

Revista Brasileira de Cartografia (2015) N^o 67/6: 1103-1117
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

AVALIAÇÃO DE DADOS PLANIMÉTRICOS LIDAR PARA ÁREAS URBANAS: RECIFE - PE

Evaluation of LiDAR Data Planimetric for Urban Areas: Recife - PE

Mirele Viegas da Silva & Carlos Alberto Borba Schuler

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Departamento de Engenharia Cartográfica

Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação

Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária - CEP 50670-901- Recife - PE – Brasil.

mirelevgs@gmail.com.br, cschuler@ufpe.br

Recebido em 31 de Maio, 2014/ Aceito em 27 de Julho, 2014

Received on May 31, 2014/ Accepted on July 27, 2014

RESUMO

O conjunto de dados do laser scanner é uma alternativa poderosa para ser aplicada na otimização de técnicas de mapeamento fotogramétrico, permitindo um ótimo desempenho para extrair informação espacial tridimensional. As imagens geradas pelos dados da varredura laser scanner são totalmente ortogonais, tanto ao nível do solo como ao nível das edificações. Esta condição permite ao usuário fazer diretamente uma restituição planimétrica, não necessitando o uso da estereoscopia. Este artigo tem como objetivo, estudar a qualidade posicional planimétrica em imagens provenientes do laser scanner (imagens de composição), através da análise de tendência e da precisão cartográfica. O método de avaliação consiste na análise de pontos obtidos nas imagens de composição do sistema laser scanner comparadas com medidas obtidas em levantamento GNSS (Global Navigation Satellite System) e restituição fotogramétrica de uma área localizada no Campus da Universidade Federal de Pernambuco e do bairro da Macaxeira, município de Recife/PE, classificando de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfico para Produtos Cartográficos Digitais – PEC PCD. 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.

Palavras chaves: Laser Scanner, LiDAR, Qualidade de Dados.

ABSTRACT

The laser scanner dataset is a powerful alternative to be applied in optimizing photogrammetric mapping techniques, allowing optimum performance to extract three-dimensional spatial information. The images generated by the laser scanner scanning data are fully orthogonal, both at ground level and at the level of buildings. This condition allows the user to directly make a planimetric refund, not requiring the use of stereoscopy. This article aims to study the quality positional planimetric in laser scanner from images (composite images), through trend analysis and cartographic precision. The evaluation method is the analysis of data points on the images composition of the laser scanner system

compared to measurements obtained in GNSS survey (Global Navigation Satellite System) and photogrammetric restitution of an area located on the campus of the Federal University of Pernambuco and the Macaxeira neighborhood, city of Recife / PE, classifying according to the Map Accuracy Standards for Digital Cartographic Products - PEC PCD. For the study area on the campus of the Federal University of Pernambuco, considering the scale of 1: 2000, the analyzed data set obtained quality compatible with Class B, ie a PEC-PCD 0.50m and the scale 1: 1000, compatible with the quality class C, i.e., the SGP-PCD 0.80m. For the study area in the neighborhood of Macaxeira in the city of Recife / PE, the analyzed data set obtained quality compatible with the scale of 1: 2000, class A, ie a PEC of 0,56m. Whereas the scale 1: 1000, class B, or a PEC-PCD 0.50m. Key words: laser scanner, LiDAR, data quality

Keywords: Laser Scanner, LiDAR, Data Quality.

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 e as elevações contidas nele. Seu princípio de funcionamento baseia-se na utilização de um pulso de laser que é disparado na direção da superfície. Ao atingi-la, parte do sinal emitido é refletida na direção do sensor. Este 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. O tempo é usado para calcular a distância sensor-objeto, sabendo que o pulso laser desloca-se à velocidade da luz (BALTSAVIAS, 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, denominada 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.

A precisão dos dados de laser scanner aerotransportado tem sido muitas vezes especificada apenas em relação a componente altura (z). 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.

A capacidade de 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 neste artigo. Ou seja, 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, Padrão de Exatidão Cartográfico para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) quanto à qualidade planimétrica em áreas urbanas.

Para isto serão utilizados 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 e 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.

Dessa forma, será realizada uma comparação, por meio de técnicas estatísticas, entre os resultados obtidos do emprego do referido sistema laser scanner e os resultados obtidos do emprego de GNSS (Global Navigation Satellite System) e restituição fotogramétrica. Tal comparação se dará 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.

2. O SISTEMA A LASER AEROTRANSPORTADO

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).

O laser scanner aerotransportado depende do funcionamento de três dispositivos: o sistema de varredura laser, um receptor GPS/GNSS de dupla frequência e uma unidade de medição inercial (IMU) (TEMBA, 2008).

