FALHOU	PASSOU

Tabela 10 – Área 01: Qui-quadrado para a Componente N na escala 1:2000

<b>Parâmetros</b>	<b>Classe A</b>	<b>Classe B</b>
Valor de $\chi^2$ amostral relativo ao PEC-PCD (equação 18) (Qui-Quadrado)	25,278	8,117
Estatística $\chi^2$ (grau de confiança igual a 90%) (Qui-Quadrado)	27,204	27,204
Análise de Precisão: $X_{calc}^2 \leq X_{(N-1,\alpha)}^2$ Hipótese H0 aceita?	PASSOU	PASSOU

Tabela 11 – Área 01: Qui-quadrado para a resultante planimétrica

<b>Parâmetros</b>	<b>Classe A</b>	<b>Classe B</b>
Valor de $\chi^2$ amostral relativo ao PEC-PCD (equação 17) (Qui-Quadrado)	48,021	15,420
Estatística $\chi^2$ (grau de confiança igual a 90%) (Qui-Quadrado)	27,204	27,204
Análise de Precisão: $X_{calc}^2 \leq X_{(N-1,\alpha)}^2$ Hipótese H0 aceita?	FALHOU	PASSOU

De forma análoga, obteve-se o resultado conforme tabelas 12,13 e 14 para a escala 1:1000:

Tabela 12 – Área 01: Qui-quadrado para a Componente E na escala 1:1000

<b>Parâmetros</b>	<b>Classe A</b>	<b>Classe B</b>	<b>Classe C</b>
Valor de $\chi^2$ amostral relativo ao PEC-PCD (equação 19) (Qui-Quadrado)	195,926	62,914	22,649
Estatística $\chi^2$ (grau de confiança igual a 90%) (Qui-Quadrado)	27,204	27,204	27,204
Análise de Precisão: $X_{calc}^2 \leq X_{(N-1,\alpha)}^2$ Hipótese H0 aceita?	FALHOU	FALHOU	PASSOU

Tabela 13 – Área 01: Qui-quadrado para a Componente N na escala 1:1000

<b>Parâmetros</b>	<b>Classe A</b>	<b>Classe B</b>	<b>Classe C</b>
Valor de $\chi^2$ amostral relativo ao PEC-PCD (equação 18) (Qui-Quadrado)	101,113	32,469	11,689
Estatística $\chi^2$ (grau de confiança igual a 90%) (Qui-Quadrado)	27,204	27,204	27,204
Análise de Precisão: $X_{calc}^2 \leq X_{(N-1,\alpha)}^2$ Hipótese H0 aceita?	FALHOU	FALHOU	PASSOU

Tabela 14 – Área 01: Qui-quadrado para a resultante planimétrica na escala 1:1000

<b>Parâmetros</b>	<b>Classe A</b>	<b>Classe B</b>	<b>Classe C</b>
Valor de $\chi^2$ amostral relativo ao PEC-PCD (equação 17) (Qui-Quadrado)	192,084	61,680	22,205
Estatística $\chi^2$ (grau de confiança igual a 90%) (Qui-Quadrado)	27,204	27,204	27,204
Análise de Precisão: $X_{calc}^2 \leq X_{(N-1,\alpha)}^2$ Hipótese H0 aceita?	FALHOU	FALHOU	PASSOU

As tabelas 15, 16 e 17 a seguir apresentam os resultados da satisfação ao PEC-PCD para a área 02 na escala 1:2000:

Tabela 15 – Área 02: Qui-quadrado para a Componente E na escala 1:2000

Parâmetros	Classe A	Classe B
Valor de $\chi^2$ amostral relativo ao PEC-PCD (equação 19) (Qui-Quadrado)	28,407	9,122
Estatística $\chi^2$ (grau de confiança igual a 90%) (Qui-Quadrado)	27,204	27,204
Análise de Precisão: $X_{calc}^2 \leq X_{(N-1,\alpha)}^2$ Hipótese H0 aceita?	FALHOU	PASSOU

Tabela 16 – Área 02: Qui-quadrado para a Componente N na escala 1:2000

Parâmetros	Classe A	Classe B
Valor de $\chi^2$ amostral relativo ao PEC-PCD (equação 18) (Qui-Quadrado)	15,635	5,0207
Estatística $\chi^2$ (grau de confiança igual a 90%) (Qui-Quadrado)	27,204	27,204
Análise de Precisão: $X_{calc}^2 \leq X_{(N-1,\alpha)}^2$ Hipótese H0 aceita?	PASSOU	PASSOU

Tabela 17 – Área 02: Qui-quadrado para a resultante planimétrica escala 1:2000

Parâmetros	Classe A	Classe B
Valor de $\chi^2$ amostral relativo ao PEC-PCD (equação 17) (Qui-Quadrado)	16,739	5,375
Estatística $\chi^2$ (grau de confiança igual a 90%) (Qui-Quadrado)	27,204	27,204
Análise de Precisão: $X_{calc}^2 \leq X_{(N-1,\alpha)}^2$ Hipótese H0 aceita?	PASSOU	PASSOU

Analogamente, obteve-se o resultado conforme tabelas 18,19 e 20 para a escala 1:1000:

Tabela 18 - Área 02: Qui-quadrado para a Componente E na escala 1:1000

<b>Parâmetros</b>	<b>Classe A</b>	<b>Classe B</b>	<b>Classe C</b>
Valor de $\chi^2$ amostral relativo ao PEC-PCD (equação 19) (Qui-Quadrado)	113,628	36,487	13,135
Estatística $\chi^2$ (grau de confiança igual a 90%) (Qui-Quadrado)	27,204	27,204	27,204
Análise de Precisão: $X_{calc}^2 \leq X_{(N-1,\alpha)}^2$ Hipótese H0 aceita?	FALHOU	FALHOU	PASSOU

Tabela 19 - Área 02: Qui-quadrado para a Componente N na escala 1:1000

<b>Parâmetros</b>	<b>Classe A</b>	<b>Classe B</b>	<b>Classe C</b>
Valor de $\chi^2$ amostral relativo ao PEC-PCD (equação 18) (Qui-Quadrado)	62,542	20,083	7,230
Estatística $\chi^2$ (grau de confiança igual a 90%) (Qui-Quadrado)	27,204	27,204	27,204
Análise de Precisão: $X_{calc}^2 \leq X_{(N-1,\alpha)}^2$ Hipótese H0 aceita?	FALHOU	PASSOU	PASSOU

Tabela 20- Área 02: Qui-quadrado para a resultante planimétrica na escala 1:1000

<b>Parâmetros</b>	<b>Classe A</b>	<b>Classe B</b>	<b>Classe C</b>
Valor de $\chi^2$ amostral relativo ao PEC-PCD (equação 17) (Qui-Quadrado)	66,958	21,501	7,740
Estatística $\chi^2$ (grau de confiança igual a 90%) (Qui-Quadrado)	27,204	27,204	27,204
Análise de Precisão: $X_{calc}^2 \leq X_{(N-1,\alpha)}^2$ Hipótese H0 aceita?	FALHOU	PASSOU	PASSOU

Com base nos resultados apresentados nas tabelas anteriores:

**Para a área de estudo 01:**

Aceitaram-se as hipóteses nulas (teste Qui-Quadrado) na escala 1:2000 para a resultante planimétrica na classe B do PEC-PCD. Ou seja, a planimetria atingiu um Padrão de Exatidão Cartográfica PEC-PCD classe B, escala 1:2000.

Aceitaram-se as hipóteses nulas (teste Qui-Quadrado) na escala 1:1000 para a resultante planimétrica na classe C do PEC-PCD. Ou seja, a planimetria atingiu um Padrão de Exatidão Cartográfica PEC-PCD classe C, escala 1:1000.

**Para a área de estudo 02:**

Aceitaram-se as hipóteses nulas (teste Qui-Quadrado) na escala 1:2000 para a planimetria na classe A do PEC-PCD. Ou seja, a planimetria atingiu um Padrão de Exatidão Cartográfica PEC-PCD classe A, escala 1:2000.

Após o tratamento estatístico, a qualidade das amostras, considerando a planimetria sendo representada pela resultante das componentes é compatível com a escala 1:1000 classe C do Padrão de Exatidão Cartográfica PEC-PCD.

#### **5.4. Resultado da acurácia dos dados**

A acurácia planimétrica está relacionada com o afastamento das coordenadas planimétricas dos pontos contidos na imagem em relação aos valores de coordenadas de campo desses mesmos pontos existentes no terreno analisada através de cálculos estatísticos anteriores.

Conforme dados da tabela 03 houve detecção de tendências na direção E, para a área de estudo 01, apesar do teste de precisão atender aos requisitos do PEC-PCD para as classes, o teste de tendência reprovou a qualidade do produto. Ou seja, o dado avaliado foi reprovado na análise de tendência e aprovado na de precisão, desta forma, o dado espacial da área 01 não pode ser considerado acurado para a dada escala e classe testadas.

Pode-se perceber que, para a área 02, o conjunto de dados avaliado foi aprovado em todas as análises de tendência e precisão, este é considerado acurado para a escala e a classe testada.

### **5.5. Resultado das comparações às acurácias especificadas pelo fabricante do sistema**

Após a análise dos resultados obtidos das comparações em relação a acurácia posicional, a seguir serão apresentados os resultados das comparações, relativamente às acurácias especificadas pelo fabricante do sistema ALS cujos dados coletados foram utilizados na presente pesquisa.

De acordo com a Optech ALS Gemini (quadro 01), fabricante dos sistemas ALTM a acurácia horizontal daqueles mesmos dados é melhor que 1/5500 da altura de voo (600 metros), sob condições ideais de varredura. Ou seja, significa um sistema apropriadamente calibrado; funcionando perfeitamente; superfície do terreno com densidade baixa da vegetação e relevo plano; levantamento planejado para coletar o máximo de pontos possível ao longo de uma faixa bastante estreita do terreno; e utilização de bases GPS localizadas a menos de 30 km da área levantada (Brandalize, 2003).

A tabela 21, a seguir, mostra que os resultados obtidos entre as comparações às especificações de acurácia horizontal do fabricante, como esperado, não resultaram nos valores estabelecidos, pois não foram realizadas sob as “condições ideais” citadas anteriormente.

Tabela 21 – Acurácia especificada pelo fabricante x Classificação dos dados segundo o PEC-PCD

<b>ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>ACURÁCIA HORIZONTAL (1/5500*H)</b>	<b>ACURÁCIA PLANIMÉTRICA</b>
CAMPUS UFPE	0,11 m	0,32 m
MACAXEIRA	0,11 m	0,28 m

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os testes realizados nesse trabalho de pesquisa demonstram numericamente a qualidade posicional planimétrica da imagem avaliada através dos resultados das avaliações realizadas, apontando valores que indicam a fidelidade geométrica da imagem do perfilamento a *laser* em comparação a dados coletados em campo pela tecnologia GNSS e dados pré-existent (restituição estereofotogramétrica) nas áreas testes.

Na análise de tendências depois de verificadas as hipóteses ficou constatado que a imagem não está livre delas, ou seja, existem deslocamentos. No entanto, se for realizada uma translação utilizando-se a média das discrepâncias calculadas para cada uma das direções, anula-se a tendência sem com isso alterar a classificação do documento.