A unidade de varredura LASER usa um feixe ótico de alta potência, 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 & LOHR, 1999).

Os sistemas de varredura laser permitem registrar mais de um feixe refletido por pulso antes de emitir o próximo pulso laser, devido a 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 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).

Na literatura, encontram-se vários autores que desenvolveram procedimentos para utilização de dados provenientes do laser scanner aerotransportado. Citam-se os trabalhos publicados por Poz (2014) que focou num método para contornos tridimensionais de telhado extraídos de dados de varredura a laser aerotransportado, integrando imagem aérea de alta resolução. Santos et al (2011), desenvolveu um método semi-automático para a extração do cruzamento de vias com o uso de imagens de intensidade do pulso laser em cenas correspondentes a áreas urbanas densas com aplicação de operadores morfológicos e algoritmos de processamento de imagens.

Ainda, Becker e Centeno (2013) utilizaram três métodos de filtragem, bloco mínimo, filtro morfológico progressivo e adensamento progressivo para obtenção de modelos do terreno a partir da nuvem de pontos provenientes de laser scanner aerotransportado.

3. IMAGENS PROVENIENTES DE DADOS LASER SCANNER AEROTRANSPORTADO

Como produto do processamento dos dados brutos obtém-se um arquivo ASCII com informações das coordenadas do primeiro e último retorno do pulso e intensidade de retorno do sinal associadas ao tempo GPS. Esses atributos podem ser utilizados para a geração de

imagens e mapas temáticos gerando ortoimagens de intensidade, de hipsometria e de composição contribuindo para a identificação e restituição de feições no terreno (ZANDONÁ, 2006).

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. Em cada ponto é atribuído um valor de cor 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 1) 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.



Fig. 1 - Imagem de intensidade (trecho da articulação 81_64-00). Fonte: Prefeitura do Recife (2013).

A imagem hipsométrica (Figura 2) 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 (FALAT, 2008).

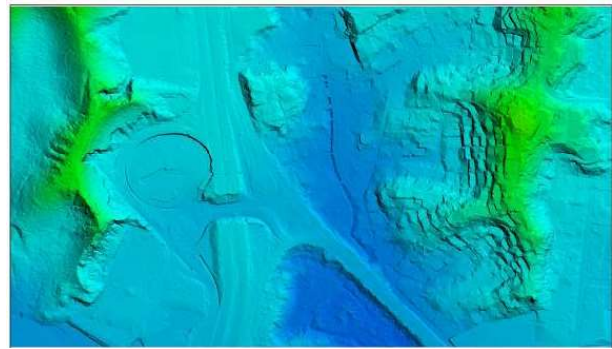


Fig. 2 - Imagem hipsométrica (trecho da articulação 81_64-00). Fonte: Prefeitura do Recife (2013).

A imagem de composição (Figura 3) por sua vez é a fusão das imagens de intensidade e hipsométrica. Esta imagem permite a melhor identificação das feições que as imagens isoladas que a compõem, uma vez que os detalhes aparecem realçados (FALAT, 2008).



Fig. 3 - Imagem de Composição (trecho da articulação 81_64-00). Fonte: Prefeitura 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 (SLOBODA, 2005).

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).

4. PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICO

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 (BRASIL, 2008).

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 (BRANDALIZE, 2004).

De acordo com a CONCAR (2011), 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 (Diretoria de Serviço Geográfico) está elaborando as novas Especificações Técnicas relativas aos Produtos dos Conjuntos de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-PCDGV). 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.

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 a escala do produto. Esse padrão preliminar tem 4 classes (A, B, C e D) com valores de precisão e acurácia apresentados na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Padrão de exatidão cartográfica da planimetria dos produtos cartográficos digitais (PEC-PCD)

PEC-PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85
B	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50
C	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50
D	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00

Fonte: Pereira & Nero (2012).

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).

5. ÁREAS DE ESTUDO

As áreas de estudo estão localizadas na cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco. Este está situado na porção leste do território pernambucano, rodeado pelo Oceano Atlântico e banhado pelos rios Beberibe e Capibaribe.

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

A Figura 4 apresenta um mapa de localização do Campus Universitário da cidade de Recife no estado de Pernambuco, a ampliação da área onde se encontra a folha da articulação fornecida pela Prefeitura do Recife que define uma porção do Campus, onde serão concentradas as amostras da área de estudo 01 para a pesquisa. Nesta área, os dados avaliados serão extraídos diretamente das imagens proveniente dos perfilamento a laser (composição) e comparados com dados de levantamento GNSS.