A imagem *laser* da área de estudo 02 foi comparada com pontos obtidos por processos indiretos (restituição estereofotogramétrica), isto não inviabiliza que os resultados obtidos destes conjuntos sejam analisados, pois, de acordo com Maune, Maitra e Mickay (2001), na falta de uma fonte independente de maior acurácia, pode-se lançar mão de um meio alternativo a fim de que a avaliação de um determinado produto possa ser realizada.

A maior dificuldade na etapa de escolha de pontos na imagem de composição em vértices de edificações, homólogos aos dados de restituição estereofotogramétrica foi definir a localização com boa precisão nas imagens do perfilamento a *LASER*, tendo em vista que a representação dos limites das bordas das edificações é um problema pertinente na varredura laser scanner para baixas densidades de pontos, podendo ser justificada pela proximidade entre edificações. A predominância da densidade do levantamento com o sistema Laser scanner utilizado nesta pesquisa foi de 5,51 pontos/m<sup>2</sup>, dessa forma foi mais fácil detectar os contornos para edificações isoladas.

Coletar maiores quantidades de pontos em cada varrida do sensor sobre uma superfície de estudo, reconstrói a região de trabalho com um maior nível de detalhamento melhorando significativamente a representação e a interpretação das feições.

A possibilidade da vetorização de feições diretamente neste conjunto de dados, sob forma de imagens, é uma alternativa interessante, porém, deve-se levar em consideração as especificações técnicas do planejamento e execução do voo, além do processamento dos dados, de forma que não inviabilize a definição das feições.

Os conjuntos de dados analisados obtiveram qualidade compatível com a escala 1:2000, classe A, para área de estudo 02. Considerando a escala 1:1000, classe B. Para a área de estudo 01, considerando a escala 1:2000, obtiveram qualidade compatível com a classe B, e para a escala 1:1000, classe C do PEC-PCD. No entanto, para a área de estudo 01, apesar de não atender ao teste de tendência de dados, o conjunto de dados apresenta precisão quando considerada a coerência entre as feições representadas. Desta forma, a imagem seria classificada no aspecto precisão, porém valendo-se de cautela no seu uso, pois suas feições não apresentam coerência com a realidade física. A área de estudo 02 por sua vez, pode ser classificada como acurada e precisa, pois apresenta posições coerentes tanto entre si quanto com a realidade física.

Não foi possível atingir a precisão anunciada pelo fabricante, 0,11m, no entanto, foi possível obter um erro médio planimétrico na faixa dos 0,38m e 0,22m para as áreas 01 e 02 respectivamente.

Os resultados do produto do *laser scanner* aerotransportado atendem às especificações de qualidade cartográfica impostas pelo PEC-PCD planimétrico estendidos para as tolerâncias e escalas de referência utilizadas, seguindo os critérios estabelecidos para a metodologia utilizada na avaliação dos resultados.

Os resultados descritos no presente trabalho confirmam o potencial cartográfico disponível, através do emprego dos sensores de varredura laser scanner, destacando a necessidade de aprofundar as pesquisas nesta área

de estudo e acrescentar a divulgação acadêmica da tecnologia e suas possíveis aplicações.

A presente pesquisa aplicou um método de avaliação para resultados obtidos a partir de um levantamento *laser scanner* aerotransportado utilizando além de dados de levantamento de campo, outros produtos disponíveis para referência. Assim, a partir das informações disponibilizadas o presente trabalho procurou atender a uma demanda pelo conhecimento e compreensão da referida técnica, principalmente no que se refere às aplicações a que esta vem tendo, no mercado cartográfico nacional, e também, no que se refere à qualidade dos produtos dela derivados.

Não existe ainda uma padronização dos levantamentos ALS, dessa forma além da necessidade dessa padronização é necessário estabelecer padrões de acurácia para os produtos gerados a partir destes levantamentos. Até a presente data, o único documento do qual se tem conhecimento e que pretende estabelecer um padrão de acurácia aqui no Brasil é o ET-CQPCDG - Especificações Técnicas para o Controle de Qualidade dos Produtos dos Conjuntos de Dados Geoespaciais ainda em elaboração pela DSG. Esta especificação, além de avaliar a acurácia posicional, também definirá testes de qualidade para os demais indicadores de qualidade de dados geoespaciais previstos na ISO 19113, quais sejam: completude, consistência lógica, acurácia temática, acurácia temporal e acurácia posicional.

A detecção de tendências informa a ocorrência de problemas cujas causas, segundo Galo e Camargo (1994), podem ser os mais variados, e recomendam para que esta tendência tenha o seu efeito minimizado seja feita uma subtração da média das discrepâncias a cada coordenada na componente problemática extraída da imagem. Para a correção desse deslocamento é necessário calcular a média do desvio padrão nas direções E e N, subtraindo-a de cada coordenada obtida na imagem. Este processo se constitui numa simples translação dos eixos coordenados.

As conclusões foram obtidas dos testes realizados, porém recomenda-se a aplicação de outros testes de qualidade em distintas regiões do

levantamento laser scanner do município de Recife, com diferentes tipos de relevo e cobertura vegetal para certificar a definitiva precisão dos dados obtidos dos sistemas de varredura laser.

Finalmente, recomenda-se avaliar esta metodologia usando levantamentos do varredor laser com diferentes características (por exemplo, densidade de pontos).

## REFERÊNCIAS

- ARIZA, F.J. **Calidad en la producción cartográfica**, Espanha: Ra-Ma Editorial, 2002.389p.
- BALTSAVIAS, E.P. 1999. **Airborne Laser Scanning: Basic Relations and Formulas**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54 :199–214.
- BALTSAVIAS, Emanuel P., 1999a - **Airborne LASER Scanning: existing systems and firms and other resources** - ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, pp. 164-198.
- BOTELHO, M.F. **Aplicação de Redes Neurais na Classificação de Imagens de Alta Resolução Espacial e dados do Laser Scanner, usando uma abordagem orientada a regiões**. Dissertação de mestrado pela Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR,119p. Curitiba, 2004.
- BRANDALIZE, M C B. **Qualidade Cartográfica dos Resultados do Laserscanner Aerotransportado**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- BRANDALIZE, M. C. B. **Estado atual dos sistemas ALS no Brasil e no mundo**. Florianópolis/SC, 2003. Disponível em: <[http://www.esteio.com.br / downloads / pdf / estado.pdf](http://www.esteio.com.br/downloads/pdf/estado.pdf)>. Acessado em: 15 de maio de 2014.
- BRANDALIZE, A.A. **Perfilamento a laser: Comparação com Métodos Fotogramétricos**. Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S/A. Curitiba/PR. Disponível em: <<http://www.lidar.com.br/trabalhos/geral/>>. Acesso em: 15.abr.2013.

- CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Departamento de Geomática, Editora do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - UFPR. Curitiba/PR 2003. 209 p.
- CENTENO, J.A.S.;Kishi, R.T.;MITISHITA, E.A. **Aplicação de laser scanner para detecção de áreas para coleta de água de chuva**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5009-5013.
- CENTENO, J.A.S. e MITISHITA, E.A. **Laser Scanner Aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Florianópolis, pp. 3645-3652, 2007.
- CONCAR; EXÉRCITO BRASILEIRO – CONCAR-EB. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais**. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. 2.ed. Brasil. 10/06/2011.
- DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. R. **Sistema Laser scanner: Conceitos e Princípios de Funcionamento**. 3ª Edição – UFPR – Curitiba/PR – Brasil. 97 pg – 2004.
- FALAT, D.R. **Perfilamento a Laser: Uma Alternativa rápida e precisa para a identificação de alterações na superfície**. Anais II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife-PE, Brasil, 8-11 de setembro de 2008.
- FILHO, S. S. **As Inovações do LaserAerotransportado: Suas Vantagens para Mapeamentode Dutos**. In: RIO PIPELINE CONFERENCE &EXPOSITION, Trabalhos Técnicos Rio Pipeline 2007. Rio de Janeiro, 2007.

GALO, M. & CAMARGO, P.O. **O uso do GPS no controle de qualidade de cartas.** In: COBRAC – 1994, 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Tomo II, p. 41-48, Florianópolis – Brasil, 1994.

GALVANIN, E.A.S.;POZ,A.P.D. **Sistema LIDAR e Métodos para Interpolação de Dados.** In:Revista de Geografia, UFPE, v.30, nº 01, 10p, 2013,

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas.** Curitiba: Ed. UFPR,1994. 319p.

HARVEY, B. **The Effects of Reflecting Surface Material Properties on Time-of-Flight Laser Scanner Measurements** - Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications - Ottawa, 2002.

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

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução da 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p.

KRAUS, Karl, N. Pfeiffer, 1998 - **Determination of Terrain Models in Wooded Areas with Airborne Laser Scanner Data** - ISPRS Journal 53, pp. 193-203

LICHTI, D. D.; HARVEY, B. **The Effects of Reflecting Surface Material Properties on Time-of-Flight Laser Scanner Measurements** - Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications - Ottawa, 2002.

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.

MACHADO, A. M. L. **Extração Automática de Contornos de Edificações Utilizando Imagem Gerada por Câmara Digital de Pequeno Formato e Dados LiDAR**. Curitiba: nº 44, 2006. 201 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MAUNE, D. F.; MAITRA, J. B.; MCKAY, E. J. **Accuracy standards**. In: MAUNE, D. F. (Ed.). **Digital elevation model technologies and applications: the DEM users manual**. cap. 3, p. 61-82. . Bethesda: ASPRS, 2001.

MARTINS, M.A.R, MITISHITA, E.A. **Obtenção de Ortofotos com Fotografias de pequeno formato utilizando dados do laser scanner com modelo de terreno**. Anais II Simpósio Brasileiro de Geomática. V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Presidente Prudente - SP, ISSN 1981-6251, p. 957-961, 2007.

MERCHANT, D.C. **Spatial Accuracy Standards for Large Scalle Line Maps**. In: Technical Congresso on Surveing and Mapping. Proceedings, v.1, p 222-231, 1982.

MIQUELES, M.; CENTENO, J. **Extração de Edificações em Ambientes Urbanos utilizando Imagem de Alta Resolução e Dados do Laser Scanner**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4155-4162

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C., **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Tradução Verônica Calado. – 2 reimpressão – Rio de Janeiro: LTC, 2008.

- NERO, M. A. **Proposta para o controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- PEREIRA, T.A.J, NERO,M.A. **Análise de normas de controle de qualidade posicional em cartografia ao redor do mundo: Exemplos atuais de alguns países.** Anais IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - Recife - PE, Brasil.06- 09 de Maio de 2012.
- PIROTTI, F.; GUARNIERI, A.; VETTORE, A.**State of the Art of Ground and Aerial Laser Scanning Technologies for High-Resolution Topography of the Earth Surface.** European Journal of Remote Sensing, v. 46, p. 66 – 78, 2013.
- PREFEITURA DO RECIFE; **Relatório de Atividades Executadas n.2,** ENGEFOTO, abril, 2013.
- ROCHA, R. S. **Exatidão Cartográfica para cartas digitais urbanas.** [2001]. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)– Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002
- SCHÄFER, A.G. **Aplicação de produtos fotogramétricos e do sensor laser scanner em projetos rodoviários – estudo de caso: trecho da SC-414.** Dissertação de mestrado pela Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis, 130p. 2004.
- SOUZA, A.L.N. **Avaliação de Qualidade Cartográfica e Extração de Bordas de Objetos não pertencentes ao Terreno em produtos gerados pelo Sistema de Varredura a Laser Aerotransportado.** Dissertação de mestrado pela Universidade de São Paulo São Paulo - SP.112p. São Paulo, 2009.