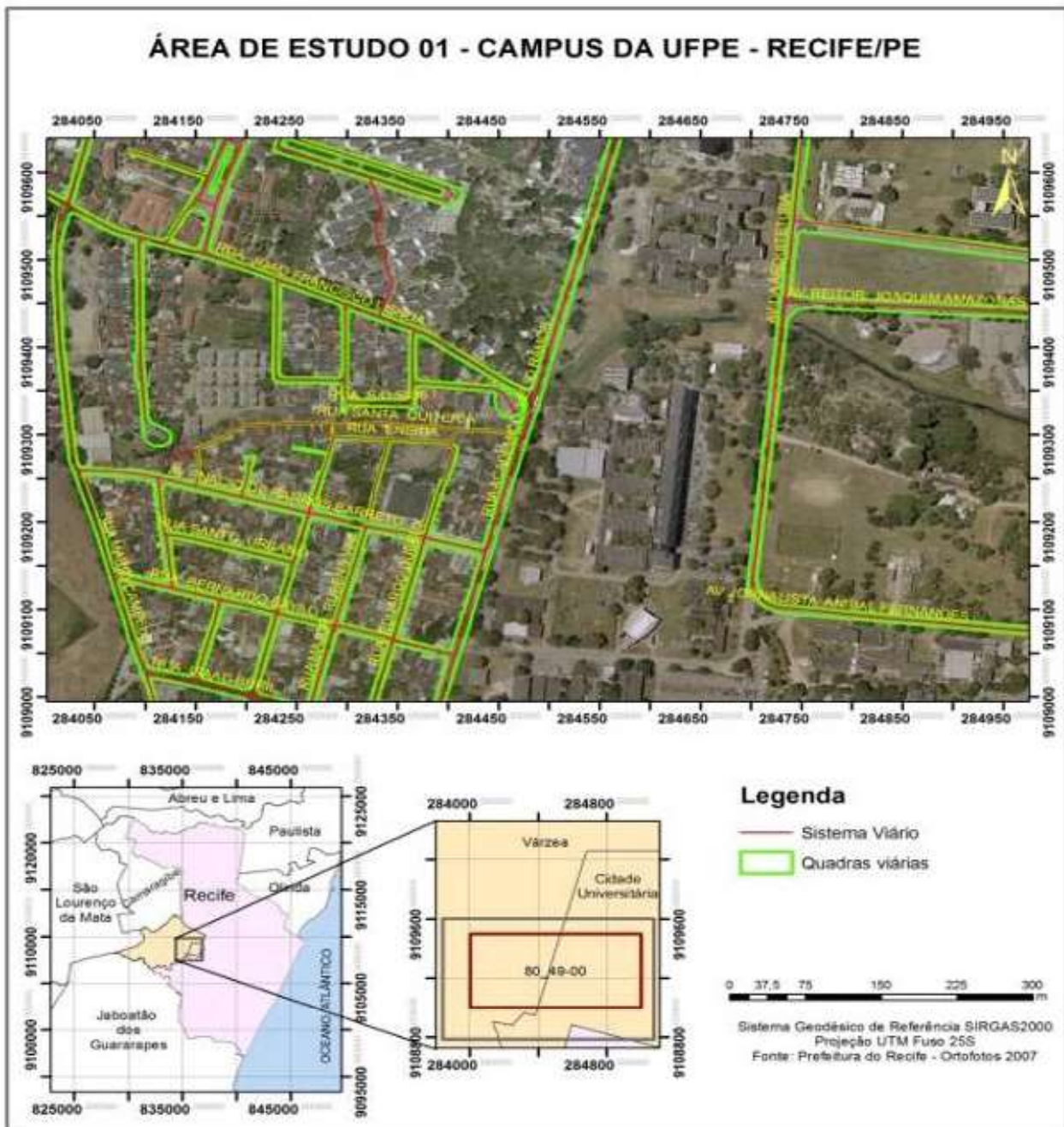


Fig. 4 - Mapa de Localização da Área de Estudo 01: Campus da UFPE.

A Figura 5 mostra a área de estudo 02, esta por sua vez tem relevo variando de plano a ondulado, com baixa densidade da cobertura vegetal (apresentando apenas árvores isoladas) e com alta densidade de edificações. Os dados planimétricos referentes a edificações dessas áreas foram obtidos por restituição convencional. A comparação será realizada tomando-se como base a diferença entre as feições coletadas das entidades digitalizadas da restituição convencional e das feições obtidas da imagem derivada do varredor laser.

6. METODOLOGIA

Primeiramente foi realizada a organização e preparação das referências e documentos cartográficos; a escolha da posição e do número da amostra; e a obtenção das coordenadas dos pontos a partir das imagens laser scanner.