SPIEGEL, M.R. **Estatística: 383 Problemas Resolvidos, 416 Problemas Suplementares. Tradução e revisão técnica: Pedro Consentino.** 3ª edição. São Paulo: Pearson Education do Brasil(Coleção Schaum), 660p, 1994.

TOTH, C. K.; Grejner-Brzezinska, D. A. **Complementarity of LIDAR and stereo imagery for enhanced surface extraction.** In: International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing. v. XXXIII, Part B3, 2000 Amsterdam.

VIEIRA, H.B.G.V. GENRO, R.S. **Inferência estatística para validação de documentos cartográficos obtidos com sensores remotos orbitais ou aerotransportados, em áreas de operação da Petrobras.** Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.2339, 2011.

WEHR, A.; LOHR, U. **Airbone LASER Scanning – An Introduction and Overview.** ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, v.54, n.3, p. 68-82, 1999.

WUTKE, J. D. **Métodos para avaliação de um sistema laser scanner terrestre.** 2006. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

## APÊNDICES

### Apêndice 1 - Monografias dos pontos levantados pela tecnologia GNSS

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P1
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Detro do campos da UFPE, em um dos vértices da letra "U" em frente à concha acústica.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284889,5260		
COORDENADA N:	9109477,5540		
COORDENADA H:	8,8947		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P2
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Detro do campos da UFPE, em um dos vértices da letra "E" em frente à concha acústica.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284835,1430		
COORDENADA N:	9109485,6800		
COORDENADA H:	8,8967		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P3
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Esquina do CAC, próximo a parada de ônibus dentro do campus da UFPE.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284730,7740		
COORDENADA N:	9109464,5670		
COORDENADA H:	9,1187		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P4
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Quina da frente edificação do CAC, ao lado do Cavoco.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284655,2940		
COORDENADA N:	9109461,6030		
COORDENADA H:	8,6897		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P5
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Quina de trás de edificação do CAC ao lado do cavoco.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284595,5600		
COORDENADA N:	9109475,0090		
COORDENADA H:	8,5487		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P6
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Edificação ao lado do estacionamento do CAC, dentro do campus da UFPE.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284553,3930		
COORDENADA N:	9109474,1400		
COORDENADA H:	9,2727		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P7
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Na rua Eduardo Dubeux próximo ao terminal de ônibus.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284403,9870		
COORDENADA N:	9109264,5600		
COORDENADA H:	9,6317		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P8
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Por trás do estacionamento do centro de convenções da UFPE		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284951,8920		
COORDENADA N:	9109359,8750		
COORDENADA H:	9,0697		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P9
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	No estacionamento do novo prédio do CCEN, dentro do campus da UFPE		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284827,9940		
COORDENADA N:	9109187,9300		
COORDENADA H:	8,5617		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P10
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Por trás do CTG, dentro do campus da UFPE.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284526,9200		
COORDENADA N:	9109164,6890		
COORDENADA H:	9,6197		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P11
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Na rua Santa Dorotéia, próximo a entrada do Castelo de Brennand		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284122,5080		
COORDENADA N:	9109191,6740		
COORDENADA H:	9,8467		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P12
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	No meio-fio em frente ao estacionamento da Área 2 do CCEN, dentro do campus da UFPE.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284666,6210		
COORDENADA N:	9109040,1050		
COORDENADA H:	8,8037		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P13
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Na entrada do castelo de Brennand, na quina da primeira casa.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284023,087		
COORDENADA N:	9109269,659		
COORDENADA H:	9,7137		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P14
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	No final da rua Belém de São Francisco, próximo ao campus da UFPE.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284278,664		
COORDENADA N:	9109277,762		
COORDENADA H:	9,6347		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P15
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Na esquina da rua Belém de São Francisco com a Av. Inácio de Barros Barreto.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284263,864		
COORDENADA N:	9109204,325		
COORDENADA H:	9,3247		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P16
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Quina do portão por trás da biblioteca do CTG, dentro do campus da UFPE.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284508,629		
COORDENADA N:	9109291,145		
COORDENADA H:	8,9927		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P17
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Por trás do CTG, próximo ao estacionamento, dentro do campus da UFPE.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284638,927		
COORDENADA N:	9109178,128		
COORDENADA H:	9,5847		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P18
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Esquina entre Av. Inácio Barreto e Av. Acadêmico Hélio Ramos.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284427,112		
COORDENADA N:	9109158,137		
COORDENADA H:	9,2457		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P19
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Quinta da parte de trás da editora da UFPE, de frente à oficina, dentro do campus.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284492,584		
COORDENADA N:	9109068,215		
COORDENADA H:	9,3117		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

MONOGRAFIA DE MARCO FOTOIDENTIFICÁVEL			
ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP/OS			
UNIDADE DE GEOINFORMAÇÃO - UGEO			
ARTICULAÇÃO	80-49-00	PONTO	P20
TIPO DE LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO:		GNSS/ Irradiação com Estação Total	
TIPO DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO:		Nivelamento Geométrico/Trigonométrico	
LOCALIZAÇÃO:	Quina do prédio de paleontologia, de frente ao estacionamento do CTG, dentro do campus da UFPE.		
COORDENADAS DE CAMPO			
COORDENADA E:	284722,846		
COORDENADA N:	9109125,855		
COORDENADA H:	8,9387		
FOTO		IMAGEM LOCAL	
			