Em seguida foram realizados os procedimentos estatísticos para avaliação da acurácia posicional. Desta forma foi realizada a comparação entre feições pontuais das imagens de composição com dados de levantamento

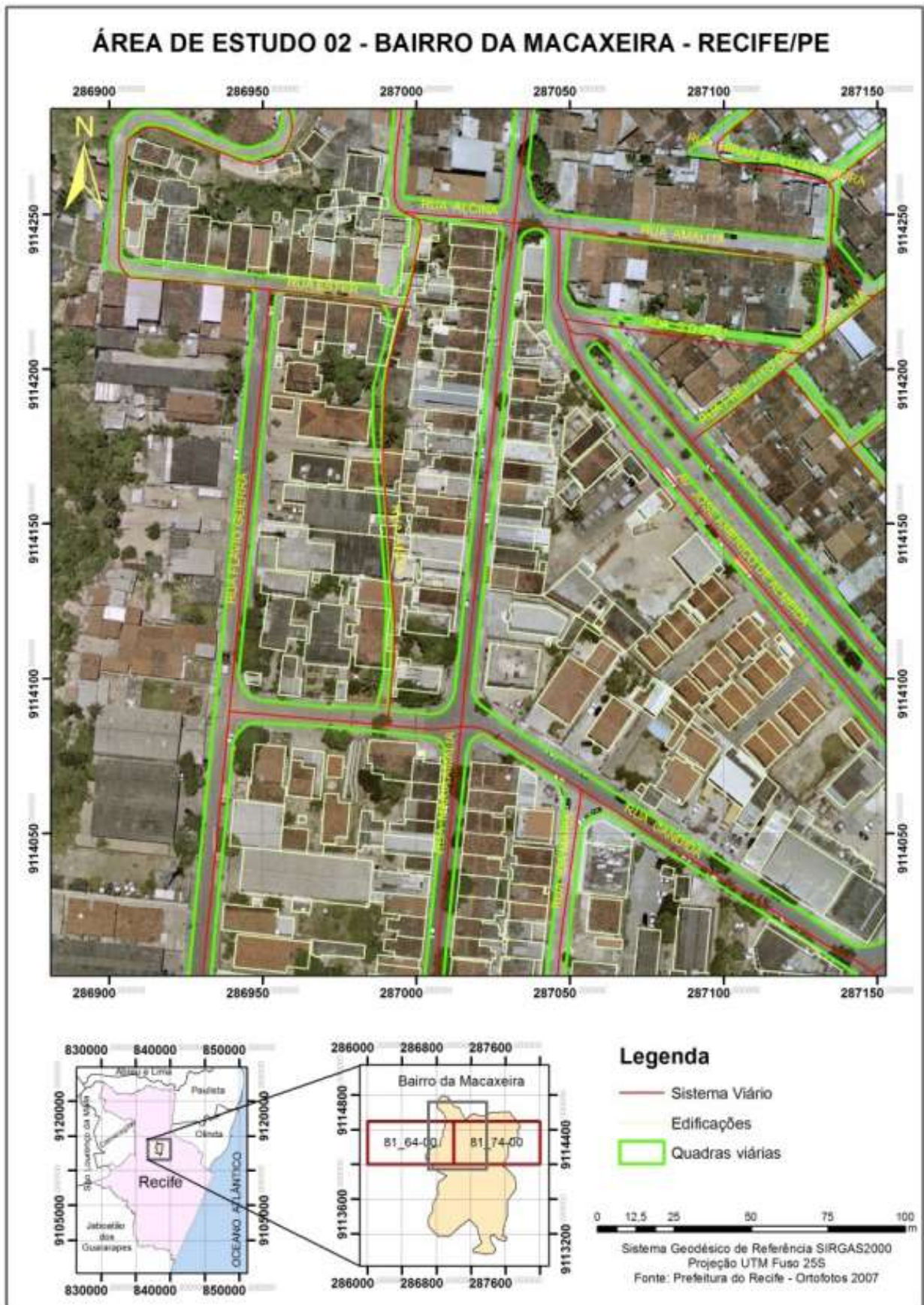


Fig. 5 – Mapa de Localização da Área de Estudo 02: Bairro da Macaxeira- Recife/PE.

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.

6.1 Seleção de Dados nas Imagens Laser Scanner e na Base Cartográfica para a Área de Estudo 01

Os conjuntos de pontos comparados relativos a esta área foram imagens laser scanner

e 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. 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 foto identificáveis nas imagens laser scanner homólogos aos pontos levantados em campo.

A Figura 6 apresenta o conjunto de pontos levantados por GNSS representados na ortofoto digital da Prefeitura da cidade do Recife enquanto a Figura 7 apresenta o conjunto de pontos adquiridos na imagem de composição.



Fig. 6 - Pontos Levantados pela tecnologia GNSS.



Fig. 7 - Pontos adquiridos sobre a imagem de composição: Campus UFPE.

6.2 Seleção de Dados nas Imagens Laser Scanner e na Base Cartográfica para a 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 planimétrica 1:1.000 gerada em 2007 e as ortofotocartas existentes. 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.

A Figura 8 apresenta o conjunto de 20 (vinte) pontos adquiridos na imagem de composição enquanto a Figura 9 apresenta pontos comuns provenientes de restituição estereofotogramétrica (pontos definidores das quadras viárias e edificações).

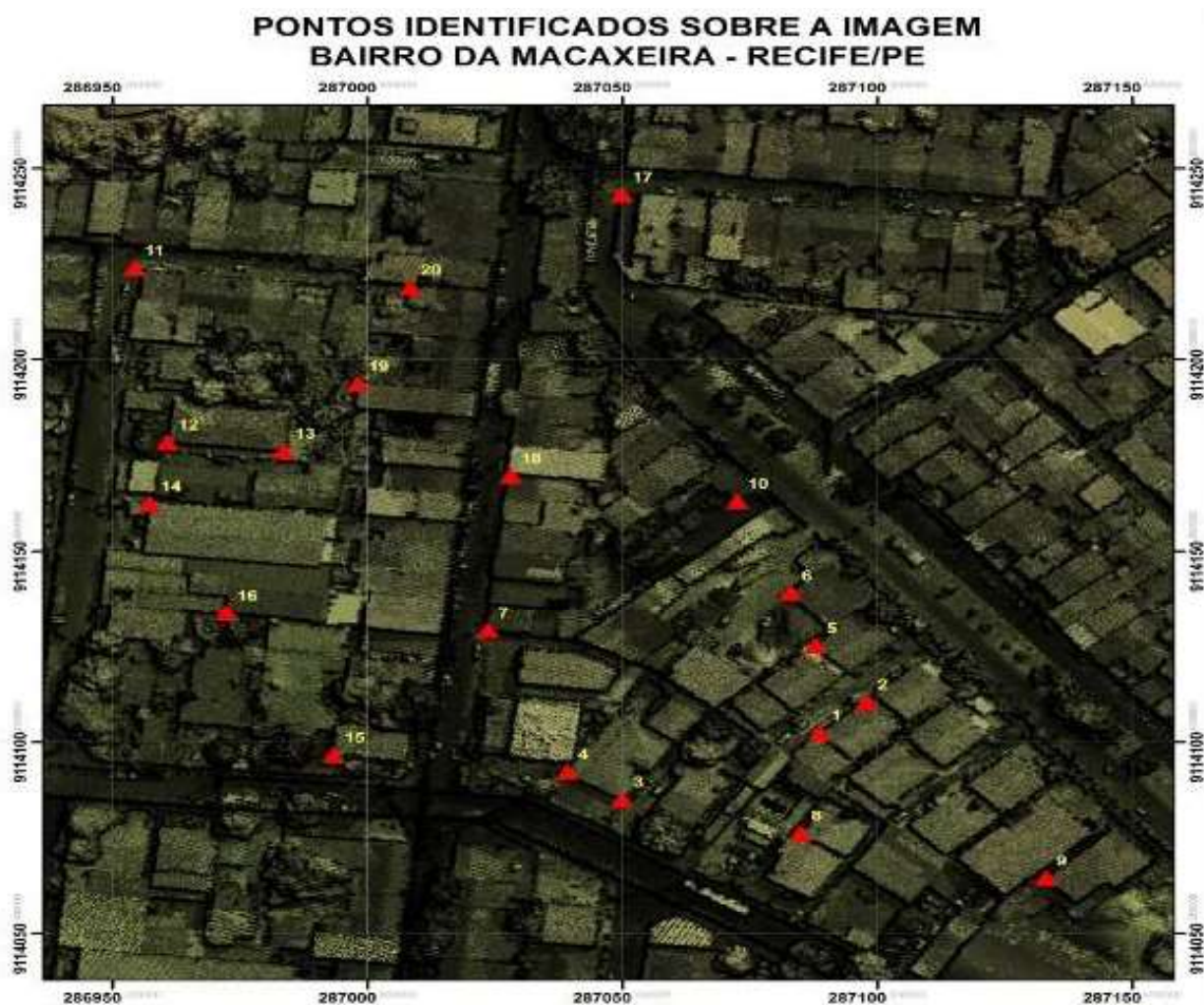


Fig. 8 – Pontos adquiridos sobre a imagem de composição: Macaxeira-Recife/PE.

6.3 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.