## Apêndice 2 – Cálculos Estatísticos utilizando a escala 1:2000 como referência (área 01)

Coordenadas dos Pontos de Controle			Coordenadas dos Pontos Imagem-Laser			Teste de Tendência T Student				
PONTOS	E	N	PONTOS	E	N	TE	TN	TPLAN		
1	284889,5260	9109477,5540	1	284889,1801	9109477,0537	-3,831386912				
2	284835,1430	9109485,6800	2	284835,0145	9109485,9543	-1,096084201				
3	284730,7740	9109464,5670	3	284730,5620	9109464,6183	3,950390406				
4	284655,2940	9109461,6030	4	284655,5366	9109461,5174					
5	284595,5600	9109475,0090	5	284595,7301	9109475,3075					
6	284553,3930	9109474,1400	6	284553,5554	9109474,2359					
7	284403,9870	9109264,5600	7	284404,5577	9109264,3658					
8	284951,8920	9109359,8750	8	284952,2299	9109360,0576					
9	284827,9940	9109187,9300	9	284828,7023	9109188,1839					
10	284526,9200	9109164,6890	10	284527,6852	9109164,4110					
11	284122,5080	9109191,6740	11	284123,1100	9109191,9410					
12	284666,6210	9109040,1050	12	284666,8563	9109040,6916					
13	284023,087	9109269,659	13	284023,2447	9109269,855					
14	284278,664	9109277,762	14	284278,8592	9109278,166					
15	284263,864	9109204,325	15	284264,0803	9109204,125					
16	284508,629	9109291,145	16	284508,856	9109291,054					
17	284638,927	9109178,128	17	284639,244	9109178,262					
18	284427,112	9109158,137	18	284427,9265	9109157,757					
19	284492,584	9109068,215	19	284493,9243	9109068,288					
20	284722,846	9109125,855	20	284723,084	9109126,126					
<b>Cálculo das Discrepâncias</b>			<b>Cálculo do Desvio Padrão das Discrepâncias</b>			<b>Teste de Precisão</b>				
PONTOS	$\Delta E$	$\Delta N$	PONTOS	E	N	PEC	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
1	0,3459	0,5003	1	0,024097261	0,016993711	$\sigma$ PECE	0,240416306	0,424264069	0,707106781	0,848528137
2	0,1285	-0,2743	2	0,01110072	0,002241683	$\sigma$ PECN	0,240416306	0,424264069	0,707106781	0,848528137
3	0,2120	-0,0513	3	0,015499548	1,4616E-05					
4	-0,2426	0,0856	4	0,000408233	0,001241504					
5	-0,1701	-0,2985	5	0,00135761	0,002796902					
6	-0,1624	-0,0959	6	0,001490334	4,11423E-05					
7	-0,5707	0,1942	7	0,003030797	0,003617412					
8	-0,3379	-0,1826	8	2,69835E-06	0,000691404					
9	-0,7083	-0,2539	9	0,007503086	0,001819555					
10	-0,7652	0,2780	10	0,009936742	0,006297995					
11	-0,6020	-0,2670	11	0,003874603	0,002084771					
12	-0,2353	-0,5866	12	0,000478804	0,014158558					
13	-0,1577	-0,1962	13	0,00157524	0,00086615					
14	-0,1952	-0,4045	14	0,000966794	0,005960451					
15	-0,2163	0,1999	15	0,000688726	0,003776941					
16	-0,2270	0,0909	16	0,000566067	0,001328166					
17	-0,3170	-0,1340	17	9,88942E-06	0,000229565					
18	-0,8145	0,3802	18	0,012319553	0,010573084					
19	-1,3403	-0,0727	19	0,053647846	1,19464E-06					
20	-0,2380	-0,2708	20	0,000452353	0,0021645					
$\Sigma$	-6,6142	-1,3593	$\Sigma$	0,149006905	0,076899303					
Média	-0,330707626	-0,067965751	Desvio Padrão	0,386014125	0,277307236					
Módulo Resultante	0,337619427		D.P. da Média	0,142968367	0,003116361					
			Desvio Padrão	0,382210319						