Neste trabalho foram analisadas as existências de tendência e a precisão geométrica da imagem de composição. A precisão está ligada com a dispersão das observações em torno do valor médio, enquanto que a acurácia (ou

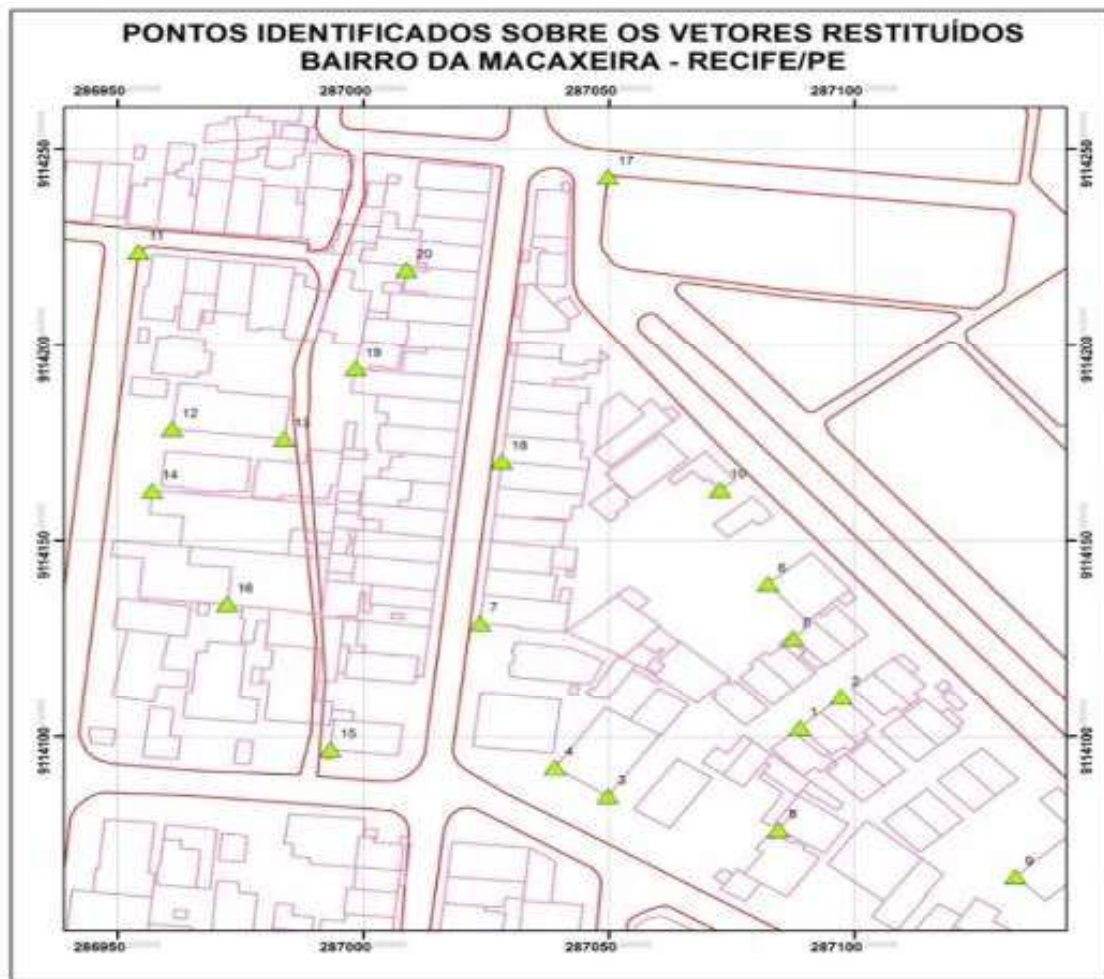


Fig. 9 - Pontos adquiridos sobre os vetores de restituição estereofotogramétrica.

exatidão) está relacionada com a proximidade do valor real, ou seja, sem a influência de erros sistemáticos (GALO E CAMARGO, 1994).

6.3.1 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 (SANTOS, 2010).

É verificado se a média das discrepâncias pode ser considerada estatisticamente igual à

zero (nula), ou seja, se a amostra está livre de tendência (Silva e Nazareno, 2009).

Utilizando método descrito por Merchant (1982), a aplicação ao PEC por Galo e Camargo (1994) e estruturando as hipóteses a serem avaliadas temos:

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

versus

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

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

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

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

$$\mu_{\Delta X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad (2)$$

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

onde: (3)

$$\Delta X_i = X_i - X_i^r$$

(4)

Sabendo-se que ΔX_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. O teste de t de Student é aplicado observando um nível de confiança (1- α) igual a 90% ($\alpha = 0,10$) demonstrando que a média dos resíduos é considerada estatisticamente igual à zero, com 90% de probabilidade e é dada por:

$$t_x = \frac{\mu_{\Delta X}}{\sigma_{\Delta X}} \cdot \sqrt{n}$$

(5)

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:

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

(6)

6.3.2 Avaliação da Precisão

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 (SPIEGAL, 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 desejado. Ou seja, o teste de hipótese a ser comparado para validação da precisão conforme Merchant (1982) e aplicada ao Padrão de Exatidão Cartográfico por Galo e Camargo (1994) é o seguinte:

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

(7)

versus

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

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

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

(8)

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

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

(9)

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

O intervalo de confiança condicionante à aceitação da hipótese H0 é:

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

(10)

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 (SANTOS, 2010).

7. RESULTADOS

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 Padrão de Exatidão Cartográfica para produtos Digitais (PEC-PCD).

7.1 Área de Estudo Campus-Recife/PE

A Tabela 2 a seguir apresenta o resumo dos parâmetros calculados para o teste de tendência T *Student* nas duas coordenadas (E, N) considerando 90% de confiabilidade computados para os pontos amostrados e seus respectivos resultados.

Tabela 2: Área 01: t student

Parâmetros	
Valor de t amostral (coordenada E)	-3,831
Estatística t (grau de confiança igual a 90%)	1,729
Análise de Tendência: Hipótese H0 aceita?	FALHOU
Valor de t amostral (coordenada N)	-1,096
Estatística t (grau de confiança igual a 90%)	1,729
Análise de Tendência: Hipótese H0 aceita?	PASSOU

Com base nos resultados apresentados na Tabela 2, aceitaram-se as hipóteses nulas (teste “t” Student) apenas para a componente N, ou seja, rejeita-se H_0 e a amostra apresenta tendências na coordenada E. Sendo assim o teste de tendência reprovou a qualidade do produto.

As tabelas 3 e 4 a seguir apresentam os resultados quanto o atendimento ao PEC-PCD para a área 01 na escala 1:1000 e 1:2000 respectivamente:

Tabela 3: Área 01: qui-quadrado na escala 1:1000

Parâmetros	Classe A	Classe B	Classe C
Valor de χ^2 amostral relativo ao PEC-PCD para a coordenada E	195,926	62,914	22,649
Estatística χ^2 (grau de confiança igual a 90%)	27,204	27,204	27,204
Análise de Precisão: Hipótese H0 aceita?	FALHOU	FALHOU	PASSOU
Valor de χ^2 amostral relativo ao PEC-PCD para a coordenada N	101,113	32,469	11,689
Estatística χ^2 (grau de confiança igual a 90%)	27,204	27,204	27,204
Análise de Precisão: Hipótese H0 aceita?	FALHOU	FALHOU	PASSOU

Tabela 4: Área 01: qui-quadrado na escala 1:2000

Parâmetros	Classe A	Classe B
Valor de c^2 amostral relativo ao PEC-PCD para a coordenada E	48,982	15,729
Estatística c^2 (grau de confiança igual a 90%)	27,204	27,204
Análise de Precisão: Hipótese H0 aceita?	FALHOU	PASSOU
Valor de c^2 amostral relativo ao PEC-PCD para a coordenada N	25,278	8,117
Estatística c^2 (grau de confiança igual a 90%)	27,204	27,204
Análise de Precisão: Hipótese H0 aceita?	PASSOU	PASSOU

Aceitaram-se as hipóteses nulas (teste Qui-Quadrado) na escala 1:2000 para as componentes E, N. Ou seja, a planimetria atingiu um Padrão de Exatidão Cartográfica PEC-PCD classe B, escala 1:2000, pois o teste qui-quadrado para classe A passou apenas para a componente N.

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.

7.2 Área de Estudo 02

A Tabela 5 a seguir apresenta o resumo dos parâmetros calculados para o teste de tendência T Student nas duas coordenadas (E, N).

Tabela 5: Área 02: t student

Parâmetros	
Valor de t amostral (coordenada E)	0,297
Estatística t (grau de confiança igual a 90%)	1,729
Análise de Tendência: Hipótese H0 aceita?	PASSOU
Valor de t amostral (coordenada N)	-1,302
Estatística t (grau de confiança igual a 90%)	1,729
Análise de Tendência: Hipótese H0 aceita?	PASSOU

A tabelas 6 e 7 a seguir apresentam os resultados quanto o atendimento ao PEC-PCD para a área 02 na escala 1:1000 e 1:2000 respectivamente:

Tabela 6: área 02: qui-quadrado para a componente e na escala 1:2000

Parâmetros	Classe A	Classe B	Classe C
Valor de χ^2 amostral relativo ao PEC-PCD (coordenada E)	195,926	62,914	22,649
Estatística χ^2 (grau de confiança igual a 90%)	27,204	27,204	27,204
Análise de Precisão: Hipótese H0 aceita?	FALHOU	FALHOU	PASSOU
Valor de χ^2 amostral relativo ao PEC-PCD (coordenada N)	101,113	32,469	11,689
Estatística χ^2 (grau de confiança igual a 90%)	27,204	27,204	27,204
Análise de Precisão: Hipótese H0 aceita?	FALHOU	FALHOU	PASSOU

Tabela 7: Área 02: qui-quadrado para a componente n na escala 1:2000

Parâmetros	Classe A	Classe B
Valor de χ^2 amostral relativo ao PEC-PCD (coordenada E)	28,407	9,122
Estatística χ^2 (grau de confiança igual a 90%)	27,204	27,204
Análise de Precisão: Hipótese H0 aceita?	FALHOU	PASSOU
Valor de χ^2 amostral relativo ao PEC-PCD (coordenada N)	15,635	5,0207
Estatística χ^2 (grau de confiança igual a 90%)	27,204	27,204
Análise de Precisão: Hipótese H0 aceita?	PASSOU	PASSOU

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.

Aceitaram-se as hipóteses nulas (teste Qui-Quadrado) na escala 1:2000 para as

componentes E, N. Ou seja, a planimetria atingiu um Padrão de Exatidão Cartográfica PEC-PCD classe B, escala 1:2000.

8. CONCLUSÕES

Conforme os dados apresentados anteriormente 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 a classe testada, 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 testada.

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.

Os testes realizados nesse artigo demonstram numericamente a qualidade posicional planimétrica da imagem avaliada por meio de resultados nas 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.

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/m², dessa forma foi mais fácil detectar os contornos para edificações isoladas.

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.

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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALTSAVIAS, E.P. Airborne Laser Scanning: Basic Relations and Formulas, **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v.54, p.199–214, 1999.

BECKER, J. H. ; CENTENO, J. A. S. Avaliação de métodos de filtragem de nuvem de pontos derivados do sistema laser scanner aerotransportado para obtenção de MDT. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 65(4), p.651-659, 2013.

BRANDALIZE, M C B. **Qualidade Cartográfica dos Resultados do Laserscanner Aerotransportado**. 2004. 271 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

BRASIL. **Decreto Federal nº6.666 de 27 de novembro de 2008**. Institui, no âmbito do Poder Executivo Federal, a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF. Seção 1, p.57, 2008.

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**, Florianópolis, p. 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, 2011.

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, 2008.

GALO, M.; Camargo, P.O. Utilização do GPS no controle da qualidade de carta.

In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, p. 41-48, 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.

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 Scale Line Maps. In: **Technical Congress on Surveying and Mapping. Proceedings**, v.1, p 222-231, 1982.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C., **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Tradução Verônica Calado. – 2 reimpressão – Rio de Janeiro: LTC, 2008. 463p.

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, 2012.

DAL POZ, A. Refinamento fotogramétrico de contornos de telhado extraídos de dados de varredura a laser. **Revista Brasileira de Cartografia**, N. 66(5), p.1135-1144, 2014.

PREFEITURA DO RECIFE; **Relatório de Atividades Executadas n.2**, ENGEFOTO, 2013.

TEMBA, P.C. **Ajustamento Simultâneo do Bloco de Faixas do Laser Scanner Aerotransportado (ALS)**. 2008, 231 p. Tese de Doutorado. Universidade federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2008.

SANTOS, A. de P. dos. **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com o Uso da Estatística Espacial**. 2010. 126 p. Dissertação (Pós-Graduação)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

SANTOS, D. J.; SANTOS, D.R.; REIS, M. L.

L. Extração semi-automática de cruzamentos de vias em áreas urbanas usando imagem de intensidade do pulso laser. **Revista Brasileira de Cartografia** n. 63/03, ISSN 1808-0936, 2011.

SILVA, L. A.; Nazareno, N. R, X. Análise do padrão de exatidão cartográfica da imagem do Google Earth tendocomo área de estudo a imagem da cidade de Goiânia. **In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, p. 1723-1730, 2009.

SLOBODA, L. **Proposta metodológica para confecção de base cartográfica a partir de dados oriundos do Sistema Laser Scanner**. Florianópolis, 2005. 89 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em

Engenharia Civil, 2005.

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.

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

ZANDONÁ, D. F. **Potencial uso de dados Laser scanner aerotransportado para estimativa de variáveis dendrométricas**. 2006. 92p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.