## Apêndice 3 – Cálculos Estatísticos utilizando a escala 1:2000 como referência (área 02)

Coordenadas dos Pontos de Controle			Coordenadas dos Pontos Imagem-Laser			Teste de Tendência T Student					
PONTOS	E	N	PONTOS	E	N	TE					
1	287088,8942	9114102,212	1	287088,7514	9114102,37		0,297232083				
2	287097,3312	9114110,237	2	287097,8259	9114110,408		TN	-1,302446123			
3	287049,7877	9114084,72	3	287049,8608	9114084,999		TPLANIMETRIA	1,316970819			
4	287039,0274	9114092,026	4	287039,1011	9114092,259		Teste de Precisão				
5	287087,501	9114125,186	5	287087,844	9114125,186		PEC	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
6	287082,3998	9114139,077	6	287082,9178	9114139,057		σ PECE	0,240416306	0,424264069	0,707106781	0,848528137
7	287023,7233	9114128,94	7	287023,5449	9114129,205		σ PECN	0,240416306	0,424264069	0,707106781	0,848528137
8	287084,5713	9114076,11	8	287084,8624	9114076,314		Qui-Quadrado				
9	287132,7231	9114064,156	9	287132,9571	9114064,517			Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
10	287072,6524	9114162,953	10	287072,4174	9114163,04		E	28,40709482	9,121833782	3,283860161	2,280458445
11	286954,3189	9114223,982	11	286954,2073	9114224,129		N	15,63541229	5,020704612	1,80745366	1,255176153
12	286961,0853	9114178,415	12	286960,6827	9114178,396		Qui-Quadrado Tabelado				
13	286983,9797	9114175,877	13	286983,5491	9114176,17			T Student Tabelado			
14	286957,0291	9114162,704	14	286957,2427	9114162,41		27,204	1,729			
15	286993,3182	9114096,639	15	286993,2804	9114096,715		Qui-Quadrado				
16	286972,3349	9114133,881	16	286972,2585	9114133,849			Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
17	287049,8268	9114243,057	17	287049,7481	9114243,255		Resultante	16,73942355	5,375214896	1,935077362	1,343803724
18	287028,1503	9114170,181	18	287028,017	9114169,731						
19	286998,4339	9114193,786	19	286998,0485	9114193,716						
20	287008,7458	9114219,301	20	287008,3264	9114218,985						
Cálculo das Discrepâncias			Cálculo do Desvio Padrão das Discrepâncias								
PONTOS	ΔE	ΔN	PONTOS	E	N						
1	0,1427	-0,1580	1	0,000798854	0,000470247						
2	-0,4947	-0,1711	2	0,013919668	0,000609282						
3	-0,0732	-0,2789	3	0,000452357	0,002442035						
4	-0,0737	-0,2325	4	0,000457279	0,001503807						
5	-0,3430	0,0001	5	0,00691612	0,000212668						
6	-0,5180	0,0201	6	0,015207519	0,000367633						
7	0,1785	-0,2654	7	0,001329524	0,002145953						
8	-0,2911	-0,2037	8	0,005077723	0,001034433						
9	-0,2340	-0,3605	9	0,003383292	0,004642376						
10	0,2350	-0,0866	10	0,00244302	2,79718E-05						
11	0,1116	-0,1468	11	0,000446064	0,000365148						
12	0,4025	0,0188	12	0,007720028	0,000356805						
13	0,4306	-0,2929	13	0,008891485	0,002769063						
14	-0,2136	0,2946	14	0,002860089	0,006748734						
15	0,0378	-0,0767	15	1,76007E-05	9,21713E-06						
16	0,0764	0,0318	16	0,000170418	0,00047817						
17	0,0787	-0,1984	17	0,000183938	0,000958266						
18	0,1333	0,4506	18	0,00068129	0,013911357						
19	0,3854	0,0696	19	0,007046577	0,000931931						
20	0,4194	0,3160	20	0,008414525	0,007579474						
Σ	0,3908	-1,2703	Σ	0,086417373	0,04756457						
Média	0,01953805	-0,0635165	Desvio Padrão	0,293968319	0,218093031						
Módulo Resultante	0,066453601		D.P. da Média	0,007470101	0,043452988						
			Desvio Padrão	0,225661447							

## Apêndice 4 – Cálculos Estatísticos utilizando a escala 1:1000 como referência (área 01)

Coordenadas dos Pontos de Controle			Coordenadas dos Pontos Imagem-Laser			Teste de Tendência T Student				
PONTO	E	N	PONTOS	E	N	TE	-3,831386912			
1	284889,5260	9109477,5540	1	284889,1801	9109477,0537	TN	-1,096084201			
2	284835,1430	9109485,6800	2	284835,0145	9109485,9543	Teste de Precisão				
3	284730,7740	9109464,5670	3	284730,5620	9109464,6183					
4	284655,2940	9109461,6030	4	284655,5366	9109461,5174	PEC	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
5	284595,5600	9109475,0090	5	284595,7301	9109475,3075	$\sigma$ PECE	0,120208153	0,212132034	0,353553391	0,424264069
6	284553,3930	9109474,1400	6	284553,5554	9109474,2359	$\sigma$ PECN	0,120208153	0,212132034	0,353553391	0,424264069
7	284403,9870	9109264,5600	7	284404,5577	9109264,3658	Qui-Quadrado				
8	284951,8920	9109359,8750	8	284952,2299	9109360,0576					
9	284827,9940	9109187,9300	9	284828,7023	9109188,1839	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	
10	284526,9200	9109164,6890	10	284527,6852	9109164,4110	E	195,9260337	62,91402636	22,64904949	15,72850659
11	284122,5080	9109191,6740	11	284123,1100	9109191,9410	N	101,1132709	32,46859475	11,68869411	8,117148688
12	284666,6210	9109040,1050	12	284666,8563	9109040,6916	Qui-Quadrado Tabelado	T Student Tabelado			
13	284023,087	9109269,659	13	284023,2447	9109269,855	27,204	1,729			
14	284278,664	9109277,762	14	284278,8592	9109278,166	Qui-Quadrado				
15	284263,864	9109204,325	15	284264,0803	9109204,125					
16	284508,629	9109291,145	16	284508,856	9109291,054	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	
17	284638,927	9109178,128	17	284639,244	9109178,262	Resultante	192,0837255	61,68021853	22,20487867	15,42005463
18	284427,112	9109158,137	18	284427,9265	9109157,757					
19	284492,584	9109068,215	19	284493,9243	9109068,288					
20	284722,846	9109125,855	20	284723,084	9109126,126					
Cálculo das Discrepâncias			Cálculo do Desvio Padrão das Discrepâncias							
PONTOS	AE	AN	PONTOS	E	N					
1	0,3459	0,5003	1	0,024097261	0,016993711					
2	0,1285	-0,2743	2	0,01110072	0,002241683					
3	0,2120	-0,0513	3	0,015499548	1,4616E-05					
4	-0,2426	0,0856	4	0,000408233	0,001241504					
5	-0,1701	-0,2985	5	0,00135761	0,002796902					
6	-0,1624	-0,0959	6	0,001490334	4,11423E-05					
7	-0,5707	0,1942	7	0,003030797	0,003617412					
8	-0,3379	-0,1826	8	2,69835E-06	0,000691404					
9	-0,7083	-0,2539	9	0,007503086	0,001819555					
10	-0,7652	0,2780	10	0,009936742	0,006297995					
11	-0,6020	-0,2670	11	0,003874603	0,002084771					
12	-0,2353	-0,5866	12	0,000478804	0,014158558					
13	-0,1577	-0,1962	13	0,00157524	0,00086615					
14	-0,1952	-0,4045	14	0,000966794	0,005960451					
15	-0,2163	0,1999	15	0,000688726	0,003776941					
16	-0,2270	0,0909	16	0,000566067	0,001328166					
17	-0,3170	-0,1340	17	9,88942E-06	0,000229565					
18	-0,8145	0,3802	18	0,012319553	0,010573084					
19	-1,3403	-0,0727	19	0,053647846	1,19464E-06					
20	-0,2380	-0,2708	20	0,000452353	0,0021645					
$\Sigma$	-6,6142	-1,3593	$\Sigma$	0,149006905	0,076899303					
Média	-0,330707626	-0,067965751	Desvio Padrão	0,386014125	0,277307236					
Módulo Resultante	0,337619427		D.P. da Média	0,142968367	0,003116361					
			Desvio Padrão	0,382210319						

## Apêndice 5 – Cálculos Estatísticos utilizando a escala 1:1000 como referência (área 02)

Coordenadas dos Pontos de Controle			Coordenadas dos Pontos Imagem-Laser			Teste de Tendência T Student				
PONTO	E	N	PONTOS	E	N	TE	0,297232083			
1	287088,8942	9114102,212	1	287088,7514	9114102,37	TN	-1,302446123			
2	287097,3312	9114110,237	2	287097,8259	9114110,408	Teste de Precisão				
3	287049,7877	9114084,72	3	287049,8608	9114084,999					PEC
4	287039,0274	9114092,026	4	287039,1011	9114092,259	σ PECE	0,120208153	0,212132034	0,353553391	0,424264069
5	287087,501	9114125,186	5	287087,844	9114125,186	σ PECN	0,120208153	0,212132034	0,353553391	0,424264069
6	287082,3998	9114139,077	6	287082,9178	9114139,057	Qui-Quadrado				
7	287023,7233	9114128,94	7	287023,5449	9114129,205					Classe A
8	287084,5713	9114076,11	8	287084,8624	9114076,314	E	113,6283793	36,48733513	13,13544065	9,121833782
9	287132,7231	9114064,156	9	287132,9571	9114064,517	N	62,54164915	20,08281845	7,229814641	5,020704612
10	287072,6524	9114162,953	10	287072,4174	9114163,04	Qui-Quadrado Tabelado				
11	286954,3189	9114223,982	11	286954,2073	9114224,129					27,204
12	286961,0853	9114178,415	12	286960,6827	9114178,396	Qui-Quadrado				
13	286983,9797	9114175,877	13	286983,5491	9114176,17					Classe A
14	286957,0291	9114162,704	14	286957,2427	9114162,41	Resultante	66,9576942	21,50085958	7,74030945	5,375214896
15	286993,3182	9114096,639	15	286993,2804	9114096,715	Qui-Quadrado				
16	286972,3349	9114133,881	16	286972,2585	9114133,849					Classe A
17	287049,8268	9114243,057	17	287049,7481	9114243,255	Qui-Quadrado				
18	287028,1503	9114170,181	18	287028,017	9114169,731					Classe A
19	286998,4339	9114193,786	19	286998,0485	9114193,716	Qui-Quadrado				
20	287008,7458	9114219,301	20	287008,3264	9114218,985					Classe A
Cálculo das Discrepâncias			Cálculo do Desvio Padrão das Discrepâncias							
PONTOS	ΔE	ΔN	PONTOS	E	N					
1	0,1427	-0,1580	1	0,000798854	0,000470247					
2	-0,4947	-0,1711	2	0,013919668	0,000609282					
3	-0,0732	-0,2789	3	0,000452357	0,002442035					
4	-0,0737	-0,2325	4	0,000457279	0,001503807					
5	-0,3430	0,0001	5	0,00691612	0,000212668					
6	-0,5180	0,0201	6	0,015207519	0,000367633					
7	0,1785	-0,2654	7	0,001329524	0,002145953					
8	-0,2911	-0,2037	8	0,005077723	0,001034433					
9	-0,2340	-0,3605	9	0,003383292	0,004642376					
10	0,2350	-0,0866	10	0,00244302	2,79718E-05					
11	0,1116	-0,1468	11	0,000446064	0,000365148					
12	0,4025	0,0188	12	0,007720028	0,000356805					
13	0,4306	-0,2929	13	0,008891485	0,002769063					
14	-0,2136	0,2946	14	0,002860089	0,006748734					
15	0,0378	-0,0767	15	1,76007E-05	9,21713E-06					
16	0,0764	0,0318	16	0,000170418	0,00047817					
17	0,0787	-0,1984	17	0,000183938	0,000958266					
18	0,1333	0,4506	18	0,00068129	0,013911357					
19	0,3854	0,0696	19	0,007046577	0,000931931					
20	0,4194	0,3160	20	0,008414525	0,007579474					
Σ	0,3908	-1,2703	Σ	0,086417373	0,04756457					
Média	0,01953805	-0,0635165	Desvio Padrão	0,293968319	0,218093031					
Módulo Resultante	0,066453601		D.P. da Média	0,007470101	0,043452988					
			Desvio Padrão	0,225661447						